



รายงานผลการวิจัย  
เงินอุดหนุนโครงการตั้งประดิษฐาน  
ระบอบที่ 1

๔  
๒๕๐๔

ไดโอดเปล่งแสงแบบพีลัมบางชนิด  
วัสดุอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำ

โดย

ศุภิต เกรืองาม  
สมศักดิ์ บัญญาแก้ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทุนอุดหนุนโครงการสิ่งประดิษฐ์

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ระยะที่ 1



เรื่อง

ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางชนิดวัสดุอะมอร์ฟิอสสารกึ่งตัวนำ

Amorphous Semiconductor Visible-Light

Thin Film Light Emitting Diode

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดุสิต เครื่องงาม (หัวหน้าโครงการและผู้วิจัยหลัก)

และ ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว (ผู้ร่วมวิจัย)

ห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กทม. 10330

กันยายน 2536

### กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

งานวิจัยเรื่องนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนเป็นจำนวน 618,300.00 บาท จากโครงการ  
สิ่งประดิษฐ์ฝ่ายวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประจำปี 2535 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ  
โอกาสนี้ ขอขอบคุณคณะกรรมการและเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน รวมทั้งคณะกรรมการ  
ติดตามผลการวิจัยคือ รศ.ดร. กิโย โป บันยารชุน และ รศ. วิรุฬห์ มังคละวิรัช

ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้  
ให้ความร่วมมือในการวัดสเปกตรัมของ UV transmittance, IR absorption และ ESR

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีชีวภาพและวิศวกรรมพันธุศาสตร์ จุฬาฯ ที่ได้อนุเคราะห์ให้  
ใช้เครื่องวัด UV transmittance

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ร่วมงานทุกคนในห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำโดย  
เฉพาะอย่างยิ่ง นายวิโรจน์ บุญโกสุมภ์ นิสิตปริญญาเอกที่ให้ความร่วมมือในการปลูกฟิล์ม  
a-SiN:H และผลิตสิ่งประดิษฐ์และวิเคราะห์ต่าง ๆ ขอขอบคุณ คุณบัณฑิตา รัฐวิเศษ คุณศุภโชค  
ไทยน้อย คุณปรีชา บุญอำไพ และคุณอนุศักดิ์ เกตุสำราญ ที่ให้ความร่วมมือด้านเทคนิคต่าง ๆ  
ขอขอบคุณ คุณขวัญเรือน ไทยน้อย ที่ได้พิมพ์รายงานเล่มนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ดร. วิโรจน์ ตันตราภรณ์ กรรมการผู้จัดการบริษัทพีเอ็มเอทีเอส  
บีลคอร์เปอร์เรชั่น จำกัด ที่ได้ให้ข้อคิดเห็นต่างๆ เกี่ยวกับงานวิจัย และขอขอบคุณ ดร. บรรเจิด  
เดอลอง จากบริษัทเดียวกันที่ได้มาร่วมทำวิจัยที่ห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ

ในระหว่างดำเนินการวิจัยเรื่องนี้ ผู้วิจัยได้รับการคัดเลือกจากมูลนิธิส่งเสริมวิทยาศาสตร์  
และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยและสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (NRCT) ให้เป็นตัวแทน  
ประเทศไทยไปประเทศสิงคโปร์จนได้รับการคัดเลือกจากคณะกรรมการวิทยาศาสตร์อาเซียน  
และรัฐบาลสิงคโปร์ให้ได้รับรางวัลชนะเลิศ "Young ASEAN Scientist & Technologist Award"  
ประจำปี 1992 จากผลงานวิจัยเรื่องนี้ จึงขอขอบคุณหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องมา ณ โอกาสนี้  
ด้วย

สถาบันวิจัยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อโครงการ โดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางชนิดวัสดุอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำ  
 ชื่อผู้ดำเนินงาน ผศ.ดร. ดุสิต เครื่องงาม (หัวหน้าโครงการ)  
 และ ศ.ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว (ผู้ร่วมวิจัย)  
 เดือนและปีที่ทำวิจัยเสร็จ กันยายน 2536



### บทคัดย่อ

ได้มีการคิดค้นออกแบบและประดิษฐ์สิ่งประดิษฐ์โดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางจากวัสดุอะมอร์ฟัสซิลิกอนไนไตรด์และอะมอร์ฟัสซิลิกอนคาร์ไบด์ได้สำเร็จเป็นครั้งแรกในโลกด้วยวิธี glow discharge plasma CVD โดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางนี้สามารถเปล่งแสงที่ตามองเห็นได้ ตั้งแต่สีแดง สีส้ม สีเหลือง สีเขียว ไปจนถึงสีน้ำเงินขาว นับว่าเป็นโดโอดเปล่งแสงชนิดเดียวในโลกที่สามารถเปล่งแสงสีหลักต่าง ๆ ได้ครบ จากวัสดุเพียงตระกูลเดียวกัน

โดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางที่พัฒนาขึ้นสำเร็จในงานวิจัยนี้มีลักษณะเป็นฟิล์มบางของวัสดุอะมอร์ฟัสซิลิกอนไนไตรด์และซิลิกอนคาร์ไบด์ที่เคลือบเป็นฟิล์มบาง ๆ บนแผ่นกระจกในลักษณะรอยต่อ p-i-n กล่าวคือ มีโครงสร้างแผ่นกระจก/ขั้วไฟฟ้าโปร่งแสง/อะมอร์ฟัสซิลิกอนคาร์ไบด์ชนิดพี/อะมอร์ฟัสซิลิกอนไนไตรด์ชนิดบริสุทธิ/อะมอร์ฟัสซิลิกอนคาร์ไบด์ชนิดเอ็น/ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม ความหนาของฟิล์มบางชั้นต่าง ๆ บนแผ่นกระจกมีค่ารวมกันไม่เกิน 1 ไมครอน

โดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางนี้เปล่งแสงได้ด้วยหลักการของการฉีดกระแสไฟฟ้า กล่าวคือ ฉีดโฮลจากชั้นพีและอิเล็กตรอนจากชั้นเอ็นให้เข้าไปรวมตัวกันในชั้นอะมอร์ฟัสซิลิกอนไนไตรด์ชนิดบริสุทธิซึ่งเป็นชั้นเปล่งแสง แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ไบแอสเพื่อฉีดกระแสไฟฟ้ามี่ค่าประมาณ 5-15 โวลท์ ความสว่างสูงสุดของแสงที่เปล่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.1-1 cd/m<sup>2</sup> โดยใช้กระแสไฟฟ้าประมาณ 100-1000 mA/cm<sup>2</sup>. สีของการเปล่งแสงกำหนดจากขนาดช่องว่างพลังงานของชั้นอะมอร์ฟัสซิลิกอนไนไตรด์ และช่องว่างพลังงานของชั้นอะมอร์ฟัสซิลิกอนไนไตรด์ กำหนดได้จากอัตราส่วนของก๊าซ NH<sub>3</sub>/SiH<sub>4</sub> ที่ใช้ในขณะปลูกฟิล์ม

โดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางชนิดอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำนี้จัดว่าเป็นสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดใหม่ที่เกิดขึ้นในโลก ทั้งนี้เพราะว่าโดโอดเปล่งแสงที่มีการผลิตอยู่ในปัจจุบันนั้นทำจากวัสดุผลึกเดี่ยวที่เป็น bulk ทั้งหมด ส่วนในงานวิจัยนี้ใช้วัสดุอะมอร์ฟัสทั้งหมด และเป็น การช่วยขยายการประยุกต์ใช้งานวัสดุอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำด้วย

โดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางชนิดอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำนี้สามารถเปล่งแสงจากพื้นราบ (surface emission) ได้ จึงมีศักยภาพที่จะนำไปผลิตเป็นจอภาพดิสเพลย์แบบบางเรียบ (flat-panel display) หรือจอโทรทัศน์แบบบางเรียบ (flat-panel TV) ได้ ดังนั้นผลงานวิจัยการคิดค้นในงานวิจัยนี้จึงมีเนื้อหาทั้งทางวิชาการที่ลึกซึ้งและมีศักยภาพสูง ในการประยุกต์ผลิตเป็นภาคอุตสาหกรรม



ข้อดีเด่นของไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางชนิดอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำนี้ ได้แก่ 1) ต้นทุนการผลิตต่ำเพราะใช้วัสดุราคาถูกและผลิตด้วยวิธี CVD ที่อุณหภูมิเพียง  $200^{\circ}\text{C}$  2) ผลิตเป็นฟิล์มบางพื้นใหญ่ๆ ได้ง่าย ทำให้ได้ดิสเพลย์ขนาดใหญ่ 3) ผลิตบนแผ่นฐานวัสดุชนิดต่างๆ ได้ เช่น แผ่นกระจก แผ่นโลหะ แผ่นพลาสติก แผ่นเซรามิก ทำให้ได้ดิสเพลย์รูปร่างและการใช้งานหลากหลาย เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการวิจัยตั้งแต่การติดตั้งเครื่องมือ CVD สำหรับปลูกฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิกอนไนไตรด์ ( $a\text{-SiN:H}$ ) และซิลิกอนคาร์ไบด์ ( $a\text{-SiC:H}$ ) ซึ่งใช้ก๊าซ  $\text{SiH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$  เป็นก๊าซดิบ ได้มีการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของ  $a\text{-SiN:H}$  และ  $a\text{-SiC:H}$  อย่างละเอียด ทั้งทางโครงสร้าง (IR, ESCA, ESR) ทางแสง (ช่องว่างพลังงาน, โฟโตลูมิเนสเซนซ์) และทางไฟฟ้า (สภาพนำไฟฟ้า) ของ  $a\text{-SiN:H}$  และ  $a\text{-SiC:H}$  อย่างเป็นระบบ สิ่งประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางที่ประดิษฐ์ได้ ได้นำไปศึกษาวิเคราะห์กลไกการฉีดพาหะ และกลไกการเปล่งแสงอย่างละเอียด ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์และสำคัญมากมาย ผลการวิเคราะห์พบว่า การฉีดพาหะได้อาศัยกลไก tunneling เป็นหลักและการเปล่งแสงเกิดจากการรวมตัวของอิเล็กตรอนและโฮลที่ระดับ localized states นอกจากนี้ยังได้ประสบความสำเร็จในการประดิษฐ์ให้เปล่งแสงเป็นรูปร่างลักษณะต่างๆ ซึ่งเป็นการพิสูจน์ว่าไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางนี้สามารถผลิตเป็นดิสเพลย์แบบบางเรียบได้จริงได้สำเร็จ และได้มีการวิจารณ์การนำไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางนี้ไปใช้งานใน optical computer และ optoelectronic IC ชนิดต่าง ๆ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Project Title      Amorphous Semiconductor Visible-Light Thin Film Light Emitting Diode  
Name of the Investigator      Assistant Professor Dr. Dusit Kruangam      (project leader)  
   Professor Dr. Somsak Panyakeow      (co-researcher)  
Year                      September 1993

#### Abstract

A novel hydrogenated amorphous silicon nitride/amorphous silicon carbide (a-SiN:H/a-SiC:H) Thin Film Light Emitting Diode (TFLED) has been proposed and fabricated for the first time in the world. The TFLED can emit the visible light having the colors from red, orange, yellow to green and white-blue. This is the only LED that can emit so many color of light from the same material.

The main materials in TFLED developed in this work consists of thin film a-SiN:H and a-SiC:H. The TFLED has the structure of glass/ITO/p a-SiC:H/i a-SiN:H/n a-SiC:H/Al. The total thickness of all of the films is less than 1 micron.

The TFLED is a carrier-injection type electroluminescence device. The light output comes from the radiative recombination of holes and electrons injected from the p- and n-layers, respectively into the i-layer. The typical bias voltage is about 5-15 volt, the injection current density is about 100-1000 cd/m<sup>2</sup>, giving the brightness of about 0.1~1 cd/m<sup>2</sup>. The desired emission color can be obtained by adjusting the optical energy gap of the i a-SiN:H layer.

The amorphous semiconductor TFLED is a new type of electronic device in the world, since it is the LED that is made of thin film amorphous semiconductor, while the conventional LED is made of crystalline semiconductor. Another contribution in this work is also to expand the applications of a-SiN:H and a-SiC:H.

The TFLED is a surface emitting device. Therefore, it has a great potential to be produced as a flat-panel display or flat-panel TV.

The advantages of the amorphous TFLED are as follows : 1) low-cost, because the TFLED is made from low-cost amorphous material and uses a low temperature CVD process (200°C), 2) it has the possibility to be produced as a large area display, 3) it can be deposited on various substrates, such as glass, metal, plastic, ceramic sheets, therefore various forms of displays can be realized., etc.

The research in this work started from the construction of the plasma CVD for growing a-SiN:H and a-SiC:H. A detailed study has been done on the basic properties of a-SiN:H and a-SiC:H films. A series of study has also been done on the basic characteristics of the TFLED.

The authors also succeeded in the fabrication of TFLEDs that can emit the light having various patterns. This proved out that the TFLED can be used as a flat-panel display. The applications of the TFLED in an optical computer, optoelectronic-IC (OE-IC) have also been discussed.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญเรื่อง

	หน้า
<b>บทที่ 1 บทนำ</b> .....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อการวิจัย .....	1
1.1.1 สิ่งประดิษฐ์แสดงผลชนิดต่าง ๆ .....	1
1.1.2 การพัฒนาสิ่งประดิษฐ์แสดงผลชนิดบางเรียบ .....	3
1.1.3 การพัฒนาไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางจากวัสดุอะมอร์ฟัส สารกึ่งตัวนำ .....	4
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย .....	7
1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	7
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย .....	9
1.5 ขอบเขตของการวิจัย .....	11
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย .....	11
เอกสารอ้างอิง .....	13
 <b>บทที่ 2 คุณสมบัติเด่นและการใช้งานของวัสดุ a-SiH, a-SiN:H, a-SiC:H</b> .....	14
2.1 อะมอร์ฟัสคืออะไร .....	15
2.2 คุณสมบัติสำคัญของวัสดุอะมอร์ฟัส .....	15
2.3 คุณสมบัติเด่นของวัสดุฟิล์มบาง a-Si:H, a-SiN:H และ a-SiC:H .....	17
2.4 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานวัสดุ a-Si:H, a-SiN:H, a-SiC:H .....	22
เอกสารอ้างอิง .....	31
 <b>บทที่ 3 การผลิต a-SiN:H, a-SiC:H ด้วยวิธี Glow Discharge Plasma CVD</b> .....	32
3.1 โครงสร้างของระบบ Glow Discharge Plasma CVD .....	32
3.1.1 เครื่อง CVD .....	34
3.1.2 ระบบการจ่ายและควบคุมก๊าซ .....	38
3.2 ขั้นตอนการผลิต a-SiN:H และ a-SiC:H .....	42
 <b>บทที่ 4 การศึกษาคุณสมบัติทางโครงสร้างของ a-SiN:H</b> .....	47
4.1 การวัด Vibration Mode ด้วย Infrared Absorption Spectrum .....	47
4.1.1 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง IR และจำนวนโมเลกุลที่ ดูดกลืนแสง IR .....	52

## สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
4.2 การวัดจำนวน Spin density ใน a-SiN:H ด้วยวิธี Electron Spin Resonance (ESR) .....	61
4.2.1 วิธีการวัด ESR .....	61
4.2.2 ผลการวัด ESR ของ a-SiN:H .....	71
เอกสารอ้างอิง .....	71
<b>บทที่ 5 การศึกษาคุณสมบัติทาง Chemical Bonding ของ a-SiN:H ด้วยวิธี ESCA</b>	<b>78</b>
5.1 หลักการทำงานพื้นฐานของ ESCA .....	78
5.1.1 การปล่อยโฟโตอิเล็กตรอนและ Chemical Shift .....	78
5.1.2 Escape Depth ของอิเล็กตรอนและ Surface Sensitivity .....	81
5.1.3 เปรียบเทียบกับวิธี Surface Analysis อื่น ๆ .....	81
5.2 รายละเอียดเกี่ยวกับเครื่องมือ ESCA ในงานวิจัย .....	81
5.3 ผลการวัดสเปกตรัม ESCA ของ a-SiN:H .....	91
<b>บทที่ 6 การศึกษาขนาดช่องว่างพลังงานของ a-SiN:H สำหรับใช้เป็นชั้นเปล่งแสงในไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบาง</b> .....	<b>96</b>
6.1 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับโมเดลแถบพลังงานของอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำ .....	96
6.1.1 Electronic Structure ของอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำตระกูล Tetrahedral และตระกูล Chalcogenide .....	96
6.1.2 Band Model .....	98
6.2 ทฤษฎีการดูดกลืนแสงและการกำหนดช่องว่างพลังงานของวัสดุอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำ .....	100
6.2.1 การดูดกลืนแสงย่าน A (High Absorption Region) .....	104
6.2.2 การดูดกลืนแสงย่าน B (Exponential Part) .....	104
6.2.3 การดูดกลืนแสงย่าน C (Weak Absorption Tail) .....	106
6.3 ผลการวัดสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงและช่องว่างพลังงานของ a-SiN:H ..	106
เอกสารอ้างอิง .....	114
<b>บทที่ 7 การศึกษาคุณสมบัติการเปล่งแสงแบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์ (PL) ของ a-SiN:H</b> .....	<b>115</b>
7.1 วิธีการวัดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของ a-SiN:H .....	115



## สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
7.2 ผลการวัดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของ $a\text{-SiN:H}$ .....	115
7.3 การขึ้นกับความยาวคลื่นของแสงที่ใช้กระตุ้น PL .....	121
7.4 อิทธิพลของสนามไฟฟ้าที่มีต่อความเข้มของ PL ของ $a\text{-SiN:H}$ .....	124
<b>บทที่ 8 การเตรียม <math>a\text{-SiC:H}</math> สำหรับใช้เป็นชั้นฉีดพาหะในไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบาง (TFLED) .....</b>	<b>127</b>
8.1 ขนาดช่องว่างพลังงานของ $a\text{-SiC:H}$ .....	127
8.2 การได้ $a\text{-SiC:H}$ ให้เป็นชนิด p และ n .....	127
<b>บทที่ 9 การออกแบบและการผลิตไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางรอยต่อ <math>p\text{-}a\text{-SiC:H/i}\text{-}a\text{-SiN:H/n}\text{-}a\text{-SiC:H}</math> .....</b>	<b>133</b>
9.1 โครงสร้างพื้นฐานของไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบาง (TFLED) .....	133
9.2 วิธีการประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสงฟิล์มบางของ $a\text{-SiN:H}$ .....	136
<b>บทที่ 10 ลักษณะสมบัติพื้นฐานของไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบาง (TFLED) รอยต่อ <math>p\text{-}a\text{-SiC:H/i}\text{-}a\text{-SiN:H/n}\text{-}a\text{-SiC:H}</math> .....</b>	<b>139</b>
10.1 ลักษณะสมบัติ J-V และกลไกการฉีดพาหะใน $a\text{-SiN:H}$ TFLED .....	139
10.2 สเปกตรัมการเปล่งแสงของ $a\text{-SiN:H}$ TFLED .....	144
10.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างและกระแสไฟฟ้า .....	147
10.3.1 ผลการวัดความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างและกระแสไฟฟ้า .....	150
10.3.2 การวิเคราะห์กลไกการฉีดพาหะและกลไกการรวมตัวของพาหะใน $a\text{-SiN:H}$ TFLED .....	154
<b>บทที่ 11 การหาค่าความหนาที่เหมาะสมของชั้น i ใน <math>a\text{-SiN:H}</math> TFLED .....</b>	<b>162</b>
11.1 การออกแบบทางทฤษฎีเพื่อกำหนดค่าความหนาที่เหมาะสมของชั้น i .....	162
11.2 ผลการทดลองผลิต $a\text{-SiN:H}$ TFLED ที่มีความหนาของชั้น i ค่าต่าง ๆ ....	166
<b>บทที่ 12 การขึ้นกับความถี่ของกระแสไฟฟ้าพัลส์ของความสว่างของ <math>a\text{-SiN:H}</math> TFLED .....</b>	<b>169</b>
12.1 ผลตอบสนอง wave form ของแสงเอาร์ทพุทที่มีต่อกระแสไฟฟ้าพัลส์ .....	169

## สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
12.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของกระแสไฟฟ้าพัลส์และความสว่างของ a-SiN:H TFLED .....	172
<b>บทที่ 13 การผลิต a-SiN:H TFLED ที่เปล่งแสงเป็นรูปร่างต่าง ๆ สำหรับใช้งาน เป็นดิสเพลย์และการใช้งานในออปโตอิเล็กทรอนิกส์ .....</b>	<b>176</b>
13.1 การประดิษฐ์ a-SiN:H TFLED ที่เปล่งแสงภาพนิ่ง .....	176
13.1.1 การสร้าง pattern ของภาพด้วยขั้วโลหะ Al .....	178
13.1.2 การสร้าง pattern ของภาพด้วยขั้วโปร่งแสง ITO .....	179
13.2 การออกแบบ TFLED ที่สามารถเปล่งแสงภาพเคลื่อนไหวได้ .....	183
13.3 การใช้งาน TFLED ในออปโตอิเล็กทรอนิกส์ .....	187
<b>บทที่ 14 สรุป .....</b>	<b>190</b>
<b>ภาคผนวก ก) ซอฟต์แวร์สำหรับการวัดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างและ กระแสไฟฟ้าฉีดเข้า TFLED อย่างอัตโนมัติ .....</b>	<b>194</b>
ข) ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ผลการวิจัยและการจดสิทธิบัตร .....	199
ค) ปัญหาที่ประสบ .....	203
ง) โครงการที่กำลังและจะดำเนินการต่อไปในเฟสที่ 2 ในเรื่องเกี่ยวกับการ พัฒนาไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางและการประยุกต์ใช้งาน .....	204
จ) รางวัลนักวิทยาศาสตร์อาเซียนดีเด่นรุ่นใหม่จากผลงานการคิดค้นในงาน วิจัยเรื่องนี้ .....	206

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1	ข้อเสียของสิ่งประดิษฐ์แสดงผลชนิด CRT ..... 3
ตารางที่ 1.2	ข้อดีเด่นของไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบาง (TFLED) ชนิดอะมอร์ฟัส สารกึ่งตัวนำ ..... 4
ตารางที่ 1.3	เปรียบเทียบข้อมูลทางเทคนิคของสิ่งประดิษฐ์แสดงผลชนิด flat-panel ชนิดต่าง ๆ ..... 5
ตารางที่ 2.1	หน้าที่และการใช้งานฟิล์มบาง a-SiN:H ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ต่าง ๆ จนถึงปัจจุบัน ..... 29
ตารางที่ 2.2	หน้าที่และการใช้งานฟิล์มบาง a-SiC:H ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ต่าง ๆ จนถึงปัจจุบัน ..... 30
ตารางที่ 3.1	รายละเอียดของเครื่อง glow discharge plasma CVD ที่ติดตั้งในงานวิจัยนี้ ..... 38
ตารางที่ 3.2	แผ่นฐานที่ใช้ในการปลูกฟิล์ม a-SiN:H, a-SiC:H ..... 43
ตารางที่ 3.3	เงื่อนไขโดยสรุปของการปลูกฟิล์ม a-SiN:H และ a-SiC:H ด้วยวิธี glow discharge plasma CVD ..... 46
ตารางที่ 4.1	วิธีการคำนวณปริมาณของชุดอะตอมที่สั้นด้วย vibration mode ต่าง ๆ ในหนึ่งหน่วยปริมาตร ..... 56
ตารางที่ 4.2	สรุปข้อมูลสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ peak มีค่าสูงสุด และ concentration ของชุดอะตอมของ Si-N, Si-H และ N-H ที่มีอยู่ในฟิล์ม a-SiN:H ซึ่งผลิตด้วยเงื่อนไขอัตราส่วนก๊าซ NH <sub>3</sub> /(SiH+ NH <sub>3</sub> ) ต่าง ๆ กัน ..... 59
ตารางที่ 4.3	รายละเอียดของเครื่องวัด ESR รุ่น JES-RE2X ..... 69
ตารางที่ 5.1	เปรียบเทียบคุณสมบัติทั่วไปของการวิเคราะห์ผิวของวัสดุด้วยวิธีการต่าง ๆ ..... 82
ตารางที่ 8.1	เงื่อนไขการปลูกฟิล์ม a-SiC:H ชนิด p และ n ด้วยวิธี glow discharge plasma CVD ..... 128
ตารางที่ 9.1	เงื่อนไขการปลูกฟิล์ม p a-SiC:H/i a-SiN:H/n a-SiC:H สำหรับ TFLED ..... 137

## สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง concentration (จำนวนต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร) ของ ชุดอะตอม Si-H, Si-N, N-H ที่มีอยู่ในฟิล์ม a-SiN:H และอัตราส่วน ก๊าซ $\text{NH}_3/(\text{SiH}_4 + \text{NH}_3)$ ที่ใช้ในการปลูกฟิล์ม .....	60
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างของโฟโตลูมิเนสเซนส์ และจำนวนของแขน ขาดในพันธะอะตอม (วัดจาก ESR spin density) ในกรณีฟิล์ม a-Si:H (จากเอกสารอ้างอิง [ 5 ]) .....	62
รูปที่ 4.10 ตัวอย่างกลไกชนิดต่าง ๆ ของการรวมตัวของพาหะทั้งแบบ radiative และ แบบ non-radiative ในวัสดุตระกูลอะมอร์ฟัสซิลิกอน .....	62
รูปที่ 4.11 โมเดลสำหรับการรวมตัวของพาหะทั้งแบบ radiative และ non-radiative ของพาหะในแถบพลังงานต้องห้ามในวัสดุตระกูลอะมอร์ฟัสซิลิกอน .....	63
รูปที่ 4.12 การเกิดสปินโดยการหมุนรอบตัวเองของอิเล็กตรอน .....	65
รูปที่ 4.13 ลักษณะของการเกิดอิเล็กตรอนไร้คู่ ซึ่งเป็นแขนขาด (lone pair electron หรือ dangling bond) ในอะมอร์ฟัสซิลิกอน .....	65
รูปที่ 4.14 การเกิดปรากฏการณ์ Zeeman ในสารกึ่งตัวนำ โดยระดับพลังงานของอิเล็ก- ตรอนจะถูกแยกออกเป็นหลายระดับเมื่อมีสนามแม่เหล็กมากระทำ .....	66
รูปที่ 4.15 แขนขาดชนิดต่าง ๆ .....	66
รูปที่ 4.16 ภาพถ่ายของเครื่องวัด ESR ที่ใช้ในงานวิจัย ยี่ห้อ JEOL รุ่น JES-RE2X ติดตั้งอยู่ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย .....	68
รูปที่ 4.17 หลักการทำงานของเครื่องวัด ESR ที่ใช้ในงานวิจัย .....	68
รูปที่ 4.18 ภาพถ่ายของชิ้นงาน a-SiN:H (มีกระจกเป็นแผ่นฐาน) ที่ตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ และบรรจุลงใน quartz tube .....	70
รูปที่ 4.19 ลักษณะการเลียบ Marker วัสดุ $\text{Mn}^{2+}$ ลงใน cavity ของเครื่องวัด ESR .	70
รูปที่ 4.20 สัญญาณสเปกตรัม ESR ของ $\text{Mn}^{2+}$ ซึ่งปรากฏ 6 ครั้งด้วยกัน .....	72
รูปที่ 4.21 สเปกตรัม ESR ของ a-SiN:H ที่ปลูกจากก๊าซอัตราส่วน $\text{NH}_3/(\text{SiH}_4 +$ $\text{NH}_3) = 0.5$ สัญญาณตรงกลางเป็นของ a-SiN:H ส่วนสัญญาณด้าน ขอบซ้ายและขวาเป็นของ Marker $\text{Mn}^{2+}$ ตัวที่ 3 และ 4 ตามลำดับ .....	72
รูปที่ 4.22 โครงสร้างโมเลกุลของ DPPH .....	73
รูปที่ 4.23 วิธีการกำหนดค่า g-value จากสเปกตรัม .....	73
รูปที่ 4.24 สรุปผลการวัดความสัมพันธ์ระหว่าง ESR spin density และอัตราส่วนก๊าซ $\text{NH}_3/(\text{SiH}_4 + \text{NH}_3)$ ที่ใช้ปลูกฟิล์ม a-SiN:H .....	75

## สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 ตัวอย่างสิ่งประดิษฐ์แสดงผลชนิดต่าง ๆ ที่พัฒนามาถึงปัจจุบัน(ยังไม่รวม TFLED ที่พัฒนาเป็นครั้งแรกในโลกในงานวิจัยนี้) .....	2
รูปที่ 1.2 ตัวอย่างการออกแบบและผลิตจอโทรทัศน์แบบ LCD ที่มีลักษณะแบบเรียบและแว่นที่ฝ้าผนังได้คล้ายกรอบรูปภาพ ซึ่งในอนาคตผู้วิจัยมีเป้าหมายต้องการพัฒนาไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบาง (TFLED) จากวัสดุอะมอร์ฟัสให้มีรูปร่างดังแสดงในรูปนี้ .....	6
รูปที่ 1.3 ลักษณะโครงสร้างของไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางที่เสนอประดิษฐ์ในงานวิจัยนี้ นับเป็นสิ่งประดิษฐ์ชนิดใหม่ของโลก มีรอยต่อของ p a-SiC:H/ i a-SiN:H/n a-SiC:H .....	8
รูปที่ 1.4 เนื้อหาโครงสร้างของงานวิจัยเรื่องนี้ .....	10
รูปที่ 1.5 ขั้นตอนการประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางรอยต่อ p a-SiC:H/ i a-SiN:H/n a-SiC:H .....	11
รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบความแตกต่างของโครงสร้างการเรียงตัวของอะตอมผลึกเดี่ยวซิลิกอน (a) และอะมอร์ฟัสซิลิกอน (b) .....	16
รูปที่ 2.2 ขนาดช่องว่างพลังงานของวัสดุอะมอร์ฟัสชนิดต่าง ๆ .....	19
รูปที่ 2.3 คุณสมบัติเด่นของสารกึ่งตัวนำอะมอร์ฟัสซิลิกอนอัลลอยต่าง ๆ เช่น a-Si:H, a-SiN:H, a-SiC:H, a-SiGe:H .....	20
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอนซึ่งสร้างบนแผ่นฐานที่โค้งงอได้ .....	21
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างกระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติและต่อเนื่องของเซลล์แสงอาทิตย์อะมอร์ฟัสซิลิกอน .....	21
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน .....	25
รูปที่ 2.7 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอนที่คณะผู้วิจัยผลิตได้สำเร็จที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย .....	25
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการใช้ a-Si:H Thin Film Transistor (TFT) เป็นสวิตช์ในจอภาพแบบผลึกเหลว (LCD) .....	27
รูปที่ 2.9 ตัวตรวจวัดสีของแสงสีต่าง ๆ ที่ผลิตโดยคณะผู้วิจัย ที่คณะวิศวฯ จุฬาฯ ..	27
รูปที่ 2.10 ตรีมในเครื่องถ่ายภาพเอกสารซึ่งผลิตจากการเคลือบ a-Si:H ลงรอบ ๆ ท่อสแตนเลส .....	28
รูปที่ 3.1 แผนผังของระบบ glow discharge plasma CVD ที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้	33



## สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.2	ภาพถ่ายโดยรวมของระบบ CVD ที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ติดตั้งอยู่ที่ชั้น 5 ตึกไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ..... 35
รูปที่ 3.3	ภาพถ่ายตัว Chamber ของระบบ CVD ..... 35
รูปที่ 3.4	โครงสร้างของเครื่อง CVD ที่ติดตั้งในงานวิจัย ..... 36
รูปที่ 3.5	วงจรสมมูลของ matching box ในระบบ CVD ..... 36
รูปที่ 3.6	ภาพถ่ายลักษณะของขั้ว anode ซึ่งมีรูพรุนให้ก๊าซวิ่งผ่านลงสู่ susceptor จริง สม่ำเสมอตลอดพื้นที่ ..... 37
รูปที่ 3.7	ภาพถ่ายขณะกำลังทำการ discharge ก๊าซซิลิโคน ( $\text{SiH}_4$ ) ..... 37
รูปที่ 3.8	แผนภูมิวงจรไฟฟ้าสำหรับป้อนไฟฟ้าให้ heater และวัดอุณหภูมิด้วย thermocouple ..... 39
รูปที่ 3.9	วงจรไฟฟ้าของเครื่องกำเนิด RF power ความถี่ 13.56 MHz ..... 40
รูปที่ 3.10	ภาพถ่ายลักษณะการติดตั้งถังก๊าซและ regulator ..... 41
รูปที่ 3.11	ภาพถ่ายขณะกำลังเตรียมการวางแผ่นฐานชนิดกระจกลงบน susceptor .. 41
รูปที่ 3.12	ขั้นตอนการผลิต a-SiC:H, a-SiN:H ด้วยวิธี glow discharge plasma CVD 42
รูปที่ 3.13	ภาพถ่ายตัวอย่างฟิล์ม a-SiN:H ที่เคลือบบนแผ่นฐานชนิดกระจก ปริมาณ อะตอม N เพิ่มจากซ้ายไปขวา ..... 44
รูปที่ 3.14	อัตราความเร็วการเติบโต (growth rate) ของฟิล์ม a-SiN:H ..... 45
รูปที่ 4.1	ภาพถ่ายชิ้นงาน a-SiN:H ที่เคลือบบนแผ่นฐานผลึก Si และ holder สำหรับ ใช้วัด Infrared absorption ..... 49
รูปที่ 4.2	ภาพถ่ายเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ใช้ในงานวิจัย ..... 49
รูปที่ 4.3	ผลการวัดสเปกตรัมการทะลุผ่านแสงอินฟราเรด (T %) ของฟิล์ม a-Si:H 50
รูปที่ 4.4	ผลการวัดสเปกตรัมการทะลุผ่านแสงอินฟราเรด (T %) ของฟิล์ม a-SiN:H 51
รูปที่ 4.5	หลักการวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง ( $\alpha$ ) จากค่าการทะลุผ่านแสง อินฟราเรด ..... 53
รูปที่ 4.6	สเปกตรัมสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงอินฟราเรดของ a-SiN:H พารามิเตอร์ ในรูปคือ อัตราส่วนของก๊าซ $\text{NH}_3/(\text{NH}_3 + \text{SiH}_4)$ ..... 53
รูปที่ 4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงอินฟราเรดโดย vibration mode ต่าง ๆ ของ a-SiN:H และอัตราส่วนของก๊าซ $\text{NH}_3/(\text{SiH}_4 + \text{NH}_3)$ .. 54

## สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.25	สรุปผลการวัดความสัมพันธ์ระหว่าง g-value และอัตราส่วนก๊าซ $\text{NH}_3/(\text{SiH}_4 + \text{NH}_3)$ ที่ใช้ปลูกฟิล์ม a-SiN:H ..... 76
รูปที่ 5.1	กระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการวิเคราะห์ photoelectron spectroscopy ..... 79
รูปที่ 5.2	กระบวนการที่แสดงถึงการที่ photoelectron เดินทางขึ้นไปถึงผิวบนของวัสดุ หลังถูกกระตุ้นด้วยแสง X-ray ..... 83
รูปที่ 5.3	เปรียบเทียบย่านพลังงานของ photoelectron ที่ต้องวัด เพื่อศึกษาคุณสมบัติของผิววัสดุในวิธีการต่าง ๆ ..... 84
รูปที่ 5.4	ภาพถ่ายเครื่องมือ ESCA ที่ใช้ในงานวิจัย ชื่อ JEOL รุ่น JPS-9000 ติดตั้งอยู่ที่ตึก 3 ชั้น 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ ..... 85
รูปที่ 5.5	โครงสร้างของ test chamber ในเครื่อง ESCA ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญ คือ holder จับชิ้นงาน หลอด X-ray และหัวตรวจวัดโฟโตอิเล็กตรอน ..... 86
รูปที่ 5.6	โครงสร้างของระบบสุญญากาศและระบบจ่ายก๊าซในเครื่อง ESCA ด้านซ้ายของ test chamber มี ion gun สำหรับกัดผิวของชิ้นงานเพื่อดู depth profile ..... 87
รูปที่ 5.7	โครงสร้างของอุปกรณ์ ion gun ..... 87
รูปที่ 5.8	โครงสร้างของเครื่อง ESCA ทั้งระบบ ..... 88
รูปที่ 5.9	ผลการวัดสเปกตรัมของ ESCA ของฟิล์ม a-SiN:H ที่ปลูกด้วยเงื่อนไขอัตราส่วนก๊าซ $\text{NH}_3/(\text{SiH}_4 + \text{NH}_3) = 0.5$ ..... 92
รูปที่ 5.10	ผลการวัดสเปกตรัมของ ESCA ของฟิล์ม a-SiN:H โดยทำการวัดหลังกัดผิวของฟิล์มด้วยเวลาต่าง ๆ (30 วินาที ถึง 1 นาที 30 วินาที) (depth profile) หลังการกัดนาน ๆ พบว่า peak ของออกไซด์มีขนาดลดลง ..... 93
รูปที่ 5.11	สรุปความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์จำนวนของอะตอมธาตุต่าง ๆ ในฟิล์ม a-SiN:H และเวลาที่ใช้ในการกัดผิวฟิล์ม (depth profile) ..... 94
รูปที่ 6.1	โครงสร้างและ electronic states ของอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำตระกูล tetrahedrally-bonded Si (a) และตระกูล chalcogenide-bonded Se (b) ..... 97
รูปที่ 6.2	เปรียบเทียบลักษณะแถบพลังงานบริเวณ band edge ของผลึกสารกึ่งตัวนำ (a) และอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำ (b) ..... 99
รูปที่ 6.3	ลักษณะแถบพลังงานของอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำ กรณี a-Si (ไม่มีไฮโดรเจน) (a) และ a-Si:H (มีไฮโดรเจน) (b) ..... 101
รูปที่ 6.4	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำทั่วไป ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ย่านใหญ่ ๆ ..... 103

## สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 6.5 การ transition ของอิเล็กตรอนระหว่าง localized states และ delocalized states (ตรงกับกรณี C ในรูป) .....	107
รูปที่ 6.6 ตัวอย่างผลการวัดสเปกตรัมสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงในย่าน C ของวัสดุ a-SiC:H .....	108
รูปที่ 6.7 สเปกตรัมสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงในย่าน A (band edge) ของฟิล์มบาง a-SiN:H ชนิด undoped โดยพารามิเตอร์ x ในรูปคือ อัตราส่วนก๊าซ $\text{NH}_3/(\text{NH}_3 + \text{SiH}_4)$ .....	110
รูปที่ 6.8 Tauc's plot ( $(\alpha h\nu)^{1/2}$ vs $h\nu$ ) ของ a-SiN:H ชนิด undoped เพื่อ กำหนดค่าช่องว่างพลังงาน (optical energy gap : $E_{\text{opt}}$ ) พารามิเตอร์ x ในรูปคือ อัตราส่วนก๊าซ $\text{NH}_3/(\text{NH}_3 + \text{SiH}_4)$ .....	111
รูปที่ 6.9 การขึ้นกับอัตราส่วนก๊าซ $\text{NH}_3/(\text{NH}_3 + \text{SiH}_4)$ ของช่องว่างพลังงาน สำหรับฟิล์มบาง a-SiN:H ชนิด undoped .....	112
รูปที่ 6.10 การขึ้นกับอัตราส่วนก๊าซ $\text{NH}_3/(\text{NH}_3 + \text{SiH}_4)$ ของ B value สำหรับ ฟิล์ม a-SiN:H ชนิด undoped .....	113
รูปที่ 7.1 แผนภูมิวิธีการวัดสเปกตรัมของโฟโตลูมิเนสเซนซ์ โดยใช้แสงความยาว คลื่น 365 nm เป็นแสงกระตุ้น .....	116
รูปที่ 7.2 ผลการวัดสเปกตรัมโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของ a-SiN:H ที่มีช่องว่างพลังงาน ระหว่าง 2.07 eV วัดที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้แสง 365 nm เป็นแสงกระตุ้น .....	117
รูปที่ 7.3 ความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างพลังงาน และ peak energy ของสเปกตรัม โฟโตลูมิเนสเซนซ์ของ a-SiN:H ที่วัดที่อุณหภูมิห้อง .....	118
รูปที่ 7.4 ความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างพลังงาน peak energy ของสเปกตรัม PL และอัตราส่วนก๊าซ x ที่ใช้ปลูกฟิล์ม a-SiN:H .....	119
รูปที่ 7.5 ลักษณะการกระตุ้น PL และการรวมตัวแบบเปล่งแสงของพาหะใน a-SiN:H .....	120
รูปที่ 7.6 สเปกตรัมโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของ a-SiN:H ซึ่งในการวัดได้กระตุ้นด้วยแสง ที่มีพลังงานโฟตอนค่าต่าง ๆ โดยวัดที่อุณหภูมิห้อง ช่องว่างพลังงานของ a-SiN:H ในรูปคือ 2.50 eV .....	122
รูปที่ 7.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ายอดพลังงานของสเปกตรัมโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของ a-SiN:H และพลังงานโฟตอนของแสงที่ใช้กระตุ้นฟิล์ม a-SiN:H ในรูปที่ 4 ตัวอย่าง ซึ่งมีช่องว่างพลังงาน ( $E_{\text{opt}}$ ) ต่าง ๆ กันคือ 2.14, 2.37, 2.50 และ 2.90 eV ซึ่งชี้ค่าพลังงานโดยลูกศร .....	123

## สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 7.8 การเปล่งแสงโฟโตลูมิเนสเซนซ์จาก a-SiN:H ในกรณี (a) ไม่มีสนามไฟฟ้า (b) มีสนามไฟฟ้าไบแอสฟิล์ม .....	125
รูปที่ 7.9 ผลการวัดความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้าที่ไบแอสฟิล์ม a-SiN:H และความเข้ม (intensity) ของโฟโตลูมิเนสเซนซ์ ในรูปแสดงกรณี a-SiN:H ที่มีช่องว่างพลังงาน 2.13 eV และ 2.60 eV .....	126
รูปที่ 8.1 สเปกตรัมสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงในย่าน band edge ของ a-SiC:H ชนิด undoped พารามิเตอร์ในรูปคือ อัตราส่วนก๊าซ $x = \text{CH}_4 / (\text{CH}_4 + \text{SiH}_4)$ ที่ใช้ปลูกฟิล์ม .....	129
รูปที่ 8.2 Tauc's plot $((\alpha h\nu)^{1/2} \text{ vs } h\nu)$ ของ a-SiC:H เพื่อกำหนดช่องว่างพลังงาน .....	130
รูปที่ 8.3 ความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างพลังงานของ a-SiC:H และอัตราส่วนก๊าซ $x = \text{CH}_4 / (\text{CH}_4 + \text{SiH}_4)$ ที่ใช้ปลูกฟิล์ม .....	131
รูปที่ 8.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง dark conductivity และช่องว่างพลังงานของ a-SiC:H ชนิด p .....	132
รูปที่ 9.1 โครงสร้างพื้นฐานของไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบาง (TFLED) ชนิด a-SiN:H ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัย (a) ภาพตัดขวาง และ (b) ภาพแบบ 3 มิติ .....	134
รูปที่ 9.2 ลักษณะแถบพลังงานของ TFLED ชนิด a-SiN:H .....	135
รูปที่ 9.3 ขั้นตอนการผลิต TFLED ชนิด a-SiN:H .....	136
รูปที่ 9.4 ภาพถ่าย TFLED ชนิด a-SiN:H ที่ผลิตบนแผ่นกระจกขนาด $2 \times 2 \text{ cm}^2$ พื้นที่การเปล่งแสงมีขนาดตามขั้ว Al รูปร่างกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 mm .....	138
รูปที่ 10.1 ภาพถ่ายชุดเครื่องมือสำหรับวัดลักษณะสมบัติไดโอด (J-V) ของ TFLED .....	140
รูปที่ 10.2 ตัวอย่างผลการวัดลักษณะสมบัติ J-V ของ a-SiN:H TFLED ซึ่งเปล่งแสงสีแดง ( $E_{\text{opt}}$ ของชั้น i = 2.50 eV และสีเหลือง ( $E_{\text{opt}}$ ของชั้น i = 2.90 eV) .....	141
รูปที่ 10.3 ลักษณะสมบัติ J-V ของ a-SiN:H TFLED ซึ่งเปล่งแสงสีแดง และ inset ในรูปเป็น plot ของ $\log(J/V^2) \text{ vs } 1/V$ ในกรณีไบแอสตาม .....	143
รูปที่ 10.4 แผนผังวิธีการวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงจาก TFLED โดยใช้เทคนิคของ monochromator และ lock-in amplifier (a) และภาพถ่ายแสดงเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการวัด (b) .....	146

## สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 10.5 สเปกตรัมการเปล่งแสงจาก a-SiN:H TFLED ที่เปล่งแสงสีแดง และสีเหลือง วัดที่อุณหภูมิห้อง .....	148
รูปที่ 10.6 แผนภูมิแถบพลังงานของ a-SiN:H TFLED ขณะกำลังถูกไบแอสตามและฉีดพาหะ $E_{x1}$ ในรูปแสดงความแตกต่างของระดับพลังงานของอิเล็กตรอน และโฮลที่ถูกกระตุ้นให้ TFLED เปล่งแสง .....	149
รูปที่ 10.7 ระบบเครื่องมือที่ใช้วัดความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างของ TFLED และกระแสไฟฟ้าฉีดซึ่งมีคอมพิวเตอร์ควบคุมการวัดได้อย่างอัตโนมัติ โดยรูป (a) แผนผังวิธีการวัด (b) ภาพถ่ายเครื่องมือรูปอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ และ (c) ภาพถ่ายกล่องบรรจุ TFLED เพื่อติดตั้งในการวัด .....	152
รูปที่ 10.8 ภาพถ่ายเครื่องมือวัดความสว่าง (brightness meter) ของดิสเพลย์บางเรียบ ให้ผลการวัดมีหน่วยเป็น $\text{cd}/\text{m}^2$ .....	153
รูปที่ 10.9 ผลการวัดความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างของ a-SiN:H TFLED และกระแสไฟฟ้าฉีด ในรูปเป็นกรณี TFLED สีแดง ( $i E_{\text{opt}} = 2.50 \text{ eV}$ ) และสีเหลือง ( $i E_{\text{opt}} = 2.90 \text{ eV}$ ) ทำการวัดที่อุณหภูมิห้อง .....	155
รูปที่ 10.10 โมเดลการเกิด Pool-Frenkel effect ซึ่งพาหะถูกกระตุ้นให้แยกจากกันด้วยสนามไฟฟ้า ทำให้ recombination rate ลดลง .....	156
รูปที่ 10.11 แผนภูมิแถบพลังงานของ a-SiN:H TFLED ให้ตำแหน่งของ p/i interface อยู่ที่ $x = 0$ และตำแหน่งของ i/n interface อยู่ที่ $x = d$ .....	156
รูปที่ 10.12 ลักษณะของ localized states ใกล้แถบคอนดักชันและแถบวาเลนซ์ ซึ่งมีรูปร่างเป็น exponential bandtails ในรูป $\alpha_c$ และ $\alpha_v$ เรียกว่า dispersive parameters และมีค่าระหว่าง 0-1 .....	160
รูปที่ 10.13 โมเดลความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างของ a-SiN:H TFLED และกระแสไฟฟ้าฉีด ความลาดของกราฟประเมินว่ามีค่าประมาณ 1-1.1 ซึ่งให้ผลใกล้เคียงผลการทดลองในรูปที่ 10.9 .....	160
รูปที่ 11.1 โครงสร้างพื้นฐานของไดโอดเปล่งแสงชนิดฟิล์มบางของอะมอร์ฟิซิลิกอนไนไตรด์/อะมอร์ฟิซิลิกอนคาร์ไบด์ .....	163
รูปที่ 11.2 การขึ้นกับความหนาของชั้น i ของความสว่างของ TFLED .....	165
รูปที่ 11.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างของ TFLED และความหนาของชั้น i สำหรับ a-SiN:H TFLED ที่เปล่งแสงสีแดง ทำการเปรียบเทียบกันขณะฉีดกระแสไฟฟ้าเข้า TFLED $1200 \text{ mA}/\text{cm}^2$ .....	167



## สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 11.4 ลักษณะสมบัติไดโอด (J-V) ของ a-SiN:H TFLED ที่มีชั้น i มีความหนาต่าง ๆ กัน .....	168
รูปที่ 12.1 แผนภูมิแสดงวิธีการวัดลักษณะ wave form ของความสว่าง (light output) ของ a-SiN:H TFLED เมื่อถูกฉีดด้วยกระแสไฟฟ้าแบบพัลส์สี่เหลี่ยม .....	170
รูปที่ 12.2 ลักษณะ wave form ของ light output จาก a-SiN:H TFLED สี่เหลี่ยม เมื่อถูกฉีดด้วยกระแสไฟฟ้าแบบพัลส์สี่เหลี่ยมจาก (a)-(d) พัลส์มีความถี่ 500 Hz, 2.5 kHz, 5 kHz และ 25 kHz และ duty cycle มีค่า 50 % .....	171
รูปที่ 12.3 แผนภูมิแสดงวิธีการวัดความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างของ TFLED และความถี่ของกระแสไฟฟ้าพัลส์ duty cycle เท่ากับ 50 % .....	173
รูปที่ 12.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างของ a-SiN:H TFLED สี่เหลี่ยมและความถี่ของกระแสไฟฟ้าพัลส์ ทำการวัดที่อุณหภูมิห้องและควบคุมให้อัมพลิจูดของกระแสไฟฟ้าพัลส์คงที่ที่ 150 mA/cm <sup>2</sup> .....	174
รูปที่ 13.1 ภาพตัดขวางแสดงโครงสร้างของ TFLED ที่เปล่งแสงภาพนิ่ง .....	177
รูปที่ 13.2 ภาพถ่ายของแผ่นโลหะ mask สำหรับการเคลือบขั้ว Al .....	179
รูปที่ 13.3 ภาพถ่ายของ a-SiN:H TFLED ขณะที่ยังไม่เปล่งแสง โดยมี Al เป็นขั้วรูปวงกลม (a) และรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (b) .....	180
รูปที่ 13.4 ภาพถ่ายของ a-SiN:H TFLED ที่กำลังเปล่งแสงสี่แดงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 3x5 mm <sup>2</sup> .....	180
รูปที่ 13.5 ภาพถ่ายของ a-SiN:H TFLED ที่กำลังเปล่งแสงรูปวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 mm. และให้แสงสีต่าง ๆ (a) สีแดง (b) สีเหลือง (c) สีเขียว และ (d) สีขาว .....	181
รูปที่ 13.6 ขั้นตอนการประดิษฐ์ TFLED ที่เปล่งแสงมี pattern ตาม pattern ของขั้ว ITO .....	182
รูปที่ 13.7 ภาพตัวอย่าง mask ที่ใช้ในกระบวนการ photolithography สำหรับกัด ITO ให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ .....	184
รูปที่ 13.8 ภาพถ่าย a-SiN:H TFLED ขณะที่ยังไม่เปล่งแสง (a) และขณะกำลังเปล่งแสงสีขาวน้ำเงิน (b) ตัวอักษรมีความสูงประมาณ 6 mm. ....	184
รูปที่ 13.9 โครงสร้างของ TFLED ที่มีขั้ว ITO และ Al เป็น matrix .....	185

## สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 13.10 โครงสร้างของ TFLED ที่มีขั้ว ITO และ Al เป็น matrix และตัวอย่าง การใช้วงจร scanning ภาพให้ได้ภาพเคลื่อนไหว .....	186
รูปที่ 13.11 ตัวอย่าง combination ระหว่างสิ่งประดิษฐ์เปล่งแสงและรับแสงที่ผลิตจาก อะมอร์ฟิสเพื่อประกอบเป็น functional elements ต่าง ๆ (a) optical switch, (b) photocoupler และ (c) optical amplifier .....	188
รูปที่ 13.12 ตัวอย่างสิ่งประดิษฐ์ multi-layer ที่ใช้วัสดุอะมอร์ฟิสล้วน ๆ ซึ่งมีประโยชน์ ในงาน optical computer และ neural network ชนิดต่าง ๆ .....	189



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย

CVD	: Chemical Vapor Deposition	
a-SiGe:H	: Hydrogenated amorphous silicon carbide	
a-SiN:H	: Hydrogenated amorphous silicon nitride	
a-SiGe:H	: Hydrogenated amorphous silicon germanium	
a-SiSn:H	: Hydrogenated amorphous silicon tin	
ITO	: Indium Tin Oxide	
RF power	: Radio frequency power (13.56 MHz)	
SiH <sub>4</sub>	: Silane gas	
NH <sub>3</sub>	: Ammonia gas	
CH <sub>4</sub>	: Methane gas	
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	: Ethylene gas	
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	: Acetylene gas	
B <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	: Diborane gas	
PH <sub>3</sub>	: Phosphine gas	
N <sub>2</sub>	: Nitrogen gas	
H <sub>2</sub>	: Hydrogen gas	
Ar	: Argon gas	
LED	: Light Emitting Diode	
TFLED	: Thin Film Light Emitting Diode	
E <sub>opt</sub>	: Optical energy gap	
E <sub>c</sub>	: conduction band edge	
E <sub>v</sub>	: Valence band edge	
E <sub>F</sub>	: Fermi level	
EB	: Electron Beam	
IC	: Integrated Circuit	
LSI	: Large Scale Integrated Circuit	
a-Se	: Amorphous selenium	
TFT	: Thin Film Transistor	
LCD	: Liquid Crystal Display	
IR	: Infrared	
α	: สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง	(1/cm)

$\omega$	: ความถี่เชิงมุม	(1/sec)
$N_A$	: ค่าคงที่อะโวการ์โด	
$K$	: wave number	( $\text{cm}^{-1}$ )
$\sigma$	: สภาพนำไฟฟ้า	( $\text{s.cm}^{-1}$ )
$n$	: ดัชนีหักเหแสง	
$C$	: ความเร็วแสง	
$E$	: พลังงานโฟตอน	(eV)
$E$	: สนามไฟฟ้า	(V/cm)
$h$	: ค่าคงที่ของ Planck	(J.sec)
ESR	: Electron Spin Resonance	
DPPH	: Diphenyl Picryl Hydrazyl	
Mn	: Manganese	
$H$	: Magnetic field (gauss)	
$n$	: ความหนาแน่นพาหะ	( $\text{cm}^{-3}$ )
$e$	: ประจุอิเล็กตรอน	(C)
$K$	: ค่าคงที่โบลซ์แมน	(J/K)
$T$	: อุณหภูมิสัมบูรณ์	(K)
$\sigma_D$	: Dark-conductivity	( $\text{S.cm}^{-1}$ )
$T_s$	: Substrate temperature	( $^{\circ}\text{C}$ )
$h\nu$	: พลังงานโฟตอน	(eV)
$J$	: Current density	( $\text{A/cm}^2$ )
$\tau$	: เวลาอายุพาหะ	(sec)
$\lambda$	: ความยาวคลื่นแสง	
PL	: Photoluminescence	
EL	: Electroluminescence	
$E_{\text{opt}}$	: Optical energy gap	(eV)
$\Delta E_c$	: conduction band discontinuity	(eV)
$\Delta E_v$	: valence band discontinuity	(eV)
$\phi_B$	: barrier height for tunneling	(eV)
$d$	: i-layer thickness	( $\text{\AA}$ )
$V$	: applied voltage	(V)
$n(x)$	: electron density at position x	( $1/\text{cm}^3$ )

$p(x)$	: hole density at position x	$(1/\text{cm}^3)$
B	: brightness	$(\text{cd}/\text{m}^2)$
$m_e^*$	: effective mass of electron	(-)
$m_h^*$	: effective mass of hole	(-)
$\gamma_p$	: hole range	$(\mu\text{m})$
$\mu_n$	: electron mobility	$(\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s})$
$\mu_p$	: hole mobility	$(\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s})$
$\tau_p$	: nonradiative recombination life time of holes (s)	
$\alpha_c$	: dispersive parameter of electron	(-)
$\alpha_v$	: dispersive parameter of hole	(-)
$E_x$	: excitation energy	(eV)
$E_{EL}$	: peak energy of EL spectra	(eV)
$E_{pL}$	: Peak energy of PL spectra	(eV)
HTI	: hot carrier tunneling injector	
$m^*$	: effective mass of free electron	(kg)
q	: charge of free electron	(C)
$J_n$	: current density based on electrons	$(\text{A}/\text{cm}^2)$
$J_p$	: current density based on holes	$(\text{a}/\text{cm}^2)$
x	: position in the i-layer	$(\mu\text{m})$
$d_{\text{max}}$	: optimal i-layer thickness	( $\text{\AA}$ )
$f_c$	: cut-off frequency	(Hz)





บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อการวิจัย

1.1.1 สิ่งประดิษฐ์แสดงผลชนิดต่าง ๆ

ปัจจุบันสิ่งประดิษฐ์แสดงผล (display device) มีบทบาทสูงมากในการเป็นตัวเชื่อม (interface) สื่อข้อมูล (information) ระหว่างอุปกรณ์เครื่องมือ เครื่องจักรกับมนุษย์ให้มนุษย์ได้รับทราบข้อมูลได้ด้วยประสาทตา ตัวอย่างสิ่งประดิษฐ์แสดงผลที่เรารู้จักและใช้กันมากได้แก่ จอโทรทัศน์ จอออสซิลโลสโคป หน้าปัทม์เครื่องใช้ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ที่แสดงข้อมูลด้วยแสง ซึ่งรวมทั้งหน้าปัทม์แสดงผลแบบอิเล็กทรอนิกส์ในรถยนต์ รถไฟฟ้า เครื่องบิน จรวด และตารางแสดงสภาพการขนส่งตามสถานีรถไฟ รถไฟฟ้า สนามบิน ป้ายโฆษณาต่าง ๆ

สิ่งประดิษฐ์แสดงผลที่มนุษย์คิดค้นขึ้นได้ นับจนถึงปัจจุบันมีมากมายหลายชนิดตั้งแสดงในรูปที่ 1.1 ซึ่งหลักการทำงานจะแตกต่างกันไป [1] และที่นิยมใช้กันในปัจจุบันได้แก่

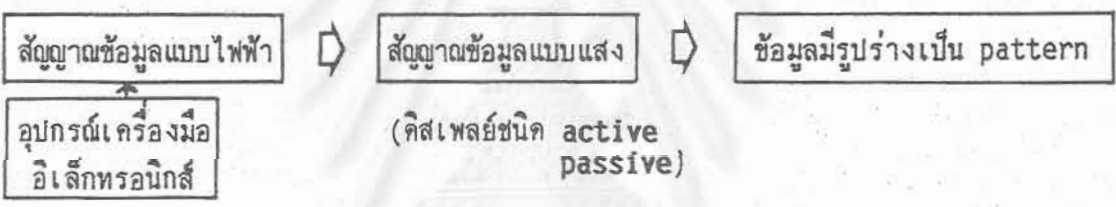
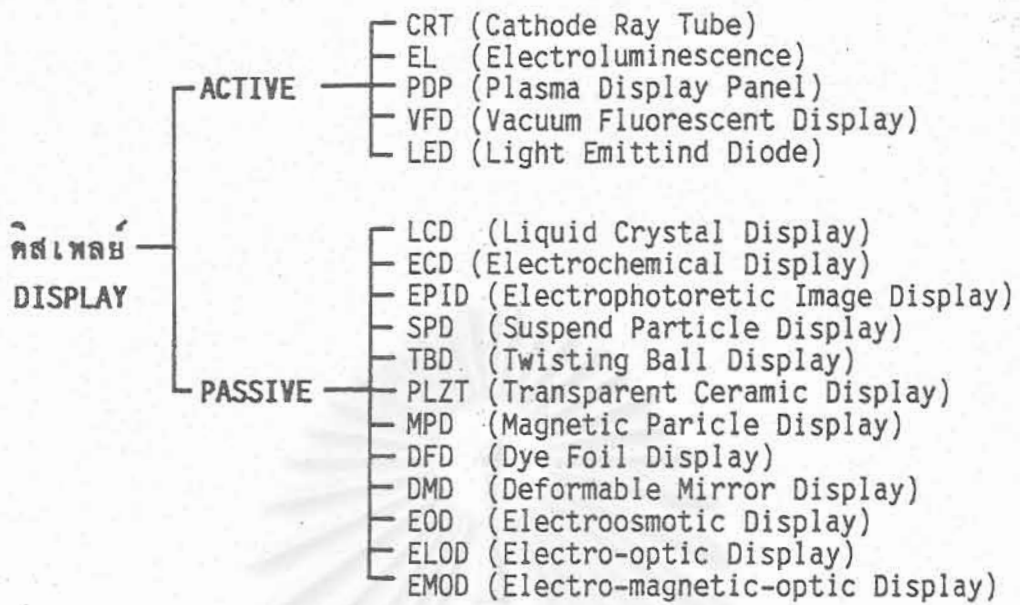
1. CRT (Cathode Ray Tube)
2. LCD (Liquid Crystal Display)
3. LED (Light Emitting Diode)
4. EL (Electroluminescence)
5. VFD (Vacuum Fluorescent Display)
6. PDP (Plasma Display Panel)
7. ECD (Electro-Chromic Display)
8. EPID (Electro-Phoretic Image Display)

ฯลฯ

ปัจจุบันมูลค่าการผลิตสิ่งประดิษฐ์แสดงผลเหล่านี้ทั่วโลกรวมกันมีมูลค่ามหาศาลนับหลายแสนล้านบาทต่อปี [2]

แม้ว่าขณะนี้ CRT จะเป็นสิ่งประดิษฐ์แสดงผลและจอโทรทัศน์ที่นิยมใช้และมียอดมูลค่าการผลิตสูงที่สุดในปัจจุบัน แต่ในระยะหลังและในอนาคตนี้ ความต้องการสิ่งประดิษฐ์แสดงผลชนิดบางและเรียบแบนและเบากว่าจะมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ทั้งนี้เพราะถ้าสิ่งประดิษฐ์แสดงผลหรือจอโทรทัศน์มีลักษณะแบนบางและเบาก็จะสะดวกต่อการติดตั้งและขนย้ายไปที่ต่าง ๆ ได้ แม้กระทั่งใช้แขวนดูภาพแบบกรอบรูปภาพที่ฝาผนัง ติดตั้งได้สะดวกทั้งบนโต๊ะทำงานและในยานพาหนะต่าง ๆ เช่น รถยนต์ รถไฟฟ้า เครื่องบิน ฯลฯ

CRT มีข้อเสียหลายประการดังสรุปในตารางที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ตัวอย่างสิ่งประดิษฐ์แสดงผลชนิดต่างๆ ที่พัฒนามาถึงปัจจุบัน(ยังไม่รวม TFLED ที่พัฒนาเป็นครั้งแรกในโลกในงานวิจัยนี้)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ตารางที่ 1.1 ข้อเสียของสิ่งประดิษฐ์แสดงผลชนิด CRT

1. ใช้แรงดันไฟฟ้าสูงหลายหมื่นโวลต์เป็นอันตรายต่อชีวิต
2. ใช้หลอดสุญญากาศเป็นหลอดภาพ ระเบิดแตกง่ายและอันตราย
3. มีความลึกและมีน้ำหนักมาก เปลืองพื้นที่การติดตั้ง
4. ผลิตให้มีขนาดใหญ่ได้ยาก และจะยังมีน้ำหนักมาก
5. ใช้ลำอิเล็กตรอนเป็นตัวกระตุ้นให้ภาพสว่าง จึงระคายเคืองต่อสายตา
6. โครงสร้างภายในยุ่งยาก และต้องใช้สนามแม่เหล็ก สนามไฟฟ้าในการควบคุมทิศทางของลำอิเล็กตรอน

#### 1.1.2 การพัฒนาสิ่งประดิษฐ์แสดงผลชนิดบางเรียบ (Flat-Panel Display)

จากการที่ CRT ใช้งานไม่สะดวกในหลายกรณี เพราะมีน้ำหนักมากและใช้พื้นที่ติดตั้งมาก จึงได้มีความพยายามที่จะพัฒนาสิ่งประดิษฐ์แสดงผลที่มีรูปร่างบาง และเรียบแบน และมีน้ำหนักเบาขึ้นใช้ และในปัจจุบันก็มีหลายชนิดแล้ว อาทิเช่น LED, LCD, EL ฯลฯ แต่สิ่งประดิษฐ์เหล่านี้ก็ยังมีข้อดีข้อเสียอีกหลายด้าน อาทิเช่น

1. LED มีขนาดกระทัดรัด มีความสว่างสูง ใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำ(ต่ำกว่า 10 V.) แต่มีข้อเสียที่ผลิตจากวัสดุผลึกสารกึ่งตัวนำ (เช่น GaAlAs, GaP, GaN ฯลฯ) จึงผลิตให้มีพื้นที่กว้างใหญ่ได้ยาก และถ้ามีพื้นที่ใหญ่ก็จะทำให้มีราคาแพงมาก และผลิตให้เปล่งแสงเป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้ยาก ปัจจุบันได้เพียงแต่นำ LED หลาย ๆ ตัวมาวางเรียงกันเท่านั้น และสีการเปล่งแสงถูกจำกัดด้วยชนิดของผลึก

2. LCD ใช้แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าต่ำ แต่มีข้อเสียที่ผลิตเป็นจอใหญ่ ๆ ได้ยาก เพราะใช้แผ่นกระจก 2 แผ่นวางประกบผลึกเหลวไว้ ให้แผ่นกระจกห่างกันเพียงไม่ถึง 50 ไมครอน จึงยากต่อการควบคุมระยะห่างในกรณีกระจกมีพื้นที่ใหญ่ ๆ นอกจากนี้ LCD มี contrast ไม่ดี มุมการมองก็ถูกจำกัดในมุมแคบ อีกทั้ง LCD เปล่งแสงเองไม่ได้แต่ต้องมีต้นกำเนิดแสง (light source) อีก

3. EL EL เป็นสิ่งประดิษฐ์แสดงผลแบบบางที่มีลักษณะเป็นฟิล์มบางของ ZnS เคลือบบนแผ่นกระจก เปล่งแสงได้เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าสูงกว่า 150 V. มากกระทำ จึงมีข้อเสียที่ใช้แรงดันไฟฟ้าสูง และใช้ IC เป็นวงจร scanning/driving ได้ยากและตัว EL จะเสื่อมสภาพเร็วเมื่อถูกความชื้น

### 1.1.3 การพัฒนาไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบาง (Thin Film Light Emitting Diode) จากวัสดุอะมอร์ฟิสสารกึ่งตัวนำ

จากเหตุผลที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 1.1.1 และ 1.1.2 ทำให้มีความจำเป็นต้องพัฒนา คิดค้นสิ่งประดิษฐ์แสดงผลแบบบางชนิดใหม่ที่ไม่มีข้อเสียดังกล่าวข้างต้น คณะผู้วิจัยได้ประสบความสำเร็จในการประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบาง (Thin Film Light Emitting Diode : ใช้ชื่อย่อว่า TFLED) ได้เป็นครั้งแรกในโลก โดยใช้วัสดุที่ไม่ใช่ผลึกเป็นวัสดุเริ่มต้น แต่ใช้วัสดุตระกูลอะมอร์ฟิสสารกึ่งตัวนำ ซึ่งได้แก่วัสดุสารประกอบตระกูลอะมอร์ฟิสซิลิกอนไนไตรด์ และอะมอร์ฟิสซิลิกอนคาร์ไบด์เป็นวัสดุใน TFLED

ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบาง (TFLED) ที่ผลิตจากวัสดุอะมอร์ฟิสสารกึ่งตัวนำนี้มีข้อดีเด่นหลายประการ และมีศักยภาพที่จะนำไปผลิตเป็นสิ่งประดิษฐ์แสดงผลแบบแบนเรียบและบางชนิดใหม่ของโลกได้ ตารางที่ 1.2 แสดงสรุปข้อดีเด่นของไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางชนิดอะมอร์ฟิสที่พัฒนาขึ้นสำเร็จในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 1.2 ข้อดีเด่นของไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบาง (TFLED) ชนิดอะมอร์ฟิสสารกึ่งตัวนำ

- วัสดุเริ่มต้นคืออะมอร์ฟิสสารกึ่งตัวนำ จึงมีราคาถูกกว่าวัสดุผลึกที่เคยมีมาในอดีต
- ผลิตเป็นจอพื้นที่ใหญ่ได้ง่าย
- ผลิตจากวัสดุอะมอร์ฟิสสารกึ่งตัวนำเช่น a-SiN:H และ a-SiC:H และจากคุณสมบัติของอะมอร์ฟิสทำให้เปลี่ยนอัตราส่วนวัสดุได้ง่าย ทำให้ได้สีของแสงตามต้องการได้ง่าย
- ใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำ เพราะทำงานด้วยหลักการฉีดพาหะด้วยกระแสไฟฟ้า (carrier injection)
- ผลิตให้ตัวไดโอดเปล่งแสงหลายๆตัวซ้อนทับกันได้ ทำให้ได้สีหลาย ๆ สี (multicolor) ในตัวเดียวกัน

ตารางที่ 1.3 แสดงเปรียบเทียบข้อมูลทางเทคนิคของสิ่งประดิษฐ์แสดงผลแบบ flat-panel ชนิด EL, LCD, crystalline LED และ amorphous TFLED

รูปที่ 1.2 แสดงตัวอย่างการออกแบบและผลิตจอโทรทัศน์สีแบบ LCD ที่มีลักษณะบางเรียบและแบนที่ผาผนังได้ คล้ายกรอบรูปภาพซึ่งในอนาคตผู้วิจัยต้องการพัฒนาไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบาง (TFLED) ให้มีรูปร่างดังแสดงในรูปนี้

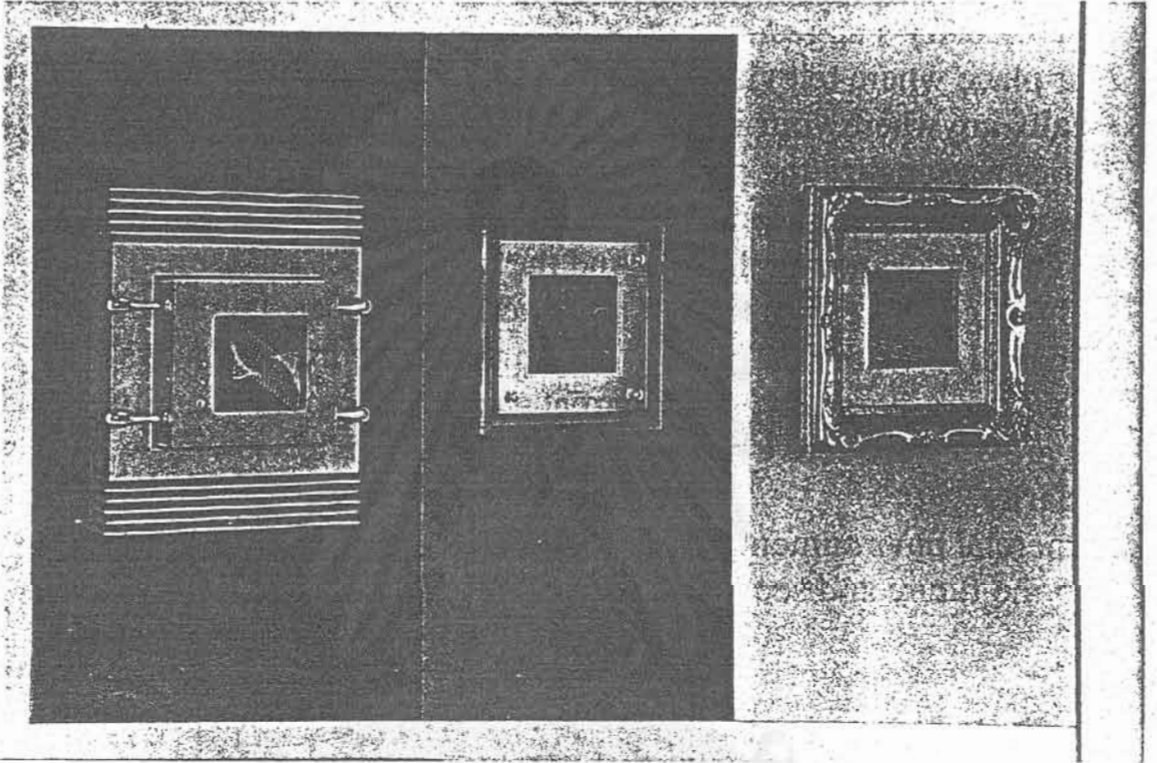
ตารางที่ 1.3 เปรียบเทียบข้อมูลทางเทคนิคของสิ่งประดิษฐ์แสดงผลชนิด flat-panel ชนิดต่าง ๆ

(◎:very good, ○:good, △:available, ✕:bad)

	EL	LCD	c-LED	a-SiN:H TFLED
Substrate	glass	glass	crystal	any substrate
Possibility of Large Area	○	○	△	◎
Fabricating Temperature	<500°C	—	>800°C	<300°C
Driving Voltage	ac, dc 160-250 V	dc < 5 V	dc 2-10 V	dc 5-15 V
Current Consumption	mA/cm <sup>2</sup>	μA/cm <sup>2</sup>	A/cm <sup>2</sup>	mA/cm <sup>2</sup>
Brightness (cd/m <sup>2</sup> )	60-1000	—	>150	5-20
How to Change Color	rare earth	filter	Crystal, Impurity	material Content
Possibility of Full Color	○	○	○	○
Possibility of Tunable Color	○	✕	△	○
Cost	middle	cheap	expensive	very cheap
Year Developed	1936	1968	1923	1992
(by whom)	(ZnS by G. Destriau)	(by Heilmier)	(c-SiC pn by O.W. Lossew)	(by Dusit)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 1.2 ตัวอย่างการออกแบบและผลิตจอโทรทัศน์สีแบบ LCD ที่มีลักษณะแบบ  
เรียบและแว่นที่ฝ้าผนังได้คล้ายกรอบรูปภาพ ซึ่งในอนาคตผู้วิจัยมี  
เป้าหมายต้องการพัฒนาไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบาง (TFLED) จากวัสดุ  
อะมอร์ฟัสให้มีรูปร่างดังแสดงในรูปนี้

ศูนย์บริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

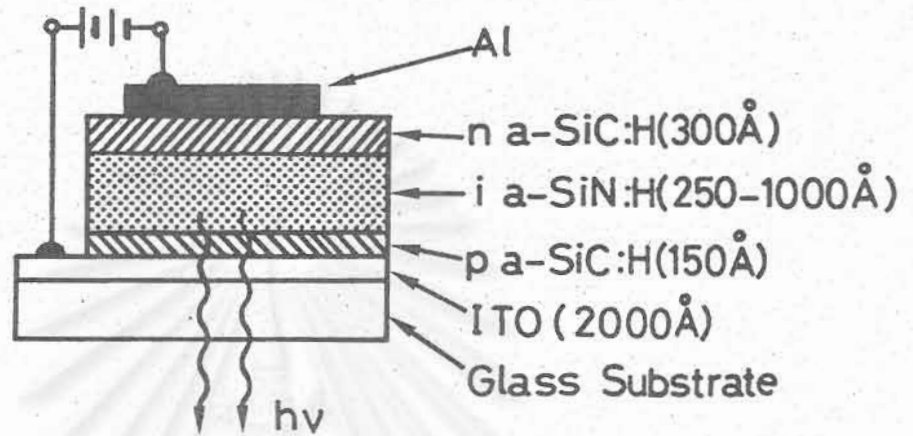
1. เพื่อศึกษาหาแนวทางการผลิตวัสดุอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำที่จะสามารถนำมาผลิตเป็น ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางได้ดี
2. เพื่อศึกษาหาแนวทางการออกแบบและวิธีผลิตไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางจาก วัสดุอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำที่มีคุณภาพ
3. เพื่อศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานต่างๆ ของไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางที่ประดิษฐ์ได้ เพื่อประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพและการประยุกต์ใช้งานต่อไปในอนาคต เช่น กลไกการฉีดพาหะกลไกการเปล่งแสง ผลตอบสนองต่อกระแสไฟฟ้าแบบพัลส์ ฯลฯ

### 1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กุญแจหลักสำคัญของงานวิจัยเรื่อง การประดิษฐ์ "ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางชนิด วัสดุอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำ" นี้ คือ เทคโนโลยีในการผลิตวัสดุตระกูลอะมอร์ฟัสซิลิกอน รวมทั้งอะมอร์ฟัสซิลิกอนไนไตรด์ และอะมอร์ฟัสซิลิกอนคาร์ไบด์ว่ามีความพร้อมเพียงใด คณะผู้วิจัย ได้มีประสบการณ์ในการผลิตฟิล์ม a-Si:H, a-SiC:H ฯลฯ มาแล้วเป็นเวลาหลายปี อาทิเช่น เคย ได้ทุนสนับสนุนให้ทำวิจัยเรื่อง "เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน" จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติเป็นเวลา 2 ปี (2532-2534) [3] และจาก NECTEC อีก 2 ปี (2534-2536) [4] ดังนั้นประสบการณ์ด้านการผลิตด้วยวิธี glow discharge plasma CVD จึงมีความเปรียบพร้อม

แนวความคิดในการประดิษฐ์ "ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบาง" นี้เป็นความคิด original ของคณะผู้วิจัย และความสำเร็จในการประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางจากวัสดุ a-SiN:H/a-SiC:H นี้ นับว่าเป็นครั้งแรกในโลก และได้มีการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานใน Journal และที่ประชุมระดับโลกมาแล้วหลายครั้ง ดังแสดงตัวอย่างในเอกสารอ้างอิง [5-9]

แนวความคิดในการเสนอการพัฒนาไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางนี้มาจากความคิดว่า วัสดุอะมอร์ฟัสเมื่อนำมาผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งแปลงพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ ฉันทันใด วัสดุอะมอร์ฟัสก็ควรที่จะแปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานแสงได้เช่นกัน และจากการ ตรวจสอบงานวิจัยเก่าๆ จากบทความต่างๆ ได้มีการรายงานว่ วัสดุอะมอร์ฟัสซิลิกอนไนไตรด์ (a-SiN:H) และอะมอร์ฟัสซิลิกอนคาร์ไบด์ (a-SiC:H) สามารถเปล่งแสงโพโตลูมิเนสเซนซ์ที่มองเห็นได้ เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสง laser [10-12] ดังนั้นผู้ผลิตจึงได้หยิบยกวัสดุ a-SiN:H และ a-SiC:H ขึ้นมาเป็นวัสดุหลักในงานวิจัยนี้ เพื่อประดิษฐ์เป็น TFLED ที่เปล่งแสงที่ตามองเห็น แต่เนื่องจากทั้ง a-SiN:H และ a-SiC:H ยังมีหลายจุดที่คุณสมบัติพื้นฐานเป็นอย่างไร ยังไม่กระจ่างชัด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงต้องทุ่มเวลาไปกับการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของ a-SiN:H และ a-SiC:H ไปมากพอสมควร จึงจะสามารถออกแบบและประดิษฐ์เป็นสิ่งประดิษฐ์ TFLED ได้สำเร็จ



รูปที่ 1.3 ลักษณะโครงสร้างของไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางที่เสนอประดิษฐ์ในงานวิจัยนี้ นับเป็นสิ่งประดิษฐ์ชนิดใหม่ของโลก มีรอยต่อของ p a-SiC:H/i a-SiN:H/n a-SiC:H

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

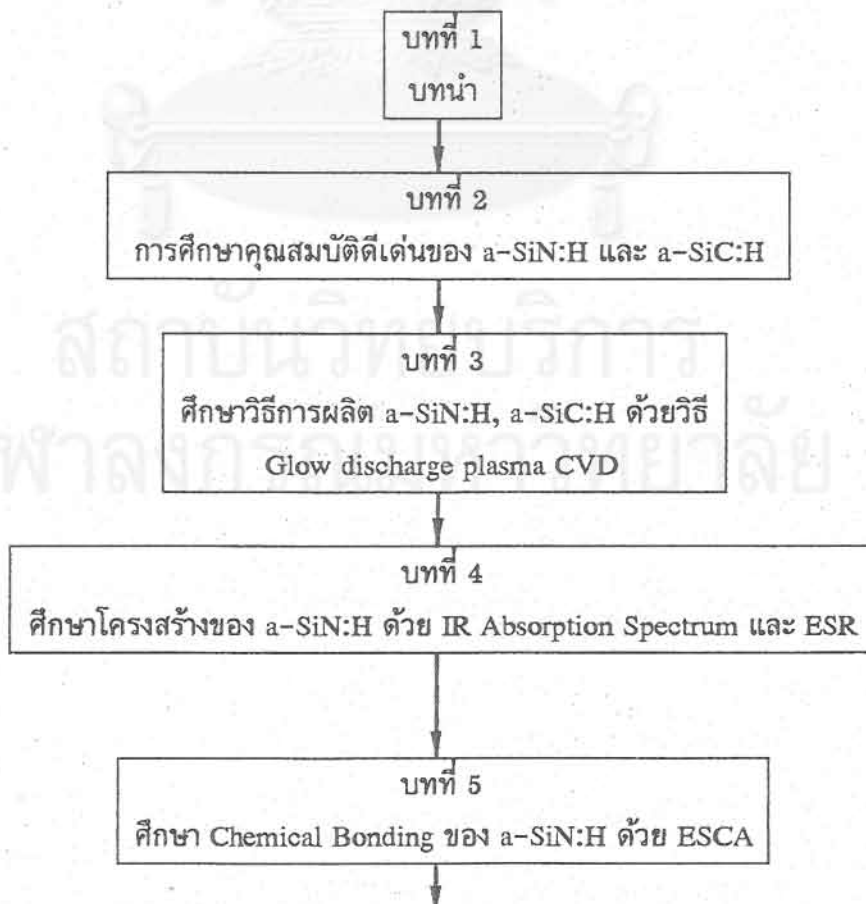
### 1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

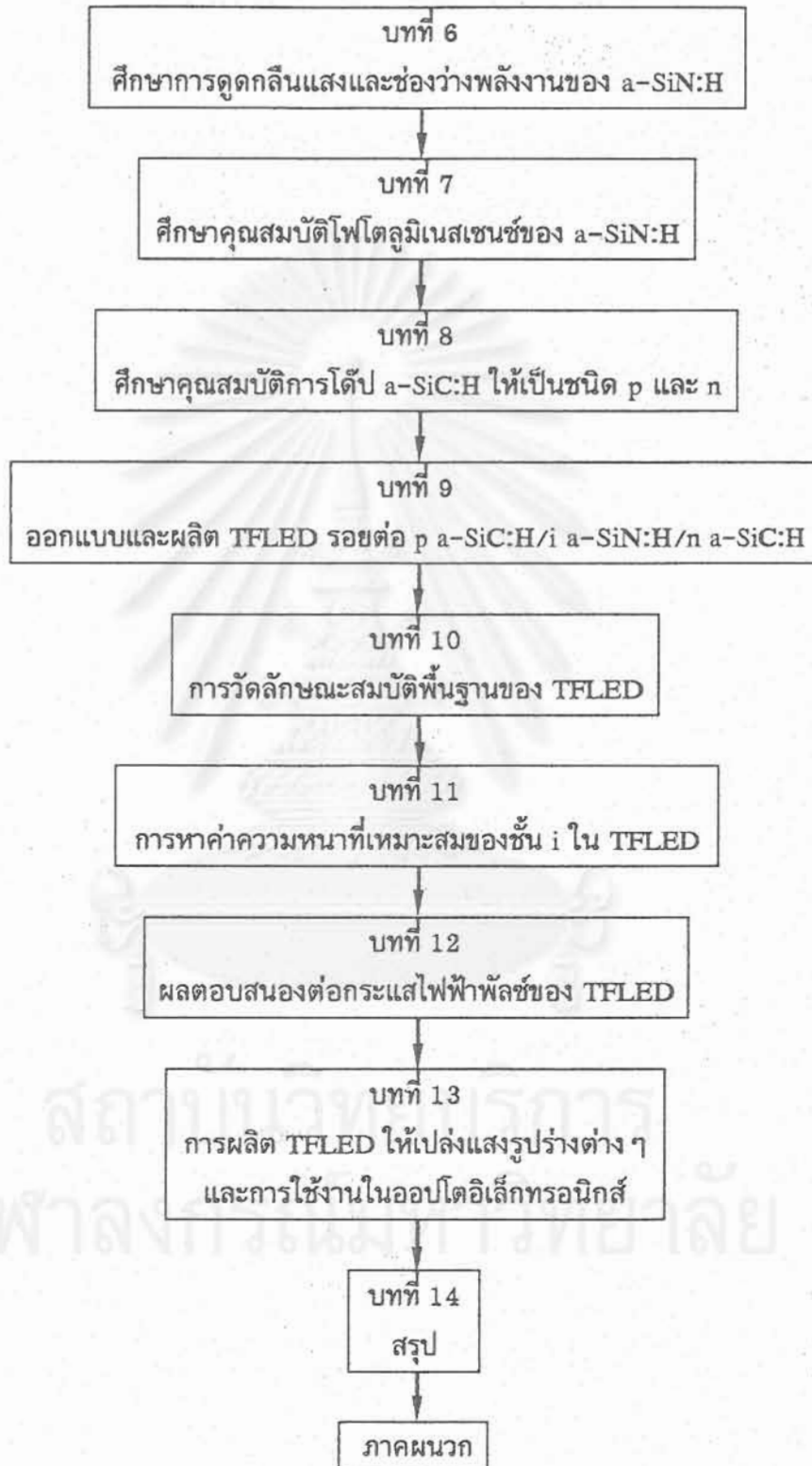
ลักษณะโครงสร้างของไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางที่เสนอประดิษฐ์ในงานวิจัยนี้แสดงในรูปที่ 1.3 มีลักษณะคือมีกระจกเป็นแผ่นฐาน บนแผ่นกระจกจะมีฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำชนิดต่าง ๆ เคลือบเป็นชั้น ๆ ซ้อนทับกัน ได้แก่ ชั้นไฟฟ้าโปร่งแสง (ITO),  $\alpha$ -SiC:H ชนิด P,  $\alpha$ -SiN:H ชนิด i,  $\alpha$ -SiC:H ชนิด n และชั้นโลหะ Al ความหนาของฟิล์มบางชั้นต่าง ๆ แสดงในรูปและมีความหนารวมกันแล้วไม่เกิน 1 ไมครอน เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าแบบไบแอสตาม กล่าวคือป้อนแรงดันบวกเข้าทางขั้ว ITO และป้อนแรงดันลบเข้าทางขั้ว Al ก็จะทำให้ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางนี้เปล่งแสงออกมาจากชั้น i

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยหรือเนื้อหาโครงสร้างของรายงานวิจัยฉบับนี้แสดงในรูปที่

### 1.4

เนื่องจากคุณสมบัติต่าง ๆ ของไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางนี้จะขึ้นกับคุณสมบัติพื้นฐานของฟิล์มชั้นต่าง ๆ เป็นอย่างมาก ดังนั้นในการดำเนินการวิจัย จึงเริ่มต้นจากการทำความเข้าใจและศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของฟิล์ม  $\alpha$ -SiN:H และ  $\alpha$ -SiC:H ทั้งทางด้านคุณสมบัติทางโครงสร้าง ทางแสงและทางไฟฟ้า แล้วจึงเริ่มประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางและศึกษาว่าลักษณะสมบัติพื้นฐานของสิ่งประดิษฐ์ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปใช้งานและเพื่อเป็นแนวทางแก้ปัญหาในการจะปรับปรุงคุณภาพในขั้นต่อไป

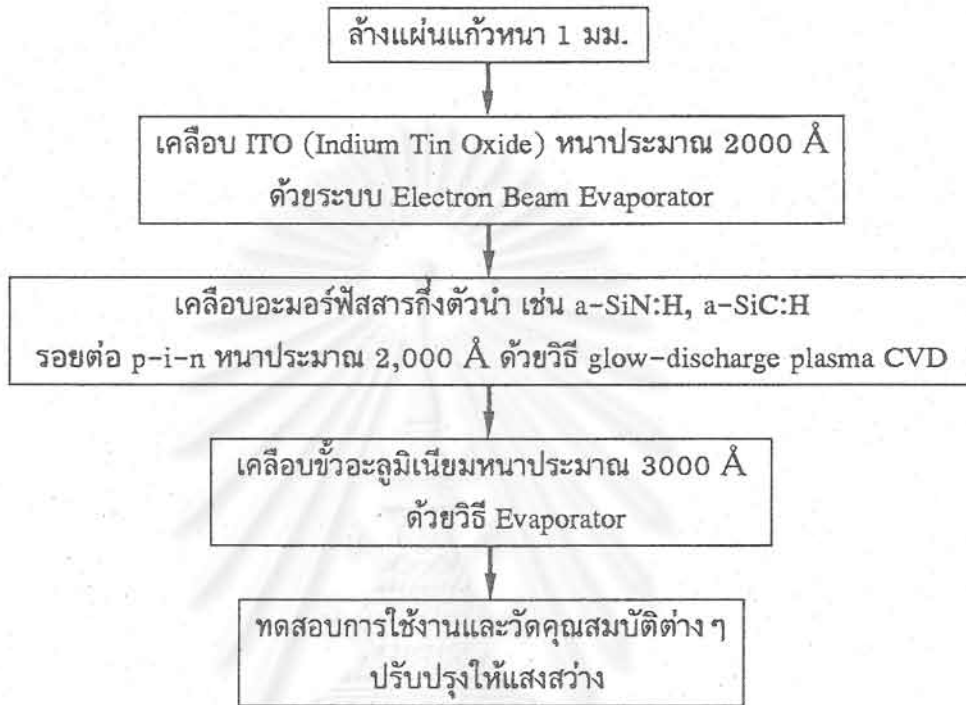




รูปที่ 1.4 เนื้อหาโครงสร้างของงานวิจัยเรื่องนี้



ขั้นตอนในการประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางรอยต่อ a-SiN:H/a-SiC:H แสดงสรุปในรูปแบบที่ 1.5



รูปที่ 1.5 ขั้นตอนการประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางรอยต่อ p a-SiC:H/ i a-SiN:H/n a-SiC:H

### 1.5 ขอบเขตของการวิจัย

จะประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางรอยต่อ p-i-n โดยมี a-SiN:H เป็นชั้นเปล่งแสงชนิด i มี a-SiC:H เป็นชั้นฉีดพาหะชนิด p และ n และศึกษากลไกการฉีดพาหะ และการรวมตัวแบบเปล่งแสงของพาหะ และศึกษาแนวทางการใช้งาน

### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1) เป็นการพัฒนาประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางจากวัสดุ a-SiN:H และ a-SiC:H เป็นครั้งแรกในโลก จะนำชื่อเสียงมาสู่ประเทศไทย ว่าเป็นสิ่งประดิษฐ์คิดค้น (development & innovation) โดยฝีมือนักวิจัยไทย และชื่อจะถูกจารึกอยู่ในประวัติศาสตร์ของวงการสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์และฟิสิกส์ประยุกต์ของโลก

2) เป็นการบุกเบิกและท้าทายกับอุตสาหกรรมสิ่งประดิษฐ์แสดงผล (display) เพราะถ้าสามารถประดิษฐ์ให้ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางนี้มีคุณภาพสูงและมีความสว่างเพียงพอจนใช้งานได้ จะมี impact ต่ออุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์เป็นอย่างมาก คาดว่าความต้องการ (needs) จะมีมูลค่านับพันล้านบาท หมื่นล้านบาทต่อปี !

3) เป็นการขยายการประยุกต์ใช้งานวัสดุตระกูลอะมอร์ฟัสซิลิกอนและสารประกอบ (alloys) เช่น a-SiN:H, a-SiC:H ให้กว้างขวางยิ่งขึ้น อีกทั้งวัสดุ Si, C และ N ก็มีมากมายบนพื้นโลก

4) ถ้าไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางนี้ มีคุณภาพสูงจนใช้งานได้ดี จะทำให้โฉมหน้าของจอภาพโทรทัศน์เปลี่ยนไปเป็นแบบแบนบาง และมีน้ำหนักเบา ซึ่งจะเป็นประโยชน์มากมายเป็นวงกว้างมีเพียงประเทศไทย แต่รวมไปทั่วโลก

- ในเคหสถาน มี TV แบบกรอบรูปแขวนที่ฝาผนังแบบสมัยใหม่ ไม่เกะกะพื้นที่ติดตั้ง
- ในยานพาหนะ ใช้เป็นหน้าปัดมาตรต่าง ๆ
- ในการจราจร ใช้เป็นสัญญาณจราจร
- ในการโฆษณา ใช้เป็นป้ายโฆษณา
- ในการแพทย์ ใช้เป็นจอภาพตรวจคนไข้ทั้งจอภาพ X-ray, ultrasound, MRI CT
- ในการเกษตร ใช้เป็นสัญญาณแสดงรถเกษตร
- การทหาร จอเรดาร์ จอสื่อสาร
- ใช้เป็นหน้าปัดจอภาพเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ
- ใช้เป็นจอ monitor ของคอมพิวเตอร์
- ใช้เป็นจอโทรทัศน์/วิดีโอ

๑๑๑

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### เอกสารอ้างอิง

1. ดุสิต เครื่องงาม : "ออปโตอิเล็กทรอนิกส์-ทฤษฎีและการใช้งาน" สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2536, กำลังอยู่ระหว่างจัดพิมพ์, ประมาณ 700 หน้า.
2. Asia-Pacific, a publication Laser Focus World, Spring 1992, p. 8.
3. ดุสิต เครื่องงาม และคณะ : รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์เรื่อง "การประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ราคาถูกระบบฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน" เสนอต่อสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2533, 181 หน้า.
4. ดุสิต เครื่องงาม และคณะ : "เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน", การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 4, ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC), ณ โรงแรม อโนมาสวิสไฮเต็ล, 21-22 ตุลาคม 2535, หน้า 190-201.
5. D. Kruangam, W. Boonkosum, P. Siamchai, and S. Panyakeow: Extended Abstracts of 1992 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Tsukuba, Japan, 1992, p. 563.
6. W. Boonkosum, D. Kruangam and S. Panyakeow : Jpn. J. Appl. Phys., vol. 32, No. 16, (1993) p. 1534.
7. W. Boonkosum, D. Kruangam and S. Panyakeow : Proc. 1993 Spring Meeting of MRS, San Francisco, U.S.A., April, (1993).
8. W. Boonkosum, D. Kruangam and S. Panyakeow : Proc. of Int. Symposium on Physical Concepts and Materials for Novel Optoelectronic Device Applications II, Trieste, Italy, 24-27 May 1993.
9. D. Kruangam, W. Boonkosum and S. Panyakeow : 15th Int. Conf. on Amorphous Semiconductors : Science & Technology, Combridge, UK, 6-10 Sept, (1993).
10. W.A. Jackson, T.M. Searle and I.G. Austin : J. Non-Crystalline Solids, 77 & 78 (1985), p. 909.
11. T. Watanabe, Y. Hata, A. Morimoto and T. Shimizu : Jpn. J. Appl. Phys., vol. 21, No. 10, (1982), P. L613.
12. D.A. Anderson and W.E. Spear : Phil. Mag., vol. 35, (1976), p. 1.



## บทที่ 2

### คุณสมบัติดีเด่นและการใช้งานของวัสดุ a-Si:H, a-SiN:H และ a-SiC:H

#### บทนำ

สิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันหลายชนิด อาทิเช่น ทรานซิสเตอร์ ไดโอด IC LSI VLSI ถูกผลิตจากวัสดุจำพวกผลึกเดี่ยวโดยเฉพาะอย่างยิ่งผลึกซิลิกอนแทบทั้งหมด สิ่งประดิษฐ์เหล่านี้ถูกวิวัฒนาการมาอย่างรวดเร็วหลังจากที่ Shockley ประดิษฐ์ทรานซิสเตอร์และไดโอดได้สำเร็จในปี ค.ศ. 1948 ในขณะที่ยุคของผลึกเดี่ยวกำลังพัฒนามาเรื่อยๆ นั้นยุคของวัสดุที่น่าสนใจมากอีกชนิดหนึ่งคือ ยุคของ "วัสดุอะมอร์ฟัส" ก็ได้รับการพัฒนาควบคู่กันมา และในปัจจุบันดูเหมือนว่า "วัสดุอะมอร์ฟัส" จัดเป็นวัสดุชนิดใหม่ (New Material) ที่สำคัญและเป็นวัสดุจำพวก High Tech เช่นเดียวกับวัสดุสารตัวนำยิ่งยวดและเซรามิค เพราะวัสดุอะมอร์ฟัสนั้นมีคุณสมบัติที่โดดเด่นเหนือกว่าผลึกหลายประการ อาทิเช่น แข็งแกร่ง ทนต่อแรงเสียดทาน และปฏิกิริยาเคมี อีกทั้งเป็นวัสดุต้นทุนการผลิตถูก ที่เหมาะแก่การนำมาสร้างเป็นสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์หลายอย่าง อาทิเช่น เซลล์แสงอาทิตย์ ทรานซิสเตอร์แบบฟิล์มบาง ฯลฯ เป็นต้น

ประวัติศาสตร์ของอะมอร์ฟัสได้เริ่มต้นในปีค.ศ. 1948 เมื่อมีการค้นพบว่าอะมอร์ฟัสไซเลน (a-Se) สามารถนำไฟฟ้าได้ดีขึ้นเมื่อถูกฉายด้วยแสง จึงได้มีการนำ a-Se มาประดิษฐ์เป็นดรัมไวแสงในเครื่องถ่ายภาพเอกสารจนถึงทุกวันนี้ ต่อมาในปี ค.ศ. 1975 อาจถือได้ว่าเป็นยุคปฏิวัติการพัฒนาวัสดุอะมอร์ฟัสชนิดที่เป็นสารกึ่งตัวนำ กล่าวคือ ศาสตราจารย์ Spear แห่งมหาวิทยาลัย Dundee ประเทศอังกฤษได้ประสบความสำเร็จเป็นครั้งแรกในการเติมสารเจือปน (impurity doping) เข้าสู่วัสดุอะมอร์ฟัสซิลิกอน (a-Si:H) ทำให้มีคุณสมบัติเป็นชนิดพีและชนิดเอ็น [1] จากความสำเร็จในการได้ป a-Si:H ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการใช้งานของสารกึ่งตัวนำ และเนื่องจากธาตุซิลิกอนมีอยู่มากมายบนโลกทำให้การใช้งานของอะมอร์ฟัสซิลิกอนแพร่หลายไปมาก อาทิเช่น อะมอร์ฟัสซิลิกอนถูกนำมาประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง ตัวตรวจจับแสงสีต่างๆ (เซนเซอร์สี) ดรัมไวแสงในเครื่องถ่ายภาพเอกสาร ทรานซิสเตอร์แบบฟิล์มบางเพื่อใช้กับโทรทัศน์ สีแบบ Liquid Crystal (LCD) หลอดถ่ายภาพในกล้องวิดีโอ ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบาง (ผลงานวิจัยเล่มนี้) ฯลฯ สิ่งที่น่าสนใจยิ่งอีกประการหนึ่งคือ รางวัลโนเบล สาขาฟิสิกส์ ได้ถูกมอบให้แก่ วงการวัสดุอะมอร์ฟัสในปี ค.ศ. 1977 ผู้ได้รับรางวัลคือ ศาสตราจารย์ Mott และ Anderson แห่งมหาวิทยาลัย Cambridge (Cavendish Laboratory) ประเทศอังกฤษในฐานะเป็นผู้ตั้งทฤษฎีอธิบายคุณสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์ของวัสดุอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำได้อย่างถูกต้อง

บทนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเป็นแนวทางชี้แนะให้รู้จักและเข้าใจวัสดุอะมอร์ฟัสว่าคืออะไร มีคุณสมบัติเด่นอย่างไรและใช้งานเป็นสิ่งประดิษฐ์ได้อย่างไรบ้าง

## 2.1 อะมอร์ฟัสคืออะไร

คำว่า "อะมอร์ฟัส" (amorphous) มีรากศัพท์มาจากภาษากรีกว่า "a-morphe" แปลว่า สิ่งซึ่งมีรูปร่างไม่แน่นอน หรือวัสดุอสัณฐาน วัสดุอะมอร์ฟัสมีโครงสร้างของอะตอมที่เรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบในช่วงระยะยาวของอะตอม (ไม่มี long range order) แต่จะมีการเรียงตัวของอะตอมอย่างเป็นระเบียบในช่วงระยะสั้นของอะตอม (มี short range order) คำว่าช่วงระยะยาวของอะตอมนั้นหมายถึงช่วงระยะอะตอมหลาย ๆ ลิปตัว ส่วนช่วงระยะสั้นของอะตอมนั้นหมายถึงช่วงระยะอะตอมสองสามตัว รูปที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างโครงสร้างของอะตอมของวัสดุผลึกเดี่ยว และวัสดุอะมอร์ฟัส โดยยกตัวอย่างกรณีผลึกเดี่ยวซิลิกอน (single crystal silicon) (a) และอะมอร์ฟัสซิลิกอน (amorphous silicon) (b) ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าผลึกเดี่ยวซิลิกอนมีการเรียงตัวของอะตอมอย่างเป็นระเบียบในขณะที่อะมอร์ฟัสซิลิกอนมีการเรียงตัวของอะตอมอย่างไม่เป็นระเบียบ

## 2.2 คุณสมบัติสำคัญของวัสดุอะมอร์ฟัส

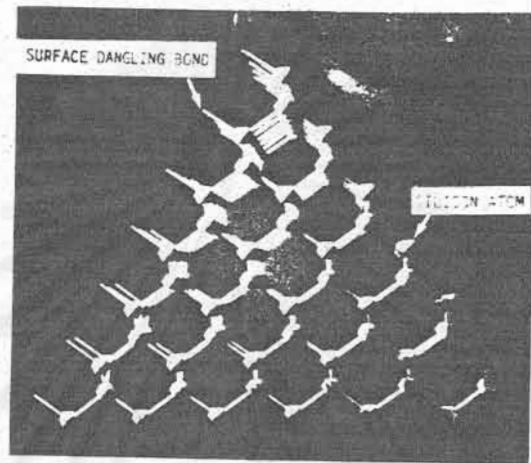
วัสดุอะมอร์ฟัสมีโครงสร้างอะตอมที่เรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบในช่วงระยะสั้นของอะตอมแต่ไม่เป็นระเบียบในช่วงระยะยาวของอะตอม การเรียงตัวของอะตอมอย่างเป็นระเบียบในระยะสั้นนี้มีผลสำคัญทำให้วัสดุนั้นมีคุณสมบัติคล้ายผลึกที่เกิดจากธาตุชนิดเดียวกัน แต่ในขณะเดียวกันเนื่องจากไม่มีระเบียบในระยะยาวของอะตอม วัสดุอะมอร์ฟัสจึงมีคุณสมบัติแปลก ๆ ใหม่ ๆ เพิ่มเติมไปจากผลึก อาทิเช่น

### (1) ค่าคงที่ต่าง ๆ ทางฟิสิกส์สามารถเปลี่ยนแปลงได้

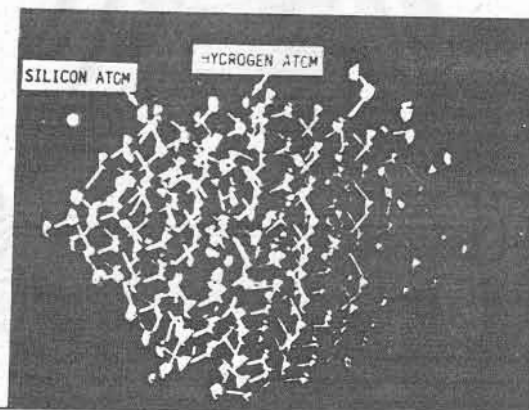
ถ้าเป็นผลึกเดี่ยวเช่นผลึกซิลิกอนหรือผลึกเจอร์มันเนียม ค่าคงที่ต่าง ๆ ของผลึกจะถูกกำหนดแน่นอนและการจะเติมผสมธาตุอื่นใดลงไปเพื่อให้เป็นสารประกอบก็มีขอบเขตอัตราส่วนที่จำกัด แต่ถ้าเป็นอะมอร์ฟัสเราอาจสร้างวัสดุผสมใด ๆ หรือสารประกอบใด ๆ ก็ได้ตามใจชอบ ทำให้สามารถผลิตวัสดุใหม่ ๆ ที่ผลิตจากผลึกไม่ได้ อาทิเช่น ผลึกซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) มีอัตราส่วนของจำนวนของซิลิกอนต่อคาร์บอนเท่ากับ 1:1 เท่านั้น ในขณะที่อะมอร์ฟัสซิลิกอนคาร์ไบด์ ( $a\text{-Si}_{1-X}\text{C}_X\text{:H}$ ) สามารถเปลี่ยนค่า X ได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1 จึงทำให้เราสามารถออกแบบและผลิตวัสดุที่มีค่าคงที่ทางฟิสิกส์ต่าง ๆ ตามต้องการได้ เช่น

- ค่าคงที่ทางกลศาสตร์ เช่น อ.พ. ความแข็งแกร่ง อุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสถานะ
- ค่าคงที่ทางไฟฟ้าเช่น สภาพนำไฟฟ้า ความกว้างของแถบพลังงานต้องห้ามต่าง ๆ
- ค่าคงที่ทางแม่เหล็กและไดอิเล็กตริกต่าง ๆ
- ค่าคงที่ทางแสง เช่น ดัชนีหักเห สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง เป็นต้น





(a) Crystalline Silicon



รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบความแตกต่างของโครงสร้างการเรียงตัวของอะตอมผลึกเดี่ยวซิลิกอน (a) และอะมอร์ฟิซิลิกอน (b)

(2) การเป็นเนื้อเดียวกันตลอด

ในวัสดุพวกผลึกเดี่ยวหรือผลึกโพลี คุณสมบัติพื้นฐานต่าง ๆ ทางฟิสิกส์จะขึ้นกับทิศทางของแกนผลึกและลักษณะของเส้นพรมแดน (grain boundary) ของผลึก แต่สำหรับวัสดุอะมอร์ฟัส เนื่องจากอะตอมเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ คุณสมบัติต่าง ๆ ทางฟิสิกส์จึงเหมือนกันตลอดทุกทิศทางของวัสดุ ในอะมอร์ฟัสไม่มีกลุ่มผลึก (grain) หรือเส้นพรมแดนไม่มีหน้าแตกของผลึก (cleavage) ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ วัสดุอะมอร์ฟัสจึงมีข้อดีอีกหลายอย่างเช่น

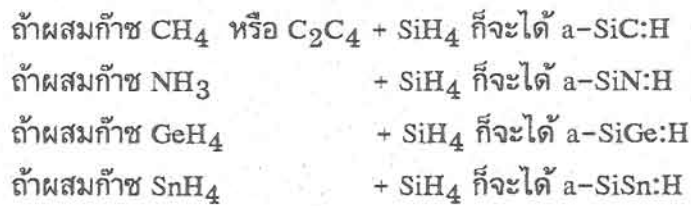
- สามารถผลิตเป็นพื้นที่ใหญ่ ๆ ได้ง่าย (ดังจะเห็นได้ว่าสามารถผลิตเซลล์แสงอาทิตย์พื้นที่ใหญ่ ๆ ได้แล้ว)
- มีความแข็งแรง (ทำให้ทนต่อการเสียดทาน เช่น ใช้เคลือบแข็งวัสดุอื่น ๆ ได้)
- มีความสามารถในการดูดกลืนแสงได้สูง (ทำให้ผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ได้)
- มีผลตอบสนองเป็นแม่เหล็กได้ดี (เช่น อะมอร์ฟัสโลหะผสมของ Fe Ni Si B)
- มีความสามารถในการเปล่งแสงได้ดี (ผู้วิจัยจึงนำมาประดิษฐ์เป็นสิ่งประดิษฐ์เปล่งแสง)

(3) ในทางระบบเทอร์โมไดนามิกส์ จัดว่าอยู่ในภาวะไม่สมดุล

วัสดุอะมอร์ฟัสอาจเตรียมได้ด้วยวิธีหลอมวัสดุคิบให้เหลวแล้วลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วมีให้อะตอมมีเวลาเรียงตัวกันเป็นระเบียบ ดังนั้นพลังงานที่อยู่ภายในอะมอร์ฟัส (free energy) จึงมีค่าสูงกว่าในผลึก เป็นเหตุให้อะมอร์ฟัสมีคุณสมบัติไม่สมดุลในเชิงระบบเทอร์โมไดนามิกส์ เมื่อเวลาผ่านไปนาน ๆ free energy ของอะมอร์ฟัสจะค่อย ๆ ลดลง และในที่สุดวัสดุอะมอร์ฟัสนั้นจะเปลี่ยนสภาพเป็นผลึกได้ ตัวอย่างที่เราพบเห็นได้แก่แก้วบางชนิด เมื่อเวลาผ่านไปมันจะค่อย ๆ เปลี่ยนสภาพเป็นผลึก (แต่ต้องใช้เวลานานมากเป็นร้อย ๆ พัน ๆ ปี)

2.3 คุณสมบัติเด่นของวัสดุฟิล์มบาง a-Si:H, a-SiN:H และ a-SiC:H

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ธาตุซิลิกอน (Si) เป็นวัสดุเริ่มต้น เพราะค่านิ่งว่าซิลิกอนเป็นธาตุที่มีราคาถูกหาได้ง่าย และมีมากในโลก การนำซิลิกอนมาผลิตเป็นอะมอร์ฟัสซิลิกอน (a-Si:H) จึงเป็นการใช้วัสดุราคาถูกให้คุ้มค่า a-Si:H นิยมผลิตจากก๊าซซิลิเซน (SiH<sub>4</sub>) ด้วยวิธี glow discharge plasma CVD และสิ่งที่น่าสนใจมากอีกอย่างหนึ่งคือ เราสามารถผลิต a-Si:H ให้เป็นสารประกอบต่าง ๆ ได้มากมาย โดยการผสมก๊าซอื่นเข้าไปในระบบ glow discharge plasma CVD เช่น



สารประกอบของ  $a-SiC:H$ ,  $a-SiN:H$ ,  $a-SiGe:H$  และ  $a-SiSn:H$  เหล่านี้ จะมีค่าช่องว่างพลังงานกว้างหรือแคบขึ้นกับชนิดและปริมาณของธาตุที่ผสมเข้าไป เช่น ถ้าเพิ่มปริมาณ C หรือ N ให้มากขึ้นจะทำให้ช่องว่างพลังงานของวัสดุ  $a-SiC:H$  หรือ  $a-SiN:H$  กว้างขึ้น แต่ถ้าเพิ่มปริมาณของ Ge หรือ Sn ให้มากขึ้น จะทำให้ช่องว่างพลังงานของวัสดุ  $a-SiGe:H$  หรือ  $a-SiSn:H$  แคบลง รูปที่ 2.2 แสดงเปรียบเทียบขนาดช่องว่างพลังงานของวัสดุต่าง ๆ

ในกรณีของ  $a-SiC:H$  และ  $a-SiN:H$  ช่องว่างพลังงานเปลี่ยนได้จาก 1.8 eV. ถึงกว่า 3.5 eV.

ในกรณีของ  $a-SiGe:H$  และ  $a-SiSn:H$  ช่องว่างพลังงานเปลี่ยนได้จาก 1.8 eV. ถึง 1.2 eV.

ถ้าเปรียบเทียบกับวัสดุผลึกสารกึ่งตัวนำ เราทราบดีว่าอัตราส่วนของปริมาณอะตอมค่อนข้างจะถูกกำหนดคงที่เช่น ในกรณีของ GaAs มีจำนวน  $Ga/As = 1/1$  เสมอ ดังนั้นช่องว่างพลังงานจึงถูกกำหนดตายตัว จากจุดนี้จึงทำให้เราสามารถออกแบบวัสดุอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำให้มีช่องว่างพลังงานต่าง ๆ ได้ง่ายตามต้องการ และเมื่อออกแบบช่องว่างพลังงานได้ง่าย จึงทำให้สามารถนำไปผลิตเป็นสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดต่าง ๆ จากวัสดุเดียวกันได้ง่าย และหลากหลายชนิด

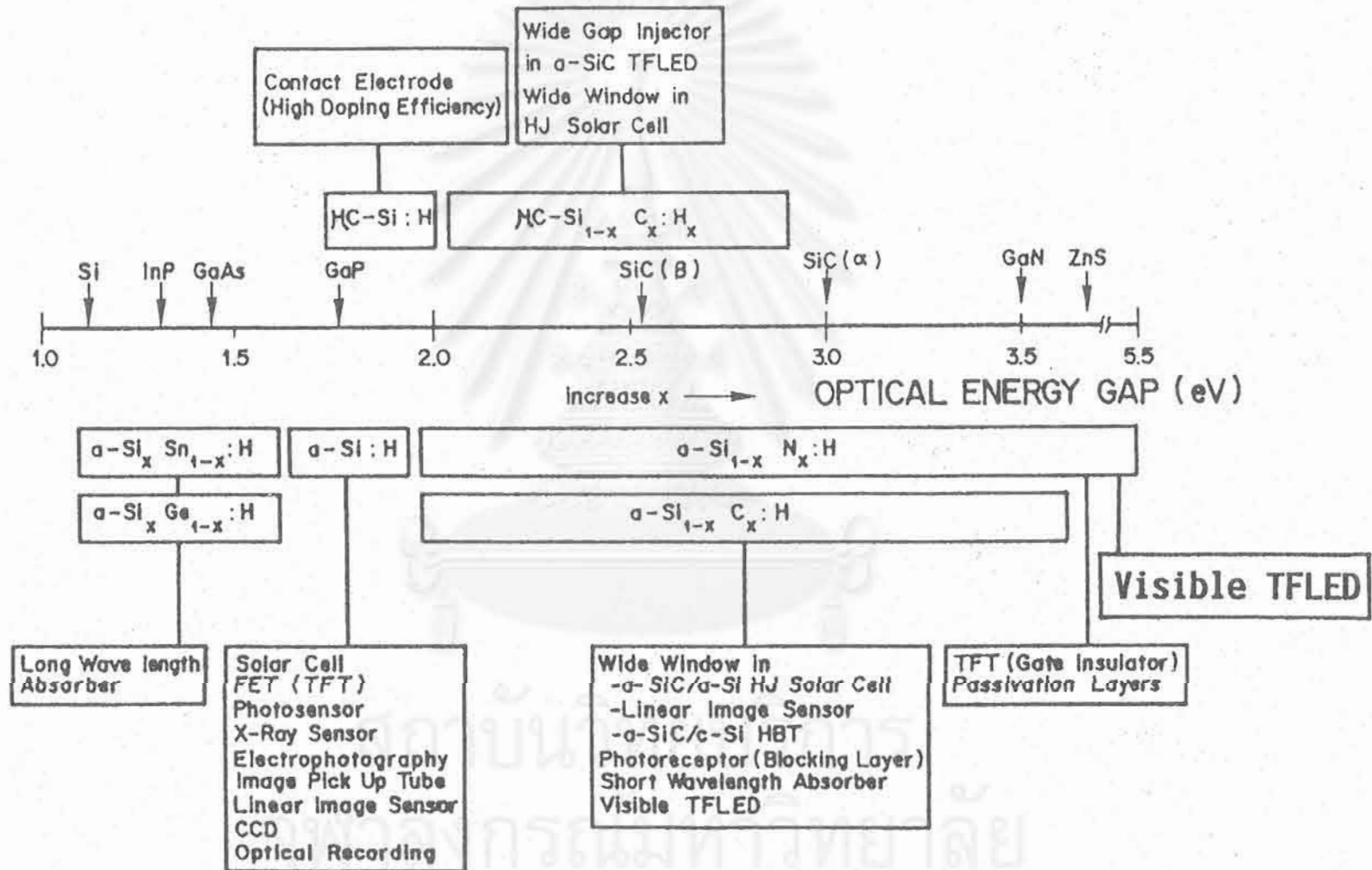
นอกจากนี้วัสดุตระกูลสารประกอบของ  $a-Si:H$ ,  $a-SiN:H$ ,  $a-SiC:H$  ฯลฯ มีคุณสมบัติเด่นน่าสนใจอีกหลาย ด้านดังแสดงในรูปที่ 2.3 และอธิบายเพิ่มเติมได้ดังนี้

(1) สามารถผลิตที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ได้

จึงประหยัดพลังงานได้มาก การผลิตวัสดุ  $a-Si:H$ ,  $a-SiN:H$ ,  $a-SiC:H$  ด้วยวิธี glow discharge plasma CVD จะใช้อุณหภูมิมั้้นฐานเพียง 150-200°ซ ในขณะที่การปลูกผลึกซิลิกอนต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 1400°ซ

(2) สามารถปลูกติดบนแผ่นฐานอะไรก็ได้

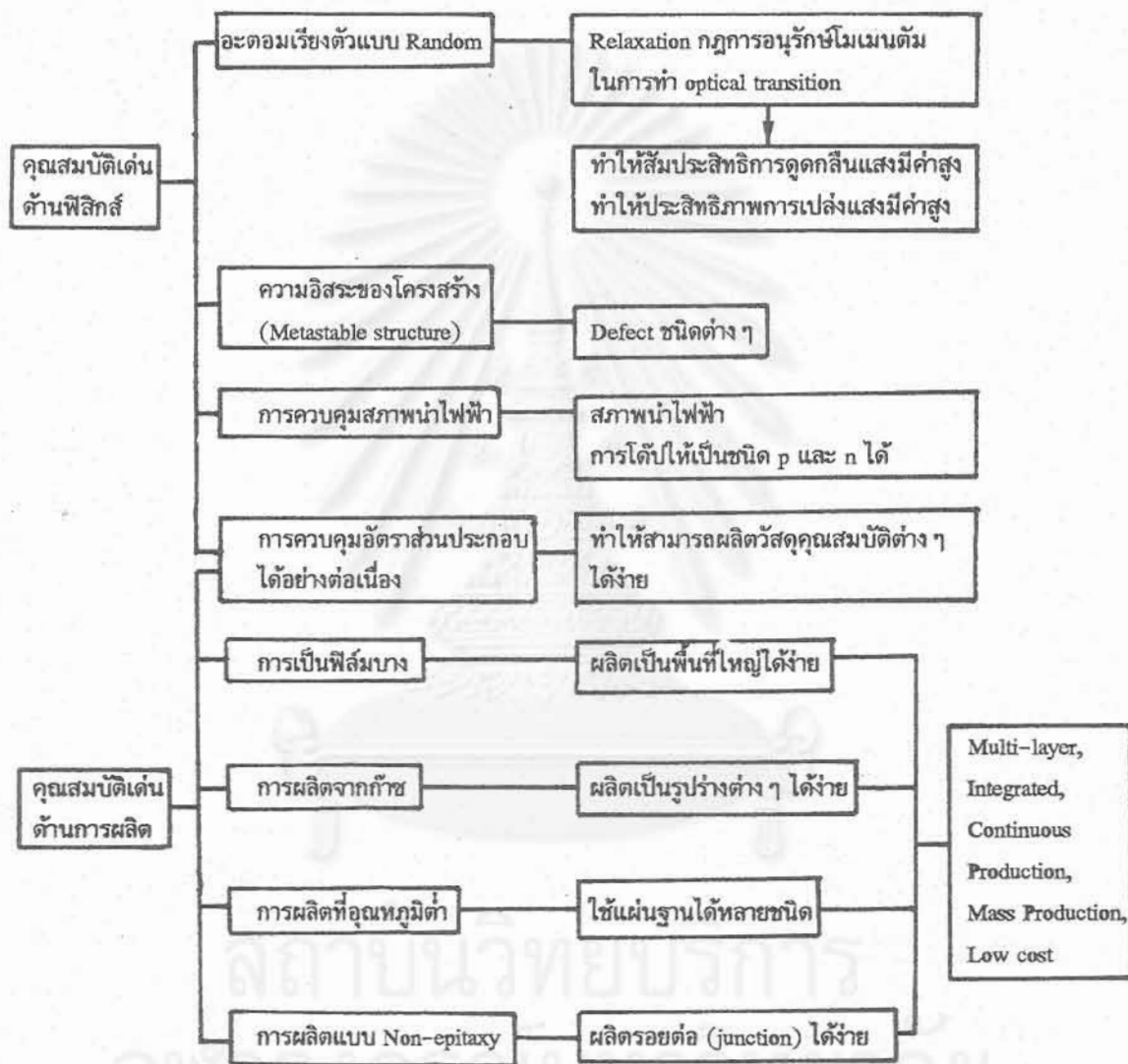
จากการที่อะมอร์ฟัสตระกูลซิลิกอนผลิตได้ที่อุณหภูมิต่ำ ๆ และคุณสมบัติของการเป็นอะมอร์ฟัสที่ไม่ต้องปลูกด้วยรอยต่อเป็นอีพิแทกเซียล (epitaxial) จึงสามารถปลูกเป็นฟิล์มบางบนวัสดุต่าง ๆ ได้ อาทิเช่น แผ่นแก้ว แผ่นสแตนเลส แผ่นโพลีเมอร์ ดังแสดงในตัวอย่างในรูปที่ 2.4 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ม้วนหรือตัดโค้งเป็นรูปต่าง ๆ ได้ ทำให้ขอบเขตการใช้งานกว้างขวางมาก



รูปที่ 2.2 ขนาดช่องว่างพลังงานของวัสดุอะมอร์ฟิซชนิดต่าง ๆ

(3) ผลิตเป็นฟิล์มบางได้ง่าย ทำให้ประหยัดวัสดุ

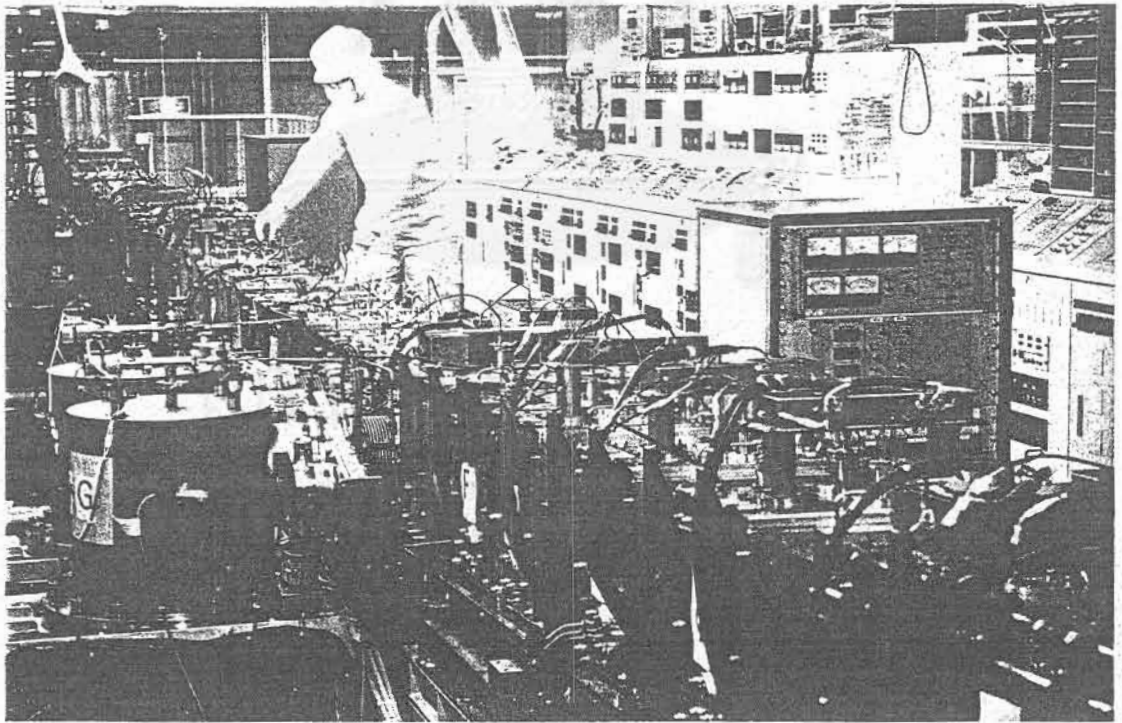
ในกรณีเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง a-Si:H นั้นมีความหนาของชั้น a-Si:H เพียง 0.5-0.6 ไมครอน ในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอนมีความหนาลึถึง 200-300 ไมครอน ทำให้สิ่งประดิษฐ์อะมอร์ฟัสมีราคาถูก เพราะใช้วัสดุน้อย



รูปที่ 2.3 คุณสมบัติเด่นของสารกึ่งตัวนำอะมอร์ฟัสซิลิกอนอัลลอยต่าง ๆ เช่น a-Si:H, a-SiN:H, a-SiC:H, a-SiGe:H



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอนซึ่งสร้างบนแผ่นฐานที่โค้งงอได้



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างกระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติและต่อเนื่องของเซลล์แสงอาทิตย์อะมอร์ฟัสซิลิกอน



(4) จากคุณสมบัติของการเป็นอะมอร์ฟัส

การ transition ของพาหะทางแสงจึงไม่จำเป็นต้องเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม (K-selection rule) ดังนั้นสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของ a-Si:H จึงมีค่าสูง และในทำนองเดียวกันจึงคาดว่าประสิทธิภาพการแปลงแสงของ a-Si:H, a-SiN:H และ a-SiN:H จะมีค่าสูงด้วย

(5) ผลิตแบบออตโนมิตีต่อเนื่องและปริมาณมากได้ง่าย

ปัจจุบันเหตุผลสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้ราคาวงจร IC ถูกลงเรื่อย ๆ นั่นคือประสิทธิภาพของสิ่งประดิษฐ์ดีขึ้นและมีการผลิตเป็นปริมาณมากขึ้นเรื่อย ๆ สำหรับกรณีอะมอร์ฟัสตระกูลซิลิกอนนี้ก็เช่นกัน เนื่องจากผลิตเป็นกระบวนการต่อเนื่องแบบ dry process ได้ จึงทำให้มีขั้นตอนน้อย สามารถผลิตเป็นปริมาณมาก ๆ ได้ง่าย และมี scale merit สูง กล่าวคือยิ่งผลิตมากราคาค่าต้นทุนก็จะยิ่งถูกลงมาก รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างกระบวนการผลิตแบบออตโนมิตีต่อเนื่องของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน

(6) ผลิตเป็นฟิล์มบางหลายชั้นแบบ multi-layer ได้ง่าย

เนื่องจากอะมอร์ฟัสซิลิกอนผลิตจากก๊าซที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นในกระบวนการผลิตจึงสามารถผลิตให้เป็นฟิล์มบางหลายชั้นได้ง่าย โดยเพียงแค่ควบคุมเปิดปิดการไหลของก๊าซ และง่ายต่อการต่อเชื่อมสิ่งประดิษฐ์เข้าด้วยกัน (inter connection) บนแผ่นฐานเดียวกัน รวมทั้งง่ายต่อการทำชั้นป้องกัน (passivation) ผิวหน้า

2.4 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานวัสดุ a-Si:H, a-SiN:H, a-SiC:H

จากการที่อะมอร์ฟัสซิลิกอน มีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำที่ไวต่อแสง และเติมสารเจือปนให้มีคุณสมบัติเป็นชนิดพีและเอ็นได้ จึงสามารถนำมาใช้งานเป็นสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์ได้มากมายและถูกผลิตออกขายในเชิงพาณิชย์แล้วหลายอย่าง ขณะนี้ที่ห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำกำลังวิจัยประดิษฐ์สิ่งประดิษฐ์วัสดุ a-Si:H อยู่หลายชนิด อาทิเช่น เซลล์แสงอาทิตย์ TFLED เซนเซอร์แสง ฯลฯ วัสดุอะมอร์ฟัสสามารถนำไปใช้งานได้มากมายหลายด้าน ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานวัสดุตระกูลอะมอร์ฟัสซิลิกอนอัลลอยแสดงในตารางนี้



สิ่งประดิษฐ์รับแสง	<ul style="list-style-type: none"><li>- เซลล์แสงอาทิตย์ (solar cell)</li><li>- โฟโตไดโอด (photo-diode)</li><li>- เซนเซอร์สีของแสง (color sensor)</li><li>- Line sensor</li><li>- Solid State Image sensor</li><li>- Drum in electrophotography</li></ul>
สิ่งประดิษฐ์เปล่งแสง	<ul style="list-style-type: none"><li>- ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบาง (Thin Film LED)</li></ul>
สิ่งประดิษฐ์แอกทีฟ	<ul style="list-style-type: none"><li>- ทรานซิสเตอร์แบบฟิล์มบาง (Thin Film Transistor : TFT)</li></ul>
สิ่งประดิษฐ์อื่น ๆ	<ul style="list-style-type: none"><li>- Pressure sensor</li><li>- Thermal sensor</li><li>- Switch memory</li><li>- Strain sensor</li><li>- etc.</li></ul>

### เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟิซิลิกอน

เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้เมื่อถูกฉายด้วยแสง โดยอาศัยปรากฏการณ์ที่เรียกว่า โฟโตโวลตาอิก เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟิซิลิกอนถูกผลิตครั้งแรกโดยวิศวกรชาวอเมริกัน ชื่อ Carlson และ Wronski บริษัท RCA ในปีค.ศ. 1977 โดยมีโครงสร้างแบบฮอตอิเล็กโทรดของชั้นโปร่งแสง  $\text{SnO}_2$  และ  $\text{a-Si:H}$  ในชั้นต้นเซลล์มีประสิทธิภาพเพียง 5.5 % แต่ก็ได้สร้างความตื่นเต้นให้กับวงการเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอย่างมาก เพราะเป็นเซลล์ชนิดใหม่ที่มีราคาถูกและอนาคตสดใสมาก ต่อมาศาสตราจารย์ Hamakawa มหาวิทยาลัยโอซาก้าได้ออกแบบให้เป็นโครงสร้าง p-i-n ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ใช้กันอยู่ทุกวันนี้ ตัวอย่างโครงสร้างเซลล์แสดงในรูปที่ 2.6 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟิซิลิกอนถูกพัฒนาให้ดีขึ้นอย่างรวดเร็วสูงกว่า 10 % แล้ว [2] การวิจัยและพัฒนาเซลล์แบบ  $\text{a-Si:H}$  นี้ ได้รับความสนใจจากประเทศทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่น รูปที่ 2.7 แสดงตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์ที่คณะผู้วิจัยผลิตได้สำเร็จที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีประสิทธิภาพ 7 % และใช้งานใน battery charger

### ทรานซิสเตอร์ฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิกอน

การประยุกต์ใช้งานที่น่าสนใจมากอีกอย่างหนึ่งของอะมอร์ฟิซิลิกอนคือ ทรานซิสเตอร์ฟิล์มบาง (Thin Film Transistor ย่อว่า TFT) [3] ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ชนิดสนามไฟฟ้า (Field Effect Transistor ย่อว่า FET) รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างการใช้ a-Si TFT เป็นสวิทช์ในจอภาพแบบผลึกเหลว (Liquid Crystal Display ย่อว่า LCD)

ลักษณะเด่นของการใช้ a-Si:H เป็น TFT คือผลิตเป็นฟิล์มบางพื้นกว้างใหญ่ได้ง่าย วัสดุ a-Si:H มีความโปร่งแสงสูง ผลิตที่อุณหภูมิต่ำๆ ได้ เนื่องจากระดับกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ขับเคลื่อน LCD มีค่าน้อย ทำให้ความหนาของ a-Si:H และฉนวนเกตมีเพียง 0.4-0.5 ไมครอน ความยาวของ channel เพียง 20  $\mu\text{m}$  ซึ่งทำให้ตัว TFT มีขนาดเล็กมากสามารถออกแบบวางไว้ระหว่างจุด LCD ต่างๆ ได้ ปัจจุบันมีหลายบริษัทแล้วที่ผลิตโทรทัศน์ LCD ขนาดจุด LCD 220 ตัว x 249 ตัว และมีทั้งขนาดเล็กเป็นนาฬิกาข้อมือ a-Si TFT สามารถใช้งานได้หลายอย่าง นอกจากในโทรทัศน์ LCD แล้ว สามารถใช้เป็นตัวควบคุมจอภาพ LCD ในคอมพิวเตอร์ แผงจอยควบคุมต่างๆ ในรถยนต์ คาดว่าตลาดของ a-Si TFT จะแพร่หลายกว้างขวางมากขึ้น

### ตัวตรวจจับแสงสีต่างๆ

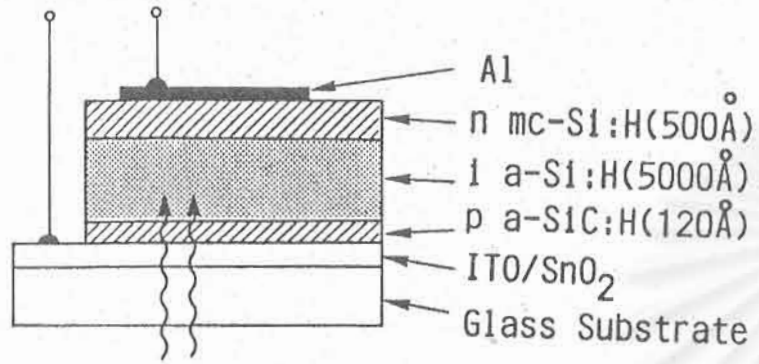
เซลล์แสงอาทิตย์สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานเป็นตัวตรวจจับแสงสีต่างๆ ได้ด้วย [4] รูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างตัวตรวจจับแสงสีต่างๆ ที่ผลิตโดยคณะผู้วิจัย ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ [4]

### หลอดถ่ายภาพวิดีโอ

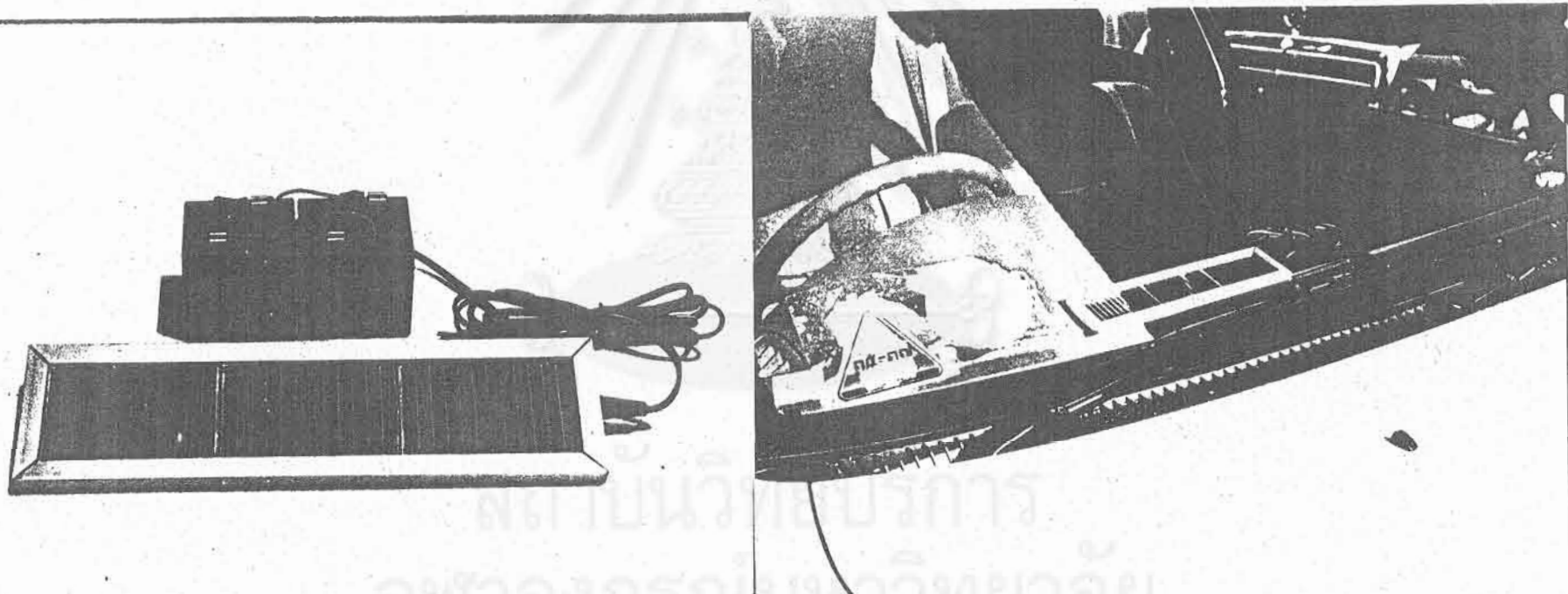
ปัจจุบันหลอดถ่ายภาพวิดีโอที่เราใช้กันทุกวันนี้ ทำจากวัสดุอะมอร์ฟิสมของ Se-As-Te และในเร็วๆ นี้ได้มีการเริ่มผลิตหลอดถ่ายภาพวิดีโอด้วยอะมอร์ฟิซิลิกอน [5] ซึ่งทำให้คุณภาพการถ่ายดีขึ้น เช่น ได้ภาพคมชัดขึ้น ภาพค้ำงน้อยลง ทำให้อายุการใช้งานของอะมอร์ฟิซิลิกอนทางด้านนี้ได้รับความสนใจมากขึ้น

### ดรัมถ่ายเอกสาร

เครื่องถ่ายเอกสารทำงานได้โดยอาศัยวัสดุที่ไวต่อแสงเพื่อเก็บประจุไฟฟ้าสถิตย์และดูดผงคาร์บอนให้เกาะติดตามรูปของเอกสารต้นฉบับ วัสดุที่ไวต่อแสง (a-Si) จะถูกเคลือบบนท้อสเดนเลสที่หมุนได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ท้อสเดนเลสนี้ มีชื่อเรียกว่าดรัม (drum) เครื่องถ่ายเอกสารเครื่องแรกของโลกถูกผลิตโดยบริษัท Xerox ประเทศสหรัฐอเมริกาเมื่อปีค.ศ.1950 ซึ่งวัสดุไวแสงที่ใช้นั้นเป็นอะมอร์ฟิสมของเซเลน (a-Se) ในปัจจุบันได้มีการเริ่มใช้อะมอร์ฟิซิลิกอนเป็นวัสดุไวแสง [6] ซึ่งทำให้ถ่ายเอกสารได้ภาพคมชัด และอายุการใช้งานก็ยาวนานกว่า a-Se ความหนาของชั้น a-Si:H มีประมาณ 10-30 ไมครอน ทนต่อความร้อนได้สูงถึง 200-300 $^{\circ}\text{C}$  (a-Se ทนความร้อนได้เพียง 60 $^{\circ}\text{C}$ ) โครงสร้างรายละเอียดของดรัมอาจมี a-Si:H เพียงชั้นเดียวหรือหลายชั้น แล้วแต่การออกแบบว่าต้องการจะเก็บประจุไฟฟ้าสถิตย์มากน้อย



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟิซิลิกอน



รูปที่ 2.7 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิกอนที่คณะผู้วิจัยผลิตได้สำเร็จที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

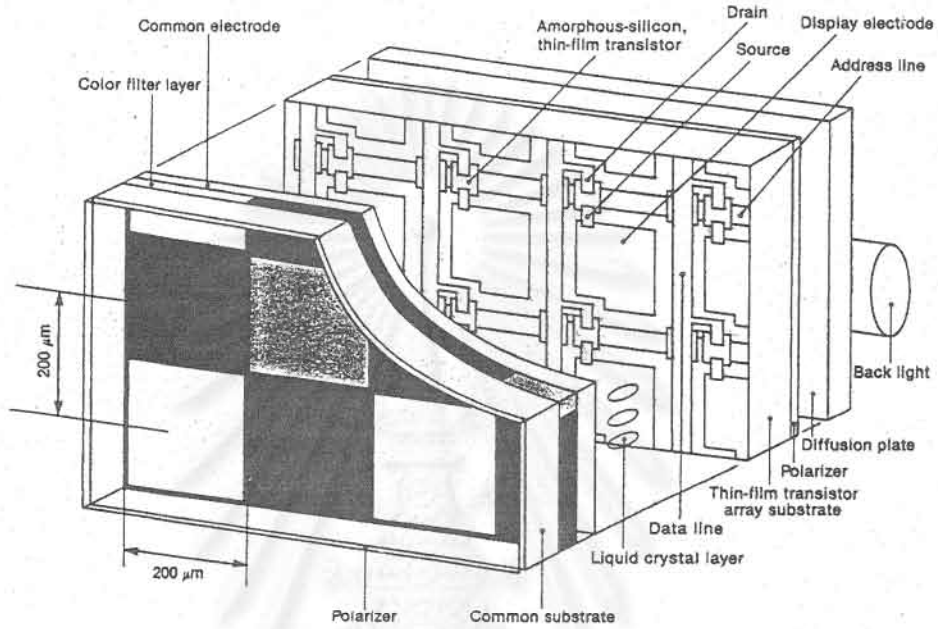
หรือหลายชั้น แล้วแต่การออกแบบว่าต้องการจะเก็บประจุไฟฟ้าสถิตย์มากน้อยเพียงไร อนาคตการใช้งานของดริ้มถ่ายเอกสารแบบ a-Si:H จะกว้างขวางมากขึ้น เพราะการเติมธาตุอื่น ๆ ให้เป็น a-SiC:H, a-SiN, a-SiGe:H จะทำให้ปรับขนาดช่องว่างพลังงานให้พอเหมาะกับแหล่งจ่ายแสงชนิดต่าง ๆ ได้ง่าย เช่น แสงจากหลอดไฟทังสเต้น, LED และเลเซอร์สารกึ่งตัวนำ

### ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบาง

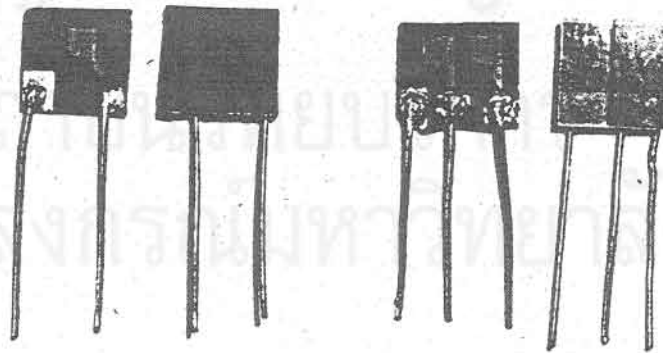
ปัจจุบันสิ่งประดิษฐ์เปล่งแสง (display device) ชนิดต่าง ๆ เช่น CRT (Cathode Ray Tube), EL (Electroluminescence), LCD (Liquid Crystal Display) และ LED (Light Emitting Diode) มีความสำคัญ และมีบทบาทมากในการแสดงหรือสื่อสารข้อมูลต่าง ๆ ถูกนำไปใช้งานตั้งแต่โทรทัศน์ไปจนถึงเครื่องตรวจวัดและในระบบคอมพิวเตอร์ อย่างไรก็ตามสิ่งประดิษฐ์เหล่านี้ก็มีข้อเสียหลายอย่าง เช่น CRT นั้นต้องใช้แรงดันไฟฟ้าสูงเป็นหมื่นโวลต์มีน้ำหนักมาก EL มีลักษณะเป็นแผ่นบางเบา แต่ก็ต้องใช้แรงดันไฟฟ้าสูงกว่า 200 V ผลึกเหลว (LCD) เป็นแผ่นบางเบาใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำแต่ต้องมีแหล่งกำเนิดแสงจากที่อื่น และการ contrast ไม่ดี มุมการมองก็แคบ ส่วน LED นั้นมีราคาแพงและทำเป็นพื้นที่กว้างใหญ่ยาก เพราะใช้ผลึกเป็นวัสดุเริ่มต้น ผู้วิจัยได้ประสบความสำเร็จเป็นครั้งแรกในการคิดค้นประดิษฐ์สิ่งประดิษฐ์เปล่งแสงชนิดใหม่ขึ้นมาได้ คือ LED แบบฟิล์มบาง (Thin Film LED) ที่ทำจาก อะมอร์ฟัสซิลิกอนคาร์ไบด์ (a-SiC:H) และอะมอร์ฟัสซิลิกอนไนไตรด์ (a-SiN:H) ซึ่งมีคุณสมบัติดีเด่นมากมายหลายประการไม่มีข้อบกพร่องดังเช่นสิ่งประดิษฐ์ข้างต้น เช่น บางเบา ทำเป็นพื้นที่เปล่งแสงกว้างใหญ่ได้ง่าย ปลูกบนแผ่นฐานอะไรก็ได้ ราคาถูก มี contrast ดี ใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำ จึงต่อกับวงจรจ่ายไฟแบบ IC ได้ง่าย สีที่เปล่งนั้นเปลี่ยนง่ายได้ด้วยการปรับอัตราส่วนของ Si/C หรือ Si/N LED แบบฟิล์มบางนี้สามารถนำมาใช้งานเป็นจอภาพโทรทัศน์แบบแบนและเบาที่แขวนที่ฝาผนัง (flat panel display) ได้

นอกจากสิ่งประดิษฐ์ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น วัสดุ a-SiN:H และ a-SiC:H ยังมีบทบาทสูงในการทำหน้าที่เป็นชั้นต่าง ๆ ในสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ ดังได้รวบรวมไว้ในตารางที่ 2.1 และ 2.2

สำหรับกรณี a-SiN:H นั้น ส่วนใหญ่ที่ผ่านมาจะถูกนำไปใช้เป็นชั้นฉนวนหรือชั้น passivation (ชั้นป้องกัน) ซึ่งอาศัยคุณสมบัติความแข็ง ความโปร่งแสง และสภาพความต้านทานไฟฟ้าสูง แต่ในงานวิจัยนี้ได้นำคุณสมบัติของการเป็นสารกึ่งตัวนำ ด้านการเปล่งแสงมาใช้ให้เป็นประโยชน์เป็นครั้งแรก

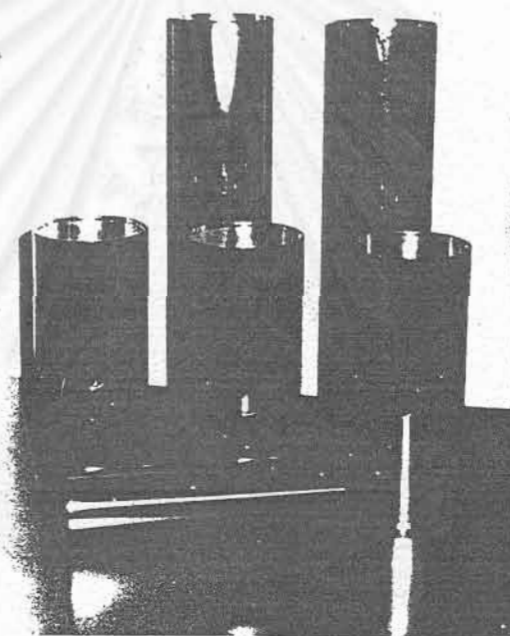


รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการใช้ a-Si:H Thin Film Transistor (TFT) เป็นสวิตช์ในจอภาพแบบผลึกเหลว (LCD)



รูปที่ 2.9 ตัวตรวจวัดสีของแสงสีต่างๆ ที่ผลิตโดยคณะผู้วิจัย ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 2.10 ตั้ร้ในเครื่องถ่ายเอกสารซึ่งผลิตจากการเคลือบ  $\alpha$ -Si:H ลงรอบ ๆ ท่อ  
สแตนเลส

ตารางที่ 2.1 หน้าที่และการใช้งานฟิล์มบาง a-SiN:H ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์  
ต่าง ๆ จนถึงปัจจุบัน

Functions	References
Encapsulation coatings for gallium arsenide to prevent evaporation of arsenic during heat treatments	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Bartle, D. C., Andrews, D. C., Grange, J. D., Harris, P.G., Trigg, A. D., and Wickenden, D. K., Vacuum, 34, 315 1984</li> <li>. Ishii, Y., Aoki, T., and Miyazawa, S., J. Vac. Sci. Technolo., B 2, 49 1984</li> <li>. Helix, M. J., Vaidyanathan, K. V., Streetman, B. G., Dietrich, H.B., and Chatterjee, P.K., Thin Solid Films, 55, 143 1978</li> <li>. Campbell, P. M. and Baliga, B. J., Silicon Nitride Thin Insulating Films, Kapoor, V. J. and Stein, H. J., Eds., Electrochemical Society, Pennington, N.J., 1983 150</li> <li>. Valco, G. J. and Kapoor, V. J., Silicon Nitride Thin Insulating Films, Kapoor, V.J. and Stein, H. J., Eds., Electrochemical Society, Pennington, N.J., 1983 128</li> </ul>
Gate dielectrics for amorphous silicon or indium phosphide transistors	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Katch, K., Yasui, M., and Watanabe, H., Jpn. J. Appl. Phys. Pt. 2 Lett., 22, L 321 1983</li> <li>. Woodward, J., Cameron, D. C., Irving, L. D., and Jones, G. R., Thin Solid Films, 85, 61 1981</li> <li>. Hezel, R., Blumenstock, K., and Schorner, R., J Electrochem. Soc., 131, 1979 1984</li> </ul>
Insulators between metal levels	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Maeda, M. and Nakamura, H., Thin Solid Films, 112, 279 1984</li> <li>. Summers, D., Solid State Technol., 26, 137 1983</li> </ul>
Masks to prevent oxidation and diffusion	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Turner, G. W. and Connors, M. K., J. Electrochem. Soc., 131, 1211, 1984.</li> <li>. Blaauw, C., Spring Thorpe, A. J., Dzioba, S., and Emmerstorfer, B., J. Electron. Mater., 13, 251, 1984.</li> </ul>
Etch masks in multilevel resist structures	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Soller, B. R., Snider, C.R., and Shuman, R.F., J. Electrochem. Soc., 131, 868, 1984.</li> </ul>
Supporting membranes for X-ray lithography masks	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Suzuki, K., Matsui, J., and Torikai, T., J. Vac. Sci. Technol., 20, 191. 1982.</li> </ul>
Dielectric and antireflection coatings for solar cells and photodetectors.	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Hezel, R. and Schorner, R., J. Appl. Phys., 52, 3076, 1981.</li> <li>. Watanabe, H., Katoh, K., and Yasui, M., Jpn. J. Appl. Phys., 23, 1, 1984.</li> </ul>
Luminescent layer in visible thin film LED	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Dusit Kruangam, 1992 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Aug. 26-28, 1992, Tsukuba, Japan.</li> </ul>

ตารางที่ 2.2 หน้าที่และการใช้งานฟิล์มบาง a-SiC:H ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์  
ต่าง ๆ จนถึงปัจจุบัน

DEVICES	FUNCTIONS	REFERENCES
a-SiC/c-Si Heterojunction Bipolar Transistor (HBT)	Wide-gap Emitter (p a-SiC)	K.Sasaki, M.Rahmans, S.Furukawa:IEEE Electron Device Letters, vol EDL-6, No 6, June (1985) pp 151-153.
Linear Imaging Sensor	Wide-gap window (p a-SiC)	Kajihara, Kaneko, Ohkubo, Gazoudenzentai (1985) in Japanese.
CCD Imager	Wide-gap Window (p a-SiC)	N.Harada, Y.Hashimoto, S.Uzu, Y.Komatsubara, K.Ide, T.Kon, K.Yano, M.Kakegawa,T.Yoshino and O.Yoshida: Technical Group on Electron Devices of Inst. TV Engrs. of Japan, ED 760 (1983) pp55-60. (in Japanese).
Photoreceptor	Top Passivation Layer (i a-SiC) Bottom Blocking Layer) (p a-SiC)	E.Inoue and I.Shimizu: Photogr. Sci. Eng., 26 (1982) pp148.
a-SiC/a-Si Heterojunction Solar Cell	Wide-gap Window (p a-SiC)	Y.Hamakawa and Y.Tawada: Int. J. Solar Energy (1982) pp251.
a-SiC/a-Si Heterojunction Solar Cell	Wide-gap Window (p a-SiC/p a-Si Superlattice)	S.Tsuda, H.Tarui, T.Matsuyama, H.Haku, K.Watanabe, Y.Nakashima, S.Nakano and Y.Kuwano: Proc. 2nd Int. Phtovoltaic Science and Eng. Conf., Beijing, China (1986) pp409.
a-SiC EL	Intrinsic Luminescent Layer (i a-SiC)	H.Munekata and H.Kukimoto: Appl.Phys.Lett. 42 (5) (1983) pp 432.
a-SiC p-i-n Thin Film LED	Carrier Injector Layer (p a-SiC, n a-SiC) Luminescent Layer (i a-SiC)	D.Kruangam, T.Endo, W.G.Pu, H.Okamoto and Y.Hamakawa: Jpn.J.Appl.Phys., vol24(10) (1985) ppL806-L808.
a-Si Solar Cell	Intrinsic Photogenerating Layer (i a-SiC)	H.Nakabayashi, A.Takeuchi, S.Yamaguchi, and Y.Hamakawa: PVSEC-III, Tokyo, (1987) A.Catalano, C.Fortmann, J.Newton, R.R.Arya and M.Bennett: PVSEC-III, Tokyo (1987).

เอกสารอ้างอิง

1. W.E. Spear and P.G. Le Comber : Solid State Commun., vol. 17, (1975), p. 1193.
2. ดุลิต เครื่องงาม : วิศวกรรมสารปีที่ 42 เล่มที่ 2, (2532), p. 65.
3. Y. Hamakawa edited : Japan Annual Reveiws in Electronics, Computers & Telecommunications (JARECT) Amorphous Semiconductor Technologies & Devices, (Ohm-Sha & North-Holland), vol 6, (1983), p. 252.
4. ดุลิต เครื่องงาม, ภาวัน สยามชัย และสมศักดิ์ ปัญญาแก้ว : การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 14 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, หาดใหญ่, 7- 8 พฤศจิกายน (2534), หน้า 2-27.
5. J.I. Pankove edited : Semiconductor and Semimetals, Vol. 21, part D, (1984), p. 75.
6. Y. Hamakawa edited, JARECT, vol. 6, (1983), p. 325.
7. W. Boonkosum, D. Kruangam and S. Panyakeow : Jpn. J. Appl. Phys., vol. 32 part 1, No. 4, April (1993), p. 1534.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### บทที่ 3

#### การผลิต a-SiN:H, a-SiC:H ด้วยวิธี Glow Discharge Plasma CVD

#### คำนำ

วัสดุฟิล์มบาง a-SiN:H, a-SiC:H สามารถผลิตได้หลายวิธี เช่น วิธี sputtering, thermal CVD แต่ปัจจุบันวิธี glow discharge plasma CVD (การแยกสลายก๊าซด้วยประจุเรืองแสง) เป็นวิธีที่จะให้ได้ฟิล์มที่มีคุณภาพทางสารกึ่งตัวนำที่ดีที่สุดและใช้กันแพร่หลายที่สุด และมีการนำไปใช้ผลิตสิ่งประดิษฐ์ฟิล์มบางอะมอร์ฟัสต่าง ๆ มากมาย เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ ทรานซิสเตอร์ฟิล์มบาง ตรวจจับเอกซเรย์ ฯลฯ (CVD ย่อมาจากคำว่า Chemical Vapor Deposition)

ปัจจุบันที่ห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีเครื่อง glow discharge plasma CVD 2 ชุด (เพื่อความสะดวกต่อไปขอเรียกสั้น ๆ ว่า CVD) โดยชุดแรกสร้างโดย ดร. ดุสิต เครื่องาม ระหว่างพ.ศ. 2531-2533 เพื่อใช้สำหรับผลิต a-Si:H ในงานเซลล์แสงอาทิตย์ เป็น CVD มีขั้วไฟฟ้าทรงกระบอกอยู่นอก chamber [1]

สำหรับในการผลิตฟิล์ม a-SiN:H และ a-SiC:H ในวิจัยนี้ เพื่อป้องกันมิให้เกิดการ contamination กับเซลล์แสงอาทิตย์ จึงได้ติดตั้ง CVD ชุดที่ 2 ขึ้น และใช้ในการผลิตฟิล์มสารประกอบ a-SiN:H, a-SiC:H ขึ้นโดยเฉพาะ เครื่อง CVD ชุดที่ 2 นี้มีขั้วไฟฟ้าเป็นจานแบน 2 แผ่น วางขนานกันและอยู่ภายใน chamber [2]

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการผลิต a-SiN:H, a-SiC:H ด้วยเครื่อง CVD ชุดที่ 2 ดังกล่าว

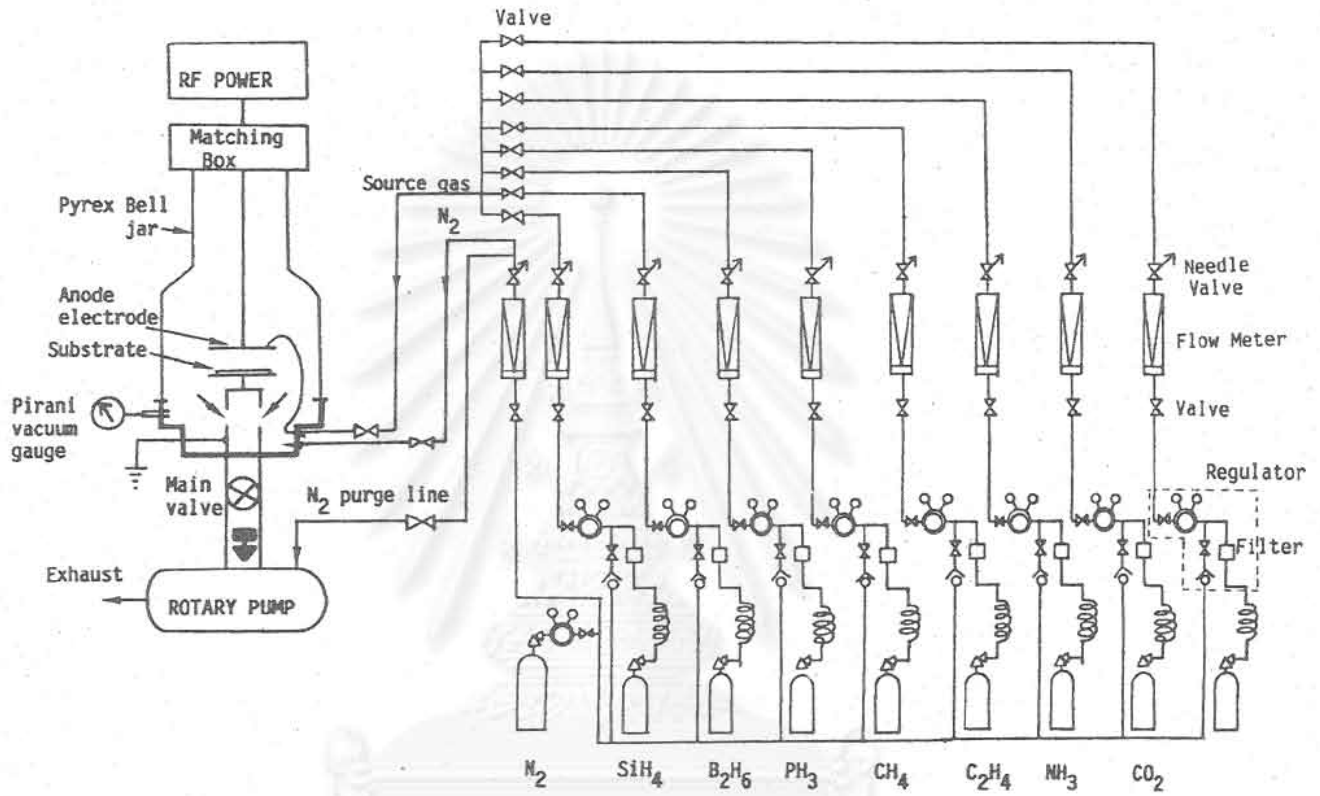
#### 3.1 โครงสร้างของระบบ Glow Discharge Plasma CVD

ระบบ CVD ที่ติดตั้งในงานวิจัยนี้ ตัวเครื่อง CVD ได้สั่งซื้อมาจาก บริษัท SAMCO ประเทศญี่ปุ่น รุ่น BP-1 โดยคณะผู้วิจัยเป็นผู้ดำเนินการประกอบและติดตั้งเองทั้งหมด รวมทั้งระบบก๊าซทั้งหมด ก็ได้ออกแบบติดตั้งเดินท่อ ตรวจสอบเช็คเองทั้งหมด

รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังภาพรวมทั้งหมดของระบบ CVD ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ

1. เครื่อง CVD
2. ระบบการจ่ายก๊าซ

หลักการโดยย่อของการผลิตฟิล์มบางด้วยวิธี CVD นี้คือก๊าซดิบเช่น SiH<sub>4</sub>, CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> จะถูกส่งเข้า chamber ที่มีความดันประมาณ 1 Torr และก๊าซดิบเหล่านี้จะถูกสนามไฟฟ้ากระตุ้นให้แตกตัวเป็นพลาสมา และอะตอมของธาตุต่างๆ จะถูกแยกให้ไปเกาะติดเป็นฟิล์มบางบนแผ่นฐานเช่น แผ่นแก้ว ที่วางอยู่บน heater เจือปนต่างๆ ที่จะต้องควบคุมได้แก่ ปริมาณการ



รูปที่ 3.1 แผนผังของระบบ glow discharge plasma CVD ที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้



ไหลของก๊าซ, ความกดดันใน chamber, radio frequency power และอุณหภูมิของแผ่นฐาน  
รายละเอียดของระบบ CVD มีดังนี้

### 3.1.1 เครื่อง CVD

รูปที่ 3.2 แสดงภาพระบบ CVD ทั้งหมด และรูปที่ 3.3 แสดงภาพใกล้ของเครื่อง  
CVD

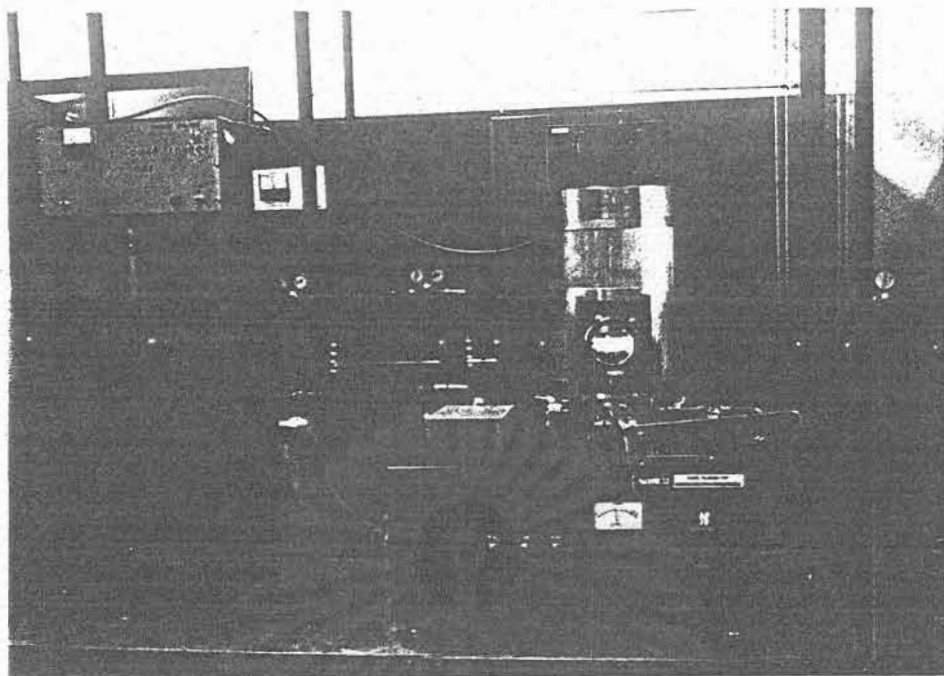
รูปที่ 3.4 แสดงภาพสเก็ทโครงสร้างของเครื่อง CVD ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้

(1) Pyrex Chamber (Pyrex Bell jar) มีลักษณะเป็นครอบแก้ว ของวัสดุ Pyrex สูง  
ประมาณ 40 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางส่วนด้านล่าง 22 ซม. และเส้นผ่าศูนย์กลางส่วนด้านบน 12  
ซม. ทำหน้าที่เป็นหลอดสุญญากาศ โดยวางคว่ำประกบอยู่บน stainless steel flange โดยมียาง  
L type packing rubber เป็นตัวเก็บสุญญากาศ ภายใน chamber มี heater ลักษณะจานกลม  
(susceptor) เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ซม. และปรับอุณหภูมิได้จาก RT-400 °ซ ที่ด้านล่างของ  
flange มีท่อ stainless ต่อไปสู่ rotary vacuum pump ที่ด้านข้างของ flange มีวาล์วเปิดปิดควบคุมการปล่อยก๊าซเข้า chamber

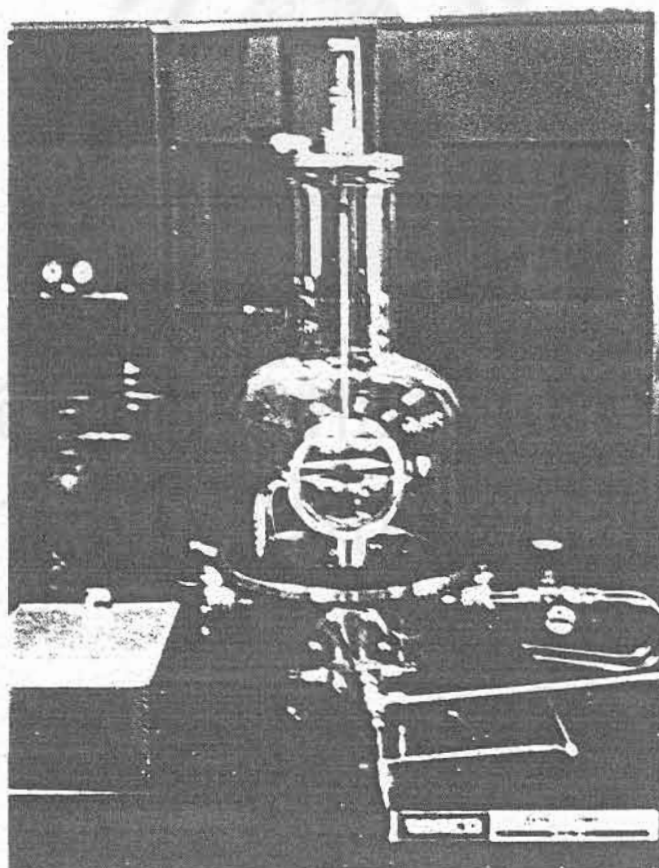
(2) เครื่องกำเนิดสนามไฟฟ้าความถี่วิทยุ ที่ด้านข้างของ CVD จะมีเครื่องกำเนิด  
สนามไฟฟ้าความถี่วิทยุ(Radio Frequency 13.56 MHz) วางอยู่และต่อไปสู่ chamber ด้วยสาย  
coaxial โดยก่อนเข้า Chamber จะมีกล่อง matching box เป็นตัวปรับให้อิมพีแดนซ์ของ RF  
power source มีค่าเท่ากับ อิมพีแดนซ์ของโหลด (คือ พลาสมา) matching box ทำจากวงจร L  
และ C ดังแสดงในรูปที่ 3.5 การปรับ matching box นั้นเป็นการเปลี่ยนค่า  $C_1$  และ  $C_2$  ในรูป

ต่อจาก matching box ลงมาจะเป็นขั้วไฟฟ้า anode เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ซม. ขั้ว  
anode ทำจากโลหะสแตนเลสมีลักษณะเป็นจานกลมๆ และมีรูพรุนด้านล่างโดยทั่ว เพื่อให้ก๊าซที่  
ต่อท่อจากวาล์วแพร่กระจายวิ่งลงมาสู่ susceptor ได้ทั่วและสม่ำเสมอคล้ายฝักบัว รูปที่ 3.6  
แสดงภาพลักษณะของขั้ว anode ขณะใช้งานขั้ว anode อยู่ห่างจาก susceptor (ground) ประมาณ  
3 ซม.

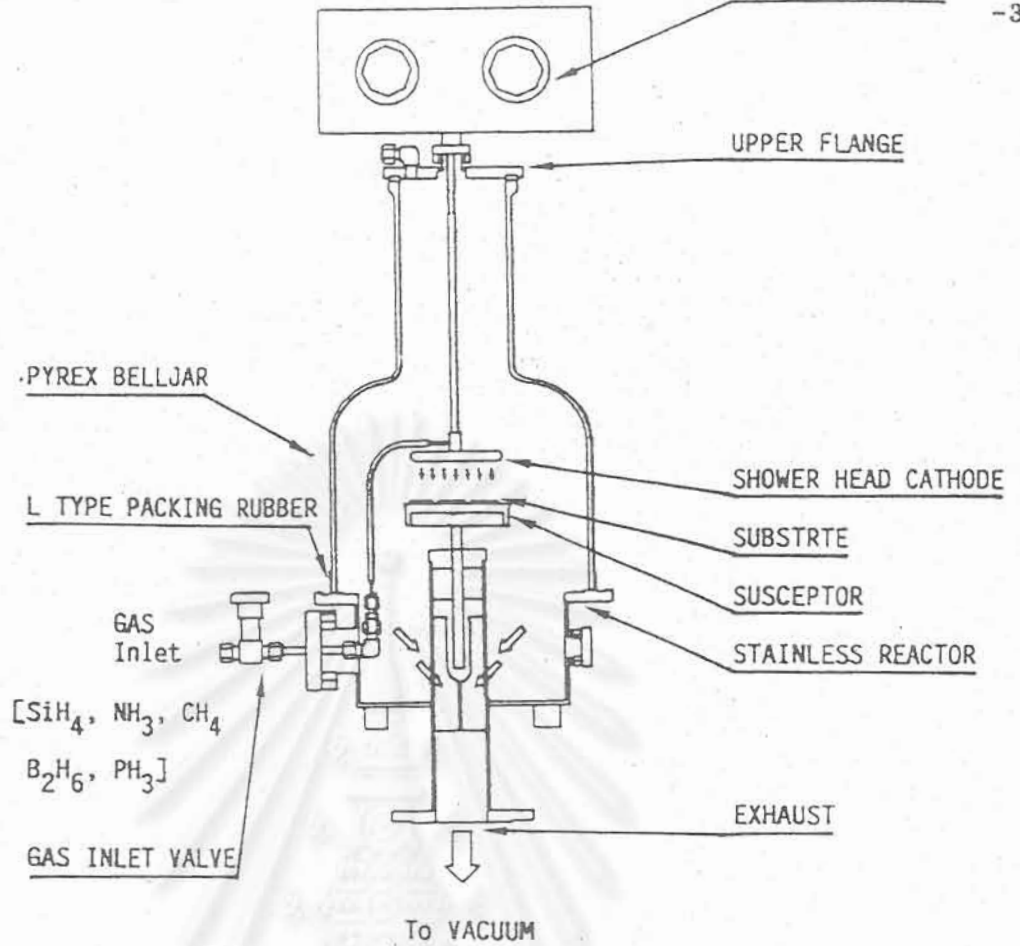
รูปที่ 3.7 แสดงภาพถ่ายขณะกำลัง discharge ก๊าซซิลเลน ( $\text{SiH}_4$ )  
รายละเอียดของเครื่อง CVD นี้ สรุปได้ดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายโดยรวมของระบบ CVD ที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ติดตั้งอยู่ที่ชั้น 5 ตึกไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์



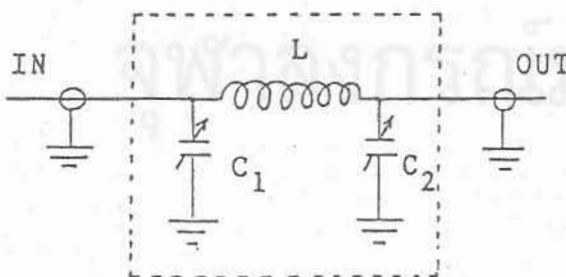
รูปที่ 3.3 ภาพถ่ายตัว Chamber ของระบบ CVD



รูปที่ 3.4 โครงสร้างของเครื่อง CVD ที่ติดตั้งในงานวิจัย

Impedance matching circuit

Matching type :  $\pi$  matching

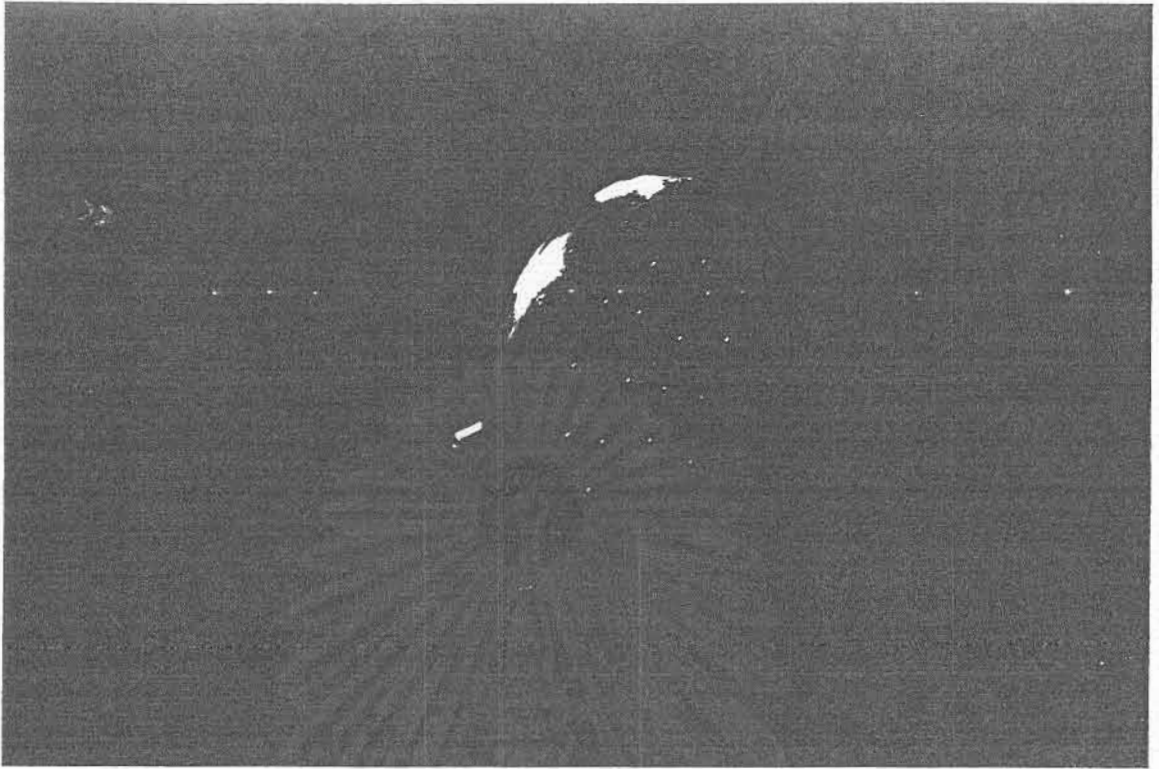


L : 6-7 turn

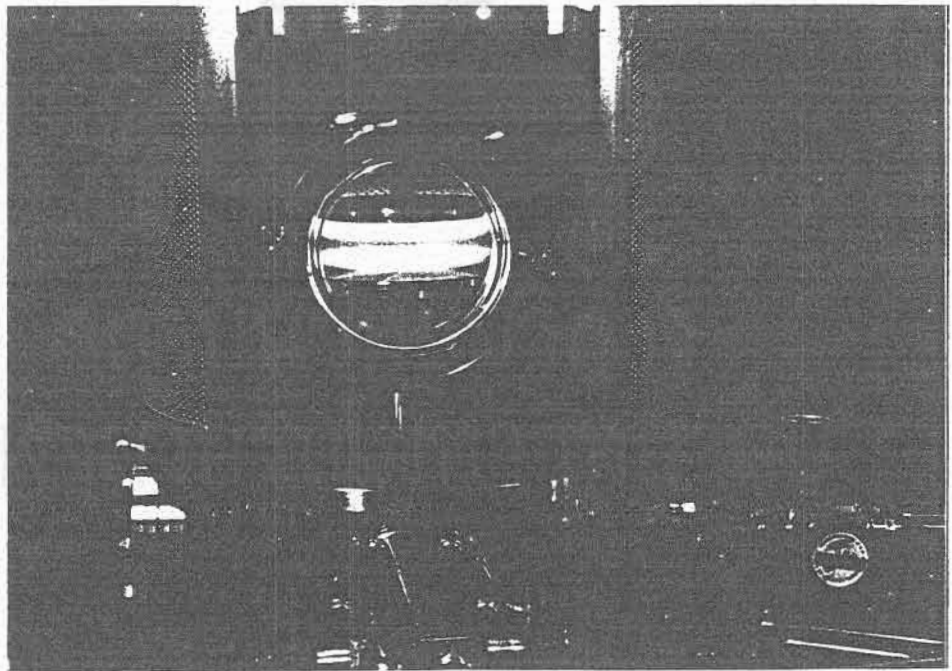
C1 : 1000pF, 1KV (PLATE)

C2 : 100pF, 2KV (LOAD)

รูปที่ 3.5 วงจรสมมูลของ matching box ในระบบ CVD



รูปที่ 3.6 ภาพถ่ายลักษณะของขั้ว anode ซึ่งมีรูพรุนให้ก๊าซวิ่งผ่านลงสู่ susceptor จริง  
สม่ำเสมอตลอดพื้นที่



รูปที่ 3.7 ภาพถ่ายขณะกำลังทำการ discharge ก๊าซซิลเลน ( $\text{SiH}_4$ )

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของเครื่อง glow discharge plasma CVD ที่ติดตั้งในงานวิจัยนี้

Chamber	เส้นผ่าศูนย์กลาง 22 ซม., วัสดุ Pyrex
Susceptor	เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ซม., ปรับอุณหภูมิช่วง RT-400°ซ
Electrode	Capacitive coupling กับ matching circuit
RF power	13.56 MHz, สูงสุด 150 Watts
Pressure	0.01~10 torr

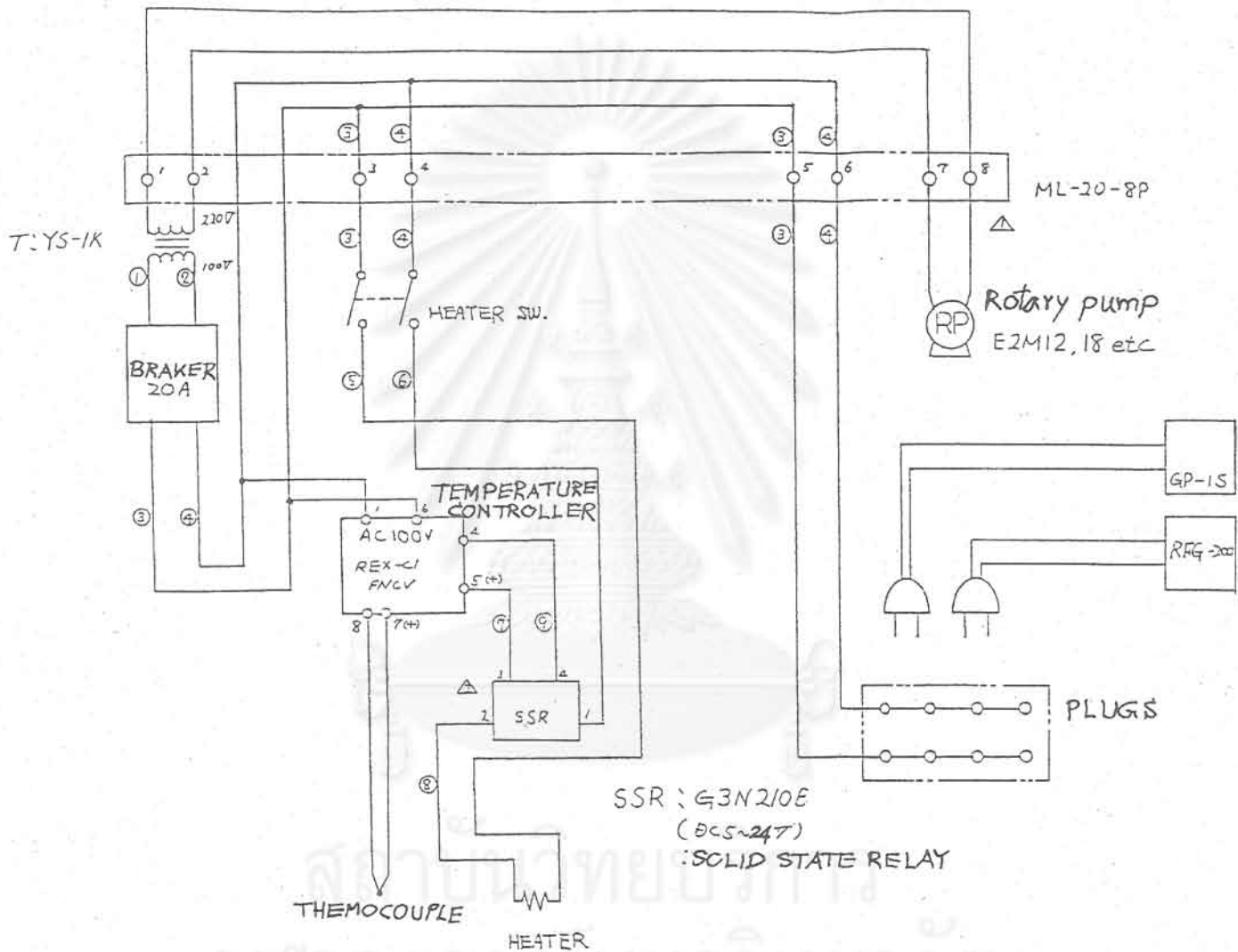
รูปที่ 3.8 แสดงแผนภูมิวงจรไฟฟ้าสำหรับป้อนไฟฟ้าให้ heater และวัดอุณหภูมิด้วย thermocouple การควบคุม heater ใช้ solid state relay (SSR) รูปที่ 3.9 แสดงวงจรไฟฟ้าของเครื่องกำเนิด RF power ความถี่ 13.56 MHz

### 3.1.2 ระบบการจ่ายและควบคุมก๊าซ

ก๊าซดิบที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นก๊าซที่มีความบริสุทธิ์สูงมากระดับ 99.9999 % ขึ้นไป และสั่งซื้อมาจากบริษัท NIHON SANSO ประเทศญี่ปุ่น ได้แก่

- ก๊าซซิลเลน ( $\text{SiH}_4$ ) ผสมไนโตรเจน ( $\text{H}_2$ ) ด้วยอัตราส่วน  $\text{SiH}_4/\text{H}_2 = 10\%$  ขนาด 10 ลิตร
- ก๊าซแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) ผสมไนโตรเจน ( $\text{H}_2$ ) ด้วยอัตราส่วน  $\text{NH}_3/\text{H}_2 = 10\%$  ขนาด 10 ลิตร
- ก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) ผสมไนโตรเจน ( $\text{H}_2$ ) ด้วยอัตราส่วน  $\text{CH}_4/\text{H}_2 = 10\%$  ขนาด 40 ลิตร
- ก๊าซไดโบเรน ( $\text{B}_2\text{H}_6$ ) ผสมไนโตรเจนด้วยอัตราส่วน 500 ppm ใช้สำหรับการได้ปให้สารกึ่งตัวนำ เป็นชนิดพี ขนาด 10 ลิตร
- ก๊าซฟอสฟีน ( $\text{PH}_3$ ) ผสมไนโตรเจนด้วยอัตราส่วน 500 ppm ใช้สำหรับการได้ปให้สารกึ่งตัวนำเป็นชนิดเอ็น

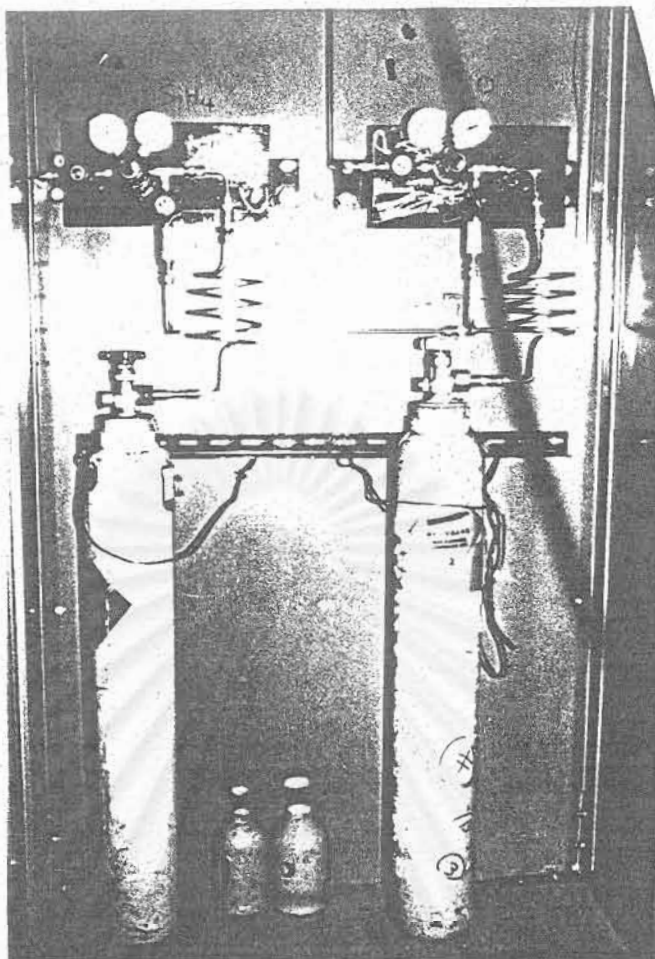
ก๊าซเหล่านี้ถูกอัดอยู่ในถังก๊าซด้วยความดันประมาณ  $120 \text{ kg/cm}^2$  (ยกเว้นแอมโมเนีย  $30 \text{ Kg/cm}^2$ ) จากถังก๊าซจะต่อท่อสเตนเลสผ่านฟิลเตอร์กรองฝุ่นขนาด 50 ไมครอน แล้วต่อเข้ากับ gas regulator (Matheson สหรัฐอเมริกา) ซึ่งเป็นตัวลดความดันก๊าซจาก  $120 \text{ kg/cm}^2$  ให้เหลือ  $1-2 \text{ kg/cm}^2$  จากนั้นจะมีวาล์ว (valve) เปิดปิด (Nupro สหรัฐอเมริกา) และ gas flow meter วัดอัตราการไหลของก๊าซ ( $0-100 \text{ cc/min}$ ) โดยอัตราการไหลของก๊าซนี้จะถูกควบคุมด้วย needle controller valve ก๊าซต่างๆ จะไหลไปรวมกันที่วาล์วสามทาง และไปสู่หลอดสุญญากาศหรือลงไปสู่ปั๊มสุญญากาศ เนื่องจากก๊าซดิบเหล่านี้เป็นก๊าซติดไฟและอันตราย การใช้งานจึงต้องระมัดระวังเป็นพิเศษว่าต้องไม่มีการรั่วออกสู่ภายนอก รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะการ



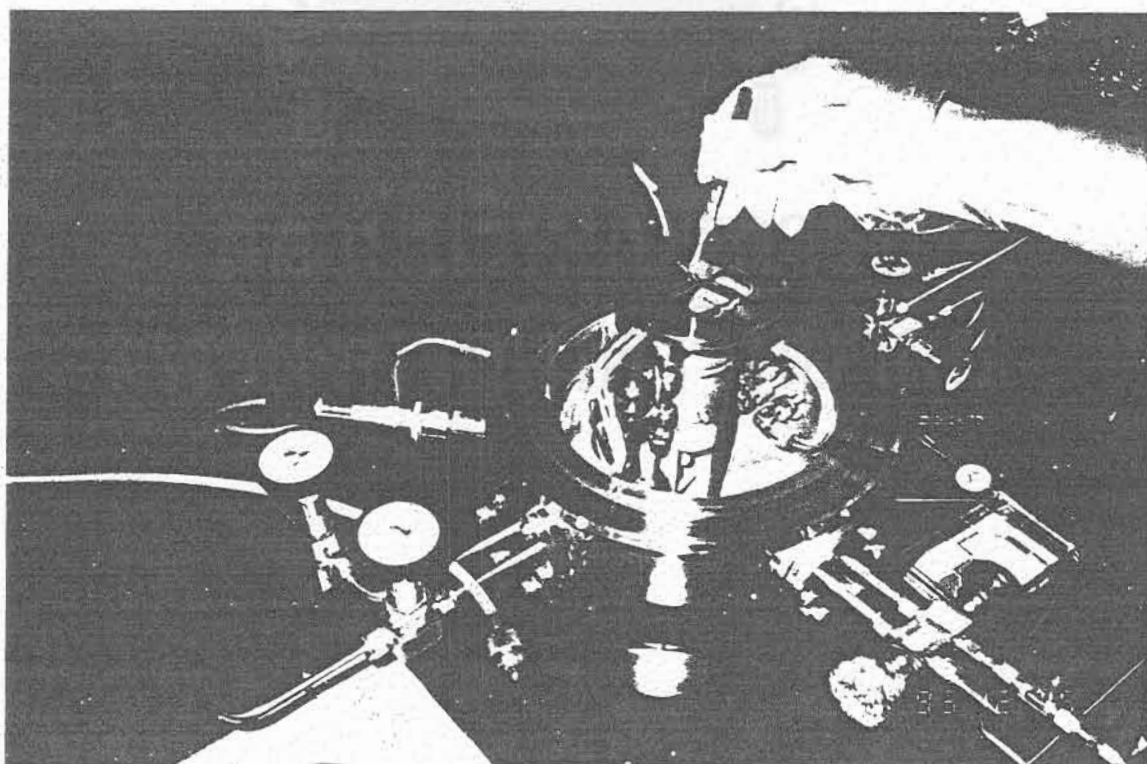
รูปที่ 3.8 แผนภูมิวงจรไฟฟ้าสำหรับป้อนไฟฟ้าให้ heater และวัดอุณหภูมิด้วย thermocouple







รูปที่ 3.10 ภาพถ่ายลักษณะการติดตั้งถังก๊าซและ regulator



รูปที่ 3.11 ภาพถ่ายขณะกำลังเตรียมการวางแผ่นฐานชนิดกระจกลงบน susceptor



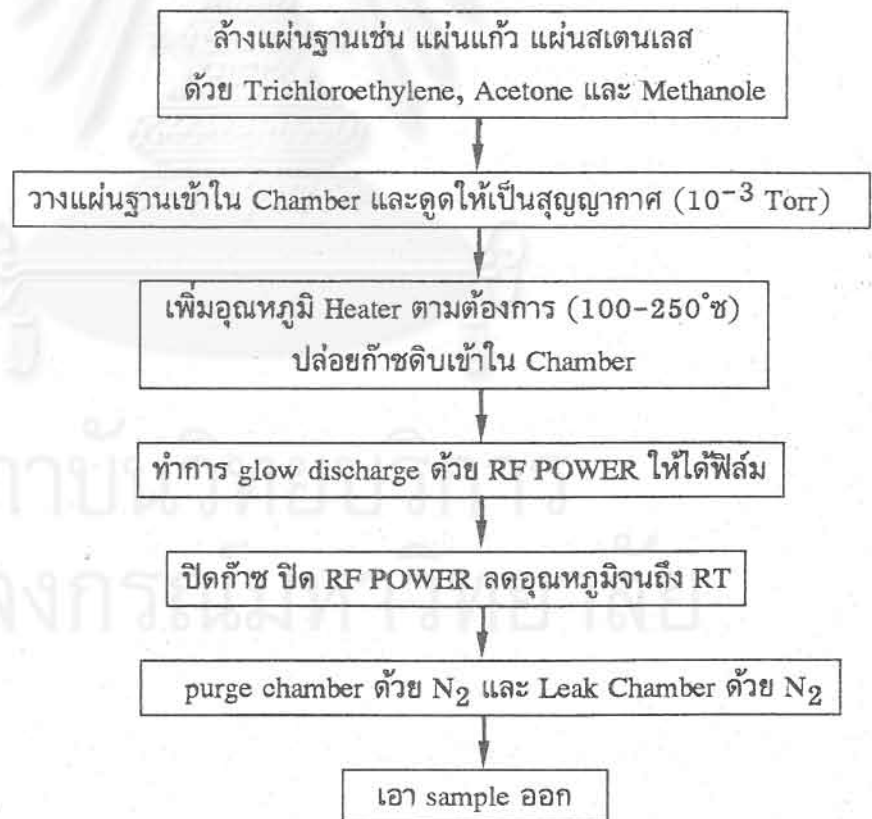
จึงต้องระมัดระวังเป็นพิเศษว่าต้องไม่มีการรั่วออกสู่ภายนอก รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะการติดตั้ง  
ถึงก๊าซและ regulator ได้มีการทดสอบว่าก๊าซไม่รั่วทั้งด้วยวิธีสุญญากาศและวิธีการเพิ่มแรงดัน  
เนื่องจากก๊าซที่ใช้เป็นก๊าซไวไฟและอันตรายการติดตั้งและใช้งานจึงต้องระมัดระวังมิให้มี  
การรั่วได้ อุปกรณ์การจ่ายก๊าซจึงต้องใช้ชนิดที่มีความไว้วางใจสูง  
รูปที่ 3.11 แสดงภาพขณะกำลังเตรียมการวางแผ่นฐานลงบน susceptor

### 3.2 ขั้นตอนการผลิต a-SiN:H และ a-SiC:H

ขั้นตอนการผลิต a-SiN:H และ a-SiC:H ด้วยวิธี glow discharge แบ่งได้เป็นส่วน  
ใหญ่ๆ ได้ ตามรูปที่ 3.12 ดังนี้

#### (1) การเตรียมตัว

ได้แก่การเริ่มเตรียมแผ่นฐานที่จะใช้ปลูกฟิล์ม แผ่นฐานที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีหลาย  
ชนิดดังแสดงในตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการผลิต a-SiC:H, a-SiN:H

ตารางที่ 3.2 แผ่นฐานที่ใช้ในการปลูกฟิล์ม a-SiN:H, a-SiC:H

แผ่นฐาน	วัตถุประสงค์เพื่อวัดคุณสมบัติของ a-SiN:H, a-SiC:H
Corning glass # 7059 (2 cm x 2 cm x 1 mm)	. สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง ( $\alpha$ ) . สภาพนำไฟฟ้า ( $\sigma$ ) . ESCA
ผลึกเดี่ยวซิลิกอนความต้านทานสูง (ผิว polished) (1 cm x 1 cm x 0.5 mm)	. การดูดกลืนแสงอินฟราเรดเพื่อดูโครงสร้างของฟิล์ม
ไมโคร glass (2 cm x 2 cm x 0.1 mm)	. Spin Density (Dangling Bond Density) ด้วยวิธี Electron Spin Resonance (ESR)
glass/ITO (2 cm x 2 cm x 1 mm)	. ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบาง

การใช้งานแผ่นฐานเหล่านี้จะถูกล้างให้สะอาดด้วยกระบวนการดังนี้

- Trichloroethylene    Ultrasound    20 นาที
- Acetone                    Ultrasound    20 นาที
- Methylalcohol        Ultrasound    20 นาที

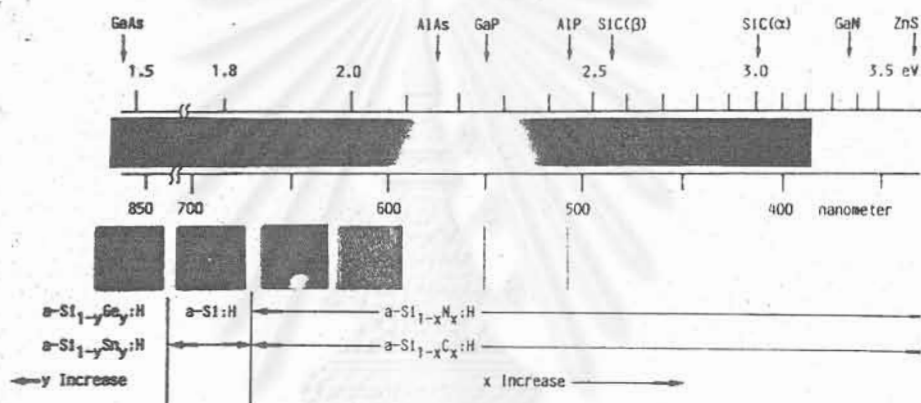
ส่วนผลึกเดี่ยวซิลิกอนนั้นจะถูกกัดผิวออกไซด์ด้วยกรด HF:H<sub>2</sub>O = 1:10 เป็นเวลา 20 นาที

เมื่อได้แผ่นฐานแล้วก็นำไปวางบนแท่นรองใน Chamber แล้วทำให้เป็นสุญญากาศด้วย Rotary Pump เมื่อความดันลดเหลือน้อยกว่า 0.01 torr จึงปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้า heater เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการ จะใช้เวลาในการ heating นี้ประมาณครึ่งชั่วโมง

## (2) การปลูกฟิล์ม

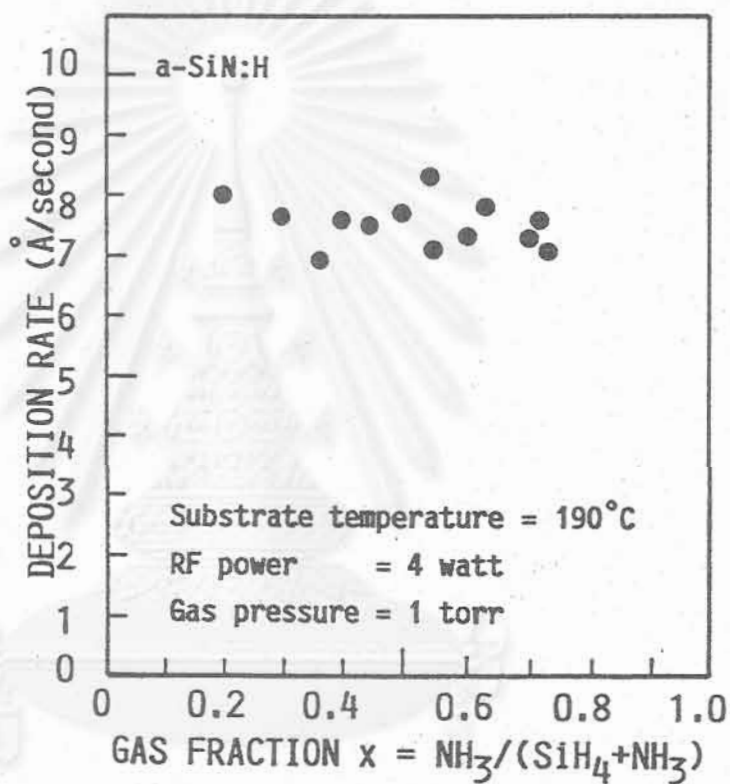
เมื่ออุณหภูมิแผ่นฐานสูงตามต้องการแล้ว จึงเริ่มปล่อยก๊าซดิบต่างๆ ให้ไหลตามปริมาณที่กำหนด (cc/min) และควบคุมความดันภายในหลอดให้คงที่ตามค่าที่กำหนด (ปกติ 1 torr) ด้วย main valve ที่อยู่ก่อนถึง Rotary pump ต่อจากนั้นก็เริ่มเพิ่ม RF power จนก๊าซเกิดการ discharge ซึ่งประมาณ 2-4 วัตต์ เริ่มจับเวลาการปลูกฟิล์ม และพยายามควบคุมเงื่อนไขต่างๆ ให้คงที่ตามที่กำหนด ตารางที่ 3.3 แสดงเงื่อนไขโดยสรุปในการปลูก a-SiN:H และ a-SiC:H

ตารางที่ 3.3 เงื่อนไขโดยสรุปของการปลูกฟิล์ม a-SiN:H และ a-SiC:H



รูปที่ 3.13 ภาพถ่ายตัวอย่างฟิล์ม a-SiN:H ที่เคลือบบนแผ่นฐานชนิดกระจก ปริมาณอะตอม N เพิ่มจากซ้ายไปขวา .

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.14 อัตราความเร็วจการเติบโต (growth rate) ของฟิล์ม a-SiN:H

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 3.3 เงื่อนไขโดยสรุปของการปลูกฟิล์ม a-SiN:H และ a-SiC:H ด้วยวิธี glow discharge plasma CVD

การทำ discharge	แบบ capacitive ที่ความถี่ RF 13.56 MHz
อุณหภูมิแผ่นฐาน	100-300°C
กำลังไฟฟ้า RF	2-4 watt
ความดันขณะปลูกฟิล์ม	1 torr
ปริมาณการไหลรวมของก๊าซ	40-100 cc/min
ชนิดของก๊าซ	
a-SiN:H	SiH <sub>4</sub> + NH <sub>3</sub>
a-SiC:H	SiH <sub>4</sub> + CH <sub>4</sub>

### (3) การหยุดเครื่อง

เมื่อปลูกฟิล์มได้ความหนาตามต้องการแล้ว ก็ปิด RF POWER แล้วจึงลดอุณหภูมิให้ถึงอุณหภูมิต้อง (ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง) ปิดถึงก๊าซ ส่วนก๊าซดิวทีเรียมที่เหลือในท่อสแตนด์บายต้องระบายทิ้งให้หมด เมื่อก๊าซดิวทีเรียมหมดแล้วให้ purge ท่อสแตนด์บายด้วย ก๊าซไนโตรเจน 5 นาที เมื่ออุณหภูมิลดถึงอุณหภูมิต้องแล้วให้ leak หลอดสุญญากาศด้วยก๊าซไนโตรเจนแล้วจึงนำ sample ออก ทำความสะอาดภายในหลอดสุญญากาศด้วยกระดาษทิชชูสะอาด (ไม่มีขุย) ขูบอัลกอฮอล์จนสะอาด แล้วจึง set ระบบใหม่ การหยุด Rotary pump ให้ leak pump ด้วยก๊าซไนโตรเจน

รูปที่ 3.13 แสดงภาพตัวอย่างฟิล์ม a-SiN:H ที่เคลือบบนแผ่นฐานชนิดกระจก เงื่อนไขการปลูกฟิล์ม a-SiN:H ที่เปลี่ยนแปลงในงานวิจัยนี้ ส่วนมากจะเปลี่ยนค่าอัตราส่วน  $x = \text{NH}_3 / (\text{SiH}_4 + \text{NH}_3)$  รูปที่ 3.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า x และอัตราการเติบโตของฟิล์ม พบว่าอัตราการเติบโตของฟิล์ม a-SiN:H มีค่าอยู่ระหว่าง 6-8 Å/sec

### เอกสารอ้างอิง

1. ดุสิต เครื่องงาม และคณะ : รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์เรื่อง เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน เสนอสภาวิจัยแห่งชาติ (2533), 181 หน้า.
2. วิโรจน์ บุญโกสุมภ์, ดุสิต เครื่องงาม และสมศักดิ์ ปัญญาแก้ว : การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 3-4 ธันวาคม (2535), P. 3-1.

### บทที่ 4

### การศึกษาคุณสมบัติทางโครงสร้างของ a-SiN:H

#### บทนำ

ในงานวิจัยนี้ ฟิล์ม a-SiN:H จะถูกใช้งานเป็นชั้นเปล่งแสง (ชนิด i) ในไดโอดเปล่งแสงฟิล์มบางรอยต่อ p-i-n บทที่ 4 - บทที่ 7 จะรายงานเกี่ยวกับผลการศึกษาค้นคว้าพื้นฐานของฟิล์ม a-SiN:H ในบทที่ 4 นี้จะกล่าวถึงผลการศึกษาค้นคว้าทางโครงสร้างของ a-SiN:H ได้แก่ การวัดการสร้างพันธะกันของอะตอม Si-N:H ด้วยสเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (infrared optical absorption spectrum) และการวัด spin density (จำนวนของ defects) ด้วยวิธี ESR (electron spin resonance) ข้อมูลที่ได้ในบทนี้จะมีความสำคัญในการนำผลไปช่วยอธิบายคุณสมบัติทางแสงและไฟฟ้าในขั้นต่อไป อาทิเช่น ปริมาณของอะตอม N ใน a-SiN:H มีอิทธิพลต่อขนาดช่องว่างพลังงานอย่างไร และถ้า N มีค่ามากขึ้นจะทำให้จำนวนของ defects เพิ่มขึ้นหรือไม่และมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของการเปล่งแสงอย่างไร เป็นต้น

#### 4.1 การวัด Vibration Mode ด้วย Intrared Absorption Spectrum

ฟิล์ม a-SiN:H ที่ปลูกในงานวิจัยนี้มีคุณสมบัติเป็นอะมอร์ฟัสกล่าวคือ การเรียงตัวกันของอะตอม Si และ N เป็นไปแบบไม่เป็นระเบียบ การวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงย่านแสงอินฟราเรดจะได้ข้อมูลเกี่ยวกับการจับพันธะกันของอะตอมต่างๆ ว่ามีการสั่นด้วย mode อะไร และมีปริมาณเท่าไร

ฟิล์ม a-SiN:H ปลูกด้วยวิธี glow discharge plasma CVD ตามรายละเอียดในบทที่ 3 มีเงื่อนไขสำคัญคือ

RF power	4 watt (13.56 MHz)
Substrate temperature	190 °C
Pressure	1 Torr
SiH <sub>4</sub> gas flow	30-70 cc/min
NH <sub>3</sub> gas flow	30-70 cc/min
Film thickness	1-1.5 micron

แผ่นฐานที่ใช้คือ ผลึกเดี่ยวซิลิคอน (c-Si) ที่มีสภาพความต้านทานไฟฟ้าสูง (ประมาณ 1000 Ohm.cm) ตัดให้เป็นขนาดประมาณ 1.5x1.5 cm<sup>2</sup> (c-Si หนาประมาณ 400 micron)

รูปที่ 4.1 แสดงภาพชิ้นงานที่ใช้วัด IR absorption และลักษณะของ holder สำหรับจับชิ้นงานขณะวัด IR

รูปที่ 4.2 แสดงภาพถ่ายเครื่องวัดการดูดกลืนแสง IR ที่ใช้ในงานวิจัย

ในการวัดข้อมูลดิบ ได้ใช้วิธีวัดความสามารถในการทะลุผ่านของแสงอินฟราเรด (infrared transmittance T %) ในย่าน wave number 800-4000 ( $1/\text{cm}$ ) โดยใช้แสง double beams โดย beam หนึ่งวิ่งผ่านชิ้นงานซึ่งคือผลึก Si/a-SiN:H และอีก beam หนึ่งวิ่งผ่านเฉพาะ c-Si ดังนั้นสเปกตรัมที่เครื่องพิมพ์ออกมาจึงเป็นสเปกตรัม T % ของเฉพาะฟิล์ม a-SiN:H

รูปที่ 4.3 แสดงผลการวัดสเปกตรัม T % ของฟิล์ม a-Si:H (ใช้เฉพาะก๊าซ  $\text{SiH}_4$ ) เปรียบเทียบกับรูปที่ 4.4 ซึ่งแสดงผลการวัดสเปกตรัม T % ของฟิล์ม a-SiN:H ในกรณีที่อัตราส่วนของก๊าซ  $\text{NH}_3$  ต่อก๊าซ  $\text{SiH}_4 + \text{NH}_3$  เท่ากับ 0.71

ในรูปที่ 4.3 ซึ่งเป็นกรณีของฟิล์ม a-Si:H มีการดูดกลืนแสง IR มากในย่าน wave number  $2000 \text{ cm}^{-1}$  และ  $630 \text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเกิดจากการดูดกลืนอันเนื่องจากการสั่นแบบ stretch และ bending ตามลำดับของโมเลกุลชุด Si-H [1]

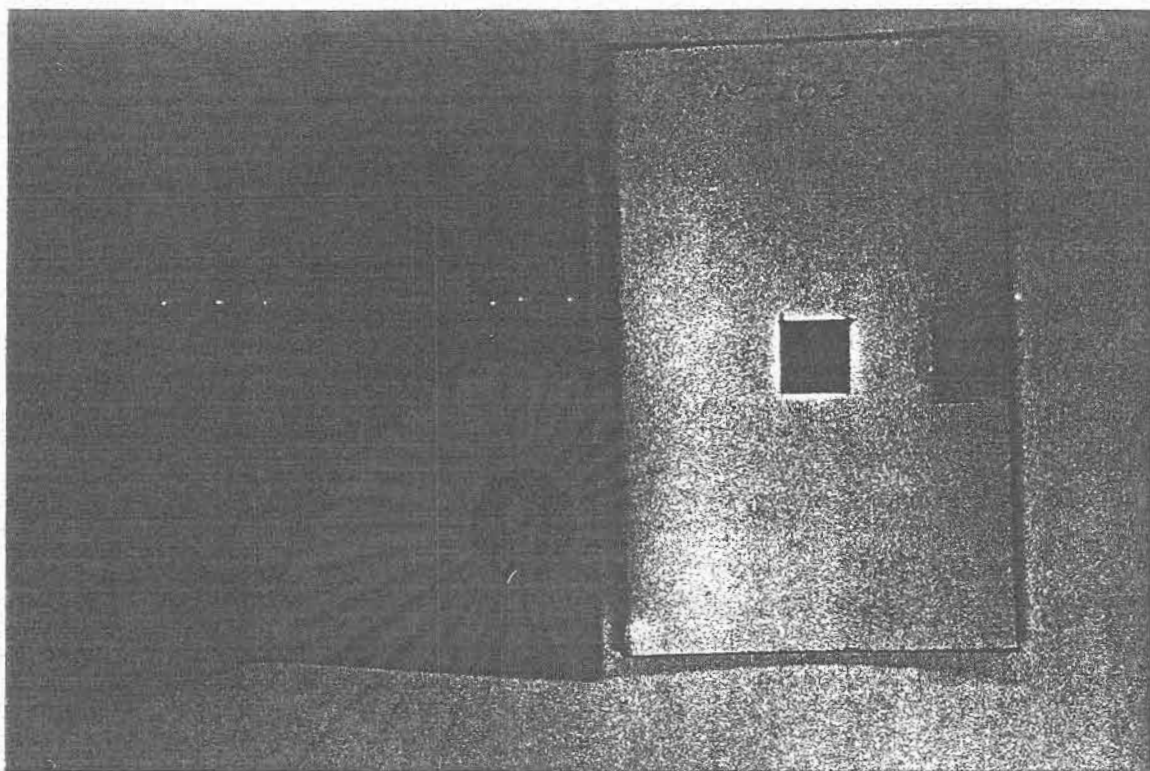
ส่วนในรูปที่ 4.4 ซึ่งเป็นกรณีของฟิล์ม a-SiN:H จะพบว่ามีการดูดกลืนแสง IR มากจำนวน 3 ย่าน ซึ่งได้แก่ ย่าน wave number 850, 2000 และ  $3350 \text{ cm}^{-1}$  การดูดกลืนเหล่านี้เกิดจากการดูดกลืนอันเนื่องจากการสั่นแบบ stretching ของโมเลกุลชุด Si-N, Si-H และ N-H ตามลำดับ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.4 ดังนั้นจากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ชัดเจนว่า การปลูกฟิล์มจากก๊าซ  $\text{NH}_3$  ผสม  $\text{SiH}_4$  จะได้สารประกอบของอะมอร์ฟัส SiN และจะมีอะตอมของ H ผสมอยู่ด้วยเสมอ

ในกรณีของ a-Si:H ได้เป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวางว่าอะตอม H มีบทบาทเป็น terminator สร้างพันธะกับ Si ช่วยลดขนาด(dangling bond) ของ Si ได้ดี และ ทำให้ defect states ลดน้อยลงมาก จึงทำให้ฟิล์ม a-Si:H มีคุณภาพดีกว่ากรณีไม่มี H จึงทำให้ a-Si:H มีค่า photoconductivity และ photoluminescence (PL) efficiency สูง

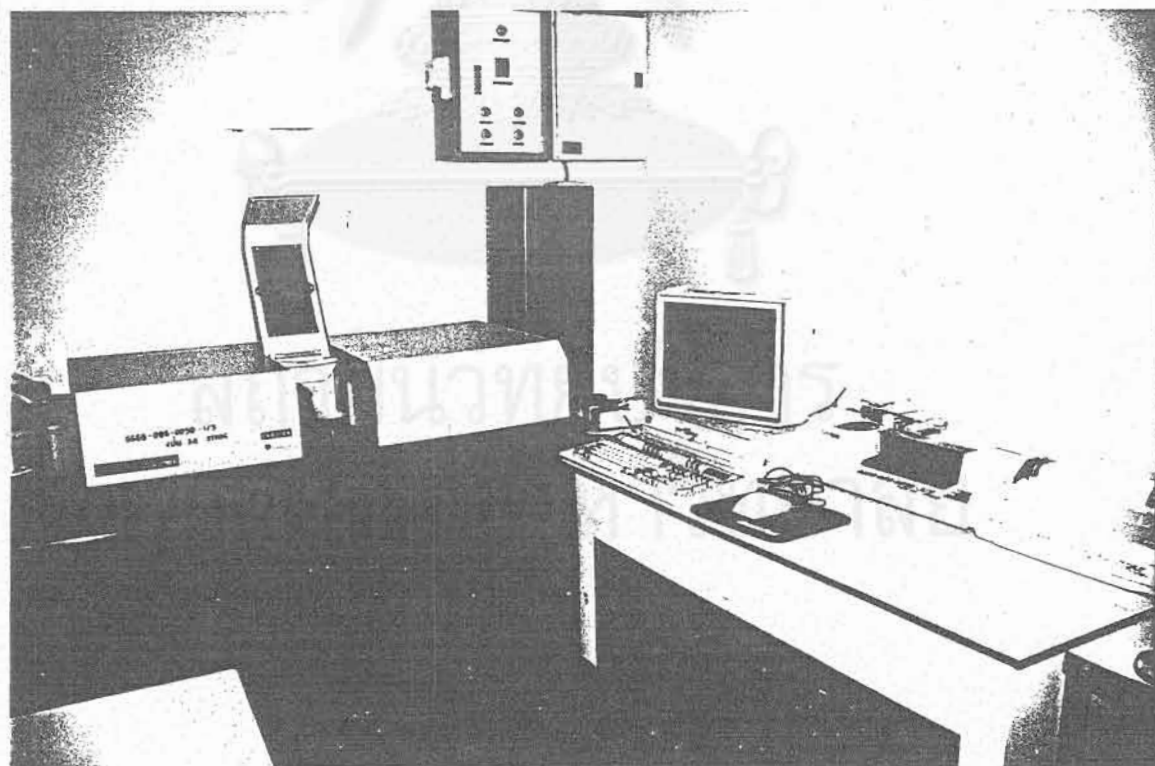
ในทำนองเดียวกัน จากการที่ใน a-SiN:H ก็มีอะตอม H รวมอยู่ด้วย ดังนั้นจึงคาดว่า H ก็ทำหน้าที่เป็น terminator ให้ขนาดของ Si และ N ด้วย ดังนั้น PL efficiency ของ a-SiN:H จึงมีค่าสูงกว่า a-SiN ที่ไม่มี H ผสมอยู่ด้วย

อนึ่ง รายละเอียดเรื่องการวัดจำนวนแขนขาด (dangling bond) ของ a-SiN:H จะได้กล่าวในหัวข้อที่ 4.2

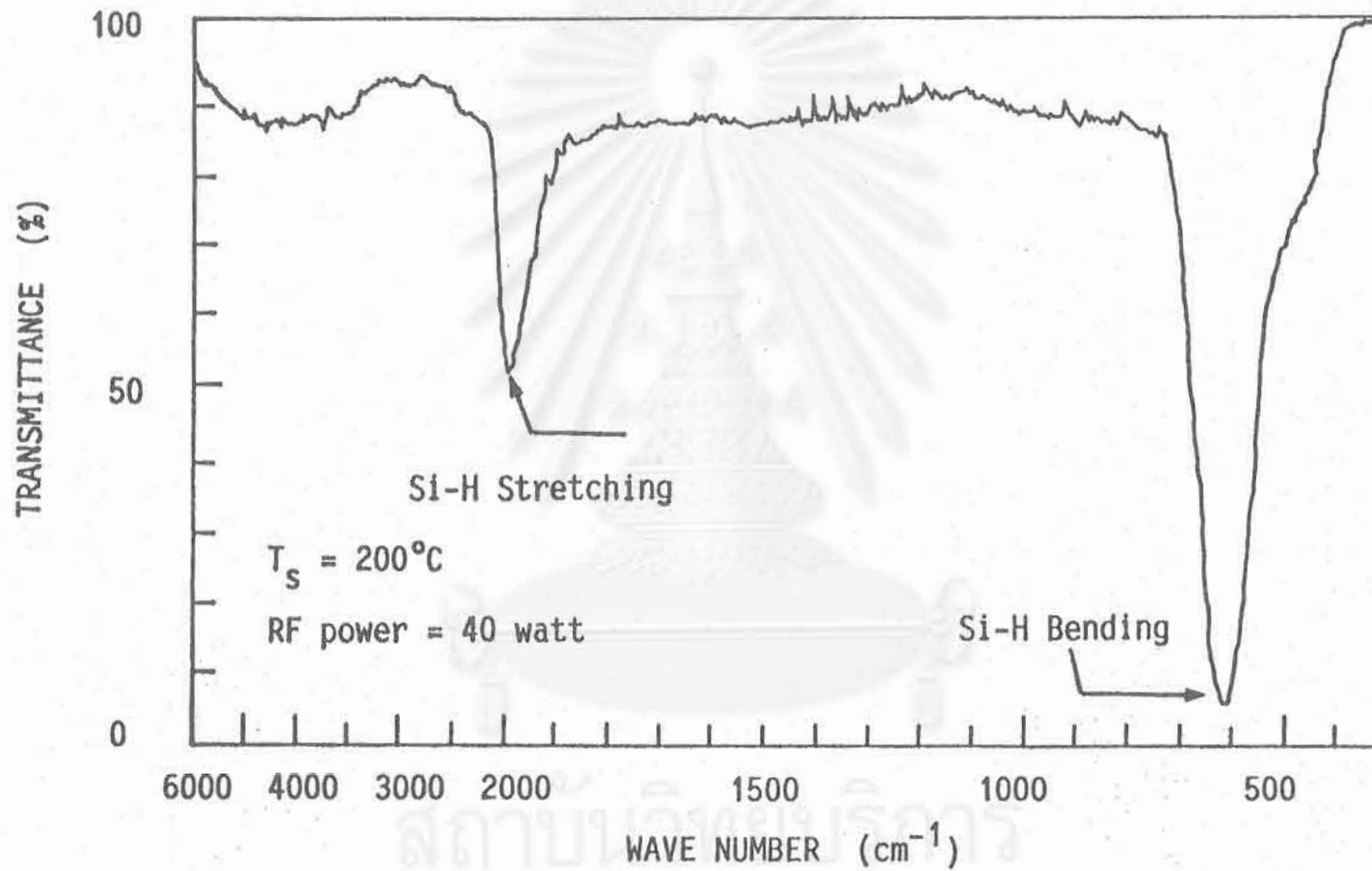
ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จาก IR transmittance spectrum แบบเชิงปริมาตรนั้น นิยมคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของ vibration mode ต่างๆ และยิ่งกว่านั้นจากค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง IR ยังสามารถคำนวณค่าจำนวนโมเลกุลชุดนั้น (concentration หน่วย  $\text{ตัว}/\text{cm}^3$ ) ได้อีกด้วย ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้



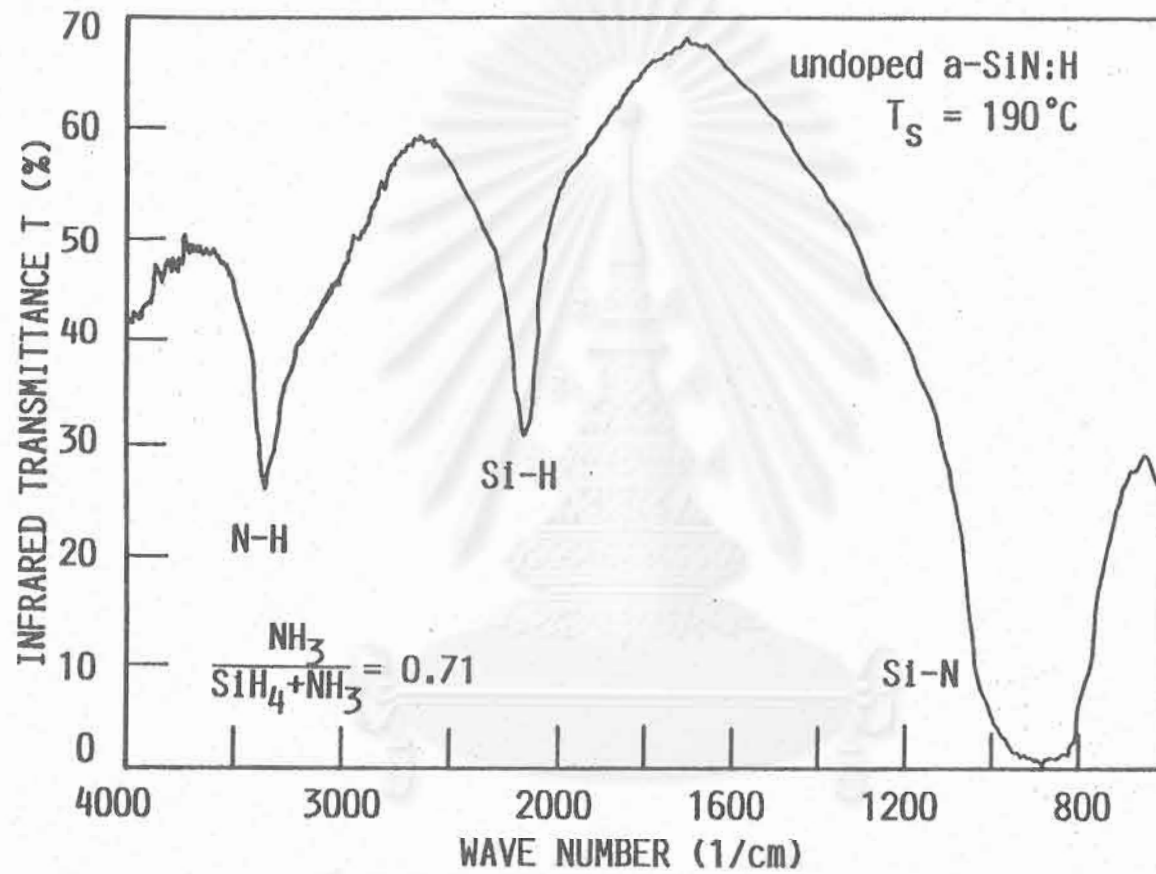
รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายชิ้นงาน a-SiN:H ที่เคลือบบนแผ่นฐานผลึก Si และ holder สำหรับใช้วัด Infrared absorption



รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 4.3 ผลการวัดสเปกตรัมการทะลุผ่านแสงอินฟราเรด (T %) ของฟิล์ม a-Si:H



รูปที่ 4.4 ผลการวัดสเปกตรัมการทะลุผ่านแสงอินฟราเรด (T %) ของฟิล์ม a-SiN:H



#### 4.1.1 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง IR และจำนวนโมเลกุลที่ดูดกลืนแสง IR

ขอให้พิจารณาจากรูปที่ 4.5 (ก) สมมติให้วัสดุ a-SiN:H มีสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงเท่ากับ  $\alpha(\text{cm}^{-1})$  มีความหนา  $d$  (cm) และมีสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงด้านรับแสงเท่ากับ  $R\%$  ถ้าสมมติให้แสงส่วนใหญ่สะท้อนเฉพาะด้านผิวหน้ารับแสงเท่านั้น จากรูปจะได้ค่าความสามารถทะลุผ่านแสง (transmittance)  $T\%$  ดังนี้

$$T_1(\lambda) = (1 - R) e^{-\alpha(\lambda)d} \quad (4.1)$$

ถ้าลักษณะของสเปกตรัม transmittance มี back ground เท่ากับ  $T_0(\lambda)\%$  ดังนี้

$$T_0(\lambda) = 1 - R(\lambda) \quad (4.2)$$

หารสมการที่ (4.1) ด้วยสมการที่ (4.2) ได้

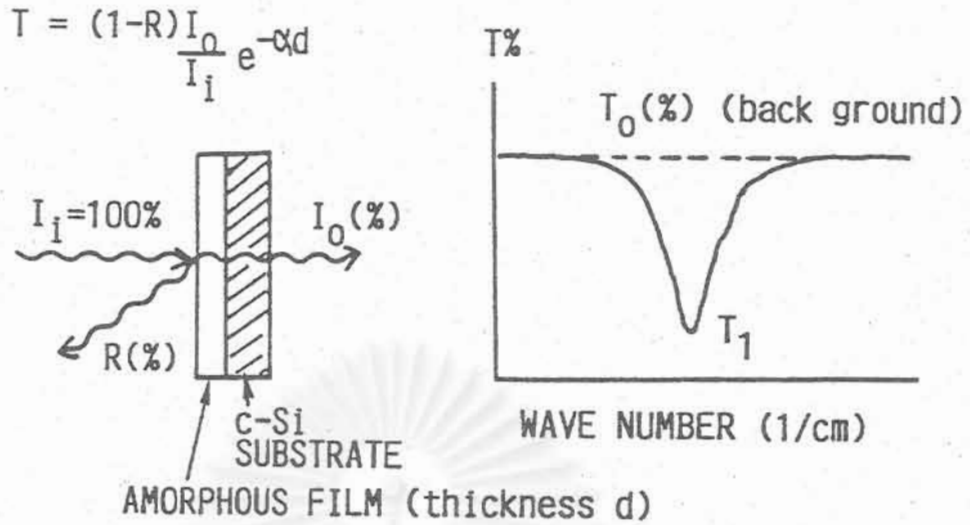
$$\frac{T_1(\lambda)}{T_0(\lambda)} = e^{-\alpha(\lambda)d} \quad (4.3)$$

$$\alpha(\lambda) = \frac{1}{d} \ln \left( \frac{T_0(\lambda)}{T_1(\lambda)} \right) \quad (4.4)$$

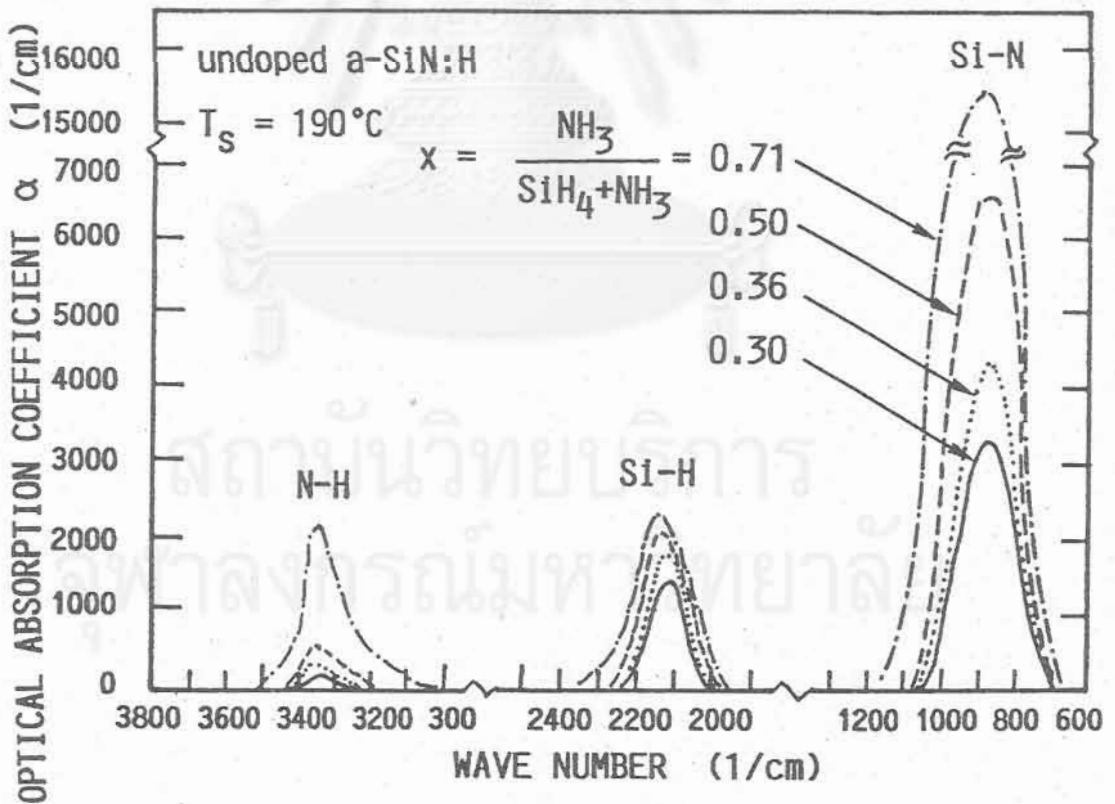
ดังนั้น ถ้าวัด transmittance ของ back ground  $T_0(\lambda)$  และของค่า  $T_1(\lambda)$  ก็จะทราบค่า  $\alpha$  (optical absorption coefficient)

ตารางที่ 4.1 แสดงตัวอย่างผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของฟิล์ม a-SiN:H ซึ่งใช้เงื่อนไขปลูกที่  $X = \text{NH}_3 / (\text{SiH}_4 + \text{NH}_3) = 0.71$  ซึ่งใช้สเปกตรัม  $T\%$  จากรูปที่ 4.4 สเปกตรัมต่าง ๆ ในที่นี้เป็นฟังก์ชันของ wave number ( $\text{cm}^{-1}$ )

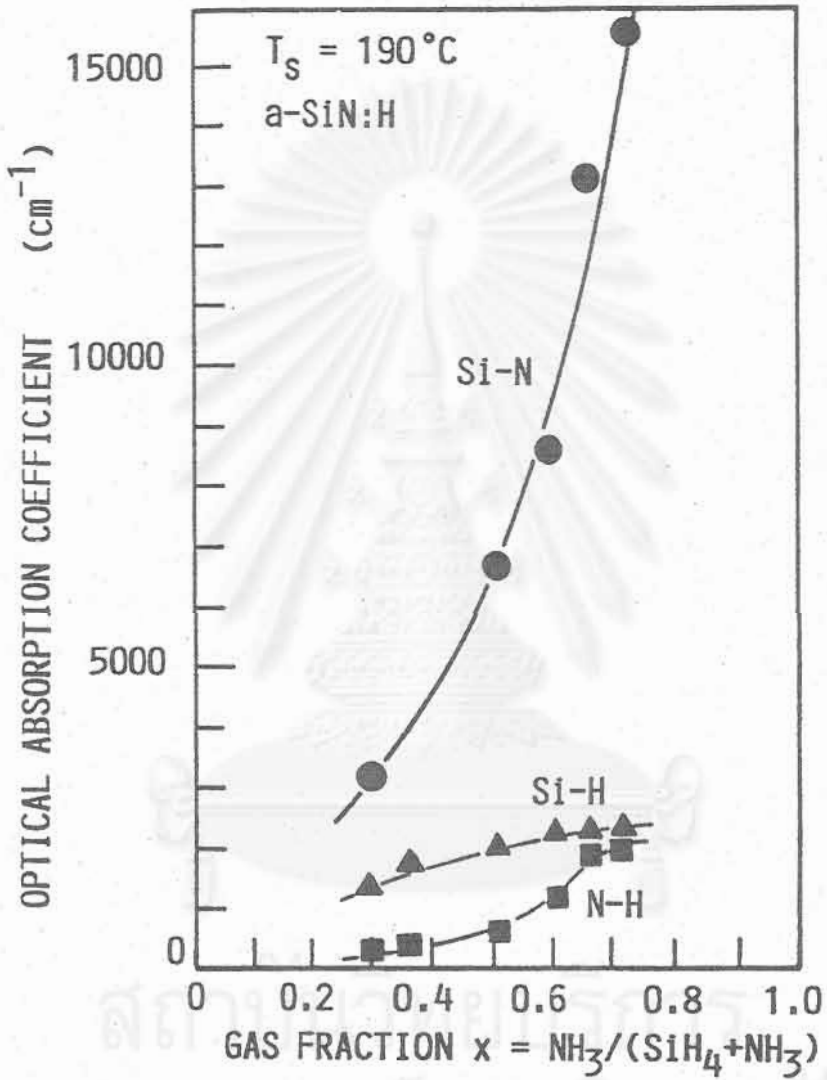
หลังจากคำนวณค่า  $\alpha$  แล้ว สามารถนำไป plot เป็นสเปกตรัมของ  $\alpha$  ได้ ดังแสดงในรูป 4.6 ซึ่งแสดงสเปกตรัม  $\alpha$  ของฟิล์ม a-SiN:H ที่ปลูกที่ปริมาณก๊าซ  $\text{NH}_3$  ค่าต่าง ๆ กัน จากรูปพบว่าถ้าเพิ่มก๊าซ  $\text{NH}_3$  จะทำให้สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของ vibration mode ต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ N-H, Si-H และ Si-N เพิ่มขึ้น รูปที่ 4.7 แสดงสรุปความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของ vibration mode ต่าง ๆ และอัตราส่วนของก๊าซ  $\text{NH}_3$  ( $X = \text{NH}_3 / (\text{SiH}_4 + \text{NH}_3)$ )



รูปที่ 4.5 หลักการวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง ( $\alpha$ ) จากค่าการทะลุผ่านแสงอินฟราเรด



รูปที่ 4.6 สเปกตรัมสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงอินฟราเรดของ a-SiN:H พารามิเตอร์ในรูปคือ อัตราส่วนของก๊าซ  $\text{NH}_3/(\text{NH}_3 + \text{SiH}_4)$



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงอินฟราเรดโดย vibration mode ต่าง ๆ ของ  $\text{a-SiN:H}$  และอัตราส่วนของก๊าซ  $\text{NH}_3/(\text{SiH}_4 + \text{NH}_3)$

จากรูปที่ 4.7 พบว่าการเพิ่ม  $\text{NH}_3$  ทำให้จำนวนของอะตอมชุด Si-N เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ Si-H และ N-H เพิ่มขึ้นช้าๆ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าการเพิ่มก๊าซ  $\text{NH}_3$  ในขณะที่ทำ discharge เป็นการทำให้อะตอม N เข้าไปในฟิล์มมากขึ้น ซึ่งหมายความว่าใน a-SiN:H จะมีอะตอม N มากขึ้น

นอกจากนี้จากสเปกตรัม  $\alpha$  เรายังสามารถคำนวณหาค่าปริมาณของชุดอะตอมใน vibration mode ต่าง ๆ ในหนึ่งหน่วยปริมาตร (concentration) ได้อีกด้วย จากสูตร

$$C (\text{cm}^{-3}) = A \int \frac{\alpha(\omega)}{\omega} d\omega \quad (4.5)$$

โดยที่ A คือค่าคงที่ที่แตกต่างกันไปตาม Vibration mode ต่าง ๆ เช่น กรณี [2]

Si-N (stretching ที่  $880 \text{ cm}^{-1}$ ),  $A = 2.9 \times 10^{18} (\text{cm}^{-3})$

N-H (stretching ที่  $3300 \text{ cm}^{-1}$ ),  $A = 2.3 \times 10^{19} (\text{cm}^{-3})$

ตารางที่ 4.1. แสดงตัวอย่างวิธีคำนวณสมการที่ (4.5) กรณีของฟิล์ม a-SiN:H ที่  $x = 0.71$

ตารางที่ 4.2 แสดงสรุปผลการคำนวณ concentration ของอะตอมชุดต่างๆ และสามารถเขียนเป็นกราฟได้ดังแสดงในรูปที่ 4.8

จากรูปที่ 4.8 พบว่าการเพิ่มปริมาณ x จาก 0.3 ถึง 0.71 ทำให้ปริมาณของ Si-N เพิ่มขึ้นจากประมาณ  $2 \times 10^{21}$  เป็นประมาณ  $1 \times 10^{22} (\text{cm}^{-3})$  และปริมาณของ Si-N นี้เริ่มจะอิ่มตัวเมื่อ x มีค่าใกล้ 0.71

ในกรณี Si-H ก็เช่นกัน จะเพิ่มขึ้นจากปริมาณ  $1 \times 10^{22}$  และเริ่มอิ่มตัวที่  $2 \times 10^{22} (\text{cm}^{-3})$

ในขณะที่ N-H ยังค่อยๆ เพิ่มขึ้นจาก  $8 \times 10^{20}$  ไปถึง  $2 \times 10^{21} (\text{cm}^{-3})$  และยังไม่อิ่มตัว ข้อมูลเหล่านี้ทำให้เราทราบว่า การเพิ่มอัตราส่วนก๊าซ  $x = \text{NH}_3/(\text{SiH}_4 + \text{NH}_3)$  ทำให้ในฟิล์ม a-SiN:H มีอะตอม N และ H เพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณ N มีแนวโน้มว่าจะอิ่มตัวได้ ส่วน H ที่เกาะกับ Si แม้จะอิ่มตัว แต่ H ที่เกาะกับ N จะเพิ่มขึ้นได้เรื่อยๆ อีก

อนึ่ง ถ้าเราทราบค่าความหนาแน่น (density) ของฟิล์ม a-SiN:H จากข้อมูลข้างต้น เมื่อมาประกอบกับค่าความหนาแน่นก็จะทำให้เราทราบค่าเปอร์เซ็นต์สัมบูรณ์ของปริมาณ N, Si และ H ได้ว่ามีเท่าไร (atom %)

ตารางที่ 4.1 วิธีการคำนวณปริมาณของชุดอะตอมที่สั้นด้วย vibration mode ต่างๆ  
ในหนึ่งหน่วยปริมาตร

ข้อมูล IR ของ a-SiN:H ที่ใช้ก๊าซ  $X = \text{NH}_3 / (\text{SiH}_4 + \text{NH}_3) = 0.71$   
ความหนาฟิล์ม = 23,160 Å

1) Si-N Vibration Stretching mode

$\omega$ (cm <sup>-1</sup> )	T <sub>0</sub> (%)	T <sub>1</sub> (%)	$\Delta\alpha$ (cm <sup>-1</sup> ) $= \frac{1}{d} \ln \left( \frac{T_0}{T_1} \right)$	$\Delta\alpha/\omega$	$\Sigma (\Delta\alpha/\omega)$
680	27.80	27.80	-	-	
700	27.80	26.19	257	0.359	
720	28.00	22.16	1009	1.401	
740	28.21	18.94	1720	2.32	
760	28.21	14.50	2873	3.780	
780	28.31	8.63	5129	6.575	
800	28.41	4.53	7650	9.562	
820	28.61	2.01	11466	13.982	
840	28.71	1.20	13708	16.319	
860	28.91	0.806	15457	17.973	183.719
880	29.01	0.806	15471	17.581	
900	29.11	0.806	15486	17.207	
920	29.41	1.20	13812	15.013	
940	29.51	1.41	13130	13.968	
960	30.02	1.81	12126	14.10	
980	30.32	3.62	9776	9.363	
1000	30.62	4.43	8347	8.347	
1020	31.23	7.25	6318	6.194	
1040	31.43	10.47	4746	4.563	
1060	32.24	17.73	2581	2.434	
1080	32.84	24.58	1250	1.157	
1100	33.44	27.80	797	0.724	
1120	34.45	30.62	508	4.453	
1140	35.46	33.44	253	0.222	
1160	36.27	35.46	97	0.083	
1180	37.47	37.07	46	0.039	
1200	38.48	38.48	-	-	

ดังนั้น Concentration ของชุด Si-N =  $2.9 \times 10^{18} \times 183.719 \times 20$   
=  $1.06 \times 10^{22}$  (cm<sup>-3</sup>)

## 2) Si-H Vibration Stretching mode

$\omega$ (cm <sup>-1</sup> )	T <sub>0</sub> (%)	T <sub>1</sub> (%)	$\Delta\alpha$ (cm <sup>-1</sup> ) $= \frac{1}{d} \ln\left(\frac{T_0}{T_1}\right)$	$\Delta\alpha/\omega$	$\Sigma (\Delta\alpha/\omega)$
1980	55.61	55.61	-	-	
2000	54.808	54.00	63	.031	
2020	54.60	52.79	145	.0718	
2040	54.40	50.77	298	0.146	
2060	54.00	49.97	334	0.162	
2080	54.00	45.13	774	0.372	
2100	53.59	38.68	1391	0.644	
2120	53.39	33.04	2072	0.977	
2140	53.19	30.62	2377	1.1107	
2160	53.19	31.03	2326	1.077	7.673
2180	53.19	34.25	1900	0.872	
2200	53.19	38.28	1420	0.645	
2220	53.19	42.71	1002	0.451	
2240	53.19	44.73	747	0.333	
2260	53.19	46.74	558	0.247	
2280	53.19	48.76	375	0.164	
2300	53.19	49.56	305	0.133	
2320	53.19	50.77	201	0.087	
2340	53.49	51.18	190	0.081	
2360	53.59	52.39	97	0.041	
2380	54.00	53.19	65	0.027	
2400	54.40	54.40	-	-	

ดังนั้น Concentration ของชุด Si-H =  $1.4 \times 10^{20} \times 7.673 \times 20$   
 $= 2.15 \times 10^{22}$  (cm<sup>-3</sup>)



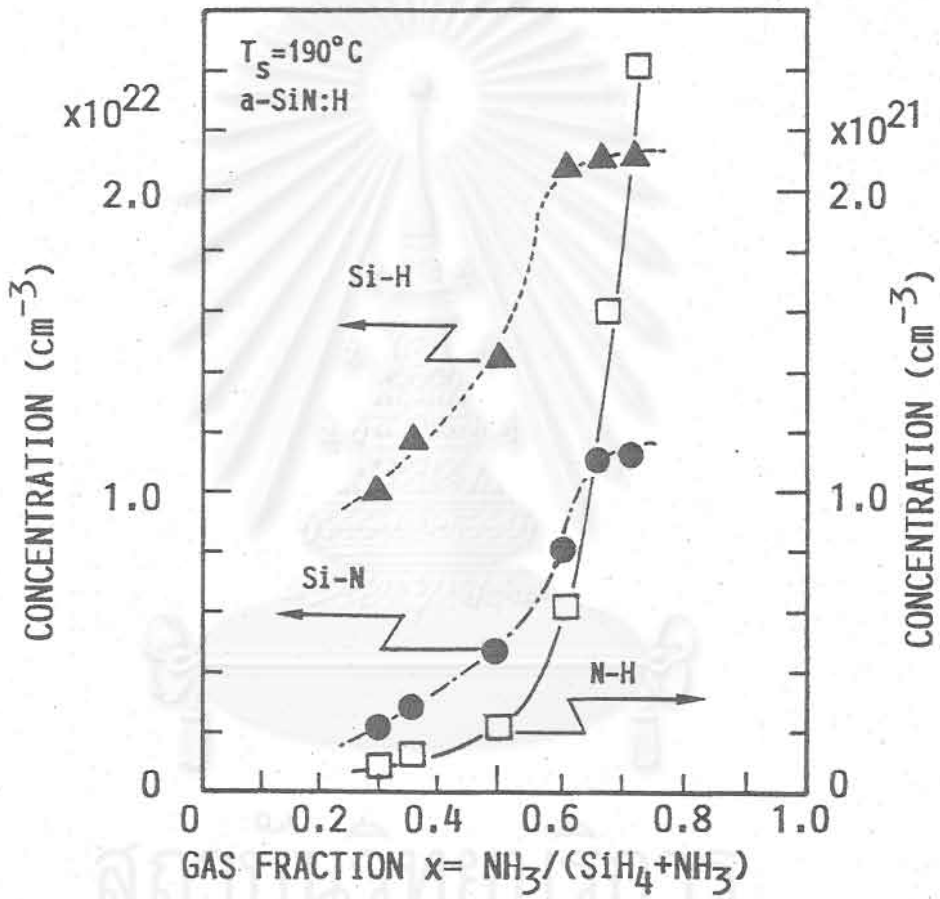
## 3) N-H Vibration Stretching mode

$\omega$ (cm <sup>-1</sup> )	T <sub>0</sub> (%)	T <sub>1</sub> (%)	$\Delta\alpha$ (cm <sup>-1</sup> ) $= \frac{1}{d} \ln \left( \frac{T_0}{T_1} \right)$	$\Delta\alpha/\omega$	$\Sigma (\Delta\alpha/\omega)$
3000	46.74	46.74	-	-	
3020	46.34	45.94	37	0.0122	
3040	46.14	45.33	76	0.025	
3060	45.96	44.53	95	0.031	
3080	45.53	44.33	115	0.037	
3100	45.13	43.12	196	0.063	
3120	44.93	42.31	277	0.088	
3140	44.73	41.10	365	0.116	
3160	44.53	40.70	388	0.122	
3180	44.33	39.49	499	0.157	5.368
3200	43.92	39.09	503	0.157	
3220	43.92	38.28	593	0.184	
3240	43.92	37.07	732	0.226	
3260	44.02	35.06	982	0.301	
3280	44.12	33.44	1196	0.364	
3300	44.33	31.03	1540	0.466	
3320	44.33	29.01	1830	0.551	
3340	44.33	26.59	2206	0.660	
3360	44.33	26.59	2206	0.656	
3380	45.33	28.21	2047	0.606	
3400	44.33	39.09	543	0.159	
3420	44.33	39.89	455	0.133	
3440	44.73	40.70	407	0.118	
3460	45.13	42.31	297	0.086	
3480	45.33	43.52	175	0.050	
3500	45.94	45.94	-	-	

ดังนั้น Concentration ของชุด N-H =  $2.3 \times 10^{19} \times 5368 \times 20$   
 $= 2.46 \times 10^{21}$  (cm<sup>-3</sup>)

ตารางที่ 4.2 สรุปข้อมูลสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ peak มีค่าสูงสุด และ concentration ของชุดอะตอมของ Si-N, Si-H และ N-H ที่มีอยู่ในฟิล์ม a-SiN:H ซึ่งผลิตด้วยเงื่อนไขอัตราส่วนก๊าซ  $\text{NH}_3/(\text{SiH}_4 + \text{NH}_3)$  ต่าง ๆ กัน

Vibration	$x = \text{NH}_3/\text{SiH}_4 + \text{NH}_3$	$\alpha$ ( $\text{cm}^{-1}$ ) at peak	Concentration ( $\text{cm}^{-3}$ )
Si-N	0.30	3485	$2.18 \times 10^{21}$
	0.36	4381	$2.88 \times 10^{21}$
	0.50	6656	$4.70 \times 10^{21}$
	0.60	8500	$8.38 \times 10^{21}$
	0.66	13594	$1.1 \times 10^{22}$
	0.71	15471	$1.1 \times 10^{22}$
Si-H	0.30	1492	$10 \times 10^{22}$
	0.36	1827	$1.20 \times 10^{22}$
	0.50	2042	$1.47 \times 10^{22}$
	0.60	2312	$2.10 \times 10^{22}$
	0.66	2354	$2.10 \times 10^{22}$
	0.71	2377	$2.15 \times 10^{22}$
N-H	0.30	155	$8.5 \times 10^{19}$
	0.36	260	$1.54 \times 10^{20}$
	0.50	359	$2.16 \times 10^{20}$
	0.60	1100	$6.9 \times 10^{20}$
	0.66	1978	$1.66 \times 10^{21}$
	0.71	2206	$2.46 \times 10^{21}$



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง concentration (จำนวนต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร) ของชุดอะตอม Si-H, Si-N, N-H ที่มีอยู่ในฟิล์ม a-SiN:H และอัตราส่วนก๊าซ  $\text{NH}_3 / (\text{SiH}_4 + \text{NH}_3)$  ที่ใช้ในการปลูกฟิล์ม

#### 4.2 การวัดจำนวน Spin density ใน a-SiN:H ด้วยวิธี Electron Spin Resonance (ESR)

การศึกษาคุณสมบัติทางโครงสร้างที่สำคัญที่สุดอีกด้านหนึ่งในวัสดุตระกูลอะมอร์ฟัสซิลิคอนรวมทั้ง a-SiN:H คือการวัดจำนวนของแขนขาด (dangling bond) ว่ามีจำนวนมากน้อยเท่าไร และแขนขาดเหล่านั้นเกิดขึ้นจากอะตอมใด ทั้งนี้เพราะว่าแขนขาดนั้นมีบทบาทสูงในการกำหนดคุณสมบัติทั้งทางแสงและทางไฟฟ้าของวัสดุอะมอร์ฟัส อาทิเช่น

1. แขนขาด ทำให้เกิด defect states ขึ้นภายใน gap ของวัสดุอะมอร์ฟัส
2. แขนขาดเป็นตัวคอยจับพาหะ (เช่นอิเล็กตรอน) ที่วิ่งเข้าใกล้จึงทำให้การได้เปลวลง
3. ในทำนองเดียวกับข้อ 2. ทำให้ค่า photoconductivity เบลลง
4. ในทำนองเดียวกับข้อ 2. ทำให้ประสิทธิภาพของ luminescence เบลลง
5. และอาจทำให้ stability ของสิ่งประดิษฐ์เบลลง

ดังนั้นในทางปฏิบัติ ฟิล์มที่ปลูกได้ที่ดีจึงควรมีแขนขาดจำนวนน้อย ในอดีตฟิล์ม a-Si ที่ปลูกด้วยวิธี evaporation มีแขนขาดมากจนไม่สามารถได้ให้เป็น p หรือ n-type semiconductor จนในที่สุดต้นทศวรรษที่ 1970 Prof. Spear จากมหาวิทยาลัย Dundee [3] อังกฤษได้พบว่าฟิล์ม a-Si:H ที่ปลูกด้วยวิธี glow discharge plasma CVD นั้นได้ให้เป็นชนิด p และ n ได้ และมี photoconductivity สูง ทั้งนี้เพราะว่าจำนวน defect หรือ แขนขาดมีน้อยกว่าในอดีต และต่อมาก็มีการค้นพบว่า อะตอมไฮโดรเจนที่เกาะติดกับอะตอมซิลิคอนเป็นตัวนำให้แขนขาดมีจำนวนลดน้อยลง [4]

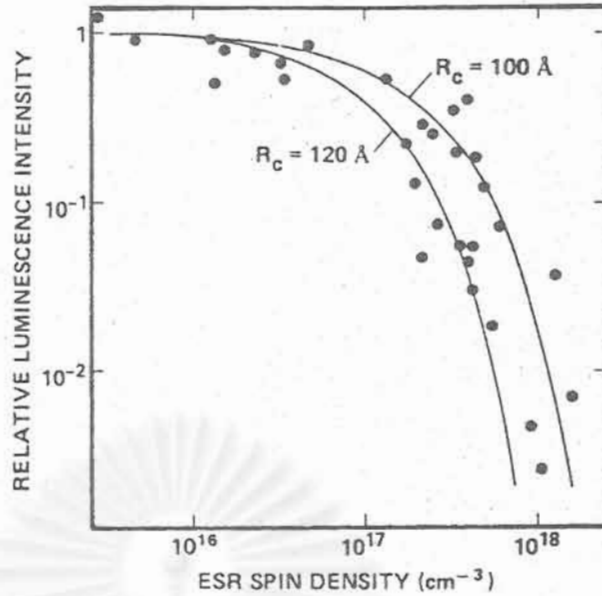
ทางด้านคุณสมบัติการเปล่งแสง ได้มีการศึกษาว่า a-Si:H เปล่งแสงได้ดีในย่านอินฟราเรด โดยมี peak ของสเปกตรัมอยู่ที่ 1.1~1.2 eV อย่างไรก็ตาม Street [5] ได้ค้นพบว่าประสิทธิภาพของ photoluminescence (PL) จะลดลงถ้า a-Si:H มีแขนขาดจำนวนมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.9 โดยที่แขนขาดนั้นคือ spin ที่วัดได้จากวิธี ESR โดยได้มี model ที่เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่า แขนขาดเป็นต้นกำเนิดที่สำคัญของ non-radiative recombination centers ใน gap states ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และ 4.11

ในทำนองเดียวกัน เนื่องจากในงานวิจัยนี้จะใช้ฟิล์ม a-SiN:H เป็นชั้นเปล่งแสงในไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบาง ดังนั้นฟิล์ม a-SiN:H ที่ปลูกในงานวิจัยนี้จะมีจำนวนมากน้อยเท่าไร และขึ้นกับเงื่อนไขการผลิตอย่างไรบ้าง จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ควรทราบ

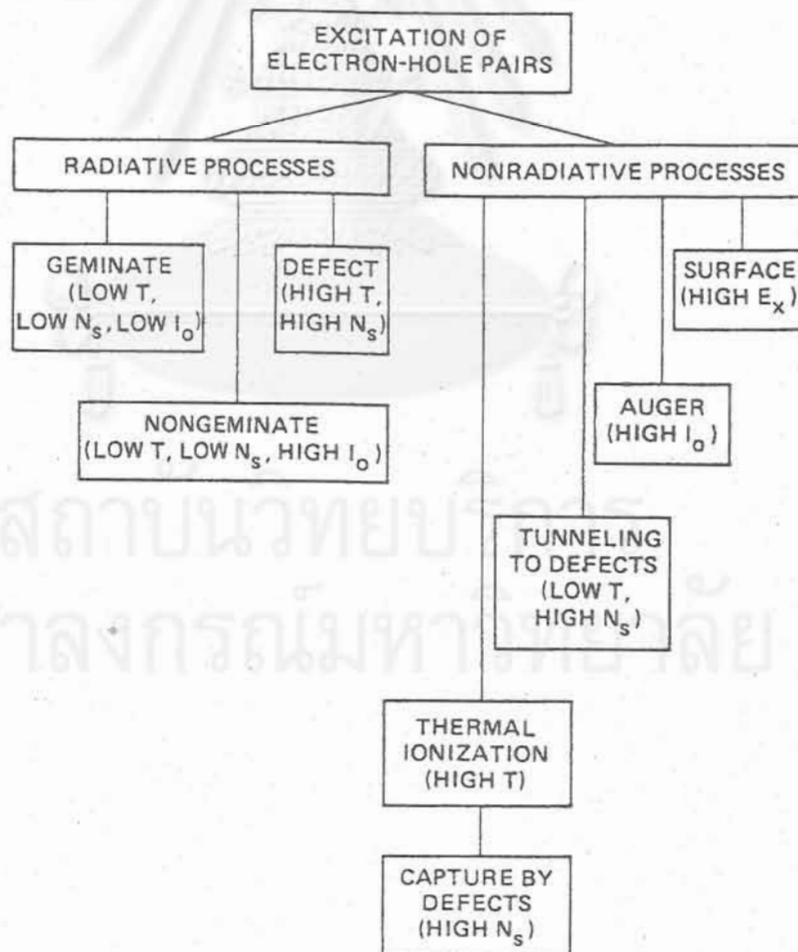
ในหัวข้อนี้จะรายงานผลการวิจัยวัดจำนวนของแขนขาดใน a-SiN:H ด้วยวิธี Electron Spin Resonance (ESR)

##### 4.2.1 หลักการวัด ESR

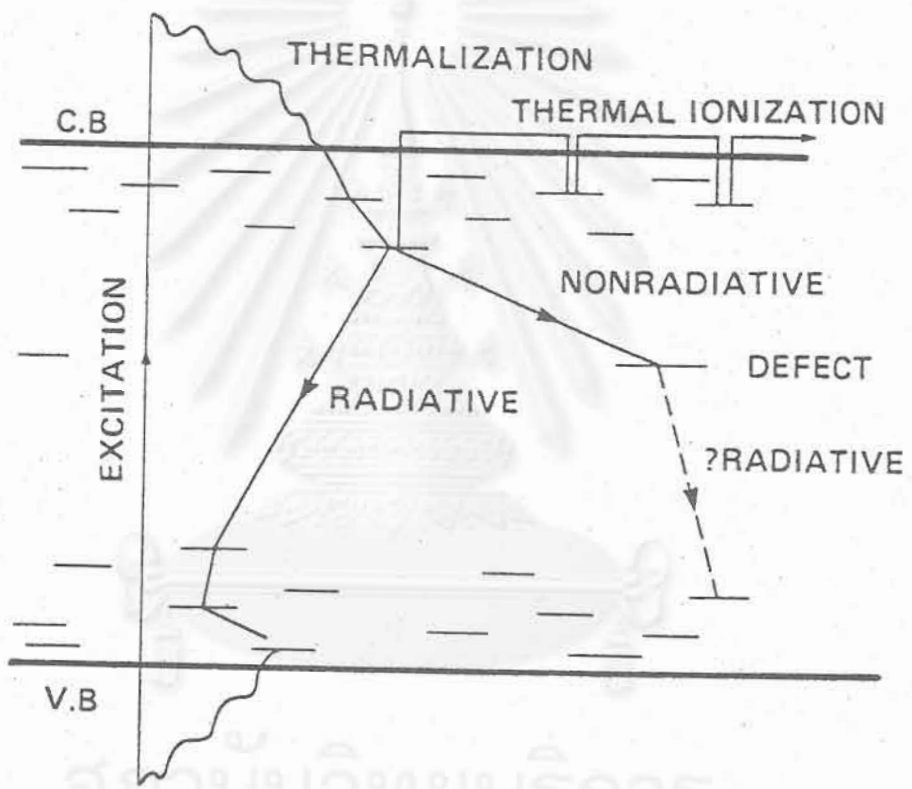
พฤติกรรมของอิเล็กตรอนในวัสดุ นอกจากจะวิ่งวนรอบนิวเคลียสเป็นวงโคจรแล้ว อิเล็กตรอนก็มีการหมุนตัวรอบตัวเองด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.12 เราเรียกการหมุนรอบตัวเอง



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างของโฟโตลูมิเนสเซนส์ และจำนวนของแขนขาดในพันธะอะตอม (วัดจาก ESR spin density) ในกรณีฟิล์ม a-Si:H (จากเอกสารอ้างอิง [ 5 ])



รูปที่ 4.10 ตัวอย่างกลไกชนิดต่างๆ ของการรวมตัวของพาหะทั้งแบบ radiative และแบบ non-radiative ในวัสดุตระกูลอะมอร์ฟัสซิลิกอน



รูปที่ 4.11 โมเดลสำหรับการรวมตัวของพาหะทั้งแบบ radiative และ non-radiative ของพาหะในแถบพลังงานต้องห้ามในวัสดุตระกูลอะมอร์ฟัสซิลิกอน



ของอิเล็กตรอนว่า electron spin และการหมุนรอบตัวเองของอิเล็กตรอนก็ทำให้เกิด magnetic moment ด้วยคล้ายกับแท่งแม่เหล็กเล็กๆ จากกฎของ Pauli ในวงโคจรของอิเล็กตรอน 1 วง จะมีอิเล็กตรอนได้สูงสุด 2 ตัว โดยอิเล็กตรอน 2 ตัวนั้นต้องมี spin ในทิศทางตรงข้ามกัน เราเรียกอิเล็กตรอนที่มี spin ตรงข้ามกันและจับคู่กันเช่นนี้ว่า pair electron แต่ถ้ามีอิเล็กตรอนเพียงตัวเดียวก็จะเรียกว่า lone pair electron (อิเล็กตรอนไร้คู่) ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ในสภาพที่วัสดุประกอบด้วยอะตอมหรือโมเลกุลที่มี lone pair electron (ทางเคมีนิยมเรียกอะตอมหรือโมเลกุลชนิดนี้ว่า free radical หรือเรียกสั้นๆ ว่า radical) ถ้าเราป้อนสนามแม่เหล็กเข้าไป ระดับพลังงานของ lone pair electron จะถูกแยกออกเป็น 2 ระดับ (ปรากฏการณ์ Zeeman) ซึ่งได้แก่ระดับพลังงานต่ำและระดับพลังงานสูง ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ความแตกต่างของระดับพลังงานทั้งสองคือ  $g\beta H_0$  ( $H_0$  คือความเข้มสนามแม่เหล็ก,  $\beta$  คือ Bohr magneton และ  $g$  คือค่าคงที่ของวัสดุนิยมเรียกว่า g-factor) ในขณะเดียวกัน ถ้าเราป้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (microwave : GHz) เข้าไป ถ้าความถี่ ( $\nu$ ) ของคลื่น microwave สอดคล้องกับเงื่อนไข  $h\nu = g\beta H_0$  ก็จะทำให้ lone pair electron ดูดกลืนคลื่น microwave และเปลี่ยนสถานะขึ้นไปอยู่ที่ระดับพลังงานสูงขึ้นเท่ากับ  $g\beta H_0$  และเราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ESR (Electron Spin Resonance)

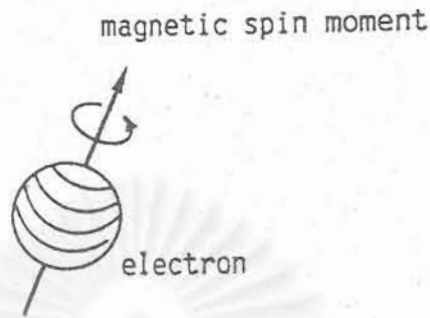
ปรากฏการณ์ ESR ถูกนำไปใช้ตรวจวัด/ตรวจหา radical หรือ lone pair electron ในวัสดุว่ามีหรือไม่มี ถ้ามีมีเท่าไร และจากค่า  $g$  และรูปร่างของสเปกตรัมก็สามารถนำไปวิเคราะห์โครงสร้างของโมเลกุล หาค่าความเร็วของปฏิกิริยา กลไกของปฏิกิริยา ฯลฯ เป็นต้น

#### ลักษณะเด่นของ ESR ได้แก่

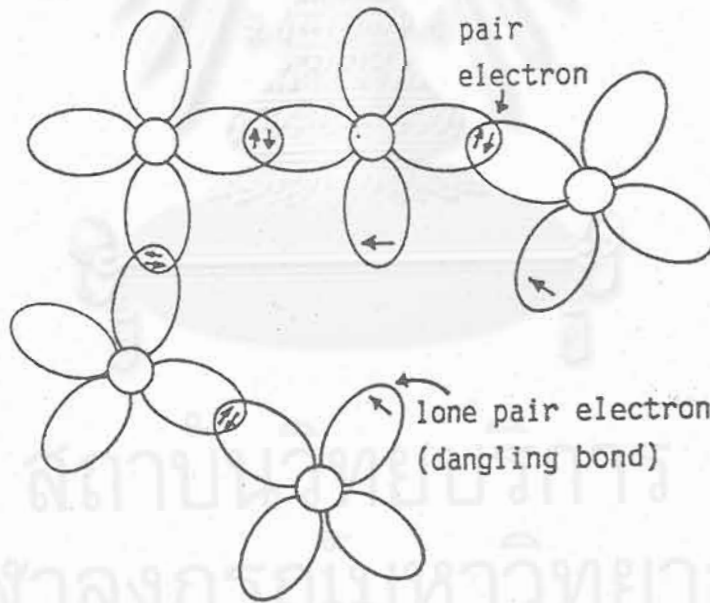
1. สามารถตรวจวัดวัสดุแบบไม่มีการทำลาย และวัดซ้ำๆ ได้
2. มีความไวสูง ( $10^{10}$ - $10^{11}$  spin/ $10^{-4}$  Tesla)
3. วัดได้ทั้งวัสดุชนิดผลึกของแข็ง, ผง, ของเหลว, ก๊าซ
4. ขณะกำลังวัดสามารถเปลี่ยนอุณหภูมิและส่องแสงและผสมวัสดุอื่นได้ด้วย

การเกิด lone pair electron ที่กล่าวข้างต้น อาจมีสาเหตุได้หลายประการ อาทิเช่น

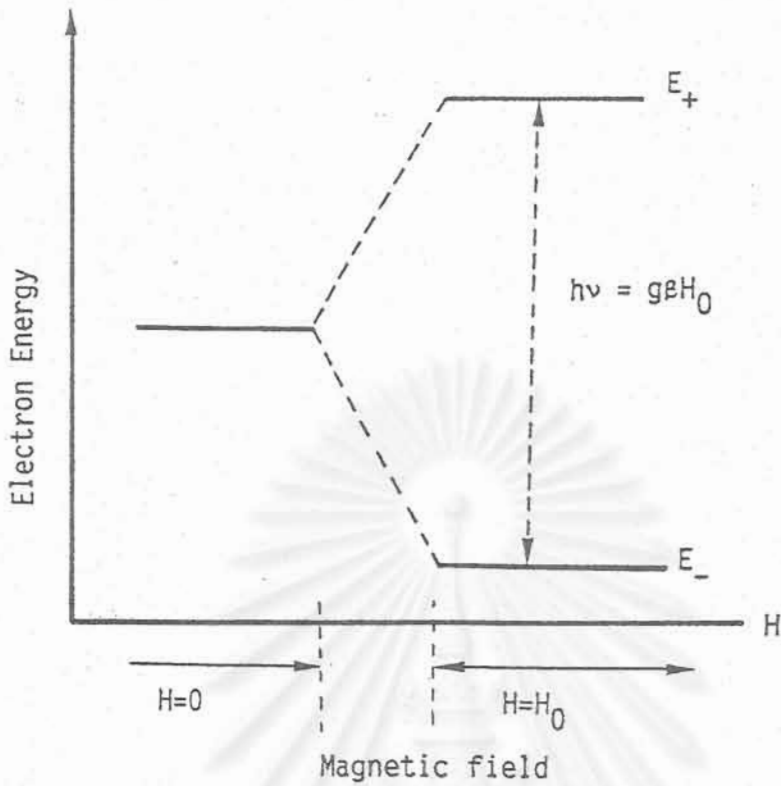
1. เกิดจาก conduction electron ในโลหะ, สารกึ่งตัวนำ
2. เกิดจาก lone pair electron ในอะตอมชนิด paramagnetic atom, paramagnetic molecules, free radical
3. เกิดจาก lone pair electron ในสารเจือปนและ defect ในผลึกหรือ อะมอร์ฟัส
4. เกิดจาก electron ในชั้น 3d, 4f ของ transition metal atom/ion
5. เกิดจาก electron ในสภาพกำลังถูกกระตุ้น (excitation)



รูปที่ 4.12 การเกิดสปินโดยการหมุนรอบตัวเองของอิเล็กตรอน



รูปที่ 4.13 ลักษณะของการเกิดอิเล็กตรอนไร้คู่ ซึ่งเป็นแขนขาด (lone pair electron หรือ dangling bond) ในอะมอร์ฟัสซิลิกอน



รูปที่ 4.14 การเกิดปรากฏการณ์ Zeeman ในสารกึ่งตัวนำ โดยระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจะถูกแยกออกเป็นหลายระดับเมื่อมีสนามแม่เหล็กมากระทำ

Dangling bond state	Spin	ESR signal detectability
$D^0$	↑	yes
$D^-$	↓ ↑	no
$D^+$		no

รูปที่ 4.15 แขนขาดชนิดต่างๆ

ปริมาณการลดลงของแอมพลิจูดของคลื่นไมโครเวฟแปรตรงกับจำนวนของอิเล็กตรอนไร้คู่ ดังนั้นถ้าเราวัดการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟโดยวัสดุชิ้นงานก็จะทราบจำนวนของอิเล็กตรอนไร้คู่ได้

อิเล็กตรอนไร้คู่ที่กล่าวมานี้มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าแขนขาด (dangling band) นิยมใช้อักษรย่อว่า "D" ที่ตำแหน่งแขนขาดนี้ถ้ามีอิเล็กตรอนเพียงตัวเดียวจะมีสัญลักษณ์ว่า "D<sup>0</sup>" ถ้ามีอิเล็กตรอนอิสระจากที่อื่นวิ่งมาจับคู่ด้วย แขนขาดนั้นจะกลายเป็นมีอิเล็กตรอน 2 ตัวจะมีสัญลักษณ์ว่า "D<sup>-</sup>" ถ้าที่แขนขาดนั้นไม่มีอิเล็กตรอนเลยจะใช้สัญลักษณ์ว่า "D<sup>+</sup>" เนื่องจาก D<sup>-</sup> มีอิเล็กตรอน 2 ตัว จึงไม่มีโมเมนต์แม่เหล็กและไม่เกิดปรากฏการณ์ ESR รูปที่ 4.15 แสดงสรุปชนิดของแขนขาดต่าง ๆ

ในทางปฏิบัติ ในการวัด ESR จะคงที่ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟไว้ แล้วเปลี่ยนความเข้มของสนามแม่เหล็กที่สร้างด้วยขดลวดไฟฟ้า และวัดการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ ดังนั้นสเปกตรัม ESR นั้น แกนแนวนอนคือ ความเข้มของสนามแม่เหล็ก (gauss) และแกนตั้งคือปริมาณการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ

รูปที่ 4.16 แสดงภาพถ่ายของเครื่องวัด ESR ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ยี่ห้อ JEOL รุ่น JES-RE2X ประเทศญี่ปุ่น และตารางที่ 4.3 แสดงรายละเอียดของรุ่นนี้

รูปที่ 4.17 แสดงหลักการการทำงานของเครื่องวัด ESR รุ่นนี้

ฟิล์ม a-SiN:H ที่ใช้วัด ESR ปลูกบนแผ่นฐานชนิดกระจก (micro glass) ขนาด 2x2x0.1 mm<sup>3</sup> ฟิล์ม a-SiN:H ปลูกหนาประมาณ 1~2 ไมครอน ด้วยเงื่อนไขดังนี้

RF power	3 watt
Substrate Temperature	190° C
Gas Pressure	1 Torr
Gas Fraction $x = \text{NH}_3 / (\text{SiH}_4 + \text{NH}_3)$	= 0~0.71

แผ่น micro glass ที่มี a-SiN:H เคลือบติดอยู่ จะถูกตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดประมาณ 1x4 mm<sup>2</sup> แล้วบรรจุลงในหลอด tube ที่ทำจาก quartz รูปที่ 4.18 แสดงภาพถ่ายของชิ้นงานที่ตัดและบรรจุลงใน tube แล้ว (tube มีขนาดยาวประมาณ 30 cm. เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 5 mm. ภายใน 3 mm.) สีที่เห็นแตกต่างกัน โดยซ้ายมือสุดเงื่อนไขการผลิต  $x = \text{NH}_3 / (\text{SiH}_4 + \text{NH}_3) = 0.3$  และขวามือสุด  $x = 0.71$



ตารางที่ 4.3 รายละเอียดของเครื่องวัด ESR รุ่น JES-RE2X

Sensitivity	1 × 10 <sup>10</sup> spins/0.1mT (100kHz magnetic field modulation)		
Resolution	1 × 10 <sup>-3</sup> or better at 330mT		
Operating frequency	8.8 to 9.6 GHz		
Oscillator	Gunn oscillator (endurance time: 20,000h or more)		
Frequency stability	1 × 10 <sup>-9</sup> (0.1μW to 200mW) Auto gain controller provided		
Frequency setting accuracy	± 5MHz		
Microwave output	0.1μW to 200mW		
Detection	Homodyne crystal detection		
Cavity	Cylindrical TE <sub>011</sub> mode (Qu: 18,000) standard		
ESR marker	Provided (digital marker: option)		
Sample tube	5mm OD (11mm OD at max.: option)		
Modulation frequency	100, 50, 25 kHz (width: 2mT at max.)		
Detection frequency	200, 100, 50, 25 kHz		
Phase resolution	0.1°		
Recorder	DYT type (DY, TY, DTY selectable)		
Chart size	250(W) × 380(L), DTY is expandable to 1.5, 2, and 3 times of DY mode		
Oscilloscope	Long-persistence CRT		
Connecting terminals	RS-232C, ESR-BUS (16 bits, PIO), ANALOG output		
	<b>Magnet</b>	<b>RE1X</b>	<b>RE2X</b>
Magnetic field	Stability	Short-term: 1 × 10 <sup>-8</sup> or 0.3μT, Long-term: 1 × 10 <sup>-3</sup> /°C·h	
	Homogeneity	1 × 10 <sup>-3</sup> /effective sample volume (at 330mT)	
	Sweep time	Internal sweep: 100ms ~ 20s Recorder: 0.5 ~ 128 min	
Magnetic pole	Gap	60mm	75mm
	Diameter (root)	150mm	360mm
	Diameter (top)	150mm	300mm
Max. magnetic field intensity	0.65T	1.3T	1.4T
Magnetic field variable range	RMF* ~ 0.65T	RMF* ~ 1.3T	50mT ~ 1.4T
Magnetic field sweep width	Recorder	± 10μT ~ ± 250mT	± 10μT ~ ± 500mT
	Internal sweep	± 10μT ~ ± 50mT	± 10μT ~ ± 50mT

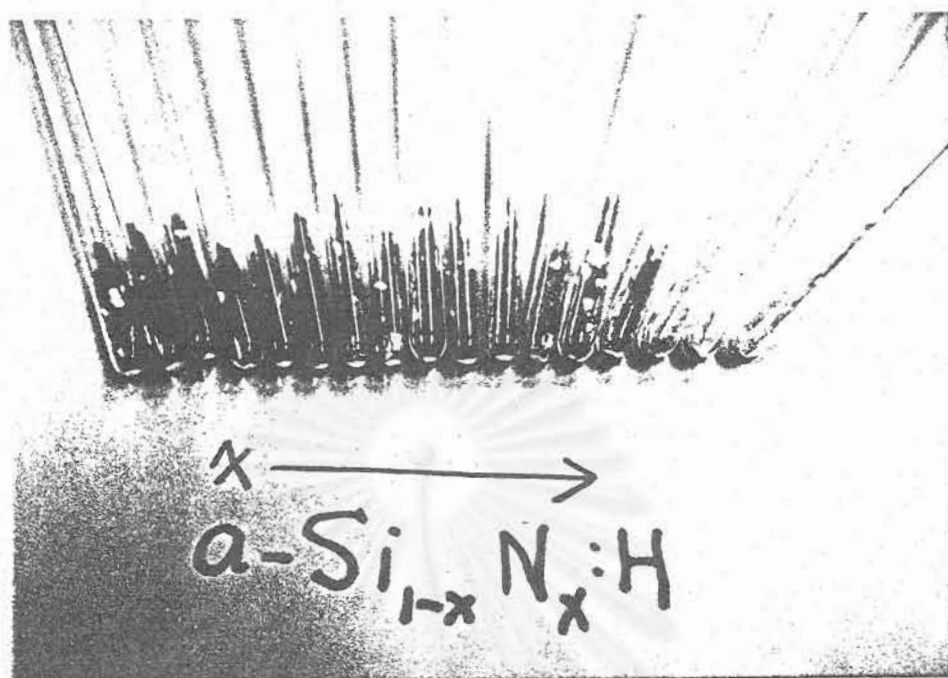
### ■ Installation Requirements

Power	Spectrometer	Single-phase 100V AC, 50/60Hz, 350VA		
	Magnet	3-phase 200V, 50/60Hz, 2kVA	3-phase 200V, 50/60Hz, 13kVA	3-phase 200V, 50/60Hz, 20kVA
	Voltage fluctuation	± 5% (excluding pulsed noise)		
Water	Pressure	0.05 ~ 0.2MPa	0.15 ~ 0.3MPa	
	Flow rate (max.)	4ℓ(15~25°C)/min or more	8ℓ(15°C) ~ 16ℓ(35°C)/min	16ℓ(15~25°C)/min
	Faucet OD	12mm	22mm	
Dimensions & Weight	Spectrometer	850(W) × 900(D) × 990(H) mm, 100 kg		
	Magnet	1400 × 710 × 1100, 520kg	1400 × 750 × 1160, 1000kg	1600 × 1000 × 1200, 2300kg
	Power supply	Built into magnet console	600 × 610 × 900, 300kg	810 × 710 × 1100, 500kg

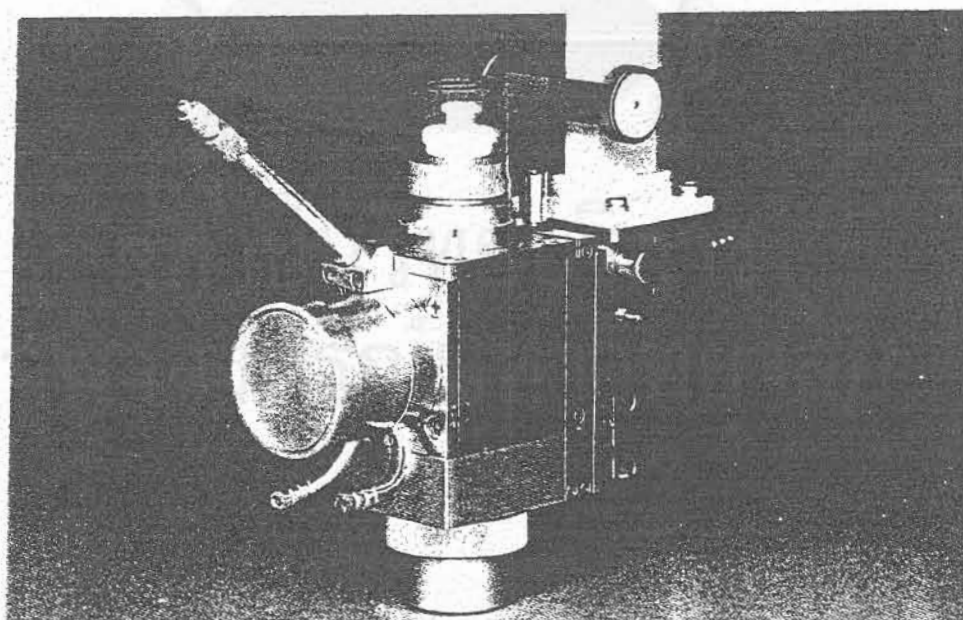
(Unit: mm)

\*RMF: (residual magnetic field) SI units: 0.1mT=1 G, 1 MPa=10 kg/cm<sup>2</sup>





รูปที่ 4.18 ภาพถ่ายของชิ้นงาน a-SiN:H (มีกระจกเป็นแผ่นฐาน) ที่ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ และบรรจุลงใน quartz tube



รูปที่ 4.19 ลักษณะการเสียบ Marker วัสดุ  $Mn^{2+}$  ลงใน cavity ของเครื่องวัด ESR .

### ขั้นตอนการวัด ESR คือ

1. เสียบ tube ลงใน cavity ของเครื่องวัด
2. ปลอ่ยคลื่นไมโครเวฟเข้าสู่ cavity ด้วยความถี่และ power ที่เหมาะสม
3. scan ความเข้มของสนามแม่เหล็กเช่น จากประมาณ 3,100 ถึง 3,300 gauss
4. บันทึกสเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟด้วย plotter และคอมพิวเตอร์

#### 4.2.2 ผลการวัด ESR ของ a-SiN:H

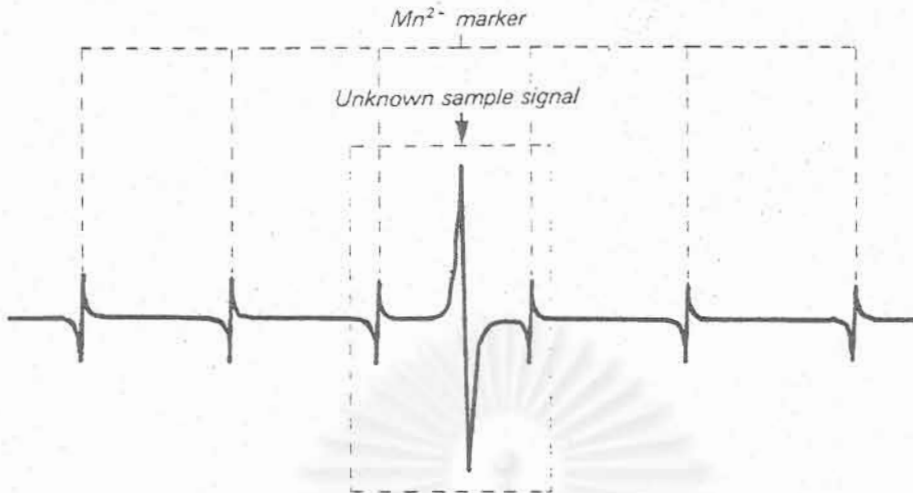
เงื่อนไขสำคัญที่ใช้วัด ESR มีดังนี้

Temperature	room temperature
Magnetic Field	3,100~3,300 gauss
Microwave Frequency	9.0425 GHz
Microwave Power	1 milliwatt
Central Field	3222.72 gauss
Sweep width	5.0x10 gauss
Modulation width	10 gauss
Modulation frequency	100 KHz
Time constant	0.03 second

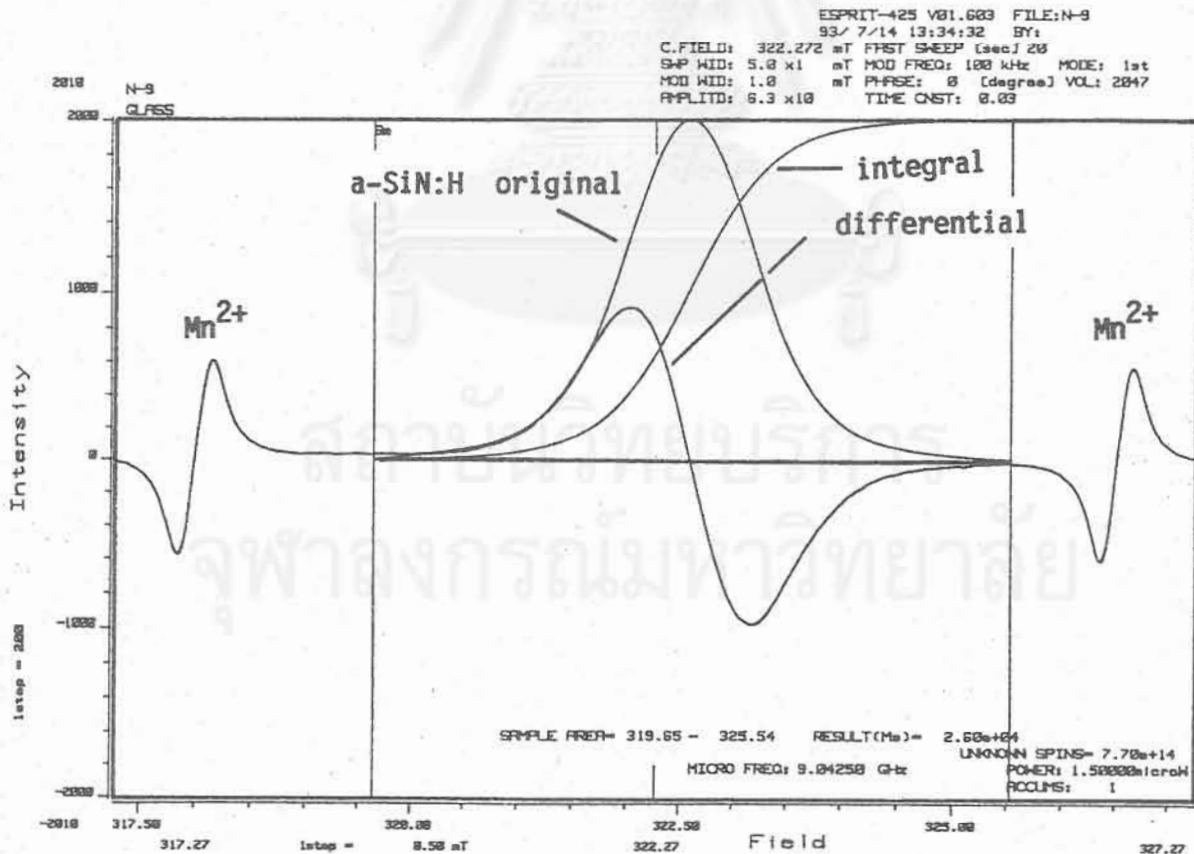
ปกติเวลาวัด ESR จะเสียบ tube ของ Marker ที่ทำจากวัสดุของ  $Mn^{2+}$  ลงไปใน cavity (ดูรูปที่ 4.19) โกลี่ชันงานด้วย เพื่อให้สเปกตรัม ESR มีสัญญาณของ  $Mn^{2+}$  เป็นการบอกค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก สัญญาณของ  $Mn^{2+}$  จะมี 6 peaks และมีเฟสตรงข้ามกับของชันงานดังแสดงในรูปที่ 4.20 ปกติสัญญาณ ESR ของฟิล์ม a-SiN:H จะปรากฏในช่วงกลางระหว่างสัญญาณของ  $Mn^{2+}$  ตัวที่ 3 และ 4

รูปที่ 4.21 แสดงตัวอย่างของสเปกตรัม ESR ของ a-SiN:H ที่ปลูกที่อัตราส่วนก๊าซ  $x = NH_3/(SiH_4 + NH_3) = 0.5$  ปกติสัญญาณเอทท์พหุจะเป็นสัญญาณ differential 1 ครั้ง สัญญาณด้านซ้ายและขวาเป็นของ  $Mn^{2+}$  ตัวที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

ข้อมูลสำคัญที่ควรได้จากการวัด ESR ได้แก่ จำนวน spin (dangling bond, แขนขาด) ของ a-SiN:H ในการวัดเพื่อให้ทราบค่า spin ที่แท้จริงนั้นทำได้โดยการใช้วัสดุมาตรฐานคือ DPPH (Diphenyl Picryl Hydrazyl) เป็นตัวเทียบ กล่าวคือ วัด ESR ของ DPPH ที่ทราบจำนวนโมเลกุล (DPPH 1 โมเลกุลมี lone pair electron 1 ตัว ดังรูปที่ 4.22) แล้วเปรียบเทียบพื้นที่สัญญาณ ESR กับ a-SiN:H (รายละเอียดวิธีการเตรียม DPPH ดูในรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์เรื่อง เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน โดยคุณสิริดา เครื่องงาม เสนอต่อสภาวิจัยฯ



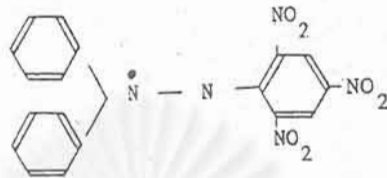
รูปที่ 4.20 สัญญาณสเปกตรัม ESR ของ Mn<sup>2+</sup> ซึ่งปรากฏ 6 ครั้งด้วยกัน



รูปที่ 4.21 สเปกตรัม ESR ของ a-SiN:H ที่ปลูกจากก๊าซอัตราส่วน NH<sub>3</sub>/(SiH<sub>4</sub>+NH<sub>3</sub>) = 0.5 สัญญาณตรงกลางเป็นของ a-SiN:H ส่วนสัญญาณด้านขอบซ้ายและขวาเป็นของ Marker Mn<sup>2+</sup> ตัวที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

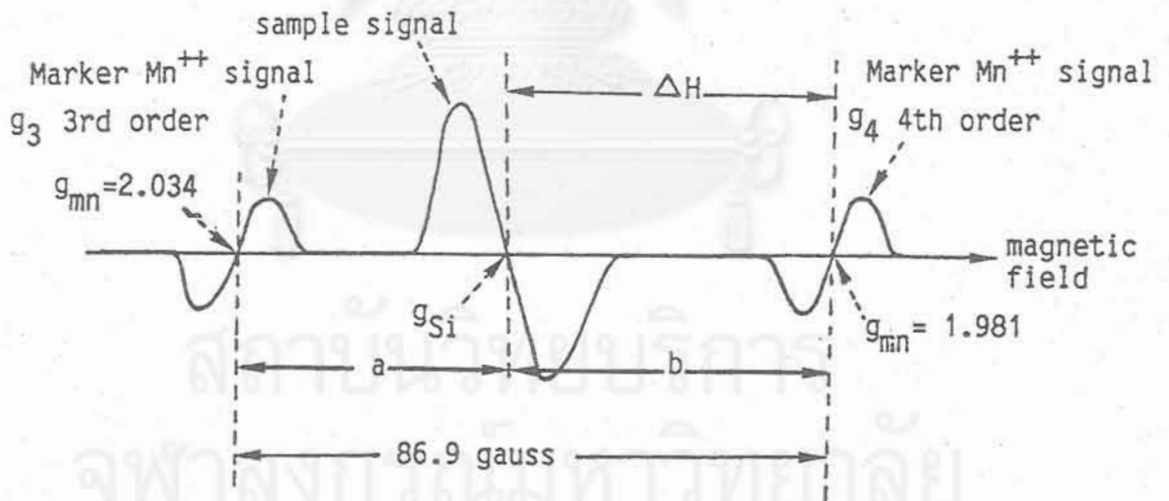


STANDARD SAMPLE: DPPH (DIPHENYL PICRYL HYDRAZYL)



MOLECULAR WEIGHT: 394

รูปที่ 4.22 โครงสร้างโมเลกุลของ DPPH



รูปที่ 4.23 วิธีการกำหนดค่า g-value จากสเปกตรัม

2533 [6-7]

ข้อมูลที่สำคัญอีกค่าหนึ่งที่ได้จากการวัด ESR คือ g-factor หรือ g-value ค่า g-value ของชั้นงาน a-SiN:H มีวิธีวัดจากรูปที่ 4.23 คือ

$$g\text{-value ของ a-SiN:H} = \frac{g_3 g_4 (a + b)}{a g_3 + b g_4} \tag{4.6}$$

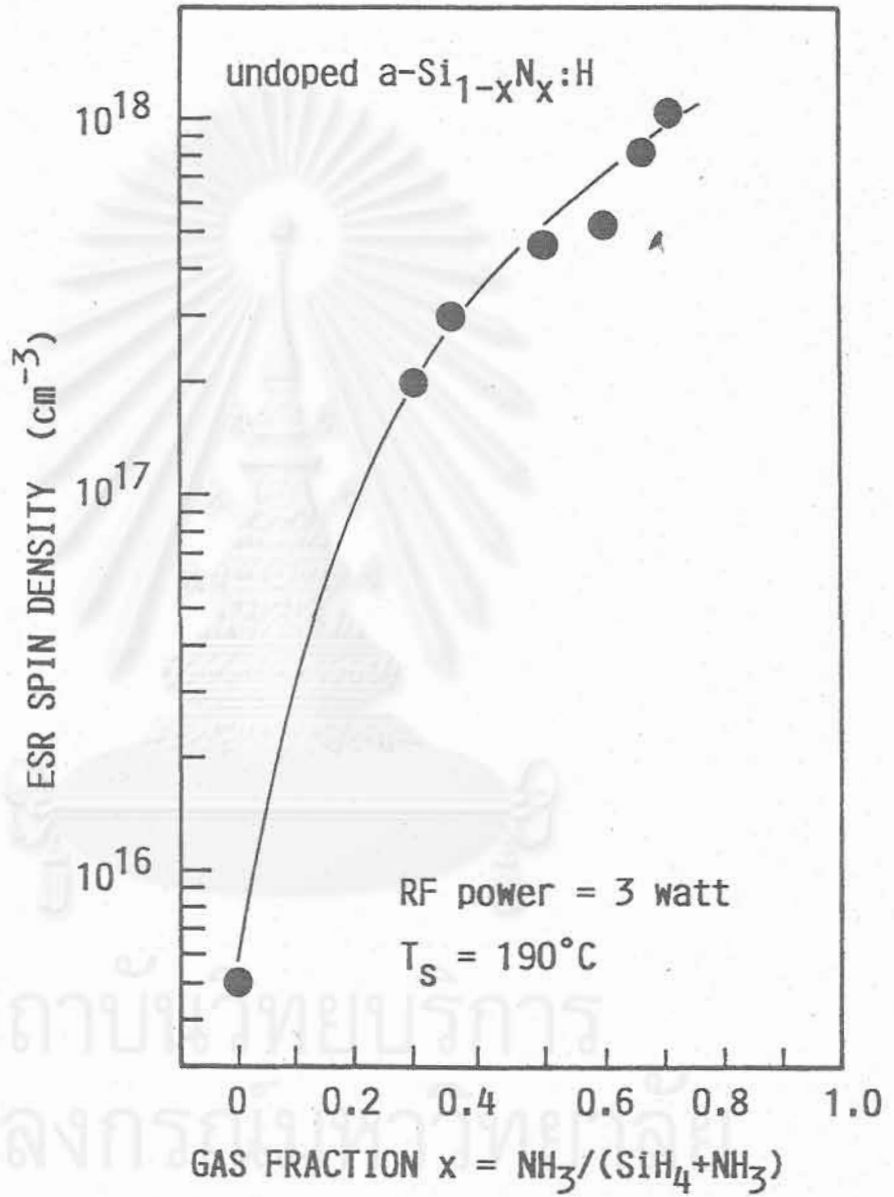
โดยที่  $g_3, g_4$  : ค่า g-value ของ  $Mn^{2-}$  ตัวที่ 3 และ 4 ตามลำดับ  
 $a, b$  : สนามแม่เหล็กนับจาก  $g_3, g_4$  ตามลำดับดังรูป

รูปที่ 4.24 แสดงผลสรุปความสัมพันธ์ระหว่าง ESR spin density และ gas fraction  $x = NH_3/(SiH_4 + NH_3)$  ที่ใช้ปลูกฟิล์ม a-SiN:H ผลการทดลองพบว่า เมื่อค่า x เพิ่มจาก 0 ถึง 0.71 จะทำให้ spin density เพิ่มขึ้นจากประมาณ  $5 \times 10^{15} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$  ถึง  $1 \times 10^{18} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$  ข้อมูลนี้ชี้ให้เห็นว่า การเพิ่มปริมาณก๊าซ  $NH_3$  (นั่นคือ ปริมาณ N) จะทำให้ฟิล์ม a-SiN:H มีขนาดเพิ่มมากขึ้น

รูปที่ 4.25 แสดงผลสรุปความสัมพันธ์ระหว่าง g-value และ gas fraction x จากรูปนี้พบว่า ถ้า  $x = 0$  จะได้ g-value เท่ากับ 2.0055 ซึ่งเป็นค่าของ a-Si:H นั้นเอง และเมื่อเพิ่มค่า x จาก 0 ถึง 0.71 กล่าวคือ เพิ่ม N จะทำให้ g-value มีค่าลดลงเป็น 2.0046, 2.0044, 2.0040 และ 2.0036 ตามลำดับ

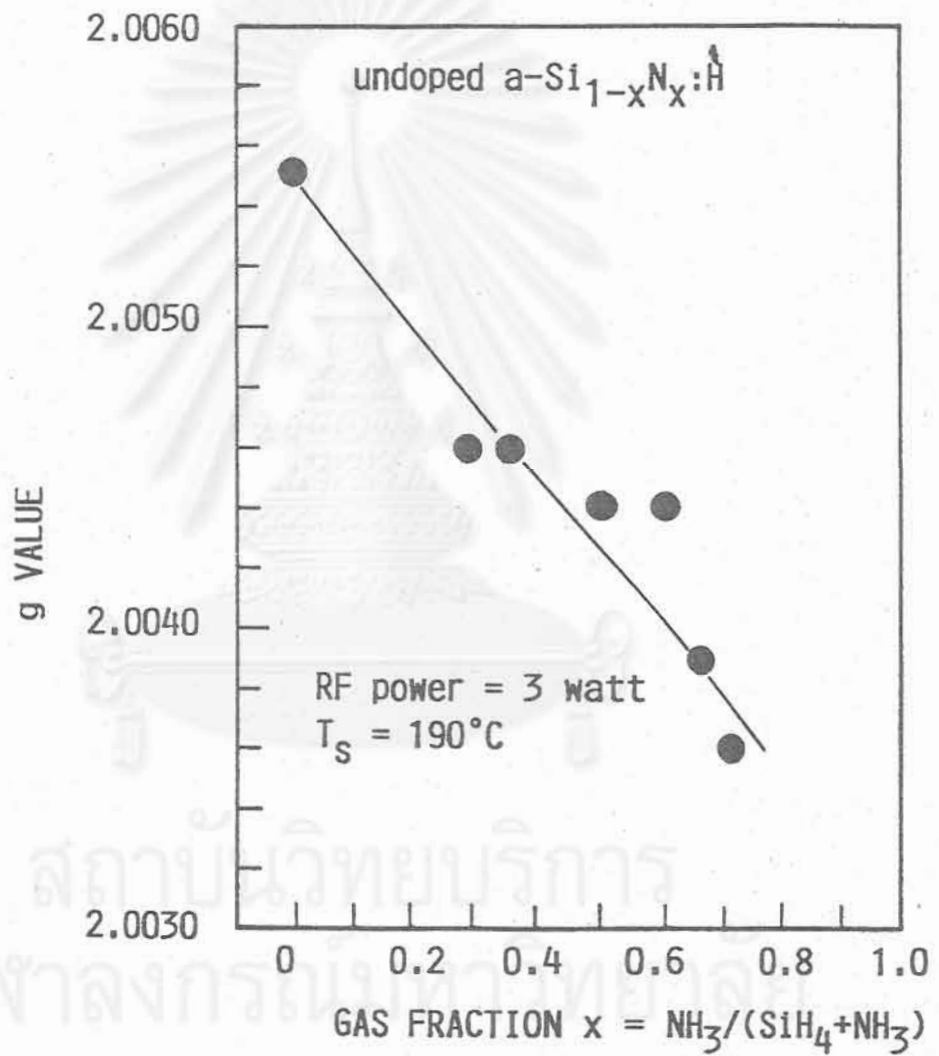
ข้อมูลในรูปที่ 4.24 และ 4.25 ชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณ N ใน a-Si:N:H จะทำให้มีขนาดเพิ่มมากขึ้น และขนาดนั้นนอกจากจะเกิดที่อะตอม Si แล้วยังเกิดที่อะตอม N ด้วย

สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.24 สรุปผลการวัดความสัมพันธ์ระหว่าง ESR spin density และอัตราส่วน  
ก๊าซ  $\text{NH}_3 / (\text{SiH}_4 + \text{NH}_3)$  ที่ใช้ปลูกฟิล์ม  $a\text{-SiN:H}$





รูปที่ 4.25 สรุปผลการวัดความสัมพันธ์ระหว่าง g-value และอัตราส่วนก๊าซ  $\text{NH}_3/(\text{SiH}_4 + \text{NH}_3)$  ที่ใช้ปลูกฟิล์ม  $a\text{-SiN:H}$

เอกสารอ้างอิง

1. ดุสิต เครื่องงาม : การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า 9 สถาบัน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กทม., 16-17 พ.ย. (2532) P. 772.
2. Japan Electronic Industry Promotion Society edited : Databook on Amorphous Silicon Semiconductors, (1986), P. 181.
3. W.E. Spear and P.G.Le Comber : Solid State Commun., vol. 17, (1975), p. 1193.
4. J.D. Joannopoulos and G. Lucovsky edited : The Physics of Hydrogenated Amorphous Silicon I, II, (Springer-Verlag), (1984).
5. R.A. Street : Hydrogenated Amorphous Silicon, (Cambridge University Press), (1991), P. 308.
6. ดุสิต เครื่องงาม และคณะ : รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์เรื่อง "เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน" เสนอต่อสภาวิจัยแห่งชาติ (2533).
7. ดุสิต เครื่องงาม : การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 14, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่, 7-8 พ.ย. (2534), P. 2-34.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### การศึกษาคุณสมบัติทาง Chemical Bonding ของ a-SiN:H ด้วยวิธี ESCA

#### บทนำ

เทคนิคของ ESCA (Electron Spectroscopy for Chemical Analysis) เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถใช้ตรวจสอบคุณสมบัติของผิวของวัสดุว่ามีสภาพ chemical bonding เป็นอย่างไร ทำให้เราทราบว่าที่ผิวของวัสดุในระยะความลึกหน่วยอังสตรอมประกอบด้วยธาตุอะไร และกำลังสร้างพันธะกับธาตุอื่นหรืออะตอมอื่นอย่างไร [1] การวัด ESCA ทำได้โดยการยิงรังสี X-ray (characteristic X-ray) ลงบนผิววัสดุ และวัดพลังงานของ photo-electron ที่ถูกปล่อยออกมาจากผิววัสดุ พลังงานของ photo-electron จะเป็นข้อมูลเกี่ยวกับระดับพลังงานของอิเล็กตรอนที่อยู่ในชั้นใน ๆ ของอะตอม

ในบทนี้จะรายงานผลการวิจัยตรวจวัดผิวของ a-SiN:H ว่ามีสภาพ chemical bonding เป็นอย่างไรด้วย เครื่องวัด ESCA ที่ติดตั้งอยู่ที่ตึก 3 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 5.1 หลักการทำงานพื้นฐานของ ESCA

การวัด ESCA จะได้สเปกตรัมที่แสดงถึงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอม จึงทำให้เราทราบชนิดของธาตุและการสร้างพันธะทางเคมีในวัสดุ

##### 5.1.1 การปล่อยโฟโตอิเล็กตรอนและ Chemical shift

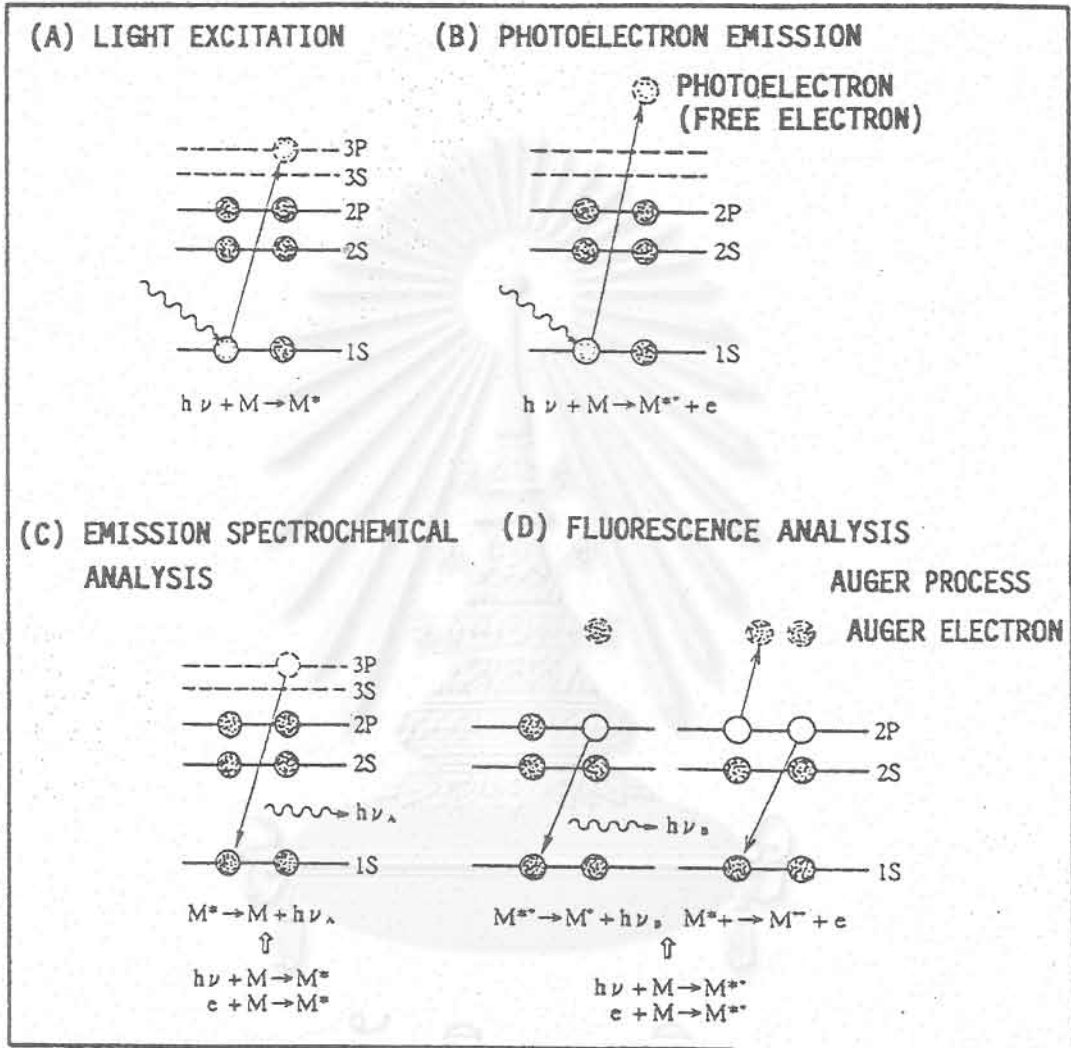
ปรากฏการณ์ photoelectric effect ได้แก่ ปรากฏการณ์ที่เมื่อเรายิงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น คลื่นแสงอัลตราไวโอเลตหรือรังสีเอ็กซ์ลงบนผิววัสดุแล้วทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากผิววัสดุ อิเล็กตรอนที่หลุดออกมานี้เรียกว่า "โฟโตอิเล็กตรอน" (photo-electron) วิธี ESCA เป็นวิธีการวัดสเปกตรัมของโฟโตอิเล็กตรอนซึ่งหลุดออกมาจากระดับพลังงานใน ๆ ของอะตอม (inner core)

การเกิดกระบวนการ photo-electric effect ในวัสดุแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนได้แก่  
ขั้นตอนที่ 1 รังสีเอ็กซ์ถูกวัสดุดูดกลืน และโฟโตอิเล็กตรอนถูกปล่อยออกมาจากอะตอมเดิม

ขั้นตอนที่ 2 โฟโตอิเล็กตรอนเดินทางไปถึงผิวของวัสดุ

และ ขั้นตอนที่ 3 โฟโตอิเล็กตรอนกระโดดจากผิววัสดุไปสู่สุญญากาศ

เทคนิคการวัด photo-electrospectroscopy ได้อาศัยขั้นตอนต่าง ๆ เหล่านี้ในการวัด



รูปที่ 5.1 กระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการวิเคราะห์ photoelectron spectroscopy

ในรูปที่ 5.1 รูป (A) และ (B) เรียกว่า primary process และ (C) และ (D) เรียกว่า secondary process

การวัดที่ใช้ primary process ในรูป (A) ได้แก่ การวัด infrared absorption และ atomic absorption spectroscopy

การวัดที่ใช้รูป (B) ได้แก่ ESCA นั่นเอง

ส่วนการวัดที่ใช้ secondary process ในรูป (C) เป็นการกระตุ้นวัสดุให้เป็นไอออนหรืออยู่ในสถานะสูงแล้วตกกลับลงสู่สภาพเดิม ซึ่งได้แก่ วิธี X-ray microanalysis, phosphorescence X-ray ส่วนวิธีการในรูป (D) เรียกว่าการวัด Auger electron spectroscopy

ต่อไปจะอธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับ ESCA เมื่อเรายิง X-ray เข้าสู่วัสดุ และมีโฟโตอิเล็กตรอนหลุดออกมา ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของ X-ray และพลังงานของโฟโตอิเล็กตรอนจะเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน ถ้าให้  $h\nu$  คือพลังงานโฟตอนของ X-ray  $E_{kin}$  คือ พลังงานจลน์ของโฟโตอิเล็กตรอน และให้  $E_B$  คือ binding energy ของอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรชั้นใน ๆ จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$E_{kin} = h\nu - E_B - e\phi \tag{5.1}$$

โดยที่  $e\phi$  : work function ของวัสดุ

เนื่องจาก  $h\nu$  และ  $e\phi$  เป็นค่าคงที่ ดังนั้นจากสมการนี้การวัดค่า  $E_{kin}$  จึงเท่ากับเป็นการวัดค่า binding energy ( $E_B$ ) ของอิเล็กตรอนชั้นใน ๆ ของอะตอม ค่า binding energy ของอิเล็กตรอนชั้นในเป็นค่าแสดงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอม และเป็นค่าเฉพาะตัวของธาตุแต่ละชนิด ดังนั้นการวัดค่าพลังงานจลน์ของโฟโตอิเล็กตรอน จึงทำให้เราทราบได้ว่าในวัสดุ มีธาตุอะไร และสถานะพันธะของอิเล็กตรอนเป็นอย่างไร

อนึ่ง เนื่องจากในการวัด ESCA จะใช้ X-ray ซึ่งมีพลังงานโฟตอนสูงหลาย keV จึงเป็นการกระตุ้นให้อิเล็กตรอนชั้นในหลุดออกจากอะตอมได้อย่างเห็นได้ชัดเจน

อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปอะตอมหรือโมเลกุลจะไม่ได้เป็นอิสระเป็นตัว ๆ แต่จะมีการสร้างพันธะทางเคมีกับอะตอมหรือโมเลกุลหลาย ๆ ตัวที่อยู่ข้างเคียง การสร้างพันธะทางเคมี จะใช้อิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรรอบนอกสุด (valence electron) เป็นตัวสร้างพันธะจัดแจง bonding ต่าง ๆ ให้เหมาะสม แม้ว่าในการสร้างพันธะเช่นนั้น อิเล็กตรอนชั้นในจะมีได้รับผลกระทบกระเทือนโดยตรง แต่จากการที่ valence electron มีการจัดแจงตำแหน่งเปลี่ยนไปจากเดิม ดังนั้นจึงทำให้สนามแรงดึงดูดจาก valence electron มีการเปลี่ยนค่าไปจากเดิม จึงส่งผลให้ binding energy ของอิเล็กตรอนชั้นในเปลี่ยนแปลงไปได้ ซึ่งอาจมีค่า 0 - หลาย eV เราเรียกการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้ว่า Chemical Shift ในการวัด ESCA นี้ ถ้าพบว่ามี Chemical Shift ก็จะมี

ทำให้เราทราบลักษณะการสร้างพันธะทางเคมีของอะตอมหรือโมเลกุลของวัสดุได้เป็นอย่างดี

### 5.1.2 Escape Depth ของอิเล็กตรอนและ Surface Sensitivity

คุณสมบัติเด่นอย่างหนึ่งของ ESCA คือ escape depth ของอิเล็กตรอนมีค่าสั้นมากเพียงระดับ 5-30 Å เท่านั้น จึงใช้ ESCA ในการตรวจวัดสภาพของผิววัสดุชั้นมาก ๆ ได้ดี ปกติเมื่อเรายิงวัสดุด้วย X-ray และทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอน ๆ นั้นจะมีพลังงานสูงถึง 0-1500 eV หลุดออกมาจากอะตอม วิ่งชนกับอะตอมตัวอื่น ๆ แบบ inelastic scattering และสูญเสียพลังงานไป จะมีอิเล็กตรอนเพียงบางตัวเท่านั้นที่จะสามารถหลุดออกสู่สุญญากาศได้ เราเรียกระยะทางเฉลี่ยปลอดการชนของอิเล็กตรอนว่า mean free path และเรียกความลึกสุดของอิเล็กตรอนที่จะสามารถวิ่งขึ้นมาถึงผิวได้ว่า escape depth (ดูรูปที่ 5.2)

### 5.1.3 เปรียบเทียบกับวิธี Surface Analysis อื่น ๆ

ESCA เป็นการวัด spectroscopy ชนิดหนึ่งที่ใช้ X-ray เป็นต้นกำเนิดการกระตุ้นอิเล็กตรอนให้หลุดออกสู่สุญญากาศ ดังนั้นการวัดจึงต้องวางชิ้นงานไว้ในสุญญากาศและดูดให้เป็นสุญญากาศที่ดี ๆ เพื่อมิให้โฟโตอิเล็กตรอนถูกชนกับโมเลกุลของอากาศ เช่น สุญญากาศควรเป็นระดับต่ำกว่า  $10^{-6}$  torr รูปที่ 5.3 แสดงเปรียบเทียบย่านพลังงานที่ต้องวัดของวิธีต่าง ๆ และตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทั่วไปของการวิเคราะห์ผิวของวัสดุด้วยวิธีการต่าง ๆ

อนึ่ง ESCA นิยมใช้ชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy)

## 5.2 รายละเอียดเกี่ยวกับเครื่องมือ ESCA ในงานวิจัย

เครื่องมือ ESCA ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ผลิตโดยบริษัท JEOL ประเทศญี่ปุ่น รุ่น JPS-9000 ปัจจุบันติดตั้งอยู่ที่ตึก 3 ชั้น 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังแสดงในรูปที่ 5.4 ส่วนประกอบสำคัญของเครื่องมือ ESCA เครื่องนี้มี 3 ส่วน ได้แก่

### 1. Test Chamber (ดูรูปที่ 5.5)

ภายในเป็นสุญญากาศระดับ  $10^{-6}$ - $10^{-9}$  Torr ด้านข้างมีหลอดกำเนิด X-ray และด้านบนมีอุปกรณ์ตรวจวัดโฟโตอิเล็กตรอน (electron energy analyzer and input lens system) ซึ่งหัววัดนั้นเป็นชนิด Channeltron type electron multiplier ส่วนด้านล่างของ test chamber มี holder คอยยึดจับชิ้นงาน (specimen) ที่จะวัด ชิ้นงานโดยทั่วไปมีขนาดไม่ใหญ่กว่า 1 cm x 1 cm x 0.5 cm



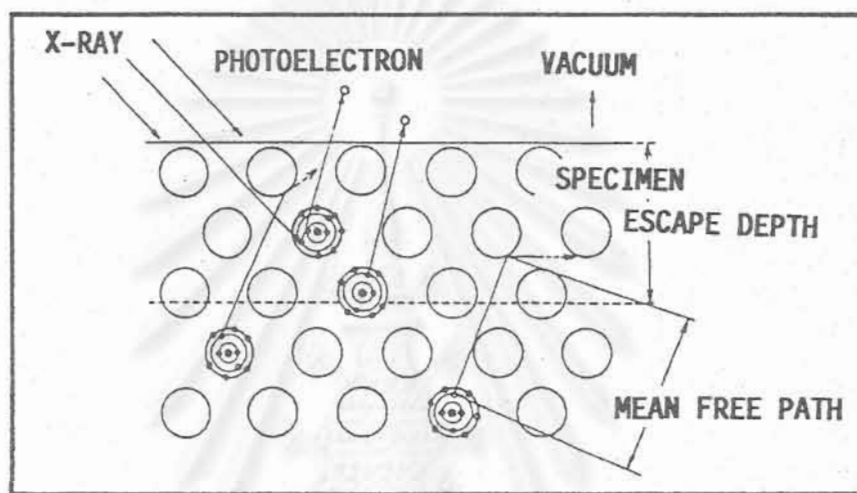
ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติทั่วไปของการวิเคราะห์ผิวของวัสดุด้วยวิธีการต่างๆ

Technique	Information (E = elemental, C = chemical)	Spatial resol- ution (best)	Sampling depth mono- layers	Sensi- tivity (order of)	Quanti- fication (√ = easy)	Elements not covered	Popu- larity	Specimen prepara- tion (√ = easy)	Ease of use	Extent of support data	Effective take-off year
AES	E <sup>†</sup>	5 nm	3	0.3%	√	H,He	****	√	****	*****	1968
Atom probe FIM	E <sup>‡</sup>	1 nm	1	1%	√		*		*	**	1968
HREELS	C	1 mm	1	1%			*	√	**	**	1970
ISS	E	1 mm	1	1%	√	H,He	*	√	***	***	1967
MEIS	E	1 mm	3	1%	√	H,He, Li, Be	*	√	***	***	1967
RBS	E	1 mm	100	1%	√	H,He	**	√	****	****	1967
SIMS (static)	C	1 μm	2	0.01%			**	√	**	**	1970
SIMS (dynamic, imaging)	E	20 nm	10	< 1 p.p.m.	√ <sup>§</sup>		***	√	***	****	1968
SIMS (dynamic, depth prof.)	E	50 μm	10	< 1 p.p.m.	√ <sup>§</sup>		***	√	***	***	1975
SNMS (dynamic, depth prof.)	E	50 μm	10	< 1 p.p.m.	√		**	√	***	**	1970
UPS	C	5 μm	3	1%		N/A	**	√	***	****	1969
XPS	C, E	5 μm	3	0.3%	√	H, He	****	√	****	*****	1967

<sup>†</sup>C is available but not with high spatial resolution due to electron stimulated desorption effects.<sup>81</sup>

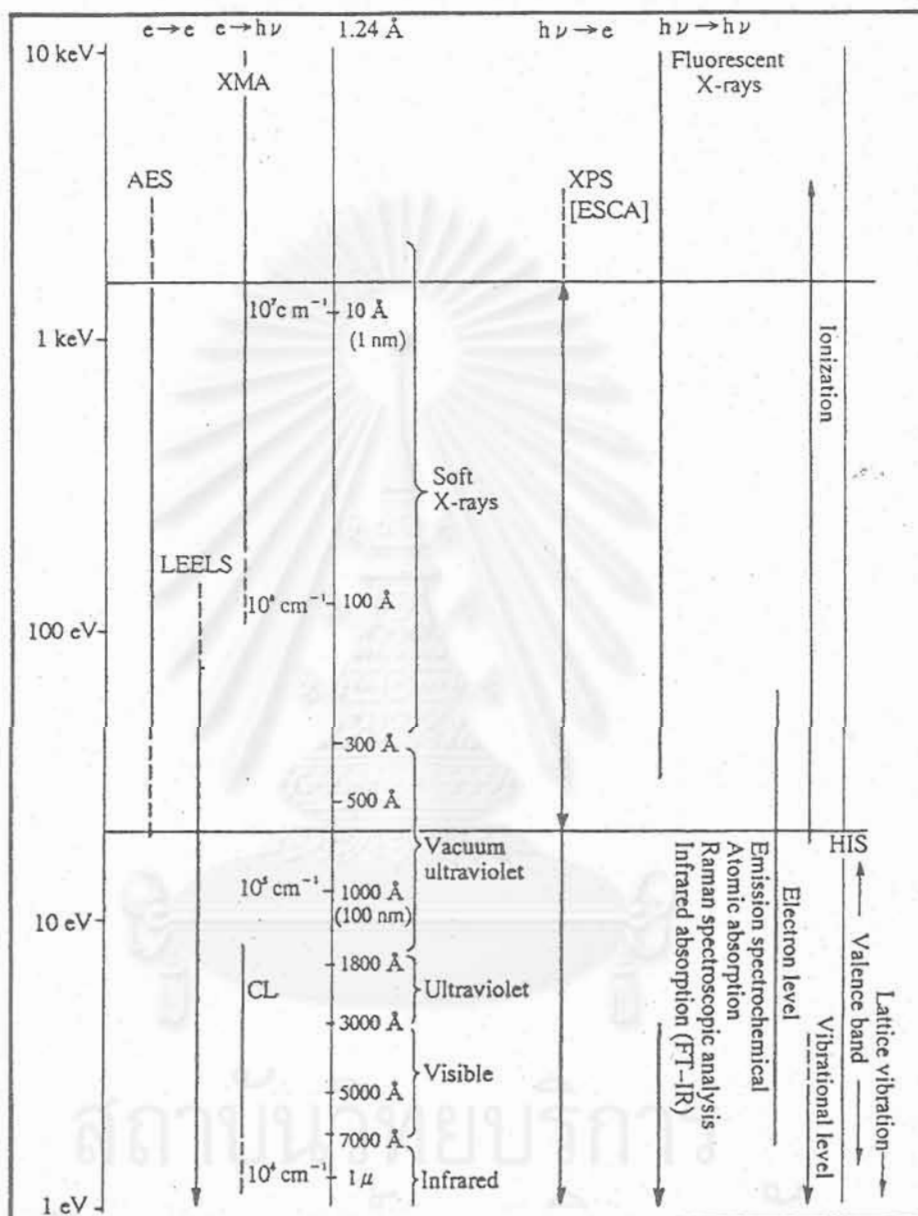
<sup>‡</sup>C may generally be deduced.

<sup>§</sup>When compared with a close standard.

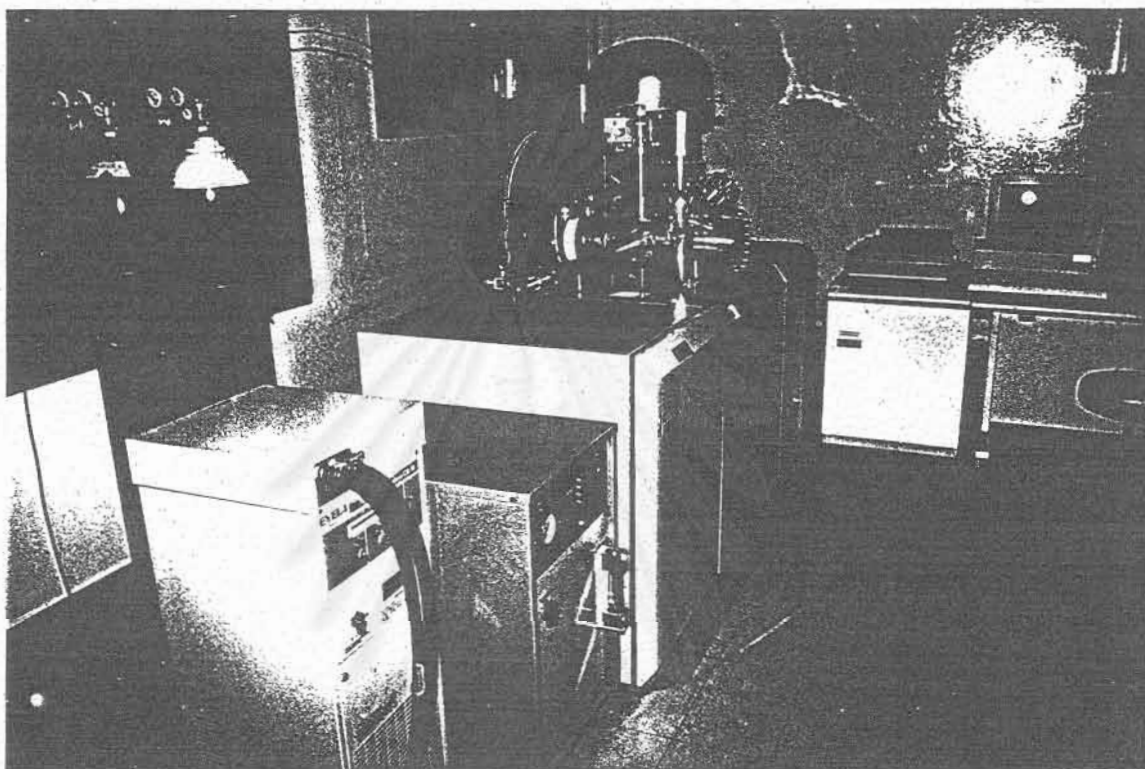


รูปที่ 5.2 กระบวนการที่แสดงถึงการที่ photoelectron เดินทางขึ้นไปถึงผิวบนของวัสดุ หลังถูกกระตุ้นด้วยแสง X-ray

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

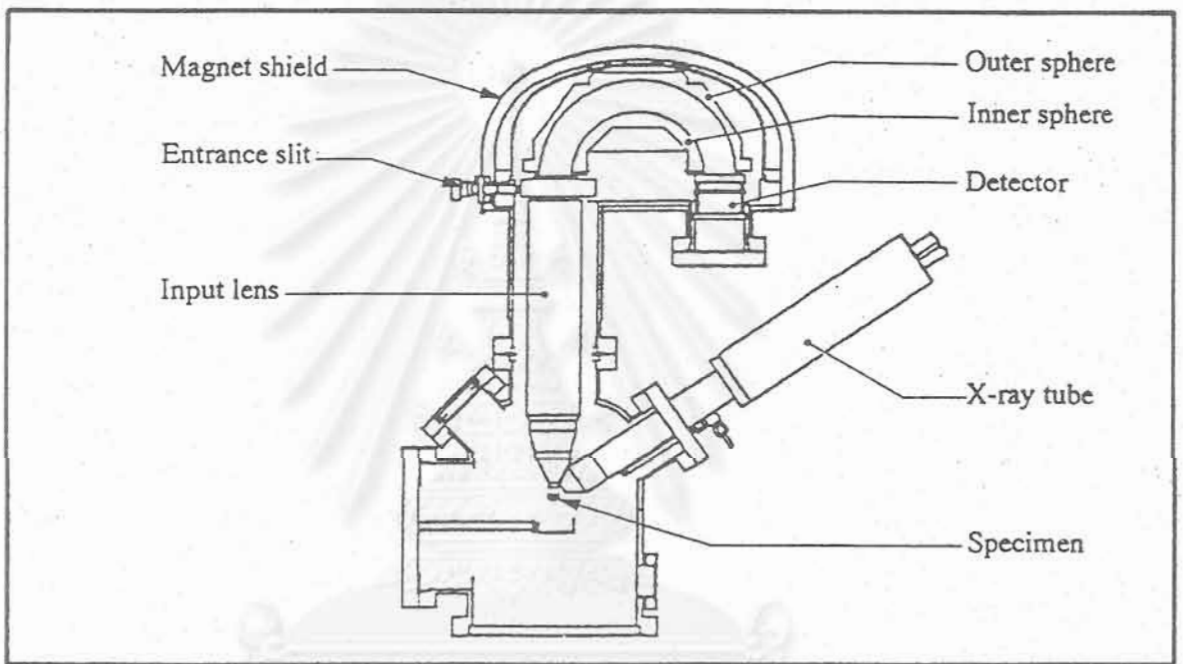


รูปที่ 5.3 เปรียบเทียบย่านพลังงานของ photoelectron ที่ต้องวัด เพื่อศึกษาคุณสมบัติของผิววัสดุในวิธีการต่างๆ



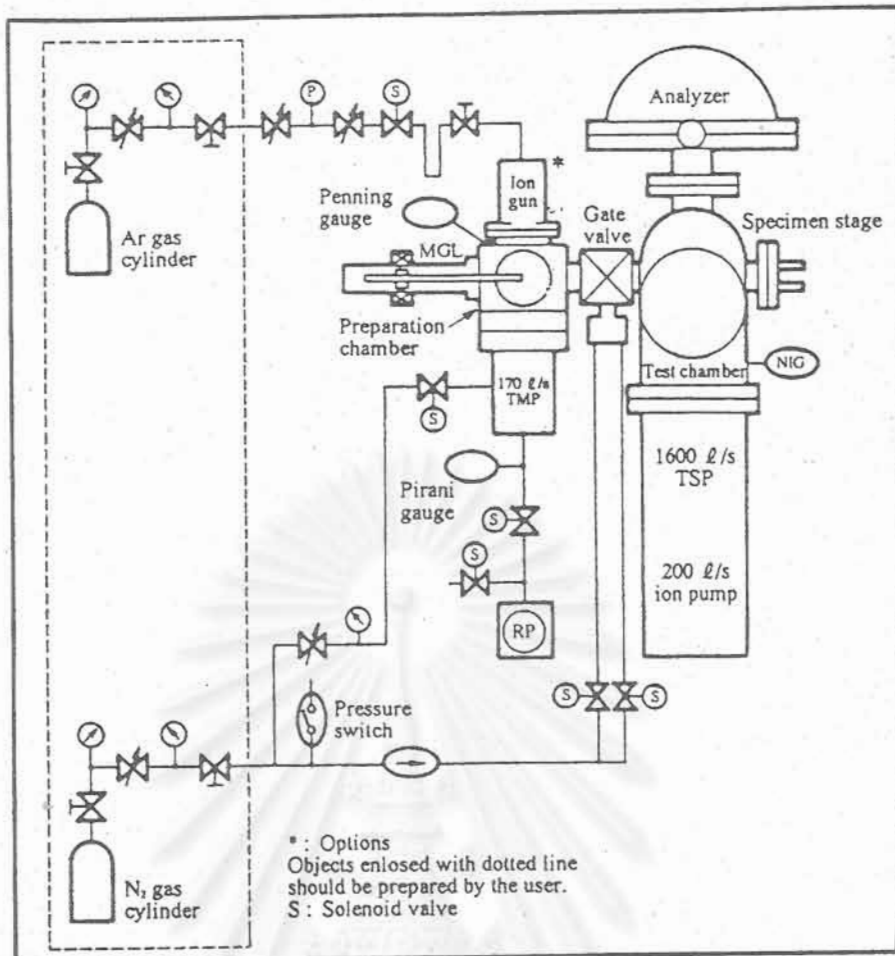
รูปที่ 5.4 ภาพถ่ายเครื่องมือ ESCA ที่ใช้ในงานวิจัย ชี้ออก JEOL รุ่น JPS-9000  
ติดตั้งอยู่ที่ตึก 3 ชั้น 1 คณะวิศวกรรม จุฬาฯ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

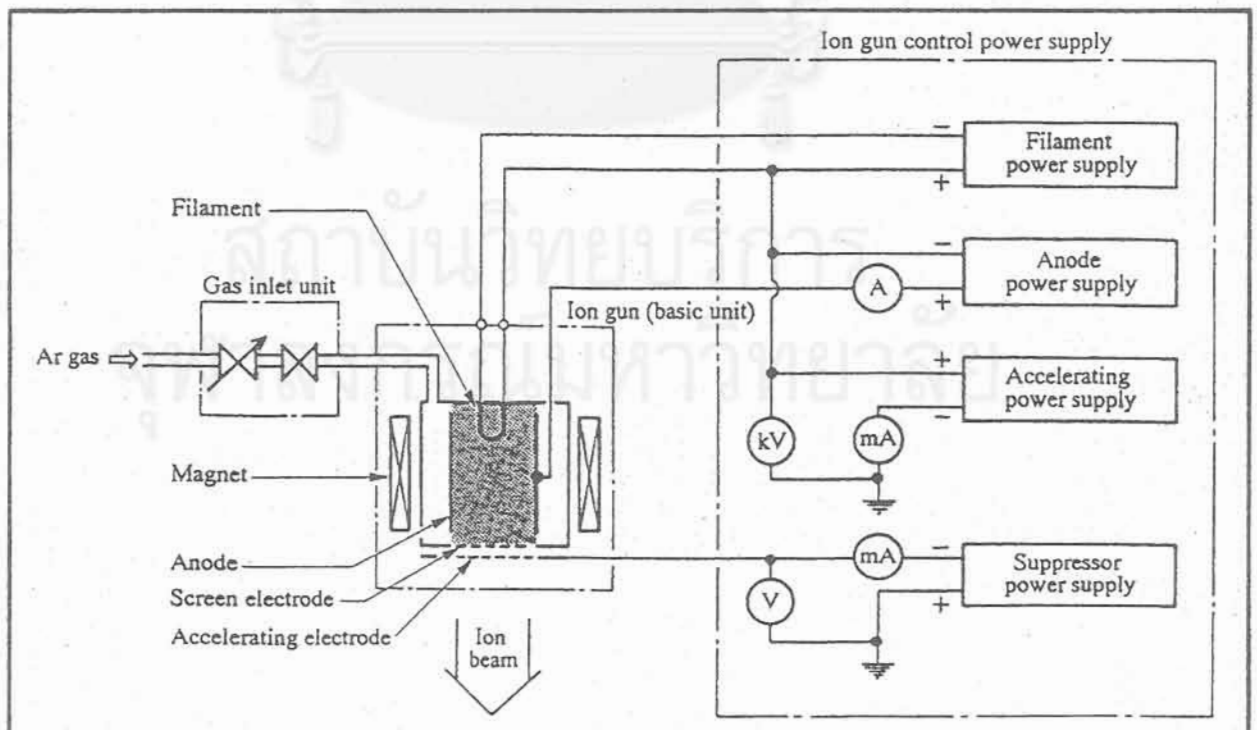


รูปที่ 5.5 โครงสร้างของ test chamber ในเครื่อง ESCA ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญ คือ holder จับชิ้นงาน หลอด X-ray และหัวตรวจวัดโฟโตอิเล็กตรอน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

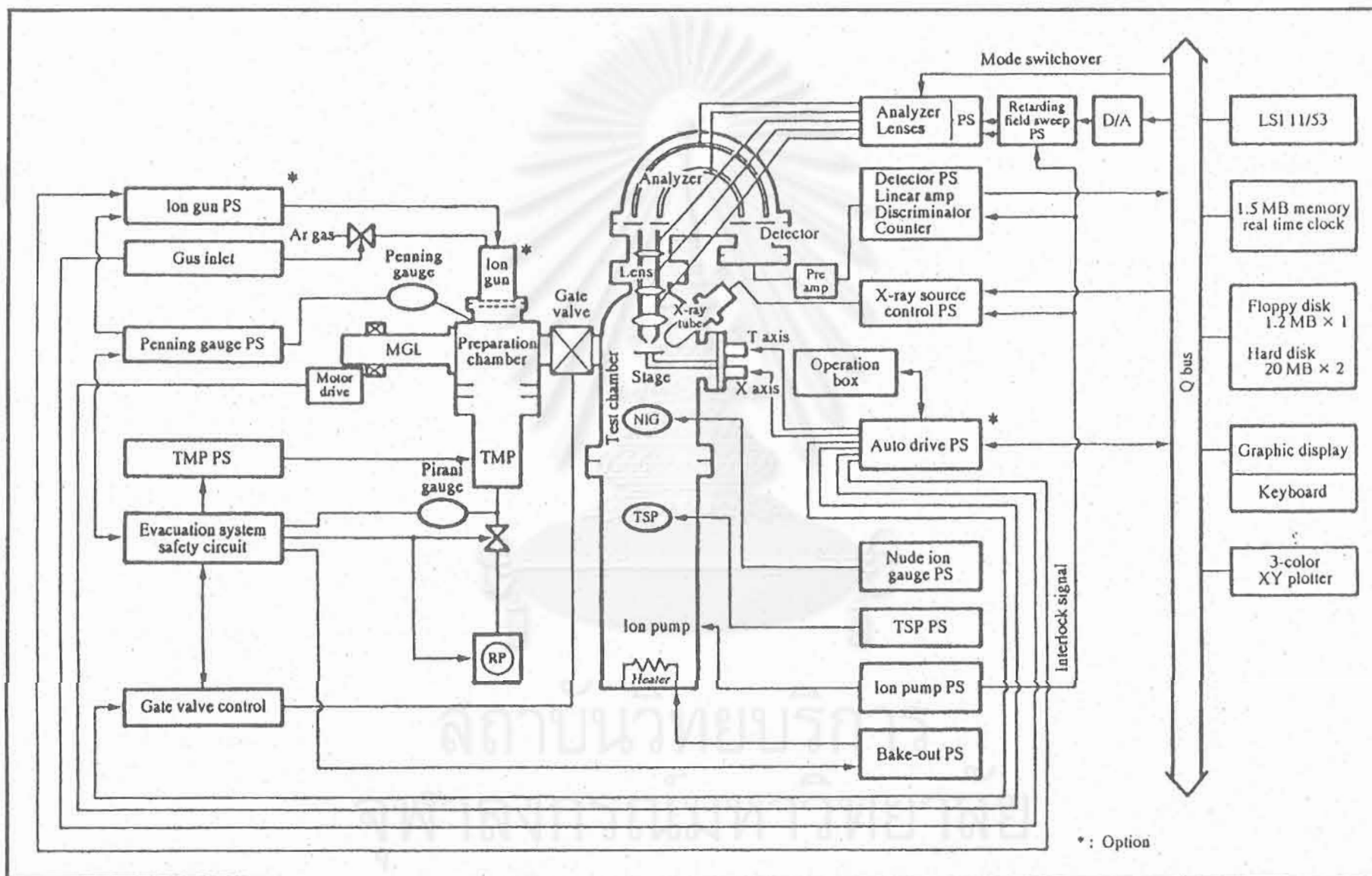


รูปที่ 5.6 โครงสร้างของระบบสุญญากาศและระบบจ่ายก๊าซในเครื่อง ESCA ด้านซ้ายของ test chamber มี ion gun สำหรับกัดผิวของชิ้นงานเพื่อดู depth profile



รูปที่ 5.7 โครงสร้างของอุปกรณ์ ion gun





รูปที่ 5.8 โครงสร้างของเครื่อง ESCA ทั้งหมด

## 2. ระบบการทำให้เป็นสุญญากาศ และระบบจ่ายก๊าซต่าง ๆ และอุปกรณ์ ion gun สำหรับ etch ผิวชิ้นงาน

ใช้ rotary pump, turbomolecular pump และ ion pump ในการทำให้ test chamber เป็นสุญญากาศที่  $10^{-6}$ - $10^{-9}$  torr ที่ด้านซ้ายมือของ test chamber จะมี gate valve ต่อเชื่อมอยู่กับ preparation chamber (ดูรูปที่ 5.6) ซึ่งเป็นห้องส่งชิ้นงานเข้า-ออก และมีอุปกรณ์ ion gun สำหรับกัด (etch) ผิวชิ้นงานสำหรับใช้ในการดู depth profile ของสัญญาณ ESCA รูปที่ 5.7 แสดงโครงสร้างของอุปกรณ์ ion gun

## 3. ระบบจ่ายไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงาน

รูปที่ 5.8 แสดงแผนผังของระบบ ESCA JPS-9000 ทั้งหมด

สำหรับข้อมูลรายละเอียด (specification ของเครื่อง ESCA รุ่นนี้มีดังต่อไปนี้

### 1) Spectral Resolution and Sensitivity

. Sensitivity and resolution

Ag3d 5/2 spectrum excited by MgK $\alpha$  300 W conversion from silver  
(surface should be clean and flat)

0.90 eV FWHM 100,000 cps or more

1.15 eV FWHM 350,000 cps or more

1.80 eV FWHM 1,000,000 cps or more

### 2) X-ray Source

. Accelerating voltage 0 ~ 12 kV maximum

. Emission current 0 ~ 50 mA maximum

. Current stability 1 % or better

. Maximum load Mg 500 W

Al 600 W

### 3) Ultimate Pressure

. Test chamber  $7 \times 10^{-8}$  Pa or less

### 4) Specimen Stage and Specimen Exchange Mechanism

Standard Specimen stage

. Specimen surface Horizontal

. Specimen movements X (horizontal) 0 ~ 50 mm

Z (vertical) + 1.5 ~ -3.0 mm

T (tilt) 0 ~ 90°

. Absorbed current measurement terminal is built in.



Specimen holder

- . Specimen size 10 x 10 x 4 (thick) mm  
Up to six specimens/load can be measured.

Specimen exchange mechanism

Specimen is transferred by means of the built-in magnetic loader between the test chamber, airlock valve and preparation chamber.

5) X-ray Source

- . Type Open type, Henke type
- . Target Al/Mg twin (standard)
- . Cooling Pure water (ion exchanged water) circulation type
- . Housing cooler Water cooling

6) Electron Energy Analyzer and Input Lens System

- . Lens system Three-stage cylindrical electrostatic lens
- . Electron energy analyzer Hemispherical electrostatic  
Radius of center track: 100 mm
- . Magnetic shield Double  $\mu$ -metal shield
- . Energy scanning modes Fixed analyzer energy mode  
E = 5, 10, 20, 30, 50 eV (pass energy)  
Fixed retarding ratio mode
- . Energy range 0~1,500 eV
- . Energy setting 0.025 eV  
accuracy
- . Energy position  $\pm 0.05$  eV  
reproducibility

7) Detector and counting System

- . Detector Channeltron type electron multiplier
- . Counting system Pulse counting method

8) Basic Ion Gun (Basic Unit)

- . Hot cathode electron bombardment type (Kaufman type)
- . Ion beam diameter 15 mm dia.
- . Ion beam current 50 mA
- . Dimension 120 dia. x 244.5 (H) mm

9) Ion Gun Control Power Supply Output

- . Accelerating voltage DC 0~1.5 kV, 50 mA
- . Anode power supply DC 100 V, 1 A
- . Filament power supply DC 15 V, 10 A
- . Suppressor power DC 0~300 V, 10 mA supply
- . Magnet power supply DC 50 V, 1.5 A

Protection function

- . Overcurrent protection, DC power supply auto return
- . Abnormal discharge protection
- . High vacuum interlock

Cabinet size

- . Basic power supply 481 (W) x 500 (D) x 200 (H) mm

10) Gas Inlet Unit

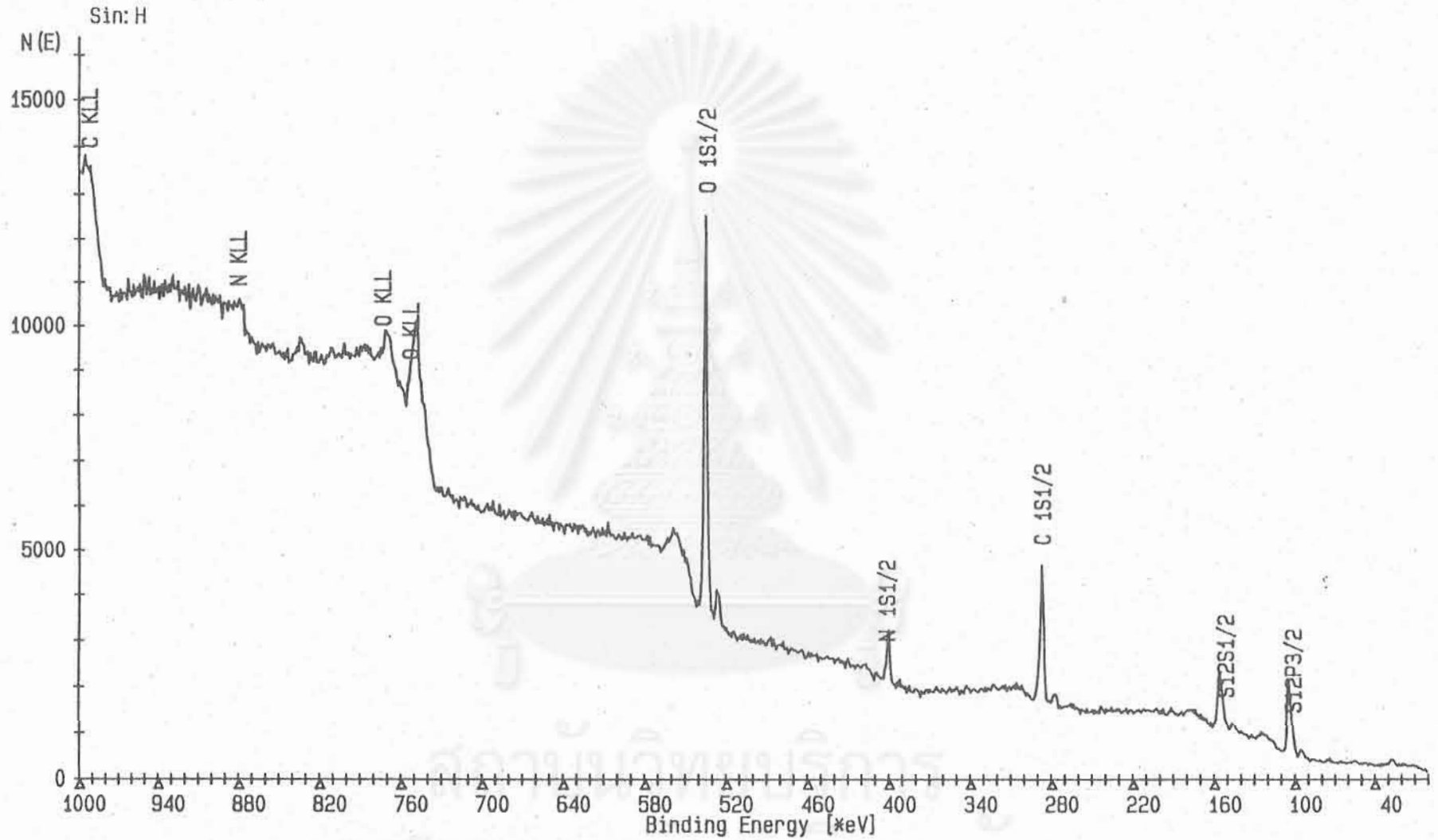
- . Needle valve
- . Stop valve

### 5.3 ผลการวัดสเปกตรัม ESCA ของ a-SiN:H

ชิ้นงานที่ใช้วัด ESCA มีลักษณะเป็นแผ่นกระจก CORNING 7059 ขนาดประมาณ 1 cm x 1 cm x 0.1 cm ที่ถูกเคลือบด้วยฟิล์ม a-SiN:H หนาประมาณ 1 ไมครอน รูปที่ 5.9 แสดงตัวอย่างผลการวัดสเปกตรัม ESCA ของ a-SiN:H ซึ่งปลูกโดยใช้เงื่อนไขอัตราส่วนก๊าซ  $x = \text{NH}_3 / (\text{SiH}_4 + \text{NH}_3) = 0.5$  การวัดได้ทำหลังจากวางฟิล์ม a-SiN:H ไว้ในบรรยากาศแล้วประมาณ 2 เดือน ดังนั้นที่ผิวบนสุดจึงมีออกไซด์เกาะติดอยู่บ้าง ดังจะเห็นได้จาก peak ของ O (oxygen) ในรูป การ scanning สเปกตรัมทำในช่วง 1000-40 (eV) ใช้โลหะ Mg เป็นต้นกำเนิด X-ray (Mg K $\alpha$ ) ผลการวัดได้ peak ที่สำคัญดังนี้

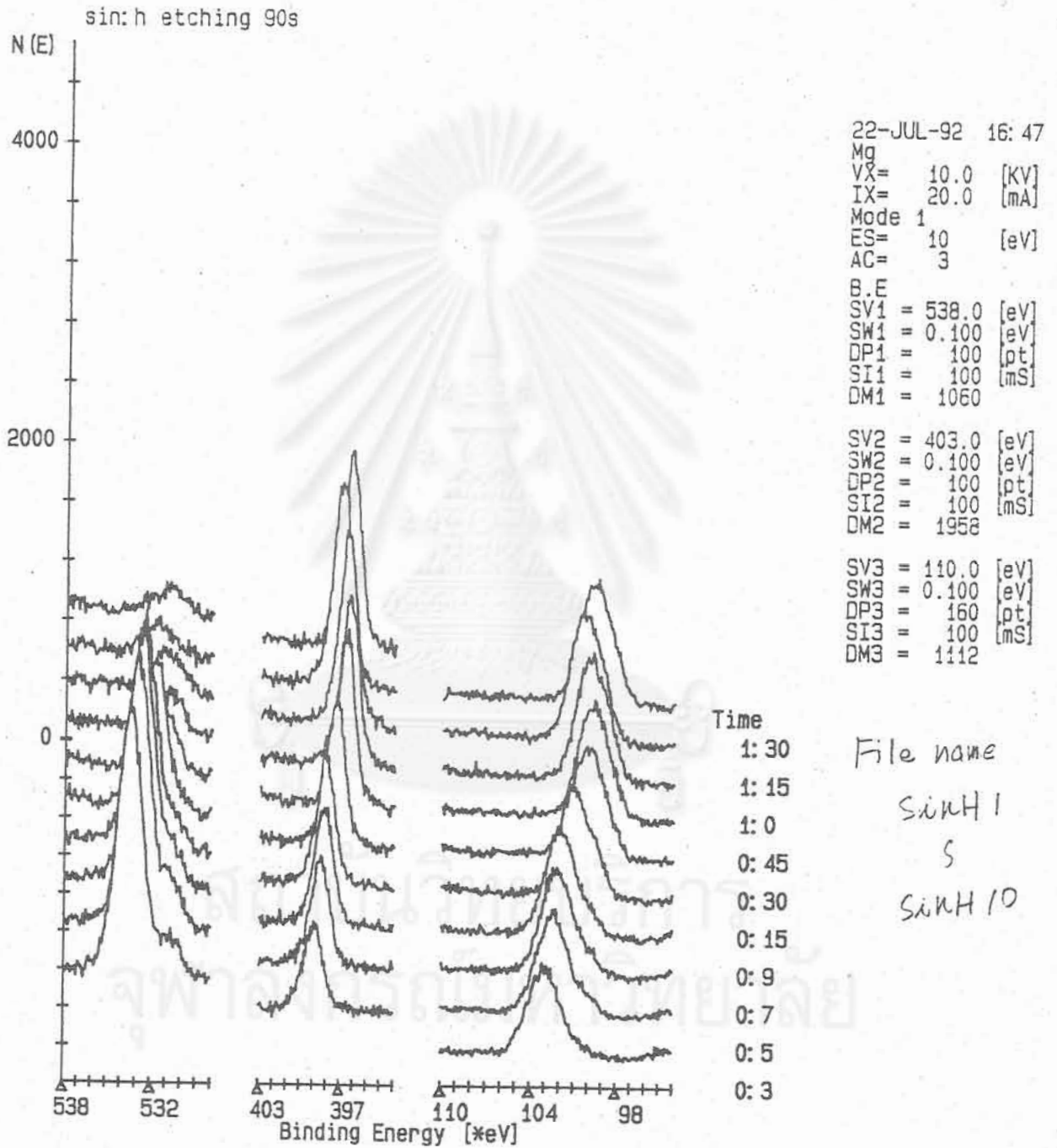
- ที่พลังงาน 104 eV มี peak ของ Si เกิดจากสภาพพันธะทางเคมี 2P3/2
- ที่พลังงาน 154 eV มี peak ของ Si เกิดจากสภาพพันธะทางเคมี 2S1/2
- ที่พลังงาน 403 eV มี peak ของ N เกิดจากสภาพพันธะทางเคมี 1S1/2
- ที่พลังงาน 538 eV มี peak ของ O เกิดจากสภาพพันธะทางเคมี 1S1/2
- ที่พลังงาน 288 eV มี peak ของ C เกิดจากสภาพพันธะทางเคมี 1S1/2

File name Sin1.



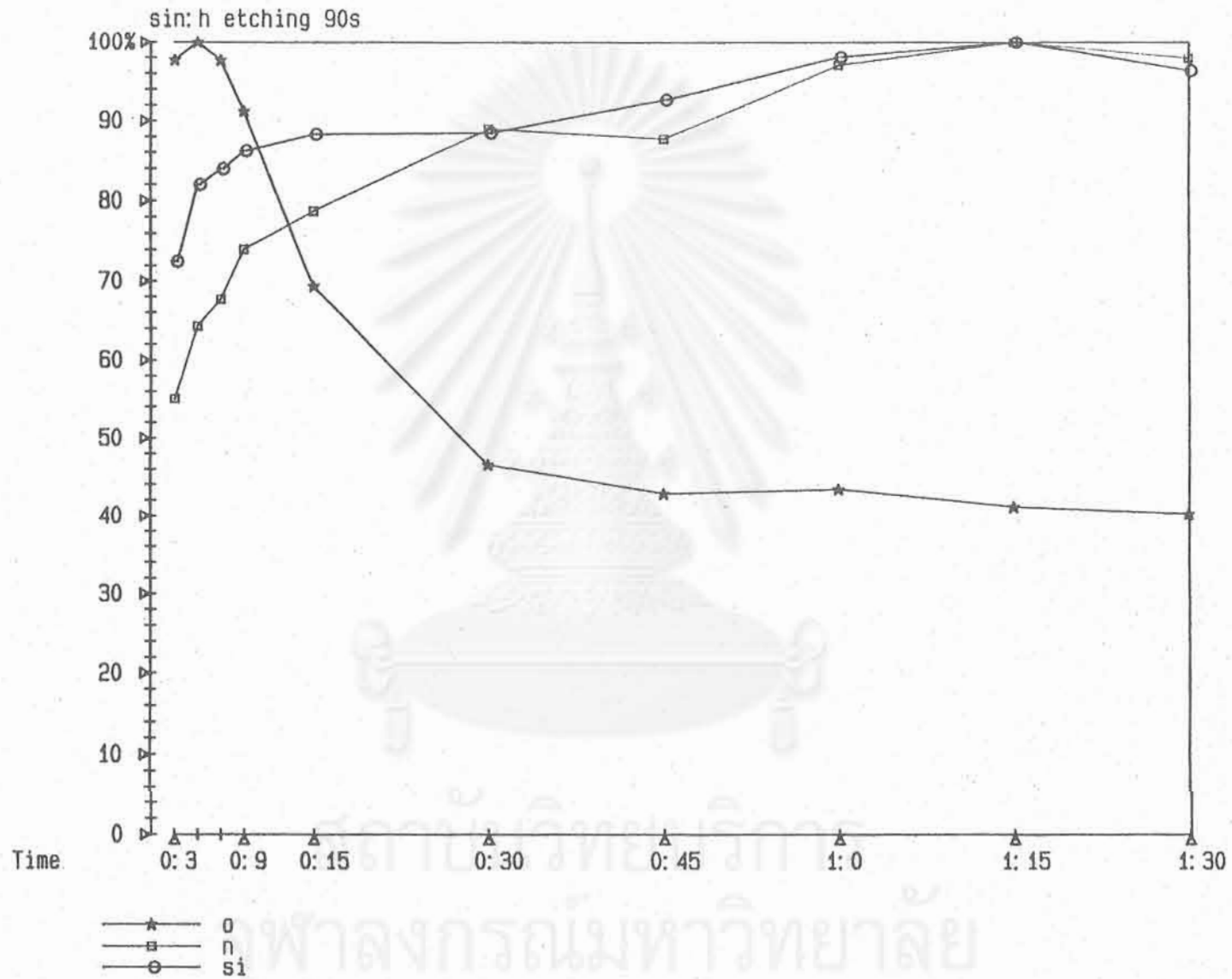
22-JUL-92 11:06 IX= 20.0 [mA] B.E 1000 [pt] AC= 1  
Mg Mode 1 SV=1000.0 [eV] SI= 100 [mS]  
VX= 10.0 [KV] ES= 50 [eV] SW= 1.000 [eV] DM= 13825

รูปที่ 5.9 ผลการวัดสเปกตรัมของ ESCA ของฟิล์ม a-SiN:H ที่ปลูกด้วยเงื่อนไข อัตราส่วนก๊าซ  $\text{NH}_3/(\text{SiH}_4 + \text{NH}_3) = 0.5$



รูปที่ 5.10 ผลการวัดสเปกตรัมของ ESCA ของฟิล์ม a-SiN:H โดยทำการวัดหลังกัดผิวของฟิล์มด้วยเวลาต่างๆ (30 วินาที ถึง 1 นาที 30 วินาที) (depth profile) หลังการกัดนานๆ พบว่า peak ของออกไซด์มีขนาดลดลง





รูปที่ 5.11 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์จำนวนของอะตอมธาตุต่างๆ ในฟิล์ม a-SiN:H และเวลาที่ใช้ในการกัดผิวฟิล์ม (depth profile)

หมายเหตุ 1) C คงเกิดจาก C ในอากาศที่เกาะติดฟิล์ม

2) peak ในช่วงพลังงานสูง ๆ (1000-700 eV) เป็นสัญญาณ AUGER ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับวัตถุประสงค์ในบทนี้

ในการวัด ESCA นี้ ได้มีการวัด depth profile ด้วยกล่าวคือ เมื่อวัดสเปกตรัมเสร็จหนึ่งครั้ง จะตามด้วยการใช้ ion gun (ใช้ก๊าซ Ar เป็น source) ทำการ etch ผิวประมาณ 20-30 วินาที แล้วจึงวัดสเปกตรัมครั้งต่อไป และกระทำซ้ำ ๆ กันหลายครั้ง ซึ่งวิธีนี้จะทำให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงจำนวนหรือเปอร์เซ็นต์ของอะตอมแต่ละชนิดว่าเพิ่มหรือลดลงตามความลึกของฟิล์มอย่างไร รูปที่ 5.10 แสดงผลการวัดสเปกตรัมหลังการ etch ผิวด้วยเวลาต่าง ๆ โดยแสดงให้เห็นช่วงพลังงานที่สนใจ คือ ย่าน 100 eV ของอะตอม Si, ย่าน 400 eV ของอะตอม N และย่าน 535 eV ของอะตอม O สิ่งที่เห็นได้ชัดเจนคือ peak ของ O ค่อย ๆ ลดขนาดลงและหายไปในที่สุด

รูปที่ 5.11 แสดงสรุปความสัมพันธ์เปอร์เซ็นต์จำนวนของธาตุต่าง ๆ และเวลาที่ใช้ในการ etch (อาจคาดคะเนได้ว่า etching rate มีค่าประมาณ  $1 \text{ \AA}/\text{sec}$  โดยประมาณ) จากรูปนี้พบว่า จำนวนของ O ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อ etch ไปได้ 30 second ส่วน Si, N ค่อย ๆ เพิ่ม และมีค่าคงด้วยอัตราส่วนประมาณ 1:1 เมื่อเวลา etch ผ่านไป 1 minute ดังนั้นเราจึงทราบได้ว่า ฟิล์มที่ปลูกได้นี้ ซึ่งใช้ก๊าซ  $x = \text{NH}_3/(\text{SiH}_4 + \text{NH}_3) = 0.5$  จะได้ฟิล์ม a-SiN:H ที่มีอัตราส่วน Si:N = 1:1 โดยประมาณนั่นเอง

#### เอกสารอ้างอิง

1. D. Briggs and M.P. Seah edited : Practical Surface Analysis, (John Wiley & Sons), (1983).

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

การศึกษาขนาดช่องว่างพลังงานของ a-SiN:H สำหรับใช้เป็นชั้นเปล่งแสงในไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบาง

บทนำ

ขนาดช่องว่างพลังงานเป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญมากในการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของสารกึ่งตัวนำซึ่งรวมทั้งอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำด้วยเพราะขนาดช่องว่างพลังงานจะมีอิทธิพลต่อลักษณะสเปกตรัมของการดูดกลืนแสง การเปล่งแสง และรวมทั้งการนำไฟฟ้าด้วย [1] ในกรณีของ a-SiN:H ซึ่งจะใช้เป็นชั้นเปล่งแสงในไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางจึงมีความสำคัญยิ่งที่จะต้องรู้ค่าขนาดช่องว่างพลังงานและจะได้ใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบสิ่งประดิษฐ์ได้ถูกต้อง

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับการดูดกลืนแสงของวัสดุอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำและรายงานผลการวิจัยวัดขนาดช่องว่างพลังงานของ a-SiN:H ซึ่งกำหนดค่าจากสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงนั่นเอง [2]

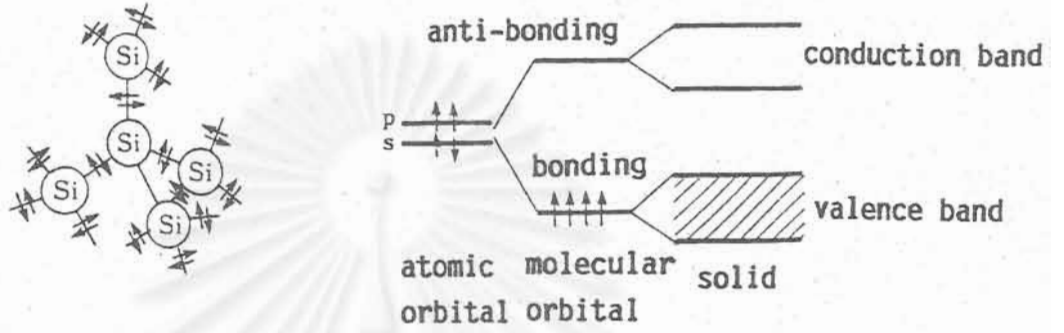
6.1 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับโมเดลแถบพลังงานของอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำ

6.1.1 Electronic Structure ของอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำตระกูล Tetrahedral และตระกูล Chalcogenide

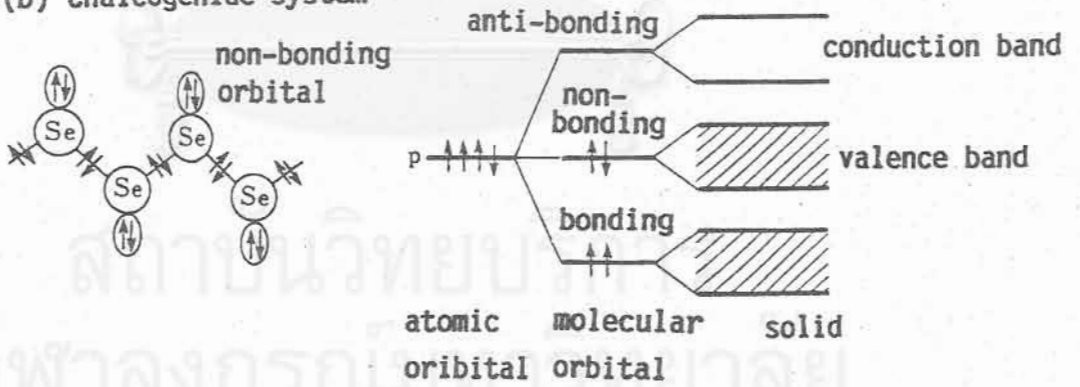
โดยทั่วไปในการศึกษาวัสดุอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำนิยมแบ่งออกเป็น 2 ตระกูลได้แก่ ตระกูล tetrahedral ซึ่งมีธาตุตระกูล IV และ/หรือ III-V เป็นหลัก และตระกูล chalcogenide ซึ่งมีธาตุตระกูล II เป็นหลัก (เช่น S, Se, Te) เหตุผลที่แบ่งเช่นนี้ประการหนึ่งก็เพราะว่า วัสดุตระกูลทั้งสองมี electronic structure ที่แตกต่างกัน [3-4]

ในกรณี a-Si หรือ a-Ge มีอะตอม Si หรือ Ge สร้างพันธะกันแบบ covalent และมีระดับพลังงานดังแสดงในรูปที่ 6.1 (a) อะตอม Si หรือ Ge มีวงโคจรของอิเล็กตรอนชั้นนอกสุดคือ วงโคจร s และ p สร้างแขนออกมาในลักษณะ  $sp^3$  mix-orbital ซึ่งมีรูปร่างเป็นแขน 4 แขนยื่นออกมาพร้อมที่จะสร้างพันธะกับอะตอมข้างเคียง เมื่อมีอะตอมหลายตัวรวมตัวกันเป็นโมเลกุลจะทำให้อะตอมข้างเคียงมีการใช้อิเล็กตรอน 2 ตัวร่วมกัน และโมเลกุลก็จะมีการสร้าง bonding orbital และ anti-bonding orbital และเมื่อมีอะตอมมากมายหลายตัวสร้างตัวกันเป็นวัสดุของแข็งขึ้นมา bonding orbital และ anti-bonding ก็จะมีจำนวนมากจนทำให้ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนมีหลายระดับและใกล้ชิดกันมากจนดูคล้ายเป็นแถบพลังงาน (energy band) กล่าวคือ เกิดเป็นแถบพลังงานที่เกิดจาก bonding orbital และแถบพลังงานที่เกิดจาก anti-bonding orbital แถบพลังงานของ bonding orbital จะมีอิเล็กตรอนอยู่เต็ม แต่แถบพลังงานของ anti-bonding orbital จะว่างเปล่า โดยทั่วไปเราเรียกแถบพลังงานที่เกิดจาก bonding orbital ว่า

(a) Tetrahedral system



(b) Chalcogenide system



รูปที่ 6.1 โครงสร้างและ electronic states ของอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำตระกูล tetrahedrally-bonded Si (a) และตระกูล chalcogenide-bonded Se (b)

orbital ว่า valence band และเรียกแถบพลังงานที่เกิดจาก anti-bonding orbital ว่า conduction band

ส่วนกรณีธาตุตระกูล chalcogenide วงโคจรของอิเล็กตรอนชั้นนอกสุดคือ p orbital และมีอิเล็กตรอน 4 ตัว(ในรูปที่ 6.1 (b)) ในจำนวนนี้ อิเล็กตรอน 2 ตัว มีส่วนร่วมในการสร้างพันธะ (แขนละ 1 ตัว รวม 2 แขน) แต่อิเล็กตรอนที่เหลืออีก 2 ตัวไม่ได้มีส่วนร่วมในการสร้างพันธะ (non-bonding orbital) ดังนั้นในวัสดุตระกูล chalcogenide จากคุณสมบัติของอิเล็กตรอนวงโคจรนอกสุด จึงมีแถบพลังงาน 3 แถบที่เกิดจาก bonding orbital, non-bonding orbital และ anti-bonding orbital ปกติอิเล็กตรอนจะมีอยู่เต็มใน non-bonding orbital ดังนั้นแถบพลังงาน valence และ conduction จึงเกิดจาก non-bonding orbital และ anti-bonding orbital ตามลำดับ ดังนั้นข้อแตกต่างของวัสดุตระกูล tetrahedral และ chalcogenide จึงได้แก่การมี non-bonding orbital หรือไม่มี non-bonding orbital นี้มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุมาก เช่น ความคล่องตัวของ โฮลและค่า density of states

### 6.1.2 Band Model

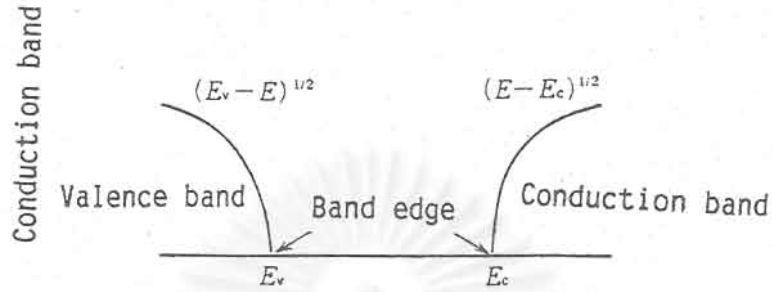
ในกรณีผลึกซึ่งมีการเรียงตัวของอะตอมอย่างเป็นระเบียบในระยะไกล (long range order) ส่งผลให้ แถบพลังงาน (band) มีคุณสมบัติดังนี้

1. มีขอบของแถบพลังงาน (band edge :  $E_C, E_V$ ) ชัดเจน ทั้งนี้เพราะว่า ที่ตำแหน่ง  $E_C, E_V$  นั้น density of states ของอิเล็กตรอนมีค่าลดลงกลายเป็นศูนย์ และที่บริเวณใกล้  $E_V, E_C$  นั้น, density of states มีแปรผันตรงกับ  $(E_V - E)^{1/2}$  และ  $(E - E_C)^{1/2}$  ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 6.2(a)

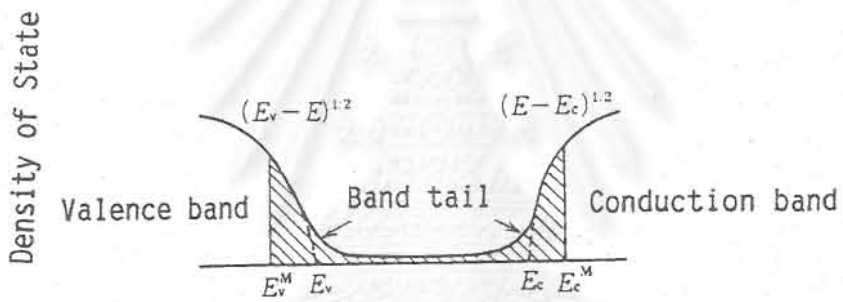
2. Wave function ทั้งหมดแผ่กระจายไปทั้งวัสดุ

ส่วนในกรณีอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำ ซึ่งไม่มี long range order (มี short rang order) นั้น Mott [4] ได้ตั้งแนวความคิดไว้ว่า ภายในช่องว่างพลังงาน (band gap) นั้นจะต้องมี density of states เสมอไม่มากก็น้อย density of states จะมีค่าค่อยๆ ลดลงจากบริเวณคล้ายๆ band edge และลดลงเรื่อยๆ สู่ใจกลางของ band gap และเรียก density of states ที่ลดลงช้าๆ นี้ว่า band tail และเรียก density of states ภายใน gap รวมๆ ว่า localized states และเรียก density of states ภายใน valence หรือ conduction band ว่า delocalized states Mott ได้ให้ความคิดไว้ว่าจะมีค่าพลังงานที่ชัดเจนที่เป็นพรมแดนระหว่าง delocalized และ localized states และให้ชื่อขอบพลังงานนี้ว่า "mobility edge" ( $E_{C,m}, E_{V,m}$ ) ดังแสดงในรูปที่ 6.2 (b)

ภายในแถบพลังงาน valence และ conduction ส่วนใหญ่นิยมให้ density of states มีรูป parabolic คล้ายของผลึกดังนี้



(a) Crystalline Semiconductor



(b) Amorphous Semiconductor

รูปที่ 6.2 เปรียบเทียบลักษณะแถบพลังงานบริเวณ band edge ของผลึกสารกึ่งตัวนำ (a) และอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำ (b)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



$$g_v(E) \approx (E_v - E)^{1/2} \quad (6.1)$$

$$g_v(E) \approx (E - E_c)^{1/2}$$

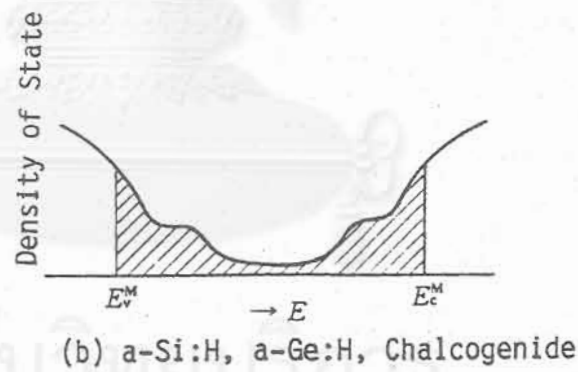
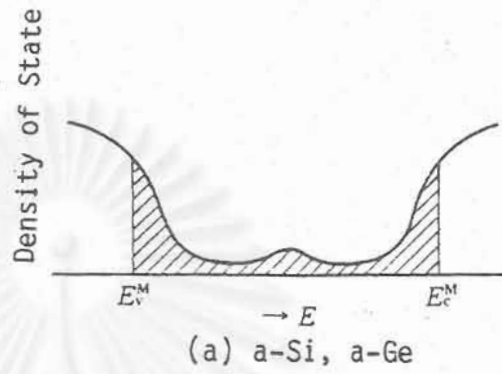
โดยที่  $E_c$ ,  $E_v$  เป็นขอบแถบพลังงานที่สมมติขึ้นมา

ส่วน density of states ของ band tail นิยมให้มีรูปเป็น exponential

ที่กล่าวมาข้างต้นนี้ เป็นกรณีภายใต้สมมติฐานว่า ไม่มี defect แต่ในสภาพเป็นจริงในวัสดุอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำจะมี defect ที่เกิดจาก dangling bond (แขนขาด) มากมายเสมอ การเกิด dangling bond จะส่งผลให้เกิด localized states เพิ่มขึ้นภายใน gap ดังแสดงในรูปที่ 6.3 (a), (b) ในกรณีเป็นวัสดุตระกูล tetrahedral ที่ไม่มีอะตอม hydrogen มักจะมี defect states เกิดขึ้นที่ใจกลาง gap (รูป (a)) [5] ส่วนในวัสดุตระกูล tetrahedral ที่มีอะตอม hydrogen [6] และ chalcogenide [7] มักจะมี defect states เกิดขึ้นที่ใกล้ band tail (รูป (b))

## 6.2 ทฤษฎีการดูดกลืนแสงและการกำหนดช่องว่างพลังงานของวัสดุอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำ

ในกรณีผลึกสารกึ่งตัวนำการดูดกลืนแสงเกิดจากการที่อิเล็กตรอนรับพลังงานแสงแล้วกระโดดหรือเปลี่ยนสถานะพลังงานจากแถบวาเลนซ์ขึ้นไปสู่แถบคอนดักชัน ซึ่งเรียกว่า band-to-band transition ลักษณะของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงบริเวณที่ ค่าพลังงานโฟตอนน้อยจะมีลักษณะเป็นขอบแสดงการลดการดูดกลืนแสงอย่างกระทันหัน ขอบนี้เรียกว่า absorption edge ค่าพลังงานโฟตอนที่ absorption edge นี้จะเท่ากับระยะห่างของพลังงานระหว่างจุดต่ำสุดของแถบคอนดักชัน และจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ นอกจากนี้สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของผลึกอาจมีลักษณะเป็นยอดแหลม ซึ่งเกิดจาก exciton ในอุณหภูมิต่ำๆ ในสารผลึก การดูดกลืนแสงและการ transition ของอิเล็กตรอนต้องเป็นไปตามกฎการรักษาค่าโมเมนตัม ซึ่งแสดงด้วยเวกเตอร์ K นั่นก็คือ ถ้าการ transition เกิดระหว่างจุดต่ำสุดของแถบคอนดักชัน และจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ที่มีค่า K เท่ากัน จะเรียกว่า การดูดกลืนโดยตรง (DIRECT ABSORPTION) แต่ถ้าจุดต่ำสุดของแถบคอนดักชัน และจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์มีค่า K ไม่ตรงกัน ในการ transition จะต้องมีอาศัยโฟนอน (คือการดูดหรือคายความร้อนให้ lattice) ช่วย ซึ่งเรียกว่า การดูดกลืนทางอ้อม (INDIRECT ABSORPTION) ลักษณะของขอบการดูดกลืนแสงของสารใด ๆ จะช่วยในการศึกษาถึงโครงสร้างแถบพลังงานของสารนั้น ๆ ได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 6.3 ลักษณะแถบพลังงานของอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำ กรณี a-Si (ไม่มีไฮโดรเจน) (a) และ a-Si:H (มีไฮโดรเจน) (b)

ในกรณีสารพวกอะมอร์ฟัสกึ่งตัวนำนั้น เนื่องจากโครงสร้างการเรียงของอะตอมไม่เป็นระเบียบ จริง ๆ แล้วจึงไม่ควรมึนนิยามของแถบพลังงาน และนิยามของโคออร์ดิเนต K ก็ไม่มี ดังนั้นในกระบวนการดูดกลืนแสง กฎการรักษาค่าโมเมนตัมจึงไม่ควรมี จึงอาจคิดได้ว่าการดูดกลืนแสงก็ดีหรือการเปล่งแสงก็ดี สามารถเป็นไปได้ในลักษณะการ transition แบบตรงได้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงคำนวณได้จากค่า joint density of states ของคอนดักชันและวาเลนซ์แบนด์ คูณกับความน่าจะเป็นของการ transition

รูปที่ 6.4 แสดงลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำโดยทั่ว ๆ ไป ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นย่านสำคัญ ๆ ได้ 3 ย่านคือ( $\alpha$  : สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง)

**A : high absorption region**

$$(10^3 < \alpha < 10^5 \text{ cm}^{-1})$$

เกิดจากการ transition ของอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์  
ไปสู่แถบคอนดักชัน

**B : exponential part**

$$(10^0 < \alpha < 10^3 \text{ cm}^{-1})$$

เกิดจากการ transition ที่เกี่ยวข้องกับ band tail

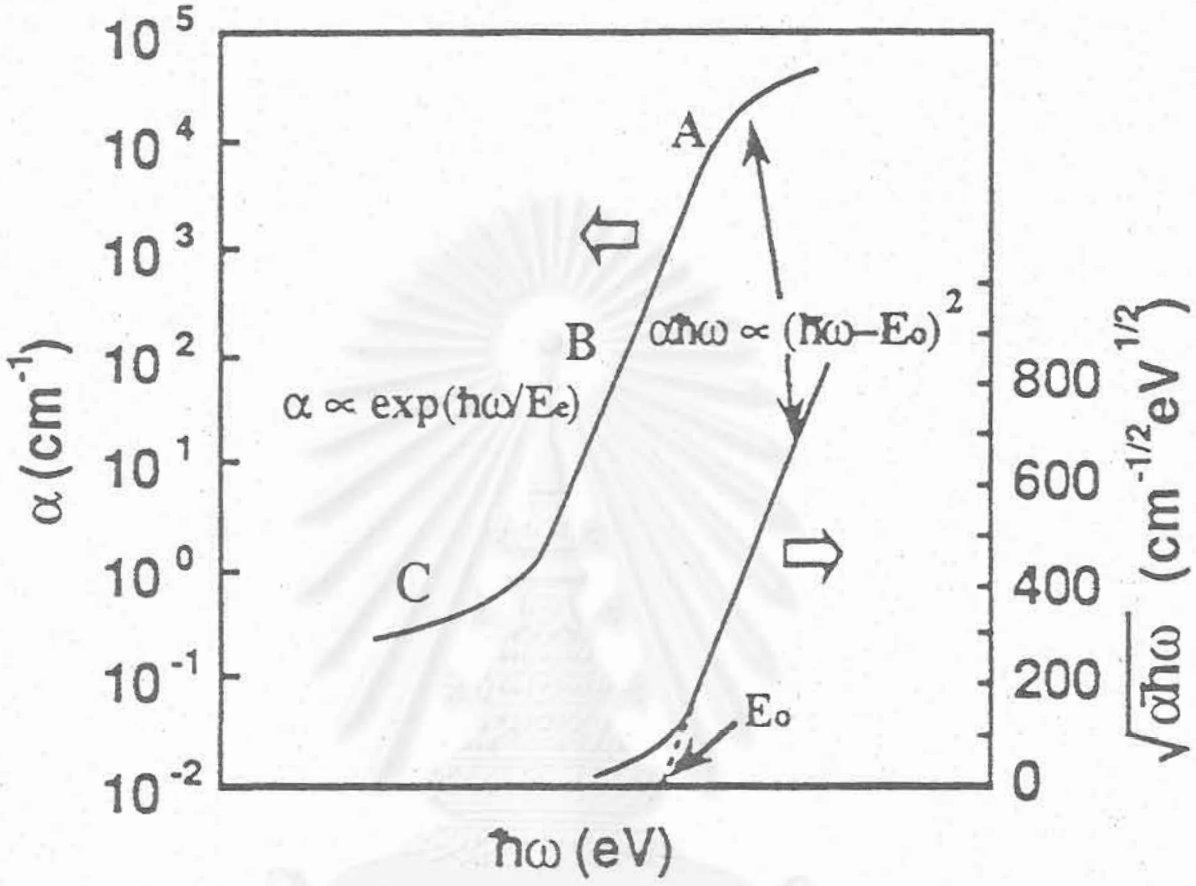
**C : weak absorption tail**

$$(\alpha < 10^0 \text{ cm}^{-1})$$

เกิดจากการ transition ที่เกี่ยวข้องกับ defect (บริเวณ

C นี้ ถ้า  $\alpha$  มีค่าน้อยจะได้ฟิล์มที่มีคุณภาพดี)

รายละเอียดของการดูดกลืนแสงในย่าน A, B และ C มีดังนี้ [8]



รูปที่ 6.4 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอะมอร์ฟิซสารกึ่งตัวนำต่างๆ ไป ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ย่านใหญ่ๆ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 6.2.1 การดูดกลืนแสงย่าน A (High Absorption Region)

การดูดกลืนแสงในย่านนี้ เกิดจากการ transition ของอิเล็กตรอนระหว่าง delocalized states ด้วยกัน เนื่องจากในอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำไม่มี long range order ดังนั้น กฎการอนุรักษ์โมเมนตัมในการทำ optical transition จึงไม่มีความหมายใดๆ โดยทั่วไปนิยมให้สัมพันธ์การดูดกลืนแสง ( $\alpha$ ) มีรูปใกล้เคียงที่เกิดจากการคูณค่า joint density of states ของ conduction และ valence bands กับความน่าจะเป็นของการ transition และได้

$$\alpha(\omega) = \frac{2p^2e^2}{m^2c\omega n} p^2_v \int g_v(E) g_c(\hbar\omega + E) dE \quad (6.2)$$

โดยที่  $n$  : ดัชนีหักเหแสง

$p$  : ความน่าจะเป็นของการ transition

$v$  : ปริมาตรของวัสดุ

แทนค่าสมการที่ (6.1) ลงในสมการที่ (6.2) ได้

$$\alpha(\omega) = B \frac{(\hbar\omega - E_{opt})^2}{\hbar\omega} \quad (6.3)$$

โดยที่  $E_{opt} = E_c - E_v$  และเรียกว่า optical energy gap เป็นค่าความแตกต่างของระดับพลังงานของแถบ conduction และ valence ที่สมมติขึ้น

ถ้า plot กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\hbar\omega\alpha)^{1/2}$  และ  $\hbar\omega$  ในย่าน A นี้จะได้กราฟเป็นเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 6.4 จุดที่เส้นตรงตัดกับแกนในแนวนอนจะให้ค่า  $E_{opt}$  (optical energy gap) และวิธีเช่นนี้เป็นวิธีการกำหนดค่าช่องว่างพลังงานของอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำที่นิยมมากที่สุดซึ่งเรียกกันว่า "Tauc's plot" และรวมทั้ง a-Si:H, a-SiN:H และ a-SiC:H โดยทั่วไปค่า  $\alpha$  ในย่านนี้มีค่า  $10^3 < \alpha < 10^5$  (cm<sup>-1</sup>)

### 6.2.2 การดูดกลืนแสงย่าน B (Exponential Part)

การดูดกลืนแสงในย่านนี้มีค่า  $1 < \alpha < 10^3$  cm<sup>-1</sup> ถ้า plot ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\log\alpha(\omega)$  และ  $h\nu$  จะได้กราฟเป็นลักษณะเส้นตรง

ความจริงกราฟลักษณะเช่นนี้ก็พบในกรณีผลึกเดี่ยวด้วย มีชื่อเรียกกราฟส่วนนี้ว่า Urbach tail ในกรณีผลึกนั้น Urbach tail นั้นเกิดจากการ fluctuation ในโครงสร้างซึ่งเป็นผลจากการสั่นของโครงผลึก (kinetic fluctuation) ส่วนในกรณีอะมอร์ฟัสสารกึ่งนำ Urbach tail นั้นนอกจากเกิดจาก kinetic fluctuation แล้วยังเกิดจาก static fluctuation ด้วยซึ่งมีสาเหตุมาจากความไม่เป็นระเบียบในโครงสร้าง topological

1) Static Fluctuation

ถ้ามี static fluctuation ในวัสดุอะมอร์ฟัส จะทำให้ density of states ในบริเวณ Urbach tail มีรูป exponential ดังนี้ [9]

$$g_{tail}(E) = \frac{N}{E_e} \exp\left[\frac{E}{E_e}\right] \quad (6.4)$$

ถ้าแทนค่า  $g_{tail}$  แทน  $g_c$  ลงในสมการที่ (6.2) จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงในย่าน B นี้ว่า

$$\alpha(\omega) \approx N \exp\left[\frac{\hbar\omega}{E_e}\right] \quad (6.5)$$

โดยที่  $E_e$  เป็นตัวเลขที่มีความสำคัญในการแสดงค่าความลาดของ Urbach tail (eV) โดยทั่วไป  $E_e$  มีค่า 0.05~0.1 eV และ N แสดงความเข้มของ density of states ที่บริเวณ Urbach tail ทั้งหมด โดยทั่วไป N มีค่าระดับ  $10^{20} \text{ cm}^{-3}$

2) Kinetic Fluctuation

การสั่นของอะตอมในของแข็งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความขุ่นเหยิงในโครงสร้าง โดยที่ระดับของความขุ่นเหยิงจะขึ้นกับอุณหภูมิ Toyozawa ได้คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงในกรณีมี kinetic fluctuation ว่ามีรูปเป็น exponential ดังนี้

$$\alpha(\omega) = \alpha_0 \exp\left\{\gamma(\hbar\omega - E_0)/kT\right\} \quad (6.6)$$

โดยที่  $\omega_0, \gamma$ : ค่าคงที่

จากสมการนี้ ความลาดของ Urbach tail จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น



ถ้ายกเว้น a-Se แล้ว ความลาดของ Urbach tail ที่อุณหภูมิต่ำของอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำจะไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ ปรากฏการณ์นี้ชี้ให้เห็นว่า ถ้าอุณหภูมิต่ำ static fluctuation จะมีบทบาทสูง และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น kinetic fluctuation จะมีบทบาทสูงขึ้นแทน แต่ในกรณี a-Se นั้น เนื่องจาก static fluctuation มีบทบาทน้อยมาก ดังนั้นแม้ที่อุณหภูมิต่ำ จึงทำให้ความลาดของ Urbach tail เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิตามสมการที่ (6.6)

### 6.2.3 การดูดกลืนแสงย่าน C (Weak Absorption Tail)

ที่พลังงานต่ำกว่า Urbach tail มีการดูดกลืนแสงอ่อนๆ ด้วยมีลักษณะเป็นทางที่รูปร่างขึ้นกับ การผลิตวัสดุ ความบริสุทธิ์ของวัสดุ การ annealing ด้วยความร้อน และการถูกแสงส่อง การดูดกลืนแสงในย่าน C นี้ คาดว่าเกิดจากการ transition ของอิเล็กตรอนระหว่าง localized state และ delocalized states ดังแสดงในรูปที่ 6.5

การดูดกลืนแสงในย่าน C นี้ค่อนข้างจะมีพลังงานโฟตอนที่ใกล้เคียงกับ peak ของเปกตรัมการเปล่งแสง (photoluminescence & electroluminescence) ของวัสดุ a-Si:H, a-SiC:H และ a-SiN:H ดังแสดงในรูปที่ 6.6 ดังนั้นการวัด density of states ในพลังงานโฟตอนย่าน C นี้จะมีประโยชน์ต่อการศึกษาด้านการเปล่งแสงด้วย

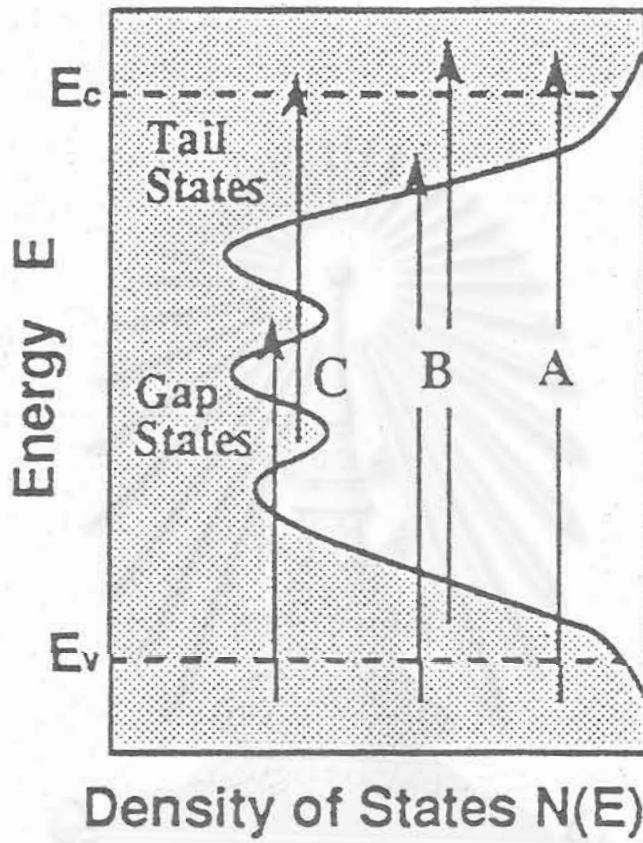
### 6.3 ผลการวัดสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงและช่องว่างพลังงานของ a-SiN:H

ได้มีการวัดสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านแสง (transmittance T %) ของฟิล์ม a-SiN:H โดยการใช้เครื่อง UV spectrophotometer แบบ double beam ฟิล์ม a-SiN:H ปักบนแผ่นฐานชนิดกระจก (Coming No. 7059) แผ่นกระจกมีขนาด 20x20x1 mm<sup>3</sup>. ฟิล์ม a-SiN:H มีความหนาในช่วงประมาณ 0.5-1 ไมครอน

เงื่อนไขการปลูกฟิล์ม a-SiN:H ได้แก่ อุณหภูมิแผ่นฐาน 190 °C RF power 4 watt gas pressure ใน chamber 1 Torr parameter ที่เปลี่ยนได้แก่ อัตราส่วนระหว่างก๊าซ NH<sub>3</sub>/(SiH<sub>4</sub>+ NH<sub>3</sub>) (= X) โดยที่ X = 0-0.8

สเปกตรัมของ T % ที่วัดได้ถูกนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (optical absorption coefficient :  $\alpha$  หน่วย 1/cm) โดยคำนึงถึงการสะท้อนแสงทั้งที่ผิวฟิล์มด้านรับแสง และที่ interface ระหว่างฟิล์มและแผ่นฐาน (ในกรณีที่ x มีค่ามากจะใช้แผ่น quartz เป็นแผ่นฐานแทนแผ่นกระจก coming)

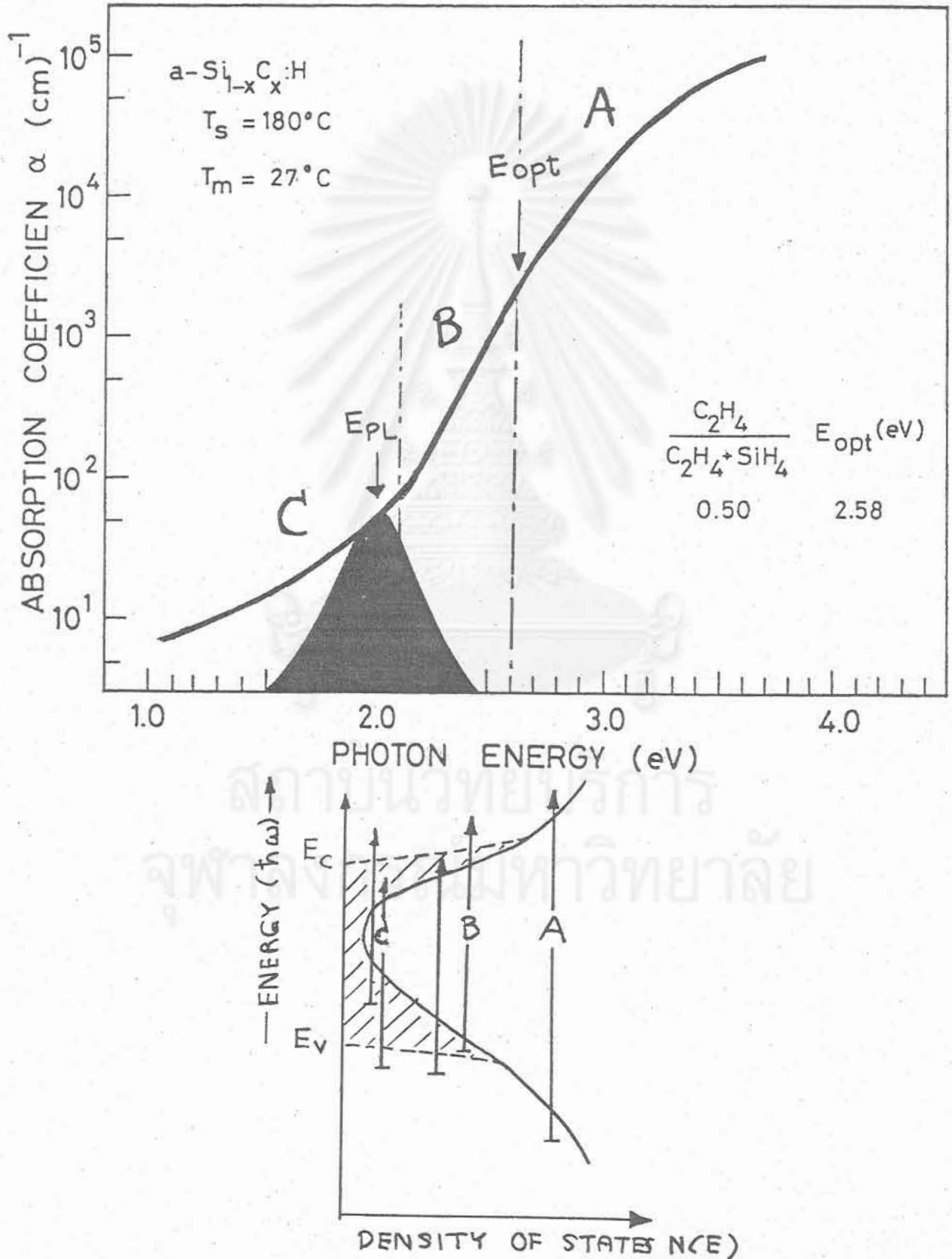
รูปที่ 6.7 แสดงสเปกตรัมของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง ( $\alpha$ ) ในย่านใกล้ band edge (ย่าน A) (ในรูปที่ 6.4) โดยที่พารามิเตอร์ในรูปนี้คือ อัตราส่วนของก๊าซ NH<sub>3</sub> (x) ที่ใช้ในการปลูกฟิล์ม จากรูปนี้พบว่า เมื่อ x มีค่ามากขึ้น สเปกตรัมจะเคลื่อนไปทางพลังงานโฟตอนที่มีความมากขึ้น จากข้อมูลการวัด IR ในบทที่ 4 เราเคยทราบว่า การเพิ่มปริมาณก๊าซ NH<sub>3</sub> (X) จะทำให้ฟิล์ม a-SiN:H มีปริมาณอะตอมของ N มากขึ้น ดังนั้นในรูปที่ 6.7 นี้ เมื่อ N มีจำนวนมากขึ้น



รูปที่ 6.5 การ transition ของอิเล็กตรอนระหว่าง localized states และ delocalized states (ตรงกับกรณี C ในรูป)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 6.6 ตัวอย่างผลการวัดสเปกตรัมสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงในย่าน C ของวัสดุ a-SiC:H





ทำให้สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงลดลง สเปกตรัมจึงเคลื่อนไปทางพลังงานโฟตอนสูงขึ้น

รูปที่ 6.8 แสดงวิธีการหาค่าขนาดช่องว่างพลังงาน (optical energy gap :  $E_{opt}$ ) ด้วยวิธี Tauc's plot โดยที่แกนในแนวตั้งคือ  $(\alpha h\nu)^{1/2}$  และแกนในแนวนอนคือ  $h\nu$  (eV) การนำค่า  $\alpha$  ในย่าน A มา plot เช่นนี้จะทำให้ข้อมูลอยู่บนเส้นตรง และเมื่อลากต่อเส้นตรงให้มาตัดแกนนอน ณ จุดตัดนั้นก็จะเป็นค่าช่องว่างพลังงาน ในรูปที่ 6.8 ได้ผลว่าการเพิ่มปริมาณก๊าซ  $NH_3$  (X) ทำให้จุดตัดแกนนอนมีค่าที่พลังงานโฟตอนสูงขึ้นและกราฟเส้นตรงมีแนวโน้มความลาดลดลงด้วย

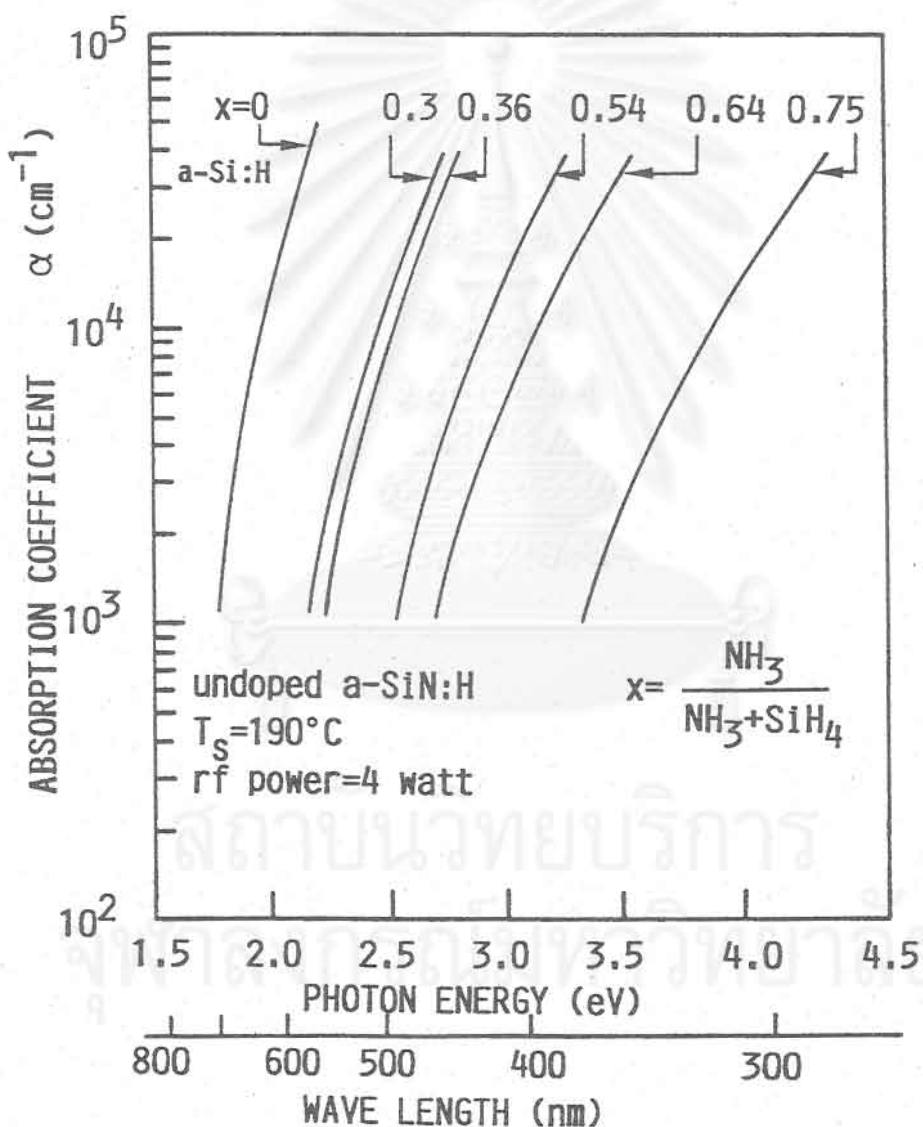
รูปที่ 6.9 แสดงสรุปความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างพลังงานของ a-SiN:H และอัตราส่วนของ  $NH_3/(SiH_4-NH_3)$  (= X) จากรูปนี้พบว่าเมื่อ X มีค่าเพิ่มจาก 0.3 ไปถึง 0.75 ทำให้ช่องว่างพลังงานเพิ่มจาก 2.05 eV ไปถึง 3.1 eV ซึ่งทำให้สีของฟิล์มเปลี่ยนจากสีม่วงไปเป็นสีส้ม สีเหลืองและค่อย ๆ ใสขึ้น

รูปที่ 6.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า B value และค่าอัตราส่วนของก๊าซ  $NH_3$  (X) ค่า B value นี้เปรียบเสมือนเป็นค่าความลาดของเส้นตรงในรูปที่ 6.8 เพราะจากสูตรที่ 6.3

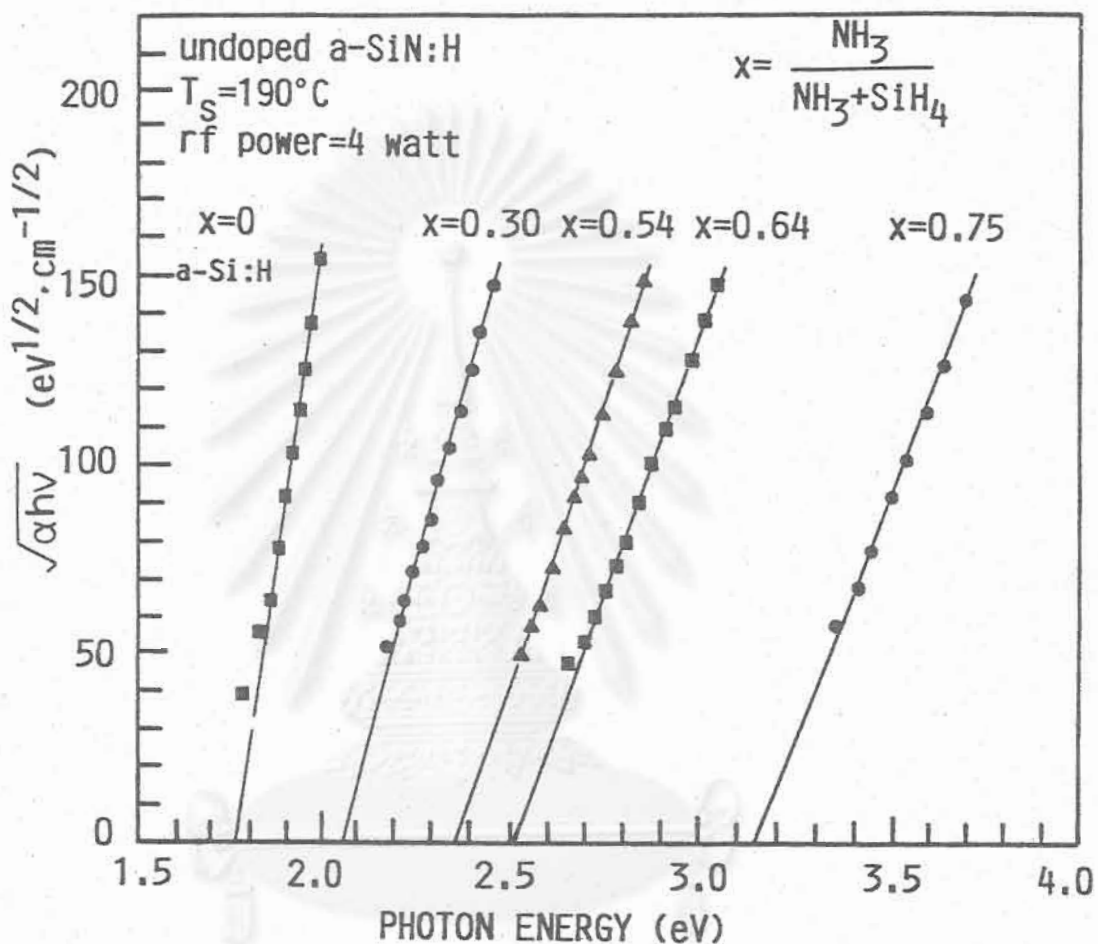
$$\alpha(\omega) = \frac{B(\hbar\omega - E_{opt})^2}{\hbar\omega} \quad (6.3)$$

ค่า B นี้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับความยุ่งเหยิงของ amorphous network กล่าวคือ ถ้า B มีค่าน้อยลง จะมีสาเหตุมาจาก network มีความยุ่งเหยิงมากขึ้น และทำให้ขอบของ band edge มี fluctuation มากขึ้น ดังนั้นข้อมูลในรูปที่ 6.10 จึงชี้ให้เห็นว่าเมื่อใส่อะตอม N เข้าไปในฟิล์ม a-SiN:H มากขึ้น นอกจากจะทำให้ช่องว่างพลังงานกว้างขึ้นแล้ว ยังทำให้ network ของอะตอมมีความยุ่งเหยิงมากขึ้นด้วย

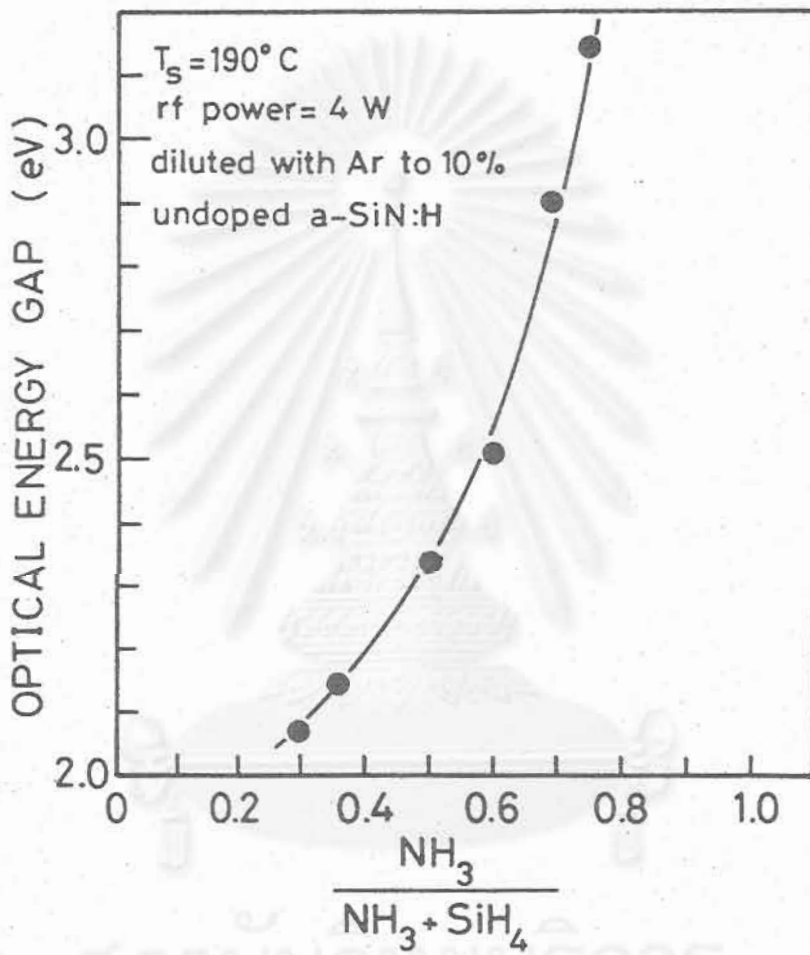
ฟิล์ม a-SiN:H ที่ปลูกได้ในบottle ที่มีขนาดช่องว่างพลังงานกว้างๆ จะนำไปใช้เป็นชั้นเปล่งแสงในไดโอดเปล่งแบบฟิล์มบาง ฟิล์ม a-SiN:H ที่จะเปล่งแสงที่ตามองเห็นได้นั้น ต้องมีช่องว่างพลังงานมากกว่า 2.3 eV ขึ้นไป



รูปที่ 6.7 สเปกตรัมสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงในย่าน A (band edge) ของฟิล์มบาง a-SiN:H ชนิด undoped โดยพารามิเตอร์ x ในรูปคือ อัตราส่วนก๊าซ  $\text{NH}_3/(\text{NH}_3 + \text{SiH}_4)$

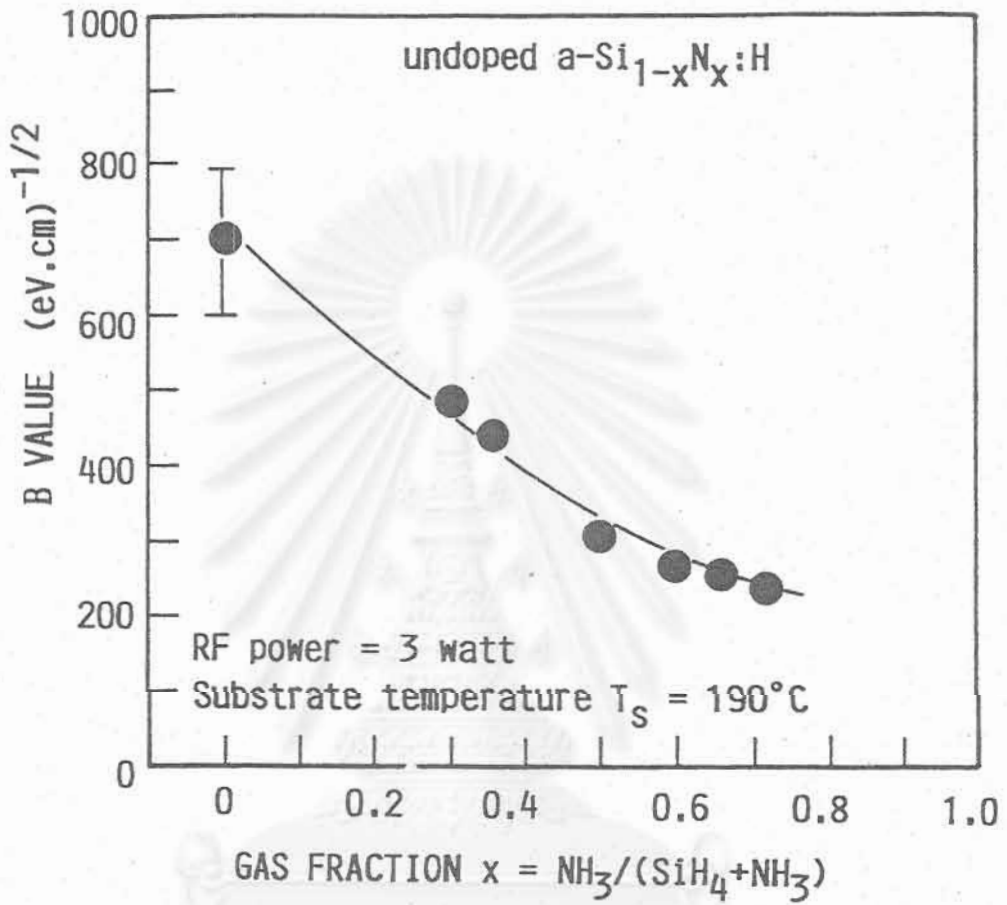


รูปที่ 6.8 Tauc's plot ( $(\alpha h\nu)^{1/2}$  vs  $h\nu$ ) ของ a-Si:H ชนิด undoped เพื่อ  
กำหนดค่าช่องว่างพลังงาน (optical energy gap :  $E_{opt}$ ) พารามิเตอร์  
x ในรูปคือ อัตราส่วนก๊าซ  $\text{NH}_3/(\text{NH}_3 + \text{SiH}_4)$



รูปที่ 6.9 การขึ้นกับอัตราส่วนก๊าซ  $\text{NH}_3/(\text{NH}_3 + \text{SiH}_4)$  ของช่องว่างพลังงาน สำหรับฟิล์มบาง  $\text{a-SiN:H}$  ชนิด undoped





รูปที่ 6.10 การขึ้นกับอัตราส่วนก๊าซ  $\text{NH}_3/(\text{NH}_3 + \text{SiH}_4)$  ของ B value สำหรับฟิล์ม  $a\text{-SiN:H}$  ชนิด undoped

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

1. ดุสิต เครื่องงาม, "โซลิตสเตทฟิสิกส์" บทที่ 12, ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2535, 558 หน้า.
2. W. Boonkosum, D. Kruangam and Somsak Panyakeow : Int. Symp. Physical Concepts and Materials for Novel Optoelectronic Device Application II, 24-27 May 1993, Trieste, Italy.
3. M. Kastner : Phys. Rev. Lett., 28 (1972) p. 355.
4. N.F. Mott and E.A. Davis : "Electronic Process in Non-Crystalline Materials", 2 nd ed., Clarendon Press, Oxford (1979).
5. N.F. Mott : Phil. Mag., 24 (1971) p. 911.
6. W.E. Spear, P.G. LeComber, A.J. Snell : Phil. Mag., B 38 (1978) p. 303.
7. J.M. Marshall and A.E. Owen : Phil. Mag., 24 (1971) p. 1281.
8. J. Jauc : "Amorphous and Liquid Semiconductors", ed. J. Tauc, Plenum Press, London and New York (1974) p. 159.
9. S. Abe and Y. Toyozawa : J. Phys. Soc. Japan, 50 (1981) p. 2185.
10. Y. Toyozawa : Tech. Rep. Institute for Solid State Physics, Univ. Tokyo, Ser. A (119) (1964).

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 7

### การศึกษาคุณสมบัติการเปล่งแสงแบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์ (PL) ของ a-SiN:H

#### บทนำ

ปรากฏการณ์โฟโตลูมิเนสเซนซ์ (photoluminescence : PL) ได้แก่ ปรากฏที่สารกึ่งตัวนำ (หรือวัสดุทั่วไป) เปล่งแสงออกมาเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสง การสังเกต PL จะเป็นประโยชน์มากต่อการศึกษาคุณสมบัติทางแสงของวัสดุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับวัสดุที่จะนำไปผลิตเป็นสิ่งประดิษฐ์เปล่งแสง วัสดุจะเปล่งแสง PL ได้ดี ถ้าวัสดุนั้นมี defect หรือจุดบกพร่องน้อย ดังนั้น การวัด PL ก็จะเป็นการศึกษาและได้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติทางโครงสร้างไปในตัวด้วย

ในบทนี้จะรายงานผลการวัด PL ใน a-SiN:H ซึ่งมีการเปลี่ยนปริมาณอะตอม N หลายๆ ค่า และรายงานผลการวัดอิทธิพลของความยาวคลื่นแสงกระตุ้นและสนามไฟฟ้าที่มีต่อสเปกตรัมของ PL

#### 7.1 วิธีการวัดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของ a-SiN:H

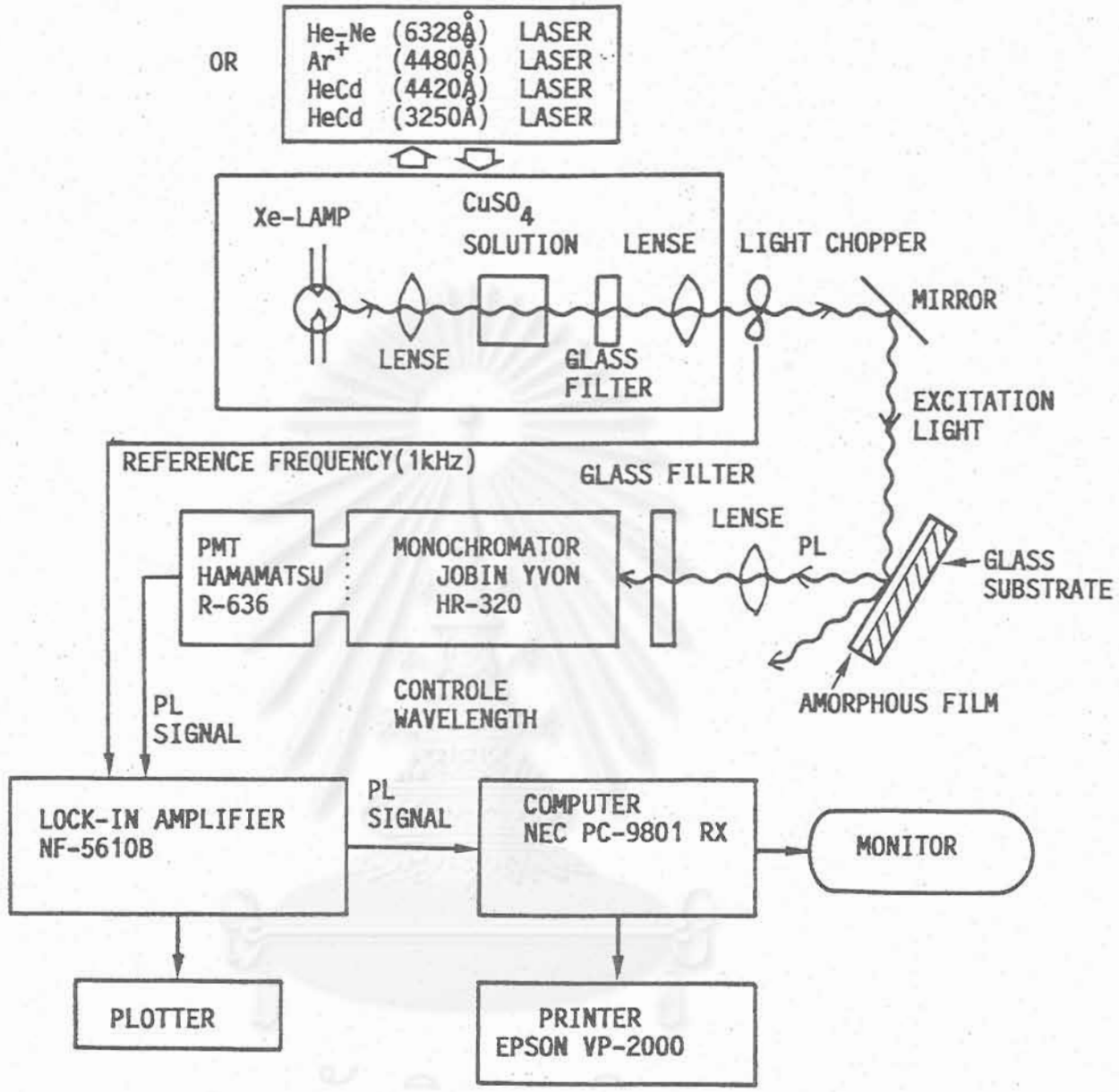
รูปที่ 7.1 แสดงลักษณะหลักการวัด PL เนื่องจากวัสดุ a-SiN:H มีขนาดช่องว่างพลังงานกว้างตั้งแต่ 2.0-3.2 eV ดังนั้นแสงที่ใช้กระตุ้นจึงต้องมีพลังงานโฟตอนสูงมากพอ (มีค่ามากกว่าช่องว่างพลังงาน) จึงได้ใช้แสงความยาวคลื่น 365 nm (3.39 eV) ส่องเข้าสู่ฟิล์ม a-SiN:H แสง 365 nm นี้ได้จากหลอดไฟ Xe และผ่าน filter ชนิดสารละลายของ CuSO<sub>4</sub> (ให้แสง UV ผ่านแต่ตัดแสง IR) และผ่าน filter glass แบบแบนพาส (ให้แสง 365 nm ผ่าน)

แสง PL ที่ถูกเปล่งออกมาจาก a-SiN:H จะถูกเลนส์โฟกัสเข้า monochromator และด้านเอาท์พุทของ monochromator ใช้ photomultiplier (PMT) เป็นตัวรับแสง (R-636 GaAs ของ Hamamatsu) เอาท์พุทจาก PMT ถูกส่งต่อไปยัง lock-in Amplifier และ x-t recorder สัญญาณ reference สำหรับ lock-in Amp นั้นใช้ความถี่ของ optical chopper (ประมาณ 1 KHz)

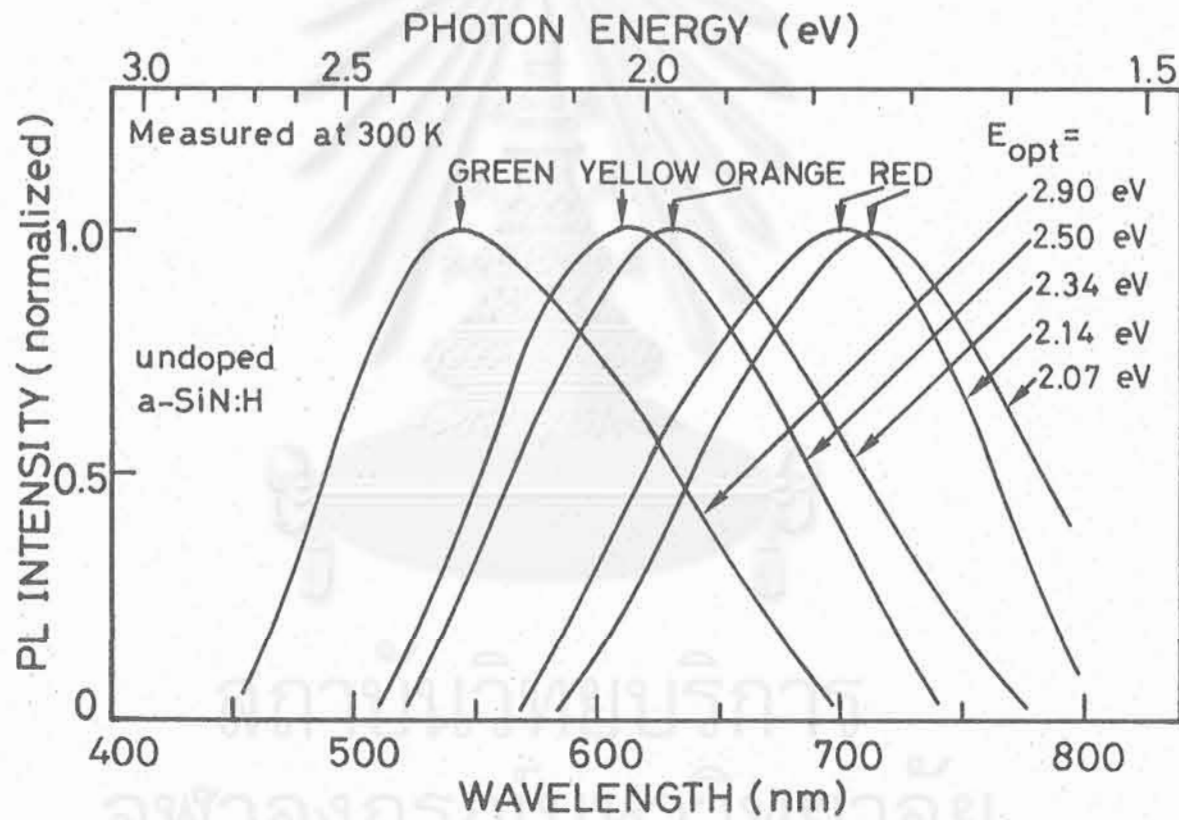
อนึ่งเพื่อป้องกันมิให้แสง 365 nm วิ่งเข้าสู่ monochromator จึงได้มีการวาง glass filter แบบ high pass ไว้ระหว่าง a-SiN:H และ monochromator ซึ่งเป็น filter ที่ตัดแสงความยาวคลื่นสั้นกว่า 450 nm มิให้ผ่าน และให้แสงความยาวคลื่นยาวกว่า 450 nm ผ่านได้ การวัดสเปกตรัม PL ทำที่อุณหภูมิห้อง

#### 7.2 ผลการวัดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของ a-SiN:H

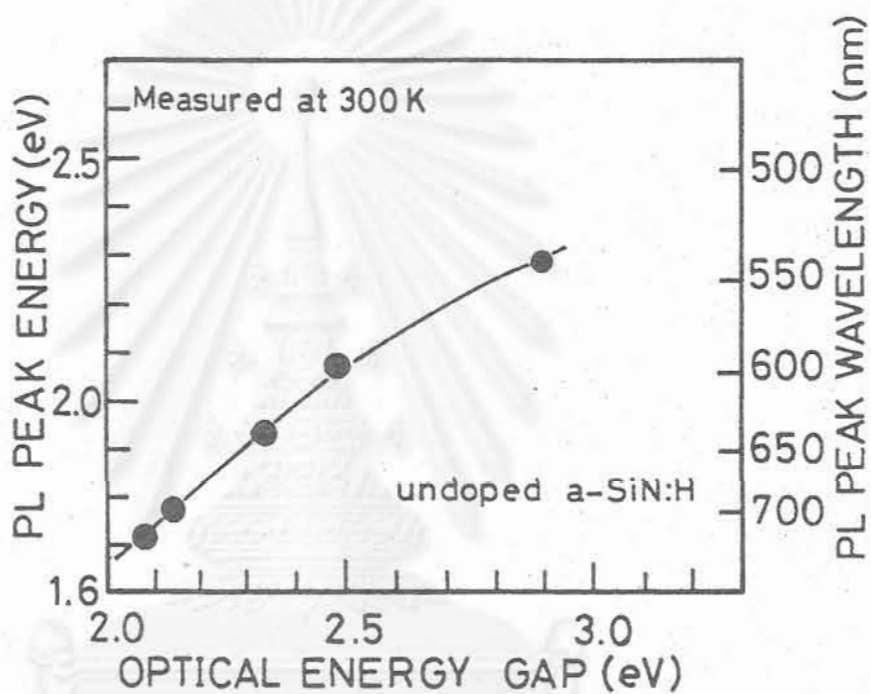
รูปที่ 7.2 แสดงสเปกตรัม PL ของ a-SiN:H ชนิด undoped ที่มีค่าช่องว่างพลังงานระหว่าง 2.07 eV ถึง 2.90 eV ลักษณะสเปกตรัม PL ของ a-SiN:H ค่อนข้างกว้าง มีค่า FWHM (Full Width at Half Maximum) ประมาณ 0.2-0.4 eV เมื่อค่าช่องว่างพลังงาน



รูปที่ 7.1 แผนภูมิวิธีการวัดสเปกตรัมของโฟโตลูมิเนสเซนซ์ โดยใช้แสงความยาวคลื่น 365 nm เป็นแสงกระตุ้น

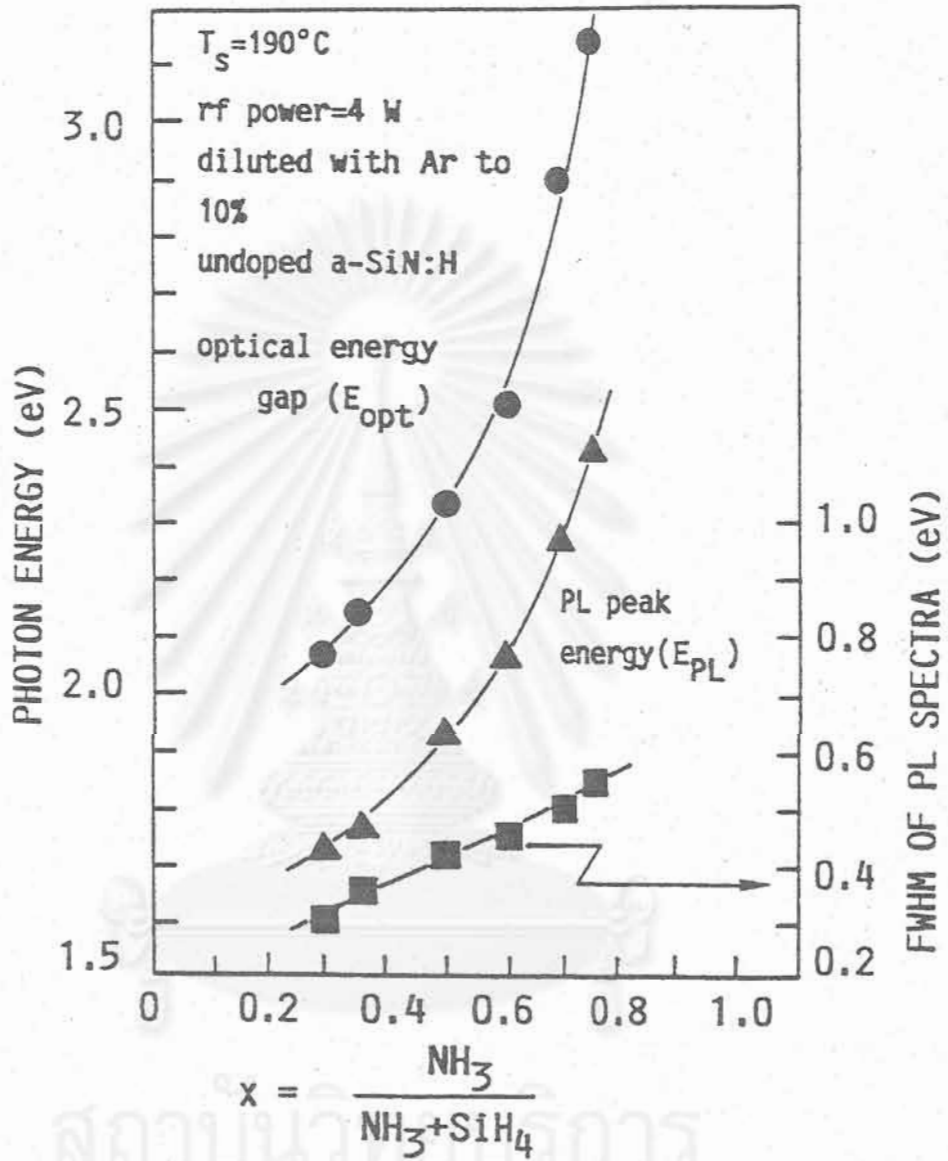


รูปที่ 7.2 ผลการวัดสเปกตรัมโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของ a-SiN:H ที่มีช่องว่างพลังงานระหว่าง 2.07 eV วัดที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้แสง 365 เป็นแสงกระตุ้น



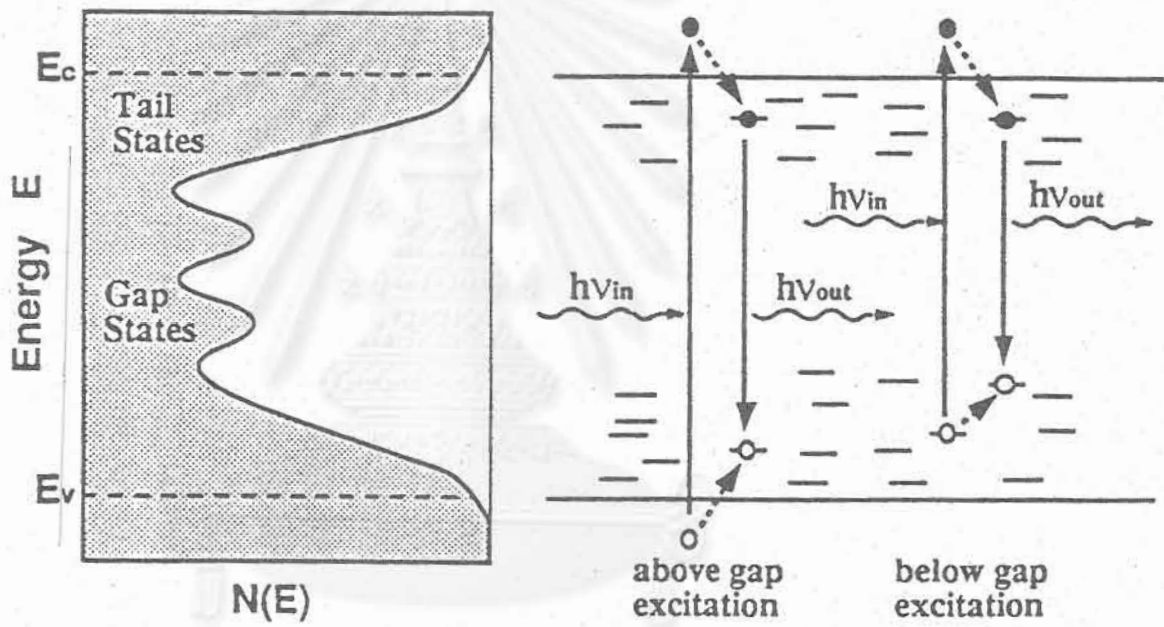
รูปที่ 7.3 ความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างพลังงาน และ peak energy ของสเปกตรัมโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของ a-SiN:H ที่วัดที่อุณหภูมิห้อง

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.4 ความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างพลังงาน peak energy ของสเปกตรัม PL และอัตราส่วนก๊าซ x ที่ใช้ปลูกฟิล์ม a-SiN:H





รูปที่ 7.5 ลักษณะการกระตุ้น PL และการรวมตัวแบบเปล่งแสงของพาหะใน a-SiN:H

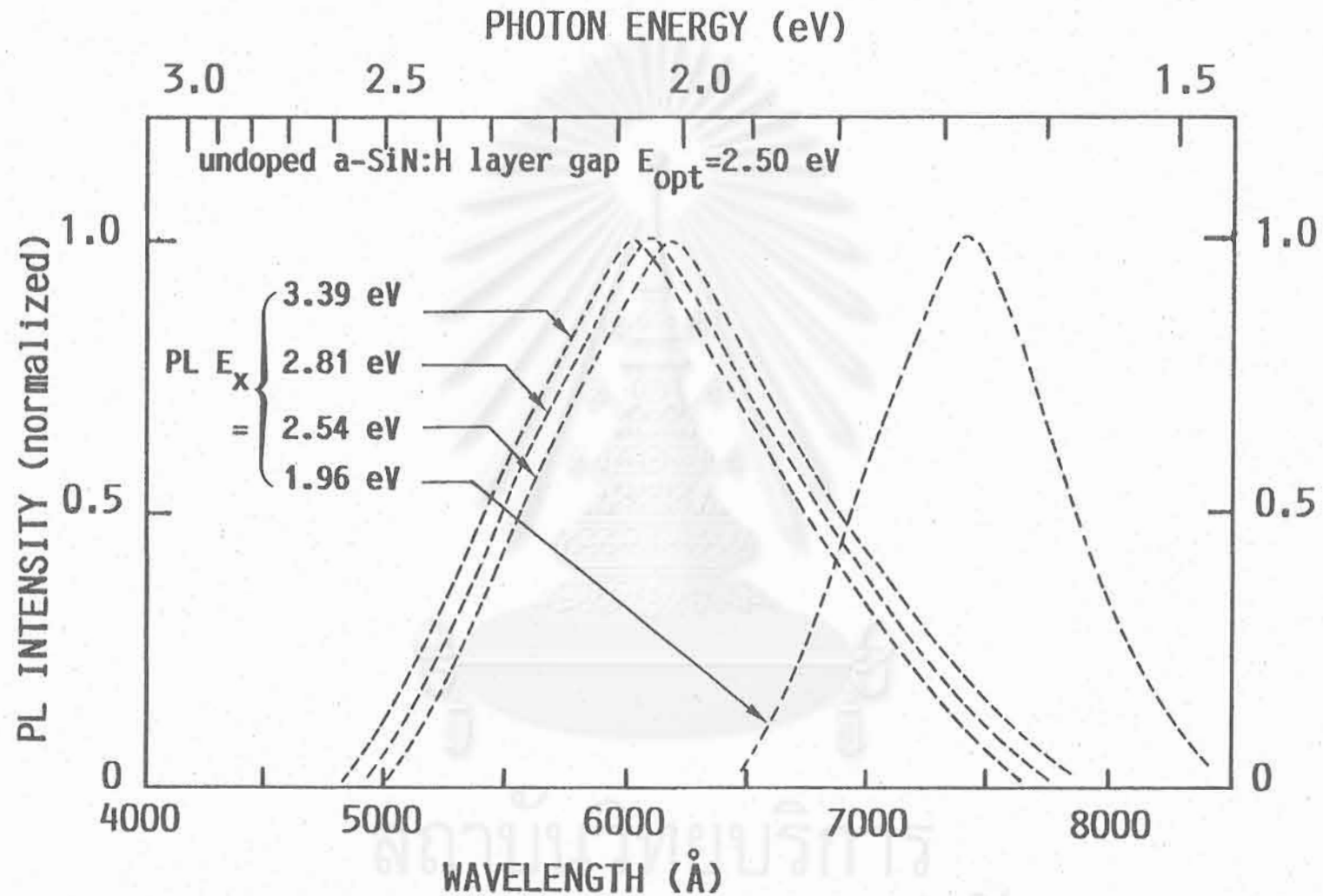
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

( $E_{opt}$ ) เพิ่มขึ้นสเปกตรัมจะเคลื่อนไปทางความยาวคลื่นที่สั้นลงและสีการเปล่งแสงของ PL จะเปลี่ยนจากสีแดง-ส้ม-เหลืองและไปสู่สีเขียว ความเข้มของ PL มีความสว่างพอที่จะสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญมากที่ชี้ให้เห็นว่า a-SiN:H สามารถเปล่งแสงที่ตามองเห็น

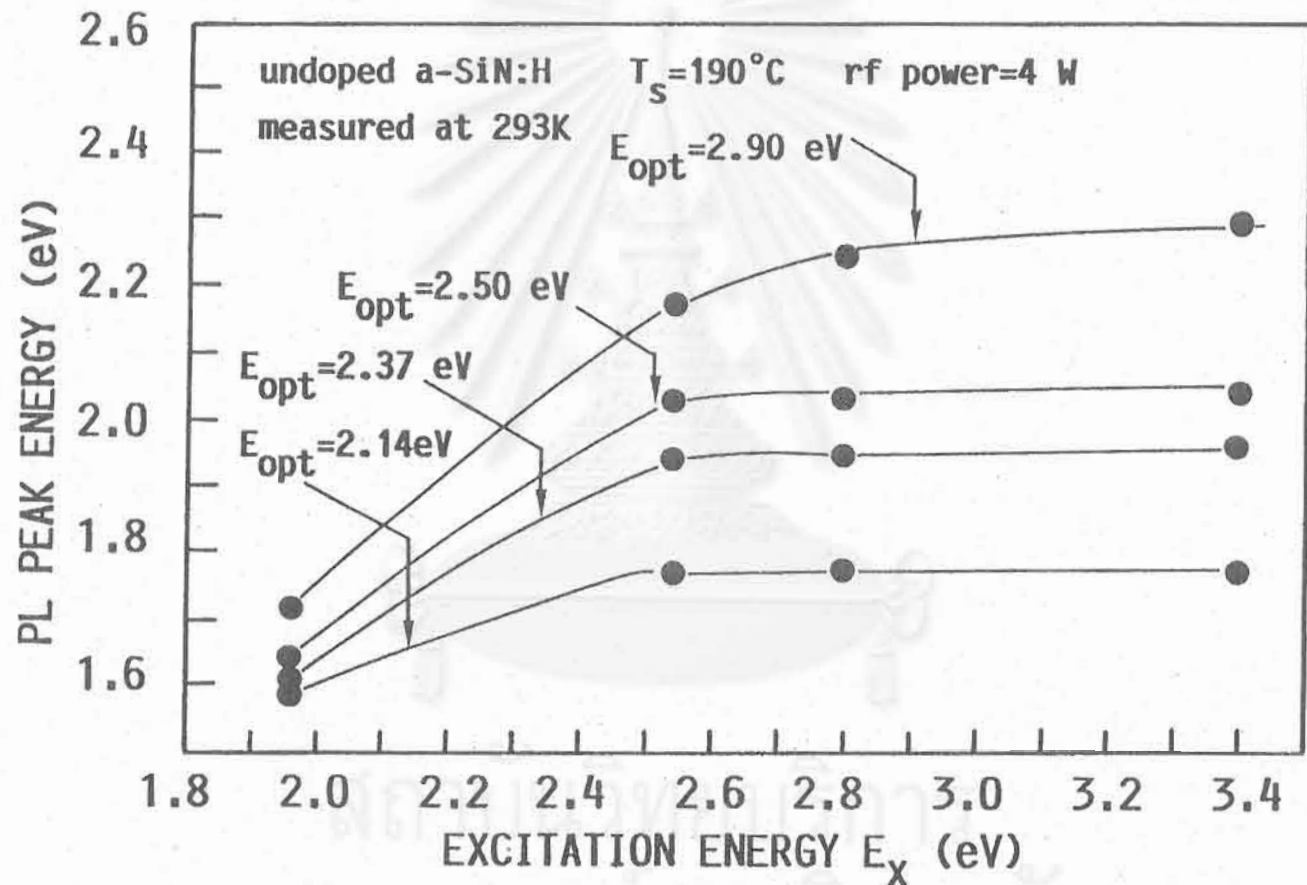
รูปที่ 7.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างพลังงานและ peak energy ของ PL สเปกตรัม และรูปที่ 7.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างพลังงาน peak energy ของสเปกตรัม PL และอัตราส่วนก๊าซ X ที่ใช้ปลูกฟิล์ม a-SiN:H สิ่งที่น่าสังเกตอย่างหนึ่งในรูปนี้คือค่า peak energy ของสเปกตรัม PL ของ a-SiN:H นี้จะมีค่าน้อยกว่าค่าของช่องว่างพลังงานของ a-SiN:H เสมอ ทั้งนี้เพราะว่าการรวมตัวแบบเปล่งแสง (radiative recombination) ของ a-SiN:H เกิดขึ้นจากการรวมตัวของอิเล็กตรอนและโฮลผ่าน localized state ในช่องว่างพลังงานเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 7.5 ข้อมูล PL ที่ได้ในส่วนนี้สำคัญมาก ซึ่งจะนำไปเป็นเงื่อนไขในการประดิษฐ์ TFLED ที่สามารถเปล่งแสงที่มองเห็นได้ตามต้องการ

### 7.3 การขึ้นกับความยาวคลื่นของแสงที่ใช้กระตุ้น PL

สเปกตรัมการเปล่งแสงของ PL ของฟิล์ม a-SiN:H ชนิด undoped นี้ขึ้นกับพลังงานโฟตอนของแสงที่มากกระตุ้น ในงานวิจัยนี้ได้มีการเปลี่ยนพลังงานโฟตอนของแสงที่ใช้กระตุ้น PL ให้มีค่าต่าง ๆ อาทิ เช่น แสงจากหลอดซีนอน (Xe lamp) มีความยาวคลื่น 3650 Å เลเซอร์ฮีเลียม-แคดเมียม (He-Cd laser 4420 Å) เลเซอร์อาร์กอน (Ar laser 4880 Å) และเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน (He-Ne laser 6328 Å) รูปที่ 7.6 แสดงสเปกตรัม PL ของ a-SiN:H ที่ถูกกระตุ้นด้วยแสงที่มีพลังงานโฟตอนค่าต่าง ๆ ช่องว่างพลังงานของ a-SiN:H ในรูปนี้คือ 2.50 eV จากรูปนี้พบว่า เมื่อเพิ่มพลังงานโฟตอนของแสงกระตุ้นจะทำให้สเปกตรัม PL เคลื่อนไปทางความยาวคลื่นสั้นลง รูปที่ 7.7 สรุปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ายอดพลังงานของ สเปกตรัม PL และพลังงานโฟตอนของแสงที่มากกระตุ้น a-SiN:H พารามิเตอร์ในรูปนี้คือ ช่องว่างพลังงานของ a-SiN:H ค่าช่องว่างพลังงานของ a-SiN:H แต่ละตัวชี้ด้วยลูกศร ข้อมูลที่ได้ที่น่าสนใจคือเมื่อพลังงานโฟตอนของแสงเพิ่มขึ้น ค่ายอดพลังงาน PL จะเพิ่มขึ้น แต่ค่ายอดพลังงานของ PL ( $E_{PL}$ ) จะอ้อมตัว เมื่อค่าพลังงานโฟตอนที่กระตุ้นมีค่าเกินช่องว่างพลังงาน ( $E_{opt}$ ) ปรากฏการณ์เหล่านี้สามารถอธิบายโดยใช้รูปที่ 7.5 ได้ดังต่อไปนี้ ในกรณีค่าพลังงานโฟตอนแสงที่มากกระตุ้นมีค่าต่ำกว่าช่องว่างพลังงาน คู่อิเล็กตรอน-โฮลจะถูกกระตุ้นไปสู่ระดับพลังงานลึก (deep localized states) ใน gap และคู่อิเล็กตรอน-โฮลจะ relax ลงสู่ localized states ที่อยู่ลึกลงไปอีกแล้วจึงรวมตัวกัน ในการกระตุ้นให้คู่อิเล็กตรอน-โฮลเกิดใน deep localized states จะทำให้พลังงานโฟตอนของแสงที่เปล่งออกมาขึ้นกับระดับพลังงานที่ถูกกระตุ้นเรียกว่า memory effect) แต่เมื่อค่าพลังงานโฟตอนแสงที่มากกระตุ้นมีค่าสูงกว่าช่องว่างพลังงาน คู่อิเล็กตรอน-โฮล จะถูกกระตุ้นให้กระโดดขึ้นไปสู่แถบ conduction และ valence แล้วคายพลังงานลง (relax energy) ให้ phonon และตัวเองจะลงมาสู่ขอบ conduction และ valence band ก่อนเสมอ ก่อนที่จะ relax ลง



รูปที่ 7.6 สเปกตรัมโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของ a-SiN:H ซึ่งในการวัดได้กระตุ้นด้วยแสงที่มีพลังงานโฟตอนค่าต่างๆ โดยวัดที่อุณหภูมิห้อง ช่องว่างพลังงานของ a-SiN:H ในรูปคือ 2.50 eV

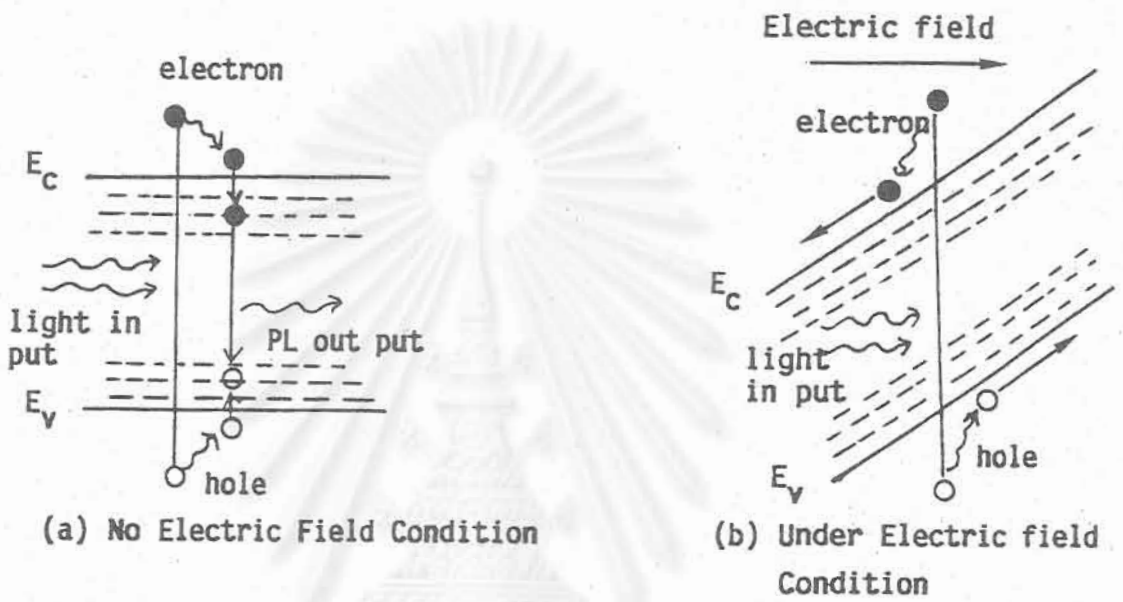


รูปที่ 7.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าขดพลังงานของสเปกตรัมโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของ a-SiN:H และพลังงานฟอตอนของแสงที่ใช้กระตุ้นฟิล์ม a-SiN:H ในรูปที่ 4 ตัวอย่าง ซึ่งมีช่องว่างพลังงาน ( $E_{opt}$ ) ต่าง ๆ กันคือ 2.14, 2.37, 2.50 และ 2.90 eV ซึ่งชี้ค่าพลังงานโดยลูกศร

สู่ระดับ localized states และเกิดการรวมตัวในระดับพลังงานนี้ จึงทำให้ค่ายอดพลังงานของ PL ไม่เปลี่ยนแปลง

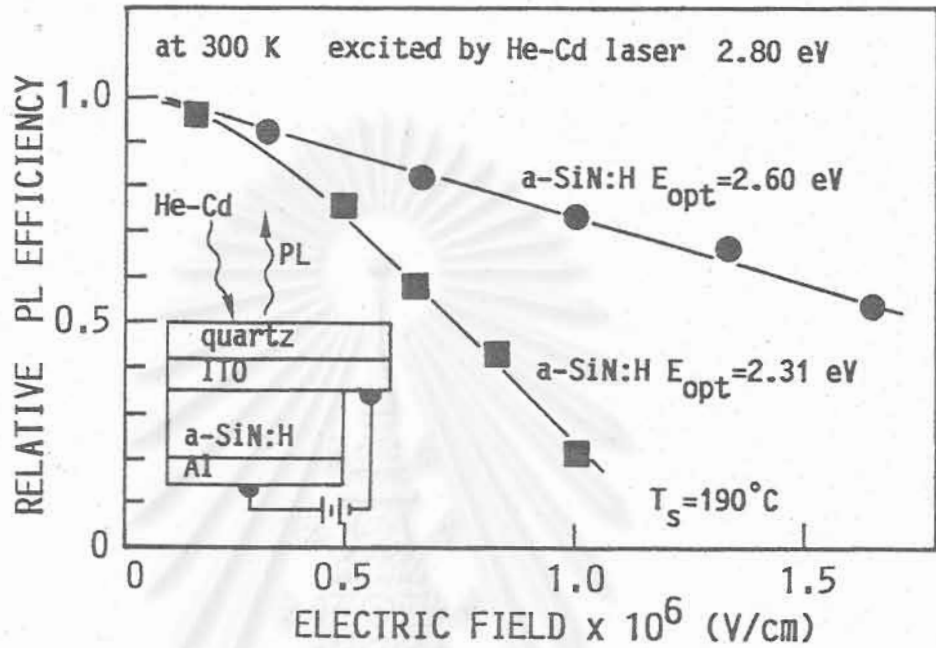
#### 7.4 อิทธิพลของสนามไฟฟ้าที่มีต่อความเข้มของ PL ของ a-SiN:H

ในขณะที่กำลังสังเกตโฟโตลูมิเนสเซนซ์ กล่าวคือกำลังกระตุ้นพาหะอยู่นั้น ถ้ามีสนามไฟฟ้ามากกระทำกับวัสดุ สนามไฟฟ้าจะทำให้ความน่าจะเป็นของการรวมตัวของพาหะลดลง ดังแสดงในรูปที่ 7.8 (b) ทั้งนี้เพราะว่า สนามไฟฟ้าจะทำให้พาหะอิเล็กตรอนและโฮลวิ่งแยกหากันจึงทำให้โอกาสที่จะรวมตัวกันมีค่าน้อยลง การศึกษาปรากฏการณ์นี้จะช่วยทำให้เราทราบว่า ไดโอดเปล่งแสงฟิล์มบางที่จะเปล่งแสงได้สว่างดีนั้นจะต้องมีการป้อนสนามไฟฟ้าให้มีค่าต่ำสุด รูป 7.9 แสดงผลการวัดความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้าและความเข้มของ PL โครงสร้างของชิ้นงานในรูปคือ quartz substrate/ITO/a-SiN:H/Al การป้อนสนามไฟฟ้าได้กระทำผ่านขั้ว ITO และ Al โดยระวางมิให้มีการฉีดกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ a-SiN:H ฟิล์ม a-SiN:H ทั้งสองในรูปนี้มีช่องว่างพลังงานเท่ากับ 2.13 eV และ 2.60 eV จากรูปพบว่า ความเข้มของ PL ของ a-SiN:H ที่มีขนาดช่องว่างพลังงานแคบจะลดลงอย่างรวดเร็วกว่า a-SiN:H ที่มีช่องว่างพลังงานกว้าง และผลการทดลองทำให้เราทราบว่า การป้อนสนามไฟฟ้าที่มีค่ามากกว่าประมาณ  $1.0 \times 10^6$  (V/cm) จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเปล่งแสงของ a-SiN:H ลดลงอย่างมาก ดังนั้นเมื่อนำ a-SiN:H ไปผลิตเป็นไดโอดเปล่งแสงและทำงานภายใต้ forward bias จึงควรออกแบบให้ประสิทธิภาพการฉีดพาหะสูง เพื่อมิให้เกิดสนามไฟฟ้าคร่อม a-SiN:H มากเกินไป



รูปที่ 7.8 การแปลงแสงโฟโตลูมิเนสเซนซ์จาก a-SiN:H ในกรณี (a) ไม่มีสนามไฟฟ้า (b) มีสนามไฟฟ้าไบแอสฟิล์ม

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.9 ผลการวัดความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้าที่ไบแอสฟิล์ม a-SiN:H และความเข้ม (intensity) ของโฟโตลูมิเนสเซนซ์ ในรูปแสดงกรณี a-SiN:H ที่มีช่องว่างพลังงาน 2.13 eV และ 2.60 eV

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 8

## การเตรียม a-SiC:H สำหรับใช้เป็นชั้นฉีดยาใน TFLED

## บทนำ

โครงสร้างพื้นฐานของไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบาง (TFLED) ที่ออกแบบในงานวิจัยนี้คือ p a-SiC:H/i a-SiN:H/n a-SiC:H ในบทที่ 7 ได้รายงานผลการศึกษาคณสมบัติทางแสงของชั้น i a-SiN:H ไว้อย่างละเอียดแล้ว ในบทนี้จะรายงานผลการผลิตชั้น p และ n ของ a-SiC:H ซึ่งจะใช้เป็นชั้นที่ทำหน้าที่ฉีดยาใน TFLED ดังจะได้กล่าวเรื่องสิ่งประดิษฐ์ TFLED ในบทต่อไป (หมายเหตุ : เนื่องจาก a-SiN:H ผลิตให้เป็นชนิด p และ n ได้ยากมากเพราะ doping efficiency เลวมาก) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้ a-SiC:H ซึ่งได้ปได้ดีกว่าเป็นชั้น p และ n

## 8.1 ขนาดช่องว่างพลังงานของ a-SiC:H

ฟิล์มบาง a-SiC:H เตรียมด้วยวิธี glow discharge plasma CVD เช่นเดียวกับ a-SiN:H ก๊าซดิบสำหรับ a-SiC:H คือ SiH<sub>4</sub> และ CH<sub>4</sub> เงื่อนไขการผลิตพื้นฐานได้แก่ อุณหภูมิแผ่นฐาน 190-200°C pressure รวม 1.0 Torr และ RF power 3-4 watt

รูปที่ 8.1 แสดงสเปกตรัมของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของ a-SiC:H พารามิเตอร์ในรูปคือ อัตราส่วนของ CH<sub>4</sub>/(CH<sub>4</sub>+SiH<sub>4</sub>) = x จากรูปนี้พบว่า เมื่อเพิ่มค่า x จะทำให้สเปกตรัมเคลื่อนไปทางพลังงานโฟตอนที่มีความสูงขึ้น

รูปที่ 8.2 แสดง Tauc's plot ของ a-SiC:H ชนิด undoped เพื่อใช้กำหนดหาค่าช่องว่างพลังงาน จุดตัดของกราฟเส้นตรงบนแกนอนคือช่องว่างพลังงาน รูปที่ 8.3 แสดงสรุปความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างพลังงานและอัตราส่วนปริมาณก๊าซ  $x = \text{CH}_4 / (\text{CH}_4 + \text{SiH}_4)$  จากรูปนี้พบว่าในขณะที่ปลูกฟิล์มนั้น ถ้าเพิ่มปริมาณของก๊าซ CH<sub>4</sub> ให้มากขึ้น จะทำให้ได้ a-SiC:H ที่มีช่องว่างพลังงานกว้างขึ้น ซึ่งการขยายขนาดช่องว่างพลังงานนี้ มีสาเหตุมาจากปริมาณของอะตอม C ในฟิล์มมีค่ามากขึ้นนั่นเอง ช่องว่างพลังงานที่ได้จากการทดลองอยู่ในช่วงประมาณ 1.95-3.5 eV

## 8.2 การได้ป a-SiC:H ให้เป็นชนิด p และ n

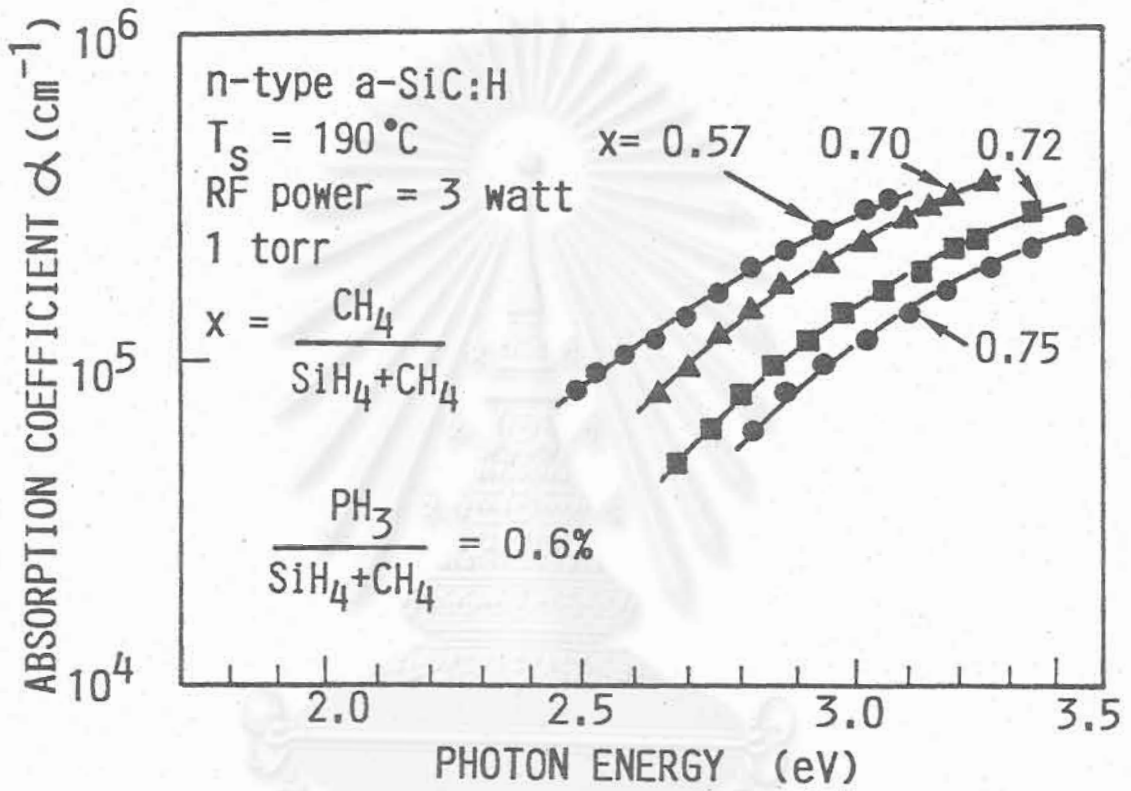
การได้ป a-SiC:H (tetrahedrally bonded semiconductor) ให้เป็นชนิด p และ n ทำได้โดยการผสมก๊าซ B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> และ PH<sub>3</sub> (ก๊าซเหล่านี้ถูกผสมใน H<sub>2</sub> ให้ภายในถึงก๊าซมีความเข้มข้น 500 ppm) ตามลำดับขณะปลูกฟิล์ม B จะทำหน้าที่เป็น acceptor และ P จะทำหน้าที่เป็น donor ตารางที่ 8.1 แสดงเงื่อนไขการเตรียม a-SiC:H ชนิด p และ n อย่างไรก็ตาม doping efficiency จะลดลงอย่างรวดเร็ว ถ้าในฟิล์มมี C จำนวนมากขึ้น ทั้งนี้เพราะว่าการเพิ่มจำนวนอะตอมของ C จะทำให้ defects มีจำนวนมากขึ้น ดังจะเห็นผลได้ชัดเจนในรูปที่ 8.4 รูปที่ 8.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง dark conductivity และช่องว่างพลังงานของ a-SiC:H ชนิด p ในที่

นี้ปริมาณการโด๊ปด้วย  $B_2H_6/(SiH_4+CH_4) = 6 \times 10^{-3}$  โดยอัตราส่วนของก๊าซ จากรูปนี้พบว่าเมื่อช่องว่างพลังงานของ p a-SiC:H มีค่ามากขึ้น จาก 1.8 eV ถึง 2.05 eV จะทำให้ dark conductivity ลดลงอย่างรวดเร็วจากระดับ  $10^{-7}$  (S/cm) ลดถึง  $10^{-9}$  (S/cm) ในกรณีของ n a-SiC:H ก็มีลักษณะสมบัติเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 8.1 เงื่อนไขการปลูกฟิล์ม a-SiC:H ชนิด p และ n ด้วยวิธี glow discharge plasma CVD

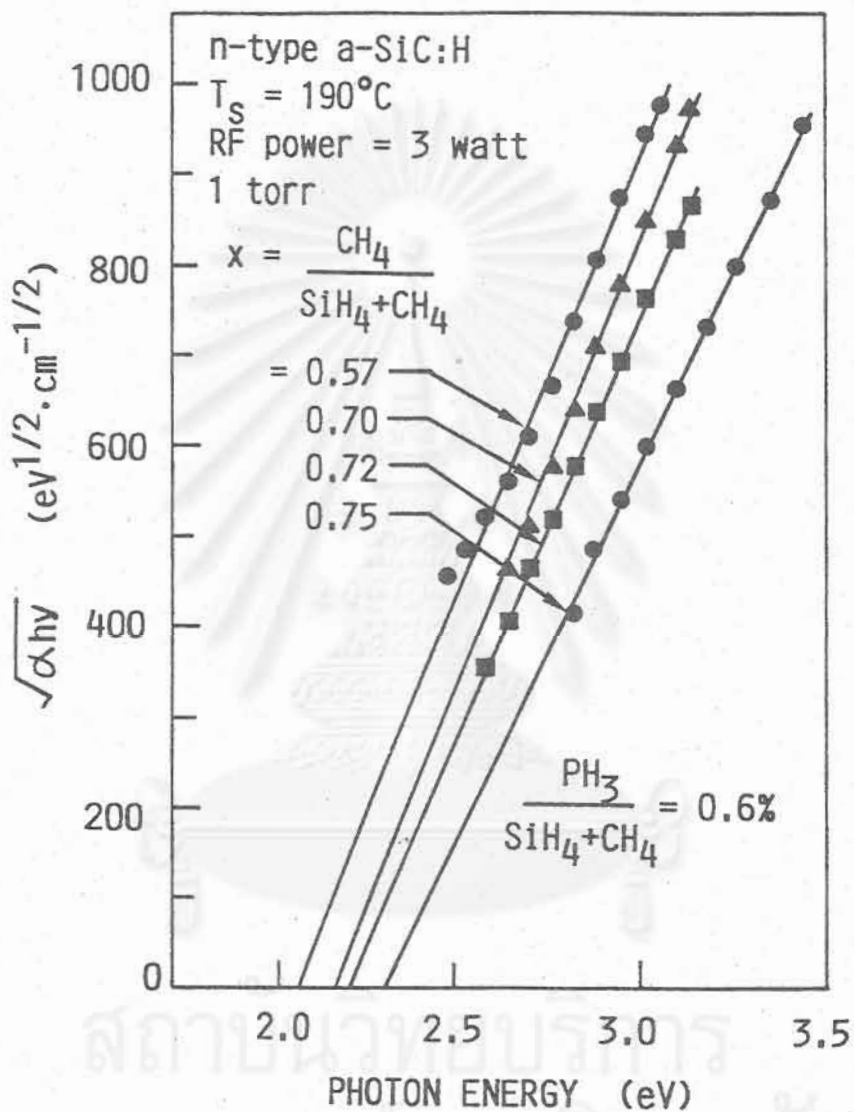
RF Power	3-4 Watt, at 13.56 MHz
Substrate Temperature	190-200°C
Total Gas Pressure	1 Torr
Gas For p a-SiC:H	$SiH_4 + CH_4 + B_2H_6$
Gas For n a-SiC:H	$SiH_4 + CH_4 + PH_3$
Gas Bottle Dilution	$SiH_4$ 10 % + $H_2$ 90 % $CH_4$ 10 % + $H_2$ 90 % $B_2H_6$ 500 ppm in $H_2$ $PH_3$ 500 ppm in $H_2$
Doping Ratio	$B_2H_6/(SiH_4 + CH_4) = 6 \times 10^{-3}$ $PH_3/(SiH_4 + CH_4) = 6 \times 10^{-3}$

การลดลงของ dark conductivity (เมื่อเพิ่ม  $E_{opt}$ ) นี้คงมีสาเหตุหนึ่งมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณ defects เมื่อเพิ่มปริมาณ C อย่างไรก็ดีตาม ในการนำ p a-SiC:H และ n a-SiC:H ไปใช้เป็นชั้นฉีตพาหะใน TFLED นั้น ควรจะมี dark conductivity ที่สูงพอควร และ  $E_{opt}$  ก็ควร จะกว้างพอควร ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้เลือกใช้ p a-SiC:H และ n a-SiC:H ที่มี  $E_{opt}$  ที่ ประมาณ 2.0 eV และ dark conductivity อยู่ในระดับ  $10^{-8}$  (S/cm) เป็นชั้นฉีตพาหะใน อะมอร์ฟัส TFLED



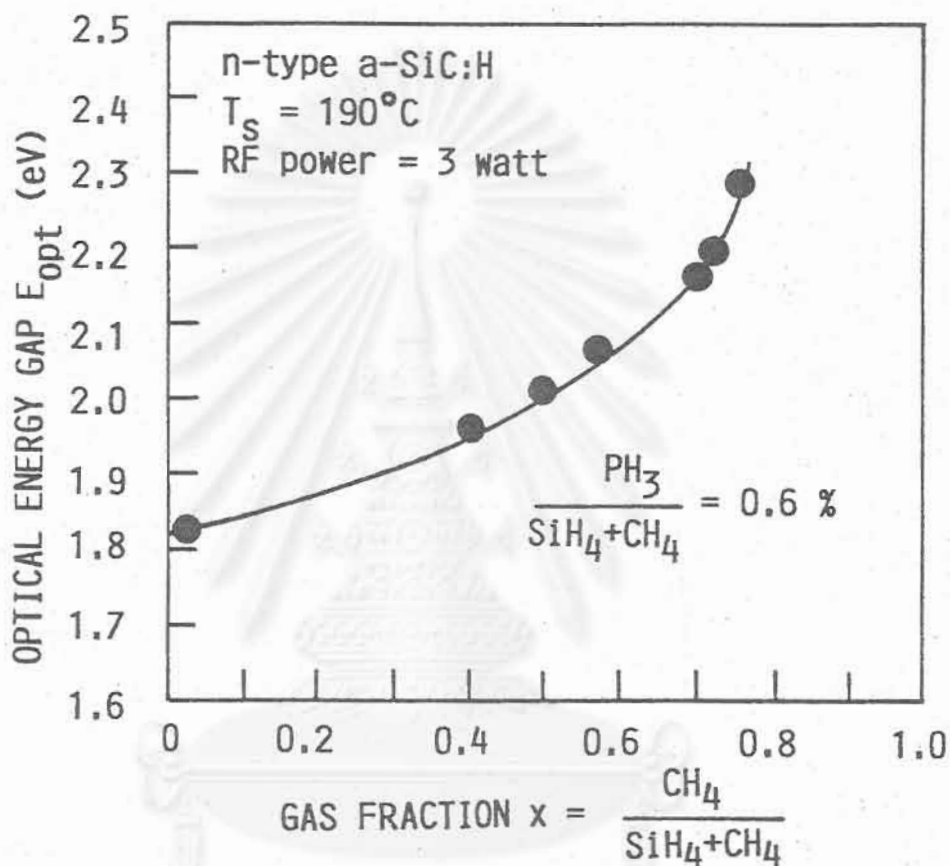
รูปที่ 8.1 สเปกตรัมสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงในย่าน band edge ของ a-SiC:H พารามิเตอร์ในรูปคือ อัตราส่วนก๊าซ  $x = \text{CH}_4 / (\text{CH}_4 + \text{SiH}_4)$  ที่ใช้ปลูกฟิล์ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



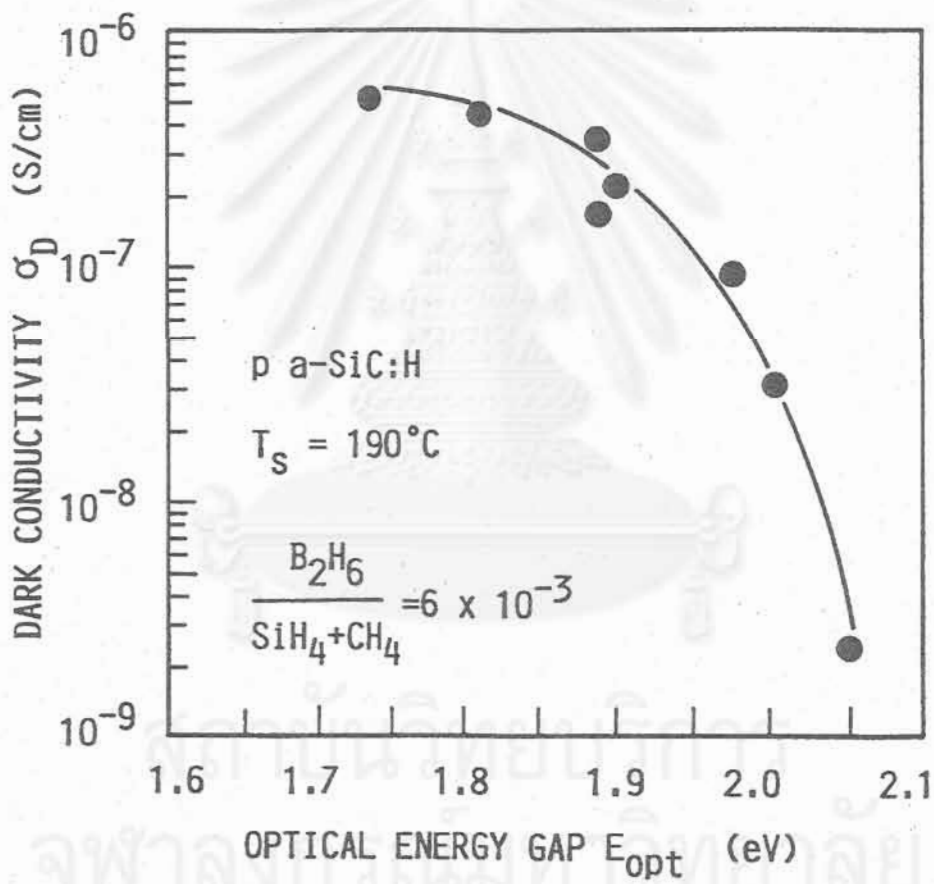
รูปที่ 8.2 Tauc's plot ( $(\alpha h\nu)^{1/2}$  vs  $h\nu$ ) ของ a-SiC:H กำหนดช่องว่างพลังงาน

เพื่อ



รูปที่ 8.3 ความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างพลังงานของ a-SiC:H และอัตราส่วนก๊าซ  $x = \text{CH}_4 / (\text{CH}_4 + \text{SiH}_4)$  ที่ใช้ปลูกฟิล์ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 8.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง dark conductivity และช่องว่างพลังงานของ a-SiC:H ชนิด p



### บทที่ 9

## การออกแบบและการผลิตไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางรอยต่อ p a-SiC:H/i a-SiN:H/n a-SiC:H

### บทนำ

หลังจากที่ได้กล่าวถึงผลการวิจัยการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานด้านต่าง ๆ อาทิ เช่น คุณสมบัติทางโครงสร้างทางแสงและทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง a-SiN:H และ a-SiC:H แล้ว ตั้งแต่บทนี้เป็นต้นไป จะขอเริ่มเข้าสู่เรื่องการนำฟิล์ม a-SiN:H และ a-SiC:H มาผลิตเป็น ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบาง โดยในบทที่ 9 นี้จะกล่าวถึงลักษณะโครงสร้างพื้นฐานและวิธีการผลิตไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบาง

### 9.1 โครงสร้างพื้นฐานของไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบาง (TFLED)

โครงสร้างพื้นฐานของไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบาง (TFLED) ที่พัฒนาขึ้นนี้แสดงในรูปที่ 9.1 (a) (ภาพตัดขวาง) และ (b) (ภาพ 3 มิติ) ซึ่งเป็นรอยต่อ p-i-n ของอะมอร์ฟิสมอสสารกึ่งตัวนำ ในโครงสร้าง p-i-n นี้ ชั้น p และ n ทำหน้าที่เป็นชั้นฉีดพาหะโฮลและอิเล็กตรอนตามลำดับเข้าสู่ชั้น i และชั้น i นี้ ทำหน้าที่เป็นชั้นเปล่งแสงที่เกิดจากการรวมตัวของโฮลและอิเล็กตรอน

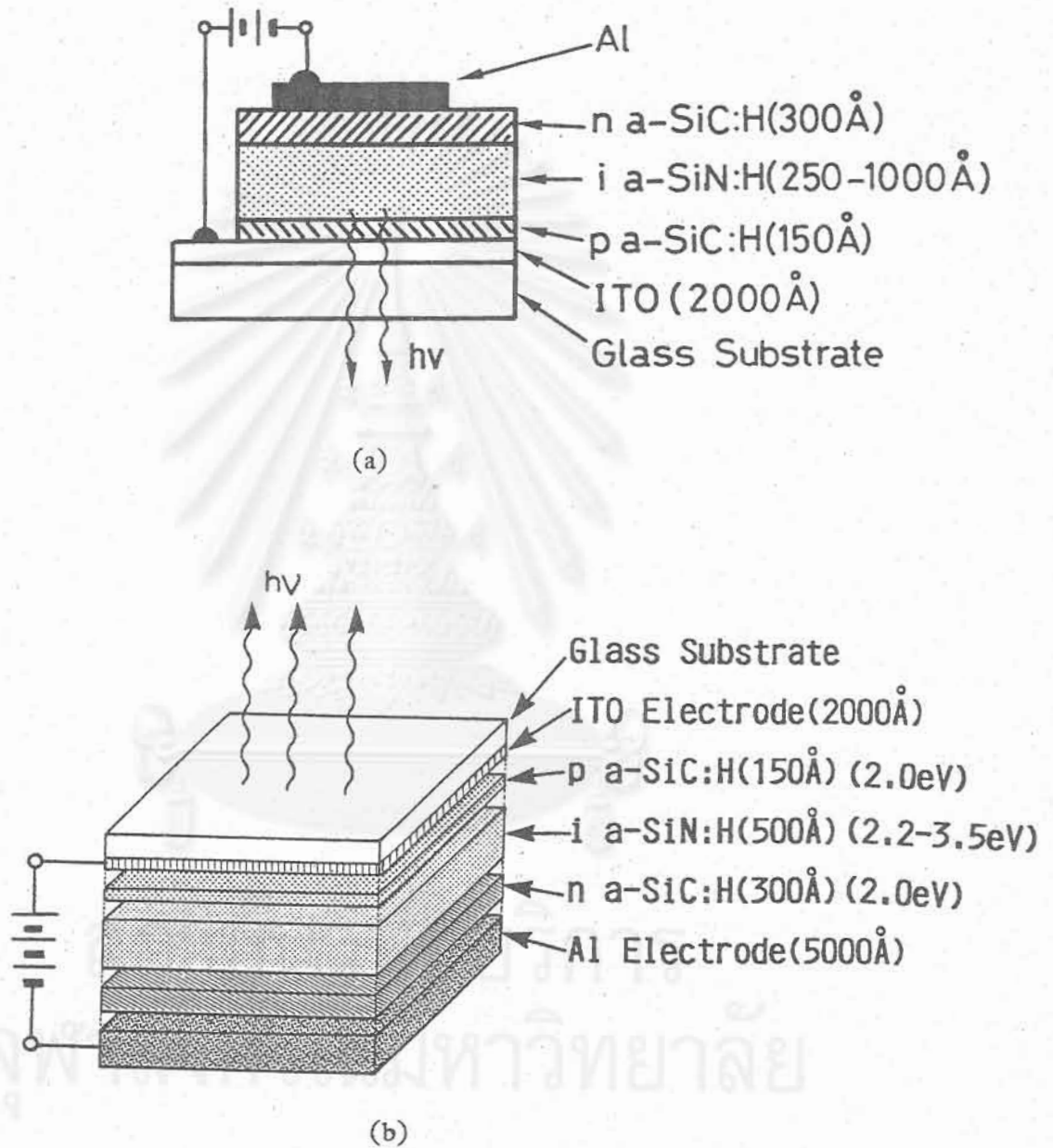
ในงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะให้ TFLED เปล่งแสงที่ตามนุษย์มองเห็น (Visible light) ดังนั้นขนาดช่องว่างพลังงานของชั้น i จึงควรกว้างกว่า 1.8 eV ในงานวิจัยนี้ได้เลือกให้ a-SiN:H เป็นชั้นเปล่งแสง (ชั้น i) และผลิตให้มีช่องว่างพลังงานกว้างกว่า 2.5 eV ส่วนชั้น p และ n นั้น เนื่องจาก a-SiN:H ได้ปรับให้เป็นชนิด p และ n ยากมาก (สภาพนำไฟฟ้าต่ำมาก) ดังนั้นในงานนี้จึงใช้ a-SiC:H เป็นชั้น p และ n แต่อย่างไรก็ตามอุปสรรคอย่างหนึ่งที่พบใน p a-SiC:H และ n a-SiC:H คือ ได้ปรับได้เฉพาะกรณีที่ช่องว่างพลังงานมีค่าไม่เกิน 2.0 eV (ดังได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 8)

รูปที่ 9.2 แสดงลักษณะแถบพลังงานของ TFLED ในสภาพสมดุลที่ยังไม่มีการไบแอส (a) และในสภาพกำลังถูกไบแอสตาม (b) เนื่องจากช่องว่างพลังงานของชั้น i a-SiN:H กว้างกว่าของชั้น p- และ n- a-SiC:H ดังนั้นการฉีดพาหะโฮลและอิเล็กตรอนเข้าสู่ชั้น i จึงต้องอาศัยวิธีการ tunneling ทะลุ barrier ที่ interface ของ p/i และ i/n เป็นหลัก

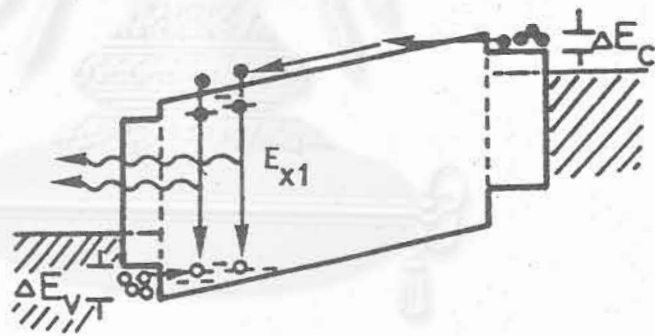
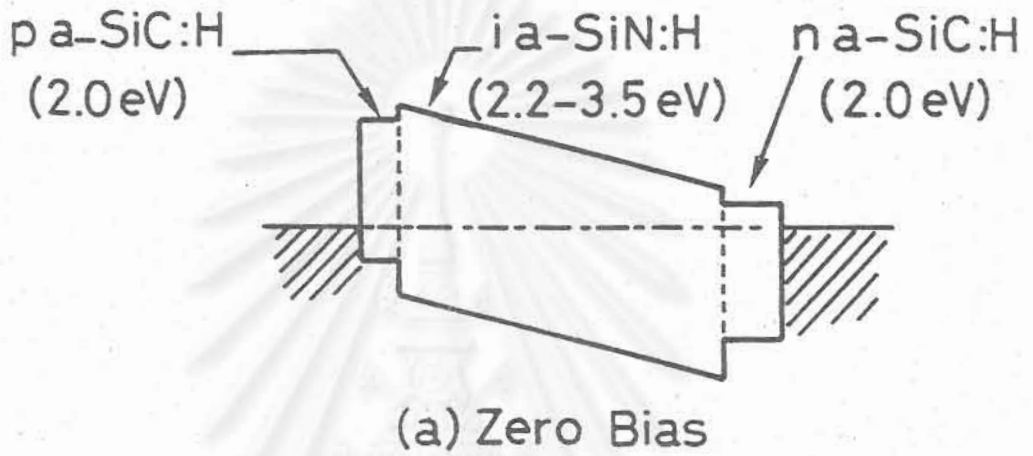
คุณสมบัติโดยธรรมชาติอย่างหนึ่งของอะมอร์ฟิสมอสสารกึ่งตัวนำคือ การมีระดับ localized states อยู่ภายในช่องว่างพลังงาน และระดับ localized states เหล่านี้มีอิทธิพลเป็นอย่างมากต่อคุณสมบัติทั้งทางไฟฟ้าและทางแสงของอะมอร์ฟิสมอสสารกึ่งตัวนำ

กระบวนการรวมตัวแบบเปล่งแสงของพาหะที่ถูกฉีดเข้าสู่ชั้น i คือ ทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะ relax จากแถบคอนดักชันและวาเลนซ์ตกลงสู่ระดับ localized states แล้วจึงรวมตัวกันที่





รูปที่ 9.1 โครงสร้างพื้นฐานของไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบาง (TFLED) ชนิด a-SiN:H ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัย (a) ภาพตัดขวาง และ (b) ภาพแบบ 3 มิติ



(b) Forward Bias

รูปที่ 9.2 ลักษณะแถบพลังงานของ TFLED ชนิด  $\text{a-SiN:H}$

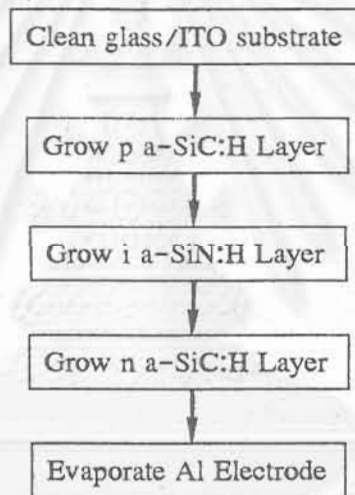
ระดับ localized states ดังนั้นค่าพลังงานโฟตอนของแสงที่เปล่งออกมาจึงมีค่าน้อยกว่าช่องว่างพลังงานเสมอ

รอยต่อของ p a-SiC:H/i a-SiN:H/n a-SiC:H จะถูกเคลือบอยู่บนแผ่นฐาน glass/ITO ด้านหลังสุดมีขั้วโลหะอะลูมิเนียมเคลือบการเปล่งแสงสังเกตได้จากด้านกระจก

เนื่องจาก a-SiN:H ทำหน้าที่เป็นชั้นเปล่งแสง ดังนั้นเพื่อความสะดวกจะขอเรียกชื่อสิ่งประดิษฐ์ว่า a-SiN:H TFLED

### 9.2 วิธีการประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางของ a-SiN:H

ขั้นตอนการผลิต a-SiN:H TFLED แสดงในรูปที่ 9.3 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 9.3 ขั้นตอนการผลิต TFLED ชนิด a-SiN:H

นำแผ่นฐานที่ทำจากแผ่นแก้ว/ITO ขนาด 2x2 cm<sup>2</sup> มาล้างให้สะอาด ใส่แผ่นฐานเข้าไปใน chamber ของระบบ glow discharge plasma CVD เพื่อปลูกฟิล์มของอะมอร์ฟัสชั้น p a-SiC:H/i a-SiN:H/n a-SiC:H ตามลำดับ

เงื่อนไขการปลูกฟิล์มอะมอร์ฟัสชั้นต่างๆ แสดงในตารางที่ 9.1 rf power source ใช้ความถี่ 13.56 MHz อุณหภูมิของแผ่นฐานขณะปลูกฟิล์มคือ 190 °C อุณหภูมิแผ่นฐานนี้เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญมากตัวหนึ่งที่จะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของ TFLED เช่น ถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไป หรือสูงเกินไปก็จะทำให้ประสิทธิภาพการเปล่งแสงของชั้น i a-SiN:H ไม่ดี

ตารางที่ 9.1 เงื่อนไขการปลูกฟิล์ม p a-SiC:H/i a-SiN:H/n a-SiC:H สำหรับ TFLED

Power Source	C-coupling, 13.56 MHz
rf Power	4 Watt
Substrate Temperature	190°C
Total Gas Pressure	1.0 Torr.
p-type a-SiC:H	$\text{SiH}_4/\text{CH}_4/\text{B}_2\text{H}_6 = 1.5/3.5/0.03$
i-type a-SiN:H	$\text{NH}_3/\text{SiH}_4 = 6\sim 10/3\sim 4$
n-type a-SiC:H	$\text{SiN}_4/\text{CH}_4/\text{PH}_3 = 1.5/3.5/0.03$
Cell Area	0.033 - 5 cm <sup>2</sup>

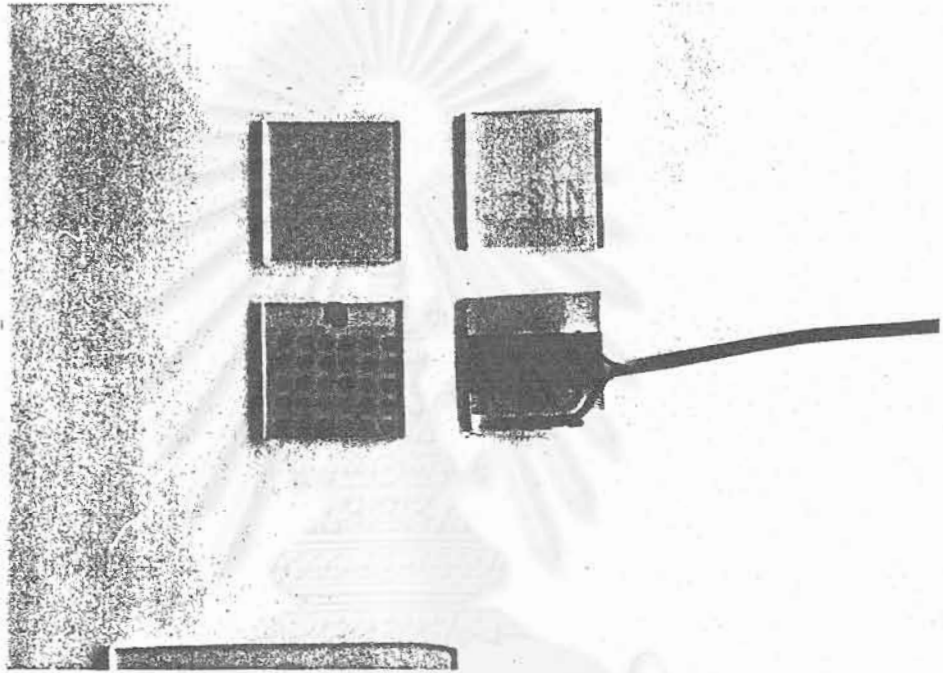
การปลูกชั้น p a-SiC:H ใช้ก๊าซผสมของ  $\text{SiH}_4 + \text{CH}_4$  และ  $\text{B}_2\text{H}_6$  เมื่อปลูกแต่ละชั้นเสร็จแล้วจะดูด chamber ให้เป็นสุญญากาศที่ประมาณ 0.01 torr.

การปลูกชั้น i a-SiN:H ใช้ก๊าซผสมของ  $\text{SiH}_4$  และ  $\text{NH}_3$

การปลูกชั้น n a-SiC:H ใช้ก๊าซผสมของ  $\text{SiH}_4 + \text{CH}_4$  และ  $\text{PH}_3$

เมื่อปลูกชั้น p-i-n เสร็จแล้วจะนำชิ้นงานไปเคลือบขั้วอะลูมิเนียมด้านบนสุด ขนาดพื้นที่การเปล่งแสงของ TFLED จะถูกกำหนดด้วยขนาดของขั้ว Al นี้

รูปที่ 9.4 แสดงภาพถ่าย TFLED ที่ผลิตได้บนแผ่นกระจกขนาด 2x2 cm<sup>2</sup> พื้นที่การเปล่งแสงจะมีขนาดเท่ากับขั้วอะลูมิเนียม



รูปที่ 9.4 ภาพถ่าย TFLED ชนิด a-SiN:H ที่ผลิตบนแผ่นกระจกขนาด  $2 \times 2 \text{ cm}^2$  พื้นที่การเปล่งแสงมีขนาดตามขั้ว Al รูปวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 mm

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 10

ลักษณะสมบัติพื้นฐานของไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางรอยต่อ  
p a-SiC:H/i a-SiN:H/n a-SiC:H

บทนำ

ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบาง (a-SiN:H TFLED) รอยต่อ p-i-n ที่ผลิตได้ในบทที่ 9 นั้นจะเปล่งแสงออกมาเมื่อเราป้อนแรงดันไบแอสแบบตามเข้าสู่ไดโอด ซึ่งเป็นการฉีดกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ไดโอดนั่นเอง การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานอาทิเช่น กลไกการฉีดพาหะ กลไกการเปล่งแสงจะเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้เราทราบว่าสิ่งประดิษฐ์ TFLED ที่เราสร้างขึ้นมานั้นมีคุณสมบัติเช่นไร และยังเป็นประโยชน์ต่อการนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของ TFLED ให้ดีขึ้นในโอกาสต่อไปได้อีก ในบทนี้จะกล่าวถึงลักษณะสมบัติ J-V ลักษณะสเปกตรัมการเปล่งแสงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง (B) ของ TFLED และกระแสไฟฟ้าฉีด ( $I_{inj}$ )

10.1 ลักษณะสมบัติ J-V และกลไกการฉีดพาหะใน a-SiN:H TFLED

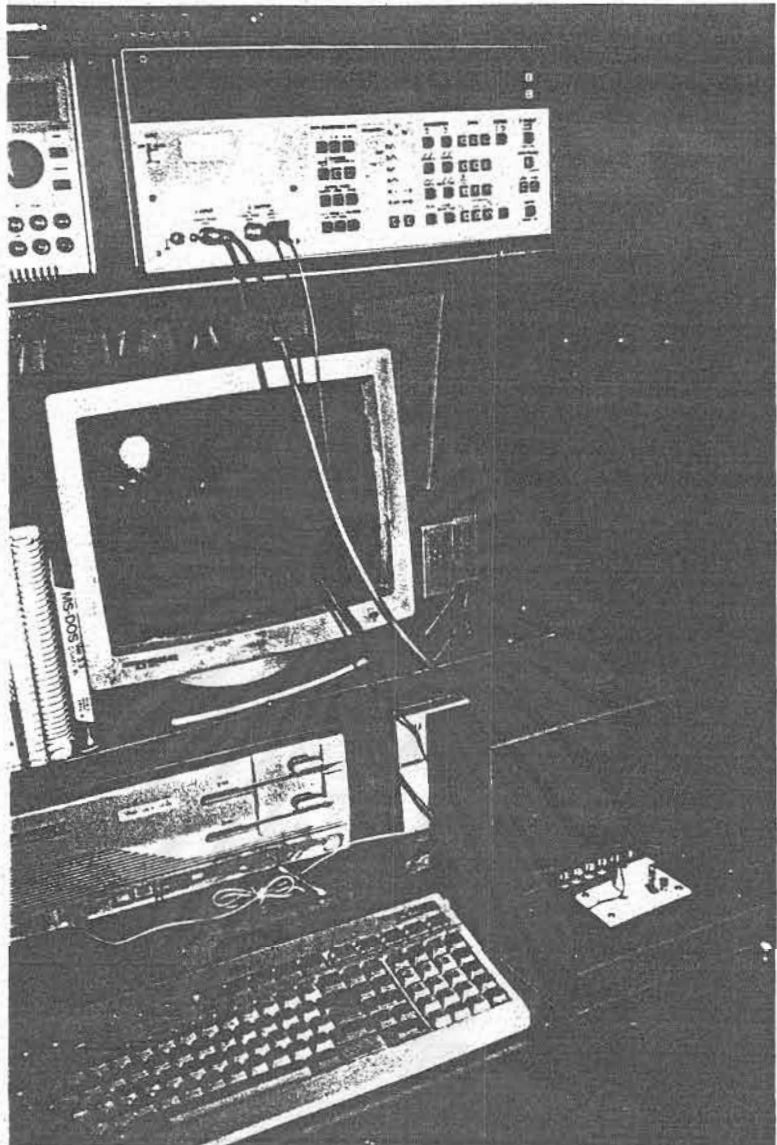
เนื่องจากช่องว่างพลังของ i a-SiN:H มีขนาดกว้างกว่าของ p และ n a-SiC:H ดังนั้นรอยต่อ p-i-n จึงมีลักษณะเป็นรอยต่อแบบ heterojunction ที่มีลักษณะเป็น "up hill" ดังนั้นจึงคาดว่าลักษณะสมบัติ J-V ตลอดจนกลไกของการฉีดพาหะใน TFLED ที่ผลิตนี้จึงแตกต่างไปจากไดโอดทั่วๆ ไป

รูปที่ 10.1 แสดงภาพลักษณะของเครื่องมือที่ใช้ในการวัดลักษณะสมบัติ J-V ประกอบด้วยอุปกรณ์ probe ที่ใช้กดเข็มลงบน TFLED และ pico-Ampmeter (HP 4140 B) ในการวัด J-V ได้ใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการวัดแบบอัตโนมัติ

รูปที่ 10.2 แสดงตัวอย่างผลการวัด J-V curve ของ TFLED สองตัว โดยที่ช่องว่างพลังงาน ( $E_{opt}$ ) ของชั้น i เท่ากับ 2.50 eV (เปล่งแสงสีแดง) และ 2.90 eV (เปล่งแสงสีเหลือง) ส่วนช่องว่างพลังงานของชั้น p และ n เท่ากับ 2.0 eV ความหนาของชั้น p a-SiC:H/i a-SiN:H/n a-SiC:H เท่ากับ 150 Å, 500 Å และ 300 Å ตามลำดับ

จากรูปที่ 10.2 นี้พบว่าลักษณะสมบัติ J-V ของ TFLED แต่ละตัวมีคุณสมบัติของการเป็นไดโอด กล่าวคือ กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการไบแอสตามมีค่ามากกว่าที่เกิดจากการไบแอสย้อนตัวอย่างอัตราส่วนของ rectification ratio ของ TFLED ที่ i a-SiN:H มีช่องว่างพลังงาน = 2.50 eV มีค่าสูงถึง  $10^2$  ที่แรงดันประมาณ 8 V

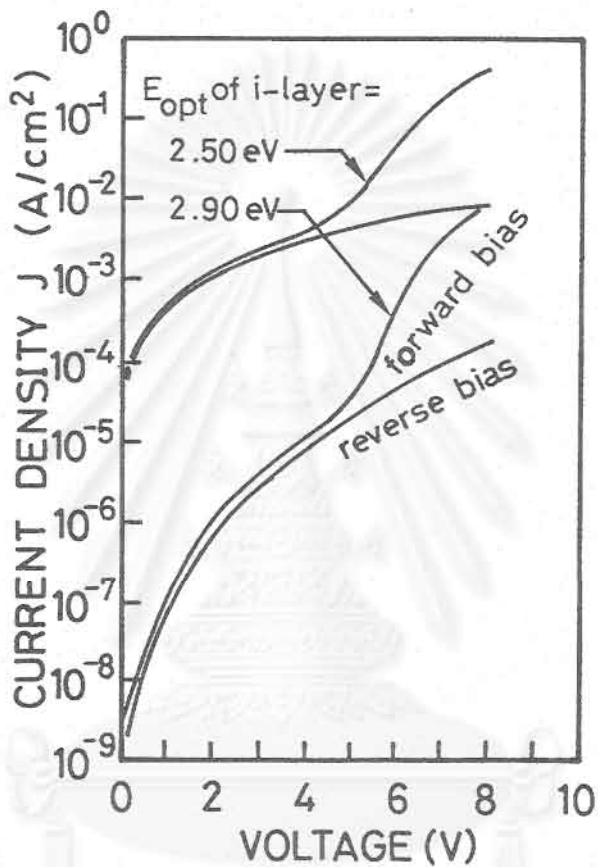
เป็นที่น่าสังเกตว่า เมื่อเปรียบเทียบ TFLED 2 ตัวนี้ TFLED ตัวที่ชั้น i มีช่องว่างพลังงานกว้าง จะมีกระแสไฟฟ้าไหลได้น้อยกว่า TFLED ที่ชั้น i มีช่องว่างพลังงานแคบ ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากสาเหตุสำคัญ 2 ประการคือ



รูปที่ 10.1 ภาพถ่ายชุดเครื่องมือสำหรับวัดลักษณะสมบัติไดโอด (J-V) ของ TFLED

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 10.2 ตัวอย่างผลการวัดลักษณะสมบัติ J-V ของ a-SiN:H TFLED ซึ่งเปล่งแสงสีแดง ( $E_{\text{opt}}$  ของชั้น i = 2.50 eV และสีเหลือง ( $E_{\text{opt}}$  ของชั้น i = 2.90 eV)

1. เนื่องจากช่องว่างพลังงานของชั้น i มีค่ากว้างกว่าของชั้น p และ n (ดูรูปที่ 9.2) ดังนั้น การฉีดกระแสไฟฟ้าขณะไบแอสตาม จึงจำเป็นต้องอาศัยวิธีการของ tunneling effect ผ่าน notch barrier ที่ interfaces ของรอยต่อ p/i และ i/n และถ้าช่องว่างพลังงานของชั้น i กว้างขึ้น จะทำให้ notch barrier สูงขึ้นจึงทำให้ tunneling efficiency ลดลง ดังนั้นในโครงสร้างที่ notch barrier มีค่ามาก จึงทำให้กระแสไฟฟ้าไหลได้น้อย

2. เนื่องจาก TFLED ตัวที่ชั้น i มีช่องว่างพลังงานกว้างจะมีค่าความต้านทานของชั้น i สูงกว่าค่าความต้านทานของ TFLED ตัวที่ชั้น i มีช่องว่างพลังงานแคบ

เพื่อเป็นการพิสูจน์ว่า การฉีดกระแสไฟฟ้าขณะไบแอสตามนั้นเป็นการทำให้พาหะถูกฉีดจากชั้น p/n เข้าสู่ชั้น i ด้วยวิธีการ tunneling ผ่าน notch barrier ที่ p/i หรือ/และ i/n interfaces จึงได้มีการ plot กราฟในลักษณะของ Fowler-Nordheim ตามสมการ [4]

$$J \propto E^2 \exp \left[ - 4 \sqrt{2m^*} (\phi_B)^{3/2} / 3q\hbar E \right] \quad (10.1)$$

โดยที่ J : current density

E : applied electric field across the i-layer in a forward direction

$m^*$  : effective mass of the carriers

q : electron charge

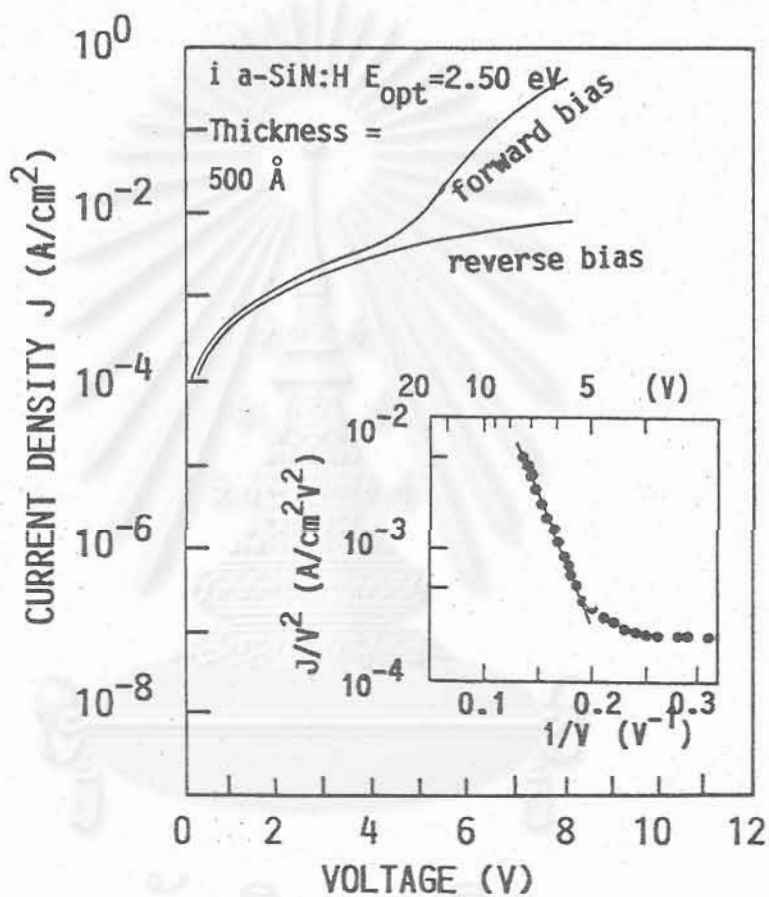
h : Planck's constant

$\phi_B$  : barrier height for tunneling

รูป inset ในรูปที่ 10.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\log (J/V^2)$  และ  $1/V$  ของ TFLED สีแดง โดยที่ V เป็น forward bias voltage เป็นที่น่าสังเกตว่า กราฟนี้มีลักษณะเป็นเส้นตรงในย่านที่ V มีค่าสูงกว่า 5 V ซึ่งเป็นแรงดันจำเป็นในการฉีดกระแส การที่กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงเป็นการสอดคล้องกับสมการที่ (10.1) ซึ่งแสดงว่า กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน TFLED เป็น tunneling current

ต่อไปถ้าเราสมมติให้ว่า กระแสไฟฟ้าที่ไหลส่วนใหญ่เป็นกระแสของพาหะอิเล็กตรอน จะทำให้เราได้ข้อมูลว่าความสูงของ barrier  $\phi_B$  (สมการที่ 10.1) สำหรับการ tunneling นั่นก็คือ ความแตกต่างของระดับพลังงานของ conduction band ที่ interface ของชั้น i และ n นั่นเอง จะกำหนดให้  $\Delta E_C$  แสดงค่า conduction band discontinuity ของชั้น i และ n

จากสมการที่ 10.1 ความลาดของกราฟเส้นตรงในรูปที่ 10.3 จะให้ข้อมูลค่า  $\phi_B$  (นั่นคือ  $\Delta E_C$ ) จากรูปที่ 10.3 สามารถวัดได้ว่า



รูปที่ 10.3 ลักษณะสมบัติ J-V ของ a-SiN:H TFLED ซึ่งเปล่งแสงสีแดง และ inset ในรูปเป็น plot ของ  $\log(J/V^2)$  vs  $1/V$  ในกรณีไบแอสตาม

$$\begin{aligned} \Delta E_c \text{ ที่ } i/n \text{ interface} &= 0.20 \text{ eV} \\ \text{ดังนั้น } \Delta E_v \text{ ที่ } i/n \text{ interface} &= 2.50 - 2.0 - 0.2 \\ &= 0.30 \text{ eV} \end{aligned}$$

นั่นคือ อิเล็กตรอนจากชั้น n จะต้อง tunnel ผ่านกำแพงศักย์ที่มีความสูงถึง 0.20 eV จึงจะสามารถวิ่งเข้าสู่ชั้น i ได้

ขณะเดียวกันถ้าเราสมมติว่า electron affinity ของชั้น p = ชั้น n เราจะได้ค่า valence band discontinuity ที่ p/i interface ว่ามีค่าเท่ากับ  $2.50 - 2.0 - 0.2 = 0.30 \text{ eV}$

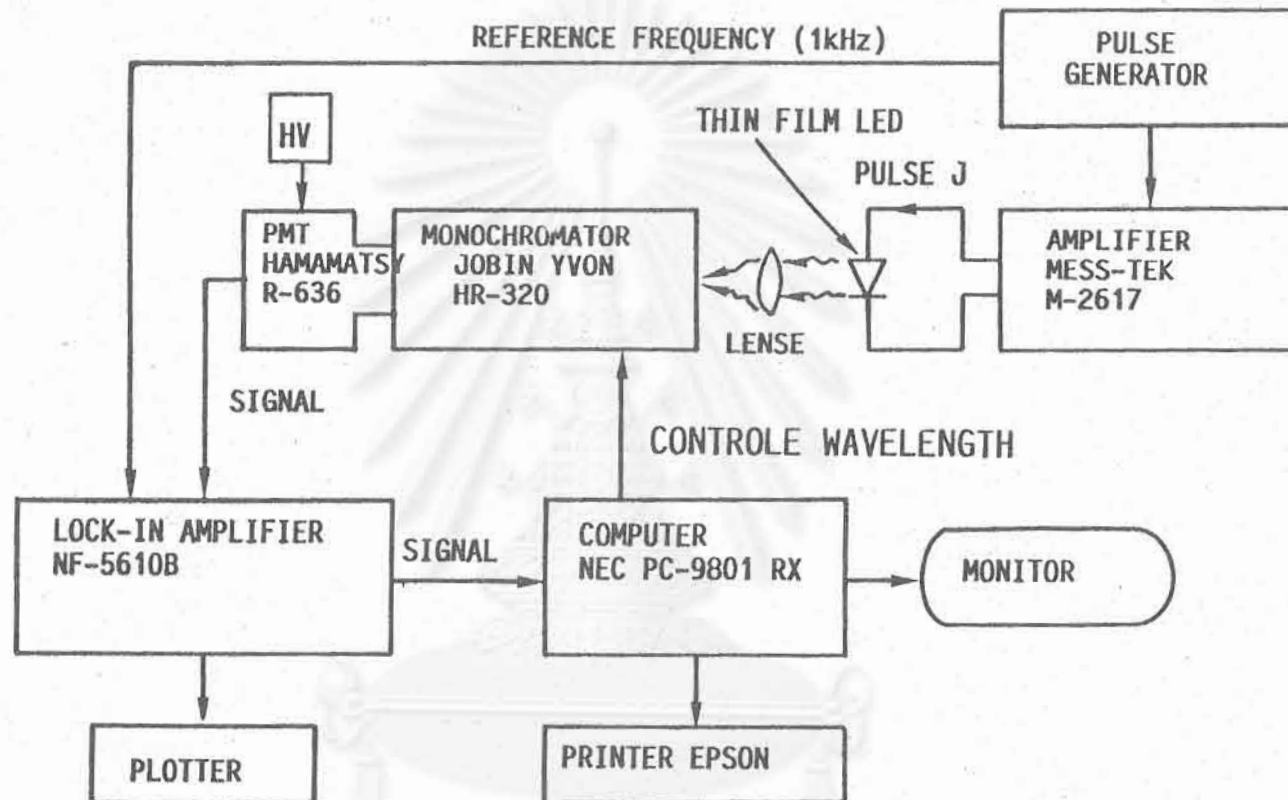
ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบความสูงของกำแพงศักย์ของอิเล็กตรอน ( $\Delta E_c$ ) และของโฮล ( $E_v$ ) พบว่า  $\Delta E_v > \Delta E_c$  ดังนั้นอิเล็กตรอนจึง tunneling เข้าสู่ชั้น i ได้ง่ายกว่าโฮล เพราะฉะนั้นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน TFLED ส่วนใหญ่จึงได้แก่กระแสของอิเล็กตรอน ส่วนกระแสของโฮลนั้นไหลได้น้อยกว่ามาก ด้วยเหตุนี้จึงกล่าวได้ว่า คุณสมบัติการเปล่งแสงนั้นจะถูกกำหนดด้วยพฤติกรรมของโฮลเป็นส่วนใหญ่ ข้อมูลนี้จะมีความสำคัญยิ่งต่อคุณสมบัติด้านการเปล่งแสงของ TFLED ดังจะได้กล่าวต่อไป

### 10.2 สเปกตรัมการเปล่งแสงของ a-SiN:H TFLED

สเปกตรัมการเปล่งแสงจาก TFLED วัดได้โดยใช้เทคนิคของ monochromator และ lock-in amplifier ดังแสดงวิธีการวัดในรูปที่ 10.4 (a) และ (b) ใช้ photomultiplier รุ่น Hamamatsu R636 เป็นตัวรับแสง การวัดกระทำที่อุณหภูมิห้อง

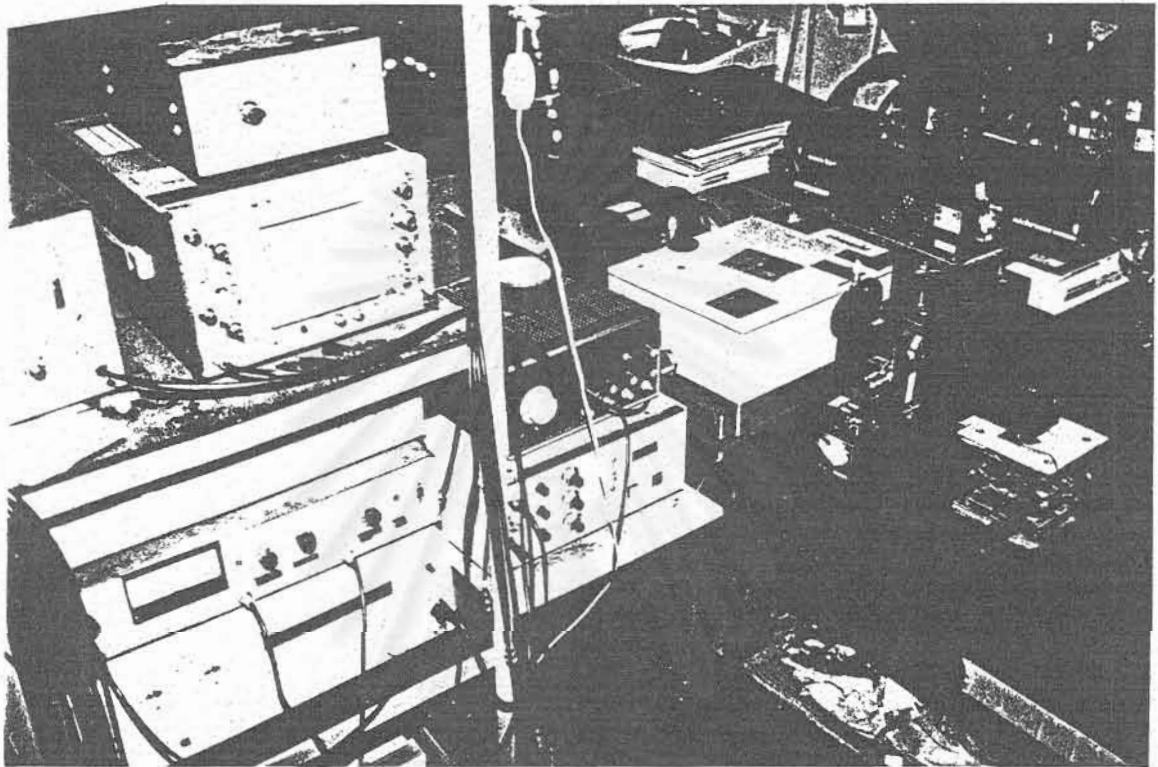
ในงานวิจัยนี้ได้ประสบความสำเร็จในการประดิษฐ์ TFLED ที่เปล่งแสงสีแดง และสีเหลือง โดยมีชั้น i a-SiN:H ซึ่งเป็นชั้นเปล่งแสงซึ่งมีค่าช่องว่างพลังงาน 2.5 eV และ 2.9 eV ตามลำดับ รูปที่ 10.5 แสดงสเปกตรัมการเปล่งแสงจาก TFLED สีแดงและสีเหลือง การวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงวัดเมื่อความเข้มข้นของกระแสฉีดมีค่าประมาณ  $800 \text{ mA/cm}^2$  สเปกตรัมการเปล่งแสงสีแดงมีค่าขอดอยู่ที่ พลังงานโฟตอนประมาณ 1.8 eV และมีค่า Full Width at Half Maximum (FWHM) ประมาณ 0.26 eV ส่วนสเปกตรัมการเปล่งแสงสีเหลืองมีลักษณะกว้างซึ่งมีค่าขอดอยู่ที่พลังงานโฟตอนประมาณ 2.2 eV และมีค่า FWHM ประมาณ 0.58 eV ความสว่างของ TFLED เหล่านี้สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

เมื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานโฟตอนของขอดของสเปกตรัมกับช่องว่างพลังงาน พบว่าค่าพลังงานโฟตอนของขอดของสเปกตรัมนั้นมีค่าน้อยกว่าช่องว่างพลังงาน เหตุผลเพราะว่า การเปล่งแสงในวัสดุอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำนั้นเกิดจากการ transition ของพาหะอิเล็กตรอนและโฮลระหว่าง localized states ซึ่งกระจายอยู่ภายในช่องว่างพลังงาน นอกจากนี้จากการที่สเปกตรัมในรูปที่ 10.5 ค่อนข้างกว้าง จึงทำให้ทราบว่า radiative recombination centers นั้นค่อนข้างจะกระจายกว้างภายในช่องว่างพลังงาน



10.4 (a)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 10.4 แผนผังวิธีการวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงจาก TFLED โดยใช้เทคนิคของ monochromator และ lock-in amplifier (a) และภาพถ่ายแสดงเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการวัด (b)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถ้าจะวิเคราะห์รายละเอียดเกี่ยวกับตำแหน่ง peak energy ของสเปกตรัมของการเปล่งแสงของ TFLED จะได้ผลที่น่าสนใจดังต่อไปนี้

ยกตัวอย่างกรณี TFLED ที่เปล่งแสงสีแดงซึ่งมี  $E_{opt}$  ของชั้น  $i$  a-SiN:H = 2.50 eV ถ้าเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของโฟโตลูมิเนสเซนซ์ในรูปที่ 7.6 และ 7.7 (บทที่ 7) ซึ่งในกรณีที่  $E_{opt}$  ของ  $i$  a-SiN:H = 2.50 eV ถ้าใช้แสงที่มีพลังงานโฟตอน = 2.20 eV กระตุ้น PL จะได้สเปกตรัม PL ที่มี peak อยู่ที่ 1.8 eV ซึ่งค่า 1.8 eV นี้ตรงกับ peak EL ของ TFLED พอดี

จากข้อหัวข้อที่ 10.1 ได้พบแล้วว่าในการฉีดกระแสอิเล็กตรอนสามารถวิ่งทะลุกำแพงศักย์ของชั้น  $i$  เข้าไปสู่ conduction band ของชั้น  $i$  ได้ แต่โฮลจะถูกฉีดเข้าสู่ระดับ deep localized states ของชั้น  $i$  เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นความแตกต่างของระดับพลังงานของอิเล็กตรอนและโฮลที่ถูกฉีดจึงมีค่าเท่ากับ (ดูรูปที่ 10.6)

$$\begin{aligned} E_{x1} &= E_{opt}(i) - \Delta E_v(\text{at } p/i) & (10.2) \\ &= 2.50 \text{ eV} - 0.30 \text{ eV} \\ &= 2.2 \text{ eV} \end{aligned}$$

ค่าระดับพลังงานกระตุ้น 2.2 eV นี้ ทำให้อุดพลังงานของสเปกตรัม การเปล่งแสงของ TFLED อยู่ที่ 1.8 eV ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลจาก PL ดังนั้นกลไกของการฉีดพาหะจึงสรุปได้ว่า

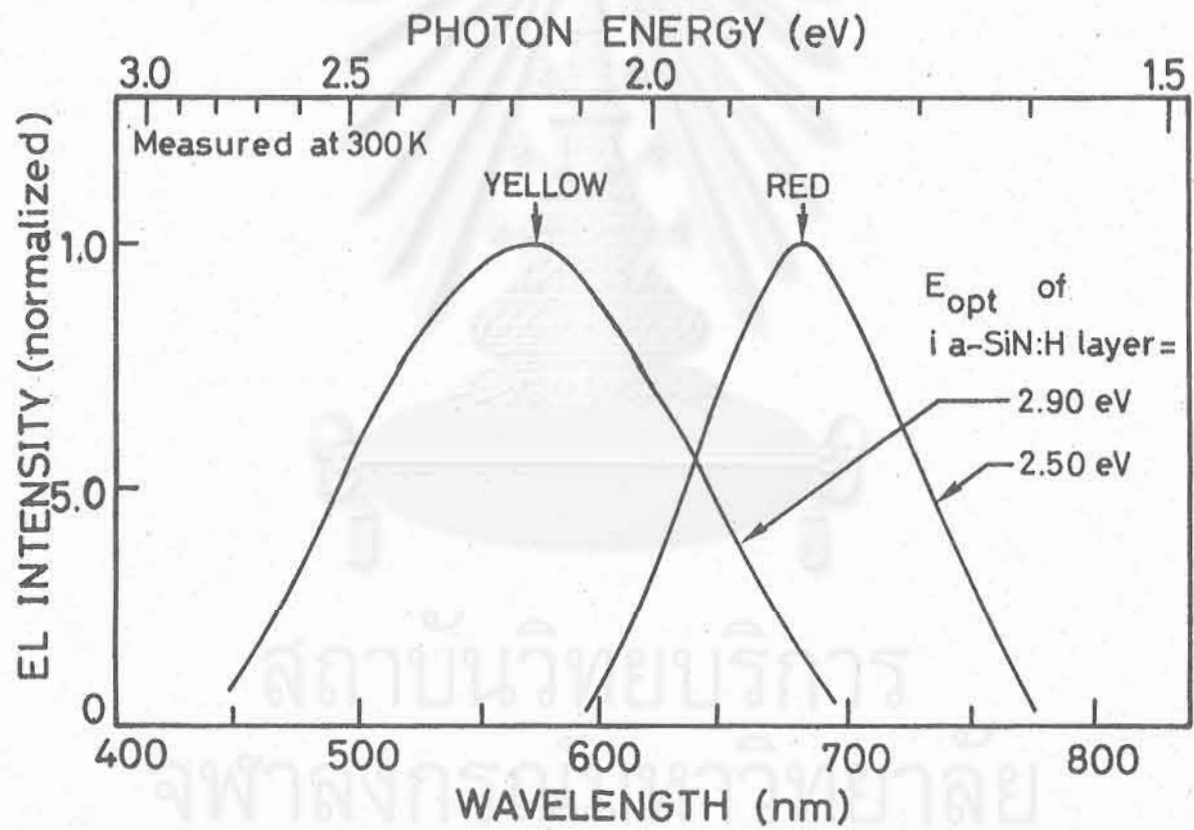
“ในสถานะการไบแอสตาม อิเล็กตรอนถูกฉีดจาก conduction band ในชั้น  $n$  a-SiC:H ให้วิ่ง tunnel ผ่านกำแพงพลังงานศักย์ และวิ่งไปสู่ conduction band ในชั้น  $i$  a-SiN:H ได้ ส่วนโฮลนั้นถูกฉีดจาก valence band ในชั้น  $p$  a-SiC:H ให้วิ่ง tunnel เข้าไปสู่ deep localized states ในชั้น  $i$  a-SiN:H และโฮลรวมตัวกับอิเล็กตรอนที่ระดับ deep localized states นั้น (ก่อนที่โฮลจะสามารถถูกกระตุ้นขึ้นไป valence band ในชั้น  $i$  a-SiN:H)”

ดังนั้นจากข้อสรุปนี้ ระดับพลังงานของการฉีดโฮลจะเป็นตัวกำหนดลักษณะสเปกตรัมของ TFLED และประสิทธิภาพของการฉีดโฮลจะเป็นตัวกำหนดความสว่างของ TFLED ด้วย ดังนั้นในอนาคตการปรับปรุงคุณภาพของชั้น  $p$  a-SiC:H (เพิ่มขนาด  $E_{opt}$  และเพิ่ม dark conductivity) จึงเป็น topics ที่สำคัญมากต่อการเพิ่มความสว่างของ TFLED

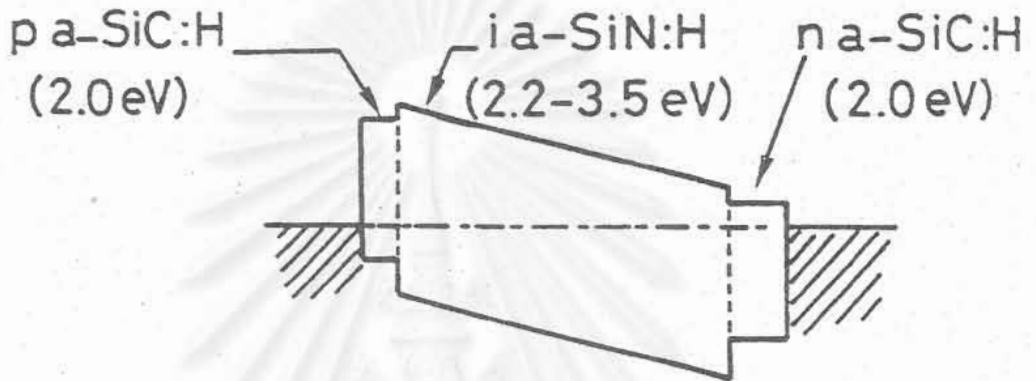
### 10.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างและกระแสไฟฟ้าที่ฉีดเข้าสู่ a-SiN:H TFLED

การเปล่งแสงของ TFLED เกิดจากการรวมตัวของโฮลและอิเล็กตรอนที่ถูกฉีดเข้าสู่ TFLED ถ้าเพิ่มกระแสไฟฟ้าก็จะทำให้ความสว่างของ TFLED เพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า (J) และความสว่าง (B) โดยทั่วไปสามารถแสดงได้ด้วยสมการ

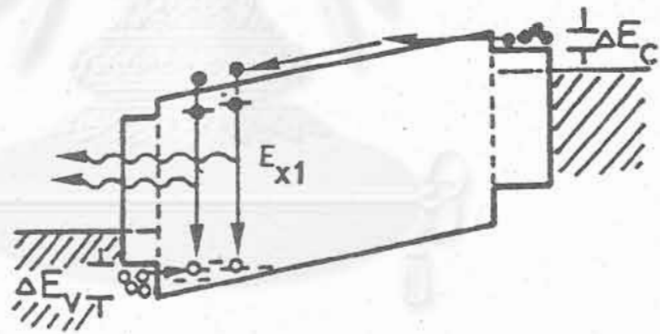




รูปที่ 10.5 สเปกตรัมการเปล่งแสงจาก a-SiN:H TFLED ที่เปล่งแสงสีแดง และสีเหลือง วัดที่อุณหภูมิห้อง



(a) Zero Bias



(b) Forward Bias

รูปที่ 10.6 แผนภูมิแถบพลังงานของ  $a\text{-SiN:H}$  TFLED ขณะกำลังถูกไบแอสตาม และจุดพาหะ  $E_{x1}$  ในรูปแสดงความแตกต่างของระดับพลังงานของ อิเล็กตรอน และโฮลที่ถูกกระตุ้นให้ TFLED เปล่งแสง



$$B \propto J^n \quad \text{โดยที่ } 0 < n < 2$$

(10.3)

ค่าดัชนี  $n$  ที่ได้จากการทดลองจะมีความสำคัญที่จะช่วยทำให้เราทราบกลไกการรวมตัวของพาหะ

ในกรณีของผลึก LED กระแสไฟฟ้าที่ไหลส่วนใหญ่เป็น diffusion current ดังนั้น ดัชนี  $n$  มีค่า = 2 กรณี low current และ  $n = 1$  กรณี high current [2]

แต่ในกรณี amorphous TFLED นี้ สถานการณ์ไม่เหมือนกัน เพราะว่าการฉีดกระแสไฟฟ้าเป็น drift type และยังต้องอาศัยปรากฏการณ์ tunnel ด้วย ดังนั้นการวิเคราะห์จึงต้องอาศัยวิธีพิเศษซึ่งได้คิดค้นขึ้นใหม่ดังจะได้แสดงวิธีคำนวณในหัวข้อที่ 10.3.2 ต่อไป

### 10.3.1 ผลการวัดความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างและกระแสไฟฟ้า

การวัดความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างและกระแสไฟฟ้าของ TFLED ที่ผลิตได้ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ และใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการวัดอย่างอัตโนมัติดังแสดงในรูปที่ 10.7 (a)-(c)

เริ่มแรก TFLED จะถูกบรรจุลงในภาชนะที่กันมิให้แสงจากภายนอกเข้า แล้วใช้ probe กดลงบนขั้วโลหะอะลูมิเนียม ส่วนขั้ว ITO นั้นใช้ ultrasound bonder บัดกรีลวดไฟฟ้าให้ติดกับสายไฟฟ้า จากนั้นต่อสายไฟฟ้าไปยังเครื่องกำเนิดกระแส/แรงดัน (Advantest รุ่น TR-6143) ด้านแสงเอาท์พุทของ TFLED (ด้านกระจก) ทิศหน้าไปสู่ detector ซึ่งได้แก่ photomultiplier (Hamamatsu R636) เอาท์พุทของ detector ต่อไปสู่ pico Ampmeter และคอมพิวเตอร์ขณะเดียวกัน ก็ใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดกระแส/แรงดัน

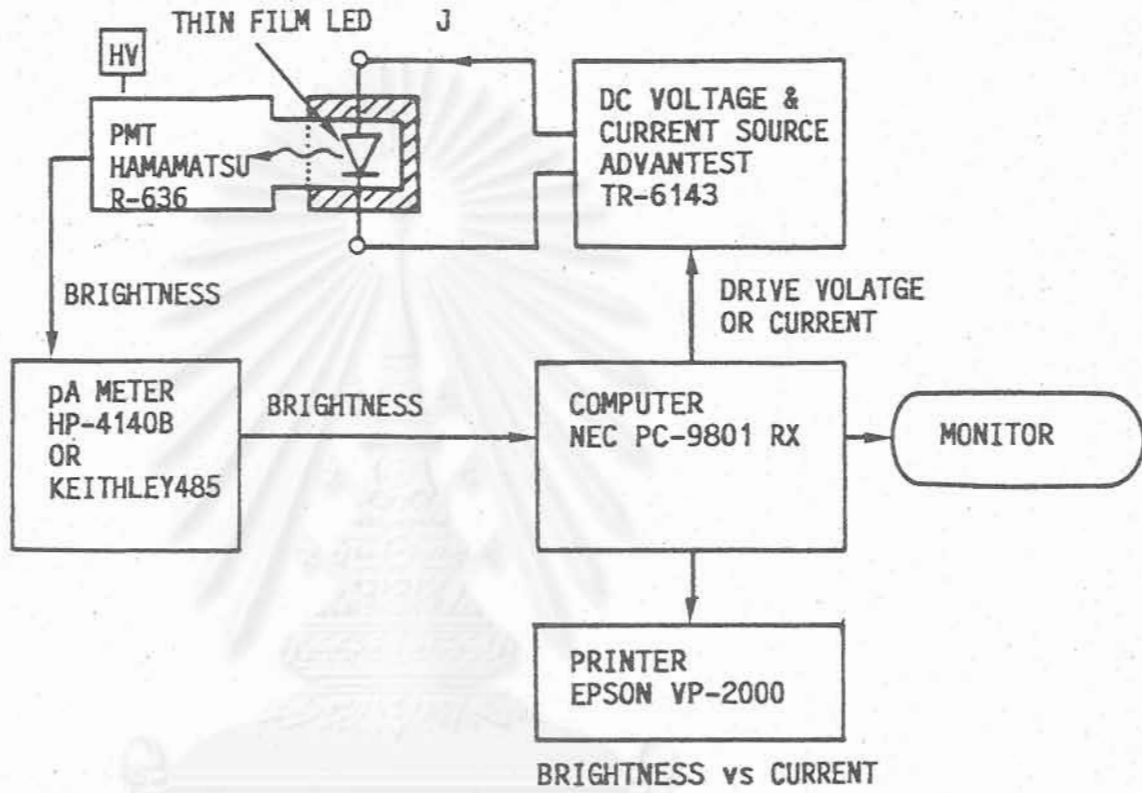
การกำหนดค่าหน่วยความสว่าง  $\text{cd/m}^2$  นั้นได้ใช้ brightness meter เป็นตัว calibration ดังแสดงภาพในรูปที่ 10.8

ในการวัดนั้นจะให้คอมพิวเตอร์สั่งให้เครื่องกำเนิดแรงดันป้อนแรงดันไบแอสตามเข้าสู่ TFLED จากแรงดันต่ำเช่น 0 V ไปถึงค่าที่เหมาะสมเช่น 10 V โดยเพิ่มแรงดันทีละ step แบบ DC เช่น 0.2 V และอ่านค่ากระแสไฟฟ้า ( $J_{inj}$ ) ที่ไหล และความสว่าง (B) ของ TFLED และ plot เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง B และ  $J_{inj}$

พื้นที่ของการเปล่งแสงมีค่าประมาณ  $0.033 \text{ cm}^2$  หน่วยของ  $J_{inj}$  จะใช้เป็น  $\text{mA/cm}^2$

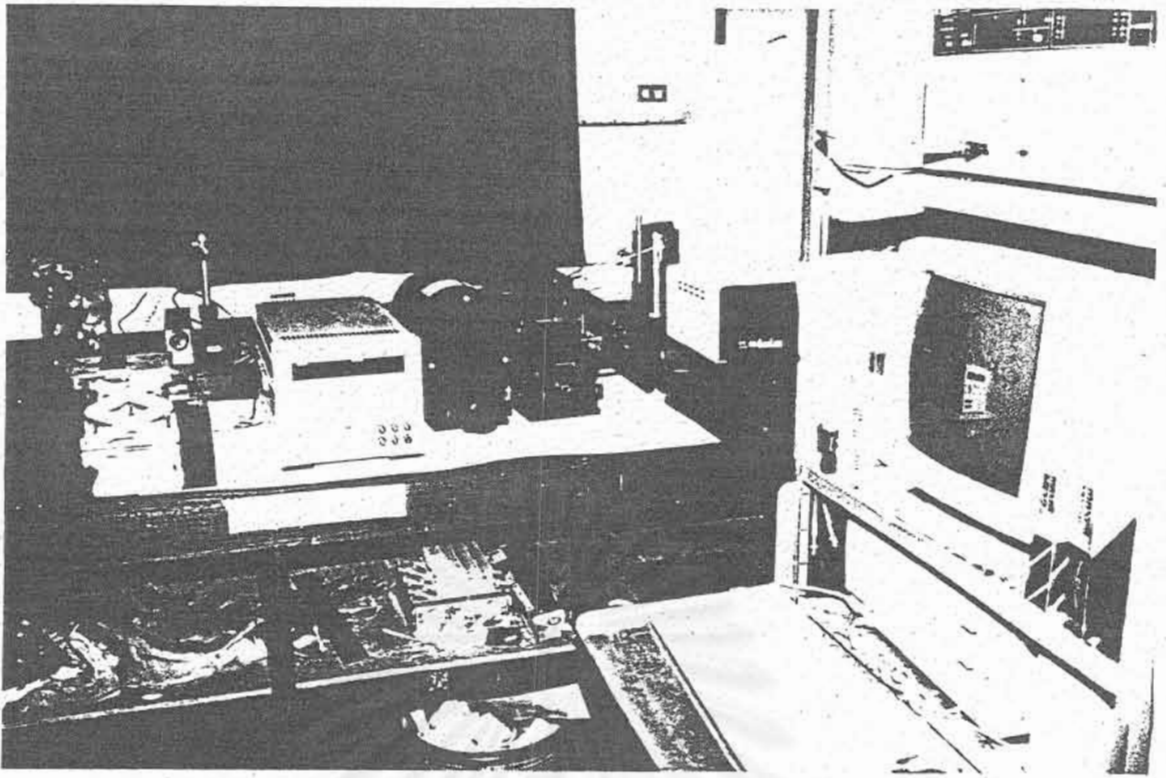
รูปที่ 10.9 แสดงผลการวัดความสัมพันธ์  $B-J_{inj}$  (โดยใช้สเกล log-log) ของ a-SiN:H TFLED สีแดงและสีเหลือง ซึ่งมี  $E_{opt}$  ของ i-layer เท่ากับ 2.50 eV และ 2.90 eV ตามลำดับ ทำการวัดที่อุณหภูมิห้อง

เมื่อ  $J_{inj}$  เพิ่มจากประมาณ  $20 \text{ mA/cm}^2$  ไปสู่ระดับ  $3000 \text{ mA/cm}^2$  ทำให้ความสว่างเพิ่มขึ้น จากระดับ  $10^{-3} \text{ cd/m}^2$  ไปสู่ระดับ  $0.5 \text{ cd/m}^2$  ความสัมพันธ์ระหว่าง B และ  $J_{inj}$



(a)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

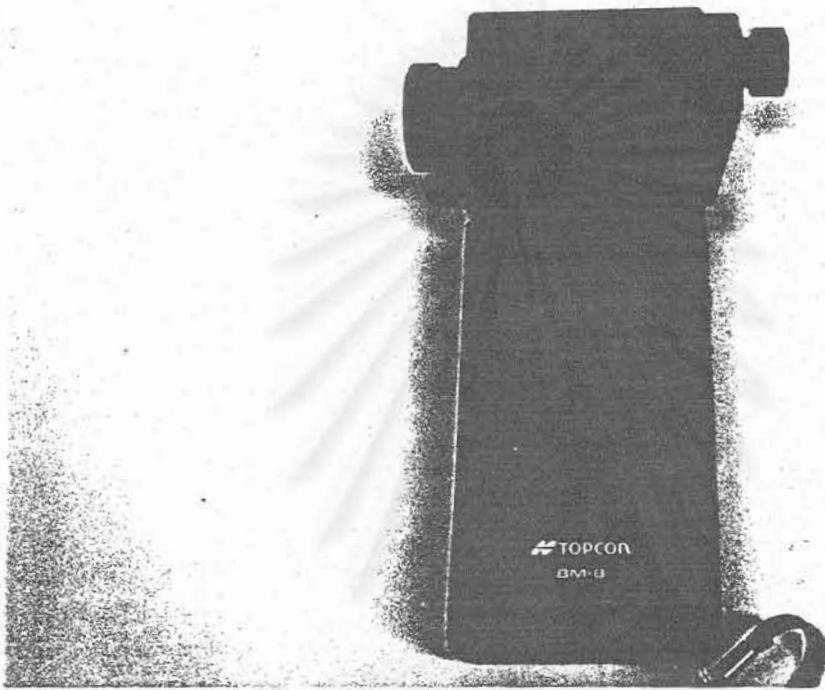


(b)



(c)

รูปที่ 10.7 ระบบเครื่องมือที่ใช้วัดความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างของ TFLED และกระแสไฟฟ้าฉีดซึ่งมีคอมพิวเตอร์ควบคุมการวัดได้อย่างอัตโนมัติ โดยรูป (a) แผนผังวิธีการวัด (b) ภาพถ่ายเครื่องมือรูปอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ และ (c) ภาพถ่ายกล่องบรรจุ TFLED เพื่อติดตั้งในการวัด



รูปที่ 10.8 ภาพถ่ายเครื่องมือวัดความสว่าง (brightness meter) ของดิสเพลย์บาง  
เรียบ ให้ผลการวัดมีหน่วยเป็น  $\text{cd}/\text{m}^2$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่อนข้างเป็นแบบเชิงเส้น โดยมีความลาดประมาณ 1 ในบริเวณที่กระแสมีค่าสูงมาก ๆ สังเกตพบว่าความสว่างจะเริ่มอืดตัว

ความสว่างหรือการเปล่งแสงของ TFLED ทั้ง 2 ตัวนี้สามารถมองเห็นได้ด้วยตาในห้องที่มีแสงสลัว จะเริ่มเห็นเมื่อความสว่างมีค่าสูงกว่าประมาณ  $0.01 \text{ cd/m}^2$  ความสว่างสูงสุดที่ได้อยู่ในระดับ  $0.1 \sim 1 \text{ cd/m}^2$

เป็นที่น่าสังเกตว่า TFLED สีเหลืองมีความสว่างน้อยกว่า TFLED สีแดง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า

1. TFLED สีเหลืองต้องใช้ชั้น  $i$  a-SiN:H ที่มี  $E_{opt}$  กว้างกว่าของ TFLED สีแดง ซึ่ง  $i$  a-SiN:H ที่มี  $E_{opt}$  กว้าง จะมี defect density (ESR spin density) มากกว่า  $i$  a-SiN:H ที่มี  $E_{opt}$  แคบ ข้อมูลเกี่ยวกับ ESR ได้กล่าวไว้ชัดเจนแล้วในรูปที่ 4.24 ในบทที่ 4
2. TFLED สีเหลือง ต้องใช้สนามไฟฟ้าไบแอสสูงกว่า TFLED สีแดง การใช้สนามไฟฟ้าสูงกว่ามีผลเสียทำให้เกิดการกระตุ้นพาหะให้กระโดดจาก localized states กลับขึ้นไปสู่ conduction หรือ valence band ได้ง่ายด้วยปรากฏการณ์ Pool-Frenkel ดังแสดงโมเดลในรูปที่ 10.10 ด้วยเหตุนี้ภายใต้สนามไฟฟ้าสูง ทำให้ recombination rate ของพาหะลดลง อนึ่งผลการวัดการขึ้นกับสนามไฟฟ้าของความสว่างของโฟโตลูมิเนสเซนซ์ในรูปที่ 7.8 และ 7.9 ในบทที่ 7 เป็นการยืนยันการวิเคราะห์นี้ได้ดี

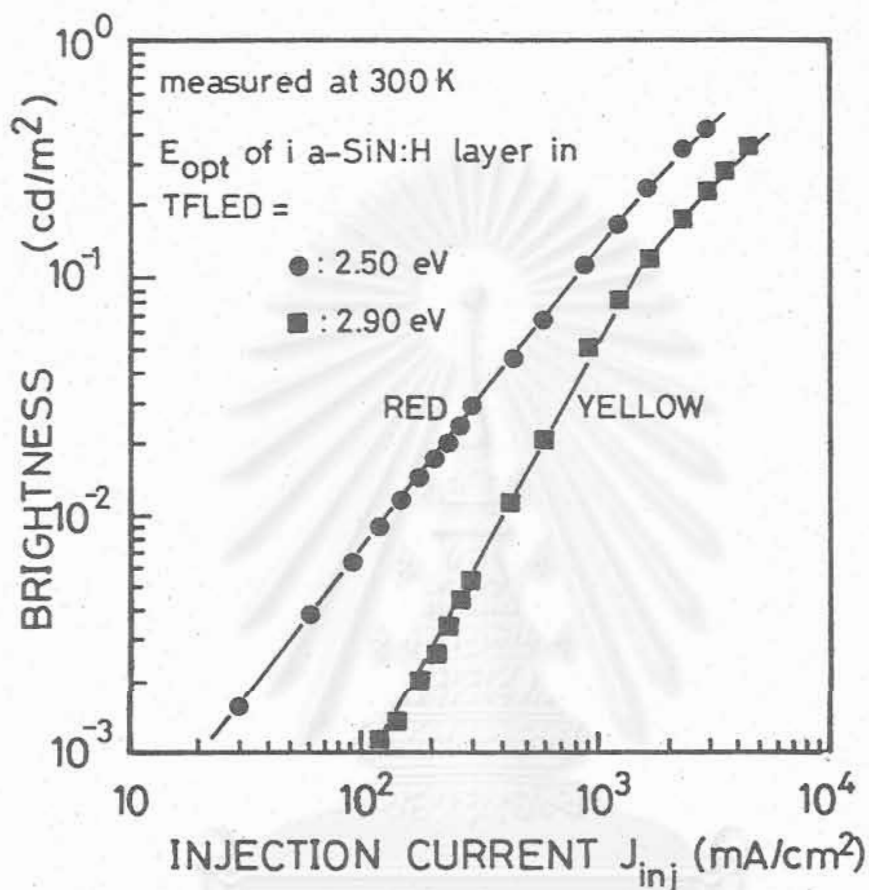
ความสว่างของสิ่งประดิษฐ์เปล่งแสงที่จะเห็นได้ชัดเจนในห้องที่สว่างควรอยู่ในระดับที่สูงกว่า  $100 \text{ cd/m}^2$  ดังนั้นเพื่อที่จะให้ TFLED ใช้งานเป็นดิสเพลย์ได้ดี จึงต้องมีการปรับปรุงความสว่างให้สูงขึ้นอีกต่อไป ในงานวิจัยเล่มนี้ได้มีการปรับปรุงความสว่างโดยการหาค่าความหนาที่เหมาะสมของชั้น  $i$  ดังจะกล่าวถึงในบทที่ 11 และนอกจากนั้นจะได้มีการดำเนินการด้วยวิธีอื่นๆ อีกในงานวิจัยระยะที่ 2 ต่อไป

### 10.3.2 การวิเคราะห์กลไกการฉีดพาหะและกลไกการรวมตัวของพาหะใน a-SiN:H TFLED

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างและกระแสไฟฟ้าฉีดของ TFLED ที่ผลิตได้และจะได้เปรียบเทียบกับผลการทดลองในหัวข้อที่ 10.3.1 ด้วย

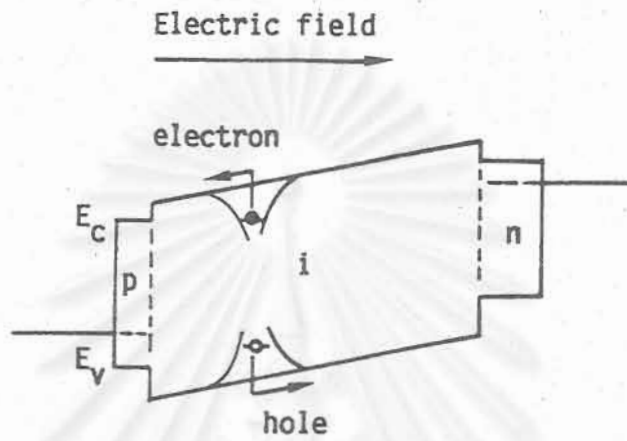
กำหนดให้ p-i-n TFLED มีความหนาในแกน  $x$  โดยให้ชั้น  $i$  เริ่มจาก  $x = 0$  (p/i interface) และระนาบ  $y-z$  มีขนาดใหญ่ไม่สิ้นสุดดังแสดงในรูปที่ 10.11 ชั้น  $i$  หนาถึง  $x = d$  เนื่องจากได้เคยพิสูจน์มาแล้วว่า กระบวนการฉีดพาหะในอะมอร์ฟัส p-i-n TFLED นี้ใช้วิธี



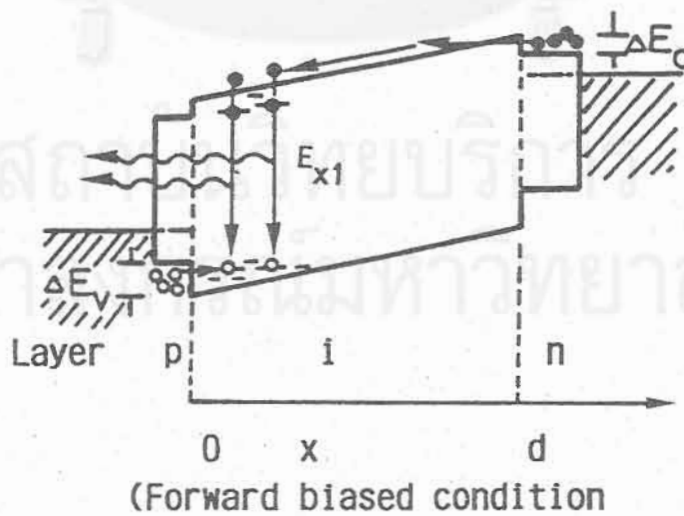


รูปที่ 10.9 ผลการวัดความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างของ a-SiN:H TFLED และกระแสไฟฟ้าฉีด ในรูปเป็นกรณี TFLED สีแดง ( $E_{opt} = 2.50$  eV) และสีเหลือง ( $E_{opt} = 2.90$  eV) ทำการวัดที่อุณหภูมิห้อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 10.10 โมเดลการเกิด Pool-Frenkel effect ซึ่งพาหะถูกกระตุ้นให้แยกจากกัน ด้วยสนามไฟฟ้า ทำให้ recombination rate ลดลง



รูปที่ 10.11 แผนภูมิแถบพลังงานของ a-SiN:H TFLED ให้ตำแหน่งของ p/i interface อยู่ที่  $x = 0$  และตำแหน่งของ i/n interface อยู่ที่  $x = d$

field-tunneling ดังนั้นกระแสไฟฟ้าของอิเล็กตรอนและของโฮลที่บริเวณใกล้ interfaces ของ i/n และ p/i ตามลำดับ จึงแสดงได้ดังนี้

$$J_n = E^2 \exp \left[ \frac{-4\sqrt{2m_e^*} (\Delta E_c)^{3/2}}{3q\hbar E} \right], \text{ at } x \approx d \quad (10.4)$$

$$J_p = E^2 \exp \left[ \frac{-4\sqrt{2m_h^*} (\Delta E_v)^{3/2}}{3q\hbar E} \right], \text{ at } x \approx 0$$

โดยที่  $m_e^*$  และ  $m_h^*$  คือมวลประสิทธิผลของอิเล็กตรอนและโฮลตามลำดับ

$\Delta E_c$  : conduction band discontinuity ที่ i/n interface

$\Delta E_v$  : valence band discontinuity ที่ p/i interface

ถ้าเราสมมติว่า ชั้นเปล่งแสงชนิด i นี้มีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด n และกระบวนกรไหลของพาหะในชั้น i เป็นชนิด drift-type อันเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูง เราจะสามารถคำนวณค่าความเข้มข้นของอิเล็กตรอนและโฮลได้โดยการแก้สมการ carrier continuity equation โดยใช้เงื่อนไข boundary ในสมการที่ (10.4) ดังนั้นในกรณีที่สนามไฟฟ้า E ในชั้น i มีความสม่ำเสมอ (uniform electric field) ตลอดความหนาจะได้ว่า

$$n(x) = \frac{J_n}{q\mu_p E} - \frac{J_p\mu_p}{q\mu_n E} \left( e^{-x/r_p} - e^{-d/r_p} \right) \quad (10.5)$$

และ

$$p(x) = \frac{J_p}{q\mu_p E} e^{-x/r_p} \quad (10.6)$$

โดยที่  $r_p$  : hole range =  $\mu_p \tau_p E$

$\mu_n, \mu_p$  : ความคล่องตัวของอิเล็กตรอนและโฮลตามลำดับ

$\tau_p$  : nonradiative recombination lifetime ของโฮล

ต่อจากนั้นกระแสไฟฟ้ารวมที่ไหลผ่านไดโอดสามารถหาได้จากการใช้สมการที่ (10.5) และ (10.6) และได้ผลดังนี้

$$J = J_n + J_p e^{-d/r_p} \tag{10.7}$$

เนื่องจาก  $\Delta E_v$  มีค่ามากกว่า  $\Delta E_c$  ดังนั้นกระแส tunneling ของโฮล ( $J_p$ ) จึงควรมีค่าน้อยกว่ากระแส tunneling ของอิเล็กตรอน ( $J_n$ ) ยิ่งกว่านั้นเทอม  $\exp(-d/r_p)$  ยังช่วยทำให้กระแสโฮลลดลงด้วย ดังนั้นเราจึงสามารถให้รูปโดยประมาณของ  $J$  ได้ว่า

$$J \cong J_n \tag{10.8}$$

สมการนี้มีความหมายว่า กระแสไฟฟ้าของไดโอดมีค่าโดยประมาณเป็นกระแสของอิเล็กตรอนนั่นเอง

ต่อไปจะวิเคราะห์ความสว่างของ TFLED

ความสว่าง (EL intensity) ของ TFLED โดยหลักการแล้วจะแปรผันตรงกับอัตราการรวมตัวแบบเปล่งแสงของอิเล็กตรอนและโฮล และในขณะเดียวกันอัตราการรวมตัวแบบเปล่งแสงก็ถูกกำหนดด้วยผลคูณของความหนาแน่นของอิเล็กตรอนส่วนเกินและโฮลส่วนเกินใน initial states และ final states เพื่อความสะดวก เราจะกำหนดให้ว่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนส่วนเกินและโฮลส่วนเกินมีค่าแปรผันตรงกับ

$$n(x)\alpha_c \quad \text{และ} \quad p(x)\alpha_v \tag{10.9}$$

โดยที่  $\alpha_c, \alpha_v$  : เป็นพารามิเตอร์ที่กำหนดกระบวนการรวมตัวของพาหะแบบเปล่งแสงในชั้น i อาทิเช่น

- 1) ถ้าเป็นการรวมตัวแบบ bimolecular recombination ของอิเล็กตรอนอิสระและโฮลอิสระ จะได้ว่า

$$\alpha_c = \alpha_v = 1 \tag{10.10}$$

2) ถ้าเป็นการรวมตัวแบบ monomolecular recombination โดยที่โฮลเป็นพาหะข้างน้อยจะได้ว่า

$$\alpha_c = 0, \quad \alpha_v = 1 \quad (10.11)$$

อย่างไรก็ตาม ในกรณีของวัสดุอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำ การรวมตัวแบบเปล่งแสงของพาหะนั้นส่วนใหญ่จะเกิดที่ระดับ localized states และถ้าเราพิจารณาให้ localized state ที่เป็นที่ทำให้เกิดการรวมตัวแบบเปล่งแสงมีรูปร่าง (การขึ้นกับระดับพลังงาน) เป็น exponential band tail ดังแสดงในรูปที่ 10.12 จะทำให้ความหมายของพารามิเตอร์  $\alpha_c$  และ  $\alpha_v$  กลายเป็น "dispersive parameters" ซึ่งเป็นตัวกำหนดค่าความลาดของ band tails ของแถบคอนดักชันและแถบวาเลนซ์ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 10.12 และไม่ว่าจะเป็นกรณีใดก็ตาม ทั้ง  $\alpha_c$  และ  $\alpha_v$  จะมีค่าระหว่าง 0-1

ต่อไปถ้าพิจารณาให้  $\gamma_p$  มีค่าน้อยกว่าความหนา (d) ของชั้น i ความสว่าง (B) ของ TFLED จะแปรผันตรงกับความหนาแน่นของพาหะ  $n(x)$  และ  $p(x)$  ดังนี้

$$B \propto \int_0^d n(x)^{\alpha_c} \cdot p(x)^{\alpha_v} dx \quad (10.12)$$

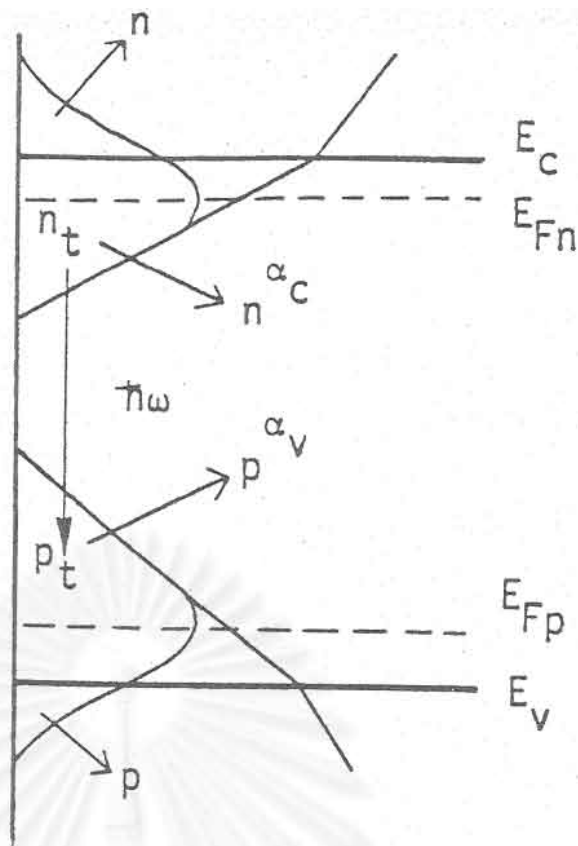
เมื่อแทนค่าสมการที่ (10.4)-(10.11) ลงในสมการที่ (10.12) ก็จะได้คำตอบที่มีความสำคัญมากดังนี้

$$B \propto \frac{d^{1 + \alpha_c + \alpha_v}}{V^{\alpha_c + \alpha_v}} \exp \left[ \frac{-d\alpha_v}{d_c} \right] \cdot J^{\alpha_c + \alpha_v} \quad (10.13)$$

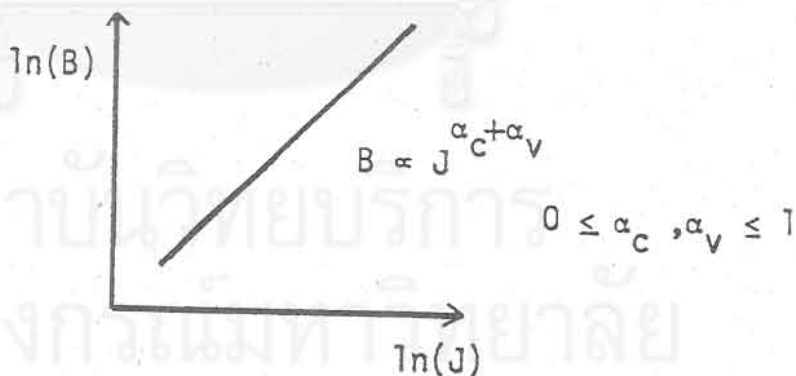
โดยที่ในที่นี้

$$d_c \equiv \frac{3q\hbar V}{4\sqrt{2m^*} \left( \frac{\Delta E_v}{V}^{3/2} - \frac{\Delta E_c}{c}^{3/2} \right)} \quad (10.14)$$

และ V : แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนสู่ชั้น i



รูปที่ 10.12 ลักษณะของ localized states โกล์แถบคอนดักชันและแถบวาเลนซ์ ซึ่งมีรูปร่างเป็น exponential bandtails ในรูป  $\alpha_c$  และ  $\alpha_v$  เรียกว่า dispersive parameters และมีค่าระหว่าง 0-1



Experiments  $\alpha_c = 0.8$  (TOF)  
 $\alpha_v = 0.3$

slope = 1.1

รูปที่ 10.13 โมเดลความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างของ a-SiN:H TFLED และกระแสไฟฟ้าฉัด ความลาดของกราฟประเมินว่ามีค่าประมาณ 1-1.1 ซึ่งให้ผลใกล้เคียงผลการทดลองในรูปที่ 10.9

สมการที่ (10.13) ชี้ให้เห็นว่า ความสว่างของ TFLED มีค่าแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้า โดโอดตามรูปที่ 10.13 และ

$$B \propto J^n \approx J^{1.2} \quad (10.15)$$

โดยที่ดัชนี  $n = \alpha_c + \alpha_v$

เนื่องจากผลการวัดในรูปที่ 10.9 บ่งชี้ว่าดัชนี  $n$  มีค่าใกล้เคียง 1 ดังนั้น

$\alpha_c + \alpha_v \cong 1$  ซึ่งทำให้เราสามารถที่จะตั้งข้อสังเกตต่อไปได้ว่า การรวมตัวแบบเปล่งแสงใน TFLED ที่ผลิตได้นั้น อาจจะเป็นชนิด monomolecular หรือไม่ก็เป็น tail-to-tail recombination หนึ่งในวัสดุ a-SiC:H, a-SiN:H ส่วนใหญ่  $\alpha_c$  และ  $\alpha_v$  มีค่าประมาณ 0.8 และ 0.3 ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

1. S.M. Sze : Physics of Semiconductor Devices, (2nd Ed. John Wiley and Sons) (1981), p. 402.
2. Cyril Hilsum edited : Handbook on Semiconductors, (North-Holland), vol. 4, (1981), p. 565.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 11

### การหาค่าความหนาที่เหมาะสมของชั้น $i$ ใน $a\text{-SiN:H TFLED}$

#### บทนำ

ในบทที่ 10 ได้กล่าวถึงผลการทดลองและวิเคราะห์กลไกการฉีดพาหะและการรวมตัวแบบเปล่งแสงแล้ว และได้ข้อสรุปว่าการฉีดพาหะได้อาศัยกระบวนการ tunneling ผ่าน barrier ที่  $p/i$  และ  $i/n$  interfaces เป็นหลัก จากกระบวนการ tunneling นี้ทำให้ลักษณะสมบัติของอะมอร์ฟัส TFLED แตกต่างไปจากผลึก LED และเพื่อที่จะผลิตให้ TFLED มีความสว่างสูงสุด จำเป็นจะต้องหาค่าความหนาที่เหมาะสมของชั้น  $i$  ในรอยต่อ  $p-i-n$  ในบทนี้จะกล่าวถึงการคาดคะเนทางทฤษฎีของความหนาที่เหมาะสมของชั้น  $i$  และเปรียบเทียบกับผลการทดลอง

#### 11.1 การออกแบบทางทฤษฎีเพื่อกำหนดหาค่าความหนาที่เหมาะสมของชั้น $i$

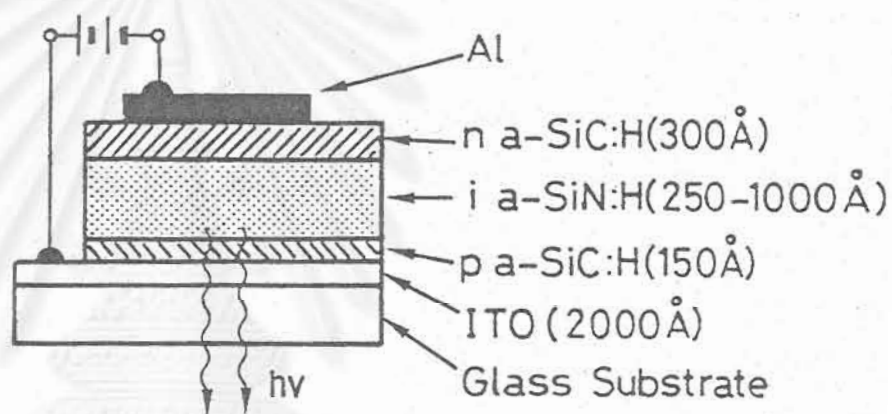
ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของอะมอร์ฟัส TFLED แสดงในรูปที่ 11.1 ซึ่งประกอบด้วยรอยต่อ ITO/ $p-i-n$ /Al ของ  $a\text{-SiC:H}$  และ/หรือ  $a\text{-SiN:H}$  ความหนาของแต่ละชั้นมีความสำคัญต่อความสว่างของ TFLED ดังนี้

1. ชั้น  $p$  เป็นชั้นฉีดโฮลให้เข้าสู่ชั้น  $i$  และสร้างรอยสัมผัสโอห์มมิกกับ ITO ถ้าชั้น  $p$  บางเกินไปแสงจากชั้น  $i$  จะทะลุผ่านได้ดี แต่ขณะเดียวกันความสามารถในการฉีดโฮลจะเลวลงและการสร้างรอยสัมผัสกับ ITO จะเลวลง ในทางตรงข้ามถ้าชั้น  $p$  หนาเกินไป ก็จะทำให้แสงจากชั้น  $i$  รั่วทะลุผ่านออกสู่ภายนอกได้น้อยลง ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดความหนาของชั้น  $p$  ไว้ที่ประมาณ  $150 \text{ \AA}$  ซึ่งเป็นค่าเท่ากับความหนาของชั้น  $p$  ในกรณีเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด  $a\text{-Si:H}$

2. ชั้น  $n$  เป็นชั้นฉีดอิเล็กตรอนให้เข้าสู่ชั้น  $i$  และสร้างรอยสัมผัสโอห์มมิกกับ Al ถ้าชั้น  $n$  บางเกินไปจะฉีดอิเล็กตรอนเลวลง และถ้าหนาเกินไปจะตัดแสงสะท้อนจะ Al ให้ออกทางชั้น  $p$  เลวลง ในงานนี้ได้เลือกชั้น  $n$  หนาประมาณ  $300\text{-}500 \text{ \AA}$  ซึ่งเท่ากับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด  $a\text{-Si:H}$  เช่นกัน

3. ชั้น  $i$  เป็นชั้นเปล่งแสง โดยทั่วไปถ้าชั้น  $i$  ยิ่งหนา ก็จะทำให้มีจำนวนของ recombination centers เพิ่มขึ้น แต่ขณะเดียวกันใน TFLED จะทำให้ความสามารถของการ tunneling ของพาหะเพื่อเข้าสู่ชั้น  $i$  เลวลง ดังนั้นความหนาที่เหมาะสมของชั้น  $i$  จะถูกกำหนดด้วยแฟกเตอร์ต่างๆ มากมาย ดังจะได้กล่าวถึงต่อไป

จากบทที่ 10 เราเคยคำนวณได้ผลความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง ( $B$ ) และกระแสไฟฟ้า ( $J$ ) ของ TFLED ตามสมการที่ (10.13) แล้ว และขอนำมาแสดงอีกครั้งได้ดังนี้



รูปที่ 11.1 โครงสร้างพื้นฐานของไดโอดเปล่งแสงชนิดฟิล์มบางของอะมอร์ฟัสซิลิกอนไนไตรด์/อะมอร์ฟัสซิลิกอนคาร์ไบด์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$B \propto \frac{d^{1 + \alpha_c + \alpha_v}}{V^{\alpha_c + \alpha_v}} \exp \left[ -\frac{d\alpha_v}{d_c} \right] \cdot J^{\alpha_c + \alpha_v} \quad (11.1)$$

โดยที่โดยประมาณแล้ว  $\alpha_c + \alpha_v = 1.1$ ,  $\alpha_v = 0.3$ ,  $\alpha_c = 0.8$

สมการนี้ให้ข้อมูลมากมายและเป็นประโยชน์ยิ่งต่อการออกแบบและผลิต TFLED เพื่อให้ได้ความสว่างสูงสุดดังนี้

1) ณ ที่แรงดัน ( $V$ ) และกระแส ( $J$ ) คงที่ ความสัมพันธ์ระหว่าง  $B$  และความหนา ( $d$ ) ของชั้น  $i$  คือ

$$B \propto d^{2.1} \exp [-d] \quad (11.2)$$

สมการนี้สามารถวาดเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 11.2 ซึ่งหมายความว่า  $B$  จะมีค่าสูงสุดที่  $d$  ไม่บางเกินไปและไม่หนาเกินไป ค่าความหนาของชั้น  $i$  ที่จะทำให้  $B$  มีค่าสูงสุด ( $d_{\max}$ ) หาได้โดยการดิฟเฟอเรนซ์สมการที่ (11.1) ด้วย  $d$  และตั้งให้เท่ากับ 0 นั่นคือ

$$\frac{\partial B}{\partial d} = 0 \quad (11.3)$$

นั่นคือ ค่าความหนาที่เหมาะสมที่สุดของชั้น  $i$  คือ

$$d_{\max} = \frac{(1 + \alpha_c + \alpha_v)}{\alpha_v} \alpha_c \quad (11.4)$$

ถ้าแทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ลงในสมการที่ (11.4) ก็จะได้ค่า  $d_{\max}$  ตัวอย่างกรณี TFLED สีแดง ซึ่ง  $\alpha_c = 0.8$ ,  $\alpha_v = 0.3$ ,  $\Delta E_c = 0.2$  eV,  $\Delta E_v = 0.3$  eV,  $V = 10$  V ได้

$$d_{\max} \approx 500 \text{ \AA}$$

2) ณ ที่  $J$  คงที่ความสัมพันธ์ระหว่าง  $B$  และ  $V$  คือ

$$B \propto \frac{1}{V^{1.1}} \quad (11.5)$$

นั่นคือ ถ้าต้องการ  $B$  สูงจะต้องใช้แรงดันไบแอส TFLED ให้ต่ำที่สุด

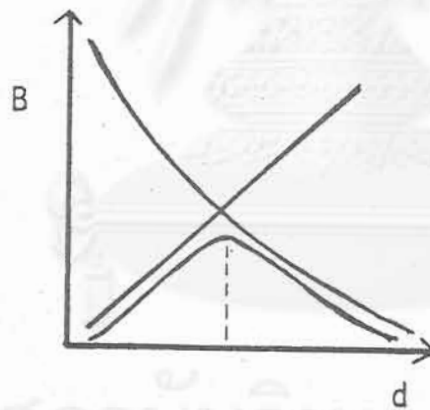
$$B \propto d \cdot n_t \cdot p_t$$

$$\propto d \cdot J_n^{\alpha_c} \cdot J_p^{\alpha_v}$$

$$\text{here, } J_p/J_n \propto \exp(-d/d_c)$$

$$J_{\text{total}} \approx J_n$$

$$\propto d \cdot \exp(-d \cdot \alpha_v/d_c) \cdot J_n^{\alpha_c + \alpha_v}$$



$$d_{\text{max}} \approx 500 \text{ \AA}$$

รูปที่ 11.2 การขึ้นกับความหนาของชั้น i ของความสว่างของ TFLED

### 11.2 ผลการทดลองผลิต a-SiN:H TFLED ที่มีความหนาของชั้น i ค่าต่าง ๆ

ได้มีการผลิต p a-SiC:H/i a-SiN:H/n a-SiC:H TFLED ที่ชั้น i มีความหนาระหว่าง 200 Å ถึง 1000 Å โดยกำหนดให้ชั้น p และ n มีความหนาคงที่ที่ 150 Å และ 500 Å ตามลำดับ ช่องว่างพลังงานของชั้น p, i, n คือ 2.0, 2.5 และ 2.0 eV ตามลำดับ ทั้งหมดนี้เป็น TFLED ที่เปล่งแสงสีแดง

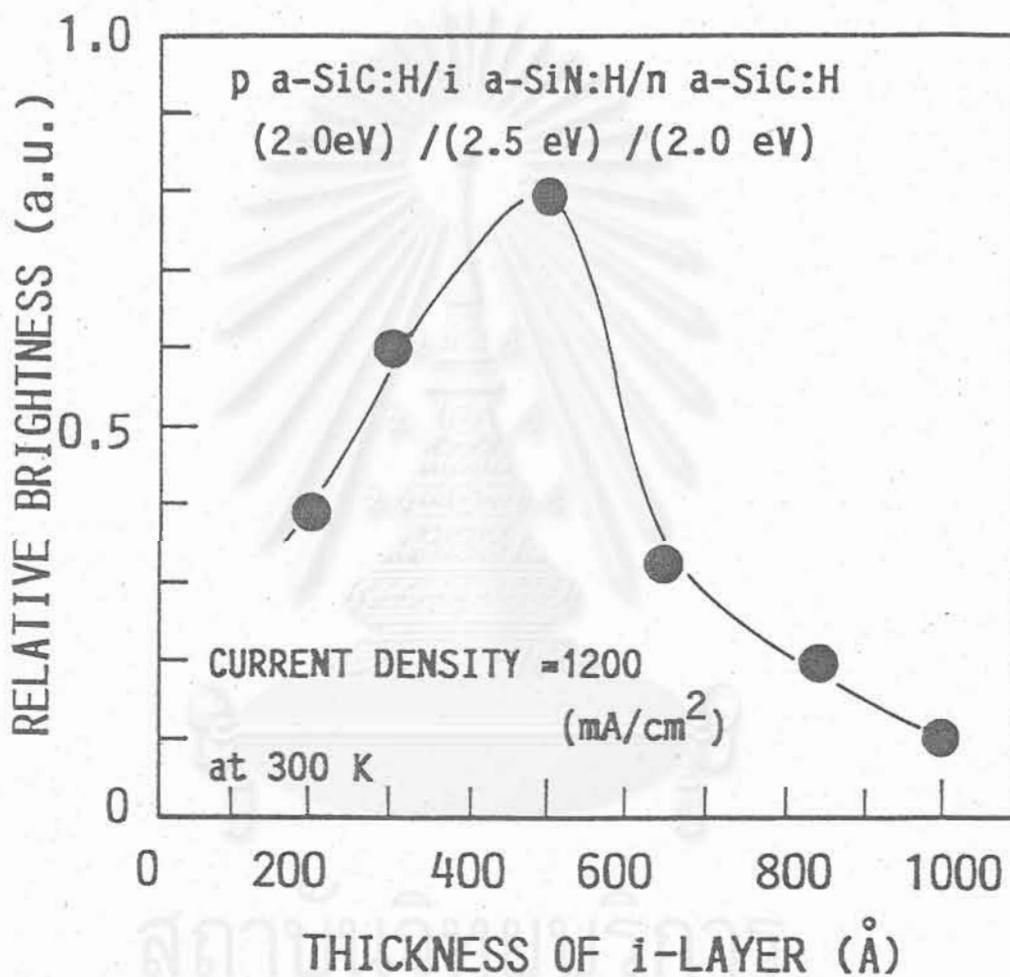
รูปที่ 11.3 แสดงผลการวัดการขึ้นกับความหนาของชั้น i ของความสว่าง โดยทำการวัดที่อุณหภูมิห้องและให้กระแสฉีด  $J_{inj}$  เท่ากับ  $1200 \text{ mA/cm}^2$  (เท่ากับ 40 mA ในพื้นที่จริง  $0.033 \text{ cm}^2$ ) จากรูปที่ 11.3 พบว่าเมื่อความหนาของชั้น i เพิ่มขึ้นจาก 200 Å จะทำให้ความสว่างมีค่าเพิ่ม ทั้งนี้เพราะว่าจำนวนของ radiative recombination centers เพิ่มนั่นเอง แต่เมื่อความหนาเพิ่มค่ามากกว่า 500 Å จะทำให้ความสว่างมีค่าลดลง ทั้งนี้เพราะว่าการเพิ่มความหนาจะทำให้ต้องเพิ่มสนามไฟฟ้ามากขึ้นเพื่อฉีดพาหะแบบ field tunneling

รูปที่ 11.4 แสดงลักษณะสมบัติ J-V ของ TFLED เหล่านี้ threshold voltage ( $V_{th}$ ) ของ TFLED ที่ชั้น i หนา 500 Å คือประมาณ 6 V แต่เมื่อเพิ่มความหนาเป็น 1000 Å แทนที่  $V_{th}$  จะเป็น 2 เท่าเท่ากับ 12 V. แต่  $V_{th}$  จากการวัดเพิ่มขึ้นเกือบ 4 เท่าตัวเป็น 22 V.

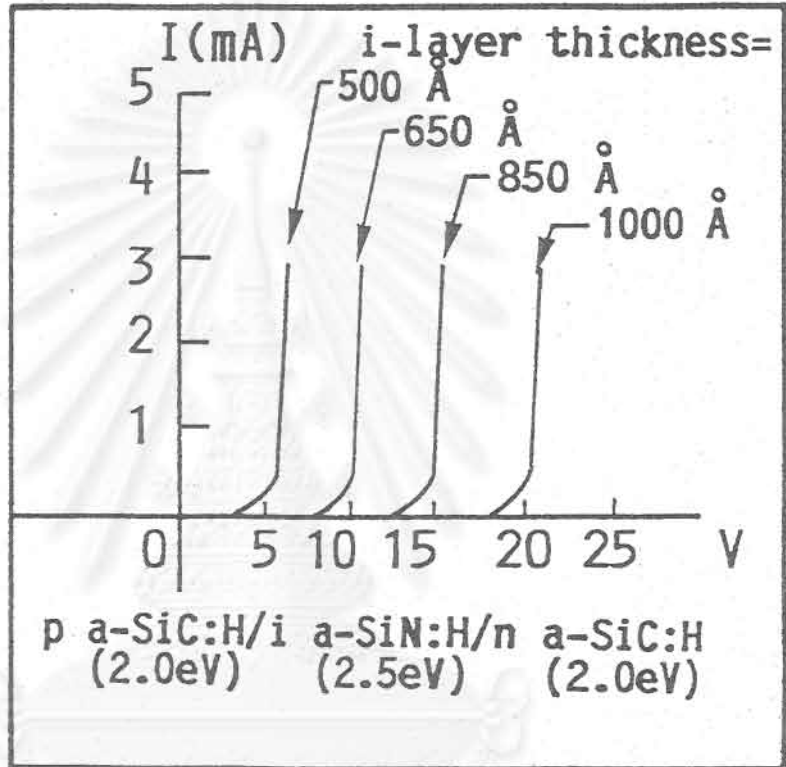
ดังนั้นข้อมูลจากรูปที่ 11.4 ยืนยันได้ว่าการลดลงของความสว่างเมื่อชั้น i หนามาก ๆ เกิดจากผลของ electric-field quenching ตามที่ได้เคยคาดคะเนมาแล้วในบทที่ 7

โดยสรุปแล้ว จากการทดลองผลิต TFLED สีแดง ที่ชั้น i มีความหนาต่าง ๆ พบ พบว่าความหนาที่เหมาะสมที่สุดมีค่าประมาณ 500 Å ซึ่งเป็นค่าที่สอดคล้องกับการคำนวณทางทฤษฎี





รูปที่ 11.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างของ TFLED และความหนาของชั้น i สำหรับ a-SiN:H TFLED ที่เปล่งแสงสีแดง ทำการเปรียบเทียบกันขณะฉีดกระแสไฟฟ้าเข้า TFLED 1200 mA/cm<sup>2</sup>



รูปที่ 11.4 ลักษณะสมบัติไดโอด (J-V) ของ a-SiN:H TFLED ที่มีชั้น i มีความหนาต่าง ๆ กัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 12

## การขึ้นกับความถี่ของกระแสไฟฟ้าพัลส์ของความสว่างของ a-SiN:H TFLED

## บทนำ

ในการป้อนกระแสไฟฟ้าแบบไบแอสตามเข้าสู่ LED ให้สว่างนั้นโดยทั่ว ๆ ไปมี 2 วิธีคือ 1. การฉีดกระแสไฟฟ้าแบบกระแสตรงค่าคงที่ และ 2. การฉีดกระแสไฟฟ้าแบบพัลส์ ในกรณีแรกเหมาะกับการใช้งาน LED เป็น pilot lamp หรือหน้าปัทม์แบบง่าย มีข้อดีที่วงจรไฟฟ้าไม่ยุ่งยากแต่มีข้อเสียที่การเกิดความร้อนที่ค่อนข้างสูง ส่วนกรณีหลังซึ่งเป็นวิธีพัลส์ต้องใช้วงจรยุ่งยาก แต่มีผลไม่ให้เกิดความร้อนสูงมากและเหมาะกับการใช้งานเป็น displey ที่ต้องการ scanning ภาพ หรือการ modulation ความสว่างเพื่อให้แสงเป็นสัญญาณ on/off แบบพัลส์สำหรับการส่งข้อมูลในอุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์เช่น photocoupler, optical computer, optical switching และ optical communication

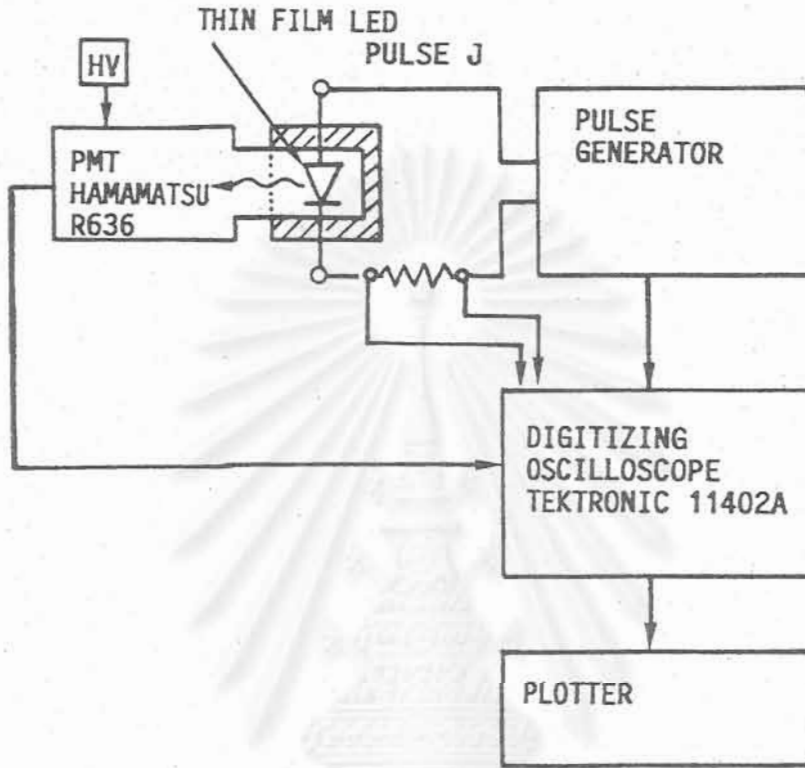
ในบทนี้จะรายงานผลของการใช้งานอะมอร์ฟัส TFLED ด้วยการฉีดกระแสไฟฟ้าแบบพัลส์ที่ความถี่ต่าง ๆ ว่า ความสว่างของ TFLED จะขึ้นกับความถี่เช่นไร และผลตอบสนองพัลส์เป็นอย่างไร

## 12.1 ผลตอบสนอง wave form ของแสงเอาต์พุตที่มีต่อกระแสไฟฟ้าพัลส์

ได้มีการวัดลักษณะ wave form ของแสงเอาต์พุต (light output) ของ TFLED เมื่อฉีดกระแสไฟฟ้าแบบพัลส์สี่เหลี่ยมเข้าสู่ TFLED รูปที่ 12.1 แสดงแผนภูมิวิธีการวัด

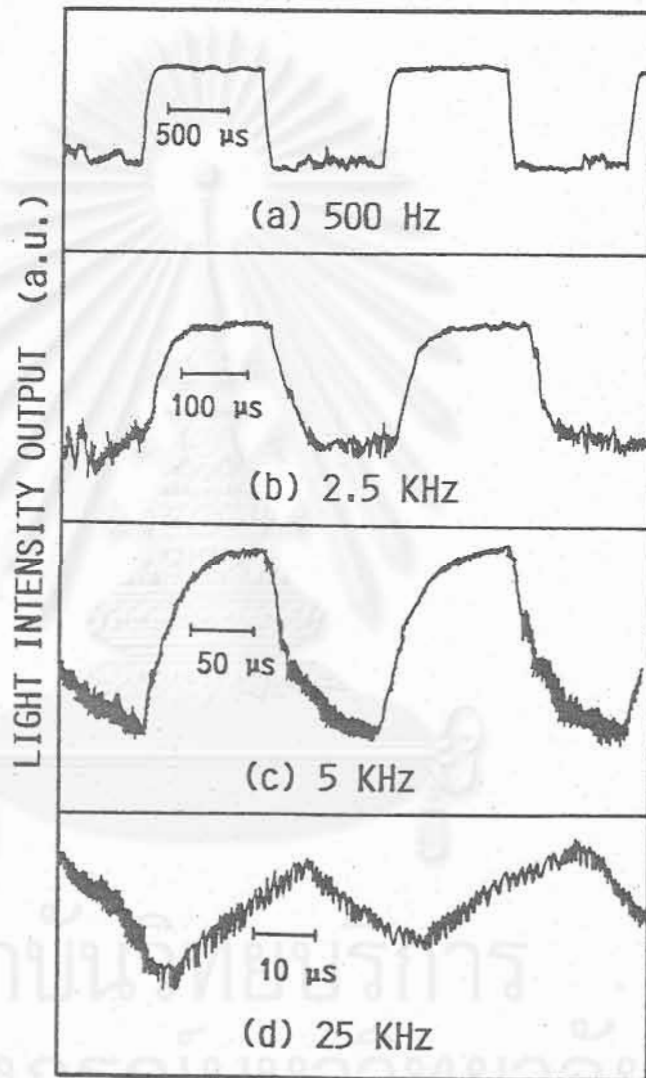
ใช้ function generator เป็นอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณคลื่นพัลส์สี่เหลี่ยม (square wave) ที่มี duty cycle เท่ากับ 50 % เอาต์พุตของ function gen ต่อไปสู่ high speed amplifier เพื่อขยายกระแสและแรงดันให้สูงพอต่อการฉีดเข้า TFLED (high speed amp ยี่ห้อ Mestek รุ่น M-2716) การวัด wave form ของกระแสพัลส์ดูจากสัญญาณที่คร่อมตัวต้านทาน 100 โอห์มซึ่งต่ออนุกรมอยู่กับ TFLED วัด light output โดยการใช้ high speed photomultiplier (Hamamatsu : GaAs R636) และเทคนิคของ lock-in amplifier การบันทึก wave form ของ light output ใช้ high speed digitizing CRO (Tektronic:11402 A) อนึ่ง in put impedance ของ lock-in amp มีค่า 10 megaohm

รูปที่ 12.2 แสดงผลการวัดลักษณะ wave form ของ light output จาก TFLED สี่เหลี่ยมซึ่งช่องว่างพลังงานของชั้น i a-SiN:H เท่ากับ 3.0 eV จากรูปพบว่าเมื่อเพิ่มความถี่ของกระแสพัลส์จาก 500 Hz ไปถึง 25 kHz wave form ของแสงค่อย ๆ เพี้ยน (distort) จากรูปสี่เหลี่ยมเป็นสามเหลี่ยม (amplitude) จากรูป (d) คำนวณค่า rise time ( $t_r$ ) ได้ประมาณ 10  $\mu$ s



รูปที่ 12.1 แผนภูมิแสดงวิธีการวัดลักษณะ wave form ของความสว่าง (light out put) ของ a-SiN:H TFLED เมื่อถูกฉีดด้วยกระแสไฟฟ้าแบบพัลส์ สี่เหลี่ยม

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 12.2 ลักษณะ wave form ของ light output จาก a-SiN:H TFLED สีเหลือง เมื่อถูกฉีดด้วยกระแสไฟฟ้าแบบพัลส์สี่เหลี่ยมจาก (a)-(d) พัลส์มีความถี่ 500 Hz, 2.5 kHz, 5 kHz และ 25 kHz และ duty cycle มีค่า 50 %

### 12.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของกระแสไฟฟ้าพัลส์และความสว่างของ a-SiN:H

#### TFLED

ในการวัดความสว่างของ TFLED ในกรณีนี้ได้ใช้วงจรดังแสดงในรูปที่ 12.3 ความสว่างวัดโดยใช้ photomultiplier ซึ่งต่ออยู่กับ pico ampmeter ในการทดลองได้ควบคุมให้ amplitude ของกระแสพัลส์ที่ไหลเข้า TFLED คงที่ทุกความถี่ เช่น 10 mA โดยการสังเกตแรงดันคร่อมตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมกับ TFLED

รูปที่ 12.4 แสดงผลการวัดความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างของ TFLED สีเหลืองและความถี่ของกระแสพัลส์ที่อุณหภูมิห้อง จากรูปพบว่า ความสว่างคงที่ตลอดย่านความถี่ต่ำไปจนถึงระดับ 1 MHz ในรูปไม่มีข้อมูลความถี่สูงกว่า 1 MHz เพราะถูกจำกัดด้วยเครื่องมือกำเนิดพัลส์

อย่างไรก็ตาม ถ้าเราสมมติให้ความสว่างจะลดลงเมื่อความถี่สูงกว่า 1 MHz ตามที่พบกันในกรณีผลึก LED ทั่วๆ ไป เราจะสามารถคำนวณหาค่า radiative recombination life time ของ พาหะที่ถูกฉีดเข้า TFLED ได้ดังนี้

ถ้าเราให้นิยามของ cut-off frequency ( $f_c$ ) ว่าเป็นความถี่ที่ความสว่างลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของความสว่างที่ความถี่ต่ำ นั่นคือ [1-2]

$$P^2(f_c) = P^2(f = 0) \tag{12.1}$$

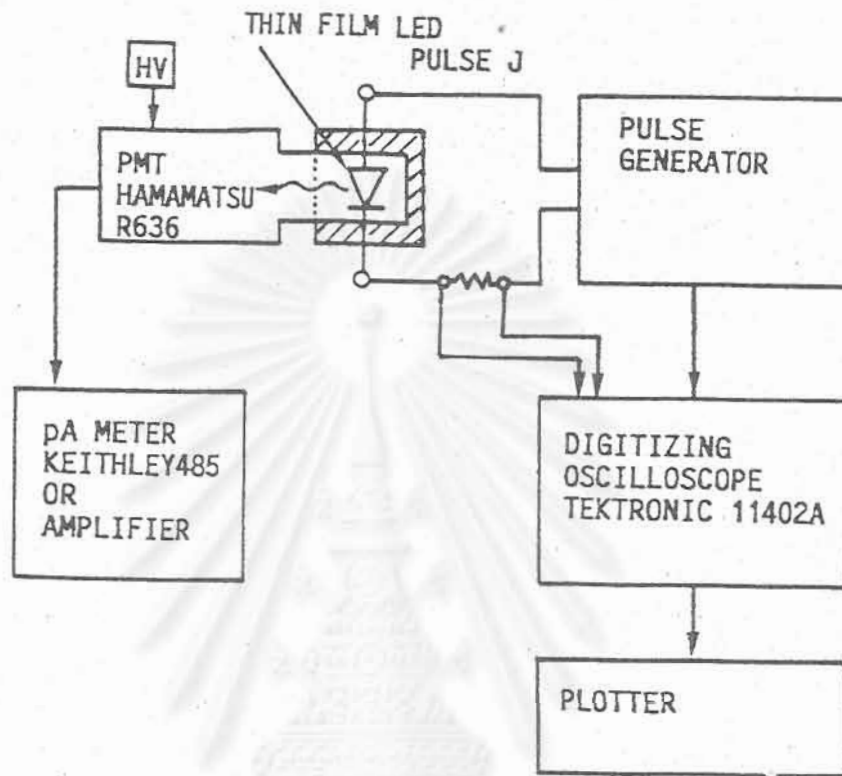
$$\therefore P(f_c) = P(f = 0) = 0.7 P(f=0) \tag{12.2}$$

เราจะได้

$$f_c = 1/(2\pi\tau) \tag{12.3}$$

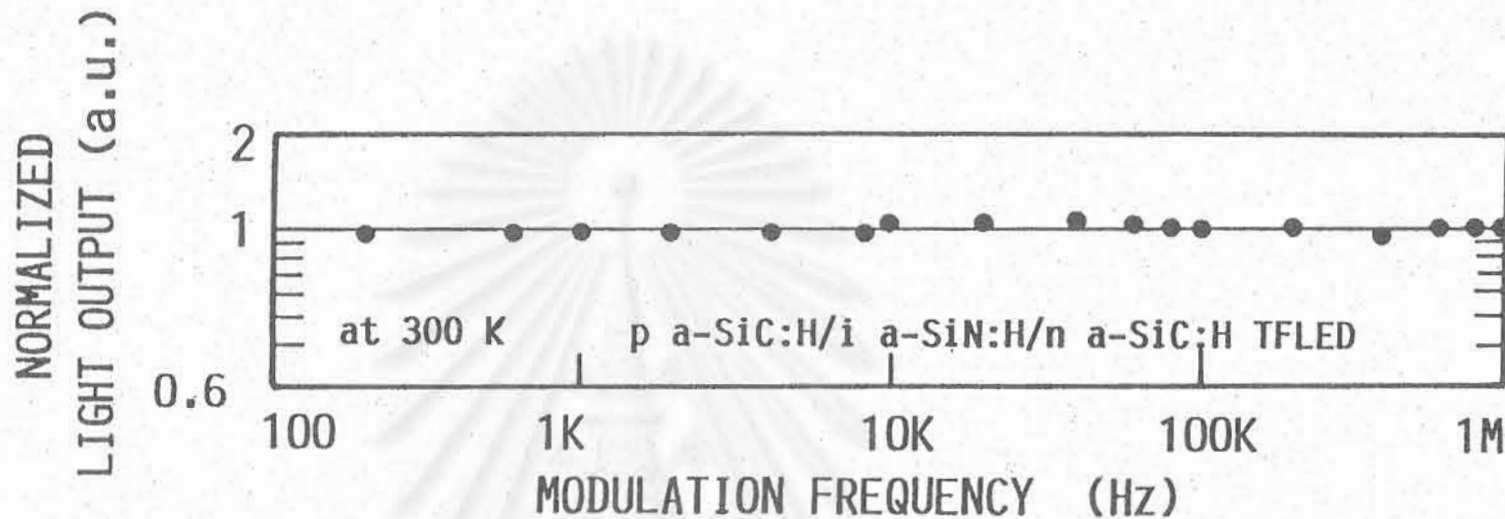
ดังนั้นถ้าเราสมมติว่า  $f_c$  ในกรณี a-SiN:H TFLED มีค่าอยู่ในช่วง 5-100 MHz เราจะได้อายุ radiative recombination life time ( $\tau$ ) ของพาหะว่าอยู่ในช่วง  $10^{-8}$ - $10^{-9}$  sec

ผลการทดลองในรูปที่ 12.4 มีความสำคัญต่อการใช้งาน a-SiN:H TFLED ว่า ความสว่างคงที่แม้ความถี่จะสูงถึงระดับ 1 MHz



รูปที่ 12.3 แผนภูมิแสดงวิธีการวัดความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างของ TFLED และความถี่ของกระแสไฟฟ้าพัลส์ duty cycle เท่ากับ 50 %

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 12.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างของ a-SiN:H TFLED สีเหลืองและความถี่ของกระแสไฟฟ้าพัลส์ ทำการวัดที่อุณหภูมิห้องและควบคุมให้แอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้าพัลส์คงที่ที่  $150 \text{ mA/cm}^2$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

1. Cyril Hilsum edited : Handbook on Semiconductors, (North-Holland), vol. 4, (1981), p. 607.
2. Henry Kressel, J.K. Butler : Semiconductor Lasers and Heterojunction LEDs (Academic Press), (1977), p. 491.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



### บทที่ 13

#### การผลิต a-SiN:H TFLED ที่เปล่งแสงเป็นรูปร่างต่าง ๆ สำหรับใช้งานเป็นดิสเพลย์และ การใช้งานในออปโตอิเล็กทรอนิกส์

##### บทนำ

ตั้งแต่บทที่ 1-12 ได้รายงานผลการวิจัยวิธีการผลิตและคุณสมบัติพื้นฐานด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับวัสดุฟิล์มบาง a-SiN:H, a-SiC:H และสิ่งประดิษฐ์ a-SiN:H TFLED ไว้อย่างละเอียดแล้ว ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการประดิษฐ์ a-SiN:H TFLED ที่สามารถเปล่งแสงให้เป็นรูปร่าง pattern ต่าง ๆ ซึ่งจะใกล้เคียงกับสภาพการใช้งานจริงเป็นดิสเพลย์แบบแบนเรียบมากที่สุด สำหรับรูปร่าง pattern ของแสงที่เปล่งออกมานั้น จำแนกตามวัตถุประสงค์ของการใช้งานได้เป็น 2 ชนิดคือ

1. pattern ภาพนิ่ง
2. pattern ภาพเคลื่อนไหวได้

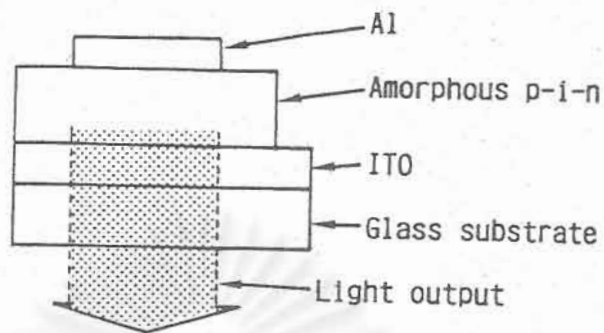
ในงานวิจัยนี้ได้มีการทดลองประดิษฐ์ a-SiN:H TFLED ชนิด สามารถเปล่งแสง pattern ภาพนิ่งได้สำเร็จ ส่วนกรณี pattern ภาพเคลื่อนไหวได้นั้นจะกล่าวถึงแนวทางวิธีการออกแบบเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาต่อไปในอนาคต

#### 13.1 การประดิษฐ์ a-SiN:H TFLED ที่เปล่งแสงภาพนิ่ง

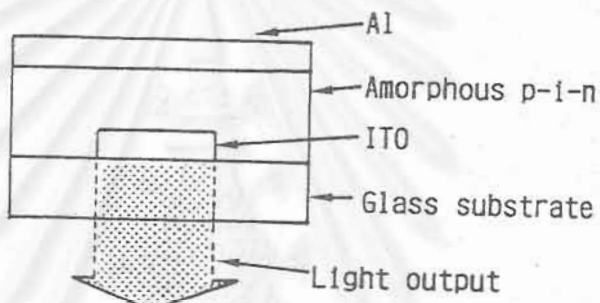
โครงสร้างพื้นฐานเริ่มแรกของ TFLED คือ glass/ITO/p a-SiC:H/i a-SiN:H/n a-SiC:H/Al ซึ่งได้เคยกล่าวไว้แล้วในบทก่อน ลักษณะของการเปล่งแสงจาก TFLED นี้เป็น surface emission กล่าวคือเปล่งแสงแบบออกจากพื้นที่ผิวของ TFLED ดังนั้นการจะผลิตให้ TFLED เปล่งแสงเป็นรูปภาพอะไรนั้นจึงได้แก่ การออกแบบให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน TFLED เฉพาะในบริเวณที่ต้องการแสง ส่วนในบริเวณที่ไม่ต้องการแสงนั้น ไม่ต้องให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน หลักการเช่นนี้สามารถออกแบบได้ดังแสดงในรูปที่ 13.1 (a)-(c) ดังนี้

1) ในรูป (a) เป็นการเคลือบชั้นขั้วโปรงแสง ITO และชั้นอะมอร์ฟัส p-i-n ให้เต็มแผ่นกระจก และเคลือบฟิล์มขั้ว Al ให้มีรูปร่างขนาดเหมือนภาพที่ต้องการให้เปล่งแสง ดังนั้นกระแสไฟฟ้าจึงไหลเฉพาะ cross section ใต้ Al เท่านั้น วิธีนี้ต้องมีการสร้างแผ่น mask สำหรับขั้ว Al เหมาะสำหรับการสร้างภาพแบบง่าย ๆ เช่น วงกลม สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม ฯลฯ

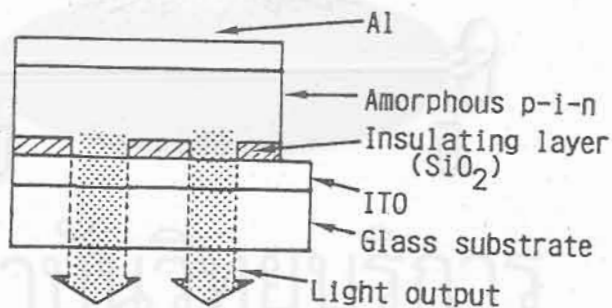
2) ในรูป (b) เป็นการเคลือบขั้ว ITO ให้มีรูปร่างขนาดเหมือนภาพที่ต้องการให้เปล่งแสง ส่วนชั้นอะมอร์ฟัส p-i-n และ Al เคลือบเต็มแผ่นกระจก ดังนั้นกระแสไฟฟ้าจึงไหลเฉพาะ cross section ที่อยู่เหนือ ITO เท่านั้น การสร้าง pattern ของ ITO อาจทำได้โดยการใช้ mask ขณะเคลือบ ITO หรือเคลือบ ITO เต็มแผ่นกระจกแล้ว ใช้วิธี photolithography และใช้



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 13.1 ภาพตัดขวางแสดงโครงสร้างของ TFLED ที่เปล่งแสงภาพนิ่ง

กรดกัด ITO ส่วนที่ไม่ต้องการออก วิธีนี้เหมาะสำหรับการสร้างภาพแบบขากได้ดี แต่ pattern ของภาพต้องมีรูปต่อเนื่องทั้งแผ่นไม่ขาดตอน

3) ในรูป (c) เป็นการเคลือบ ITO เต็มแผ่น ตามด้วยเคลือบชั้นฉนวน (เช่น  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{PbTiO}_3$  ฯลฯ) ให้มีช่องเปิดเป็นรูปภาพตามต้องการ แล้วเคลือบชั้นอะมอร์ฟัส p-i-n และ Al ให้เต็มแผ่นกระจก ดังนั้นกระแสไฟฟ้าจึงไหลได้เฉพาะ cross section ที่ถูกเปิดช่องในชั้นฉนวนเท่านั้น วิธีนี้เหมาะสำหรับการสร้างภาพแบบขาคับซ้อนได้ดีทุกรูปแบบ

ในงานวิจัยนี้ในเบื้องต้นได้ทดลองประดิษฐ์ TFLED ด้วยวิธีในรูป (a) และ (b) ดังได้ผลต่อไปนี้

### 13.1.1 การสร้าง pattern ของภาพด้วยขั้วโลหะ Al

รูปที่ 13.2 แสดงภาพถ่ายของโลหะ Mask รูปต่างๆ สำหรับการเคลือบขั้ว Al ในกรณีนี้ฟิล์ม ITO และอะมอร์ฟัสจะเคลือบเต็มแผ่นกระจก ดังนั้นภาพของการเปล่งแสงจึงถูกกำหนดด้วยรูปร่าง pattern ของ Mask Al นั้นนั่นเอง

รูปที่ 13.3 แสดงภาพถ่ายของสิ่งประดิษฐ์ TFLED ขณะที่ยังไม่เปล่งแสง โดยรูป (a) มี Al เป็นขั้วรูปวงกลม (b) มี Al เป็นขั้วเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

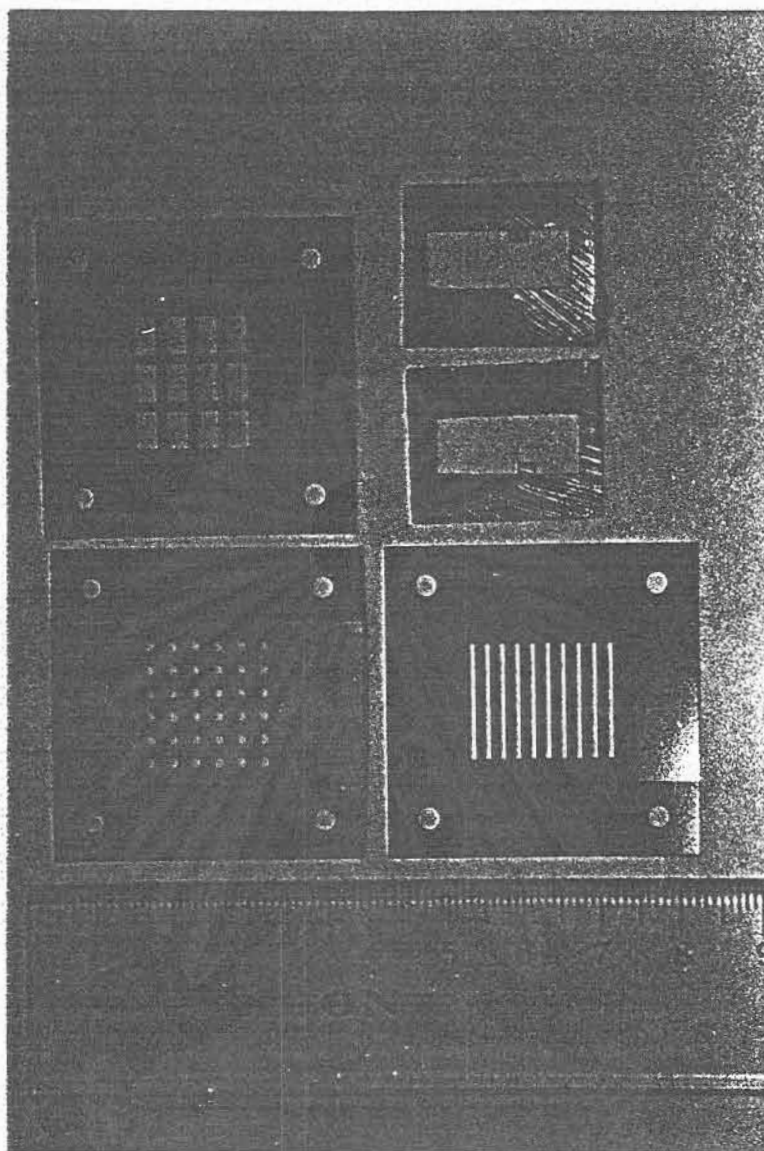
รูปที่ 13.4 แสดงภาพถ่ายของ a-SiN:H TFLED ที่กำลังเปล่งแสงสีแดงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด  $3 \times 5 \text{ mm}^2$  และรูปที่ 13.5 (a)-(d) แสดงภาพถ่ายของ a-SiN:H TFLED ที่กำลังเปล่งแสงรูปวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 mm ช่องว่างพลังงานของชั้น i a-SiN:H ใน TFLED ที่เปล่งแสงสีแดง เหลือง เขียว และขาว เหล่านี้คือ 2.50, 2.80, 3.2 และ 3.6 eV ตามลำดับ ภาพเหล่านี้ถ่ายที่กระแสไฟฟ้าจัดประมาณ  $150 \text{ mA/cm}^2$

### 13.1.2 การสร้าง pattern ของภาพด้วยขั้วโปร่งแสง ITO

ขั้นตอนการประดิษฐ์ TFLED ที่เปล่งแสงมี pattern ตามรูปร่างของฟิล์ม ITO แสดงในรูปที่ 13.6

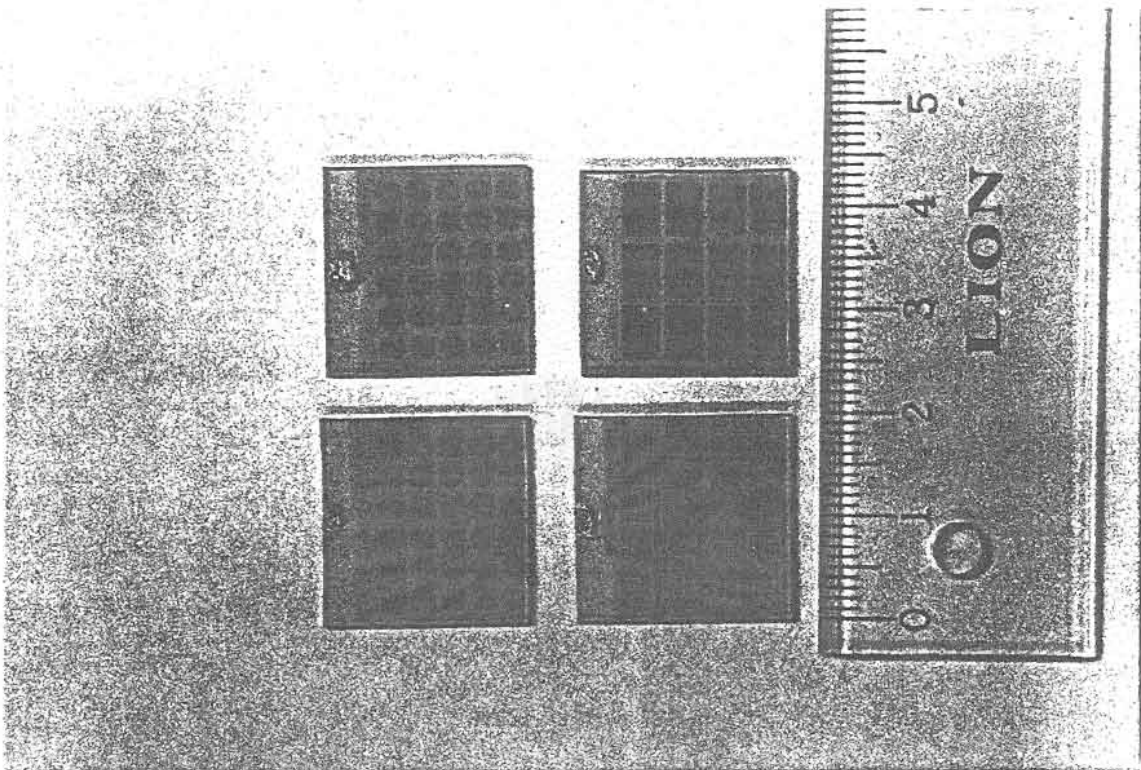
เริ่มแรกฟิล์ม ITO ที่เคลือบอยู่บนแผ่นกระจกเต็มแผ่นจะต้องถูกกัดให้เป็น pattern ด้วยกรดก่อนด้วยกระบวนการวิธี photolithography ดังนี้

- ทาหน้ายา photoresist ลงบนแผ่นกระจก/ITO (photoresist ยี่ห้อ AZ 1350)
- Spin แผ่นกระจกด้วยความเร็ว 3500 rpm เป็นเวลา 10 วินาที และ 5000 rpm เป็นเวลา 5 วินาที
- เอาเข้าเตาอบ  $90^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 10 นาที
- ฉายแสง ultraviolet ผ่าน mask pattern ที่ออกแบบไว้แล้วเป็น เวลา 30-45 วินาที
- ล้าง photoresist บริเวณที่ถูกฉายแสงออกด้วยน้ำยา developer

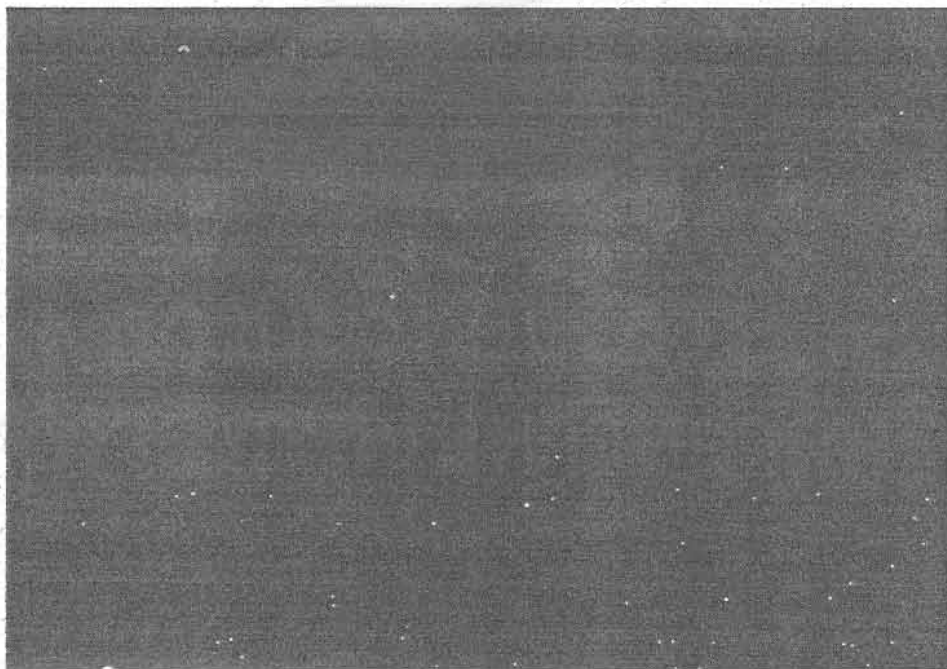


รูปที่ 13.2 ภาพถ่ายของแผ่นโลหะ mask สำหรับการเคลือบชั้น Al

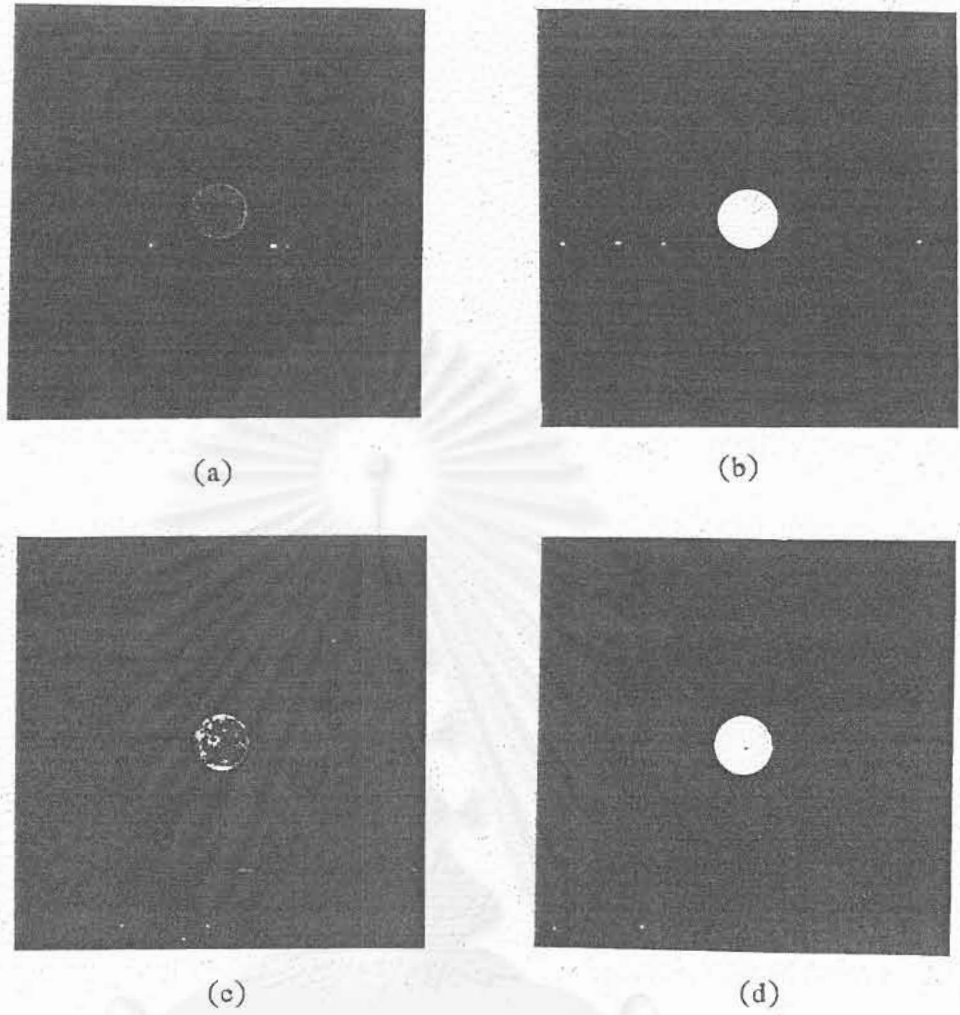
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 13.3 ภาพถ่ายของ a-SiN:H TFLED ขณะที่ยังไม่เปล่งแสง โดยมี Al เป็นขั้วรูปวงกลม และรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า



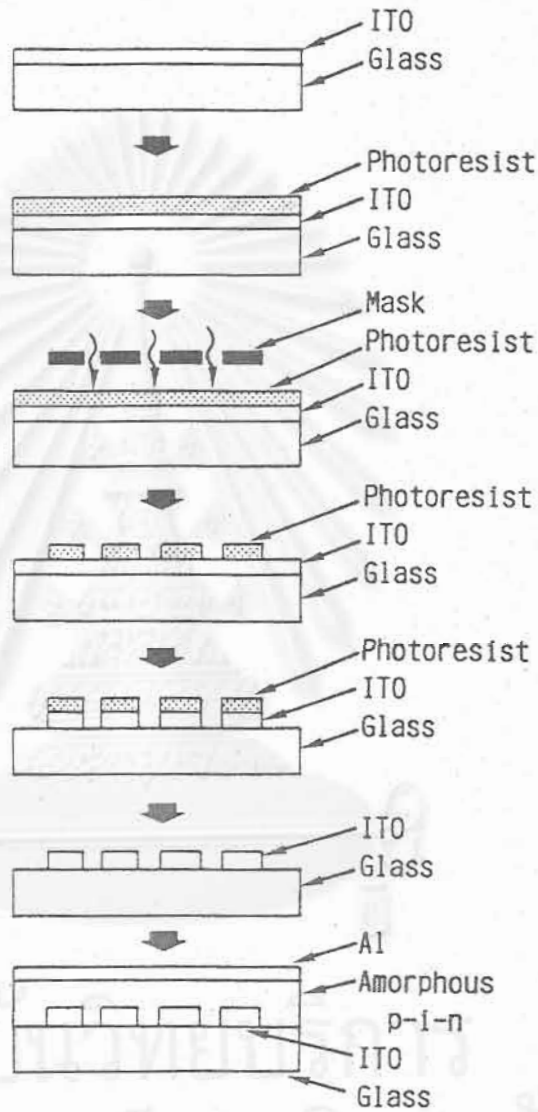
รูปที่ 13.4 ภาพถ่ายของ a-SiN:H TFLED ที่กำลังเปล่งแสงสีแดงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด  $3 \times 5 \text{ mm}^2$



รูปที่ 13.5 ภาพถ่ายของ a-SiN:H TFLED ที่กำลังเปล่งแสงรูปวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง  
กลาง 2 mm. และให้แสงสีต่างๆ (a) สีแดง (b) สีเหลือง (c) สีเขียว  
และ (d) สีขาว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 13.6 ขั้นตอนการประดิษฐ์ TFLED ที่เปล่งแสงมี pattern ตาม pattern ของขั้ว ITO



- นำแผ่นกระจกนี้ไปแช่ลงในน้ำยาเคมี  $HCL + FeCl_3 + H_2O$  ประมาณ 15-20 นาที เพื่อกัดฟิล์ม ITO บริเวณที่ไม่มี photoresist คลุมให้ละลาย
- ตรวจสอบให้แน่ใจว่า สามารถกัดฟิล์ม ITO ได้สวยงามแล้ว
- ล้างน้ำ
- แช่แผ่นกระจกลงใน acetone เพื่อล้าง photoresist ออกให้หมด
- ตรวจสอบดูว่าได้ pattern ของฟิล์ม ITO ตามต้องการ
- นำแผ่นกระจกไปล้างด้วย Trichloroethylene, acetone และ methylalcohol

รูปที่ 13.7 แสดงตัวอย่างลักษณะ pattern ของ mask ที่ใช้ในกระบวนการ photolithography สำหรับกัด ITO ให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ เมื่อได้เตรียมแผ่นกระจกที่มีฟิล์ม ITO มีรูปร่างตามต้องการแล้ว จึงนำไปเคลือบชั้นอะมอร์ฟัสให้เต็มแผ่นกระจก (เว้นพื้นที่ต่อไฟฟ้าไปขั้ว ITO เล็กน้อย) และเคลือบฟิล์ม Al ให้เต็มแผ่นโดยมิให้ชิดกับขั้ว ITO

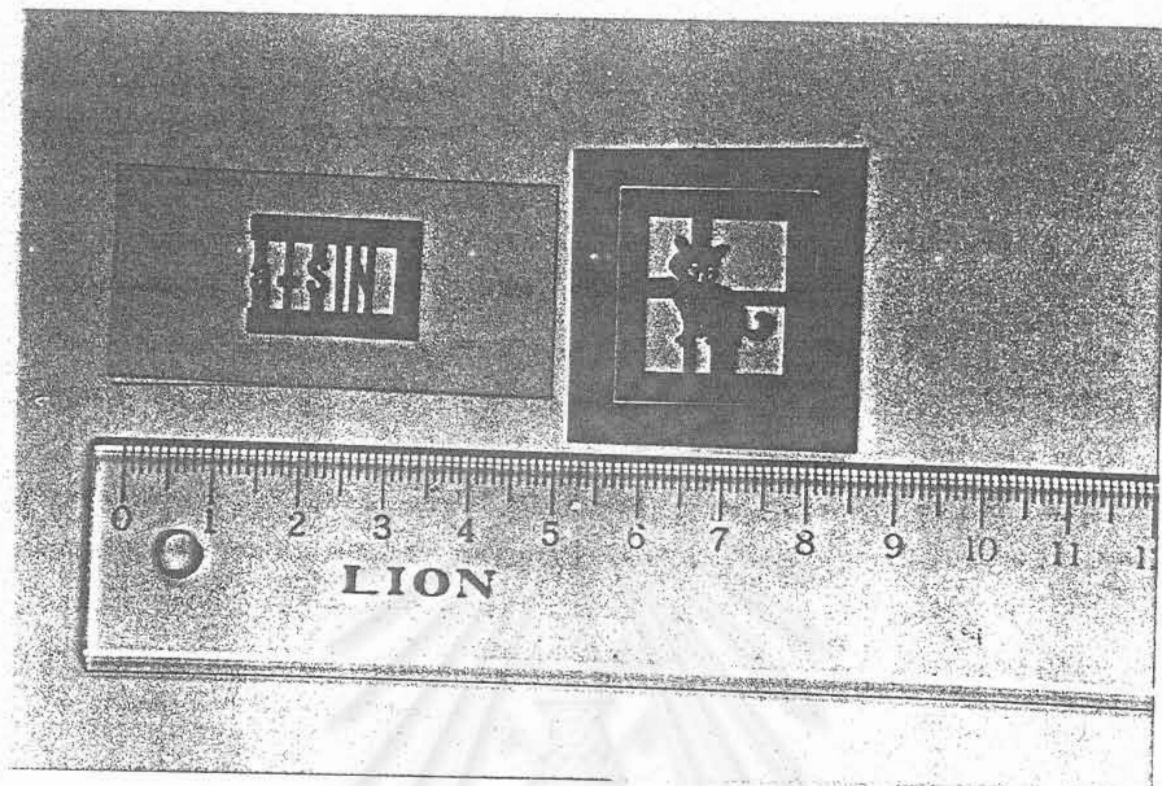
รูปที่ 13.8 แสดงภาพถ่าย a-SiN:H TFLED ขณะยังไม่เปล่งแสง (a) และขณะกำลังเปล่งแสงสีขาวน้ำเงิน (b) เป็นรูปตัวอักษรสูงประมาณ 6 mm

### 13.2 การออกแบบ TFLED ที่สามารถเปล่งแสงภาพเคลื่อนไหวได้

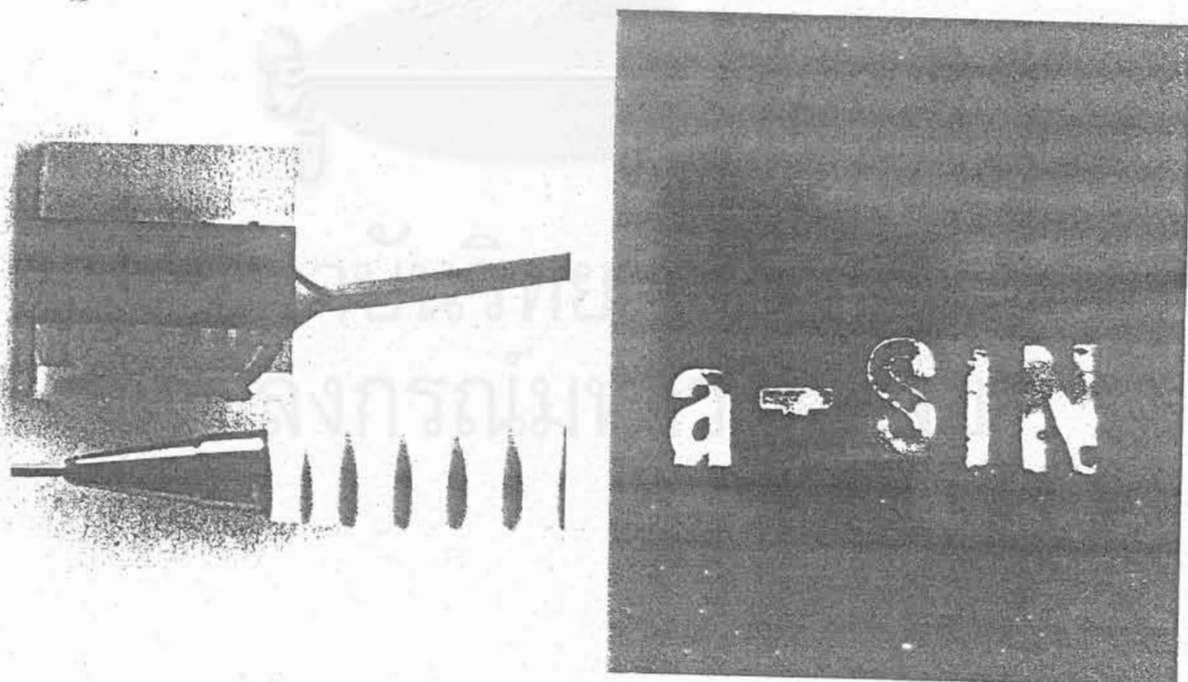
หลักการพื้นฐานในการออกแบบ TFLED ที่สามารถเปล่งแสงภาพเคลื่อนไหวได้ในกรณี TFLED ในงานวิจัยนี้ คล้ายคลึงกับในกรณีของดิสเพลย์ชนิดผลึกเหลว (LCD) กล่าวคือจะต้องออกแบบให้ขั้วไฟฟ้าทั้ง ITO และ Al มีลักษณะเป็นเส้นตรงหลายๆ เส้นและไขว้กันแบบ matrix ดังแสดงในรูปที่ 13.9 เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าผ่านขั้ว ITO และ Al ที่เส้นใดจะทำให้ TFLED เปล่งแสงออกมาเป็นจุดเล็กๆ เฉพาะบริเวณที่มีไฟฟ้าไหลผ่านส่วนที่ ITO และ Al ไขว้กันเท่านั้น และถ้ามีวงจรอิเล็กทรอนิกส์ป้อนสัญญาณภาพให้ไหลไปตามขั้ว ITO และมีการป้อนกระแสไฟฟ้าให้ scanning ไปตามขั้ว Al ก็จะสามารถแสดงภาพให้เป็นภาพเคลื่อนไหวได้ดังแสดงหลักการในรูปที่ 13.10 ความถี่ของการ scanning อาจเป็นระดับ kHz

สำหรับด้านการประดิษฐ์ TFLED ที่มีขั้วแบบ matrix นี้จะได้ดำเนินการต่อไปในการวิจัยเฟสที่ 2

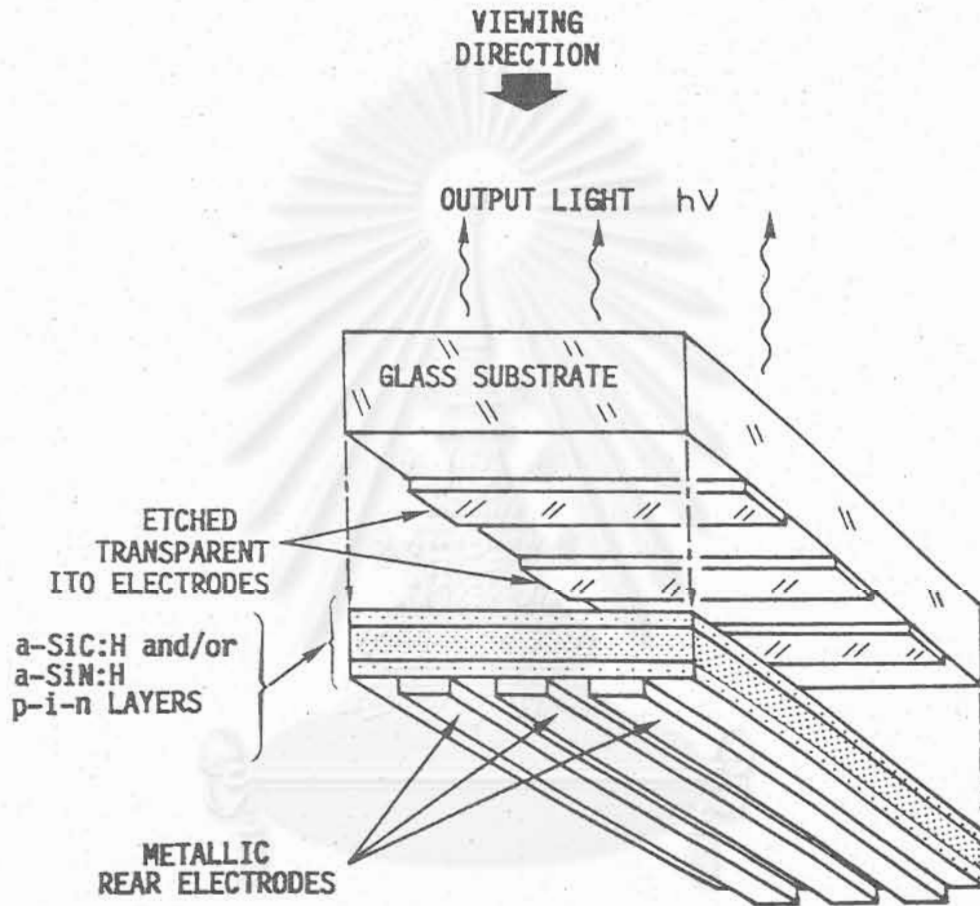
ตัวอย่างการออกแบบนั้น ถ้าตัวจอดีสเพลย์มีขนาด  $70 \times 100 \text{ mm}^2$  อาจออกแบบให้มี pixel จำนวน  $216 \times 384$  จุด และ pixel แต่ละจุดมีขนาด  $350 \times 260 \text{ }\mu\text{m}$  เป็นต้น



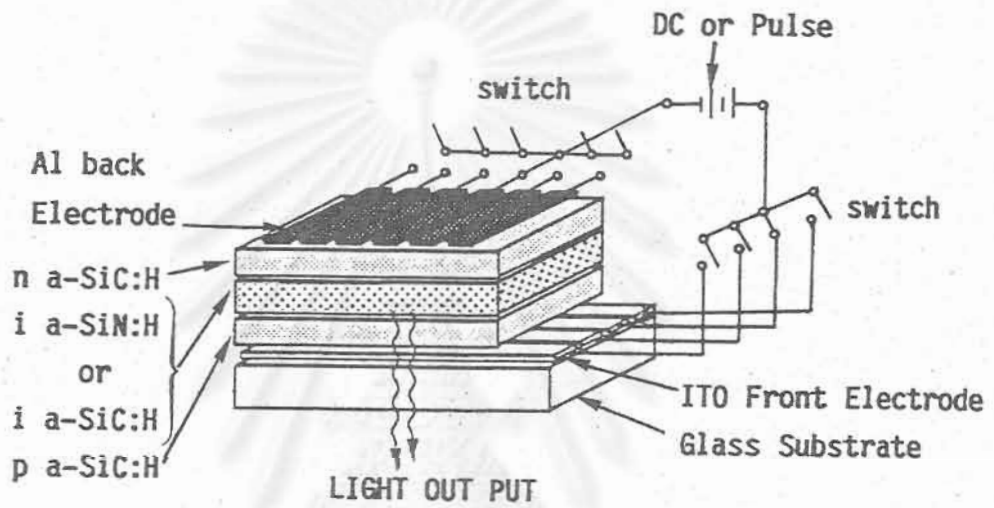
รูปที่ 13.7 ภาพตัวอย่าง mask ที่ใช้ในกระบวนการ photolithography สำหรับกัด ITO ให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ



รูปที่ 13.8 ภาพถ่าย a-SiN:H TFLED ขณะยังไม่เปล่งแสง (a) และขณะกำลังเปล่งแสงสีขาบน้ำเงิน (b) ตัวอักษรมีความสูงประมาณ 6 mm.



รูปที่ 13.9 โครงสร้างของ TFLED ที่มีขั้ว ITO และ Al เป็น matrix



รูปที่ 13.10 โครงสร้างของ TFLED ที่มีชั้น ITO และ Al เป็น matrix และตัวอย่าง  
การใช้วงจร scanning ภาพให้ได้ภาพเคลื่อนไหว

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

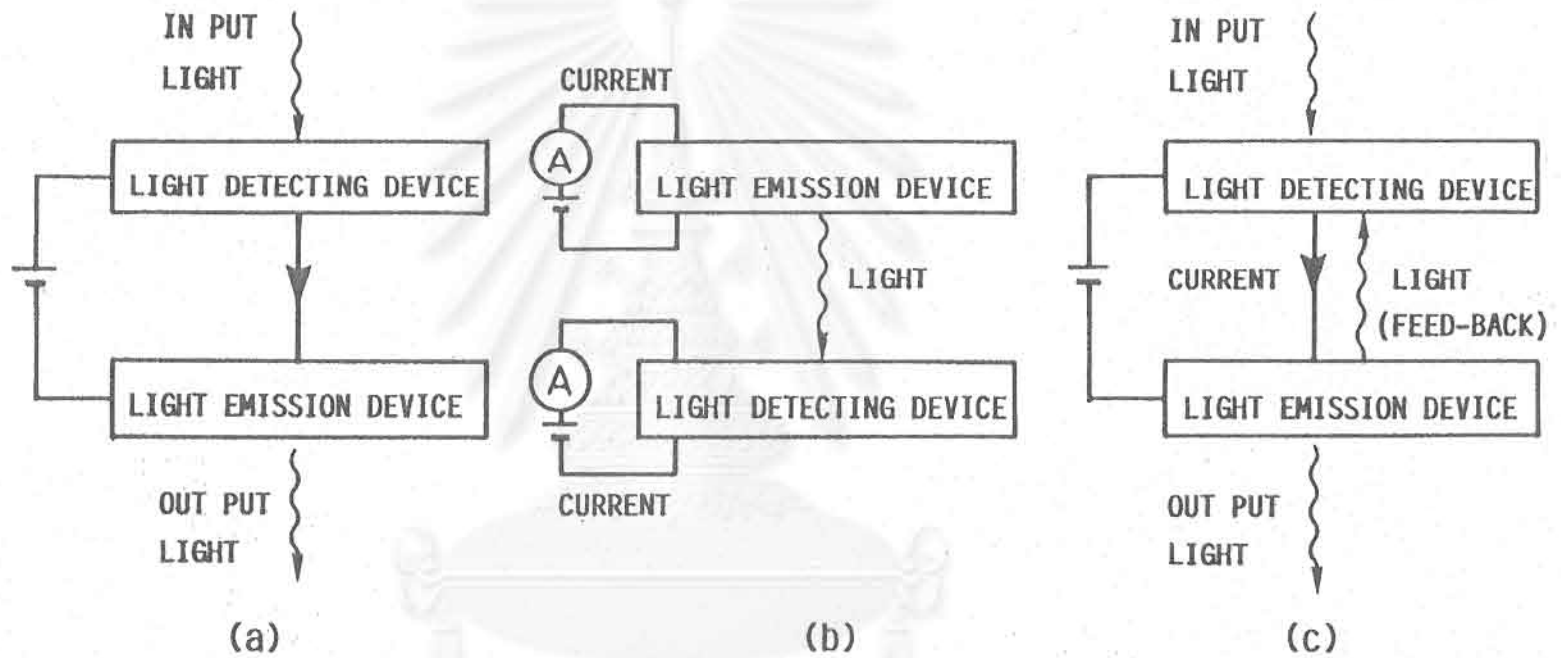
### 13.3 การใช้งาน TFLED ในออปโตอิเล็กทรอนิกส์

TFLED ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ นอกจากการใช้งานเป็นดิสเพลย์เพื่อให้ตามนุษย์มองแล้ว ยังมีศักยภาพในการนำไปใช้งานเป็น light source ในอุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานหลากหลายได้อีกด้วย เช่น 3-dimensional OE-IC(optoelectronic IC), วงจรคำนวณ logic ต่าง ๆ ด้วยแสง, image processor ต่าง ๆ

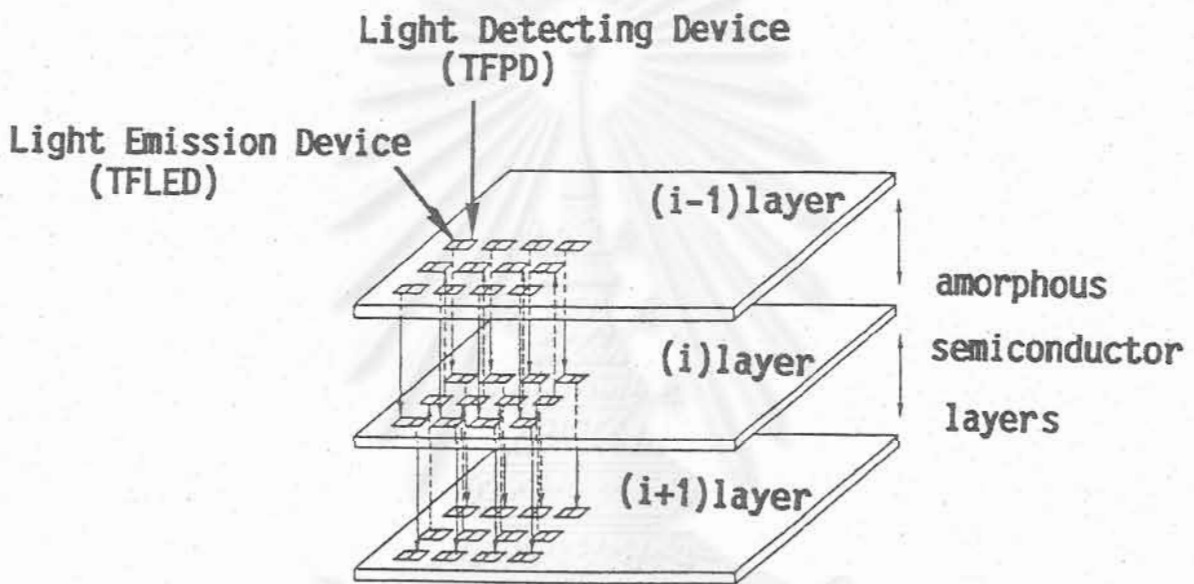
ความจริงแล้ว ความคิดในการสร้าง optoelectronic functional elements เช่น image converter และ image storage ฯลฯ ได้มีมานานแล้วตั้งแต่ ค.ศ. 1959 โดย E.E. Loebner แต่ผู้พยายามจะประดิษฐ์นั้นล้วนแล้วแต่ใช้วัสดุผลึก (เช่น GaAs, InP) เป็นวัสดุเริ่มต้น จึงติดปัญหาเรื่อง lattice mismatch ระหว่างชั้นต่าง ๆ ตลอดจนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่จะสร้าง integrated บน chip เดียวกัน แต่อย่างไรก็ตาม ในกรณีของอะมอร์ฟัส TFLED นี้ ไม่มีปัญหาเรื่อง lattice mismatch จึงสามารถสร้างชั้นทังวงจร drive ต่าง ๆ เช่น อะมอร์ฟัส Thin Film Transistor และอะมอร์ฟัส photodiode ได้อย่างไม่ยาก

รูปที่ 13.11 แสดงตัวอย่าง combination ระหว่างสิ่งประดิษฐ์เปล่งแสงและรับแสงที่สามารถสร้างได้ด้วยวัสดุอะมอร์ฟัสซึ่งจะทำให้ได้สิ่งประดิษฐ์ที่ทำงานได้สำเร็จรูปในตัวเอง อาทิ เช่น รูป (a) เป็น optical switch รูป (b) เป็น photocoupler รูป (c) เป็น optical amplifier ฯลฯ เป็นต้น

รูปที่ 3.12 แสดงตัวอย่างการสร้าง multi-layer ด้วยวัสดุอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำชั้นหลาย ๆ ชั้นบนแผ่นฐานเดียวกัน ในแต่ละชั้นมี light emission และ light detection device ที่มีจำนวนมากมาย และอาจมี TFT ช่วยเป็นวงจร logic ซึ่งอาจประยุกต์ใช้งานใน optical computer ได้



รูปที่ 13.11 ตัวอย่าง combination ระหว่างสิ่งประดิษฐ์แปลงแสงและรับแสงที่ผลิตจาก  
อะมอร์ฟิสเพื่อประกอบเป็น functional elements ต่างๆ (a) optical  
switch, (b) photocoupler และ (c) optical amplifier



รูปที่ 13.12 ตัวอย่างสิ่งประดิษฐ์ multi-layer ที่ใช้วัสดุอะมอร์ฟัสล้วน ๆ ซึ่งมีประโยชน์  
ในงาน optical computer และ neural network ชนิดต่าง ๆ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 14

## สรุป

ผลงานวิจัยเรื่อง "ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางชนิดวัสดุอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำ" เล่มนี้สรุปเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

1. ได้ติดตั้งระบบ glow discharge plasma CVD สำหรับปลูกฟิล์ม a-SiN:H และ a-SiC:H ได้เสร็จสมบูรณ์ตามเป้าหมาย
2. สามารถปลูกฟิล์ม a-SiN:H และ a-SiC:H ได้สำเร็จตามเป้าหมาย ก๊าซสำหรับ a-SiN:H คือ  $\text{SiH}_4 + \text{NH}_3$  ก๊าซสำหรับ a-SiC:H คือ  $\text{SiH}_4 + \text{CH}_4$  เงื่อนไขพื้นฐานได้แก่ rf power 3-4 watt, pressure 1 Torr และ substrate temperature  $190^\circ\text{C}$  ฟิล์ม a-SiN:H ชนิด i จะใช้เป็นชั้นเปล่งแสง และฟิล์ม a-SiC:H ชนิด p และ n จะใช้เป็นชั้นฉีดพาหะในไดโอดเปล่งแสงฟิล์มบางรอยต่อ p-i-n
3. ได้มีการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของฟิล์ม a-SiN:H และ a-SiC:H ทั้งทางโครงสร้างทางแสง และทางไฟฟ้า
4. จากผลการศึกษาโครงสร้างของ a-SiN:H ด้วย Infrared Absorption พบว่าฟิล์มที่ปลูกนั้นมีอะตอมของ Si, N และ H ผสมอยู่ โดยที่การเพิ่มอัตราส่วนของก๊าซ  $\text{NH}_3/(\text{NH}_3 + \text{SiH}_4)$  จะทำให้เปอร์เซ็นต์ของ N ในฟิล์มมีค่ามากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าอะตอม H นั้นมีการสร้างพันธะทั้งในรูปของพันธะ Si-H และ N-H ทั้งนี้ H ได้มีหน้าที่สำคัญในการเป็น terminator ช่วยลดขนาดให้ลดลงด้วย
5. จากผลการศึกษาโครงสร้างของ a-SiN:H ด้วยวิธี ESR (Electron Spin Resonance) พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของก๊าซ  $\text{NH}_3/(\text{SiH}_4 + \text{NH}_3) = x$  จาก 0 ถึง 0.71 จะทำให้ขนาด (dangling bond) มีปริมาณเพิ่มขึ้นจาก  $5 \times 10^{15} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$  ไปเป็น  $1 \times 10^{18} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$  อย่างไรก็ตามปริมาณของขนาดระดับนี้ยังไม่มากจนเกินไปที่จะทำให้ฟิล์ม a-SiN:H ไม่เปล่งแสง จึงยังอยู่ในวิสัยที่จะใช้ a-SiN:H เป็นชั้นเปล่งแสงในสิ่งประดิษฐ์ได้
6. จากผลการศึกษา chemical bonding ของ a-SiN:H ด้วยวิธี ESCA (Electron spectroscopy for Chemical Analysis) ให้ได้ข้อมูลสำคัญเกี่ยวกับการสร้างพันธะทางเคมีของอะตอมต่างๆ ในฟิล์ม
7. ได้มีการศึกษาคุณสมบัติทางแสงของ a-SiN:H ด้วยการวัดสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงและวัดโฟโตลูมิเนสเซนซ์
8. จากผลการวัดสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของ a-SiN:H ในย่านใกล้ optical band edge พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของก๊าซ  $\text{NH}_3/(\text{SiH}_4 + \text{NH}_3)$  จะทำให้สเปกตรัมของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของ a-SiN:H เคลื่อนไปทางพลังงานโฟตอนที่มีค่ามากขึ้น

9. เมื่อเพิ่มอัตราส่วนก๊าซ  $X = \text{NH}_3/(\text{SiH}_4+\text{NH}_3)$  จาก 0.3 ไปถึง 0.75 ทำให้ช่องว่างพลังงานของ a-SiN:H เพิ่มจาก 2.05 eV ไปเป็น 3.1 eV ข้อมูลนี้สำคัญมากในการนำไปใช้ออกแบบผลิตไดโอดเปล่งแสงฟิล์มบาง

10. เนื่องจาก a-SiN:H จะใช้เป็นชั้นเปล่งแสงในไดโอดเปล่งแสงฟิล์มบางจึงได้มีการวัดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ (PL) ของ a-SiN:H อย่างละเอียด โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเงื่อนไขก๊าซและสเปกตรัม PL ศึกษา excitation spectrum ของ PL และศึกษาอิทธิพลของสนามไฟฟ้าที่มีต่อประสิทธิภาพของ PL

11. ผลการวัดสเปกตรัม PL ที่อุณหภูมิห้องของ a-SiN:H ชนิดบริสุทธิ์ที่มีค่าช่องว่างพลังงานระหว่าง 2.07 eV-2.90 eV พบว่าสเปกตรัม PL ของ a-SiN:H เป็นรูปภูเขามียอดเดี่ยวที่ค่อนข้างกว้าง (มี FWHM ประมาณ 0.2-0.4 eV) เมื่อช่องว่างพลังงานเพิ่มขึ้น สเปกตรัมจะเคลื่อนไปทางความยาวคลื่นที่สั้นลง และสีของการเปล่งแสงของ PL จะเปลี่ยนจากสีแดง-ส้ม-เหลืองและไปสู่สีเขียว

12. ความสว่างของ PL ที่อุณหภูมิห้องของ a-SiN:H มีค่าสูงเพียงพอที่จะสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า การ confirm เช่นนี้เป็นประโยชน์มากต่อการประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสงฟิล์มบางในขั้นต่อไป

13. ผลการวิเคราะห์การเปล่งแสง PL ของ a-SiN:H พบว่าเกิดจากการรวมตัวของอิเล็กตรอนและโฮลแบบเปล่งแสงผ่านระดับ localized states ที่อยู่ในช่องว่างพลังงาน

14. ได้มีการวัดและวิเคราะห์การขึ้นกับความยาวคลื่นของแสงที่ใช้กระตุ้น PL พบว่า radiative recombination centers ใน a-SiN:H มีกระจายอยู่เป็นหลายระดับใน localized states บริเวณ band tails

15. ผลการวัดอิทธิพลของสนามไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่ a-SiN:H ที่มีต่อ PL พบว่า ถ้าสนามไฟฟ้ามีค่าสูงจะทำให้ประสิทธิภาพการเปล่งแสง PL ลดลง ดังนั้นจึงทำให้ได้แนวทางการออกแบบไดโอดเปล่งแสงว่า ควรออกแบบให้มีสนามไฟฟ้าตกคร่อมชั้นเปล่งแสงให้น้อยที่สุด

16. ประสบความสำเร็จในการโด๊ป a-SiC:H ให้เป็นชนิด p และ n ด้วยการเติมก๊าซสารเจือปนชนิด  $\text{B}_2\text{H}_6$  และ  $\text{PH}_3$  ตามลำดับลงในก๊าซ  $\text{SiH}_4+\text{CH}_4$  ขณะปลูกฟิล์มทั้งนี้ช่องว่างพลังงานของ a-SiC:H จะถูกคงไว้ที่ 2.0 eV

17. ได้มีการออกแบบและผลิตไดโอดเปล่งแสงฟิล์มบางให้มีโครงสร้าง glass/ITO/p a-SiC:H/i a-SiN:H/n a-SiC:H/Al สิ่งประดิษฐ์นี้เปล่งแสงให้เห็นเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงประมาณ 5-10 V หรือพัลส์ในลักษณะไบแอสตาม

18. การประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสงฟิล์มบางซึ่งมี a-SiN:H เป็นชั้นเปล่งแสงนับเป็นครั้งแรกในโลก

19. ได้มีการศึกษาลักษณะสมบัติพื้นฐานของไดโอดเปล่งแสงฟิล์มบางอย่างละเอียด ได้แก่ ลักษณะสมบัติไดโอด (J-V) กลไกการฉีดพาหะและกลไกการรวมตัวของพาหะ

20. จากขีดจำกัดในการโด๊ป a-SiC:H ทำให้ช่องว่างพลังงานของชั้น p และ n a-SiC:H ได้คงไว้ที่ 2.0 eV ในขณะที่ช่องว่างพลังงานของชั้นเปล่งแสง i a-SiN:H ที่ให้แสงมองเห็นมีค่าสูงกว่า 2.2 eV จึงทำให้ช่องว่างพลังงานของชั้นเปล่งแสงมีค่ามากกว่าของชั้นฉีดยา และจากผลการวิเคราะห์การฉีดยาพบว่า อิเล็กตรอนและโฮลถูกฉีดยาจากชั้น n และ p ให้วิ่ง tunneling ผ่าน barrier ที่รอยต่อของ i/n และ p/i ตามลำดับ

21. ไดโอดเปล่งแสงฟิล์มบางชนิดนี้เปล่งแสงได้ด้วยหลักการ carrier injection electroluminescence กล่าวคือ โฮลและอิเล็กตรอนจะถูกฉีดยาจากชั้น p และ n ด้วยการไบแอสตาม (ใช้แรงดันไฟฟ้าประมาณ 5-10 V.) ให้ไหลเข้าสู่ชั้น i a-SiN:H และรวมตัวกันในชั้น i เปล่งเป็นแสงออกมาจากชั้น i

22. จากการวัด J-V พบว่า สิ่งประดิษฐ์ที่ผลิตแสดงคุณสมบัติของการเป็นไดโอดเป็นที่น่าสนใจ

23. สีของการเปล่งแสงสามารถกำหนดได้จากขนาดของช่องว่างพลังงานของชั้น i a-SiN:H ในงานวิจัยนี้สามารถผลิตไดโอดเปล่งแสงฟิล์มบางชนิดอะมอร์ฟัสนี้ให้เปล่งแสงสีแดง สีส้ม สีเขียว และสีขาวย่างไรก็ได้สำเร็จ

24. จากการ optimization ทั้งทางทฤษฎีและทดลองหาความหนาที่เหมาะสมของชั้น p, i และ n ได้ผลดังนี้ 150 Å, 500 Å และ 300 Å ตามลำดับ

25. การเปล่งแสงจากไดโอดเปล่งแสงฟิล์มบางชนิดอะมอร์ฟัสนี้ เกิดจากการรวมตัวแบบเปล่งแสงของโฮลและอิเล็กตรอนผ่านระดับ localized states (tail states) ในชั้น i a-SiN:H

26. การเปล่งแสงจากไดโอดเปล่งแสงสว่างเพียงพอที่จะเห็นได้ด้วยตาในห้องที่มีแสงสลัว ความสว่างที่ได้มีอยู่ในช่วง 0.1-1.0 cd/m<sup>2</sup> (ใช้ DC current 500-1200 mA/cm<sup>2</sup>)

27. จากผลการวัดความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างและความถี่ของกระแสไฟฟ้าพัลส์พบว่า ความสว่างคงที่เมื่อความถี่ต่ำกว่า 1 MHz และความสว่างเริ่มลดลงเมื่อความถี่สูงกว่า 1 MHz ข้อมูลนี้เป็นการยืนยันได้ว่าไดโอดเปล่งแสงชนิดนี้สามารถทำงานเป็นดิสเพลย์ ซึ่งใช้ความถี่ scanning ทั่วไประดับ kHz ได้

28. ประสบความสำเร็จในการผลิตให้ไดโอดเปล่งแสงฟิล์มบางสามารถเปล่งแสงเป็น รูปร่าง pattern ต่างๆ ได้ด้วยพื้นที่การเปล่งแสงตั้งแต่ ตารางมิลลิเมตรไปจนถึงระดับตารางเซนติเมตร pattern ของภาพสามารถกำหนดได้ด้วย pattern ของขั้วไฟฟ้า Al และ/หรือขั้ว ITO

29. ได้มีการวิจารณ์และออกแบบการใช้งานไดโอดเปล่งแสงฟิล์มบางในออปโตอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เช่น ใช้ใน photocoupler, optical switch, optical amplifier, optical computer ฯลฯ เป็นต้น

การคิดค้นออกแบบและประดิษฐ์สิ่งประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางจากวัสดุอะมอร์ฟัสซิลิกอนในไตรต์และอะมอร์ฟัสซิลิกอนคาร์ไบด์ในงานวิจัยนี้เป็นความสำเร็จเป็นครั้งแรกในโลก ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางนี้มีความบางมากไม่ถึง 1 ไมครอน สามารถเปล่งแสงที่ตามองเห็นได้ตั้งแต่สีแดง สีส้ม สีเหลือง สีเขียว ไปจนถึงสีน้ำเงินขาว นับว่าเป็นไดโอดเปล่งแสงชนิดเดียวในโลกที่สามารถเปล่งแสงสีหลักต่าง ๆ ได้ครบ จากวัสดุเพียงตระกูลเดียวกัน

ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางชนิดอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำนี้จัดว่าเป็นสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดใหม่ที่เกิดขึ้นในโลก ทั้งนี้เพราะว่าไดโอดเปล่งแสงที่มีการผลิตอยู่ในปัจจุบันนั้นทำจากวัสดุผลึกเดี่ยวทั้งหมด ส่วนในงานวิจัยนี้ใช้วัสดุอะมอร์ฟัสทั้งหมด และเป็นการช่วย ขยายการประยุกต์ใช้งานวัสดุอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำด้วย

ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางชนิดอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำนี้สามารถเปล่งแสงจากพื้นราบ (surface emission) ได้ จึงมีศักยภาพที่จะนำไปผลิตเป็นจอภาพดิสเพลย์แบบบางเรียบ (flat-panel display) หรือจอโทรทัศน์แบบบางเรียบ (flat-panel TV) ได้ ดังนั้นผลงานวิจัยการคิดค้นในงานวิจัยนี้จึงมีเนื้อหาทั้งทางวิชาการที่ลึกซึ้งและมีศักยภาพสูง ในการประยุกต์ผลิตเป็นภาคอุตสาหกรรม

ข้อดีเด่นของไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางชนิดอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำนี้ ได้แก่ 1) ต้นทุนการผลิตต่ำเพราะใช้วัสดุราคาถูกและผลิตด้วยวิธี CVD ที่อุณหภูมิเพียง 200°C 2) ผลิตเป็นฟิล์มบางพื้นใหญ่ ๆ ได้ง่าย ทำให้ได้ดิสเพลย์ขนาดใหญ่ 3) ผลิตบนแผ่นฐานวัสดุชนิดต่าง ๆ ได้ เช่น แผ่นกระจก แผ่นโลหะ แผ่นพลาสติก แผ่นเซรามิก ทำให้ได้ดิสเพลย์รูปร่างและการใช้งานหลากหลาย เป็นต้น

ตลอดงานวิจัยได้มีการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานใน International Journals/Conferences มากกว่า 10 เรื่อง ตลอดจนได้รับเกียรติจากกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมให้เป็นผลงานตัวแทนประเทศไทยไปเผยแพร่ในงาน Expo'93 ที่เมือง Taejon ประเทศเกาหลีใต้ด้วย จึงเป็นที่ regonized ในวงการทั่วไปทั่วโลก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ก. ซอฟต์แวร์สำหรับการวัดความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างและกระแสไฟฟ้าชนิดเข้า TFLED  
อย่างอัตโนมัติ



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```

10 *****
20 *          MEASUREMENT OF EL INTENSITY          *
30 *
40 *          PROGRAM NAME "DUSITBJ" TR6143(ADDRESS 18)&4140B(ADDRESS16)*
50 *
60 *          by DUSIT KRUANGAM                    *
70 *          1993/5/20 PC-9801                    *
80 *****
90

```

```

100 DIM B(300) ,INC(300),J(300)
110 CONSOLE 0,25,0,1 :CLS 3
200 COLOR 6 :LOCATE 16,3 :PRINT "***** Measurement of EL INTENSITY*****"
210 COLOR 5 :LOCATE 29,5 :PRINT "Task selection"
220 LOCATE 25,7 :PRINT "0 Auto Measurement"
230 LOCATE 25,8 :PRINT "1 Data Loading"
240 COLOR 2 :LOCATE 25,10 :PRINT "Press your choice-number"
250 COLOR@ (25,7)-(25,8),2
260 *LOOPA :C$=INKEY$:IF C$="0" THEN *MAIN
270 'IF C$="1" THEN * +++++
280 GOTO *LOOPA
290 '
300 '
310 *MAIN
320 GOSUB *INPUTDATA
350 GOSUB *MEASURE
355 '----Choice of next----
360 COLOR 6 :PRINT "Return(1) or Print out(0) ?"
365 *LOOPB
370 C$=INKEY$:IF C$="1" THEN *MAIN
380 IF C$="0" THEN *OUTPUTDATA
390 GOTO *LOOPB
400 *OUTPUTDATA
450 GOSUB *OUTFIGURE
500 GOSUB *NUMBEROUT
550 '
560 '
570 GOTO *MAIN
580 END
1200 '
1220 '
1230 '
1240 '
1250 *INPUTDATA
1260 CONSOLE 0,25,0,1
1270 CLS 3 :COLOR 6
1280 LOCATE 10,0:PRINT "***** Input sample data & Measurement conditions *****"
1290 COLOR 5 :LOCATE 10,3 :PRINT "Date"
1300 LOCATE 10,4 :PRINT "Sample name"
1310 LOCATE 10,5 :PRINT "Comment"
1315 LOCATE 20,8 :PRINT "Step pattern ? Linear(1) or Log(0) "
1320 LOCATE 25,14 :PRINT "Start current [mA]"
1330 LOCATE 25,15 :PRINT "Stop current [mA]"
1340 LOCATE 25,16 :PRINT "Step [mA]"
1350 LOCATE 18,19 :PRINT "Step delay time [sec] (1-9)"
1360 LOCATE 18,20 :PRINT "Cell area [cm^2] 0.033"
1370 LOCATE 26,3 :COLOR@ (0,3)-(79,3),7 :COLOR 7 :LOCATE 25,3
1380 INPUT DATTE$:COLOR@ (0,3)-(79,3),5
1390 COLOR@ (0,4)-(79,4),7 :LOCATE 25,4
1400 INPUT SAMPLE$:COLOR@ (0,4)-(79,4),5
1410 COLOR@ (0,5)-(79,5),7 :LOCATE 25,5
1420 INPUT COMMENT$:COLOR@ (0,5)-(79,5),5
1430 *RTN1 :COLOR@ (0,8)-(79,8),7 :C$=INKEY$
1435 IF C$="1" THEN STEPPTN=1 :GOTO *JUNK1
1445 IF C$="0" THEN STEPPTN=0 :GOTO *JUNK1
1450 GOTO *RTN1

```



```

1455 *JUMP1 :COLOR@ (0,8)-(79,8),5
1490 *RTN2 :COLOR@ (0,14)-(79,14),7 :LOCATE 46,14
1500 INPUT CSTA :COLOR@ (0,14)-(79,14),5
1510 COLOR@ (0,15)-(79,15),7 :LOCATE 46,15
1520 INPUT CSTO :COLOR@ (0,15)-(79,15),5 :IF CSTA>=CSTO THEN *RTN2
1530 *RTN3 :COLOR@ (0,16)-(79,16),7
1535 IF STEPPTN=0 THEN LOCATE 30,16 :PRINT "{1 < }"
1540 LOCATE 46,16 :INPUT CSTE :COLOR@ (0,16)-(79,16),5 :IF CSTE<=0 THEN *RTN3
1550 COLOR@ (0,19)-(79,19),7 :LOCATE 46,19
1560 INPUT TDLY :COLOR@ (0,19)-(79,19),5 :IF TDLY<=0 THEN TDLY=1
1565 IF TDLY>8 THEN TDLY=9
1570 COLOR@ (0,20)-(79,20),7 :LOCATE 46,20
1580 INPUT ARBA :COLOR@ (0,20)-(79,20),5 :IF ARBA<=0 THEN ARBA=.033
1585 RETURN
1590 '
1592 '

```

1595 \*MEASURE

```

1598 '----Prepare of GP-IB----
1600 ISET IFC
1610 ISET BEN
1620 CMD DELIM=0
1630 PRINT@ 16; "F1BA1H12I3J1T1A6B2L3M3"
1635 'PRINT@ 18;"C"
1640 PRINT@ 18; "I4D50V"
1700 IF STEPPTN=1 THEN CTOTAL=INT((CSTO-CSTA)/CSTE)+1 :GOTO *JUMP2
1710 CTOTAL=INT((LOG(CSTO)-LOG(CSTA))*CSTE/LOG(10))+1
1720 *JUMP2 :COLOR 6 :LOCATE 5,24
1725 INPUT "Ready for start ";READY
1735 '---Start----
1740 CLS 3 :COLOR 2
1750 PRINT "Now measuring !" :CONSOLE 3,25,0,1
1760 COLOR 6 :LOCATE 13,2
1770 PRINT "***** No.      I(mA)      B(a.u) *****"
1780 PRINT :COLOR 5
1790 PRINT@ 16; "w1"
1800 INPUT@ 16; A$
1810 BDARK=VAL(MID$(A$,4,9))
1900 ON SRQ GOSUB *MEASURESTOP
1910 SRQ ON
2010 FOR I=1 TO CTOTAL
2020 IF STEPPTN=1 THEN INC(I)=CSTA+CSTE*(I-1) :GOTO *JUMP3
2030 INC(I)=10^(LOG(CSTA)/LOG(10)+(I-1)/CSTE)
2040 INC(I)=CSNG(INC(I))
2050 *JUMP3 :J(I)=INC(I)/AREA
2055 PRINT@ 18; "E"
2060 PRINT@ 18; "D"+STR$(INC(I))
2070 IF I<>1 THEN *JUMP4
2080 FOR HA=1 TO 3000 :NEXT HA
2090 *JUMP4
2100 'GOSUB *DELAY
2110 FOR HA=1 TO 3000 :NEXT HA
2140 INPUT@ 16; A$
2150 B(I)=VAL(MID$(A$,4,9))
2170 B(I)=(B(I)-BDARK)*10^10
2175 ' LLL=(LOG(J(I))/LOG(10)-3)^2 :B(I)=10^(3-LLL/3) KASOU
2178 IF B(I)<1 THEN B(I)=1
2180 BEEP 1 :FOR HB=1 TO 200 :NEXT HB :BEEP 0
2190 PRINT " ";
2200 PRINT USING "      ###   #####.##   ###.###^" ; I,INC(I),B(I)
2210 NEXT I
2300 *MEASUREEND
2500 PRINT@ 18; "H"
2510 BEEP 1 :FOR HC=1 TO 2000 :NEXT HC :BEEP 0
2520 COLOR 4 :PRINT :PRINT "Finished !"
2530 IRESET BEN

```



```

2540 RETURN
2550 '
2560 '
2570 '
2580 '
4000 '---- Output figure & hard copy----
4010 *OUTFIGURE
4020 CONSOLE 0,25,0,1 :CLS 3
4030 SCREEN 3,1
4040 WINDOW (0,0)-(639,399) :VIEW (0,0)-(639,399)
4050 X=84 :Y=328 :XS=64 :YS=64
4100 FOR L=0 TO 1
4110   FOR M=1 TO 3
4120     LINE (X+XS*M,Y-L*(YS*5-8))- STEP(0,-8),7
4130     NEXT M
4140   NEXT L
4150 FOR L=0 TO 1
4160   FOR M=1 TO 4
4170     LINE (X+L*(XS*4-8),Y-YS*M)- STEP(8,0),7
4180     NEXT M
4190   NEXT L
4200 LINE (X,Y)-(X+XS*4,Y-YS*5),5,B
4250 COLOR 6 :EL$="EL INTENSITY a.u."
4260 FOR HD=1 TO 18
4270   LOCATE 2,HD+1
4280   PRINT MID$(EL$,HD,1)
4290 NEXT HD
4300 LOCATE 13,23 :PRINT "INJECTION CURRENT (nA/cm^2)"
4310 LOCATE 45,6 :PRINT "Sample name = ";SAMPLE$
4320 LOCATE 45,7 :PRINT "          ";COMMENT$
4330 LOCATE 45,8 :PRINT "          Date = ";DATE$
4340 LOCATE 45,9 :PRINT "          Cell area = ";AREA ;"[cm^2]"
4350 LOCATE 45,10 :PRINT "          Delay time = ";TDLY ;"[sec]"
4360 BMAX=0
4370 FOR I=1 TO CTOTAL
4380   IF B(I)>BMAX THEN BMAX=B(I)
4390 NEXT I
4400 IF BMAX>10^5 THEN LYMIN=INT(LOG(BMAX)/LOG(10))-4 ELSE LYMIN=0
4410 LXMIN=0
4420 IF J(1)<1 THEN LXMIN=INT(LOG(J(1))/LOG(10))
4430 IF J(CTOTAL)>10000 THEN LXMIN=INT(LOG(J(CTOTAL))/LOG(10))-3
4500 COLOR 7
4600 FOR L=0 TO 5
4605   YMIN=10^(LYMIN+L)
4610   LOCATE 4,20-4*L :PRINT USING "###^####";YMIN
4620 NEXT L
4630 FOR L=0 TO 4
4640   LOCATE 10+7*L,21 :PRINT 10^(LXMIN+L)
4650 NEXT L
4700 FOR I=1 TO CTOTAL
4710   XPOINT=(LOG(J(I))/LOG(10)-LXMIN)*XS
4720   YPOINT=(LOG(B(I))/LOG(10)-LYMIN)*YS
4730   IF XPOINT<0 OR XPOINT>XS*4 THEN 4780
4740   IF YPOINT<0 THEN YPOINT=0
4770   CIRCLE (X+CINT(XPOINT),Y-CINT(YPOINT)),3,2
4780 NEXT I
4840 COPY 3
4850 RETURN
4860 '
4870 '
5000 '
5010 '----Print out number data----
5100 *NUMBEROUT
5200 LPRINT " ***** EL INTENSITY / INJECTION CURRENT DENSITY *****" :LPRINT
5210 LPRINT "          Sample name = ";SAMPLE$;"          ";COMMENT$

```

```

5215 LPRINT "      Date = ";DATTS$
5220 LPRINT "      Cell Area = ";AREA;" (cm^2)
5230 LPRINT
5240 LPRINT
5250 LPRINT "      No.   J[mA/cm^2]   B[a.u]   No.   J[mA/cm^2]   B[a.u]"
5260 LPRINT
5270 HALF=CINT(CTOTAL/2)
5280 FOR I=1 TO HALF
5290 LPRINT USING "  ##  #####.##  ##.##^" ;I,J(I),B(I);
5300 '
5305 IF I+HALF>CTOTAL THEN 5330
5310 LPRINT USING "  ###  #####.##  ##.##^" ;I+HALF,J(I+HALF),B(I+HALF)
5320 NEXT I
5330 LPRINT
5340 LPRINT CHR$(12)
5400 RETURN
5410 '
5420 '
5430 '
10000 *WEASUBSTOP
10010 POLL 20,S
10020 IF S AND 64=64 THEN CTOTAL=I-1 :RETURN *WEASUBEND
10025 SEQ ON
10030 RETURN
10040 '
10050 '
10100 *DELAY
10110 TA$=TIME$ :TIME$=TA$
10120 TSTA=VAL(RIGHT$(TA$,1)) :TSTO=TSTA+TDLY :TSS=STR$(TSTO)
10130 WHILE RIGHT$(TSS,1)<>RIGHT$(TIME$,1) :WEND
10140 RETURN
10150 '
10160 '

```

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข. การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัย และการจดสิทธิบัตร ผลงานวิจัยเรื่องนี้เป็น original ครั้งแรกในโลกของคณะผู้วิจัย จึงได้มีการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานทั้งใน International Journal, International Conference และการประชุมในประเทศ ดังต่อไปนี้



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. Dusit Kruangam, Wirote Boonkosum and Somsak Panyakeow. "Amorphous Visible-Light Thin Film LED Having a-SiN:H as a Luminescent Layer", presented at the 1992 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), Tsukuba Center Building, Tsukuba, Japan, August 26-28, 1992. pp. 563-565.
2. Dusit Kruangam, Wirote Boonkosum and Somsak Panyakeow. "Visible Thin Film Light Emitting Diode Using a-SiN:H/a-SiC:H Heterojunctions", presented at the 15th International Conference on Amorphous Semiconductors: Science & Technology (ICAS), Cambridge University, Cambridge, United Kingdom, September 6-10, 1993. (4 pages.)
3. Dusit Kruangam and Wirote Boonkosum. "World's First Thin Film LED Made of Amorphous Silicon Nitride Possibility of New Type of Flat Panel Display", Presented at The Third International Conference on Advance Science and Technology Transfer to Thailand, Ambassador Hotel, Bangkok, July 23-25, 1993. (1 page.)
4. Wirote Boonkosum, Dusit Kruangam and Somsak Panyakeow. "Amorphous Visible-Light Thin Film Light Emitting Diode Having a-SiN:H as a Luminescent Layer", Japanese Journal of Applied Physics (JJAP), Vol. 32, part. 1, No. 4, April 1993, pp 1534-1538.
5. Wirote Boonkosum, Dusit Kruangam and Somsak Panyakeow. "Visible Light Amorphous Silicon-Nitride Thin Film Light Emitting Diode", presented at the 1993 Spring Meeting of Materials Research Society (MRS), San Francisco Marriott Hotel, San Francisco, CA, U.S.A., April 12-16, 1993. (6 pages.)
6. Wirote Boonkosum, Dusit Kruangam and Somsak Panyakeow. "Novel Flat-Panel Display Made of Amorphous SiN:H/SiC:H Thin Film LED", presented at International Symposium of Physical Concepts and Materials for Novel Optoelectronic Device Applications II organized by the European Optical Society (EOS) and SPIE - The International Society for Optical Engineering, at International Center for Science and High Technology, Trieste, Italy, May 24-28, 1993. (12 pages.)
7. Wirote Boonkosum, Banched DeLong, Dusit Kruangam and Somsak Panyakeow. "Novel Visible Amorphous Silicon Carbide Thin Film LED", presented at the First International Symposium on Laser and Optoelectronics Technology and Applications, IMM Conference Hall, Singapore, November 11-14, 1993. (6 page.)

8. Dusit Kruangam and Wirote Boonkosum. "Novel Thin Film Light Emitting Diode Display Made of Amorphous Silicon-Based Semiconductors", the 1994 Spring Meeting of Materials Research Society (MRS), San Francisco Marriott Hotel, San Francisco, CA, U.S.A., April 4-8, 1994.
9. Wirote Boonkosum, Dusit Kruangam and Somsak Panyakeow. Novel Amorphous Photocoupler Consisting of a-SiC:H Thin Film Led and a-Si:H Thin Film Photodiode, the 1994 Spring Meeting of Materials Research Society (MRS), San Francisco Marriott Hotel, San Francisco, CA, U.S.A., April 4-8, 1994.
10. Wirote Boonkosum, Dusit Kruangam and Somsak Panyakeow. Improvement of brightness & Threshold-Current in Visible-Light a-SiC:H Thin Film LED by Using Metal Sheet Substrate", the 1994 Spring Meeting of Materials Research Society (MRS), San Francisco Marriott Hotel, San Francisco, CA, U.S.A., April 4-8, 1994.
11. ดุสิต เครื่องาม และวิโรจน์ บุญโกสุมภ์. "การประยุกต์ฟิล์มบางของอะมอร์ฟัสซิลิกอนไนไตรด์เป็นชั้นเปล่งแสงในไดโอดเปล่งแสง", เสนอในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18 ณ ศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ กรุงเทพฯ, 27-29 ตุลาคม 2535. หน้า 104 ถึง 105.
12. วิโรจน์ บุญโกสุมภ์, ดุสิต เครื่องาม และสมศักดิ์ ปัญญาแก้ว. "การประยุกต์อะมอร์ฟัสซิลิกอนไนไตรด์เป็นชั้นเปล่งแสงใน LED ชนิดฟิล์มบาง", เสนอในการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 15 ณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี กรุงเทพฯ 3-4 ธันวาคม 2535, หน้า 3-1 ถึง 3-5.
13. วิโรจน์ บุญโกสุมภ์, ดุสิต เครื่องาม, สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว และ บรรเจิด ดีลอง. "การศึกษาโพโตลูมิเนสเซนซ์ในอะมอร์ฟัสซิลิกอนไนไตรด์", เสนอในการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 16 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ, 25-26 พฤศจิกายน 2536. (จำนวน 6 หน้า.)
14. วิโรจน์ บุญโกสุมภ์, ดุสิต เครื่องาม, สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว และบรรเจิด เดลอง\* "ฟิลิกส์และเทคโนโลยีของไดโอดเปล่งแสงชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำ -สิ่งประดิษฐ์จิวโทรทัศน์แบบแบนชนิดใหม่ของโลกโดยคนไทย-" เสนอในการประชุมวิชาการเรื่องฟิลิกส์ยุคใหม่ ณ ภาควิชาฟิลิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา, 25-26 ตุลาคม 2536 (จำนวน 15 หน้า)

15. วิโรจน์ บุญโกสุมภ์, ดุสิต เครื่องาม, สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว และบรรเจิด เดลอง. "การพัฒนาจอโทรทัศน์แบบแบนใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 20 โวลต์ สิ่งประดิษฐ์ครั้งแรกในโลกโดยฝีมือคนไทย", นิตยสารวิชาการทางวิศวกรรม ครั้งที่ 1 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 20-24 พฤศจิกายน 2536. (จำนวน 6 หน้า)

### การจดสิทธิบัตร

ได้ดำเนินการจดสิทธิบัตรเกี่ยวกับการประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำและการใช้งาน จำนวน 2 เรื่อง ครอบคลุมทั้งภายในประเทศไทยและต่างประเทศ



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค. ปัญหาที่ประสบ

โดยทั่วไปการวิจัยดำเนินไปได้ดี ไม่มีปัญหาที่ประสบมากนัก การสั่งซื้อก๊าซพิเศษต่างๆ ก็โชคดีที่ได้มีบริษัทเอกชนตั้งขึ้นมาใหม่ในกรุงเทพฯ ทำหน้าที่สั่งซื้อจัดส่งเคลียร์ภาษีให้หมด จึงสะดวกต่อการสั่งซื้อมาก การวัดลักษณะสมบัติต่างๆ ของ TFLED ก็ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนขึ้น จึงทำให้การวัดต่างๆ เป็นไปอย่างแม่นยำ ซึ่งได้ใช้ความเพียรพยายามในการเขียนอย่างสูงของผู้วิจัย

อย่างไรก็ตามเนื่องจากงานวิจัยเรื่อง a-SiN:H TFLED นี้ยังไม่มีคณะผู้วิจัยที่อื่นใดกำลังทำวิจัยอยู่ ดังนั้นจึงไม่สามารถมีข้อมูลเปรียบเทียบกับที่อื่น แต่ในทางตรงกันข้าม ข้อมูลต่างๆ ที่ได้ในงานวิจัยนี้คงจะต้องถูกนำไปอ้างอิงอย่างกว้างขวางต่อไปในระดับนานาชาติ



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ง. โครงการที่กำลังและดำเนินการต่อไปในเฟสที่ 2 ในเรื่องเกี่ยวกับการพัฒนาไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางและการประยุกต์ใช้งาน

แม้ว่าในปีที่ 1 (เฟสที่ 1) จะประสบความสำเร็จในการประดิษฐ์ a-SiN:H TFLED แต่ความสว่างยังมีค่าต่ำระดับ 1~10 cd/m<sup>2</sup> ยังไม่สามารถนำไปใช้เป็นติสเพลย์ได้ทันที

จำเป็นต้องปรับปรุงความสว่างให้สูงขึ้น และถ้ามีความสว่างสูงถึงกว่า 100 cd/m<sup>2</sup> ก็จะสามารถผลิตเป็นอุตสาหกรรมได้ทันที

ดังนั้นการวิจัยเรื่องไดโอดเปล่งแสงชนิดฟิล์มบางนี้ จึงได้กำลังดำเนินการต่อเนื่องต่อไปในเฟสที่ 2 และกำลังได้รับทุนสนับสนุนต่อเนื่อง จากฝ่ายวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นจำนวนเงิน 823,520 บาท (ต.ค. 36 - ก.ย. 37) แนวทางการปรับปรุงความสว่าง อาทิเช่น

1. ปรับปรุงเครื่องมือระบบ glow-discharge plasma CVD ซึ่งใช้ในการปลูกฟิล์ม a-SiN:H ให้ดีขึ้น เช่น การใช้ปั๊มสุญญากาศที่มี pump-speed สูง จะทำให้ interface ระหว่างชั้นอะมอร์ฟิส p-i-n ดีขึ้น

2. หาค่าความหนาที่เหมาะสมของทุกชั้นอะมอร์ฟิสใน p-i-n

3. Propose โครงสร้างใหม่ๆ ซึ่งจะทำให้ carrier-injection efficiency และ luminescent efficiency ดีขึ้น เช่น

- โครงสร้าง Hot Carrier Tunneling Injection (ดูรูปที่ 1)

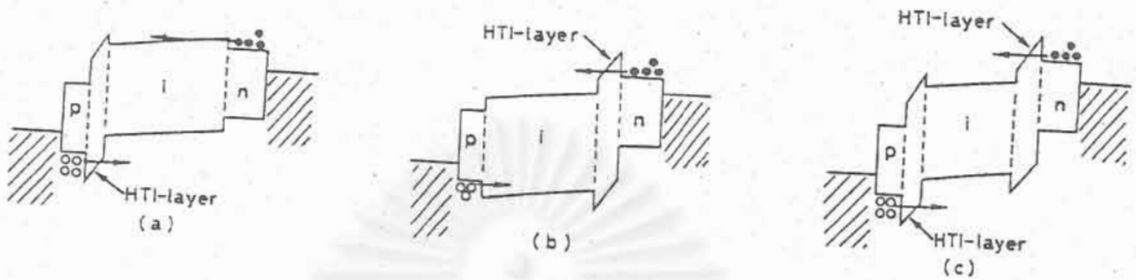
- โครงสร้าง Graded Band Gap (ดูรูปที่ 2)

- โครงสร้าง Superlattice & Quantum Confinement (ดูรูปที่ 3)

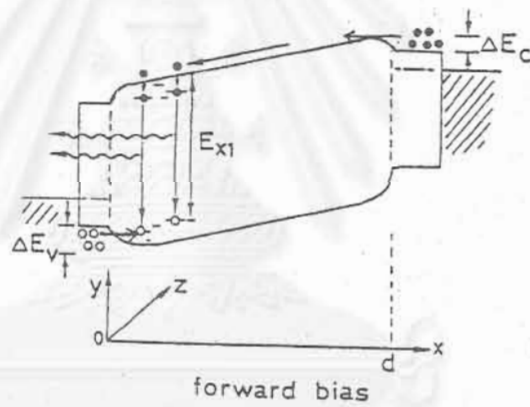
4. ใช้โลหะเป็นแผ่นฐานเพราะระบายความร้อนได้ดีกว่ากระจก (ดูรูปที่ 4)

นอกจากนี้ยังได้คิดค้นสร้าง photocoupler ที่ประกอบด้วยภาคเปล่งแสงและภาครับแสงเป็นอะมอร์ฟิสทั้งคู่ จึงนับว่าจะเป็นสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดใหม่ของโลกอีกเช่นกัน (ดูรูปที่ 5 และ 6)

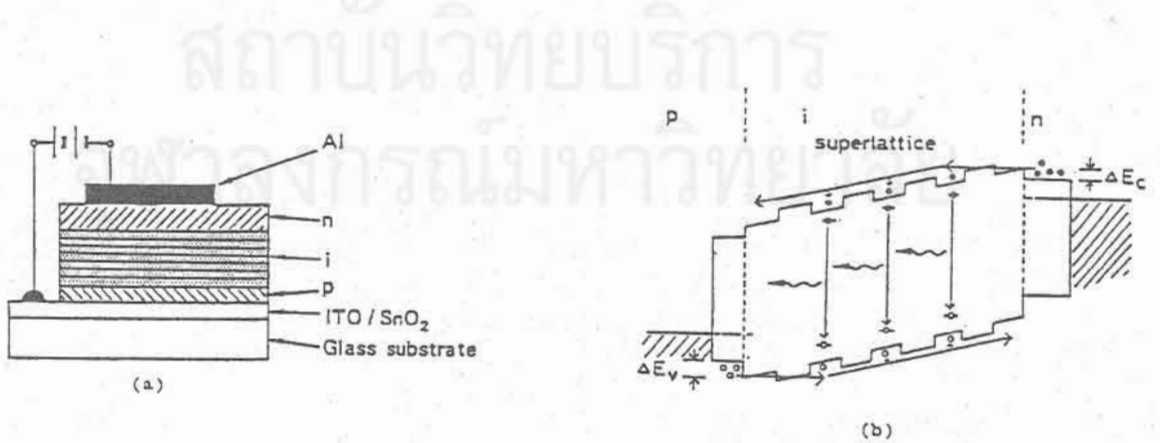
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1 ไดโอดเปล่งแสงที่มีโครงสร้างใหม่เป็น Hot Carrier Tunneling Injection



รูปที่ 2 ไดโอดเปล่งแสงที่มีโครงสร้างใหม่เป็น Graded Band Gap of i-Layer

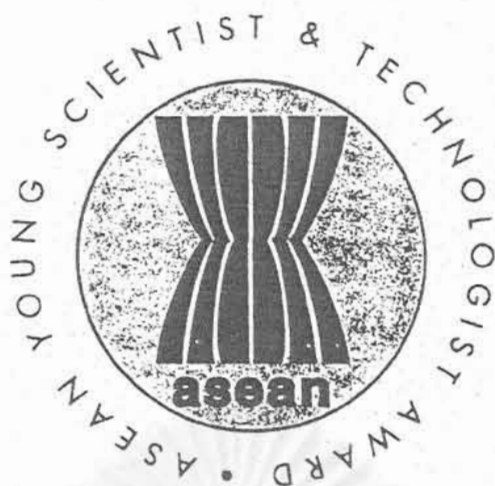


รูปที่ 3 ไดโอดเปล่งแสงที่มีโครงสร้างใหม่เป็น Superlattice

จ. รางวัลนักวิทยาศาสตร์อาเซียนดีเด่นรุ่นใหม่จากผลงานการคิดค้นในงานวิจัยเรื่องนี้



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



# C I T A T I O N

1 9 9 2

Presented to

*Dr Dusit Kruangam*

---

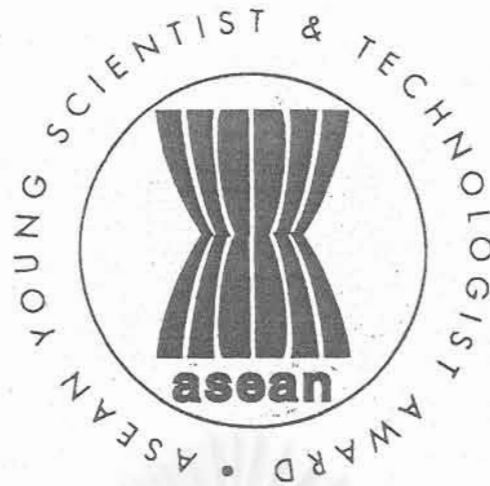
Winner of the ASEAN Young Scientist & Technologist Award

*for his pioneering development of  
Amorphous Silicon - Carbide and Silicon - Nitride  
Thin Film Light Emitting Diodes*

*Sakulalan*

---

Chairman  
ASEAN Committee on Science & Technology



# CERTIFICATE OF ACHIEVEMENT

1 9 9 2

Presented to

*Dr Dusit Kruangam*

---

*for his pioneering development of Amorphous Silicon - Carbide  
and Silicon - Nitride Thin Film Light Emitting Diodes*

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*Dana Asean*

---

Chairman  
ASEAN Committee on Science & Technology

# Asia

## MAGAZINE

DECEMBER 4-6, 1992

### MADE FOR TV

A Thai scientist's study into materials that could revolutionise the construction of television sets has received prestigious recognition.

Assistant professor of Chulalongkorn University's Department of Electrical Engineering Dr Dusit Kruangam, 34, recently won the inaugural ASEAN Young Scientist and Technologist Award in Singapore.

Dr Dusit's prototype of a Thin Film Lite Emitting Diode using amorphous materials could lead to the production of cheaper television sets.

The use of amorphous materials is not new. Songkhla-born Dr Dusit has painstakingly evolved his own method of producing the diode and is seeking a patent for his work.

"The key is the development of the materials — hi-tech and cheap — and the silicone. However, it is not ready for use yet. The brightness is not sufficient; it's too low for television and this could take several more years to improve. Then, we're talking of a billion-dollar invention," says Dr Dusit.



*Dusit: Billion-dollar invention*



# The Straits Times

Estd. 1845

TUESDAY, SEPTEMBER 22, 1992

50 CENTS MITA (P) 27/12/91

THE STRAITS TIMES, TUESDAY, SEPTEMBER 22, 1992

## ogy Week

### Thai beats 4 others to Scientist award

A THAI scientist, Dr Dusit Kruangam, last night received the Asean Young Scientist and Technologist Award for his work on semiconductors and optoelectronic devices.

He won the award against four other entries.

Earlier this year, Dr Kruangam, 34, succeeded in making a thin film light emitting diode (TFLED) made of amorphous silicon nitride — the first by anyone in the world.

The TFLED can emit many colours of light which can be used for low-cost flat panel displays.

Dr Kruangam, who is an assistant professor, received a crystal trophy, a citation certificate and US\$5,000 (S\$7,950).

Last night, Deputy Prime Minister Brig-Gen (Res) Lee Hsien Loong also presented

the Asean Science and Technology Meritorious Awards to five Asean officials for their contributions towards developing a conducive environment for science and technology.

They are: Prof Dr Sanga Sabhasri, chairman of Thailand's National Research Council; Dr Quintin Kintanar, director of the Philippines' Bureau of Food and Drugs, Department of Health;

Dato Mohd Noordin Hassan, secretary-general of Malaysia's Ministry of Education; Prof Ang How Ghee, professor in chemistry at the National University of Singapore; and Prof Dr D. A. Tisna Amidjaja, who is Indonesia's Ambassador to France.

Dr Amidjaja is also a professor at the Institute of Technology in Bandung.



ที่ ทม 0100/405

ทบวงมหาวิทยาลัย  
328 ถนนศรีอยุธยา ราชเทวี  
กรุงเทพฯ 10400

๒๘ ตุลาคม 2535


เรื่อง ขอแสดงความยินดี

เรียน ผศ.ดร.ดุสิต เครื่องงาม

ตามที่ผลงานวิจัยของท่านได้รับการคัดเลือกให้ได้รับรางวัลที่ 1 จากการประกวด  
แข่งขันรับรางวัลนักวิทยาศาสตร์อาเซียนรุ่นใหม่ ซึ่งจัดขึ้นในงานสัปดาห์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
ไทยแห่งอาเซียน ครั้งที่ 3 ณ ประเทศสิงคโปร์ โดยได้มีพิธีมอบรางวัลชนะเลิศและถ้วย  
เกียรติยศ เมื่อวันที่ 21 กันยายน 2535 แล้ว นั้น กระผมขอแสดงความยินดีและภูมิใจเป็น  
อย่างยิ่งที่อาจารย์ได้สร้างผลงานดีเด่นเป็นตัวอย่างที่ดีแก่วงการอุดมศึกษาของประเทศ

ในโอกาสอันเป็นมงคลนี้ กระผมขออาราธนาคุณพระศรีรัตนตรัยและสิ่งศักดิ์สิทธิ์  
ทั้งหลายได้โปรดดลบันดาลให้อาจารย์จงประสบแต่ความสุขมีสุขภาพอนามัยสมบูรณ์ มีพลัง  
สร้างสรรค์ผลงานเพื่อประเทศชาติสืบต่อไป

ขอแสดงความนับถือ



(นายสุเทพ อรรถากร)

รัฐมนตรีว่าการทบวงมหาวิทยาลัย

สำนักงานเลขาธิการรัฐมนตรี

โทร. 2460025 ต่อ 407

โทรสาร. 2458636

# ด่วนที่สุด

ที่ วว 0205/ 18147



กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี  
และสิ่งแวดล้อม

ถนนพระรามที่ 6 ราชเทวี กทม. 10400

๒๒ ตุลาคม ๒๕๓๕

เรื่อง ขอเชิญบรรยายพิเศษ


เรียน ดร. ดุสิต เครืองาม

สิ่งที่ส่งมาด้วย กำหนดการพบนักวิทยาศาสตร์อาเซียนดีเด่นรุ่นใหม่

ตามที่ท่านได้รับเกียรติให้เป็นนักวิทยาศาสตร์อาเซียนดีเด่นรุ่นใหม่ ประจำปี ๒๕๓๕ นั้น กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มีความภาคภูมิใจเป็นอย่างยิ่งที่นักวิทยาศาสตร์ไทย เป็นที่ยอมรับจากวงการวิทยาศาสตร์นานาชาติ และตระหนักในความสำคัญของบุคลากรซึ่งเป็นมันสมอง สำคัญของชาติ จึงขอร่วมแสดงความยินดีและขอมอบโล่เพื่อเป็นเกียรติยศและกำลังใจแก่ท่าน พร้อมทั้ง ขอเชิญท่านบรรยายเกี่ยวกับผลงานดีเด่นและประสบการณ์ต่างๆ แก่ข้าราชการและนักวิทยาศาสตร์ทั่วไป

จึงขอเรียนเชิญท่าน ในวันที่ ๒๘ ตุลาคม ๒๕๓๕ เวลา ๑๔.๐๐-๑๖.๐๐ น. ณ ห้องประชุม ชั้น ๔ อาคารสำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ

ขอแสดงความนับถือ

  
(นายเกษม สนิทวงศ์ ณ อยุธยา)  
ปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์  
เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

สำนักงานปลัดกระทรวง

สำนักงานนโยบายและแผนวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน

โทร. ๒๔๕-๙๘๗๖

โทรสาร ๒๔๕-๓๖๙๐

## กาจนนักวิทยาศาสตร์อาเซียนดีเด่นรุ่นใหม่

ห้องประชุมชั้น 4 อาคารสำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม



วันที่ 28 ตุลาคม 2535

14.00-14.15

กล่าวรายงานและแนะนำนักวิทยาศาสตร์อาเซียนดีเด่นรุ่นใหม่

โดย ดร.ชงยุทธ ยุทธวงศ์

ผู้อำนวยการสำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

14.15-14.30

กล่าวเปิดการบรรยายพิเศษ โดย

นายเกษม สนิทวงศ์ ณ อยุธยา

ปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

14.30-15.15

การบรรยายพิเศษเรื่อง "ผลงานที่ได้รับรางวัลนักวิทยาศาสตร์อาเซียนดีเด่นรุ่นใหม่"

โดย ดร.ดุสิต เครืองาม

15.15-15.20

พิธีมอบรางวัลเกียรติยศ

15.20-16.00

สันทนาการ แลกเปลี่ยนข้อคิดเห็น และรับประทานอาหารว่าง

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# เดลินิวส์

ฉบับที่ 15,730 วันพฤหัสบดีที่ 5 พฤศจิกายน พ.ศ. 2535 ราคา 5.00 บาท

DAILY NEWS

หน้า 3



ได้รางวัล ศึกษาดูงาน มูลศาสตรสาทร รวบรวมกระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ มอบโล่รางวัลและร่วม  
 แสดงความยินดีกับ ศศ.ดร.ดุสิต เจริญงาม เนื่องในโอกาสได้รับรางวัล ASEAN  
 SCIENTIST AND TECHNOLOGIST AWARD ที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ

สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



โดย โครงการเผยแพร่ผลงานวิจัย

ฝ่ายวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จาก

ไทยรัฐ

หน้า

8

วันที่

24 ก.ย. 35

## ไทยชนะเลิศ "นักวิทยาศาสตร์อาเซียน"

### "ดร.ดุสิต" จากจุฬาฯ ครัวร์รางวัลที่ 1 ด้วยผลงานสารกึ่งตัวนำ

โครงการเผยแพร่ผลงานวิจัย ฝ่ายวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แจ้งว่า การจัดการประกวดแข่งขันรางวัลนักวิทยาศาสตร์อาเซียนรุ่นใหม่ เป็นกิจกรรมส่วนหนึ่งในงานสัปดาห์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 3 (จัดทุก 3 ปี ครั้งต่อไปจัดที่ประเทศไทย) ซึ่งจัดขึ้นที่ประเทศสิงคโปร์ ระหว่างวันที่ 17-24 ก.ย. 35 และปีนี้เป็นปีแรกที่ได้มีการจัดการแข่งขันดังกล่าวเพื่อส่งเสริมและประกาศเกียรติคุณแก่นักวิจัย นักวิทยาศาสตร์ และนักเทคโนโลยีรุ่นใหม่ ๆ ที่มีผลงานวิจัยพัฒนาและค้นคิดที่เป็นประโยชน์ต่อวงการวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ให้มีกำลังใจในการทำงานต่อไป

ในปีนี้ ประเทศต่างๆในอาเซียนอันได้แก่ มาเลเซีย สิงคโปร์ อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ บรูไน และไทย ได้ส่งตัวแทนประเทศละ 1 คน เข้าร่วมแข่งขัน โดยมีกติกาว่าจะต้องมีอายุไม่เกิน 35 ปี และในการแข่งขันแต่ละคนต้องนำผลงานและโปสเตอร์ไปแสดง อีกทั้งต้องกล่าวรายงานผลงานของตนให้คณะกรรมการฟัง

จากผลการตัดสินที่พิจารณาจากผลงานวิจัย

ที่มีคุณประโยชน์ต่อวงการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และความมุ่งมั่นในการทำวิจัยที่ต่อเนื่อง ปรากฏว่า ผศ.ดร.ดุสิต เครื่องงาม อาจารย์นักวิจัยวัย 34 ปี ได้รับรางวัลชนะเลิศ ได้รับเงินสดจำนวน 5,000 ดอลลาร์สหรัฐ (ประมาณ 125,000 บาท) พร้อมทั้งถ้วยเกียรติยศและประกาศนียบัตรประกาศเกียรติคุณจาก นายลี เซียน ลุง รองนายกรัฐมนตรี และรัฐมนตรีว่าการกระทรวงการคลังและอุตสาหกรรม ของสิงคโปร์

ผศ.ดร.ดุสิต มีผลงานวิจัยตีพิมพ์ทางด้านเทคโนโลยีของวัสดุและสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์ของสารกึ่งตัวนำไว้มากมาย ผลงานวิจัยที่ชนะใจกรรมการในครั้งนี้คือ เป็นคนแรกที่คิดค้นและประดิษฐ์จอภาพแสดงผล (ดิสเพลย์) แบบแบนชนิดไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางจากวัสดุสารกึ่งตัวนำออสซิลอนของอะมอร์ฟัสซิลิกอนคาร์ไบด์และอะมอร์ฟัสซิลิกอน ในไตรคีได้สำเร็จเป็นคนแรกในโลก สิ่งประดิษฐ์ชิ้นนี้มีศักยภาพที่จะนำมาสร้างเป็นจอภาพโทรทัศน์แบบแบนชนิดใหม่ที่บางเบา ราคาถูก และมีพื้นที่ขนาดใหญ่แทนจอโทรทัศน์ในปัจจุบันได้.

จาก

สยามรัฐ

หน้า

11

วันที่

26 ก.ย. 35

# นักวิทยาศาสตร์ไทย "ที่ 1" ในอาเซียน ด้วยสิ่งประดิษฐ์สร้างจอโทรทัศน์ใหม่

รายงานข่าวจากโครงการเผยแพร่ผลงานวิจัย ฝ่ายวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แจ้งว่าการจัดการประกวดแข่งขันรางวัลนักวิทยาศาสตร์อาเซียน รุ่นใหม่ ในงานสัปดาห์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 3 ซึ่งจัดขึ้นที่ประเทศสิงคโปร์ระหว่างวันที่ 17-24 กันยายน ค.ศ. นี้ ซึ่งปีนี้เป็นปีแรกที่ได้มีการจัดการแข่งขันดังกล่าวเพื่อส่งเสริมและประกาศเกียรติคุณแก่นักวิจัย นักวิทยาศาสตร์และนักเทคโนโลยีรุ่นใหม่ ๆ ที่มีผลงานวิจัยพัฒนาและค้นคิดที่เป็นประโยชน์ต่อวงการ

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประเทศที่เข้าแข่งขันในปีนี้เป็นคือ มาเลเซีย สิงคโปร์ อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ บรูไน และไทย โดยส่งตัวแทนประเทศละ 1 คนเข้าร่วมแข่งขันมีกติกาว่า จะต้องมียุ่ไม่เกิน 35 ปี ในการแข่งขันแต่ละคนต้องนำผลงานและโปสเตอร์ไปแสดงอีกทั้งกล่าวรายงานผลงานของตนให้กรรมการฟัง ผลการตัดสิน ปรากฏว่า ผู้ช่วย

ศาสตราจารย์ ดร.ดุสิต เครืองาม อาจารย์นักวิจัยวัย 34 ปี ได้รับรางวัลชนะเลิศ ได้รับเงินสดจำนวน 5,000 ดอลลาร์สหรัฐ (ประมาณ 125,000 บาท) พร้อมทั้งถ้วยเกียรติยศและประกาศนียบัตรประกาศเกียรติคุณ จาก มร.ลี เซียน ลุง (LEE HSIEN LOONG) รองนายกรัฐมนตรีและรัฐมนตรีว่าการกระทรวงการต่างประเทศและอุตสาหกรรม ของสิงคโปร์ โดยพิธีประกาศและมอบรางวัลจัดขึ้นอย่างสมเกียรติที่โรงแรมแมนดาริน สิงคโปร์ เมื่อวันที่ 21 กันยายน ที่ผ่านมา

การคัดเลือกตัวแทนจากประเทศไทยนั้น สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และมูลนิธิส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ก็ได้ร่วมกันพิจารณา ซึ่งการได้รับรางวัลของ ดร.ดุสิต ในครั้งนี้ได้สร้างชื่อเสียงให้แก่ประเทศไทยเป็นอย่างมาก

ดร.ดุสิต มีผลงานวิจัยตีพิมพ์ทางด้านเทคโนโลยีของวัสดุและสิ่งประดิษฐ์

อิเล็กทรอนิกส์ของสารกึ่งตัวนำไว้มากมาย ผลงานวิจัยที่ชนะเลิศโครงการในครั้งนี้คือ เป็นคนแรกที่คิดค้นและประดิษฐ์จอภาพแสดงผล (ดิสเพลย์) แบบแบนชนิดไอโอดเปลงแสงแบบฟิล์มบางจากวัสดุสารกึ่งตัวนำสัณฐานของอะมอร์ฟัสซิลิกอนคาร์ไบด์และอะมอร์ฟัสซิลิกอนไนไตรด์ได้สำเร็จเป็นคนแรกในโลก สิ่งประดิษฐ์ชิ้นนี้มีศักยภาพที่จะนำมาสร้างเป็นจอภาพโทรทัศน์แบบแบนชนิดใหม่ที่บางเบา ราคาถูก และมีพื้นที่ขนาดใหญ่แทนจอโทรทัศน์ในปัจจุบันได้

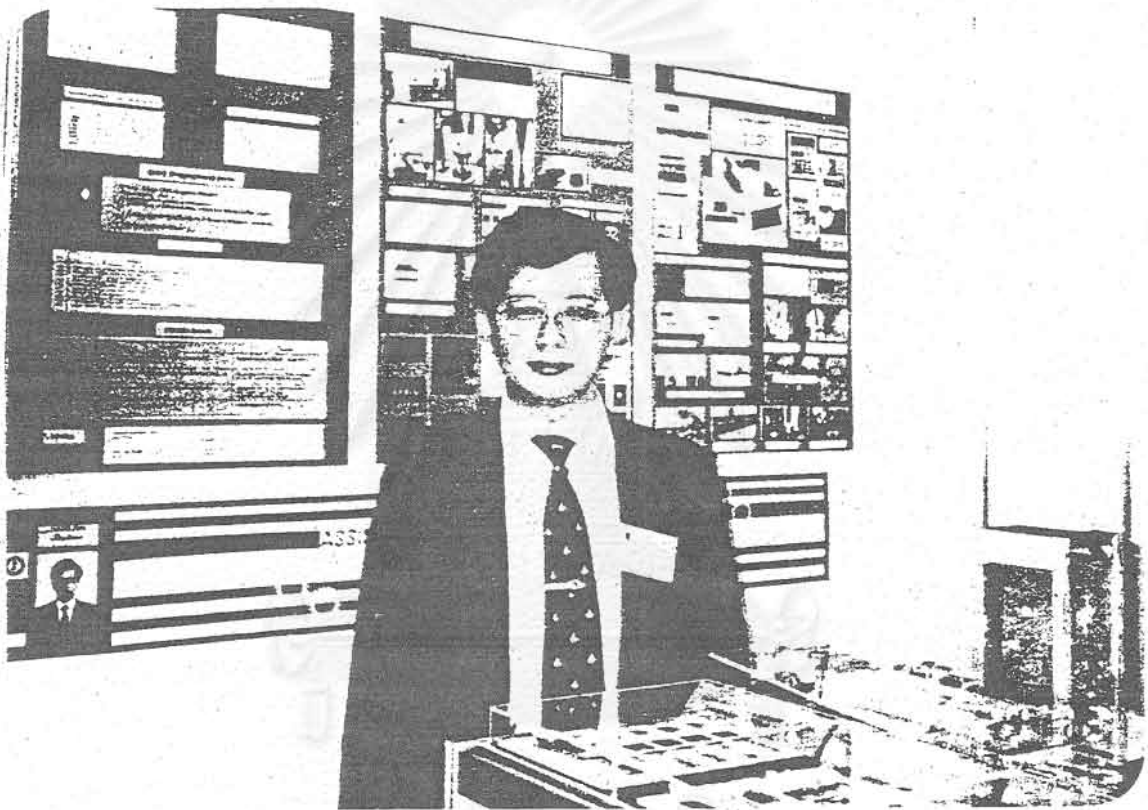
ดร.ดุสิต เคยได้รับรางวัลนักศึกษาศรีอยุธยาเอกดีเด่นจากสมาคมวิจัยวัสดุศาสตร์แห่งประเทศไทย ในพ.ศ. 2530 ได้รับรางวัลผลงานคิดค้นหรือสิ่งประดิษฐ์ที่เป็นประโยชน์ต่อชาติจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ในปีพ.ศ. 2534 และในปีเดียวกันนั้นก็ได้รับรางวัลนักวิทยาศาสตร์รุ่นใหม่จากมูลนิธิส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ ซึ่งผลงานการวิจัยของ ดร.ดุสิต มีประโยชน์ต่อประเทศทั้งในด้านการพัฒนาพลังงานทดแทนด้วยแสงอาทิตย์ และอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ



# จุฬาริวิจัย

ปีที่ 11 ฉบับที่ 10  
ตุลาคม 2535

โครงการเผยแพร่ผลงานวิจัย  
ฝ่ายวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โทร.2150871-3 ต่อ 3371-



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดุสิต เครืองาม แสดงผลงาน  
ที่ประเทศสิงคโปร์ เมื่อวันที่ 20 กันยายน ที่ผ่านมา

- อาจารย์นักวิจัยหนุ่มจุฬาฯ สร้างชื่อเสียงคว้ารางวัลชนะเลิศนักวิทยาศาสตร์อาเซียนรุ่นใหม่คนแรก
- การอภิปรายและบรรยายพิเศษเรื่อง "100 ปี ชิด บุรทัต"
- สถาบันวิจัยจุฬาฯ เข้าร่วมการฝึกอบรมสนเทศสมุทรศาสตร์ (THAINET)
- จุฬาฯ จัดประชุมกลุ่มประเทศในลุ่มแม่น้ำโขง ฉลอง 75 ปี แห่งการสถาปนาและส่งเสริมบทบาทความเป็นนานาชาติของมหาวิทยาลัย



# อาจารย์นักวิจัยหนุ่มจุฬาฯ สร้าง ชื่อเสียงคว้ารางวัลชนะเลิศ นักวิทยาศาสตร์อาเซียน รุ่นใหม่คนแรก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุสิต เครืองาม อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้รับรางวัลที่ 1 ในการเข้าร่วมแข่งขันรับรางวัลนักวิทยาศาสตร์อาเซียนรุ่นใหม่ ซึ่งจัดโดยคณะกรรมการอาเซียนว่าด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีร่วมกับสำนักงานคณะกรรมการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ประเทศสิงคโปร์



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุสิต เครืองาม แสดงผลงานที่ประเทศสิงคโปร์ เมื่อวันที่ 20 กันยายน ที่ผ่านมา

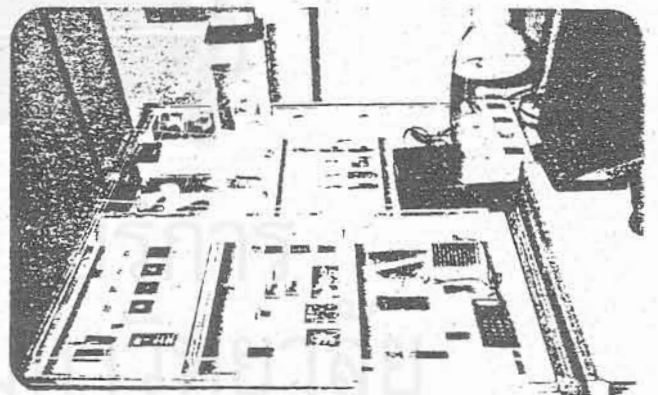
การจัดการแข่งขันรางวัลนักวิทยาศาสตร์อาเซียนรุ่นใหม่เป็นกิจกรรมหนึ่งในงานสัปดาห์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งอาเซียน ครั้งที่ 3 (จัดทุก 3 ปี ครั้งต่อไปจัดที่ประเทศไทย) ซึ่งจัดขึ้นที่ประเทศสิงคโปร์ระหว่างวันที่ 17-24 กันยายน คกนี้และปีนี้เป็นปีแรกที่ได้มีการจัดการแข่งขันดังกล่าวเพื่อส่งเสริมและประกาศเกียรติคุณแก่นักวิจัย นักวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีรุ่นใหม่ ๆ ที่มีผลงานวิจัยพัฒนาและคิดค้นที่เป็นประโยชน์ต่อวงการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีให้มีความสนใจในการทำงานต่อไป

ในปีนี้ ประเทศต่าง ๆ ในอาเซียนอันได้แก่ มาเลเซีย สิงคโปร์ อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ บรูไน และไทยได้ส่งตัวแทนประเทศละ 1 คนเข้าร่วมแข่งขัน โดยมีกติกาว่าจะต้องมีอายุไม่เกิน 35 ปี และในการแข่งขันแต่ละคนต้องนำผลงานและโปสเตอร์ไปแสดงอีก ทั้งต้องกล่าวรายงานผลงานของตนให้คณะกรรมการฟัง



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุสิต เครืองาม แดงข่าว ณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อวันที่ 24 กันยายน ที่ผ่านมา

จากผลการตัดสินที่พิจารณาจากผลงานวิจัยที่มีคุณประโยชน์ต่อวงการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและความมุ่งมั่นในการทำวิจัยที่ต่อเนื่อง ปรากฏว่า ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุสิต เครืองาม อาจารย์นักวิจัยวัย 34 ปี ได้รับรางวัลชนะเลิศ ได้รับเงินสดจำนวน 5,000 ดอลลาร์สหรัฐ (ประมาณ 125,000 บาท) พร้อมทั้งถ้วยเกียรติยศและประกาศนียบัตรประกาศเกียรติคุณ จาก มร.ลี เซียน ลุง (Lee Hsien Loong) รองนายกรัฐมนตรีและรัฐมนตรีว่าการกระทรวงการคลังและอุตสาหกรรมของสิงคโปร์ โดยพิธีประกาศและมอบรางวัลจัดขึ้นอย่างสมเกียรติที่โรงแรมแมนดาริน สิงคโปร์ เมื่อวันที่ 21 กันยายน ที่ผ่านมา



ผลงานที่นำไปแสดงและชนะเลิศกรรมการจนคว้ารางวัลชนะเลิศกลับมา

การคัดเลือกตัวแทนจากประเทศไทยนั้น สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติและมูลนิธิส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ได้ร่วมกันพิจารณา ซึ่งการได้รับรางวัลของ ดร.ดุสิต ในครั้งนี้ได้สร้างชื่อเสียงให้แก่ประเทศไทยเป็นอย่างมาก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุสิต สำเร็จการศึกษาจากประเทศญี่ปุ่นทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าทั้งปริญญาตรี (จาก

Nagoya University ปี พ.ศ. 2526) และปริญญาโท - เอก (จาก Osaka University ปี พ.ศ. 2528 และ 2531 ตามลำดับ) เริ่มเข้ารับราชการเป็นอาจารย์จุฬายฯ ตั้งแต่ปี 2531 ปัจจุบันเป็นผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬายฯ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดุสิต มีผลงานวิจัยตีพิมพ์ทางด้านเทคโนโลยีของวัสดุและสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์ของสารกึ่งตัวนำไว้มากมาย ผลงานวิจัยที่ชนะเลิศโครงการในครั้งนี้คือเป็นคนแรกที่คิดค้นและประดิษฐ์จอภาพแสดงผล (ดิสเพลย์) แบบแบนชนิดไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางจากวัสดุสารกึ่งตัวนำออสซิลอนของอะมอร์ฟัสซิลิกอนคาร์ไบด์และอะมอร์ฟัสซิลิกอนในไตรค์ได้สำเร็จเป็นคนแรกในโลก สิ่งประดิษฐ์ชิ้นนี้มีศักยภาพที่จะนำมาสร้างเป็นจอภาพโทรทัศน์แบบแบนชนิดใหม่ที่บางเบา ราคาถูก และมีพื้นที่ขนาดใหญ่แทนจอโทรทัศน์ในปัจจุบันได้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดุสิต มีผลงานวิจัยที่ทำอย่างต่อเนื่องและสะสมไว้มากมายมีบทความทางวิชาการที่ตีพิมพ์ระดับสากล 33 เรื่อง บทความในประเทศ 34 เรื่อง ร่วมเขียนตำราสากลภาษาอังกฤษเกี่ยวกับเทคโนโลยีอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำ 2 เล่ม เขียนตำราภาษาไทยเกี่ยวกับซิลิคอนเดทฟิสิกส์ ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ และวิศวกรรมไฟฟ้าพื้นฐานรวม 3 เล่ม นอกจากนี้ผลงานของ ดร. ดุสิต ยังถูกอ้างอิงในบทความระดับสากลกว่า 84 ครั้ง เคยจัดสิทธิบัตรไว้ 3 เรื่อง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดุสิต เคยได้รับรางวัลนักศึกษาปริญญาเอกดีเด่นจากสมาคมวิจัยวัสดุศาสตร์แห่งสหรัฐอเมริกา ใน พ.ศ. 2530 ได้รับรางวัลผลงานคิดค้นหรือสิ่งประดิษฐ์ที่เป็นประโยชน์ต่อชาติจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ในปี พ.ศ. 2534 ในปีเดียวกันนั้นก็ได้รับรางวัลนักวิทยาศาสตร์รุ่นใหม่จากมูลนิธิส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ ซึ่งผลงานการวิจัยของ ดร. ดุสิต มีประโยชน์ต่อประเทศทั้งในด้านการพัฒนาพลังงานทดแทนด้วยแสงอาทิตย์ และอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดุสิต แต่งงานแล้วมีบุตร 2 คน

### บทสัมภาษณ์

#### ความรู้สึกที่ได้รับรางวัลในครั้งนี้

รางวัลที่ได้รับมีพิธีประกาศก่อนข้างจะตื่นตื่น เพราะหลังจากแข่งขันเสร็จก็เก็บเป็นความลับไม่ยอมบอกให้ทราบ จนกระทั่งคืนวันอาทิตย์มีงานเลี้ยงใหญ่โตมากที่โรงแรมแมนดาริน ประเทศสิงคโปร์มีผู้แทนระดับรัฐมนตรีกระทรวงวิทยาศาสตร์ ประเทศต่าง ๆ และข้าราชการชั้นผู้ใหญ่มาร่วมประชุมเกือบพันคน



เลขาธิการคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ดร. อภิรัตน์ อรุณันท์ กล่าวรายงานความเป็นมาของการจัดแข่งขันรางวัลนักวิทยาศาสตร์อาเซียนรุ่นใหม่แก่ ฯพณฯ นายอานันท์ ปันยารชุน รักษาราชการ รัฐมนตรี โดยมี รองอธิการบดีฝ่ายวิจัย จุฬายฯ รองศาสตราจารย์ ดร. ศลักษณ์ ทรพรหมันท์ ร่วมกล่าวรายงาน ณ ห้องสีม่วง ทำเนียบรัฐบาล

จึงนับเป็นเกียรติอย่างยิ่งที่ ฯพณฯ รองนายกรัฐมนตรีและรัฐมนตรีว่าการกระทรวงการคลังและอุตสาหกรรมของสิงคโปร์ได้มาเป็นประธานในงานนี้ รางวัลที่ผมได้รับคือด้วยเกียรติยศ 1 ใบ ประกาศนียบัตรประกาศเกียรติคุณ และเงินสด 5,000 เหรียญดอลลาร์สหรัฐ

#### รางวัลที่ได้รับมีผลต่อการทำวิจัยต่อไปอย่างไรบ้าง

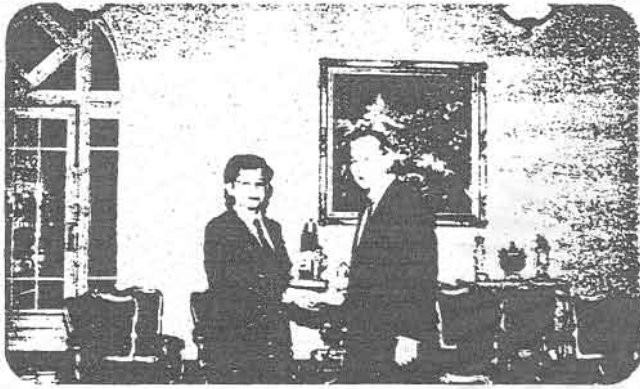
รางวัลที่ได้นับว่าเป็นกำลังใจเป็นอย่างดีครับ ผมคิดว่าตัวเงินคงไม่สำคัญเท่ากับชื่อเสียงที่ได้มาสู่ประเทศไทย เพราะว่าเป็นการแข่งขันระดับนานาชาติ ระดับอาเซียน ซึ่งเข้าใจว่าแต่ละประเทศคัดเลือกตัวแทนมาอย่างดีเยี่ยมที่แล้ว ผมเองคิดว่ารางวัลนี้คงจะช่วยสนับสนุนและช่วยเป็นกำลังใจในการทำงานของผมรวมทั้งเพื่อนร่วมวิจัย และลูกศิษย์ทั้งหลายของผม

#### คิดว่าจุดไหนของผลงานที่ทำให้อาจารย์ได้รับรางวัลนี้

ในการแข่งขันครั้งนี้ แต่ละประเทศส่งตัวแทนเข้าร่วม 1 คน ก็แล้วแต่ว่าประเทศไหนจะคิดว่างานด้านไหนโดดเด่นที่สุด สำหรับประเทศไทยนั้นผมเองทำงานในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ผมก็ได้นำผลงานที่เกี่ยวข้องกับสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ไปแสดง สำหรับประเทศอื่นก็มีนักเคมี นักเทคโนโลยีชีวภาพ นักฟิสิกส์ หรือแม้แต่ตัวแทนภาคเอกชนซึ่งเป็นบริษัทผลิตจำหน่ายคอมพิวเตอร์ก็เป็นตัวแทนได้

ผมเองได้เน้นสิ่งประดิษฐ์ที่คิดค้นขึ้นมาใหม่ เรียกว่า ไดโอด เปล่งแสงแบบฟิล์มบาง ซึ่งนับว่าเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่เป็นความคิดเริ่มต้นมาจากกลุ่มของผม (ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬายฯ) สามารถจะนำไปพัฒนาผลิตจอโทรทัศน์แบบแบนได้ ผมได้อธิบายให้คณะกรรมการพิจารณารางวัลให้เข้าใจว่า เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่เกิดขึ้นใหม่ โดยเปรียบเทียบให้เห็นว่าทรานซิสเตอร์หรือเลเซอร์ก็เคยได้รับความสนใจมามากแล้ว หรือจอทีวีทิว (T.V. Tube) ที่เราใช้อยู่ทุกวันนี้ก็ได้ยกเปรียบเทียบ

ไดโอดเปล่งแสงก็เป็นสิ่งประดิษฐ์ชนิดใหม่ที่เกิดขึ้นมา มีลักษณะเป็นแผ่นกระจกแบน ๆ และมีการเคลือบสารฟิล์มบาง ซึ่งบางมากประมาณ เศษ 1 ส่วน 10.000 ของความหนาของกระจก เพราะฉะนั้นจอโทรทัศน์ในอนาคต หากทำมาจากสิ่งประดิษฐ์ที่ผมตั้งชื่อว่า ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางนี้แล้ว ก็จะได้จอโทรทัศน์ที่มีลักษณะแบน บาง เบา เหมือนกรอบรูปที่เราแขวนตามผนัง ซึ่งสามารถยกไปมาได้สะดวก



ฯพณฯ นายอานันท์ ปันยารชุน รักษาการนายกรัฐมนตรี เปิดโอกาสให้ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุสิต เครืองาม นักวิทยาศาสตร์อาเซียนรุ่นใหม่เข้าพบเพื่อแสดงความยินดีที่ทำเนียบรัฐบาล เมื่อวันที่ 28 กันยายน ที่ผ่านมานี้

ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางมีคุณสมบัติอย่างไร มีจุดเด่นอย่างไร

คำว่าไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบาง ภาษาอังกฤษใช้คำว่า Thin Film LED โดยทั่วไปคนที่สนใจสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่จะรู้จักคำว่า LED จะเป็นผลึกที่สามารถเปล่งแสงได้เมื่อเราป้อนไฟฟ้าเข้าไป มีลักษณะเป็นจุดเล็กๆ มีสีต่างๆ LED ที่เคยผลิตมาส่วนใหญ่จะทำมาจากวัสดุที่มีราคาค่อนข้างแพง คือนำมาจากผลึก ส่วน LED แบบฟิล์มบางที่ผมผลิตมาได้ นำมาจากวัสดุที่มีราคาถูก ตอนนี้นะเราต้องผลิตขึ้น

มาเองซึ่งอยู่ในขั้นตอนการผลิตในมหาวิทยาลัย แน่นนอนว่ายังไม่มีการจำหน่ายเป็นไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบาง เพราะว่าเราเคลือบบนแผ่นกระจก หลักการทำงานคือเราจะป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าไปประมาณ 5-10 โวลต์ ตัวไดโอดเปล่งแสงจะสว่าง ภาพที่จะปรากฏบนแผ่นกระจกนั้น จะมีรูปร่างแล้วแต่เราจะออกแบบขั้วไฟฟ้าให้เป็นรูปคน กระต่าย หมู ฯลฯ แล้วใช้วงจรไฟฟ้าป้อนให้สามารถเป็นภาพเคลื่อนไหวก็ทำได้

การพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ชิ้นนี้จะทำถึงระดับไหน

ผมคิดว่าขอบเขตของงานที่ผมอยากจะทำ อยากจะพัฒนาให้สามารถเปล่งแสงออกมาได้สีเขียวๆ คือการที่จะพัฒนาเป็นจอโทรทัศน์ให้คนดูใจต้องมึนหลาย ๆ สี ซึ่งตอนนี้ทำได้หลายสีแล้ว อีกอันหนึ่งที่มีความสำคัญมากคือความสว่าง คือมันจะต้องเปล่งแสงออกมาให้สว่างมาก ๆ จนกระทั่งคนมองเห็นได้ถนัดตา ซึ่งยังมีปัญหาอยู่คือยังสว่างไม่มากพอที่จะมองเห็นเวลาเปล่งแสงในที่ที่มีความสว่างมาก ๆ เพราะฉะนั้นจะต้องมีความพยายามในการที่จะปรับปรุงให้มีความสว่างให้มากขึ้น เมื่อถึงขั้นนั้นผมคิดว่า ภาคอุตสาหกรรมน่าจะรับช่วงไปประยุกต์ใช้งานเป็นโทรทัศน์ เป็นมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

มีหลักการในการทำงานวิจัยและสอนอย่างไรให้ประสบความสำเร็จไปพร้อม ๆ กัน

ผมทำงานเป็นอาจารย์สอนอยู่ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ ใจหนึ่งเป็นคนชอบสอนหนังสือ อีกใจเป็นคนชอบเขียนหนังสือ เขียนบทความ อีกใจเป็นคนชอบทำงานวิจัย คิดว่า 3 สิ่งนี้คือ สอน เขียน และทำวิจัย รวมทั้งผมช่วยงานบริหารของคณะด้วยคือ เป็นผู้ช่วยคณบดีฝ่ายวางแผนและพัฒนา เป็นสิ่งที่ผมชอบอยู่แล้ว เพราะฉะนั้นคิดว่าการทำงานวิจัยเป็นหัวใจสำคัญของอาจารย์มหาวิทยาลัย ซึ่งผมถือคตินี้อยู่ เรียกว่าทั้งรักและสนุกเพลิดเพลินกับการทำวิจัย

### การอภิปรายและบรรยายพิเศษ เรื่อง "100 ปี ชิต บุรทัต"

สืบเนื่องจากวันที่ 6 กันยายน 2535 เป็นวาระครบรอบ 100 ปีเกิดของนายชิต บุรทัต กวีสำคัญคนหนึ่งแห่งกรุงรัตนโกสินทร์ ผู้มีผลงานประพันธ์เป็นร้อยกรองหลายประเภท และมีความเชี่ยวชาญเป็นพิเศษในการแต่งฉันท บทประพันธ์ที่เป็นที่รู้จักกันแพร่หลายที่สุดได้แก่ สามัคคีเภทคำฉันท์ กวี

นิพนธ์ที่มีความดีเด่นทั้งทางด้านเนื้อหาและวรรณศิลป์ สถาบันไทยศึกษาจึงได้จัดการอภิปรายและบรรยายพิเศษเรื่อง 100 ปี ชิต บุรทัต ในวันศุกร์ที่ 11 กันยายน 2535 ณ ห้องประชุมสารนิเทศ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมี ศาสตราจารย์ นายแพทย์จรัส สุวรรณเวลา อธิการบดี เป็นประธานในพิธี และ รองศาสตราจารย์ ดร.ศลักษณ์ ทรรพนันท์ รองอธิการบดีฝ่ายวิจัย เป็นผู้กล่าวรายงาน

การจัดกิจกรรมครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้แก่ผู้สนใจทั่วไป และเพื่อสนองตอบนโยบายของสถาบันฯ ในการส่งเสริมการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับชีวิตและงานบุคคลสำคัญ



ที่ ๗๗ ๐๗๐๖/ ๒๕๒๘

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ  
ถนนพหลโยธิน จตุจักร กทม. ๑๐๑๐๐

๙ กันยายน ๒๕๓๕

เรื่อง ขออนุมัติข้าราชการเดินทางไปร่วมงานสัปดาห์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาเซียน  
ครั้งที่ ๓ ณ ประเทศสิงคโปร์

เรียน อธิการบดีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- สิ่งที่ส่งมาด้วย
๑. เอกสารรางวัล ASEAN Young Scientist and Technologist Award
  ๒. สำเนาหนังสือมูลนิธิส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ลงวันที่ ๓๑ สิงหาคม ๒๕๓๕
  ๓. สำเนาโทรสารสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ ๐๗๐๖/๓๓๕๒ ลงวันที่ ๓๑ สิงหาคม ๒๕๓๕
  ๔. สำเนาหนังสือจาก NSTB, ประเทศสิงคโปร์ ลงวันที่ ๒๐ สิงหาคม ๒๕๓๕

ด้วยคณะกรรมการอาเซียนว่าด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ASEAN Committee on Science and Technology-ASEAN COST) ร่วมกับ National Science and Technology Board (NSTB) แห่งประเทศสิงคโปร์ จะจัดงานสัปดาห์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งอาเซียน ครั้งที่ ๓ (Third ASEAN Science and Technology Week-TASTW) ณ ประเทศสิงคโปร์ ระหว่างวันที่ ๑๗-๒๕ กันยายน ๒๕๓๕ ภายใต้หัวข้อการจัดงานเรื่อง Socio-Economic Growth in ASEAN through Science and Technology โดยในระหว่างการจัดงานจะมีกิจกรรมต่าง ๆ ได้แก่ การประชุมรัฐมนตรีวิทยาศาสตร์อาเซียน การประชุมสัมมนาทางวิชาการ การแสดงนิทรรศการ การมอบรางวัลนักวิทยาศาสตร์อาเซียนรุ่น <sup>ใหม่</sup> และรางวัลผู้ประกอบกิติคุณทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในอาเซียน



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ในฐานะหน่วยงานรับผิดชอบความ  
 ร่วมมือทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประเทศไทย ได้ขอความร่วมมือ  
 จากมูลนิธิส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในการพิจารณาคัดเลือกเสนอชื่อ นักวิทยา-  
 ศาสตร์ไทยเพื่อ เป็นตัวแทนในการแข่งขันรับรางวัลนักวิทยาศาสตร์อาเซียน (ASEAN Young Scientist and Technologist Award) ในครั้งนี้ ซึ่งมูลนิธิฯ ได้  
 กรุณาเสนอชื่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุสิต เครื่องงาม ประจำภาควิชาวิศวกรรม  
 ไฟฟ้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รายละเอียดดังสิ่งที่ส่งมาด้วย ๒  
 และสำนักงานฯ ได้พิจารณาเห็นว่าผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุสิต เครื่องงาม เป็นผู้มี  
 คุณสมบัติเหมาะสมที่จะเข้าแข่งขันรับรางวัลครั้งนี้ จึงได้ดำเนินการเสนอชื่อไปยัง  
 ประเทศสิงคโปร์แล้ว รายละเอียดดังสิ่งที่ส่งมาด้วย ๓

อนึ่ง การมอบรางวัลนักวิทยาศาสตร์อาเซียนครั้งนี้ จะมีขึ้นระหว่างงาน  
 สัปดาห์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาเซียนครั้งที่ ๓ ณ ประเทศสิงคโปร์ อีกทั้งผู้แข่งขัน  
 จะต้องเสนอผลงานและรับการสัมภาษณ์จากคณะกรรมการในช่วงเวลาดังกล่าว สำนักงานฯ  
 จึงใคร่ขอความร่วมมือจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดุสิต  
 เครื่องงาม เดินทางไปประเทศสิงคโปร์ ในระหว่างวันที่ ๑๙-๒๒ กันยายน ๒๕๓๕ ทั้งนี้  
 คณะกรรมการจัดงานฯ จะสนับสนุนงบประมาณค่าใช้จ่าย ได้แก่ ตั๋วโดยสารเครื่องบิน  
 ไป-กลับ ค่าเบี้ยเลี้ยง ค่าที่พัก รายละเอียดดังสิ่งที่ส่งมาด้วย ๔

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา และสำนักงานฯหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคงจักได้  
 ได้รับความร่วมมือจากท่านเป็นอย่างดี จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

*(Signature)*

(นายอภิรัตน์ อรุณินท์)

เลขาธิการคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

กองแปลและวิเทศสัมพันธ์  
 โทร. ๕๙๕๓๓๑-๕ ต่อ ๕๖๓  
 ๕๙๕๖๖๐  
 โทรสาร (๒๒๒) ๕๖๓๐๕๙, ๕๙๕๓๕๐๒  
 สำเนาส่ง : ผศ.ดร.ดุสิต เครื่องงาม

สำนักงาน คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนน 10500 โทร 2527987  
Office : Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10500 Tel. 2527987

31 สิงหาคม 2535

เรื่อง ขอส่งใบสมัคร และเอกสารประกอบ

เรียน เลขาธิการสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ


อ้างถึง จกทหมายเลข วว0706/7697 ลงวันที่ 10 สิงหาคม 2535

ตามเอกสารที่อ้างถึง ท่านขอให้มูลนิธิส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
เสนอชื่อนักวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่มีอายุไม่เกิน 35 ปี และมีผลงานเป็นที่ยอมรับ ที่ทาง  
มูลนิธิได้ดำเนินการคัดเลือกในโครงการนักวิทยาศาสตร์รุ่นใหม่ไว้ เพื่อเสนอชื่อไปรับการ  
พิจารณารางวัลนักวิทยาศาสตร์อาเซียนรุ่นเยาว์ ณ ประเทศสิงคโปร์ ความละเอียดแจ้งอยู่แล้วนั้น

มูลนิธิฯ ขอเสนอชื่อ ดร.คุสิศ เครื่องงาม นักวิทยาศาสตร์รุ่นใหม่ ปีพ.ศ. 2534  
เพื่อรับการเสนอชื่อเข้ารับรางวัลดังกล่าว โดยได้แนบแบบฟอร์มมา 1 ชุด และเอกสารประกอบ  
ตามที่ทางผู้จัดขอมมา 2 แฟ้ม

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาดำเนินการต่อไปด้วย จักขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

  
(นางสาวสลักษณ์ ทรพน์นันทน์)

เลขานุการมูลนิธิส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

