

การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย
และการประยุกต์ใช้งานออปโตอิเล็กทรอนิกส์



นางสาว ทิพย์วรรณ สุจริตชัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-610-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**A STUDY ON BASIC PROPERTIES OF AMORPHOUS SILICON ALLOYS
AND THEIR APPLICATIONS TO OPTOELECTRONICS**



Miss Thipwan Sujaridchai

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Graduate School**

Chulalongkorn University

Academic Year 1996

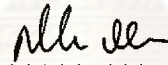
ISBN 974-636-610-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของอะมอร์ฟิสซิลิคอนอัลลอย และการประยุกต์
ใช้ในงานออปโตอิเล็กทรอนิกส์
โดย นางสาว ทิพย์วรรณ สุจริตชัย
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ดุสิต เครื่องงาม

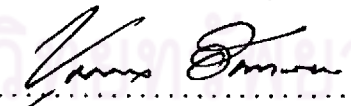
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

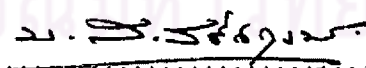

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

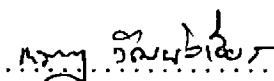
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. ดุสิต เครื่องงาม)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชุมพล อันตรเสน)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. มนตรี ศวัสดีศฤงฆาร)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. กรกฎ วัฒนวิเชียร)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ทิพย์วรรณ สุจริตชัย : การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของอะมอร์ฟิซิลิคอนอัลลอยและการประยุกต์ใช้ในงานออปโตอิเล็กทรอนิกส์ (A STUDY ON BASIC PROPERTIES OF AMORPHOUS SILICON ALLOYS AND THEIR APPLICATIONS TO OPTOELECTRONICS)
อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. คุณิต เครื่องงาม, 119 หน้า. ISBN 974-636-610-6


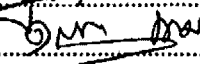
ได้มีการปลูกฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิคอนอัลลอย 3 ชนิดซึ่งได้แก่ อะมอร์ฟิซิลิคอน (a-Si:H) อะมอร์ฟิซิลิคอนไนไตรด์ (a-SiN:H) และอะมอร์ฟิซิลิคอนคาร์ไบด์ (a-SiC:H) ด้วยวิธีการแยกสลายก๊าซด้วยประจุเรืองแสง (glow discharge plasma CVD) และนำฟิล์มเหล่านี้ไปศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานทางแสง และทางอิเล็กทรอนิกส์ การศึกษาคุณสมบัติทางแสงได้ใช้เทคนิคของคราเมอร์ส-ครอนิกเพื่อวัดสเปกตรัมค่าคงที่ทางแสงซึ่งได้แก่ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง ดัชนีหักเหแสง สัมประสิทธิ์การลดทอน ค่าคงที่ไดโอดเทรค ผลการวิจัยพบว่าค่าคงที่ทางแสงต่าง ๆ เหล่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ในวงกว้างโดยการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในการปลูกฟิล์ม เช่นในกรณีของฟิล์ม a-SiC:H ถ้าเพิ่มอัตราส่วนของก๊าซ C_2H_4/SiH_4 จะทำให้ดัชนีหักเหแสงมีค่าลดลง นอกจากนี้ยังพบอีกว่าค่าพลังงานโฟตอนของยอดสเปกตรัมค่าคงที่ไดโอดเทรคของฟิล์มเหล่านี้มีค่ามากขึ้นเมื่อช่องว่างพลังงานของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้น ข้อมูลนี้สะท้อนให้ทราบว่า การเรียงตัวของอะตอมในฟิล์มมีความเป็นระเบียบในระยะสั้น (short range order)

การศึกษาค่าคงที่ทางอิเล็กทรอนิกส์ได้ใช้เทคนิค CPM (Constant Photocurrent Method) เพื่อวัดลักษณะการกระจายของโลคอลไลซ์สเตต (localized states) ในช่องว่างพลังงานของฟิล์ม a-Si:H โดยสามารถวัดในรูปของสเปกตรัมสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงในช่วงพลังงานโฟตอน 0.8 - 1.3 eV ผลการศึกษาพบว่าเงื่อนไขการปลูกฟิล์ม a-Si:H ที่อุณหภูมิ 200 °C จะทำให้มีโลคอลไลซ์สเตตจำนวนน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 300 °C

ข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากการศึกษาค่าคงที่พื้นฐานต่าง ๆ ข้างต้นได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์เพื่อประกอบในการออกแบบและประดิษฐ์สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ 3 ชนิดซึ่งได้แก่ ไดโอดเปล่งแสงชนิดฟิล์มบาง เซลล์แสงอาทิตย์ หรือโฟโตไดโอดชนิดฟิล์มบาง และวงจรรวมออปโตอิเล็กทรอนิกส์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิคอน การปรับปรุงความสว่างของไดโอดเปล่งแสงได้เน้นที่การหาค่าความหนาที่เหมาะสมของชั้นพี ซึ่งพบว่าความหนาที่เหมาะสมของชั้นพีมีค่าประมาณ 300 - 500 Å ในงานวิจัยนี้ได้ประสบความสำเร็จเป็นครั้งแรกในการประดิษฐ์ดิสเพลย์แบบบางจากไดโอดเปล่งแสงชนิดฟิล์มบางที่มีโครงสร้างแบบเมตริกซ์อย่างละเอียดได้เป็นครั้งแรก ขนาดของพิกเซลที่เล็กที่สุดที่ทดลองประดิษฐ์คือ 0.2 mm × 0.2 mm ดิสเพลย์สามารถเปล่งแสงที่มีความสว่างสม่ำเสมอได้ดีพอสมควร

ได้ประสบความสำเร็จในการพัฒนาจรรวมออปโตอิเล็กทรอนิกส์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิคอนเป็นครั้งแรก วงจรรวมดังกล่าวประกอบด้วยสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างจากวัสดุอะมอร์ฟิซิลิคอนทั้งหมดคือ ภาคเปล่งแสงสร้างจากไดโอดเปล่งแสงฟิล์มบางชนิดอะมอร์ฟิซิลิคอน ภาครับแสงสร้างจากโฟโตไดโอดชนิดอะมอร์ฟิซิลิคอน และทางนำแสงสร้างจากวัสดุแก้ว (glass) วงจรรวมนี้ประดิษฐ์ลงบนแผ่นฐานชนิดแก้วในลักษณะโมโนลิธิก (monolithic) มีประโยชน์ในการถ่ายทอดสัญญาณแสงและไฟฟ้า เช่น ใช้งานเป็นออปติคัลคัปเปิลเลอร์ ออปติคัลไอโซเลเตอร์ ฯลฯ

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2539

ลายมือชื่อนิสิต 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

C715931 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: THIN FILM LIGHT EMITTING DIODE / AMORPHOUS SILICON ALLOY / KRAMERS-KRONIG
RELATION / CONSTANT PHOTOCURRENT METHODE / OPTOELECTRONIC IC
THIPWAN SUJARIDCHAI : A STUDY ON BASIC PROPERTIES OF AMORPHOUS SILICON
ALLOYS AND THEIR APPLICATIONS TO OPTOELECTRONICS. THESIS ADVISOR : ASSO.
PROF. DUSIT KRUANGAM, D.Eng. 119 pp. ISBN 974-636-610-6

Hydrogenated amorphous silicon alloys, i.e., amorphous silicon (a-Si:H), amorphous silicon carbide (a-SiC:H) and amorphous silicon nitride (a-SiN:H) were deposited by the glow discharge plasma CVD method. Their basic optical and electronic properties were studied. The basic optical constants including optical absorption coefficient, reflectivity, refractive index, extinction coefficient, dielectric constants, were investigated by using the Kramers-Kronig relations. The results showed that the optical constant parameters could widely be changed by varying the deposition conditions. For example, by increasing the ratio of C_2H_4/SiH_4 gas sources, the refractive index will be decreased. Moreover, it has been found that the photon energy of the peaks of dielectric constant spectra monotonically increased as the optical energy gaps of the films increased. The information from the dielectric constant spectra implied that the atomic networks in the films conserved the short range order as seen in crystalline silicon.

The study of electronic properties have been done by using the CPM (Constant Photocurrent Method) technique. The CPM technique gave the spectra of the optical absorption coefficient in the low absorption regions of 0.8-1.3 eV, where reflected the information of the localized states in the band gap of a-Si:H. The results showed that the a-Si:H deposited at the substrate temperature of 200 °C would have the density of the defect states lower than those deposited at 300 °C.

The important information obtained above were used in the designs and conditions for the fabrication of three kinds of the amorphous optoelectronic devices, i.e., thin film light emitting diodes (TFLEDs), thin film photodiodes (TFPDs) and thin film optoelectronic integrated circuits (OEICs). The improvement of the brightness of the a-SiC:H p-i-n junction TFLEDs were done through the optimization of the thickness of the p-layer. The fabrication of matrix TFLEDs having the pixel size as small as 0.2 mm by 0.2 mm and with good uniform thickness were succeeded for the first time.

The OEICs consisting of only amorphous materials have been developed for the first time. The simplest elements in the amorphous OEICs were the combination of a-SiC:H TFLEDs, a-Si:H TFPDs and glass waveguides. The amorphous OEICs had the monolithic structures where all of the elements were constructed on a single glass substrate. The proposed OEICs are useful as an optical coupler, optical isolator, data transmission, etc. By adding thin film transistors to these devices, various kinds of logic circuits might be realized.

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....

ปีการศึกษา.....2539.....

ลายมือชื่อนิสิต..........

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..........

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับคำแนะนำที่มีคุณค่าเป็นอย่างมากจาก รศ. ดร. คุณิต เครื่องงาม ซึ่งเป็นอาจารย์ในที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจำห้องปฏิบัติการวิจัย สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ (SDRL) ซึ่งได้แก่ ศ. ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว รศ. ดร. มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร รศ. ดร. บรรยง โทประเสริฐพงษ์ รศ. ดร. ชุมพล อันตรเสน ผศ. ดร. ชารา ชลปราณี รศ. ดร. คุณิต เครื่องงาม ผศ. ดร. มานะ ศรียุทธศักดิ์ และ ดร. สมชัย รัตนธรรมพันธ์ ได้ให้คำแนะนำที่มีค่าแก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งได้แก่ ศ. ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว รศ. ดร. มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร รศ. ดร. ชุมพล อันตรเสน รศ. ดร. กรกฏ วัฒนวิเชียร และ รศ. ดร. คุณิต เครื่องงาม ที่ได้ให้คำแนะนำความคิดเห็น และคำวิจารณ์ต่าง ๆ ที่มีค่ายิ่ง

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ ดร. วิโรจน์ บุญโกสุมภ์ รุ่นพี่ปริญญาเอก คุณบัณฑิตา รัฐวิเศษ คุณสุกโชค ไทยน้อย คุณขวัญเรือน ไทยน้อย ที่ให้ความช่วยเหลือด้านเทคนิคต่าง ๆ และขอขอบคุณที่ปรึกษาเอก ซึ่งได้แก่ คุณสุวัฒน์ โสภิตพันธ์ คุณอาภรณ์ ธีรมงคลศรีมิ ที่ให้คำปรึกษา และขอบคุณเพื่อน ๆ น้อง ๆ ปริญญาโท และน้อง ๆ ปริญญาตรีที่ช่วยเหลือ และเป็น กำลังใจเสมอ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัย SDRL ที่ให้ทุนการศึกษาปริญญาโทแก่ผู้วิจัย และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย และห้องปฏิบัติการวิจัย SDRL ที่ให้ทุนไปเผยแพร่ผลงานวิจัยที่ประเทศ ญี่ปุ่น ในที่ประชุม PVSEC-9 ระหว่างวันที่ 11-15 พฤศจิกายน 2539

ค่าใช้จ่ายส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความสนับสนุนจากฝ่ายวิจัยจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย และทุนพัฒนาวิชาชีพนักวิจัย สวทช. ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ได้ให้กำลังใจในการศึกษาและทำวิจัย มาตลอด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฐ
สารบัญภาพ	ฅ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 พื้นฐานและที่มาของหัวข้อวิทยานิพนธ์	1
1.1.1 คุณสมบัติเด่นของวัสดุฟิล์มบาง a-Si:H, a-SiN:H และ a-SiC:H	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
2. วิธีการผลิตอะมอร์ฟิซิลิคอนอัลลอยด้วยวิธี Glow Discharge Plasma CVD	6
2.1 บทนำ	6
2.2 โครงสร้างของระบบ Glow Discharge Plasma CVD ชุดที่ 1	7
2.3 โครงสร้างของระบบ Glow Discharge Plasma CVD ชุดที่ 2	8
2.4 ขั้นตอนการผลิตฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิคอนอัลลอย	9
2.5 สรุป	15
3. การศึกษาคุณสมบัติทางแสงและอิเล็กทรอนิกส์ของฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิคอนอัลลอยชนิด a-Si:H, a-SiN:H และ a-SiC:H	16
3.1 บทนำ	16

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3.2	สเปกตรัมค่าคงที่ทางแสงของฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิคอนอัลลอย	17
3.2.1	หลักการวัดสเปกตรัมค่าคงที่ทางแสงโดยใช้เทคนิคของ คราเมอร์ส-ครอนิก	17
3.2.2	วิธีการปลูกฟิล์ม a-Si:H, a-SiN:H และ a-SiC:H	20
3.2.3	วิธีการวัดและผลการทดลอง	20
3.3	การวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอะมอร์ฟิซิลิคอนด้วยเทคนิค CPM (Constant Photocurrent Method)	34
3.3.1	หลักการวัดสเปกตรัมสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงด้วยวิธี CPM	34
3.3.2	วิธีการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค CPM	36
3.3.3	ผลการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค CPM	38
3.4	สรุป	43
4.	การประยุกต์ใช้งานวัสดุอะมอร์ฟิซิลิคอนคาร์ไบด์เป็นไดโอดเปล่งแสงชนิด ฟิล์มบาง	44
4.1	บทนำ	44
4.2	โครงสร้างและลักษณะคุณสมบัติพื้นฐานของ a-SiC:H TFLED รอยต่อ p-i-n	45
4.3	การออกแบบและประดิษฐ์ a-SiC:H TFLED	51
4.4	การศึกษาหาความหนาที่เหมาะสมของชั้น p ใน a-SiC:H TFLED	51
4.4.1	อิทธิพลของความหนาของชั้น p ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การทะลุ ผ่านแสง	53
4.4.2	อิทธิพลของความหนาของชั้น p ที่มีต่อลักษณะคุณสมบัติของ a-SiC:H TFLED	55
4.5	สรุป	59

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5. การพัฒนาไดโอดเปล่งแสงฟิล์มบางอะมอร์ฟิสดิจิตอลคาร์ไบด์ที่มีโครงสร้างแบบเมตริกซ์	61
5.1 บทนำ	61
5.2 การออกแบบและวิธีการประดิษฐ์ TFLED ที่มีโครงสร้างแบบเมตริกซ์	61
5.3 วงจรสมมูลและความละเอียดของจุดภายใน TFLED ที่มีโครงสร้างแบบเมตริกซ์	63
5.4 ผลการประดิษฐ์ TFLED ที่มีโครงสร้างแบบเมตริกซ์	68
5.5 TFLED คิสเพลย์ชนิดโปร่งแสง	70
5.6 สรุป	74
6. การพัฒนาจรรวมออปโตอิเล็กทรอนิกส์ชนิดอะมอร์ฟิสดิจิตอลออลลอย ...	75
6.1 บทนำ	75
6.2 โครงสร้างพื้นฐานของ OEIC	76
6.3 คุณสมบัติเด่นของ OEIC ชนิดวัสดุอะมอร์ฟิสดิจิตอลออลลอย	76
6.4 การศึกษาโครงสร้างพื้นฐานและลักษณะคุณสมบัติทางแสงของกระจกที่มีโครงสร้างผิวขรุขระ (Texture surface) สำหรับเป็นทางเดินแสงของ OEIC	80
6.5 การศึกษาโครงสร้างพื้นฐานและลักษณะคุณสมบัติทางแสง a-SiC:H TFLED สำหรับเป็นแหล่งกำเนิดแสงของ OEIC	87
6.6 การศึกษาโครงสร้างพื้นฐานและลักษณะคุณสมบัติทางแสง a-Si:H TFPD สำหรับเป็นแหล่งตรวจรับแสงของ OEIC	90
6.7 วิธีการประดิษฐ์และการวัดคุณสมบัติพื้นฐานของสิ่งประดิษฐ์จรรวมชนิดออปโตอิเล็กทรอนิกส์ (OEIC) ชนิดอะมอร์ฟิสดิจิตอลออลลอย ...	95
6.8 สรุป	105
7. สรุปผลการวิจัย	106

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
รายการอ้างอิง	108
การเผยแพร่ผลงานวิจัย	112
ภาคผนวก ก. โปรแกรมการวัดค่าคงที่ทางแสงด้วยวิธีคราเมอร์ส-ทรอนิค ด้วย ภาษาปาสคาล	115
ประวัติผู้วิจัย	119



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	เงื่อนไขโดยสรุปในการปลูกฟิล์ม a-Si:H	10
2.2	รายละเอียดของเครื่อง CVD ชุดที่ 2	12
2.3	เงื่อนไขการปลูกฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย	14
3.1	เงื่อนไขการเตรียมฟิล์ม a-Si:H, a-SiN:H และ a-SiC:H ด้วยวิธี glow discharge plasma CVD	22
3.2	ตัวอย่างเงื่อนไขในการวัด CPM	38
4.1	สรุปเงื่อนไขสำหรับการประดิษฐ์ a-SiC:H TFLED	52
5.1	รายละเอียดต่าง ๆ ของ TFLED ที่มีโครงสร้างแบบเมตริกซ์รุ่นต่าง ๆ	69
6.1	ชนิดและขนาดของผงขัด SiC ที่ใช้ในการขัดกระจกฝ้า	83
6.2	เงื่อนไขการปลูกฟิล์มชั้น p-i-n ของเซลล์แสงอาทิตย์	93

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 คุณสมบัติดีเด่นของสารกึ่งตัวนำอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอยชนิดต่าง ๆ เช่น a-Si:H, a-SiN:H, a-SiC:H และ a-SiGe:H	4
1.2 เนื้อหาโครงสร้างของวิทยานิพนธ์	5
2.1 แผนผังระบบ glow discharge plasma CVD ชุดที่ 1	10
2.2 กรอบแก้วสุญญากาศสำหรับปลูก a-Si:H	11
2.3 ภาพถ่ายระบบ glow discharge plasma CVD ชุดที่ 1	11
2.4 ภาพถ่ายระบบ glow discharge plasma CVD ชุดที่ 2	12
2.5 โครงสร้างของระบบ glow discharge plasma CVD สำหรับการปลูกฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย	13
2.6 ภาพถ่ายขณะปลูกฟิล์ม a-Si:H ด้วยระบบ glow discharge plasma CVD	14
3.1 ตัวอย่างสเปกตรัมการทะลุผ่านแสงของฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอน	21
3.2 วิธีการวัดสเปกตรัมสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง	21
3.3 ตัวอย่างผลการวัดสเปกตรัมการสะท้อนแสงของฟิล์ม a-Si:H	22
3.4 แผนภูมิการคำนวณหาค่าคงที่ทางแสงต่าง ๆ โดยใช้เทคนิคของคราเมอร์ส-ครอนิค	24
3.5 สเปกตรัมสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (R%) ของฟิล์ม a-Si:H, a-SiN:H และ a-SiC:H เส้นทึบ คือ ผลการวัด เส้นจุด คือบริเวณที่มีการลากเส้นต่อ ซึ่งได้เปรียบเทียบกับกรณีของผลึกซิลิคอนด้วย	26
3.6 ผลการวัดสเปกตรัมค่าคงที่ทางแสงต่าง ๆ ของฟิล์ม a-Si:H, a-SiN:H และ a-SiC:H โดยเปรียบเทียบกับกรณีของผลึกซิลิคอน	28
(ก) สเปกตรัมค่าดัชนีหักเหแสง	
(ข) สเปกตรัมค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนแสง	
(ค) สเปกตรัมค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของเทอมจริง	
(ง) สเปกตรัมค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของเทอมจินตภาพ	
3.7 แผนภูมิแถบพลังงานของผลึกซิลิคอน	30

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างพลังงานของฟิล์ม a-SiC:H ชนิดบริสุทธิ์ และอัตราส่วนของก๊าซ $X = C_2H_4/(C_2H_4+SiH_4)$	30
3.9 สเปกตรัมสัมประสิทธิ์สะท้อนแสง ($R(eV)\%$) ของฟิล์ม a-SiCH ที่มีค่าช่องว่างพลังงานระหว่าง 2.5-3.0 eV และ ของ a-Si:H ซึ่งมีค่าช่องว่างเท่ากับ 1.8 eV ...	31
3.10 สเปกตรัมค่าดัชนีหักเหแสง (n) ของฟิล์ม a-SiC:H ที่มีค่าช่องว่างพลังงานต่าง ๆ	31
3.11 สเปกตรัมสัมประสิทธิ์การลดทอนแสง (k) ของฟิล์ม a-SiC:H ที่มีค่าช่องว่างพลังงานต่าง ๆ	32
3.12 สเปกตรัมค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสัมพันธ์ในกรณีค่าเทอมจริง (ϵ_{r1}) ของฟิล์ม a-SiC:H ที่มีช่องว่างพลังงานต่าง ๆ	32
3.13 สเปกตรัมค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสหพันธ์ในค่าเทอมจินตภาพ (ϵ_{r2}) ของฟิล์ม a-SiC:H ที่มีช่องว่างพลังงานต่าง ๆ	33
3.14 ลักษณะของความหนาแน่นของสถานะและการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอนเมื่อมีการดูดกลืนแสงในวัสดุอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำทั่ว ๆ ไป	37
3.15 แผนภูมิวิธีการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงด้วยวิธี CPM	37
3.16 สเปกตรัมของกระแสไฟฟ้าโฟโตเอทที่พุดจาก a-Si:H ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 700 nm ถึง 1500 nm (ช่วง tail-states ในช่องว่างพลังงาน) ซึ่งยังไม่ได้ใช้วิธี CPM	39
3.17 สเปกตรัมแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมที่ป้อนให้กับหลอดไฟทั้งสแตนด์บายไฮโดเจนเพื่อให้กระแสไฟฟ้าโฟโตเอทที่พุดในรูปที่ 3.16 มีค่าคงที่ ซึ่งใช้เทคนิคการวัดด้วยวิธี CPM	39
3.18 แผนภูมิวิธีการวัดจำนวนโฟตอนที่ตกกระทบฟิล์ม a-Si:H โดยใช้อุปกรณ์เทอร์โมพายล์	41
3.19 สเปกตรัมของจำนวนโฟตอน $N(h\nu)$ ที่ทำให้สเปกตรัมของกระแสโฟโต $I_{ph}(h\nu)$ มีค่าคงที่ตลอดย่านความยาวคลื่นที่ใช้งานที่วัดได้จากอุปกรณ์เทอร์โมพายล์	41
3.20 ผลการวัดสเปกตรัมสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงในย่าน A จากวิธีการวัดค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านแสง	42

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.21	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของฟิล์ม a-SiH ที่ได้จากการวัดด้วยวิธี CPM ในช่วงค่าพลังงานตั้งแต่ 0.9 eV ไปถึง 17 eV ซึ่งฟิล์ม a-Si:H ปลูกที่อุณหภูมิแผ่นฐาน 300 °C และ 200 °C	42
4.1	โครงสร้างของสิ่งประดิษฐ์ a-SiC:H TFLED รอยต่อ p-i-n	46
4.2	ลักษณะแถบพลังงานของ a-SiC:H TFLED รอยต่อ p-i-n (ก) ในสภาพสมดุลที่ยังไม่มีการไบแอส และ (ข) ในสภาพกำลังถูกไบแอสตาม	46
4.3	ลักษณะของโลคอลไลซด์สเตทใกล้แถบคอนดักชันและแถบวาเลนซ์ของ a-SiC:H ซึ่งมีรูปร่างเป็น exponential band tails ในรูป α_c และ α_v เรียกว่า dispersive parameters และมีค่าระหว่าง 0-1	50
4.4	โมเดลความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างของ a-SiC:H TFLED และกระแสไฟฟ้าที่ฉีดเข้า TFLED ความลาดของกราฟมีค่าประมาณ 1-1.1	50
4.5	ขั้นตอนการประดิษฐ์ a-SiC:H TFLED	52
4.6	ภาพถ่าย a-SiC:H TFLED ขณะเปล่งแสง	54
4.7	ภาพถ่ายของฟิล์ม p - a-SiC:H ที่มีความหนา 50, 100, 200, 300, 500 และ 800 Å ตามลำดับ	54
4.8	สเปกตรัมสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านแสงของฟิล์ม p - a-SiC:H ที่มีความหนาต่างกัน	56
4.9	แผนภูมิระบบการวัดความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างและความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ($B - I_{inj}$) สำหรับ a-SiC:H TFLED	56
4.10	ภาพถ่ายเครื่องมือที่ใช้วัดความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างและความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ($B - I_{inj}$) สำหรับ a-SiC:H TFLED	57
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างและความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเมื่อความหนาชั้น p ของ a-SiC:H TFLED เท่ากับ 50, 100, 200, 300, 500 และ 800 Å	57
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างและความหนาแน่นของชั้น p ของ a-SiC:H ที่มีค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 100, 150 และ 200 mA/cm ²	58

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 โมเดลอธิบายความสว่างของ a-SiC:H TFLED ที่ขึ้นอยู่กับความหนาของชั้น p ของ a-SiC:H TFLED	58
5.1 โครงสร้างของ TFLED รอยต่อ p-i-n เคลือบเต็มพื้นที่แผ่นฐาน ซึ่งมีขั้วไฟฟ้า ITO และ Al ไข้วกับแบบเมตริกซ์	62
5.2 ขั้นตอนการประดิษฐ์ a-SiC:H TFLED ที่มีโครงสร้างแบบเมตริกซ์	62
5.3 วิธีการสร้างลายเส้น Al ด้วยกระบวนการ lift-off	64
5.4 ตัวอย่างลวดลายขั้วไฟฟ้า ITO และ Al ซึ่งไข้วกันแบบเมตริกซ์ ความกว้างของเส้นขั้วไฟฟ้าแต่ละเส้นเท่ากับ 1 mm และห่างกัน 1 mm	65
5.5 วงจรสมมูลของ TFLED ที่มีโครงสร้างแบบเมตริกซ์	65
5.6 วงจรสมมูลของ TFLED ที่มีโครงสร้างแบบเมตริกซ์ กรณีพิจารณาว่ามีกระแสไฟฟ้ารั่วผ่านจาก ITO เส้นหนึ่งผ่านชั้น p ไปสู่ ITO อีกเส้นหนึ่งที่อยู่ข้างเคียง	67
5.7 ภาพตัดขวางของ TFLED ที่มีโครงสร้างแบบเมตริกซ์ ซึ่งใช้อธิบายการเกิดกระแสไฟฟ้ารั่วผ่านชั้น p	67
5.8 ตัวอย่างผลการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของ ITO-ITO และกระแสไฟฟ้าที่รั่วในชั้น p พารามิเตอร์ในรูป คือ สภาพนำไฟฟ้าของชั้น p - a-SiC:H ในการคำนวณ กำหนดให้ $d = 150 \text{ \AA}$, $V = 15 \text{ V}$, และ $l = 16 \text{ cm}$	69
5.9 ภาพถ่าย TFLED ที่มีโครงสร้างแบบเมตริกซ์และมีพิกเซลขนาด $0.5 \text{ mm} \times 0.5 \text{ mm}$ ขณะยังไม่เปล่งแสง	71
5.10 ภาพถ่าย TFLED ที่มีโครงสร้างแบบเมตริกซ์และมีพิกเซลขนาด $0.2 \text{ mm} \times 0.2 \text{ mm}$ ขณะยังไม่เปล่งแสง	71
5.11 ภาพถ่าย TFLED ที่มีขนาดพิกเซล $0.5 \text{ mm} \times 0.5 \text{ mm}$ ขณะกำลังเปล่งแสง	72
5.12 ภาพถ่าย TFLED ที่มีขนาดพิกเซล $0.2 \text{ mm} \times 0.2 \text{ mm}$ ขณะกำลังเปล่งแสง	72
5.13 ตัวอย่างการบรรจุ TFLED ลงในกรอบรูปภาพซึ่งจะเห็นว่าได้ดิสเพลย์ที่มีลักษณะบางและแบนมีศักยภาพในการใช้งานเป็นดิสเพลย์ เช่น สำหรับคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก เป็นต้น	73

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
5.14	ภาพถ่าย TFLED ซึ่งมีลักษณะโปร่งแสง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ตั้งชื่อ TFLED ให้ ว่า " See Through Display" จัดว่าเป็นนวัตกรรมชนิดใหม่ของโลกอีกชนิดหนึ่ง	73
6.1	แผนภูมิโครงสร้างส่วนประกอบที่สำคัญของ OEIC	77
6.2	ตัวอย่างการวางส่วนประกอบที่สำคัญของ OEIC Optical Couple ชนิดอะมอร์ฟัส ซิลิคอนอัลลอย	77
6.3	วงจรรวมชนิดออปโตอิเล็กทรอนิกส์และผลึก (ก) โครงสร้างของ OEIC ชนิดผลึก และ (ข) ชิป OEIC ซึ่งมีท่อใยแสงประกอบอยู่ภายใน	77
6.4	โครงสร้างของวงจรรออปโตอิเล็กทรอนิกส์ชนิดอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำ	79
6.5	โครงสร้างพื้นฐานของเลเซอร์ไดโอดชนิด DBR (Distributed Bragg Reflector)	83
6.6	ระบบการวัดการกระจายของแสงที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนกระจกฝ้า	83
6.7	ภาพถ่ายการเปรียบเทียบการกระจายแสงบนกระจกฝ้ากับกระจกใส ทดสอบด้วยแสง เลเซอร์ฮีเลียม (He-Ne, $\lambda = 632.8 \text{ nm}$) และเลเซอร์สีน้ำเงิน (Ar^+ , $\lambda = 442 \text{ nm}$) เป็น แหล่งกำเนิดแสง (ก) ภาพถ่ายการกระจายแสงสีแดงและสีน้ำเงินบนกระจกฝ้า (ข) ภาพถ่ายการกระจายแสงสีแดงและสีน้ำเงินบนกระจกใส	84
6.8	ผลการวัดการกระจายของแสงที่สะท้อนขึ้นที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนกระจกใสเปรียบ เทียบกับกระจกฝ้าที่ถูกขัดด้วยผงขัดเบอร์ต่าง ๆ ดังนี้ (ก)-(ง) การกระจายแสงบนกระจก ใสและกระจกฝ้าเบอร์ #1000, #2000, #4000 ตามลำดับ	86
6.9	ภาพถ่ายของผิวกระจกฝ้าเบอร์ต่าง ๆ ที่วัดได้จาก SEM (Scanning Electron Microscope) (ก) กระจกฝ้าเบอร์ #1000 (ข) กระจกฝ้าเบอร์ #2000 (ค) กระจกฝ้าเบอร์ #4000	89
6.10	โครงสร้างของ a-SiC:H TFLED ที่ปลูกบนกระจกฝ้า	89

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.11 ความสัมพันธ์ของค่าความสว่างกับค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าของ a-SiC:H TFLED	91
6.12 โพรไฟล์ของค่าดัชนีหักเหแสงของฟิล์มชั้นต่าง ๆ และกระจกฝ้า	91
6.13 โครงสร้างของ a-Si:H TFPD ซึ่งปลูกบนกระจกฝ้า	93
6.14 ระบบการวัดประสิทธิภาพการแปรพลังงานของโฟโตไดโอดหรือเซลล์แสงอาทิตย์	94
6.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเอทพุทและแรงดันไฟฟ้าเอทพุทของ a-Si:H TFPD ซึ่งส่องด้วยแสงอาทิตย์เทียมมีความเข้มแสง AM1 (100 mA/cm ²)	94
6.16 แผงผังขั้นตอนการประดิษฐ์ OEIC ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย	95
6.17 ขั้นตอนการประดิษฐ์ OEIC ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย	97
6.18 ภาพถ่ายของ OEIC ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอยที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ...	99
6.19 ลักษณะการหักเหแสงของ a-SiC:H TFLED บนผิวกระจกฝ้า	99
6.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงของ a-SiC:H TFLED กับค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ฉีดเข้า a-SiC:H TFLED ที่มีกระจกใสเป็นแผ่นฐานและมีพื้นที่การเปล่งแสง 3 mm × 5 mm	100
6.21 (ก)-(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงของ TFLED ที่สะท้อนขึ้นทางด้านบนผิว ITO และทางด้านล่างกับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ฉีดเข้า TFLED ของกระจกฝ้าเบอร์ #1000, #2000 และ #4000 ตามลำดับ	101
6.22 (ก)-(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความเข้มแสงของ TFLED ที่สะท้อนขึ้นทางด้านบนผิว ITO และทางด้านล่างกับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ฉีดเข้า TFLED ของกระจกฝ้าเบอร์ #1000, #2000 และ #4000 ตามลำดับ	103
6.23 เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนของความเข้มแสงของ TFLED ที่สะท้อนขึ้นทางด้านบนผิว ITO ต่อแสงสะท้อนด้านล่างกับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ฉีดเข้า TFLED ของกระจกฝ้าเบอร์ #1000, #2000 และ #4000	103

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
6.24	ภาพถ่าย OBIC ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอยขณะที่มีการไบแอสแรงดันไฟฟ้าให้กับ a-SiC:H TFLED และจะสังเกตเห็นว่า TFLED เปล่งแสงและแสงมีการสะท้อนไปยังด้านข้างของ AI ที่เคลือบบน TFLED	106



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย