

บทที่ 3

การศึกษาคุณสมบัติทางแสงและอิเล็กทรอนิกส์ของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย ชนิด a-Si:H, a-SiN:H และ a-SiC:H

3.1 บทนำ

วัสดุตระกูลอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอยเป็นวัสดุที่ได้รับความสนใจ เพราะสามารถนำไปประยุกต์ประดิษฐ์เป็นสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์และออปโตอิเล็กทรอนิกส์ที่มีราคาถูกได้หลายชนิด อาทิเช่น เซลล์แสงอาทิตย์ ไดโอดเปล่งแสงฟิล์มบาง ทรานซิสเตอร์ฟิล์มบางสำหรับจอผลึกเหลว ครัมในเครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์ เป็นต้น การออกแบบและประดิษฐ์สิ่งประดิษฐ์เหล่านี้ให้มีคุณภาพสูง จำเป็นต้องทราบคุณสมบัติพื้นฐานทางแสงของวัสดุ ปริมาณทางฟิสิกส์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในการออกแบบและประดิษฐ์สิ่งประดิษฐ์เหล่านี้ให้ได้ผลดีคือ ข้อมูลเกี่ยวกับค่าคงที่ทางแสง เช่น ค่าดัชนีหักเหแสง (n) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสัมพันธ์ (ϵ_{r1} , ϵ_{r2}) และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนแสง (k)

นอกจากนี้ระดับพลังงานของจุดบกพร่องในช่องว่างพลังงานมีอิทธิพลสูงต่อคุณสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์ของ a-Si:H มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของสิ่งประดิษฐ์ด้วย วิธีการวัดปริมาณและระดับพลังงานของจุดบกพร่องที่สะดวกวิธีหนึ่งคือ การวัดสเปกตรัมของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงซึ่งสามารถวัดได้หลายวิธีเช่น การวัดค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านแสง (transmittion) แต่วิธีนี้ได้ผลเชื่อถือได้เฉพาะในกรณีที่มีการดูดกลืนแสงมาก และใกล้แถบพลังงาน (band edge) เท่านั้น แต่เนื่องจากสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงที่เกี่ยวข้องกับจุดบกพร่องนั้นมีค่าน้อยมาก เช่นระดับ 10^1 - 10^2 cm^{-1} ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องใช้วิธีอื่น วิธีการวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงในช่วงดูดกลืนน้อย ๆ ที่นิยมมากวิธีหนึ่ง คือวิธี CPM (Constant Photocurrent Method) [10]

หัวข้อ 3.2 จะกล่าวถึงการวัดสเปกตรัมของค่าคงที่ทางแสงของฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย (a-Si:H a-SiN:H และ a-SiC:H) โดยใช้เทคนิคของคราเมอร์ส-ครอนิก (Kramers-Kronig Relation) เพื่อคำนวณหาค่าคงที่ในลักษณะฟังก์ชันของพลังงานโฟตอน ซึ่งได้แก่ $n(h\nu)$, $k(h\nu)$, $\epsilon_{r1}(h\nu)$ และ $\epsilon_{r2}(h\nu)$

หัวข้อ 3.3 จะกล่าวถึงการวัดสเปกตรัมสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของวัสดุฟิล์มบาง a-Si:H ในย่านพลังงานโฟตอน 0.8 - 1.3eV โดยใช้วิธีการวัดเทคนิคของ Constant Photocurrent Methode (CPM) เพื่อศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับระดับพลังงานของจุดบกพร่องในฟิล์ม a-Si:H

3.2 สเปกตรัมค่าคงที่ทางแสงของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอย

เทคนิคที่สามารถใช้วัดหรือคำนวณหาค่าคงที่ทางแสงต่าง ๆ ของวัสดุนั้นมีหลายชนิด ในแต่ละชนิดมีทั้งข้อดีและข้อเสีย อาทิเช่น เทคนิคการใช้วิธีของอิลลิปโซเมตรี (ellipsometry) สามารถให้ผลได้รวดเร็ว แต่มีข้อเสียคือ ได้คำตอบที่พลังงานโฟตอนเพียงค่าเดียวตามค่าพลังงานโฟตอนของแสงเลเซอร์ที่ใช้เท่านั้น ในงานวิทยานิพนธ์นี้ ได้เลือกใช้เทคนิคของคราเมอร์ส-ครอนิก (Kramers-Kronig) เพราะทำให้สามารถทราบค่าคงที่ทางแสงในลักษณะเป็นฟังก์ชันของพลังงานโฟตอนในช่วงกว้างได้ การทดลองเริ่มจากการวัดสเปกตรัมของสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง $R(h\nu)\%$ และนำค่า $R(h\nu)\%$ ไปใช้คำนวณหาค่าคงที่ทางแสงต่าง ๆ

หัวข้อ 3.2 นี้จะเสนอผลการทดลองการวัดสเปกตรัมของค่าคงที่ทางแสงของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอนชนิดบริสุทธิ์ 3 ชนิด ได้แก่ a-Si:H, a-SiN:H และ a-SiC:H และผลที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับกรณีผลึกเดี่ยวซิลิคอน และวิเคราะห์ความเกี่ยวข้องกับลักษณะของแถบพลังงาน (band diagram) ได้เน้นการวัดสเปกตรัมค่าคงที่ทางแสงของฟิล์มบาง a-SiC:H ที่มีค่าพลังงานช่องว่างหลายค่า คือ 2.57, 2.75 และ 3.03 eV เพื่อนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานทางแสงสำหรับการออกแบบและประดิษฐ์สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ชนิดต่าง ๆ เช่น ไดโอดเปล่งแสงฟิล์มบาง เซลล์แสงอาทิตย์ และสิ่งประดิษฐ์วงจรรวมชนิดออปโตอิเล็กทรอนิกส์ (OEIC)

3.2.1 หลักการวัดสเปกตรัมค่าคงที่ทางแสงโดยใช้เทคนิคของคราเมอร์ส-ครอนิก

การวัดค่าคงที่ทางแสงของสารกึ่งตัวนำซึ่งเริ่มจากการวัดสเปกตรัมสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านแสง $T(h\nu)\%$ และนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง ($\alpha(h\nu)\%$) นั้นกระทำได้ไม่ยาก แต่วิธีนี้ใช้งานได้เฉพาะในช่วงพลังงานโฟตอนที่ $T(h\nu)\%$ ยังมีค่ามากกว่าศูนย์ซึ่งได้แก่ ช่วงพลังงานโฟตอนมีใกล้เคียงช่องว่างพลังงาน ตัวอย่างสเปกตรัมของ $T(h\nu)\%$ ของวัสดุ a-Si:H ที่แสดงในรูปที่ 3.1 นั้นมีค่ามากกว่าศูนย์ในช่วงที่ความยาวคลื่นแสงมากกว่า 550 nm ดังนั้นถ้าต้องการทราบค่าคงที่ทางแสงที่พลังงานโฟตอนในช่วงที่กว้างขึ้นจำเป็นต้องใช้วิธีอื่น

เริ่มแรกจะขออธิบายความสัมพันธ์ของค่าคงที่ทางแสงชนิดต่างๆ ก่อนว่ามีลักษณะอย่างไรบ้าง จากนิยามค่าดัชนีหักเหแสงเชิงซ้อน N (complex refraction index) ของวัสดุใด ๆ ว่า คืออัตราส่วนของความเร็วแสงในสุญญากาศต่อความเร็วแสงในวัสดุ และสามารถเขียน N ได้ในอีกรูปคือ [11]

$$N = n - ik \quad (3.1)$$

โดยที่ n และ k คือค่าดัชนีหักเหแสง และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนแสง ตามลำดับ

นอกจากนี้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสัมพัทธ์เชิงซ้อน ϵ_r (complex relative dielectric constant) มีค่าดังนี้

$$\epsilon_r = \epsilon_{r1} - \epsilon_{r2} \quad (3.2)$$

โดยที่ ϵ_{r1} , ϵ_{r2} คือค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสัมพัทธ์ของทอมจริงและทอมจินตภาพ ตามลำดับ

ดังนั้นจากความสัมพันธ์ในสมการที่ (3.1) และ (3.2) จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\epsilon_{r1} = n^2 - k^2 \quad (3.3)$$

$$\epsilon_{r2} = 2nk \quad (3.4)$$

และค่าเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง α ดังนี้

$$\alpha = \frac{4\pi k}{\lambda} = \frac{2\pi}{n\lambda} \epsilon_{r2} \quad (3.5)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง R ที่วัดได้ในการทดลองนั้นมีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของเฟรสเนล r ดังนี้

$$R = |r^2| = \frac{[(n-1)^2 + k^2]}{[(n+1)^2 + k^2]} \quad (3.6)$$

• โดยที่
$$r = \frac{(N-1)^2}{(N+1)^2} = |r|e^{i\theta} \quad (3.7)$$

ถ้าใส่ \ln ในสมการที่ (3.7) จะได้ $\ln r = \ln|r| + i\theta \quad (3.8)$

จากสมการที่ (3.1)-(3.8) เราจะได้ความสัมพันธ์ที่สำคัญดังต่อไปนี้

$$n = \frac{(1-|r|^2)}{(1+|r|^2 - 2|r|\cos\theta)} \quad (3.9)$$

$$k = \frac{(n+1)|r|\sin\theta}{|r|\cos\theta - 1} \quad (3.10)$$

ในสมการที่ (3.9) และ (3.10) ถ้าเราทราบค่ามุม θ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของพลังงานโฟตอน เราจะสามารถทราบค่า n, k และเมื่อแทนค่า n, k ลงในสมการที่ (3.3) ถึง (3.5) ก็จะทราบค่าคงที่ทางแสงอื่น ๆ ที่เหลือทั้งหมด

เทคนิคที่ใช้คำนวณหาค่า θ ในที่นี้ได้แก่เทคนิคความสัมพันธ์ของคราเมอร์ส-ครอนิก ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้กับปริมาณค่าเชิงซ้อน โดยที่สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเทอมจริงและเทอมจินตภาพได้ กล่าวคือถ้าเราทราบค่าเทอมจริงก็จะคำนวณหาค่าเทอมจินตภาพได้ หรือกลับกัน

ถ้าสังเกตสมการที่ (3.8) จะพบว่าเทอมจริงคือ $\ln|r|$ และเทอมจินตภาพคือ θ ดังนั้นเราจะประยุกต์ใช้สมการคณิตศาสตร์ความสัมพันธ์ของคราเมอร์ส-ครอนิกดังนี้ [11]

$$\theta(\omega_0) = \frac{1}{2\pi} \int_0^\infty \frac{d \ln R}{d\omega} \ln \left| \frac{\omega + \omega_0}{\omega - \omega_0} \right| d\omega \quad (3.11)$$

โดยที่ ω_0 คือความถี่ใด ๆ

ในสมการที่ (3.11) นี้เราต้องป้อนข้อมูลค่า R ที่ย่านความถี่ ω ตั้งแต่ 0 ถึงค่าอนันต์จึงจะคำนวณทราบค่า $\theta(\omega_0)$ ที่ความถี่ ω_0 ได้ แต่ในการทางปฏิบัติเราสามารถวัดสเปกตรัมของ

$R(h\nu)\%$ ได้ด้วยวิธีดังรูปที่ 3.2 ได้เพียงช่วงพลังงานที่จำกัด เช่น ระหว่าง 1.5 - 3.0 eV ดังแสดงในรูปที่ 3.3 แต่ในการใช้ความสัมพันธ์ของครามาเมอร์ส-ครอนิกนั้นจะต้องทราบค่าในช่วงกว้างมาก ๆ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอาศัยวิธีการลากต่อผลการทดลอง (extrapolation) [11-12] เช่น จาก 0.1 eV ไปถึง 1.5 eV และ 3.0 eV ไปถึง 10 eV ดังรายละเอียดที่จะกล่าวต่อไปในหัวข้อ 3.3

3.2.2 วิธีการปลูกฟิล์ม a-Si:H, a-SiN:H และ a-SiC:H

ฟิล์มที่ใช้ศึกษาการวัดค่าคงที่ทางแสงในงานนี้เป็นฟิล์มอะมอร์ฟัสชนิดบริสุทธิ์ (undoped) 3 ชนิด ได้แก่ a-Si:H, a-SiN:H และ a-SiC:H ฟิล์มเหล่านี้เตรียมด้วยวิธีการแยกสลายก๊าซด้วยประจุเรืองแสง (glow discharge plasma CVD) โดยที่ 1). ฟิล์ม a-Si:H เตรียมจากก๊าซ SiH_4 2). ฟิล์ม a-SiC:H เตรียมจากก๊าซผสมของ $\text{SiH}_4 + \text{C}_2\text{H}_4$ และ 3). ฟิล์ม a-SiN:H เตรียมจากก๊าซผสมของ $\text{SiH}_4 + \text{NH}_3$

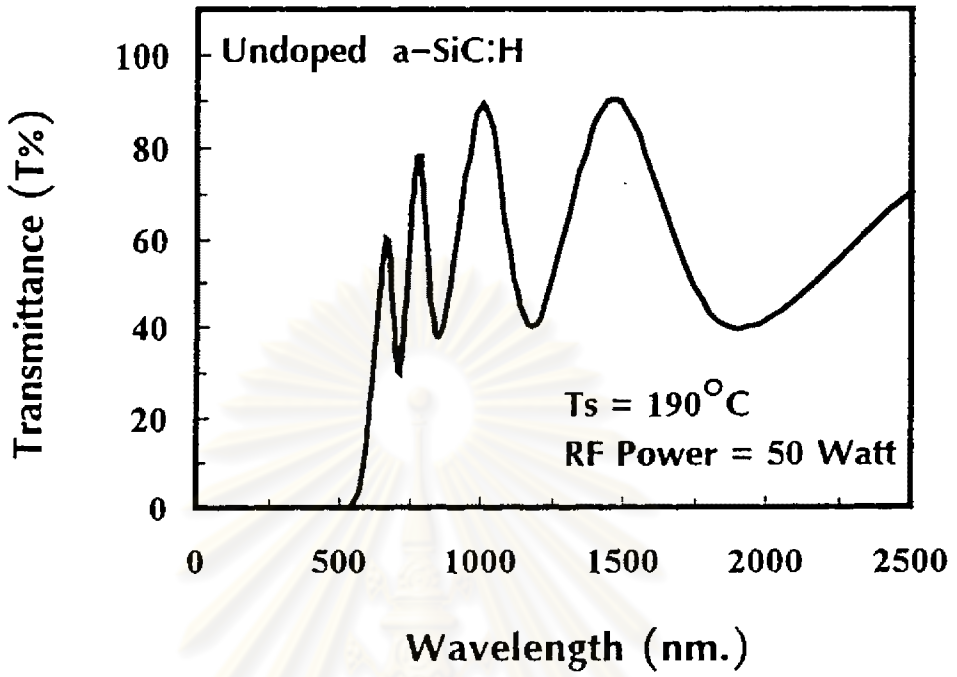
ตารางที่ 3.1 แสดงเงื่อนไขต่าง ๆ ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มเหล่านี้ ช่องว่างพลังงานของ a-Si:H, a-SiN:H และ a-SiC:H ที่ใช้ในการวัดค่าคงที่ทางแสงนี้มีค่าอยู่ในช่วง 1.8 ~ 3 eV [12] ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบสิ่งประดิษฐ์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในงานวิจัยนี้ ความหนาของฟิล์มเหล่านี้ประมาณ 1 ไมครอน ในการทดลองได้มีการเปรียบเทียบข้อมูลกับฟิล์ม a-Si:H ด้วย

3.2.3 วิธีการวัดและผลการทดลอง

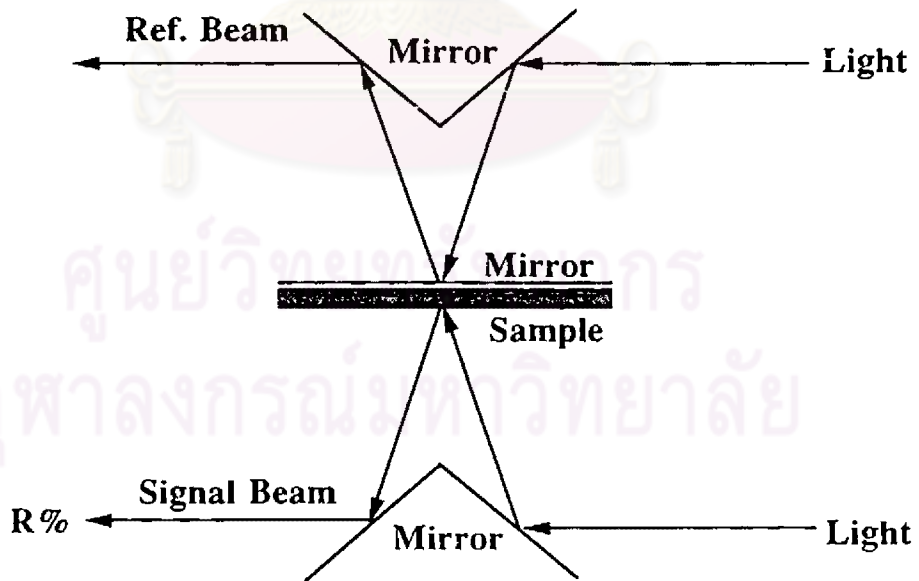
การวัดสเปกตรัมสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของฟิล์มที่ปลูกได้ใช้เครื่อง UV-Spectroscopy รุ่น 3101 PC ของบริษัท Shimadzu วัดแบบลำแสง 2 เส้น โดยมีการเพิ่มอุปกรณ์กระจกสะท้อนแสงเข้าไปภายในเครื่องเพื่อวัดการสะท้อนแสง และมีมุมตกกระทบของแสงสู่ชิ้นงานมีค่าประมาณ 4° - 5°

รูปที่ 3.4 แสดงแผนภูมิการคำนวณหาค่าคงที่ทางแสงชนิดต่าง ๆ โดยใช้เทคนิคของครามาเมอร์ส-ครอนิก

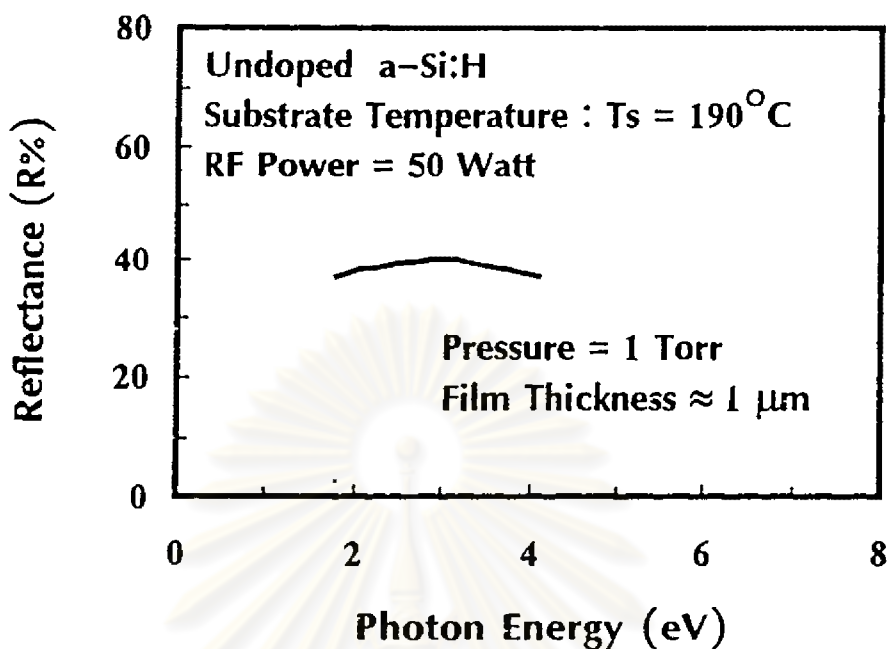
รูปที่ 3.5 แสดงสเปกตรัมสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของฟิล์มอะมอร์ฟัส 3 ชนิดซึ่งได้แก่ a-Si:H, a-SiC:H และ a-SiN:H โดยช่วง *เส้นทึบ* หรือ *ไขปด* เป็นค่าที่วัดได้จริง ส่วนบริเวณ



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างสเปกตรัมการทะลุผ่านแสงของฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอน



รูปที่ 3.2 วิธีการวัดสเปกตรัมสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างผลการวัดสเปกตรัมการสะท้อนแสงของฟิล์ม a-Si:H

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการเตรียมฟิล์ม a-Si:H , a-SiN:H และ a-SiC:H ด้วยวิธี glow discharge plasma CVD

วัสดุแผ่นฐาน	แผ่นกระจก Corning # 7059
อุณหภูมิแผ่นฐาน	190°C
ความดัน	1 Torr
ก๊าซสำหรับ a-Si:H	SiH_4 ($E_g = 1.834 \text{ eV}$) 50 Watt
a-SiN:H	NH_3/SiH_4 อัตราส่วน 80/20 $E_g = 2.14 \text{ eV}$ (50 Watt)
a-SiC:H	$\text{C}_2\text{H}_2/\text{SiH}_4$ (50 Watt) อัตราส่วน 45/15 ($E_g = 2.14 \text{ eV}$) อัตราส่วน 40/10 ($E_g = 2.75 \text{ eV}$) อัตราส่วน 60/7 ($E_g = 3.03 \text{ eV}$)

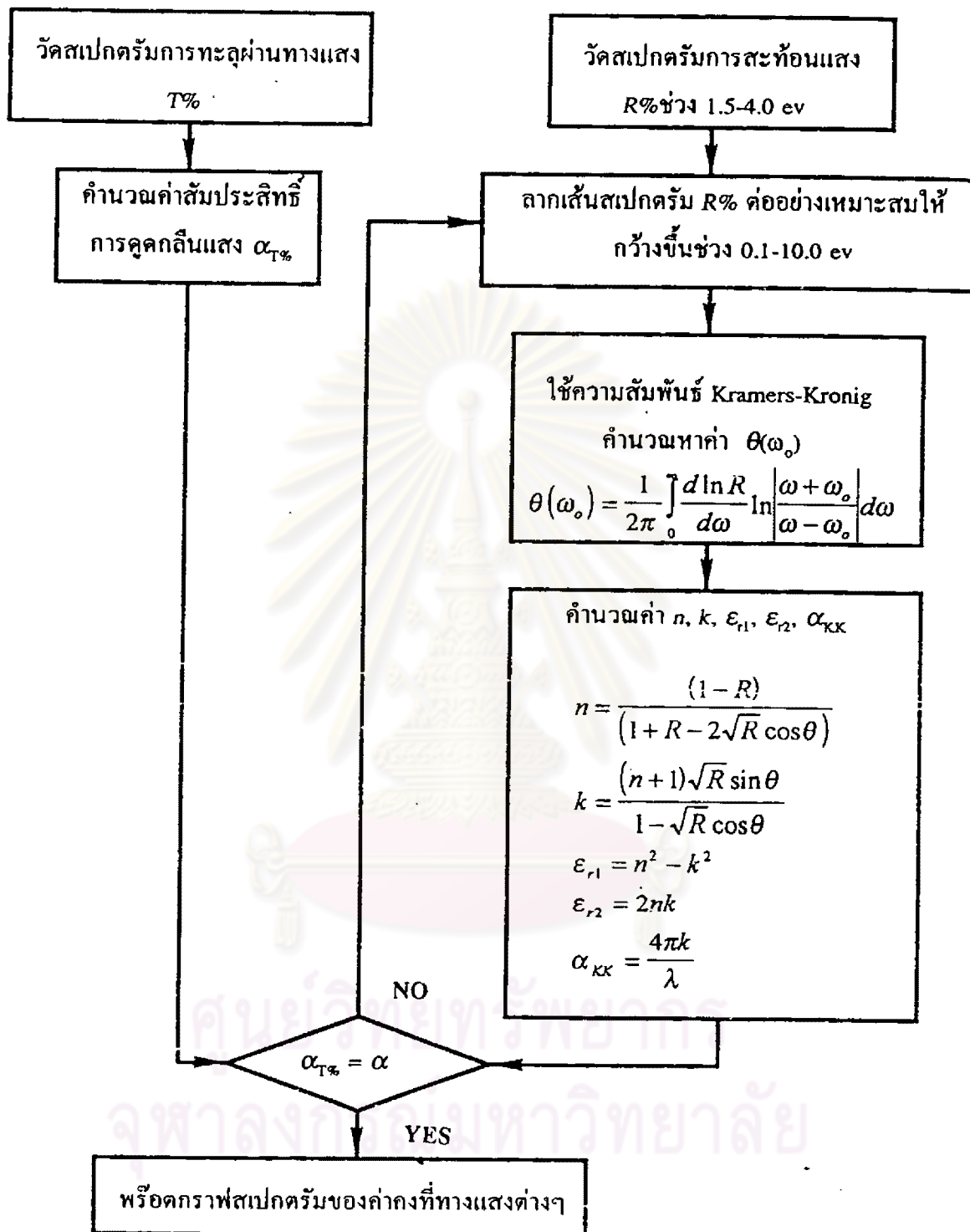
เส้นจุดเป็นช่วงที่ลากเส้นเพิ่มเติม นอกจากนี้ได้แสดงสเปกตรัมสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของผลึกเดี่ยวซิลิคอน สำหรับเปรียบเทียบไว้ด้วย จากรูปนี้พบว่าฟิล์ม a-Si:H มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงสูงกว่าฟิล์มชนิด a-SiN:H และ a-SiC:H และสเปกตรัม R % ของฟิล์มอะมอร์ฟัสเหล่านี้ไม่มีโครงสร้างที่ขรุขระซึ่งแตกต่างกับกรณีของผลึกซิลิคอนอย่างชัดเจน

วิธีการลากเส้นเพิ่มเติมในรูปที่ 3.5 ข้างคั่นนั้นต้องใช้ความระมัดระวังและมีวิธีการดังแสดงในแผนภูมิในรูปที่ 3.4 ดังต่อไปนี้ [12-13]

1. ทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านแสง $T(h\nu)\%$ ของฟิล์ม และนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง $\alpha_{T\%}$
2. ทำการลากเส้นต่อกราฟของ $R(eV)\%$ ไปสู่ย่านพลังงานโฟตอน 0.1 - 10 eV ด้วยค่า $R(eV)\%$ ที่เหมาะสม
3. ใช้ความสัมพันธ์ของค่าครามอร์ส-ครอนิค ในสมการที่ (3.11) คำนวณหาค่าคงที่ทางแสงต่าง ๆ รวมทั้งค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง α
4. เปรียบเทียบค่า $\alpha_{T\%}$ และ α ในช่วงพลังงานโฟตอนที่เหมาะสม ถ้าได้ผลไม่เท่ากัน ให้เปลี่ยนค่า $R(eV)\%$ ที่ลากในข้อ 2. จนกว่าจะได้ค่า α เท่ากับหรือใกล้เคียงกับ $\alpha_{T\%}$ มากที่สุด
5. พล็อตกราฟของค่าคงที่ทางแสงต่าง ๆ

การคำนวณค่าคงที่ทางแสงต่าง ๆ นี้ได้ใช้โปรแกรมภาษาปาสคาลที่เขียนขึ้นเอง ดังแสดงในภาคผนวก ก. และการคำนวณเชิงตัวเลขในสมการที่ (3.11) ได้ใช้วิธีของ Powell [11]

รูปที่ 3.6 แสดงผลการวัดสเปกตรัมค่าคงที่ทางแสงต่าง ๆ (ϵ_{r1} , ϵ_{r2} , n , k) ของฟิล์มอะมอร์ฟัสทั้ง 3 ชนิด โดยเปรียบเทียบกับกรณีของผลึกเดี่ยวซิลิคอนด้วย จากรูปที่ 3.6 พบว่าสเปกตรัมของ ϵ_{r2} มีลักษณะเป็นรูปภูเขา และพบว่าในช่วงพลังงานโฟตอนมีค่าน้อย เช่น น้อยกว่า 1.1 eV ค่า ϵ_{r2} ซึ่งเกี่ยวข้องกับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (จากสมการที่ 3.5) ของฟิล์ม a-Si:H, a-SiN:H และ a-SiC:H มีค่ามากกว่ากรณีผลึกซิลิคอน ทั้งนี้เนื่องจากผลึกซิลิคอนมีช่องว่างพลังงานเป็นชนิดไม่ตรง (indirect band gap) ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงจึงมีค่าน้อยมากในช่วงพลังงานโฟตอนที่น้อยกว่า 1.1 eV



รูปที่ 3.4 แผนภูมิการคำนวณหาค่าคงที่ทางแสงต่าง ๆ โดยใช้เทคนิคของคราเมอร์ส-ครอนิก

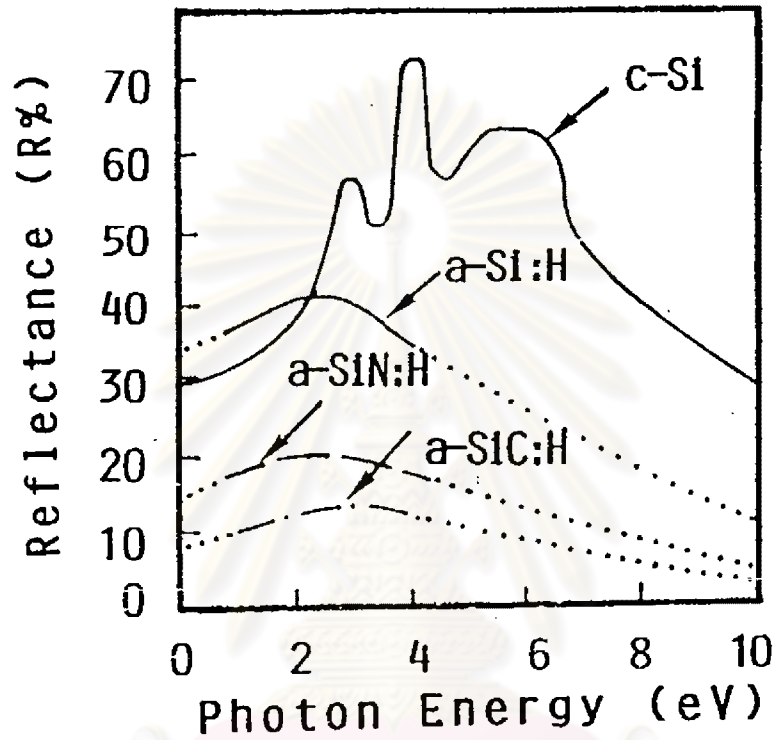
เมื่อพลังงานโฟตอนมีค่ามากขึ้น จะสังเกตเห็นว่าสเปกตรัมของ ϵ_{r2} ของฟิล์มอะมอร์ฟัสทั้งสามมียอดสเปกตรัมอยู่ที่ 3.5 - 4.0 eV ซึ่งใกล้เคียงกับยอดของผลึกซิลิคอน เราทราบทั่วไปว่าในกรณีของผลึกซิลิคอนยอดสเปกตรัมของ ϵ_{r2} นั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสถานะของอิเล็กตรอนแบบตรง (direct band gap) จาก Γ_{25} ไปสู่ Γ_2 ในแผนภูมิแถบพลังงานตามแนวอน [111] ดังแสดงในรูปที่ 3.7 [14] ดังนั้นจากการที่มียอดสเปกตรัมของ ϵ_{r2} ของ a-Si:H และฟิล์มอื่น ๆ ในช่วงใกล้เคียงกัน จึงทำให้คาดคะเนได้ว่าในวัสดุ a-Si:H, a-SiN:H และ a-SiC:H นั้นมีการรักษาความเป็นระเบียบในช่วงสั้น ๆ ของอะตอม (short-range order) ด้วย แต่การที่ลักษณะสเปกตรัม ϵ_{r2} ของฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอนไม่มีโครงสร้างขรุขระแสดงว่าการเรียงตัวของอะตอมอะมอร์ฟัสซิลิคอนไม่มีความเป็นระเบียบในช่วงยาว ๆ (long-range order)

นอกจากนี้ในรูปที่ 3.6 ก็สังเกตเห็นว่าตำแหน่งยอดของสเปกตรัม ϵ_{r2} ของฟิล์ม a-SiN:H ($E_g=2.14$ eV) และ a-SiC:H ($E_g=2.29$ eV) นั้นได้เคลื่อนไปทางย่านพลังงานโฟตอนที่มีค่ามากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับขนาดช่องว่างพลังงานของฟิล์ม a-SiN:H และ a-SiC:H ที่มีค่ามากกว่า a-Si:H

เนื่องจากการวิจัยได้ประดิษฐ์ชั้นเปล่งแสงของ TFLED จากฟิล์ม a-SiC:H จึงได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างพลังงานของฟิล์ม a-SiC:H ชนิดบริสุทธิ์ และค่าอัตราส่วนของก๊าซ $X = C_2H_4/(C_2H_4+SiH_4)$ รูปที่ 3.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างพลังงานของ a-SiC:H ชนิด บริสุทธิ์ และอัตราส่วนของก๊าซ $X = C_2H_4/(C_2H_4+SiH_4)$ จากรูปนี้พบว่า เมื่อค่า X เพิ่มขึ้นจาก 0.75 ไปถึง 0.9 ช่องว่างพลังงานเพิ่มขึ้นจาก 2.1 eV ไปถึง 3.1 eV และสีของฟิล์มจะเปลี่ยนจากสีเหลืองน้ำตาลเป็นสีเหลืองอ่อน และค่อย ๆ ใสขึ้น เนื่องจากค่าช่องว่างพลังงานอยู่ในช่วงแสงที่มองเห็น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำฟิล์ม a-SiC:H มาใช้งานเป็นชั้นเปล่งแสงใน TFLED

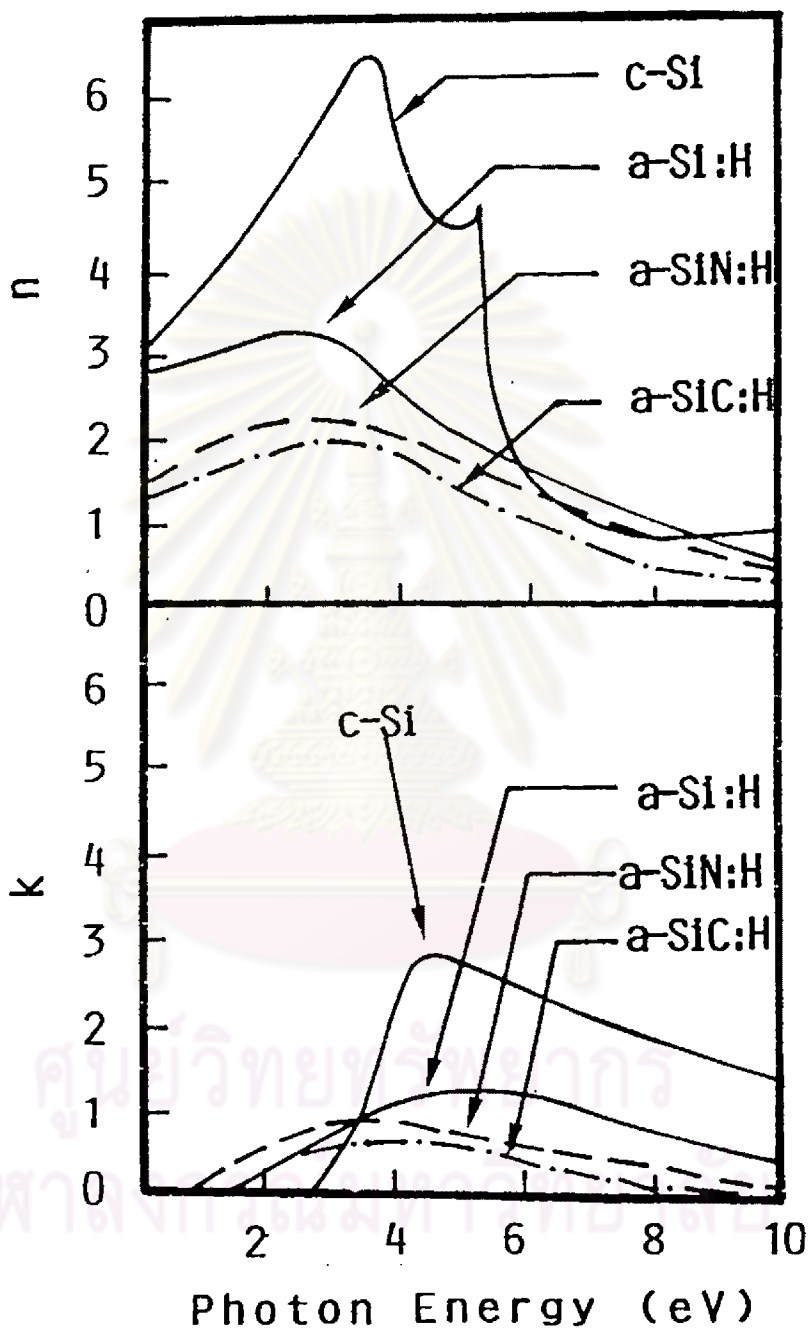
รูปที่ 3.9 แสดงผลการวัดสเปกตรัมสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง $R(eV)\%$ ของฟิล์มบาง a-SiC:H ที่มีค่าช่องว่างพลังงาน 2.57, 2.75 , 3.0 eV และค่าของ a-Si:H มีค่าช่องว่างพลังงาน 1.8 eV จากรูปพบว่า a-Si:H มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงสูงที่สุด และเมื่อช่องว่างพลังงานเพิ่มขึ้น สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงจะลดลงตามลำดับ

รูปที่ 3.10 และรูปที่ 3.11 แสดงสเปกตรัมค่าดัชนีหักเหแสง (n) และสเปกตรัม

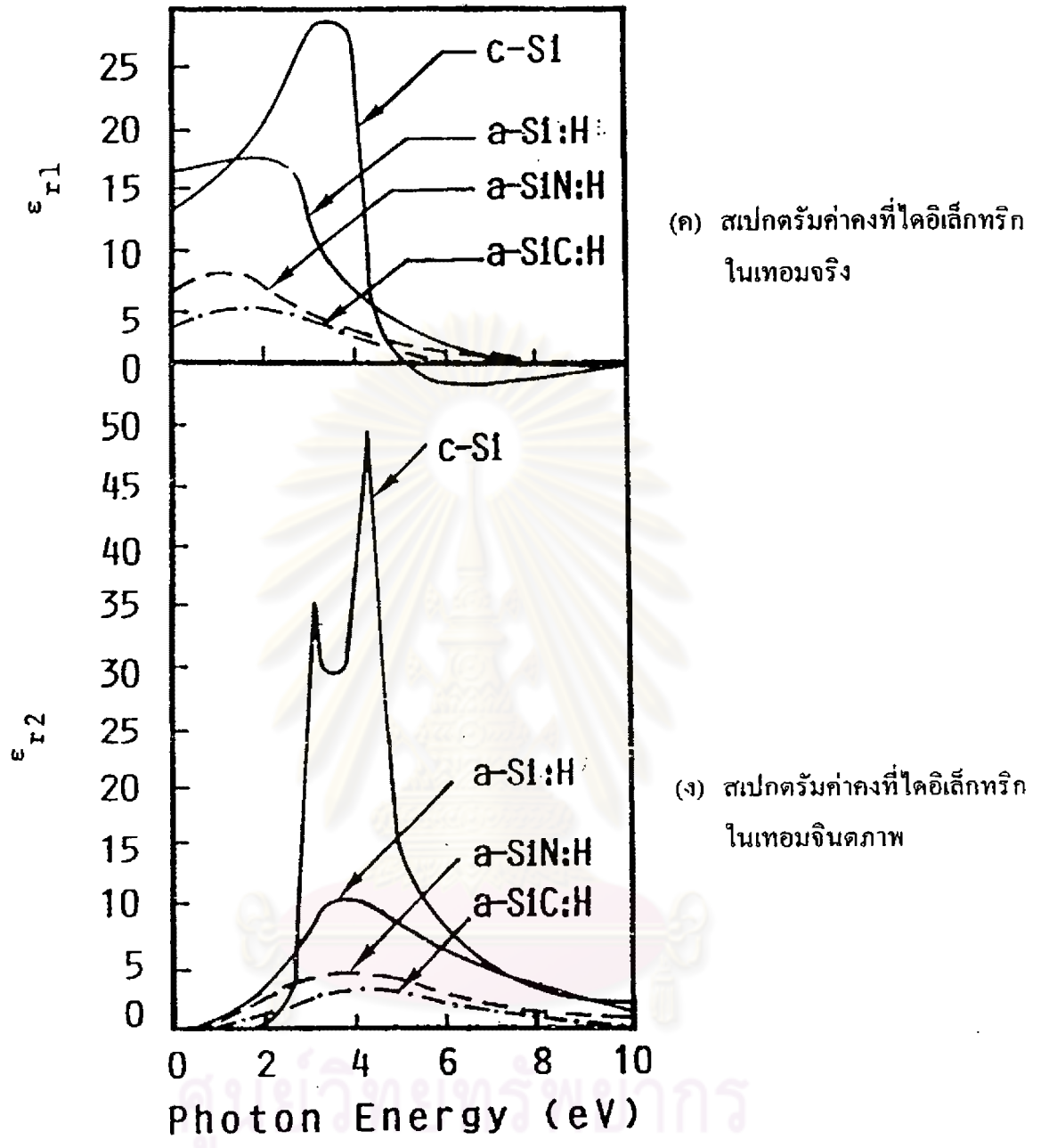


รูปที่ 3.5 สเปกตรัมสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง ($R\%$) ของฟิล์ม $a\text{-Si:H}$, $a\text{-SiN:H}$ และ $a\text{-SiC:H}$ เส้นทึบ คือผลการวัด เส้นจุด คือบริเวณที่มีการลากเส้นต่อ ซึ่งได้เปรียบเทียบกับกรณีของผลึกซิลิคอนด้วย [15]

(ก) สเปกตรัมค่าดัชนีหักเหแสงของฟิล์ม a-Si:H, a-SiN:H และ a-SiC:H



(ข) สเปกตรัมค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนแสงของฟิล์ม a-Si:H, a-SiN:H และ a-SiC:H



รูปที่ 3.8 ผลการวัดสเปกตรัมค่าคงที่ทางแสงต่าง ๆ ของฟิล์ม a-Si:H, a-SiN:H และ a-SiC:H โดยเปรียบเทียบกับกรณีของผลึกซิลิคอน

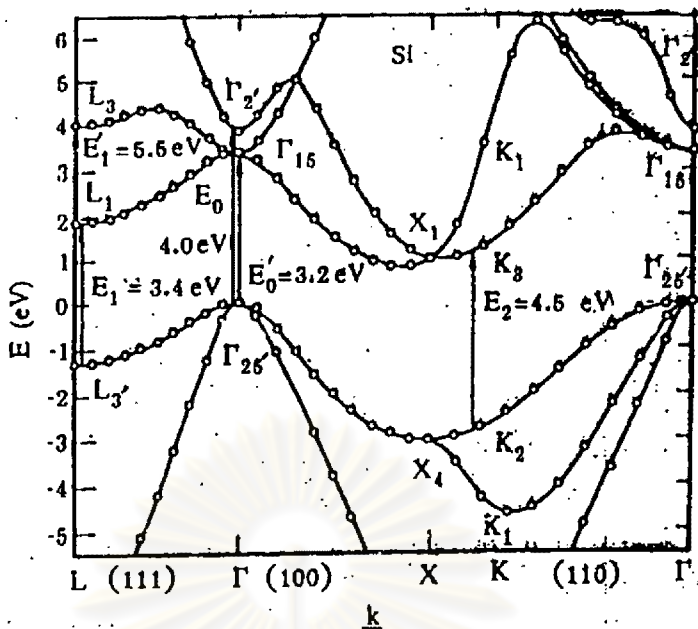
- (ก) สเปกตรัมค่าดัชนีหักเหแสง
- (ข) สเปกตรัมค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนแสง
- (ค) สเปกตรัมค่าคงที่ไดอิเล็กทริกในเทอมจริง
- (ง) สเปกตรัมค่าคงที่ไดอิเล็กทริกในเทอมจินตภาพ

สัมประสิทธิ์การลดทอนแสง (k) ตามลำดับ ได้จากการคำนวณด้วยเทคนิคของคราเมอร์ส-ครอนิก ทั้งสเปกตรัมดัชนีหักเหแสงและสัมประสิทธิ์การลดทอนแสงมีแนวโน้มเช่นเดียวกับกรณีสเปกตรัมสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง [16] เป็นที่น่าสังเกตว่าเมื่อช่องว่างพลังงานมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่า 3.0 eV ค่าดัชนีหักเหแสงจะมีค่าลดลงเข้าใกล้กรณีของแผ่นกระจก Corning # 7059 ซึ่งมีค่าดัชนีหักเหแสง 1.5 และมีความโปร่งแสง

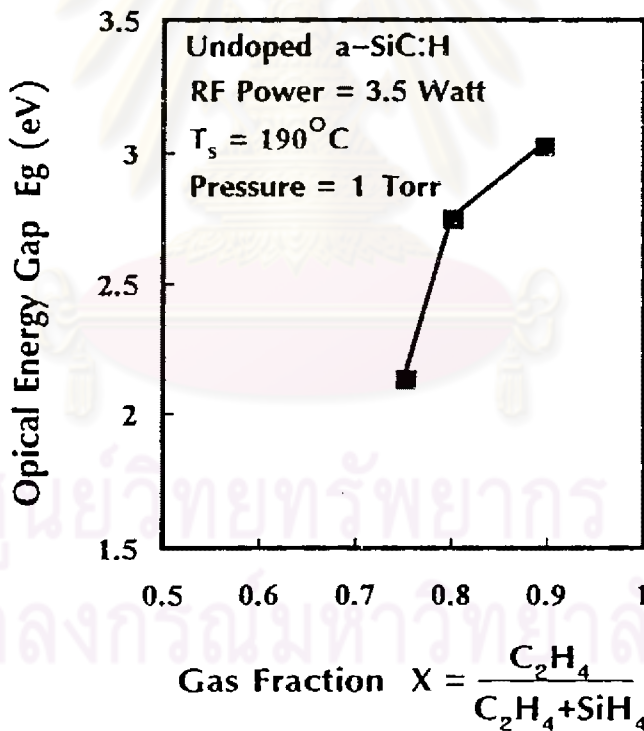
รูปที่ 3.12 และรูปที่ 3.13 แสดงสเปกตรัมค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสัมพัทธ์ในค่าเทอมจริงและเทอมจินตภาพตามลำดับ เมื่อช่องว่างพลังงานมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสัมพัทธ์ในกรณีค่าเทอมจริงและจินตภาพจะมีค่าลดลง

เทคนิคความสัมพันธ์คราเมอร์ส-ครอนิกมีประโยชน์ทำให้ทราบสเปกตรัมค่าคงที่ทางแสง n , k , ϵ_r และ ϵ_2 ที่มีช่วงพลังงานโฟตอนกว้างตั้งแต่ช่วงแสง IR จนถึง UV การลากต่อเส้นสเปกตรัมสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง ($R(eV)\%$) ต่อจากผลของการวัดนั้นไม่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของสเปกตรัมค่าคงที่ทางแสงที่คำนวณได้มากนัก และสามารถนำค่าคงที่ทางแสงเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์จากวัสดุอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอยซึ่งจะได้กล่าวในบทที่ 6 ต่อไป

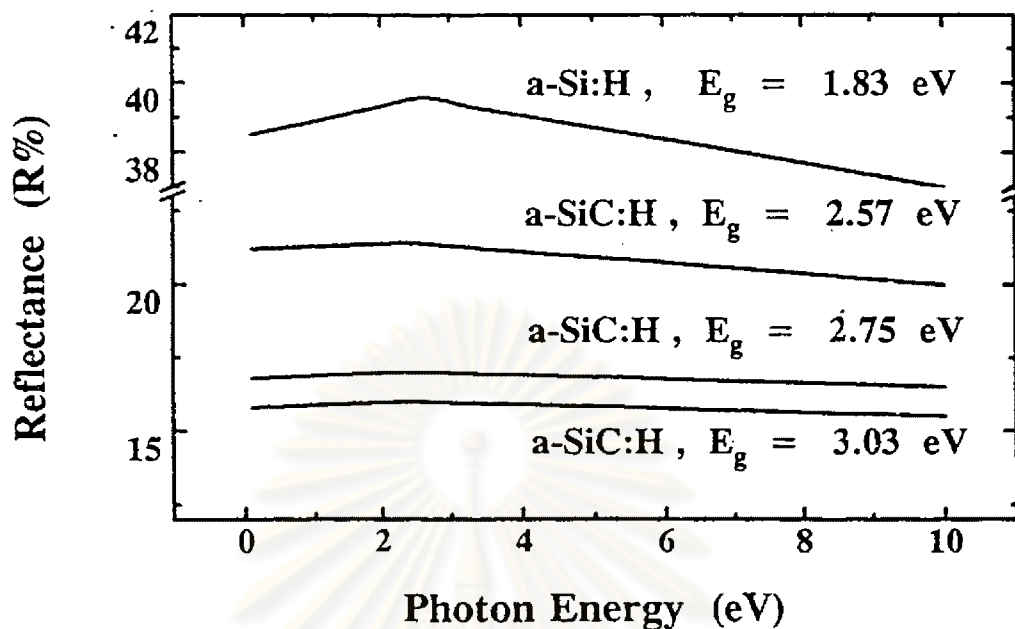
ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



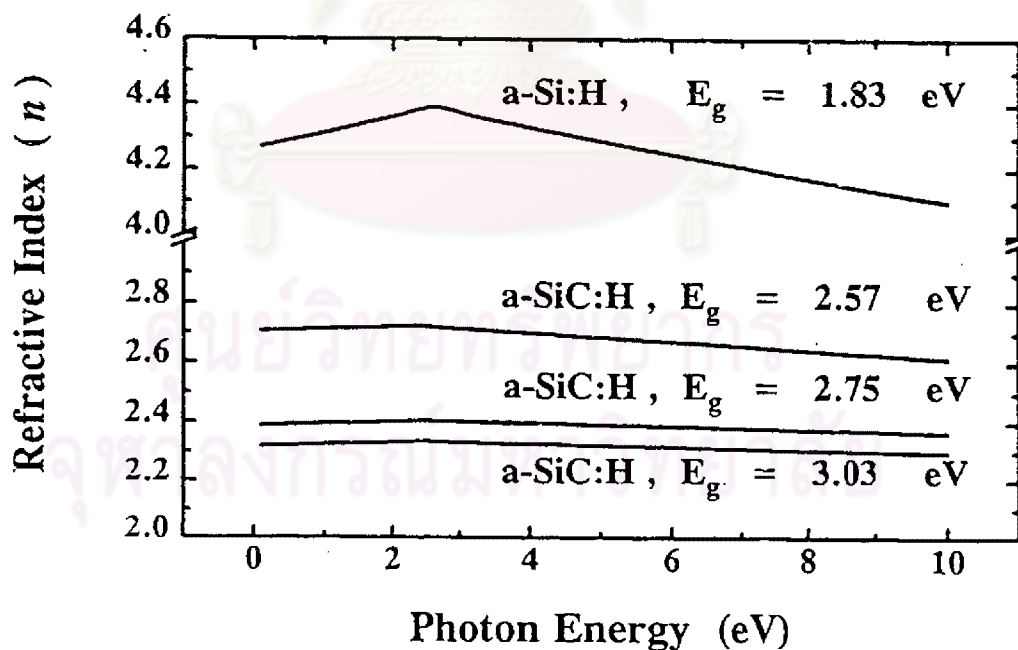
รูปที่ 3.7 แผนภูมิแถบพลังงานของผลึกซิลิคอน [14]



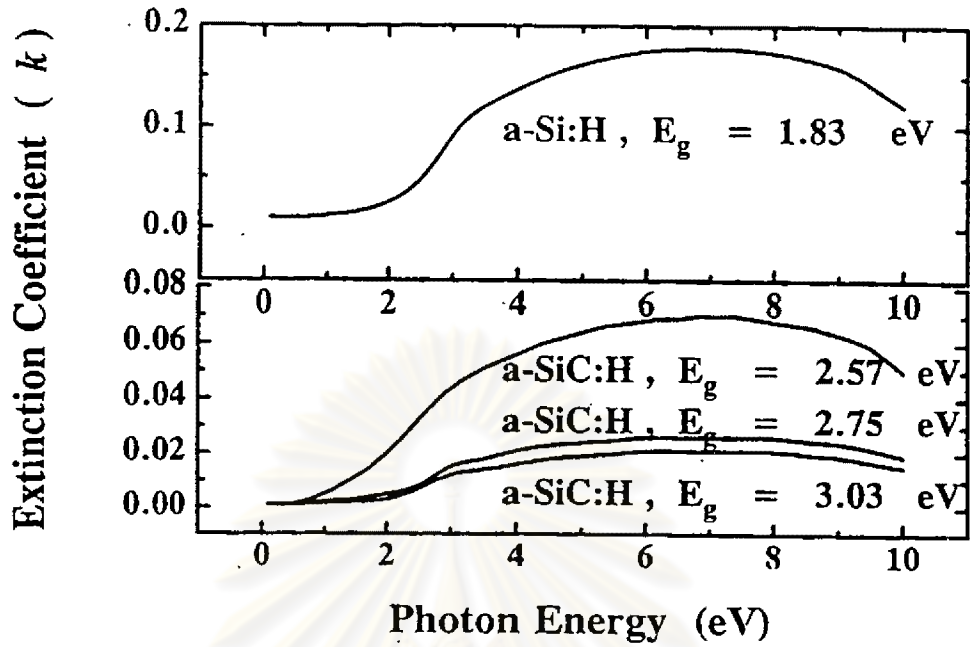
รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างพลังงานของฟิล์ม a-SiC:H ชนิดบริสุทธิ์ และอัตราส่วน ของก๊าซ $X = \frac{C_2H_4}{C_2H_4+SiH_4}$



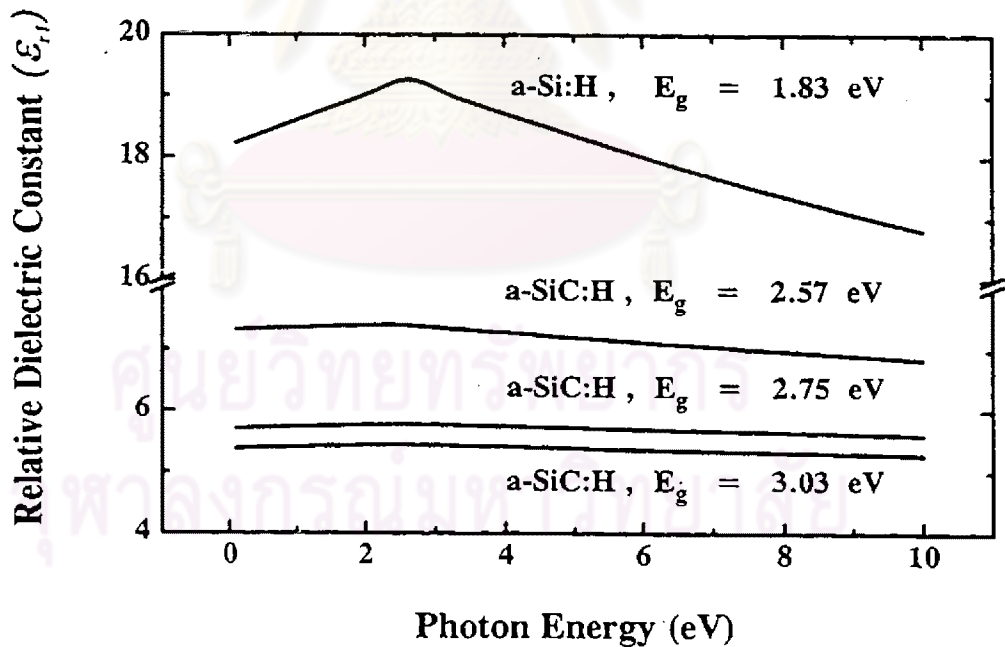
รูปที่ 3.9 สเปกตรัมสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง ($R(eV)\%$) ของฟิล์ม a-SiC:H ที่มีค่าช่องว่างพลังงานระหว่าง 2.5-3.0 eV และของ a-Si:H ซึ่งมีค่าช่องว่างพลังงานเท่ากับ 1.8 eV



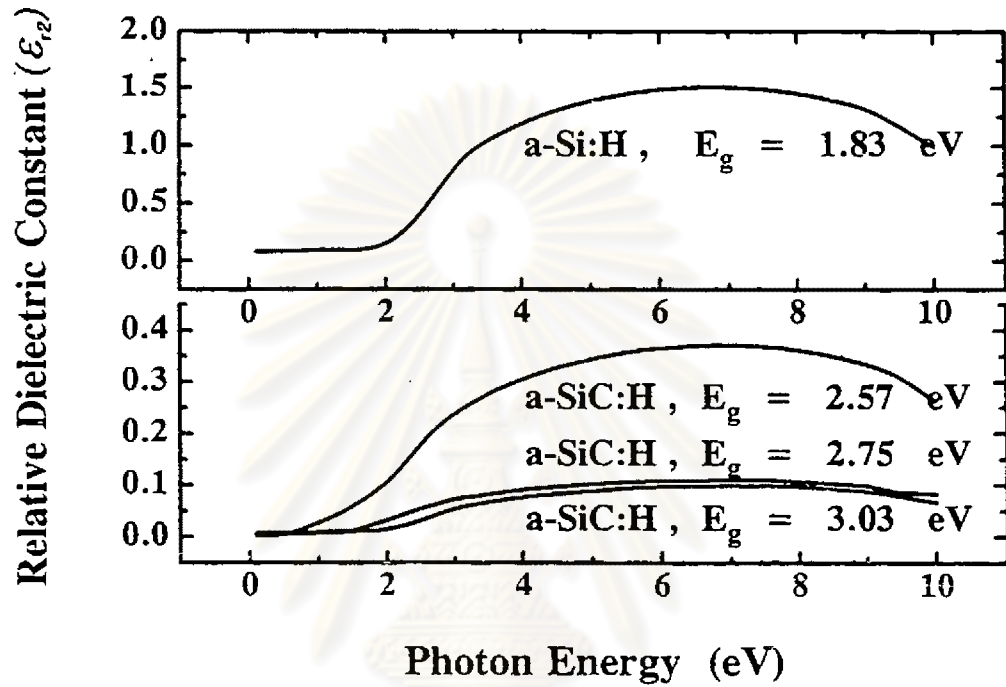
รูปที่ 3.10 สเปกตรัมค่าดัชนีหักเหแสง (n) ของฟิล์ม a-SiC:H ที่มีค่าช่องว่างพลังงานต่าง ๆ



รูปที่ 3.11 สเปกตรัมสัมประสิทธิ์การลดทอนแสง (k) ของฟิล์ม a-SiC:H ที่ค่าช่องว่างพลังงานต่าง ๆ



รูปที่ 3.12 สเปกตรัมค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสัมพัทธ์ในกรณีค่าเทอมจริง (ϵ_r) ของฟิล์ม a-SiC:H ที่มีช่องว่างพลังงานต่าง ๆ



รูปที่ 3.13 สเปกตรัมค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสัมพันธ์ในค่าทอมจินตภาพ (ϵ_{r2}) ของฟิล์ม a-SiC:H ที่มีช่องว่างพลังงานต่าง ๆ

3.3 การวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอะมอร์ฟัสซิลิคอนด้วยเทคนิค CPM (Constant Photocurrent Method)

วิธีการวัดปริมาณและระดับพลังงานของจุดบกพร่องที่สะดวกวิธีหนึ่งคือ การวัดสเปกตรัมของค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงสามารถวัดได้หลายวิธี เช่น การวัดจากค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านแสง (transmittance) แต่วิธีนี้ได้ผลเชื่อถือได้เฉพาะในกรณีที่พลังงานโฟตอนมีค่าใกล้เคียงพลังงานเท่านั้น แต่เนื่องจากสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงที่เกี่ยวข้องกับจุดบกพร่องนั้นมีค่าน้อยมาก เช่นระดับ 10^1 - 10^2 cm^{-1} และพลังงานโฟตอนที่สนใจมีค่าน้อยกว่าช่องว่างพลังงานมาก ดังนั้นวิธีการวัดที่ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านแสงจึงไม่เหมาะสม วิธีการวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงในกรณีที่มีค่าน้อยมาก ๆ วิธีที่ได้ผลและนิยมใช้กันมากวิธีหนึ่งคือ วิธี CPM (Constant Photocurrent Method) [10] ในบทนี้ได้รายงานเกี่ยวกับผลการศึกษาวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ a-Si:H ชนิดบริสุทธิ์ด้วยวิธี CPM

3.3.1 หลักการวัดสเปกตรัมสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงด้วยวิธี CPM

ในกรณีวัสดุสารพวกอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำ เนื่องจากโครงสร้างการเรียงตัวของอะตอมไม่เป็นระเบียบจึงไม่ควรมึนิยามของแถบพลังงานและโคออร์ดิเนต k ด้วย ดังนั้นในกระบวนการดูดกลืนแสงจึงไม่จำเป็นต้องใช้กฎการรักษาค่าโมเมนตัม เราอาจคิดได้ว่าการดูดกลืนแสงก็ดีและการเปล่งแสงก็ดีในวัสดุอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำสามารถเป็นไปในลักษณะการเปลี่ยนสถานะ (transition) แบบตรงได้ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงคำนวณได้จากผลคูณของค่า joint density of states ของแถบคอนดักชันและแถบวาเลนซ์ และความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ

รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำ โดยทั่ว ๆ ไป ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นย่านสำคัญ ๆ ได้ 3 ย่านดังนี้ คือ (α : สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง)

ย่าน A : High absorption region ($10^3 < \alpha < 10^5$ cm^{-1}) เกิดจากการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ไปสู่แถบคอนดักชัน

ย่าน B : Exponential part ($10^0 < \alpha < 10^3$ cm^{-1}) เกิดจากการเปลี่ยนสถานะที่เกี่ยวข้องกับหางของแถบพลังงาน (band tails)

ย่าน C : Weak absorption tail ($\alpha < 10^0$ cm^{-1}) เกิดจากการเปลี่ยนสถานะที่เกี่ยวข้องกับ

สมการที่ (3.14) จึงสามารถเขียนให้ง่ายขึ้นได้ว่า

$$I_{ph}(h\nu) \approx N(h\nu)\alpha(h\nu) \quad (3.15)$$

ในเทคนิคของ CPM นี้ ได้ใช้จุดเด่นของสมการที่ (3.15) ให้เป็นประโยชน์กล่าวคือ ในการทดลองในขณะที่กำลังเปลี่ยนพลังงานโฟตอนของแสง ถ้าทำการเปลี่ยนความเข้มของแสง (นั่นคือเปลี่ยนพารามิเตอร์ $N(h\nu)$) เพื่อให้ได้กระแสไฟฟ้าโฟโต I_{ph} มีค่าคงที่ตลอดทุกค่าของพลังงานโฟตอน (constant photocurrent) จะได้สมการที่น่าสนใจดังนี้ [17]

$$\alpha_{CPM}(h\nu) \approx \frac{\text{constant}}{N(h\nu)} \quad (3.16)$$

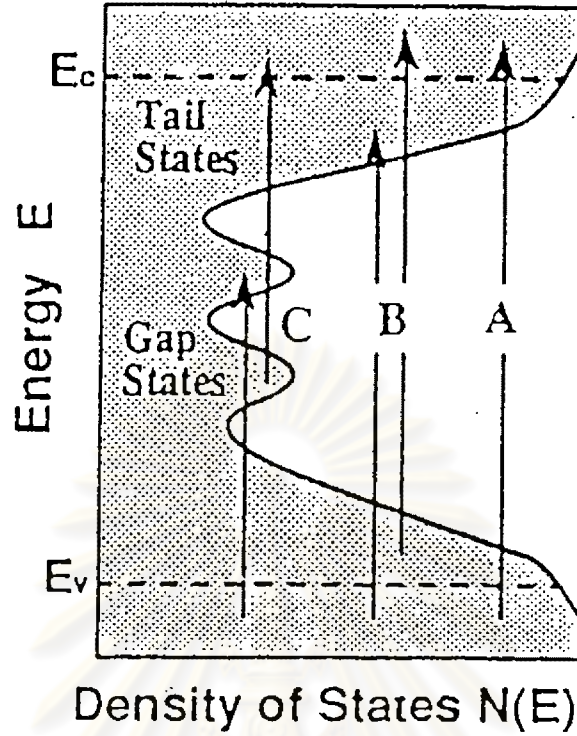
เทคนิคของการวัด CPM สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ส่องแสงที่มีความเข้มเหมาะสมเข้าสู่ฟิล์ม a-Si:H พร้อมป้อนสนามไฟฟ้าคงที่เพื่อให้ได้ค่ากระแสไฟฟ้าโฟโตที่เหมาะสมค่า ๆ หนึ่ง เช่น ประมาณ 50 nA
2. ทำการสแกนความยาวคลื่นแสง และเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงที่ตกกระทบฟิล์ม a-Si:H เพื่อให้กระแสไฟฟ้าโฟโตมีค่าคงที่เท่ากับ 50 nA ตลอดความยาวคลื่นแสง
3. บันทึกค่าความเข้มของแสงในข้อ 2 ในรูปของจำนวนโฟตอนของแสงไว้ตลอดการทดลองวัด

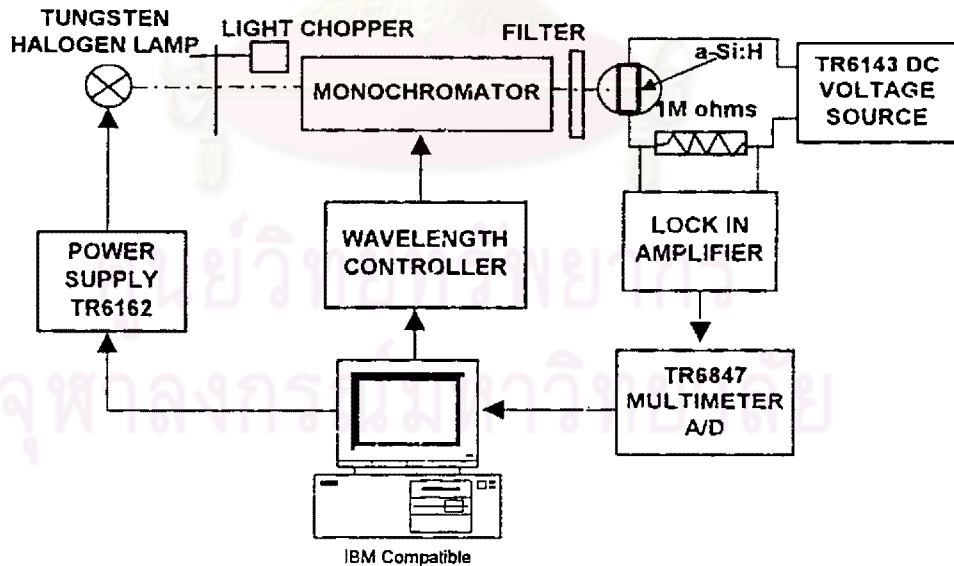
ฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอน (a-Si:H) ที่ใช้ในการทดลองปลูกอุณหภูมิแผ่นฐาน 300°C และ 200 °C และเป็นฟิล์มชนิดบริสุทธิ์

3.3.2 วิธีการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค CPM

รูปที่ 3.15 แสดงแผนภูมิวิธีการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ a-Si:H ด้วยวิธี CPM ต้นกำเนิดแสงได้แก่ หลอดไฟฟ้าทั้งสแตนด์บายไฮโดเจนขนาดประมาณ 150 Watt แสงจากหลอดไฟจะถูกชอปเปอร์ (chopper) ตัดแสงที่มีความถี่ 23 Hz และแสงจะเดินทางเข้าสู่โมโนโครมาเตอร์ (monochomator Jabin Yvon IIR320) และแสงเอาร์ทูจะไปที่ตกกระทบลงบนฟิล์ม a-Si:H



รูปที่ 3.14 ลักษณะของความหนาแน่นของสถานะและการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอนเมื่อมีการดูดกลืนแสงในวัสดุอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำทั่ว ๆ ไป



รูปที่ 3.15 แผนภูมิวิธีการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงด้วยวิธี CPM

ฟิล์ม a-Si:H ถูกเคลือบด้วยขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมที่มีรูปร่างเป็นโคเพนเนอร์ (co-planar) ระยะห่างของขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 1 mm. และขั้วไฟฟ้ามีความยาว 15 mm. ด้านเอาต์พุตของฟิล์ม a-Si:H มีตัวต้านทาน 1 M-Ohm ต่ออนุกรมอยู่ และมีแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Advantest TR 6143) จ่ายให้แก่ฟิล์ม a-Si:H

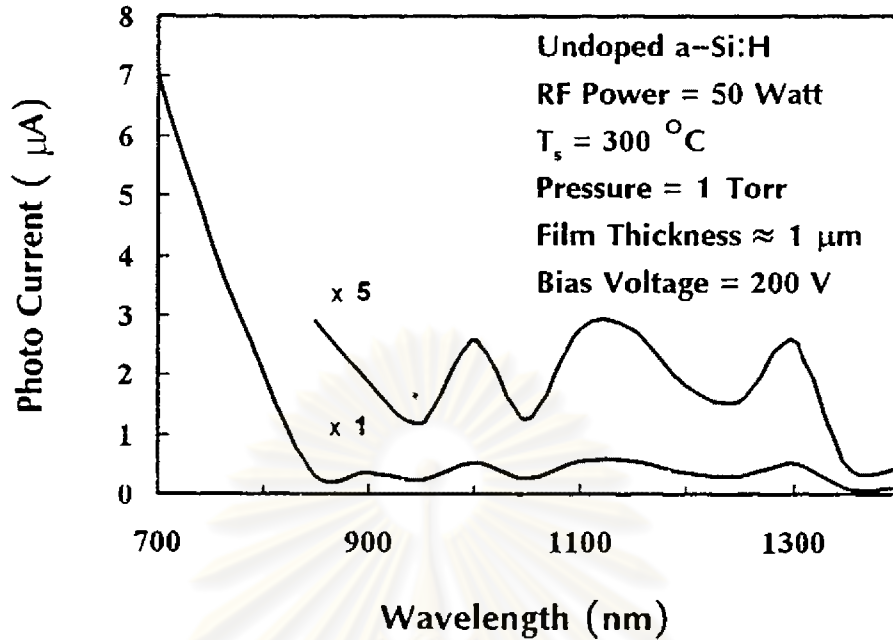
ในทางปฏิบัตินั้นสัญญาณไฟฟ้าเอาต์พุตของ a-Si:H ถูกวัดในโหมดของแรงดันไฟฟ้าที่คร่อมตัวต้านทานและจะถูกขยายด้วยล็อกอินแอมพลิฟายเออร์ (lock-in amplifier) สัญญาณเอาต์พุตแอมป์ล็อกจากล็อกอินจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัลและส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์ ต่อจากนั้นคอมพิวเตอร์จะป้อนกลับ (feedback) ข้อมูลของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตให้กลับไปสู่หลอดไฟทั้งสแตนด์บายเพื่อเปลี่ยนความเข้มแสงของหลอดไฟ ซึ่งจะต้องทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของ a-Si:H มีค่าคงที่ตลอดทุกความยาวคลื่นแสง ตัวอย่างเงื่อนไขในการวัด CPM แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างเงื่อนไขในการวัด CPM

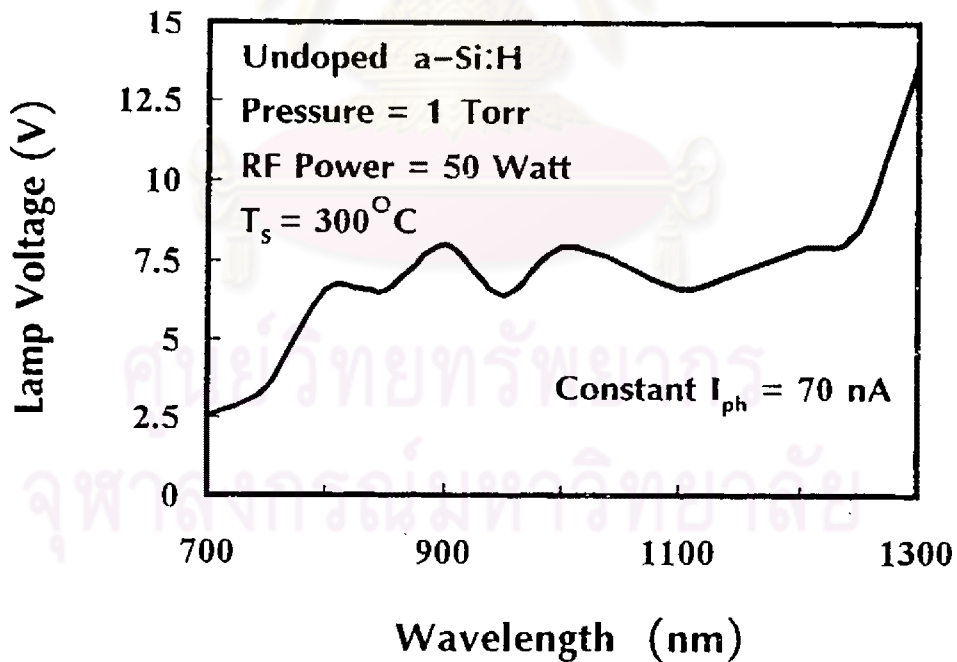
แรงดันไฟฟ้าคงที่ที่ป้อนให้ a-Si:H	200 V
กระแสไฟฟ้าโฟโตเอาต์พุตที่กำหนดให้คงที่	70 nA
ความถี่ชอปเปอร์แสง	23 Hz
ความต้านทานอนุกรมที่ต่อกับ a-Si:H	1 M-Ohm

3.3.3 ผลการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงด้วยวิธี CPM

รูปที่ 3.16 แสดงผลการวัดสเปกตรัมของกระแสไฟฟ้าโฟโตเอาต์พุตจาก a-Si:H ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 900 nm ถึง 1500 nm (ช่วง tail-states ในช่องว่างพลังงาน) ซึ่งวัดด้วยวิธีปกติและยังไม่ได้ใช้วิธี CPM จากรูปจะพบว่าที่ความยาวคลื่นสั้น แอมพลิจูดของสเปกตรัมจะมีค่าสูง เพราะมีการดูดกลืนแสงมากในย่านใกล้ขอบของช่องว่างพลังงาน และเมื่อความยาวคลื่นแสงมีค่ามากขึ้น แอมพลิจูดของสเปกตรัมจะลดลง ทั้งนี้เพราะเมื่อความยาวคลื่นแสงมากขึ้นสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงจะลดลง และการดูดกลืนแสงในย่านนี้เกิดจากการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอนระหว่าง gap-states และ tail-states หนึ่งขอดแตกต่างในรูปแบบเกิดจากการแทรกสอดของสัญญาณ



รูปที่ 3.16 สเปกตรัมของกระแสไฟฟ้าโฟโตเออร์ที่พุดจาก a-Si:H ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 700 nm ถึง 1500 nm (ช่วง tail-states ในช่องว่างพลังงาน) ซึ่งยังไม่ได้ใช้วิธี CPM



รูปที่ 3.17 สเปกตรัมแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมที่ป้อนให้กับหลอดไฟทั้งสแตนฮาโลเจนเพื่อให้กระแสไฟฟ้าโฟโตเออร์ที่พุดในรูปที่ 3.16 มีค่าคงที่ ซึ่งใช้เทคนิคการวัดด้วยวิธี CPM

แสง (light interference) ในฟิล์ม

รูปที่ 3.17 แสดงผลการวัดแบบ CPM โดยที่แกนในแนวตั้งคือ ค่าของแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมที่ป้อนให้กับหลอดไฟทั้งสเดนฮาโลเจน เพื่อให้กระแสไฟฟ้าโฟโตเอทท์พุทในรูปที่ 3.15 มีค่าคงที่ต่อนั้นทำการวัดความเข้มของแสง (จำนวนของโฟตอน) ที่ตกกระทบฟิล์ม a-Si:H ซึ่งถูกกำหนดด้วยแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมป้อนให้กับหลอดทั้งสเดนฮาโลเจนที่ได้จากรูปที่ 3.16 โดยการใช้อุปกรณ์เทอร์โมพายล์ (thermopile detector) ดังแสดงได้ในแผนภูมิวิธีการวัดจำนวนโฟตอนของแสงที่ตกกระทบบนฟิล์ม a-Si:H ในรูปที่ 3.18

รูปที่ 3.19 แสดงสเปกตรัมของจำนวนโฟตอน $N(h\nu)$ ที่ตกกระทบฟิล์ม a-Si:H และทำให้สเปกตรัมของกระแสไฟฟ้าโฟโต $I_{ph}(h\nu)$ มีค่าคงที่ตลอดย่านความยาวคลื่นแสงที่ทำการทดลอง

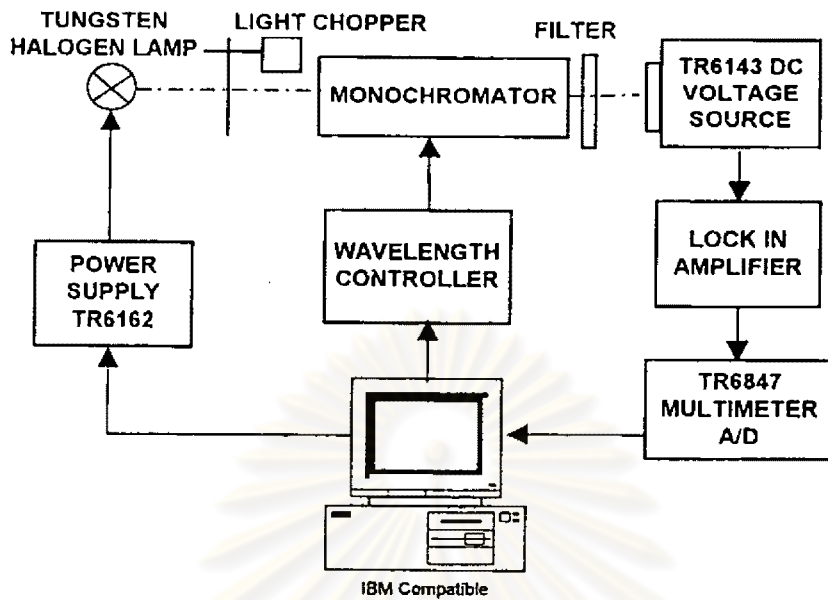
ดังนั้นจากสมการที่ (3.16) จึงสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงได้ตามที่ต้องการ

รูปที่ 3.20 แสดงผลการวัดสเปกตรัมค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงที่วัดจากค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านแสง

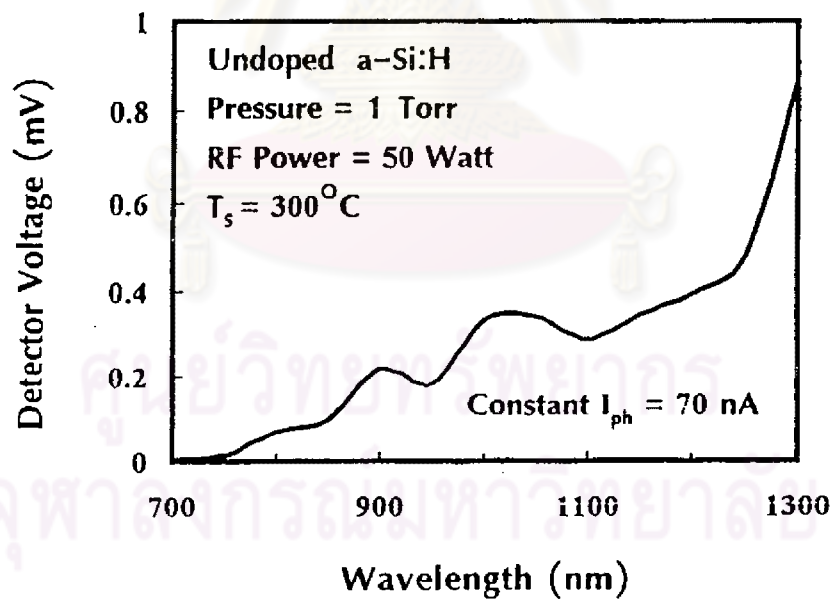
รูปที่ 3.21 แสดงผลการพล็อตกราฟของสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงของฟิล์ม a-Si:H ที่ได้จากการวัดด้วยวิธี CPM ค่าสัมบูรณ์ของแกนในแนวตั้งนั้นสามารถกำหนดได้โดยการลากกราฟต่อเชื่อมกับกราฟรูปที่ 3.20

จากรูปที่ 3.21 พบว่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของฟิล์ม a-Si:H ในย่าน 0.9 - 1.7 eV ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอนในย่าน B และ C คือ อยู่ในระดับ 10^2 - 10^4 cm^{-1} และ 10^1 - 10^2 cm^{-1} ตามลำดับ และนำมาต่อกับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงที่คำนวณได้จากการวัดค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านแสง $T\%$ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนสถานะในย่าน A

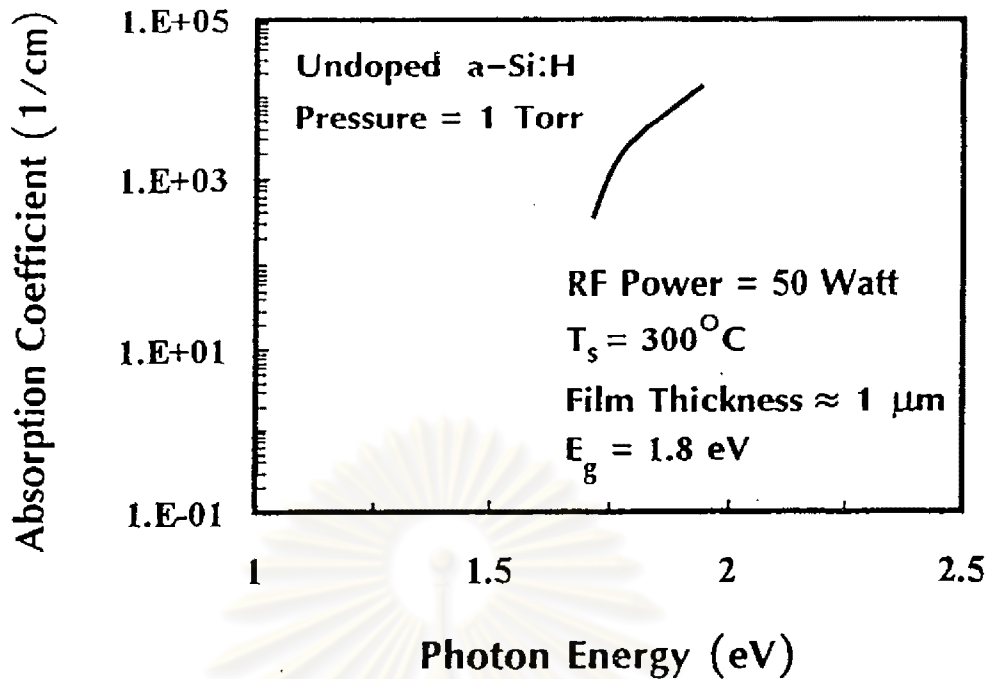
ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงนี้จะแปรผันตรงกับค่าความหนาแน่นของแก๊ปสเตท วัสดุ a-Si:H ที่ดีควรจะมีค่าความหนาแน่นของแก๊ปสเตทน้อย (ย่าน C) ผลการทดลองในงานวิจัยนี้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงในย่าน 0.9-1.7 eV มีค่าประมาณ 10^1 - 10^3 cm^{-1}



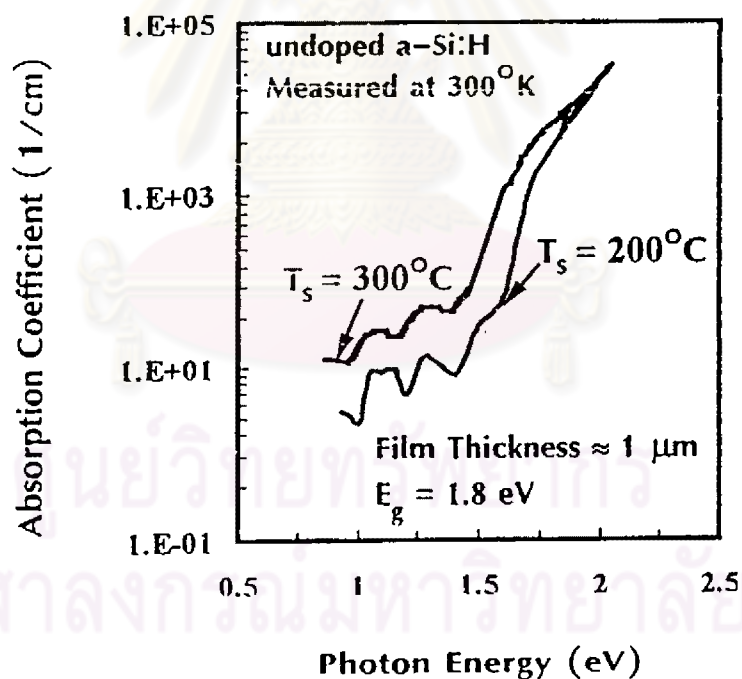
รูปที่ 3.18 แผนภูมิวิธีการวัดจำนวนโฟตอนที่ตกกระทบฟิล์ม a-Si:H โดยใช้อุปกรณ์เทอร์โมพายล์



รูปที่ 3.19 สเปกตรัมของจำนวนโฟตอน $N(h\nu)$ ที่ทำให้สเปกตรัมของกระแสไฟฟ้าโฟโต $I_{ph}(h\nu)$ มีค่าคงที่ตลอดย่านความยาวคลื่นแสงที่ใช้งานที่วัดได้จากอุปกรณ์เทอร์โมพายล์



รูปที่ 3.20 ผลการวัดสเปกตรัมสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงในย่าน A จากวิธีการวัดค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านแสง



รูปที่ 3.21 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของฟิล์ม a-Si:H ที่ได้จากการวัดด้วยวิธี CPM ในช่วงค่าพลังงานตั้งแต่ 0.9 eV ไปถึง 17 eV ซึ่งฟิล์ม a-Si:H ปลูกที่อุณหภูมิแผ่นฐาน 300°C และ 200°C



3.4 สรุป

ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางแสงและอิเล็กทรอนิกส์ของฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอยชนิด $a\text{-SiC:H}$, $a\text{-SiN:H}$ และ $a\text{-Si:H}$ และนำไปเปรียบเทียบกับผลึก $c\text{-Si}$ อีกทั้งยังได้นำฟิล์ม $a\text{-SiC:H}$ ที่ค่าช่องว่างพลังงานต่าง ๆ กัน (2.57, 2.75 และ 3.03 eV) นำมาศึกษาคุณสมบัติทางแสง โดยสร้างระบบวัดและเขียนโปรแกรมการวัดสเปกตรัมค่าคงที่ทางแสงได้แก่ สเปกตรัมค่าดัชนีหักเหแสง (n) สเปกตรัมค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนแสง (k) สเปกตรัมค่าไดอิเล็กทริกทั้งในเทอมจริงและจินตภาพ (ϵ_{r1} , ϵ_{r2}) และสเปกตรัมค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง ($R\%$) ตั้งแต่ย่านความยาวคลื่น UV ถึง IR ผลการวิจัยพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของฟิล์ม $a\text{-SiC:H}$ มีค่าสูงขึ้นเมื่อมีช่องว่างพลังงานมีค่าลดลง และฟิล์ม $a\text{-Si:H}$ มีค่า $R\%$ สูงที่สุด และค่าคงที่ทางแสงที่วัดได้นี้มีความสำคัญสำหรับนำไปออกแบบสิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ โดยเฉพาะ ค่า n และ k พบว่าค่า n และ k จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อช่องว่างพลังงานลดลง ข้อมูลเหล่านี้เป็นประโยชน์ในการออกแบบสิ่งประดิษฐ์วงจรรวมออปโตอิเล็กทรอนิกส์ในบทที่ 6 ต่อไป นอกจากนี้การใช้เทคนิคความสัมพันธ์ของครามเมอร์-ครอนิกซ์ยังสามารถคาดคะเนฟิล์มอะมอร์ฟัสซิลิคอนอัลลอยว่ามีการรักษาความเป็นระเบียบในช่วงอะตอมสั้นๆ ได้จากการสังเกตยอดสเปกตรัม ϵ_{r2} มียอดใกล้เคียงกับผลึกซิลิคอนที่เกิดจากการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอนแบบตรง (direct transition) ในช่วงแถบพลังงาน [111] จาก Γ_{25} ไปสู่ Γ_2 .

ผลการวัดสเปกตรัมสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของ $a\text{-Si:H}$ ด้วยวิธี CPM (Constant Photocurrent Methode) พบว่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของ $a\text{-Si:H}$ ที่ปลูกที่อุณหภูมิแผ่นฐาน 300°C มีค่าประมาณ $10^1\text{-}10^3\text{ cm}^{-1}$ มีค่าสูงกว่าเงื่อนไขการปลูกฟิล์ม $a\text{-Si:H}$ ที่อุณหภูมิ 200°C ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเงื่อนไขการปลูกฟิล์ม $a\text{-Si:H}$ ที่อุณหภูมิ 200°C จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงน้อยกว่าเงื่อนไขการปลูกฟิล์มที่อุณหภูมิ 300°C การวัด CPM นี้ประสบความสำเร็จเป็นครั้งแรกในห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ