

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาสมบัติทางแสงและไฟฟ้าของฟิล์มบางโปร่งใส
อินเดียมทินออกไซด์



นายนवर ควงมุสทิธิ
นางสาวสิรินญา ลิ้มศรีจำเริญ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... **62282**
วัน,เดือน,ปี..... - 8 ส.ค. 2549

| |
|------------------|
| .b..... 1161685A |
| .i..... |

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**A Study of optical and electrical properties of transparent indium
tin oxide thin film**



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of
Bachelor Of Science
Department of Applied Physics
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year 2005

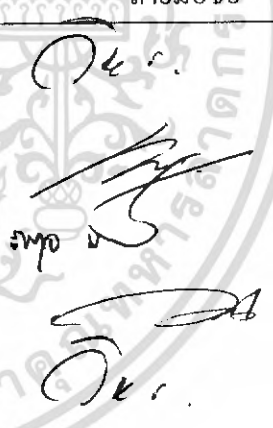
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

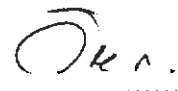
โครงการพิเศษเรื่อง การศึกษาสมบัติทางแสงและไฟฟ้าของฟิล์มบางโปร่งใสอินเดียมทินออกไซด์

นักศึกษา นายนวกกร ควงมุสิทธิ
นางสาวสิรินญา สัมศรีจำเริญ

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.วิษณุ เพชรภา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รศ.วิชาญ เดชิตธีระ

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต

| คณะกรรมการตรวจสอบ | | ลายมือชื่อ |
|----------------------|------------------------|--|
| ประธานกรรมการ | รศ.วิชาญ เดชิตธีระ |  |
| กรรมการ | อ.เบญจพล ต้นธุ์ | |
| กรรมการ | อ.ภารุจ บัณฑิตาคาวิทย์ | |
| กรรมการที่ปรึกษา | รศ.วิษณุ เพชรภา | |
| กรรมการที่ปรึกษาร่วม | รศ.วิชาญ เดชิตธีระ | |


.....
(รองศาสตราจารย์วิชาญ เดชิตธีระ)
หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การศึกษาสมบัติทางแสงและทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง โปรงใสอินเดียมทินออกไซด์

นักศึกษา นายนวกกร ดวงมุสิทธิ
นางสาวสิรินญา ลิ่มศรีจำเริญ

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ **คณะวิทยาศาสตร์**

สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

ปีการศึกษา 2548

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.วิษณุ เพชรภา

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รศ.วิชาญ เตชิตริระ

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการปลูกฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ (Indium Tin Oxide; ITO) โดยวิธี Dip coating (จุ่มเคลือบ) และ Spin coating (หมุนเคลือบ) บนฐานรองแก้วโบโรซิลิเกต (Borocilicate) สารละลายที่ใช้ในการปลูกฟิล์มบางITO เตรียมโดยใช้วิธีโซลเจล ในอัตราส่วนระหว่าง In:Sn เป็น 1:1, 7:3 และ 9:1 ในแต่ละอัตราส่วนทำการปลูกความหนาต่าง ๆ กัน และทำการแอนนัลที่อุณหภูมิ 600°C จากนั้นนำมาตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้าและ สมบัติทางแสงโดยวิธี 4 ขั้วเชิงเส้นและทรานสมิซชันสเปกโตรสโคปีพบว่า เงื่อนไขการปลูกที่ดีที่สุดโดยวิธีหมุนเคลือบ คือ In:Sn เป็น 9:1 มีค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่าน (%T) ประมาณ 95% ในย่านความยาวคลื่นที่ตามองเห็น ($\lambda = 400-760$ nm) มีแถบพลังงานต้องห้ามประมาณ 3.95 eV และมีค่าความต้านทานแผ่น (R_s) ประมาณ $63.274 \times 10^3 \Omega/\square$ และโดยวิธีจุ่มเคลือบ เงื่อนไขที่ดีที่สุดคือ In:Sn เป็น 9:1 มีสัมประสิทธิ์การส่องผ่าน (%T) ประมาณ 90% ในย่านความยาวคลื่นที่ตามองเห็น ($\lambda = 400-760$ nm) และมีแถบพลังงานต้องห้ามประมาณ 4 eV และมีค่าความต้านทานแผ่น (R_s) ประมาณ $1.815 \times 10^3 \Omega/\square$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title A Study of optical and electrical properties of transparent indium tin oxide thin film

Name Mr. Nawagon Doungmusit
Miss Sirinya Limsrichumroen

Department Applied Physics Faculty of Science

Program Applied Physics

Academic Year 2005

Special Project Advisor Assoc. Prof. Wisanu Pecharapa

Special Project co-advisor Assoc. Prof. Wicharn Thechidheera

ABSTRACT

The special project is the study of the growth of Indium tin oxide (ITO) thin films on boric silicate glass substrate by Dip coating and Spin coating method. The solution was prepared by Sol-gel method with different In:Sn atomic ratios ;1:1, 7:3 and 9:1. The thin films were deposited with different thickness for each ratio followed by annealing at 600°C. Two-point probe measurement and transmission spectroscopy were employed to characterize the optical and electrical properties of the films. The optimized results for both methods were obtained. For Spin-coating, In:Sn ratio of 9:1 showed the best optical transmission up to 95% in visible spectrum with direct band-gap energy of 3.95 eV and the lowest sheet resistance of $63.274 \times 10^3 \Omega/\square$. Meanwhile, by dip coating method; In:Sn ratio of 9:1 showed the best optical transmission up to 90% in visible spectrum with direct band-gap energy of 4 eV and the lowest sheet resistance of $1.815 \times 10^3 \Omega/\square$.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จได้เนื่องจากความอุปการะของบุคคลหลายๆ ฝ่าย ข้าพเจ้าจึงอยากขอบคุณท่านเหล่านี้ที่ได้ให้ความช่วยเหลือแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

บิดา - มารดา ผู้ให้กำเนิด อุปการะเลี้ยงดู อยู่เคียงข้างและคอยให้กำลังใจ
ข้าพเจ้าเสมอมา

รศ.วิษณุ เพชรภา ผู้ที่เหน็ดเหนื่อย ให้คำปรึกษา และคอยช่วยเหลือทุกอย่าง

รศ.วิชาญ เตชิตธีระ คอยให้คำชี้แนะแนวทางในการทำงาน

ดร.สามารถ คงทวีเลิศ ผู้ที่คอยให้คำชี้แนะ และอธิบายในสิ่งที่ข้าพเจ้าไม่รู้ หรือไม่เข้าใจ
ให้เข้าใจมากขึ้น

รศ.ดร.ฐิตินัย แก้วแดง ผู้ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือวัดสมบัติของสาร

รศ.ดร.จิติ หนูแก้ว ผู้ที่ให้คำชี้แนะในการทำงาน

พี่ว่าน คอยเตรียมสารละลาย และให้คำปรึกษา

นายไชยวัฒน์ ไชยวัฒน์วิกุล หรือน้องผู้ที่คอยเหน็ดเหนื่อยทำงานร่วมกับเรามาตลอด

อาจารย์ทุกๆ ท่าน ที่คอยสั่งสอน และถ่ายทอดวิชาความรู้ให้มาตลอด

พี่ๆ ทุกคน ที่คอยให้คำปรึกษา

เพื่อนๆ รุ่น 21 ที่คอยเป็นกำลังใจ

นาย นวกร ดวงมุสลิห์
นางสาว สิริินญา ลิ้มศรีจำเริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| สารบัญ | ง-ฉ |
| สารบัญตาราง | ช |
| สารบัญรูปภาพ | ซ-ฅ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาของ โครงการพิเศษ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 1 |
| 1.3 ขอบเขตในการศึกษา | 1 |
| 1.4 ระยะเวลาในการดำเนินการ | 2 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการพิเศษ | 3 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ | 4 |
| 2.1 สมบัติของอินเดียมทินออกไซด์ | 4 |
| 2.1.1 โครงสร้างของฟิล์มบาง ITO | 4 |
| 2.1.2 สมบัติทางแสง | 5 |
| 2.1.3 สมบัติทางไฟฟ้า | 6 |
| 2.2 หลักการเครื่องมือวิเคราะห์สมบัติเฉพาะของฟิล์มบาง | 7 |
| 2.2.1 การศึกษาโครงสร้างผลึกจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ | 7 |
| 2.2.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเล็อนกราด | 12 |
| 2.2.3 UV-VIS Spectrophotometer | 15 |
| 2.2.4 การวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ โดยวิธี 2 ขั้ว (2 point probes) | 16 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย | 19 |
| 3.1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย | 19 |
| 3.2 ขั้นตอนการเตรียมแผ่นแก้วฐานรอง | 19 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| 3.3 การสร้างเครื่องจุ่มเคลือบและเครื่องหมุนเคลือบ | 20 |
| 3.3.1 เครื่องจุ่มเคลือบ | 20 |
| 3.3.2 เครื่องหมุนเคลือบ | 21 |
| 3.4 ขบวนการปลูกฟิล์มบาง ITO ด้วยวิธีจุ่มเคลือบ | 22 |
| 3.4.1 ระบบการทดลอง | 22 |
| 3.5 ขบวนการปลูกฟิล์มบาง ITO ด้วยวิธีหมุนเคลือบ | 23 |
| 3.5.1 ระบบการทดลอง | 23 |
| 3.6 ระบบการทดลอง | 23 |
| 3.6.1 วิธีการจุ่มเคลือบ | 23 |
| 3.6.2 วิธีการหมุนเคลือบ | 24 |
| 3.7 การตรวจสอบสมบัติฟิล์มบาง ITO | 25 |
| 3.7.1 การศึกษาโครงสร้างผลึกจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ | 25 |
| 3.7.2 SEM | 26 |
| 3.7.3 UV-VIS Spectrophotometer | 26 |
| 3.7.4 การวัดความต้านทานจำเพาะ โดยวิธี 2 ขั้ว (2 point probes) | 26 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล | 27 |
| 4.1 ผลที่ได้จากการทดสอบสมบัติของฟิล์มบาง ITO โดยการศึกษา โครงสร้างผลึกจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) | 27 |
| 4.2 ผลที่ได้จากการวัดฟิล์มบาง ITO ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบเลื่อนกราด (Scanning Electron Microscope;SEM) | 29 |
| 4.2.1 เครื่องจุ่มเคลือบ | 29 |
| 4.2.2 เครื่องหมุนเคลือบ | 30 |
| 4.3 ผลที่ได้จากการวัดฟิล์มบาง ITO ด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer | 31 |
| 4.3.1 ผลของอัตราส่วนระหว่าง In:Sn ต่อสัมประสิทธิ์การส่องผ่าน ของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบ | 31 |
| 4.3.2 ผลของอัตราส่วนระหว่าง In:Sn ต่อสัมประสิทธิ์การส่องผ่าน ของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีหมุนเคลือบ | 33 |

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| 4.3.3 ผลของจำนวนชั้นในการเคลือบต่อสัมประสิทธิ์การส่องผ่าน ของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบ | 34 |
| 4.3.4 ผลของจำนวนชั้นในการเคลือบต่อสัมประสิทธิ์การส่องผ่าน ของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีหมุนเคลือบ | 36 |
| 4.3.5 ผลที่ได้จากการวาดกราฟเพื่อหาค่าแถบพลังงานต้องห้ามของ ฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบ | 37 |
| 4.3.6 ผลที่ได้จากการวาดกราฟเพื่อหาค่าแถบพลังงานต้องห้ามของ ฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีหมุนเคลือบ | 39 |
| 4.3.7 ผลของจำนวนชั้นในการเคลือบต่อค่าแถบพลังงานต้องห้าม ของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบ | 40 |
| 4.3.8 ผลของจำนวนชั้นในการเคลือบต่อค่าแถบพลังงานต้องห้าม ของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีหมุนเคลือบ | 42 |
| 4.3.9 ผลของอัตราส่วนระหว่าง In:Sn ต่อค่าแถบพลังงานต้องห้าม ของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบ | 43 |
| 4.3.10 ผลของอัตราส่วนระหว่าง In:Sn ต่อค่าแถบพลังงานต้องห้าม ของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีหมุนเคลือบ | 44 |
| 4.4 ผลที่ได้จากการวัดฟิล์มบาง ITO ด้วยเครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้าโดยวิธี 2 ขั้ว | 46 |
| 4.4.1 ผลของอัตราส่วนระหว่าง In:Sn ต่อค่าความต้านทานแผ่น ของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบ | 46 |
| 4.4.2 ผลของอัตราส่วนระหว่าง In:Sn ต่อค่าความต้านทานแผ่น ของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีหมุนเคลือบ | 49 |
| บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ | 52 |
| 5.1 สรุปผลการศึกษาโครงการพิเศษ | 52 |
| 5.2 แนวทางการพัฒนา | 52 |
| เอกสารอ้างอิง | 53 |
| ภาคผนวก | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 1.1 แสดงระยะเวลาในการทำงาน | 2 |
| ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติทางแสงและทางไฟฟ้าของฟิล์มที่ได้ จากการปลูกฟิล์มบาง อินเดียมทินออกไซด์ (Indium tin Oxide, ITO) ด้วยเทคนิคต่างๆ | 7 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างผลึกแบบ Cubic bixbyte ของ ITO | 4 |
| รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างอะตอมของอินเดียมออกไซด์ (In_2O_3) ถูกเจือด้วยดีบุก (Sn) | 5 |
| รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของแถบพลังงานที่มีลักษณะเป็นพาราโบลาของ In_2O_3 ที่ยังไม่ได้รับการเจือและผลกระทบของการเจือด้วยดีบุก | 5 |
| รูปที่ 2.4 แสดงการตกกระทบและการสะท้อนของรังสีเอ็กซ์ตามกฎของแบรกก์ | 8 |
| รูปที่ 2.5 แสดงเครื่อง X-ray diffractometer | 9 |
| รูปที่ 2.6 แสดงตัวตรวจวัดของ X-ray diffractometer | 9 |
| รูปที่ 2.7 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ | 10 |
| รูปที่ 2.8 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด | 13 |
| รูปที่ 2.9 ภาพแสดงหลักการทำงานของเครื่อง SEM | 13 |
| รูปที่ 2.10 สเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบ UV-VIS | 16 |
| รูปที่ 2.11 แสดงภาพชิ้นงานที่มีลวดทองแดงติดอยู่ที่ผิวด้วยกาวเงิน | 17 |
| รูปที่ 2.12 แสดงแผนภาพจำลองการวัดความต้านทานจำเพาะ โดยวิธี 2 ขั้ว | 17 |
| รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย | 19 |
| รูปที่ 3.2 เครื่องจุ่มเคลือบ | 20 |
| รูปที่ 3.3 วงจรของเครื่องจุ่มเคลือบ | 21 |
| รูปที่ 3.4 ชิปโตชิบาเบอร์ TA7259P | 21 |
| รูปที่ 3.5 เครื่องหมุนเคลือบ | 22 |
| รูปที่ 3.6 วิธีจุ่มเคลือบ | 23 |
| รูปที่ 3.7 วิธีหมุนเคลือบ | 24 |
| รูปที่ 3.8 ตัวอย่างลำดับขั้นความเร็วรอบของวิธีหมุนเคลือบ | 25 |
| รูปที่ 4.1 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ | 28 |
| (ก) รูปแบบการเลี้ยวเบนอ้างอิงของผง ITO ที่เตรียมได้จากกระบวนการตกตะกอนร่วม | |
| (ข) รูปแบบการเลี้ยวเบนของฟิล์มบาง ITO ที่ปลูกด้วยวิธีจุ่มเคลือบที่ความหนา 25 ชั้น | |
| รูปที่ 4.2 แสดงภาพพื้นผิวของฟิล์มบาง ITO จากเครื่อง SEM ซึ่งปลูกด้วยวิธีจุ่มเคลือบที่ | 29 |
| อัตราส่วน (ก) 1:1 ความหนา 20 ชั้น (ข) 7:3 ความหนา 25 ชั้น (ค) 9:1 ความหนา 20 ชั้น | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 4.3 แสดงภาพพื้นผิวของฟิล์มบาง ITO จากเครื่อง SEM ซึ่งปลูกด้วยวิธีหมุนเคลือบที่อัตราส่วน (ก) 1:1 ความหนา 10 ชั้น (ข) 7:3 ความหนา 10 ชั้น (ค) 9:1 ความหนา 15 ชั้น | 30 |
| รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่องผ่านกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ITO31 ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบความหนา 25 ชั้น | |
| รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่องผ่านกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ITO32 ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบความหนา 30 ชั้น | |
| รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่องผ่านกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ITO33 ที่ปลูกโดยวิธีหมุนเคลือบความหนา 10 ชั้น | |
| รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่องผ่านกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ITO33 ที่ปลูกโดยวิธีหมุนเคลือบความหนา 20 ชั้น | |
| รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่องผ่านกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ITO34 ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบอัตราส่วน 7:3 | |
| รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่องผ่านกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ITO35 ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบอัตราส่วน 9:1 | |
| รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่องผ่านกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ITO36 ที่ปลูกโดยวิธีหมุนเคลือบอัตราส่วน 7:3 | |
| รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่องผ่านกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ITO36 ที่ปลูกโดยวิธีหมุนเคลือบอัตราส่วน 9:1 | |
| รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $(\alpha h\nu)^2$ กับค่าพลังงาน โฟตอนซึ่งก็คือค่าแถบพลังงานต้องห้ามของแก้วโบโรซิลิเกตที่ยังไม่ได้ทำการปลูกฟิล์มบาง ITO | 37 |
| รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $(\alpha h\nu)^2$ กับค่าพลังงาน โฟตอนซึ่งก็คือค่าแถบพลังงานต้องห้ามของวิธีจุ่มเคลือบที่อัตราส่วน In:Sn เป็น 7:3 | 38 |
| รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $(\alpha h\nu)^2$ กับค่าพลังงาน โฟตอนซึ่งก็คือค่าแถบพลังงานต้องห้ามของวิธีจุ่มเคลือบที่อัตราส่วน In:Sn เป็น 9:1 | 38 |
| รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $(\alpha h\nu)^2$ กับค่าพลังงาน โฟตอนซึ่งก็คือค่าแถบพลังงานต้องห้ามของวิธีหมุนเคลือบที่อัตราส่วน In:Sn เป็น 7:3 | 39 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $(\alpha hv)^2$ กับค่าพลังงานโฟตอนซึ่งก็คือค่าแถบพลังงานต้องห้ามของวิธีหมุนเคลือบที่อัตราส่วน In:Sn เป็น 9:1 | 39 |
| รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแถบพลังงานต้องห้ามกับความหนาของวิธีจุ่มเคลือบที่อัตราส่วน In:Sn เป็น 7:3 | 40 |
| รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแถบพลังงานต้องห้ามกับความหนาของวิธีจุ่มเคลือบที่อัตราส่วน In:Sn เป็น 9:1 | 41 |
| รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแถบพลังงานต้องห้ามกับความหนาของวิธีหมุนเคลือบที่อัตราส่วน In:Sn เป็น 7:3 | 42 |
| รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแถบพลังงานต้องห้ามกับความหนาของวิธีหมุนเคลือบที่อัตราส่วน In:Sn เป็น 9:1 | 42 |
| รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแถบพลังงานต้องห้ามกับอัตราส่วน In:Sn ต่างๆ ของวิธีจุ่มเคลือบที่ความหนา 30 ชั้น | 43 |
| รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแถบพลังงานต้องห้ามกับอัตราส่วน In:Sn ต่างๆ ของวิธีหมุนเคลือบที่ความหนา 10 ชั้น | 44 |
| รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแถบพลังงานต้องห้ามกับอัตราส่วน In:Sn ต่างๆ ของวิธีหมุนเคลือบที่ความหนา 15 ชั้น | 44 |
| รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแถบพลังงานต้องห้ามกับอัตราส่วน In:Sn ต่างๆ ของวิธีหมุนเคลือบที่ความหนา 20 ชั้น | 45 |
| รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับกระแสของวิธีจุ่มเคลือบที่อัตราส่วน In:Sn เป็น 1:1 | 46 |
| รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับกระแสของวิธีจุ่มเคลือบที่อัตราส่วน In:Sn เป็น 7:3 | 46 |
| รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับกระแสของวิธีจุ่มเคลือบที่อัตราส่วน In:Sn เป็น 9:1 | 47 |
| รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแผ่นกับอัตราส่วนต่างๆ ของวิธีจุ่มเคลือบ | 48 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับกระแสของวิธีหมุนเคลือบ ที่อัตราส่วน In:Sn เป็น 1:1 | 49 |
| รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับกระแสของวิธีหมุนเคลือบ ที่อัตราส่วน In:Sn เป็น 7:3 | 49 |
| รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับกระแสของวิธีหมุนเคลือบ ที่อัตราส่วน In:Sn เป็น 9:1 | 50 |
| รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแผ่นกับอัตราส่วนต่างๆ ของ วิธีหมุนเคลือบ | 51 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ (Indium Tin Oxide; ITO) คือ ฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ที่เจือด้วยดีบุก ซึ่งนิยมนำมาทำเป็นขั้วไฟฟ้าโปร่งแสง เช่น ขั้วแอโนดของ ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ (OLED) เป็นต้น และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ ได้ สมบัติเด่นของฟิล์มบาง ITO คือ มีความต้านทานไฟฟ้าต่ำ ทำให้นำไฟฟ้าได้ดี และเป็นฟิล์มบางที่มีความโปร่งแสงสูงในย่านความยาวคลื่นแสงที่ตามองเห็น

การสร้างฟิล์มบาง ITO สามารถสร้างได้หลายวิธี อาทิเช่น สเปร์ไพโรไลซิส (spray pyrolysis), สปีดเตอริง (sputtering), ขุ่มเคลือบ (dip coating) เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีจะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป

สมบัติทางแสงและทางไฟฟ้า ของฟิล์มบาง ITO มีผลต่อประสิทธิภาพของอุปกรณ์ ดังนั้น การตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงของ ITO จึงเป็นขั้นตอนสำคัญของการตรวจสอบคุณภาพของฟิล์มบางที่ปลูกได้

1.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อศึกษาวิธีการปลูกฟิล์มบาง ITO ด้วยวิธีต่างๆ
- เพื่อศึกษาโครงสร้างและสมบัติของสารที่นำมาสร้างฟิล์มบาง ITO
- เพื่อศึกษาสมบัติทางแสง และทางไฟฟ้า ของฟิล์มบาง ITO ที่ปลูกได้ที่เงื่อนไขต่างๆ

1.3 ขอบเขตในการศึกษา

สำหรับขอบเขตในการศึกษาของโครงการนี้ เราสามารถแบ่งเป็นส่วนๆ ได้ดังนี้

1.3.1 ส่วนทฤษฎี จะเป็นการศึกษาโครงสร้างของสารที่นำมาสร้างฟิล์มบาง ITO และสมบัติต่างๆ ของฟิล์มบาง ITO ซึ่งได้แก่ สมบัติทางแสง และสมบัติทางไฟฟ้า

1.3.2 ส่วนของเทคนิคการวัด ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการวัดสมบัติต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับฟิล์มบาง ITO โดยใช้เครื่อง สเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบ UV-Vis (UV-Vis Spectrophotometer),

XRD, เครื่องมือวัดความต้านทานจำเพาะ โดยวิธี 2 ขั้ว (2 point probes) และ SEM เพื่อวัดค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสมบัติทางแสงและทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง ITO

1.3.3 ส่วนของผลและการสรุป จะเป็นส่วนที่รวบรวมผลที่ได้จากการวัดทั้งหมด แล้วนำมาวิเคราะห์เพื่อเก็บข้อมูลต่างๆ ที่วิเคราะห์ได้ ไปใช้ในการปรับปรุงเงื่อนไขการปลูกต่อไป

1.4 ระยะเวลาในการดำเนินการ

| กิจกรรม | มี.ย.-ก.ค. | ก.ค.-ส.ค. | ก.ย.-ต.ค. | พ.ย.-ธ.ค. | ม.ค.-ก.พ. | มี.ค. 49 |
|---|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| | 48 | 48 | 48 | 48 | 49 | |
| ศึกษาหาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง | ←→ | | | | | |
| จัดซื้ออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงาน | | ←→ | | | | |
| ประกอบระบบ และทดสอบระบบที่ประกอบขึ้น | | | ←→ | | | |
| ปลูกฟิล์มบาง และระบบการตรวจวัดคุณสมบัติทางแสงและทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง | | | | ←→ | | |
| วิเคราะห์ และสรุปผลจัดทำรายงาน | | | | | | ←→ |

ตารางที่ 1.1 แสดงระยะเวลาในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการพิเศษ

สิ่งที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการพิเศษนี้คือ

1. ได้ทราบโครงสร้างของสารที่ใช้ในฟิล์มบาง ITO
2. ทราบวิธีการเตรียมสารและวิธีการสร้างฟิล์มบาง ITO ด้วยวิธีต่างๆ
3. ทราบเทคนิคในการสร้างฟิล์มบาง ITO ให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น เพื่อจะได้เป็นประโยชน์ต่อการใช้งานได้อย่างเต็มที่
4. ทราบเทคนิคการวัดสมบัติทางแสงและไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

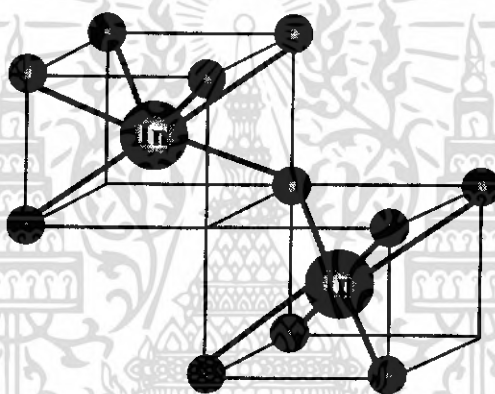
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 สมบัติของอินเดียมทินออกไซด์

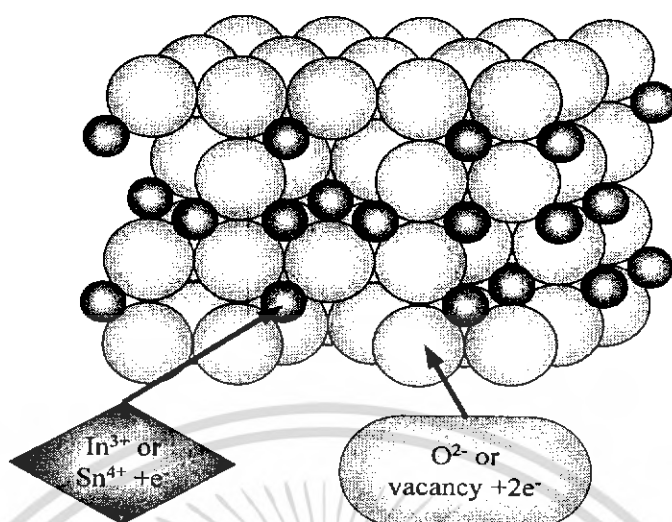
2.1.1 โครงสร้างของฟิล์มบาง ITO

อินเดียมทินออกไซด์ (Indium Tin Oxide; ITO) คือ สารอินเดียมออกไซด์ (In_2O_3) ที่ถูกเจือด้วยดีบุก (Sn) Sn จะเข้าไปแทนที่ In^{3+} โดยที่โครงสร้างส่วนใหญ่จะเป็น In_2O_3 แต่อะตอมบางตัวของ In ถูกแทนที่ด้วย Sn ซึ่งจะมีโครงสร้างผลึกแบบ cubic bixbyte ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างผลึกแบบ Cubic bixbyte ของ ITO

เมื่อดีบุกเข้าไปสร้างพันธะระหว่างออกซิเจนจะทำให้เกิดการเป็นทินออกไซด์แบบ SnO โดยที่ดีบุกจะมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ +2 หรือ SnO_2 ซึ่งดีบุกจะมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ +4 ค่าเวเลนซ์อิเล็กตรอนดังกล่าวนี้มีผลโดยตรงกับสภาพความนำไฟฟ้าของอินเดียมทินออกไซด์ โดยที่ SnO ซึ่งมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนต่ำกว่าคือเท่ากับ +2 จะทำให้ความหนาแน่นของพาหะลดลงเนื่องจากมีโฮลเกิดขึ้นซึ่งทำให้สภาพความนำไฟฟ้าลดลง และในทางกลับกันถ้าทินออกไซด์ของ SnO_2 ซึ่งมีเวเลนซ์เท่ากับ +4 ซึ่งทำหน้าที่เป็น สารเจือชนิดเอ็น (n-type) โดยที่ In^{3+} ถูกแทนที่ด้วย $\text{Sn}^{4+} + e^-$ ทำให้มีอิเล็กตรอนอิสระเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 2.2 ทำให้มีอิเล็กตรอนในแถบเวเลนซ์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีการเกิดช่องว่างของออกซิเจนซึ่งมีผลทำให้สภาพความนำไฟฟ้าดีขึ้นและมีสูตรเป็น $\text{In}_2\text{O}_3:\text{SnO}_2$

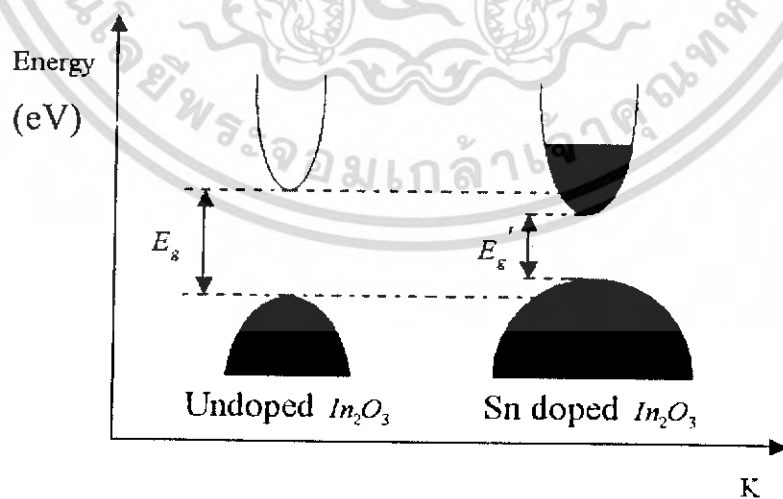


รูปที่ 2.2 แสดง โครงสร้างอะตอมของอินเดียมออกไซด์ (In_2O_3) ถูกเจือด้วยดีบุก (Sn)

2.1.2 สมบัติทางแสง

อินเดียมทินออกไซด์ มีแถบพลังงานต้องห้ามแบบตรง (direct band gap) อยู่ระหว่าง 3.5 - 4.3 eV มีจุดหลอมเหลวประมาณ 1900°C มีความหนาแน่น 7.14 g/cm^3 โดยที่มีความสามารถในการส่งผ่านแสงที่สูงเนื่องมาจากการที่เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีแถบพลังงานต้องห้ามที่กว้าง (Wide band gap) โดยที่ช่วงการดูดกลืนแสงจะอยู่ในช่วงแสงอัลตราไวโอเล็ต (Ultra violet)

โครงสร้างแถบพลังงานของอินเดียมทินออกไซด์ ให้มีลักษณะเป็นพาราโบลา ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดง โครงสร้างของแถบพลังงานที่มีลักษณะเป็นพาราโบลาของ In_2O_3

ที่ยังไม่ได้รับการเจือและผลกระทบของการเจือด้วย Sn

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปแถบความนำ (conduction band) คือเส้นโค้งที่อยู่ข้างบนส่วนแถบวาเลนซ์ (valance band) คือเส้นโค้งที่อยู่ด้านล่าง ในกรณีที่ไม่มีกรเจือ Sn ลงไประดับเฟอร์มิ (Fermi Level) จะอยู่บริเวณตรงกลางของช่องว่างแถบพลังงาน เมื่อได้รับการเจือด้วย Sn จะเกิดการฟอร์มตัวของสถานะของผู้ (Donor Level) ให้ซึ่งอยู่ต่ำกว่าแถบความนำและถ้ามีความหนาแน่นของการเจือเพิ่มขึ้นจะทำให้สถานะของผู้ให้อยู่ในระดับเดียวกันกับแถบความนำและเรียกความหนาแน่นของการเจือดังกล่าวว่าความหนาแน่นวิกฤติ (Critical density) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.3×10^{19} ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร คุณสมบัติของอิเล็กทรอนิกส์อธิบายได้ดังนี้ ภายในวัสดุเมื่อมีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนจากอะตอมของผู้ให้ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าของความหนาแน่นวิกฤติ จากตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่าค่าของความหนาแน่นของพาหะทั้งหมดของเทคนิคต่างๆมีค่ามากกว่าความหนาแน่นวิกฤติ ด้วยเหตุนี้ฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ ทั้งหมดถูกคาดหมายว่าเป็นสารกึ่งตัวนำแบบดีเจเนอเรต (Degenerate Semiconductor) ในธรรมชาติ ซึ่งการที่วัสดุจะกลายเป็นสารกึ่งตัวนำแบบดีเจเนอเรต ได้นั้นจะต้องมีแรงระหว่างประจุซึ่งทำให้แถบความนำเกิดการเลื่อนที่ลงต่ำกว่าเดิมส่วนในแถบวาเลนซ์จะมีการเลื่อนที่สูงกว่าเดิมทำให้แถบช่องว่างพลังงานแคบกว่าเดิมจาก E_g เป็น E_g' ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.3 โดยที่แถบช่องว่างพลังงานจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดย Burstein-Moss shift ซึ่งถูกทดแทนด้วยผลกระทบดังกล่าว

2.1.3 สมบัติทางไฟฟ้า

อินเดียมทินออกไซด์ มีความนำไฟฟ้า (Conductivity) สูงเนื่องมาจากการที่มีค่าความเข้มข้นของพาหะที่สูงมากกว่าค่าฮอลล์โมบิลิตี (Hall mobility) และพบว่าความเป็นผลึกของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ จะส่งผลทำให้มีการนำไฟฟ้าที่ดีขึ้นอีกด้วย โดยที่ในตารางที่ 2.1 จะแสดงให้เห็นถึงสมบัติทางแสงและทางไฟฟ้าของฟิล์มที่ได้จากการปลูกฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ด้วยเทคนิคต่างๆ ซึ่งจะเห็นว่าจะให้ผลต่างกัน

| Deposition Technique | Thickness [\AA] | Hall Mobility μH [$\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$] | Carriers N [cm^{-3}] | Resistivity ρ [Wcm] | Transmittance Tr [%] |
|----------------------|----------------------------|---|---------------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| r.f. Sputtering | 7000 | 35 | 6×10^{20} | 3×10^{-4} | 90 |
| Magnetron Sputtering | 800 | 26 | 6×10^{20} | 4×10^{-4} | 85 |
| d.c. Sputtering | 100 | 35 | 9×10^{20} | 2×10^{-4} | 85 |
| Reactive Evaporation | 25002 | 30 | 5×10^{20} | 4×10^{-4} | 91 |
| Ion Beam Sputtering | 600 | 26 | 2×10^{20} | 12×10^{-4} | - |
| Spray Pyrolysis | 3000 | 45 | 5×10^{20} | 3×10^{-4} | 85 |

ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติทางแสงและทางไฟฟ้าของฟิล์มที่ได้จากการปลูกฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ด้วยเทคนิคต่างๆ

2.2 หลักการเครื่องมือวิเคราะห์สมบัติเฉพาะของฟิล์มบาง

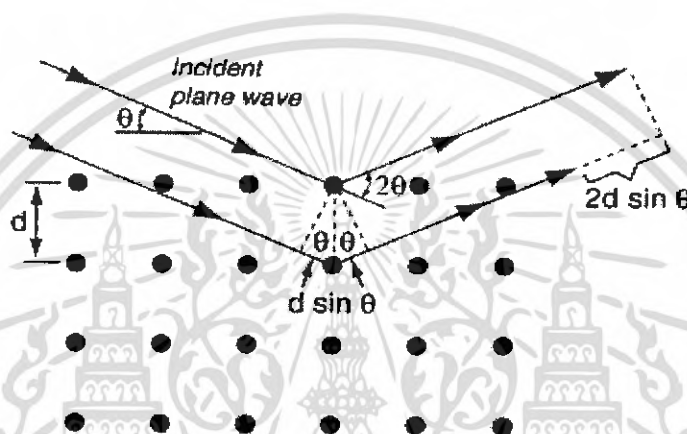
2.2.1 การศึกษาโครงสร้างผลึกจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

รังสีเอ็กซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานสูงมีค่าความยาวคลื่นระหว่าง 0.5-2.5 อังสตรอม รังสีเอ็กซ์เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนที่ถูกเร่งในสนามไฟฟ้าให้มีพลังงานสูงแล้ววิ่งชนเป้าซึ่งทำด้วยโลหะหนัก ผลของการชนก่อให้เกิดรังสีเอ็กซ์ 2 ชนิดคือ รังสีเอ็กซ์ต่อเนื่อง (Continuous X-Ray) กับรังสีเอ็กซ์เฉพาะตัว (Characteristic X-Ray) รังสีเอ็กซ์จะเกิดการเลี้ยวเบน (Diffraction) เมื่อผ่านช่องว่างระหว่างอะตอมในผลึก เมื่อเคลื่อนผ่านโครงสร้างผลึกออกมาก็จะเกิดการแทรกสอด (Interference) ทั้งแบบเสริมและหักล้างกัน วิลเลียม เฮนรี แบรกก์ (William Henry Bragg) นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษ ได้ตั้งกฎการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ในโครงสร้างผลึกไว้ว่า รังสีเอ็กซ์จะแทรกสอดกันแบบเสริมมากที่สุดเมื่อมีการกระเจิงออกจากแต่ละระนาบด้วยความแตกต่างของทางเดินคลื่น (Path different) เป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ เรียกกฎนี้ว่า กฎของแบรกก์ (Bragg's law) ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

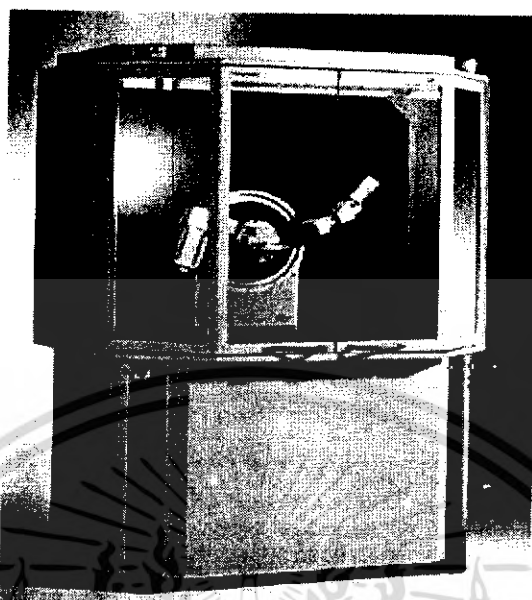
$$N\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta \quad (2.1)$$

- เมื่อ N คือ ลำดับของการเลี้ยวเบน มีค่าตั้งแต่ 1,2,3,...
 λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์
 d_{hkl} คือ ระยะห่างระหว่างระนาบ
 θ คือ มุมสะท้อนจากระนาบแบรกก์ของรังสีเอ็กซ์ซึ่งจะเท่ากับมุมตกกระทบ



รูปที่ 2.4 แสดงการตกกระทบและการสะท้อนของรังสีเอ็กซ์ตามกฎของแบรกก์

ระนาบต่างๆของผลึกไม่ได้ก่อให้เกิดการเลี้ยวเบนเสมอไป ระนาบใดที่รังสีเอ็กซ์ตกกระทบแล้วกระเจิงออกมาอย่างสอดคล้องกับกฎของแบรกก์เรียกว่า ระนาบแบรกก์ (Bragg plane) แสดงดังรูปที่ 2.4 และมุมที่รังสีสะท้อนทำกับระนาบที่ขนานกับรังสีตกกระทบเรียกว่า มุมเลี้ยวเบน (Diffraction angle) ซึ่งมีค่าเป็นสองเท่าของมุมสะท้อน ความเข้ม (Intensity) ของรังสีเอ็กซ์ที่เลี้ยวเบนและมุมเลี้ยวเบนต่างๆ จะถูกตรวจหาด้วย X-Ray diffractometer ดังแสดงดังรูปที่ 2.5 และรูปที่ 2.6 นำค่าทั้งสองที่บันทึกไว้ไปวิเคราะห์โครงสร้างผลึก



รูปที่ 2.5 แสดงเครื่อง X-ray diffractometer

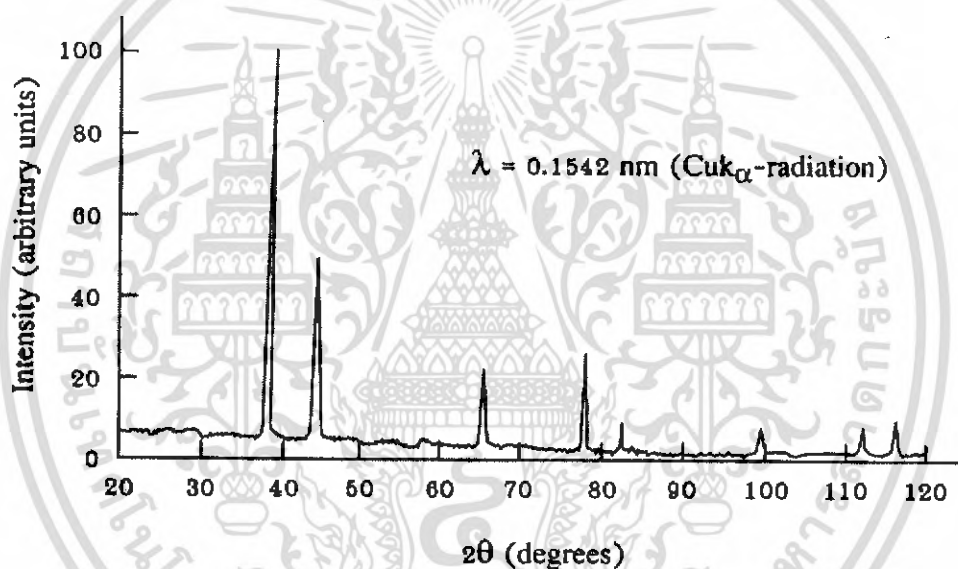


รูปที่ 2.6 แสดงตัวตรวจวัดของ X-ray diffractometer

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มและมุมเลี้ยวเบนที่ได้เรียกว่า รูปแบบการเลี้ยวเบน (Diffraction pattern) แสดงตัวอย่างดังในรูปที่ 2.7 ซึ่งจะมีลักษณะเฉพาะตัวสำหรับธาตุหรือสารประกอบต่างชนิดกัน จากการเลี้ยวเบนแล้วแทรกสอดกันแบบเสริม ความเข้มของรังสีเอ็กซ์ก็จะมีค่ามากซึ่งจะสังเกตได้จากยอด (Peak) ในรูปแบบการเลี้ยวเบน และยอดเหล่านี้จะปรากฏที่มุมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลี้ยวเบนเคิมเสมอสำหรับธาตุหรือสารประกอบชนิดเดียวกัน การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกทำได้โดยการเปรียบเทียบรูปแบบการเลี้ยวเบนกับฐานข้อมูลของเครื่อง XRD ซึ่งเป็นฐานข้อมูลเกี่ยวกับรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของวัสดุประกอบด้วย

1. ชื่อธาตุหรือสารประกอบและสูตรโมเลกุล
2. ระบบผลึกและค่าคงที่โครงผลึก
3. สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี
4. d_{hkl} และ h, k, l ของระนาบที่ทำให้เกิดการเลี้ยวเบน



รูปที่ 2.7 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

การศึกษาการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จะสามารถคำนวณหาค่าตัวแปรซึ่งแสดงถึงสมบัติความเป็นผลึกของฟิล์มบางได้ดังนี้

ค่าคงที่แลตทิซ (Lattice constant) จากกฎการเลี้ยวเบนของแบรกก์แอมพลิจูดของการเลี้ยวเบนของคลื่นคือ F เวกเตอร์คลื่นของระนาบคลื่นที่ตกกระทบคือ \vec{k} เวกเตอร์คลื่นของคลื่นสะท้อนคือ \vec{k}' ดังนั้น

$$F = \int n_G e^{i(\vec{G} + \vec{k}' - \vec{k}) \cdot \vec{r}} \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ n_G คือ แอมพลิจูดของการเลี้ยวเบน
 G คือ แลตทิซส่วนกลับ (Reciprocal lattice)

สามารถหาค่าแลตทิซส่วนกลับได้จากสมการ

$$\vec{G} = \vec{k}' - \vec{k} \quad (2.3)$$

เมื่อ

$$|\vec{k}'| = |\vec{k}| = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.4)$$

จะได้

$$|G|^2 = \vec{G} \cdot \vec{G} = (\vec{k}' - \vec{k}) \cdot (\vec{k}' - \vec{k}) \quad (2.5)$$

$$|G|^2 = 2|k|^2 - 2\vec{k}' \cdot \vec{k} \quad (2.6)$$

$$|G|^2 = 4\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 (1 - \cos 2\theta) \quad (2.7)$$

เมื่อ 2θ คือมุมระหว่าง \vec{k} และ \vec{k}' แก้สมการหาค่า λ จะได้ว่า

$$\lambda = \frac{4\pi}{|G|} \sin \theta \quad (2.8)$$

และจากสมการการหาค่าของ $|G|^2$

$$|G|^2 = \left(\frac{2\pi}{a}\right)^2 (h^2 + k^2 + l^2) \quad (2.9)$$

จะได้สมการของค่าคงที่แลตทิซเป็น

$$a = \frac{\lambda_x}{2 \sin \theta} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2} \quad (2.10)$$

เมื่อ a คือ ค่าคงที่แลตทิซ

λ_x คือ ค่าความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

θ คือ มุมของการเลี้ยวเบน

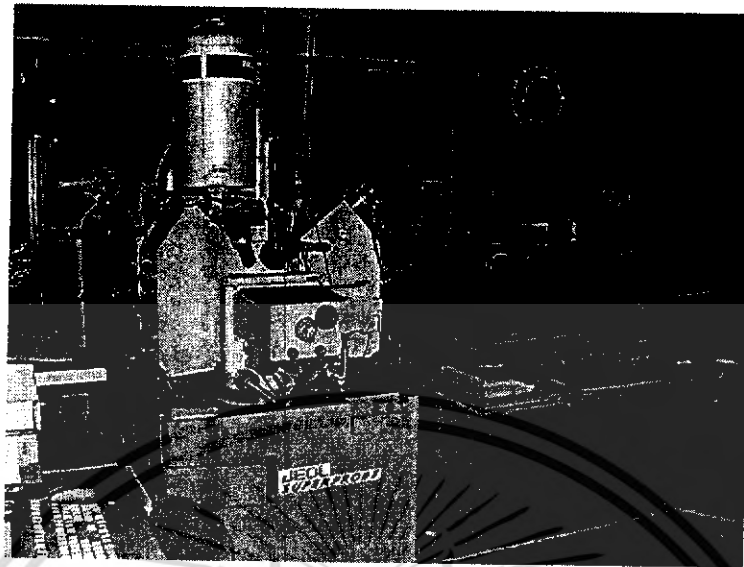
การวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จะสามารถหาค่าตัวแปรได้อีกอย่างหนึ่งคือ การหาขนาดของเม็ดผลึกของสารกึ่งตัวนำ โดยจะขึ้นกับค่าครึ่งหนึ่งของความกว้างสูงสุดของยอดการเลี้ยวเบน (Full width at half-maximum of the diffraction peak; FWHM) และมุมของการเลี้ยวเบน ซึ่งถ้าค่าครึ่งหนึ่งของความกว้างสูงสุดของยอดการเลี้ยวเบนมีค่ามากแสดงว่าเม็ดผลึกของสารกึ่งตัวนำมีขนาดเล็ก ในทางตรงกันข้ามถ้าค่าครึ่งหนึ่งของความกว้างสูงสุดของยอดการเลี้ยวเบนมีค่าน้อยแสดงว่าเม็ดผลึกของสารกึ่งตัวนำมีขนาดใหญ่ จากสมการ Sherrer's equation สามารถหาค่าขนาดของเม็ดผลึกได้ดังนี้

$$D = \frac{K \lambda}{\beta_{2\theta} \cos \theta} \quad (2.11)$$

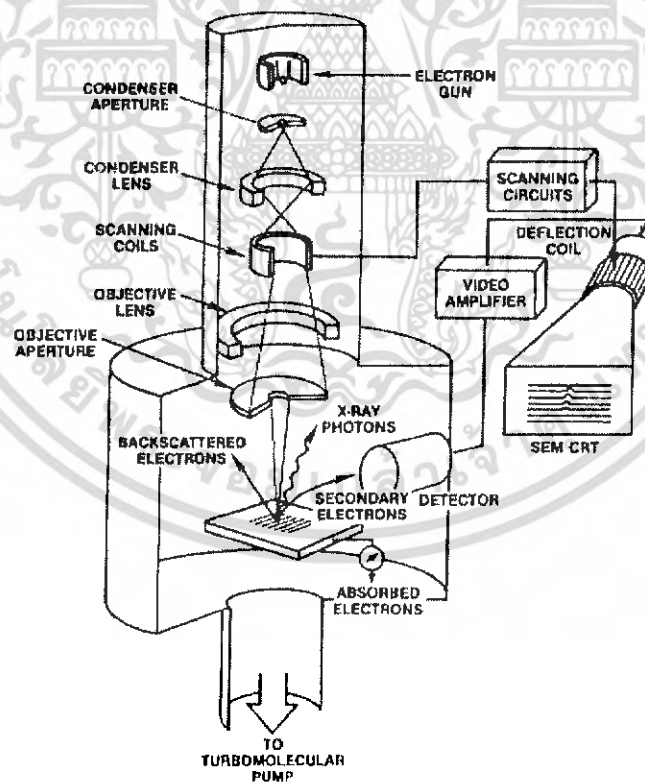
- เมื่อ
- D คือ ขนาดของเม็ดผลึก
 - K คือ ค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับขนาดและรูปร่างของเม็ดผลึก ($0.89 \leq K \leq 0.94$)
 - θ คือ มุมของการเลี้ยวเบน
 - $\beta_{2\theta}$ คือ ค่าครึ่งหนึ่งของความกว้างสูงสุดของยอดการเลี้ยวเบน (Full width at half-Maximum of the diffraction peak : FWHM)
 - λ_x คือ ค่าความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์

2.2.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) ใช้ในการพิจารณาลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง โดยบังคับลำอิเล็กตรอนให้กวาดไปบนพื้นผิวของตัวอย่างแล้วแสดงภาพไปบนจอ cathode ray tube (CRT) ซึ่งภาพที่ได้จะมีลักษณะขาว-ดำ มีกำลังขยาย 10 - 300,000 เท่า ขึ้นอยู่กับชนิดตัวอย่าง



รูปที่ 2.8 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด



รูปที่ 2.9 ภาพแสดงหลักการทำงานของเครื่อง SEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบหลักและการทำงานโดยสังเขปของเครื่อง SEM แสดงไว้ในภาพที่ 2.9 ส่วนบนสุดจะเป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (electron source) หรือ “ปืนอิเล็กตรอน (electron gun)” ทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอน ซึ่งนับว่าเป็นหัวใจของ SEM อิเล็กตรอนจากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งให้เคลื่อนที่ลงมาตามคอลัมน์ซึ่งภายในมีสภาพเป็นสุญญากาศด้วยความต่างศักย์ช่วง 0 – 30 kV โดยทิศทางการเคลื่อนที่จะควบคุมด้วยเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic lens) 2 ชุดหรือมากกว่า และปริมาณของอิเล็กตรอนจะควบคุมโดยแอฟเพอร์เจอร์ (aperture) หรือช่องเปิดซึ่งมีขนาดต่างๆ กันตามลักษณะการใช้งาน

เลนส์คอนเดนเซอร์อันแรก (first condenser lens) อาจนับได้ว่าเป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญสูงสุดต่อการควบคุมทัศนศาสตร์ของอิเล็กตรอน (electron optics) เนื่องจากเป็นเลนส์ที่ทำหน้าที่ “บีบ” ลำอิเล็กตรอนที่ส่งมาจากแหล่งกำเนิดให้มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเล็กลง (demagnification) ส่วนเลนส์วัตถุ (objective lens) ซึ่งเป็นเลนส์อันสุดท้ายนั้นทำหน้าที่โฟกัสลำอิเล็กตรอนไปตกกระทบกับผิวของวัตถุเป้าหมายโดยมีคอยล์กวาดภาพ (scan coil) ทำหน้าที่กวาดลำอิเล็กตรอนบนผิววัตถุในระนาบ $x - y$ คล้ายกับการกวาดภาพบนจอโทรทัศน์ สิ่งสำคัญของการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด คือการเลือกสัญญาณจากอันตรกิริยาของอิเล็กตรอนกับอะตอมของตัวอย่างมาสร้างเป็นภาพ ความต่างจากผลของอันตรกิริยาต่อชนิดของตัวอย่างขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของธาตุในเนื้อตัวอย่างและกระบวนการวัดสัญญาณด้วยตัวตรวจจับสัญญาณแบบต่างๆ

สัญญาณอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron : SE) มีความสำคัญมากในการศึกษาลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เนื่องจากสัญญาณอิเล็กตรอนทุติยภูมิที่หลุดออกมาส่วนมากจะมาจากบริเวณผิวของตัวอย่าง สัญญาณอิเล็กตรอนทุติยภูมิเกิดจากอิเล็กตรอนปฐมภูมิ (Primary electron : PE) ถ่ายโอนพลังงานให้แก่อะตอมตัวอย่าง บริเวณชั้นอิเล็กตรอนหรืออิเล็กตรอนของตัวอย่างได้รับพลังงานสูงเกินกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอะตอม อิเล็กตรอนก็จะหลุดออกจากอะตอมกลายเป็นอิเล็กตรอนทุติยภูมิ อีกทั้งสัญญาณอิเล็กตรอนทุติยภูมิมียังมีพลังงานต่ำ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนปฐมภูมิลงไปกระตุ้นอะตอมตัวอย่างในบริเวณลึกจากผิวตัวอย่าง โอกาสที่สัญญาณอิเล็กตรอนทุติยภูมิจะหลุดออกมาจากชั้นความลึกนั้นมีน้อยเพราะสัญญาณอิเล็กตรอนทุติยภูมิจะถูกดูดกลืนโดยอะตอมบนผิวก่อนที่จะเล็ดลอดออกมา

สัญญาณอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกดึงเข้าสู่ตัวตรวจจับสัญญาณ ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณอิเล็กตรอนทุติยภูมิเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ สัญญาณอิเล็กตรอนทุติยภูมิจะถูกดึงโดยสนามไฟฟ้าจากตัวตรวจจับสัญญาณ สัญญาณอิเล็กตรอนทุติยภูมิซึ่งมีพลังงานต่ำจะเคลื่อนที่อยู่ในบริเวณผิวของตัวอย่างหลังจากสัญญาณอิเล็กตรอนทุติยภูมิถูกดึงโดยสนามไฟฟ้าที่ถูกไบอัสไว้จะ

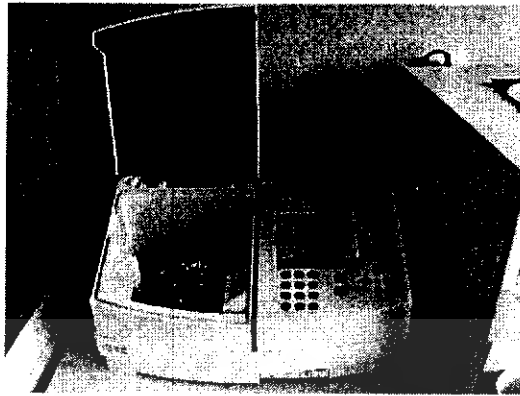
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนเข้าชน scintillator ทำให้เกิดสัญญาณแสงและถูกส่งไปตาม light guide เพื่อเปลี่ยนจากสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วจึงทำการขยายสัญญาณเพื่อส่งต่อไประบบสร้างภาพบนจอ CRT กล่าวคือ เมื่ออิเล็กตรอนถูกบีบเป็นลำอิเล็กตรอนและโฟกัสด้วยเลนส์แม่เหล็กบนผิวของตัวอย่าง ลำอิเล็กตรอนจะถูกควบคุมโดยชุด scanning coils ซึ่งเป็นขดลวดที่สร้างสนามแม่เหล็กควบคุมการกวาดของอิเล็กตรอนไปบนผิวตัวอย่าง ซึ่งการกวาดบนผิวของตัวอย่างนี้จะทำให้ได้สัญญาณต่างๆ สัญญาณควบคุมการกวาดบนพื้นผิวนี้จะทำงานเข้าจังหวะกับชุดควบคุมการสแกนของจอภาพ CRT จุดต่อจุดและเส้นต่อเส้น ในขณะที่เดียวกันสัญญาณอิเล็กตรอนจะถูกนำไปควบคุมปริมาณความมืดสว่างบนจอ CRT เกิดเป็นภาพขึ้นตามระนาบของการกวาดของลำอิเล็กตรอนในกล้องจุลทรรศน์แบบ SEM

ชุดของ scanning coils นี้เป็นตัวควบคุมพื้นที่ของการกวาดบนตัวอย่างของลำอิเล็กตรอน และนอกจากควบคุมพื้นที่ในการกวาดแล้วยังควบคุมความเร็วในการกวาดอีกด้วย ซึ่งลักษณะความเร็วในการกวาดนี้จะทำให้ภาพที่ออกมามีความละเอียดแตกต่างกัน ถ้าใช้ความเร็วในการกวาดสูงจะได้ภาพที่มีความละเอียดต่ำกว่าการใช้ความเร็วต่ำในการกวาด

2.2.3 UV-VIS Spectrophotometer

UV-VIS Spectrophotometer เป็นเทคนิคการวิเคราะห์สาร โดยใช้หลักการดูดกลืนแสงที่อยู่ในช่วงอัลตราไวโอเล็ตและช่วงที่ตามองเห็น นั่นก็คือช่วงความยาวคลื่นประมาณ 190-1000 นาโนเมตร (nm) ของสารเคมีต่างๆ ได้แก่สารอินทรีย์ (organic compound) สารประกอบเชิงซ้อน (complex compound) หรือสารอนินทรีย์ (inorganic compound) โดยนำสารตัวอย่างวางที่ตำแหน่งที่วางสารตัวอย่าง แล้ววางในบริเวณใกล้แหล่งกำเนิดแสง สารตัวอย่างจะดูดกลืนรังสี หรือแสงบางส่วนไว้ แสงที่ไม่ดูดกลืนจะผ่านออกมายังตัววัดแสงที่เป็น photomultiplier tube (PMT) เครื่องวัดแสงจะทำการวัดปริมาณแสงที่ออกมา โดยการหักล้างกับปริมาณของแสงก่อนการดูดกลืน จากนั้นจะทำการประมวลผลเป็นเส้นโค้ง หรือสเปกตรัม ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) และความยาวคลื่น รูปถ่ายเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer แสดงดังรูป 2.10

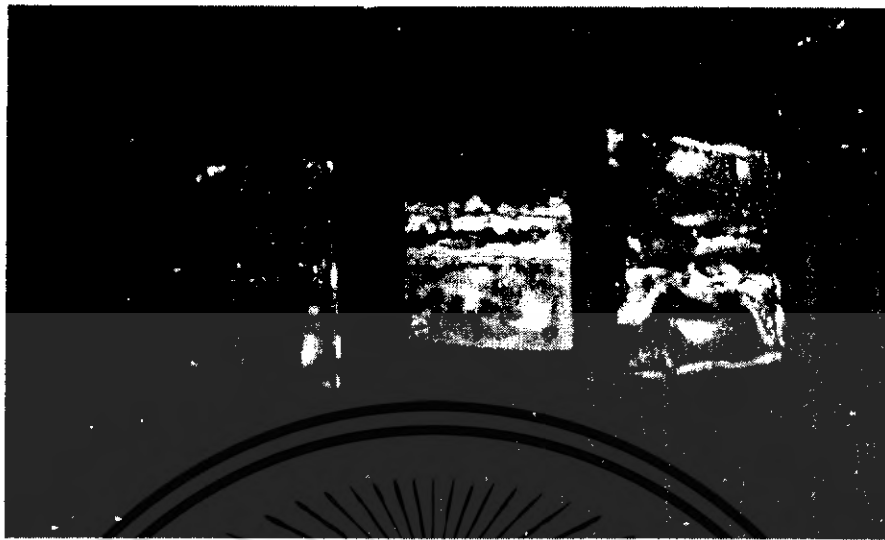


รูปที่ 2.10 สเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบ UV-VIS

2.2.4 การวัดความต้านทานจำเพาะโดยวิธี 2 ขั้ว (2 point probes)

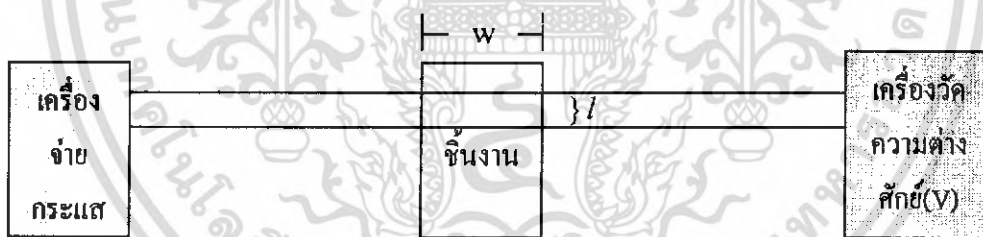
เป็นวิธีที่ใช้วัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะวิธีหนึ่ง ซึ่งแตกต่างจากวิธีอื่นตรงที่ลักษณะของขั้วไฟฟ้าที่วัดศักย์ไฟฟ้าจะวัดบนสารตัวอย่างทั้งสอง ข้อจำกัดของการวัดด้วยวิธีนี้คือ ต้องมีรูปทรงเรขาคณิตแน่นอน โดยให้กระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปในสารตัวอย่างให้น้อยที่สุด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความร้อนภายในสารตัวอย่าง เพราะค่าความต่างศักย์ที่วัดได้อาจมีค่าคลาดเคลื่อนได้ ในการวัดต้องใช้โวลต์มิเตอร์ที่มีอิมพีแดนซ์สูง และจุดที่ต้องการวัดศักย์ไฟฟ้าควรอยู่ห่างจากจุดที่ปล่อยกระแสเข้าและกระแสออกพอสมควร เพื่อป้องกันสารเจือเข้าไปทำการรวมตัวระหว่างจุดที่กำลังจะวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า หากมีสารเจือเข้ามารวมตัวที่บริเวณนี้จะมีผลทำให้เกิดการรวมตัวกับพาหะส่วนน้อย (minority carriers) บริเวณนั้น ทำให้ค่าความต้านทานจำเพาะที่วัดได้สูงเกินความเป็นจริง นอกจากนี้ควรคำนึงถึงความสม่ำเสมอของเส้นศักย์ไฟฟ้า (equi-potential lines) โดยการวัดที่บริเวณตรงจุดที่คิดว่าเส้นต่างๆ ของศักย์นั้นสม่ำเสมอ (ตรงกลางของสารตัวอย่าง) ข้อคำนึงถึงอีกประการหนึ่งคือ โครงสร้างทางผลึกว่ามีโครงสร้างชนิดใดเป็นรูปลูกบาศก์หรือไม่ ถ้าไม่ใช่จะต้องทราบทิศทางของการวัดที่กำลังวัดอยู่ในทิศทางหรือระนาบใดของผลึก

แต่มีข้อเสียคือจะทำลายชิ้นงาน เนื่องจากต้องติดเส้นลวดทองแดงเข้ากับชิ้นงานด้วยกาวเงิน (silver paint) ดังรูป 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงภาพชิ้นงานที่มีลวดทองแดงติดอยู่ที่ผิวด้วยกาวเงิน

ค่าความต้านทานจำเพาะโดยทั่วไปนั้นจะคำนวณได้จากกระแสที่ให้เข้าไปในสารตัวอย่าง และทำการวัดศักย์ไฟฟ้าระหว่างเส้นลวดทั้งสองดังรูป



รูปที่ 2.12 แสดงแผนภาพจำลองการวัดความต้านทานจำเพาะ โดยวิธี 2 ขั้ว

สำหรับฟิล์มบางที่มีความต้านทานสูงไม่สามารถวัด Hall Effect ได้จะวัดโดยใช้ two probes (สองขั้ว) ระบบการวัดแสดงดังภาพที่ 2.12

จาก
$$R = \frac{V}{I} = \rho \frac{l}{A} = \rho \frac{l}{wd} \tag{2.12}$$

ถ้าไม่ทราบความหนา d จะต้องคำนวณหา R_s

เมื่อนิยาม

$$R_s = \frac{\rho}{d} \quad (2.13)$$

แล้ว

$$R = \left(\frac{\rho}{d}\right)\left(\frac{l}{w}\right) \quad (2.14)$$

$$R = R_s \left(\frac{l}{w}\right) \quad (2.15)$$

ดังนั้นสูตรการคำนวณค่าความต้านทานจำเพาะคือ

$$R_s = R \left(\frac{w}{l}\right) \quad (2.16)$$

เมื่อ R_s คือ ค่าความต้านทานจำเพาะ

R คือ ค่าความต้านทานหาได้จากค่าความชันที่ได้จากกราฟระหว่างความต่างศักย์ที่วัดได้กับกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไป

w คือ ความกว้างของชิ้นงาน

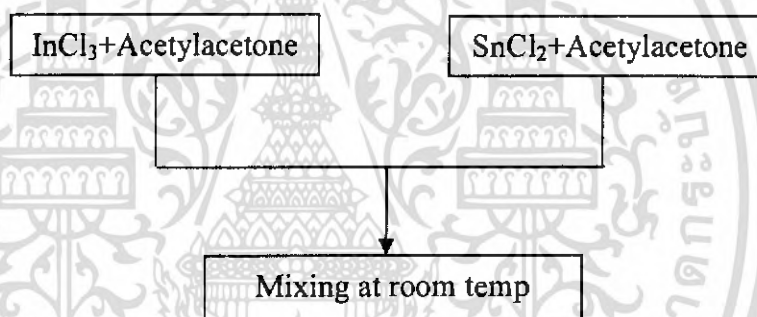
l คือ ความกว้างระหว่างเส้นลวด

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย

การเตรียมสารละลายเริ่มที่นำ InCl_3 (98% ,S.M. Chemical) มาละลายในอะซิโตน (Acetylacetone) ให้ความร้อนประมาณ 80°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมงเพื่อให้ทำปฏิกิริยาและ SnCl_2 (98.6% ,Chemical Express) มาละลายในอะซิโตน ให้ความร้อนประมาณ 80°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมงเพื่อให้ทำปฏิกิริยาเช่นเดียวกัน แล้วนำสารละลายที่ได้มาผสมกันที่อุณหภูมิห้อง นำสารละลายที่ผสมได้ไปใช้ในการจุ่มเคลือบและ หมุนเคลือบ (แต่วิธีหมุนเคลือบอัตราส่วนของสารละลาย (อะซิโตน) จะเปลี่ยนไปเพื่อปรับสภาพความหนืดของสารละลาย)



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย

3.2 ขั้นตอนการเตรียมแผ่นแก้วฐานรอง

1. เรานำแผ่นแก้วโบโรซิลิเกต (Bolocilicate) มาล้างด้วยน้ำยาล้างจาน หลังจากนั้นแช่ไว้ 15 นาที
2. นำแผ่นแก้วที่แช่ในน้ำยาล้างจานมาล้างด้วยน้ำ
3. นำแผ่นแก้วมาแช่ในกรด ซึ่งมีส่วนผสมคือ HCl 0.5 โมลาร์ และ กรดไนตริก 0.5 โมลาร์ ในอัตราส่วน 1:1 แช่ไว้ 15 นาที
4. ล้างแผ่นแก้วด้วยน้ำไร้ประจุ (น้ำ DI) 3-4 ครั้ง แล้วแช่ไว้ 15 นาที
5. นำแผ่นแก้วมาใส่ฟองอากาศด้วยการนำมาใส่อะซิโตน 2-3 ครั้ง
6. นำแผ่นแก้วแช่ไว้ในอะซิโตน เพื่อให้สารละลายติดผิวแผ่นแก้วได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เมื่อต้องการนำแผ่นแก้วมาใช้ให้นำมาเป่าด้วยก๊าซไนโตรเจนให้แห้งหรืออบให้แห้ง หรือเช็ดด้วยผ้าเช็ดแผ่นแก้ว

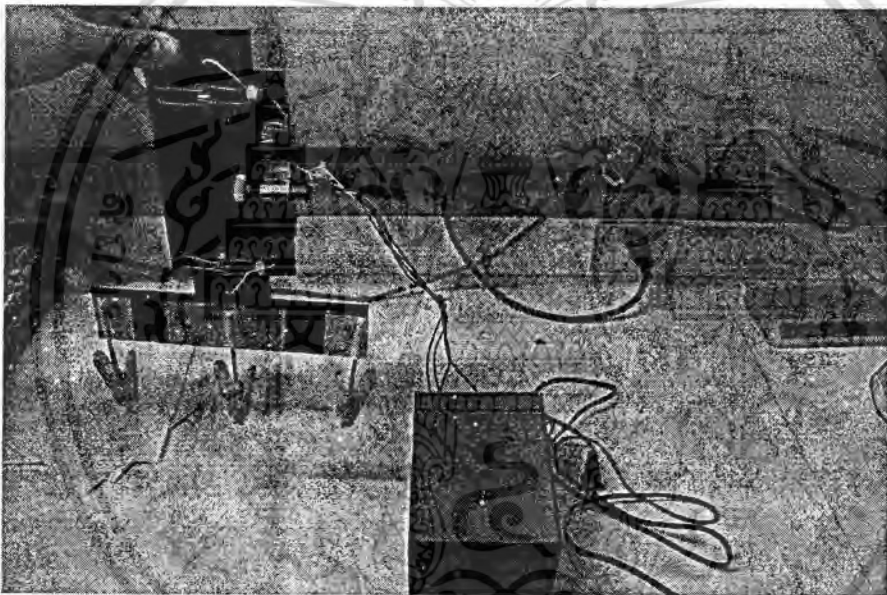
3.3 การสร้างเครื่องจุ่มเคลือบและเครื่องหมุนเคลือบ

3.3.1 เครื่องจุ่มเคลือบ

เครื่องจุ่มเคลือบมีหลักการสำคัญอยู่ 2 ประการคือ

1. ความเร็วในการดึงแผ่นแก้วขึ้นจากสารละลาย
2. สวิตช์หยุดเป็นจับ

ซึ่งตัวเครื่องแสดงดังรูป



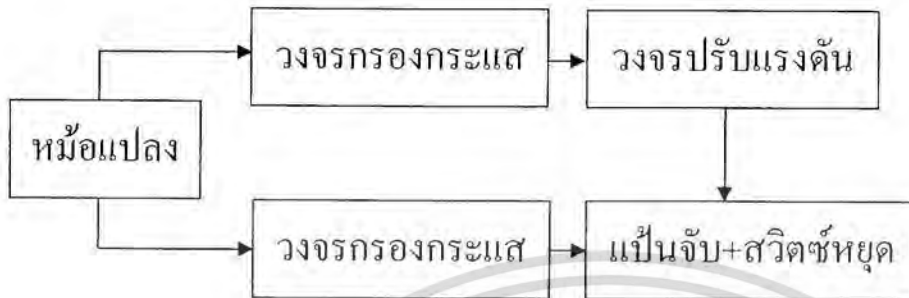
รูปที่ 3.2 เครื่องจุ่มเคลือบ

ตัวเครื่องจะประกอบไปด้วย

1. สเตปมอเตอร์ 1 ตัว
2. สวิตช์หยุดเป็นจับ 2 ตัว
3. หม้อแปลง 1 ตัว
4. วงจรกรองกระแส (rectifier) 2 ชุด
5. วงจรปรับแรงดัน 1 ชุด
6. แป้นจับ 1 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำมาต่อเป็นวงจรดังรูป



รูปที่ 3.3 วงจรของเครื่องจุ่มเคลือบ

วงจรจะทำงานได้เมื่อมีกระแสไหลจากหม้อแปลงมายังวงจรกรองกระแส แล้ววงจรกรองกระแสจะลดทอนความต่างศักย์ลงเหลือ 12 โวลต์ จากนั้นกระแสจะไหลไปยังวงจรปรับแรงดันเพื่อปรับความเร็วของมอเตอร์ เมื่อปุ่มจับไปแตะถูกสวิตช์หยุดปุ่มจับอีกวงจรหนึ่งจะทำงานคือ ดันเป็นจับลง

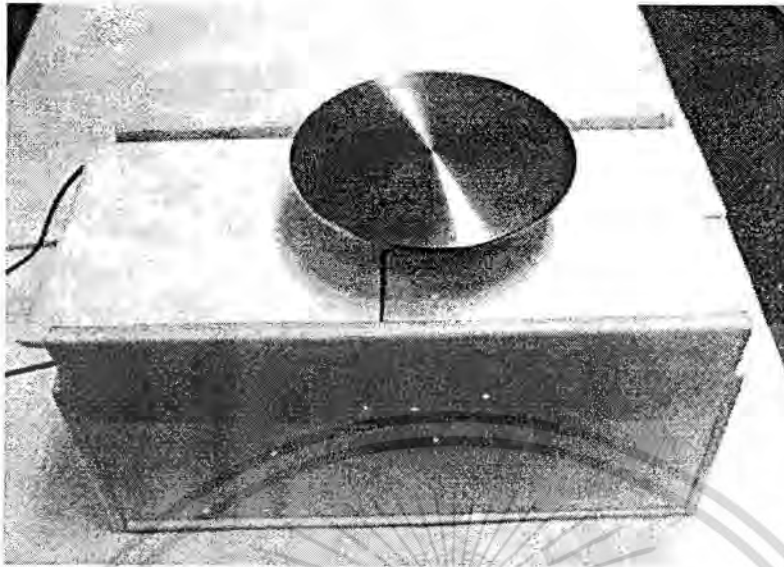
3.3.2 เครื่องหมุนเคลือบ

เครื่องหมุนเคลือบใช้ชิพ โตชิบา เบอร์ TA7259P ดังรูป 3.4 ในการขับมอเตอร์



รูปที่ 3.4 ชิพโตชิบาเบอร์ TA7259P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 เครื่องหมุนเคลือบ

หลักการทำงานของเครื่องหมุนเคลือบ คือเมื่อป้อนกระแสค่าหนึ่งเครื่องหมุนเคลือบจะมีความเร็วรอบค่าหนึ่ง ดังนั้นการที่จะใช้ความเร็วรอบมากน้อยนั้นจึงขึ้นอยู่กับความหนืดของสาร

3.4 ขบวนการปลูกฟิล์มบาง ITO ด้วยวิธีจุ่มเคลือบ

3.4.1 ระบบการทดลอง

วิธีการจุ่มเคลือบเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการปลูกฟิล์มบางซึ่งทำได้โดยการนำแผ่นแก้วโบโรซิลิเกต (Bolocilicate) มาจุ่มในสารละลายแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 170°C เป็นเวลา 3 นาที ทำซ้ำหลายๆ ครั้งเพื่อให้ได้ความหนาตามต้องการ ซึ่งสารละลายจะไปเคลือบบริเวณผิวหน้าของแผ่นแก้ว ระบบวิธีการจุ่มเคลือบจะประกอบไปด้วยบีกเกอร์ใส่สารละลาย และชุดเลื่อนแผ่นแก้ว เมื่อทำการจุ่มเคลือบหลายๆ ครั้งแล้ว นำแผ่นแก้ว ไปแอนนัลที่อุณหภูมิประมาณ 700°C เพื่อให้ได้ฟิล์มบาง ITO ที่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ขบวนการปลูกฟิล์มบาง ITO ด้วยวิธีหมุนเคลือบ

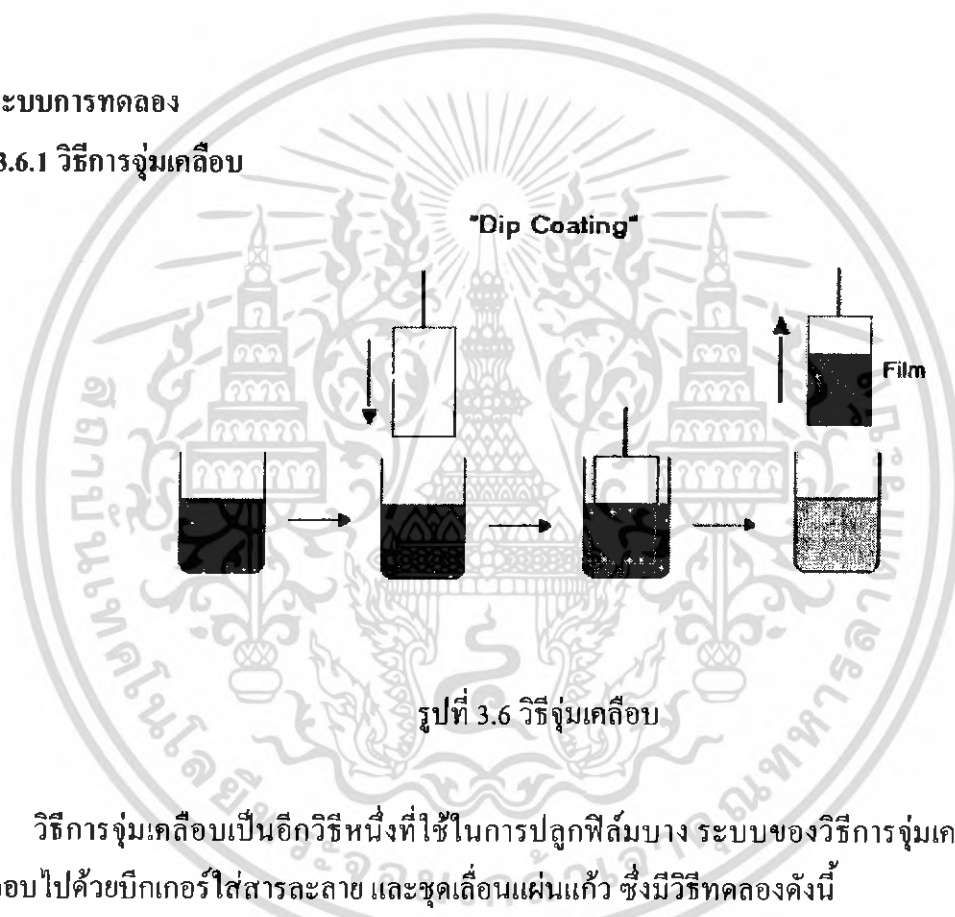
วิธีหมุนเคลือบเป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมนำมาทำฟิล์มบาง

3.5.1 ระบบการทดลอง

วิธีหมุนเคลือบทำได้โดยหยดสารละลายลงบนกระจกที่อยู่บนแป้นหมุนของเครื่องหมุน หลังจากนั้นหมุนแป้นหมุนด้วยความเร็วรอบเป็นลำดับขั้น เช่นรูปที่ 3.8 เมื่อหมุนแล้วสารละลายจะไปเคลือบผิวหน้าของกระจก จากนั้นนำไปอบที่ละชั้น จนกระทั่งได้ความหนาตามที่ต้องการจึงนำไปแอนนัลจะได้ฟิล์มบาง ITO

3.6 ระบบการทดลอง

3.6.1 วิธีการจุ่มเคลือบ



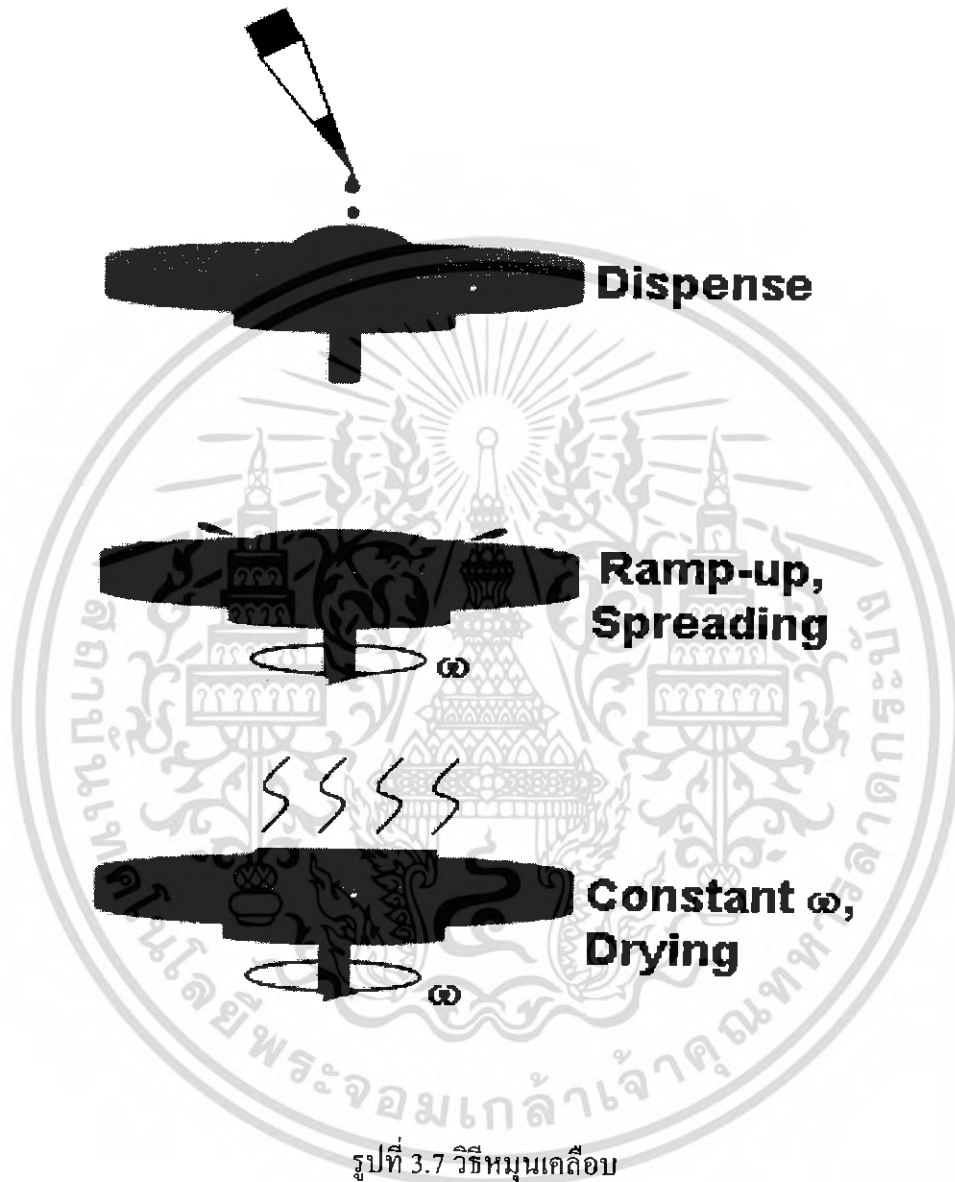
รูปที่ 3.6 วิธีจุ่มเคลือบ

วิธีการจุ่มเคลือบเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการปลูกฟิล์มบาง ระบบของวิธีการจุ่มเคลือบจะประกอบไปด้วยบีกเกอร์ใส่สารละลาย และชุดเคลื่อนแผ่นแก้ว ซึ่งมีวิธีทดลองดังนี้

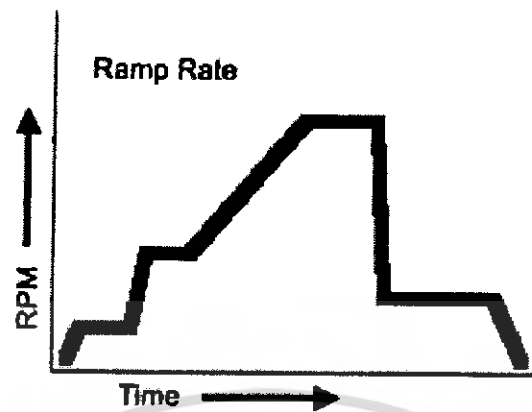
1. ล้างแผ่นแก้ว โบโรซิลิเกต (Bolocilicate) ตามกระบวนการล้าง
2. นำแผ่นแก้วมาจุ่มในสารละลาย ซึ่งสารละลายจะไปเคลือบบริเวณผิวหน้าของแผ่นแก้ว
3. นำแผ่นแก้วไปอบที่อุณหภูมิ 170°C เป็นเวลา 3 นาที
4. ทำซ้ำข้อ 2 และข้อ 3 หลายๆ ครั้งเพื่อให้ได้จำนวนชั้นของฟิล์มบางที่ต้องการ
5. เมื่อทำการจุ่มเคลือบหลายๆ ครั้งแล้ว นำแผ่นแก้วไปแอนนัลที่อุณหภูมิประมาณ 700°C เป็นเวลา 3 นาทีเพื่อให้ได้ฟิล์มบาง ITO ที่สมบูรณ์
6. นำแผ่นแก้วที่แอนนัลแล้วมาตรวจสอบสมบัติฟิล์มบาง ITO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2 วิธีการหมุนเคลือบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างลำดับขั้นความเร็วรอบของวิธีหมุนเคลือบ

1. ล้างแผ่นแก้วโบโรซิลิเกต (Bolocilicate) ตามกระบวนการล้าง
2. นำแผ่นแก้วมาติดบนเป็นหมุน
3. หยดสารละลาย 1 หยดลงบนกระจก แล้วปิดฝา
4. ป้อนความต่างศักย์จากแหล่งจ่ายแรงดันเข้าเครื่องหมุนเคลือบจากสารละลายที่เตรียมไว้ มีลักษณะเหลวมกๆ ในการทดลองจึงเลือกที่จะใช้การป้อนศักย์ไฟฟ้า 3 โวลต์เป็นเวลา 10 วินาที 3.5 โวลต์เป็นเวลา 10 วินาทีและ 4 โวลต์เป็นเวลา 5 วินาทีตามลำดับ จากนั้นลดศักย์ไฟฟ้าเป็น 0 โวลต์รองจนเป็นหมุนหยุด
 5. ทำตามลำดับความเร็วที่เรากำหนด
 6. เมื่อหมุนเสร็จ 1 รอบนำกระจกไปอบที่อุณหภูมิ 170 °C เป็นเวลา 3 นาที
 7. นำกระจกที่อบแล้วมาทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 3 หลายๆ ครั้งเพื่อให้ได้จำนวนชั้นของฟิล์มบางที่ต้องการ
 8. เมื่อทำการหมุนเคลือบหลายๆ ครั้งแล้ว นำแผ่นแก้วไปแอนนیلที่อุณหภูมิประมาณ 500 °C เป็นเวลา 3 นาที หรือแอนนิลด้วยเตาเผาแบบลำดับขั้นที่อุณหภูมิ 600 °C เพื่อให้ได้ฟิล์มบาง ITO ที่สมบูรณ์
 9. นำแผ่นแก้วที่แอนนิลแล้วมาตรวจสอบสมบัติฟิล์มบาง ITO

3.7 การตรวจสอบสมบัติฟิล์มบาง ITO

3.7.1 การศึกษาโครงสร้างผลึกจากการเดี่ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

- เพื่อหาสารประกอบและวิเคราะห์โครงสร้างผลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.2 Scanning Electron Microscope (SEM)

- เพื่อดูผิวหน้าของฟิล์มบาง

3.7.3 UV-VIS Spectrophotometer

- เพื่อวัดค่าการทะลุผ่านและการดูดกลืนของฟิล์มบาง

3.7.4 การวัดความต้านทานจำเพาะโดยวิธี 2 ขั้ว (2 point probes)

- เพื่อวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มบาง

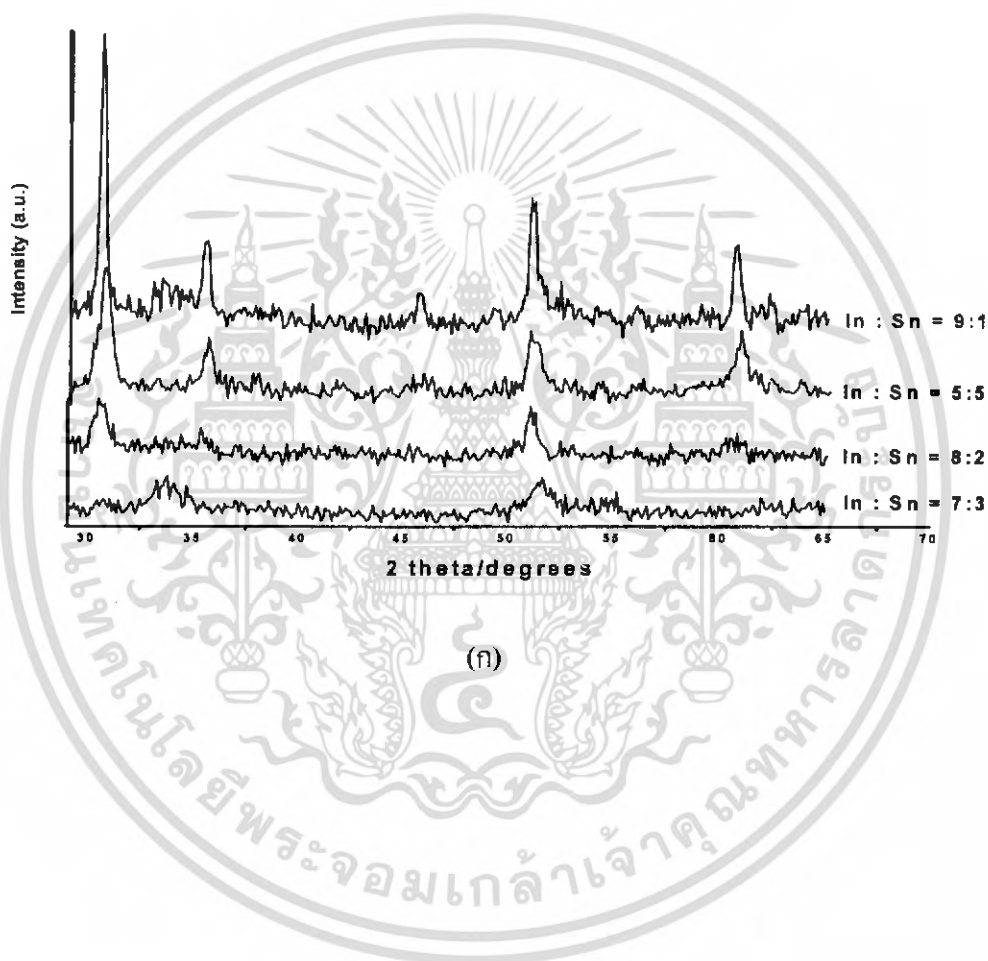


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

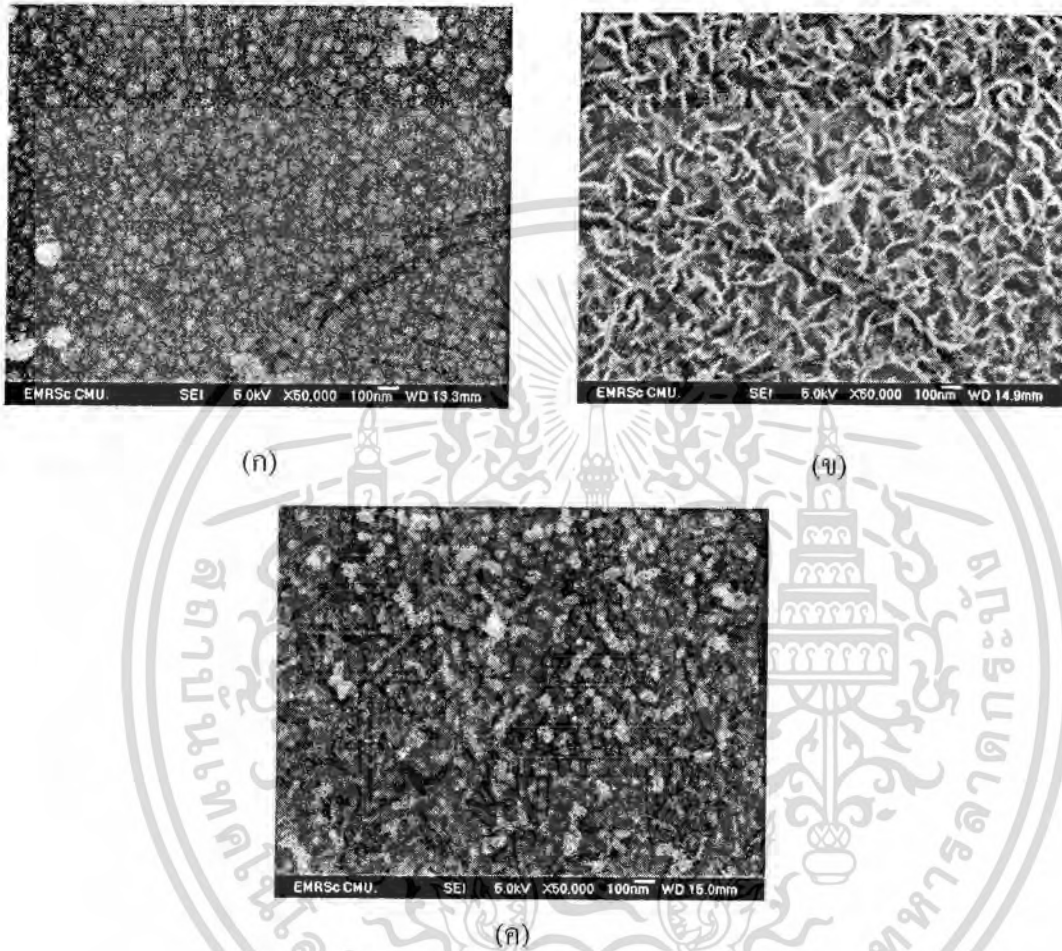
4.1 ผลที่ได้จากการทดสอบสมบัติของฟิล์มบาง ITO โดยการศึกษาโครงสร้างผลึกจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลที่ได้จากการวัดฟิล์มบาง ITO ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)

4.2.1 เครื่องจุ่มเคลือบ



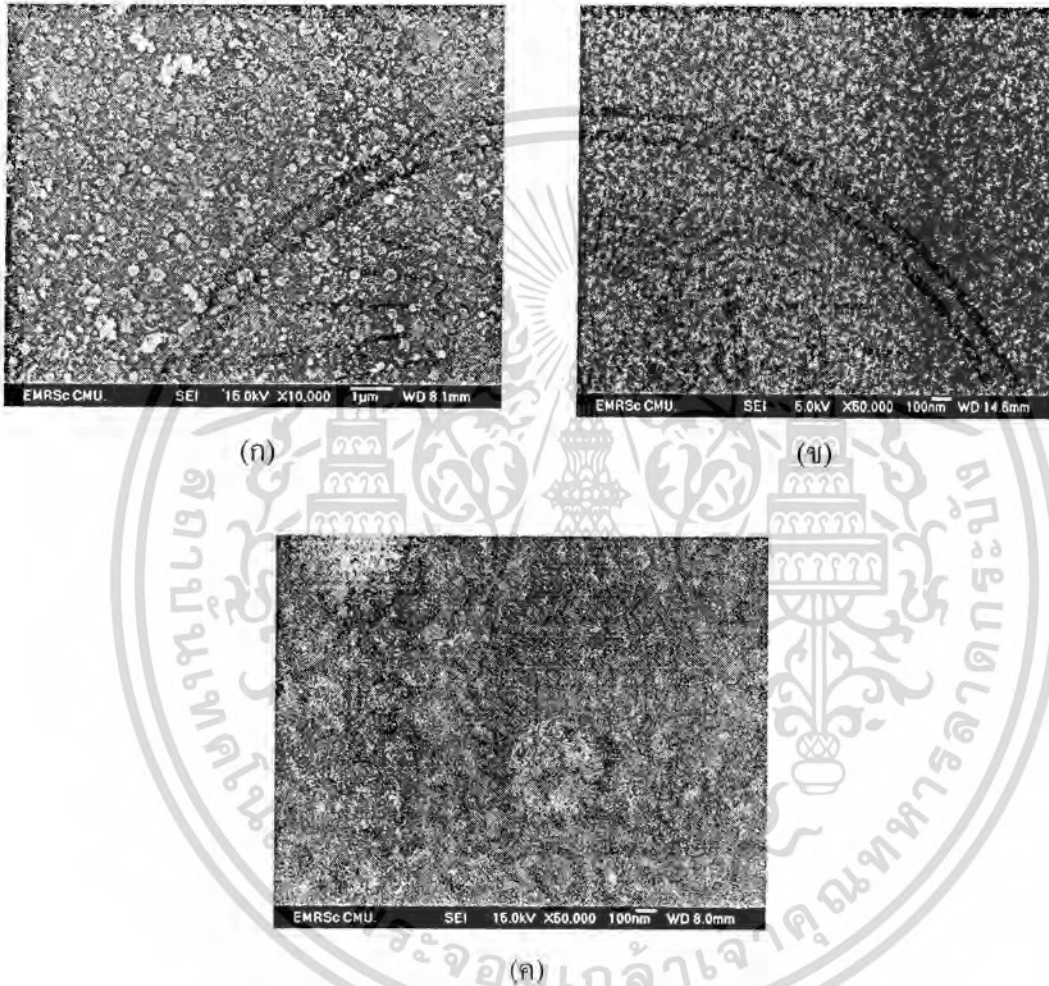
รูปที่ 4.2 แสดงภาพพื้นผิวของฟิล์มบาง ITO จากเครื่อง SEM ซึ่งปลูกด้วยวิธีจุ่มเคลือบที่อัตราส่วน (ก) 1:1 ความหนา 20 ชั้น (ข) 7:3 ความหนา 25 ชั้น (ค) 9:1 ความหนา 20 ชั้น

จากรูปที่ 4.2 เป็นภาพพื้นผิวของฟิล์มบาง ITO ที่ปลูกด้วยวิธีจุ่มเคลือบพบว่าผลที่ได้สอดคล้องกับรูปแบบการเลี้ยวเบนอ้างอิงของผง ITO ที่ได้จากวิธีการตกตะกอนร่วม (รูปที่ 4.1 ก) คือ ฟิล์มบางของ ITO ที่สัดส่วน 1:1 จะให้พื้นผิวที่ค่อนข้างสม่ำเสมอและปรากฏว่าพบทั้งส่วนที่เป็นผลึก (crystal) ที่มีขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 50 nm และส่วนที่อยู่ในรูปอสัณฐาน (amorphous) กระจายอยู่ทั่วไป แต่ที่ผิวหน้าของฟิล์มบางที่สัดส่วน 7:3 ไม่พบว่ามีส่วนใดที่แสดงความเป็นผลึกเลย และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าฟิล์มบางของ ITO ที่สัดส่วน 9:1 มี grain ของ $\text{In}_2\text{Sn}_2\text{O}_{7-x}$ ที่มีขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 50 nm กระจายอยู่ทั่วไป

4.2.2 เครื่องหมุนเคลือบ



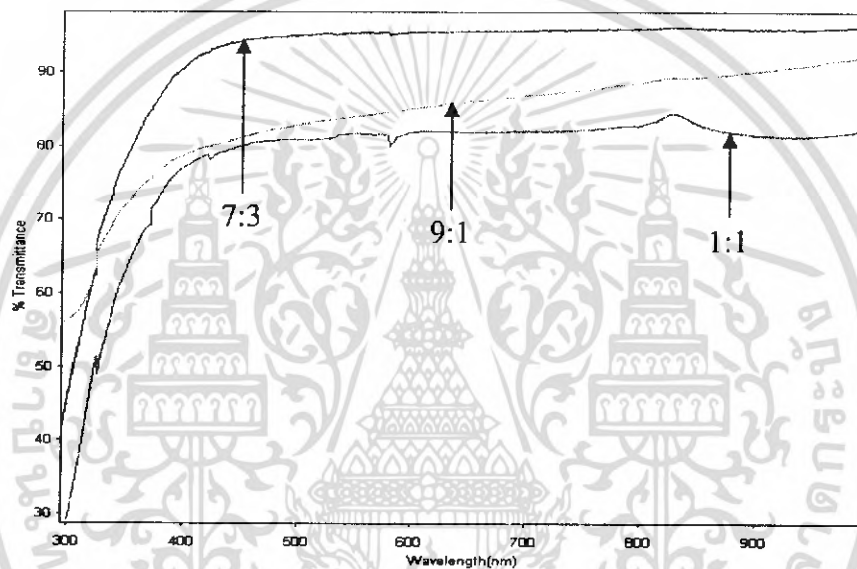
รูปที่ 4.3 แสดงภาพพื้นผิวของฟิล์มบาง ITO จากเครื่อง SEM ซึ่งปลูกด้วยวิธีหมุนเคลือบที่อัตราส่วน (ก) 1:1 ความหนา 10 ชั้น (ข) 7:3 ความหนา 10 ชั้น (ค) 9:1 ความหนา 15 ชั้น

จากรูปที่ 4.3 เป็นภาพพื้นผิวของฟิล์มบาง ITO ที่ปลูกด้วยวิธีหมุนเคลือบพบว่าผลที่ได้สอดคล้องกับรูปแบบการเลี้ยวเบนอ้างอิงของผง ITO ที่ได้จากวิธีการตกตะกอนร่วม (รูปที่ 4.1 ก) คือ ฟิล์มบางของ ITO ที่สัดส่วน 1:1 จะให้พื้นผิวที่ค่อนข้างสม่ำเสมอและปรากฏว่าพบทั้งส่วนที่เป็นผลึก (crystal) ที่มีขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 30 nm และส่วนที่อยู่ในรูปอสัณฐาน (amorphous) กระจายเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ทั่วไป แต่ที่ผิวหน้าของฟิล์มบางที่สัดส่วน 7:3 ไม่พบว่ามีส่วนใดที่แสดงความเป็นผลึก และพบว่าฟิล์มบางของ ITO ที่สัดส่วน 9:1 มี grain ของ $\text{In}_2\text{Sn}_2\text{O}_{7-x}$ ที่มีขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 10 nm กระจายอยู่ทั่วไป

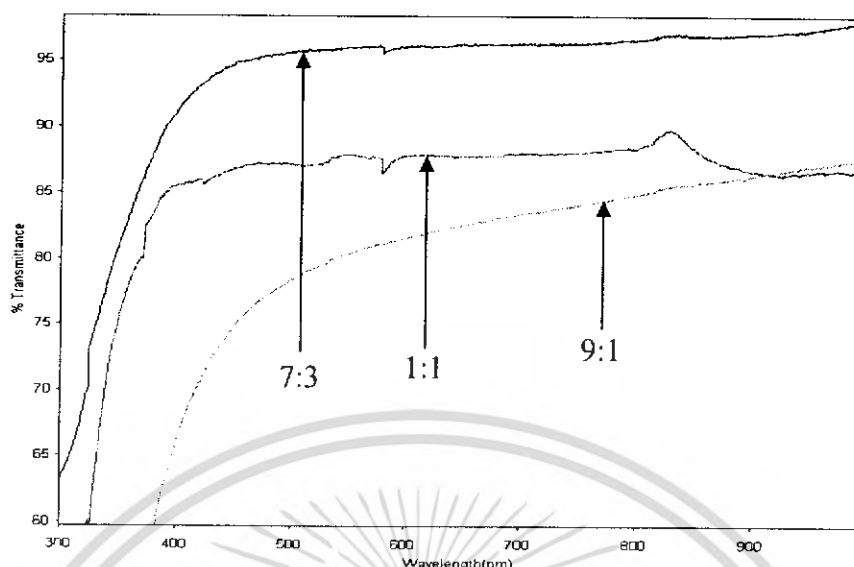
4.3 ผลที่ได้จากการวัดฟิล์มบาง ITO ด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer

4.3.1 ผลของอัตราส่วนระหว่าง In:Sn ต่อสัมประสิทธิ์การส่องผ่านของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบ



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่องผ่านกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ITO ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบความหนา 25 ชั้น

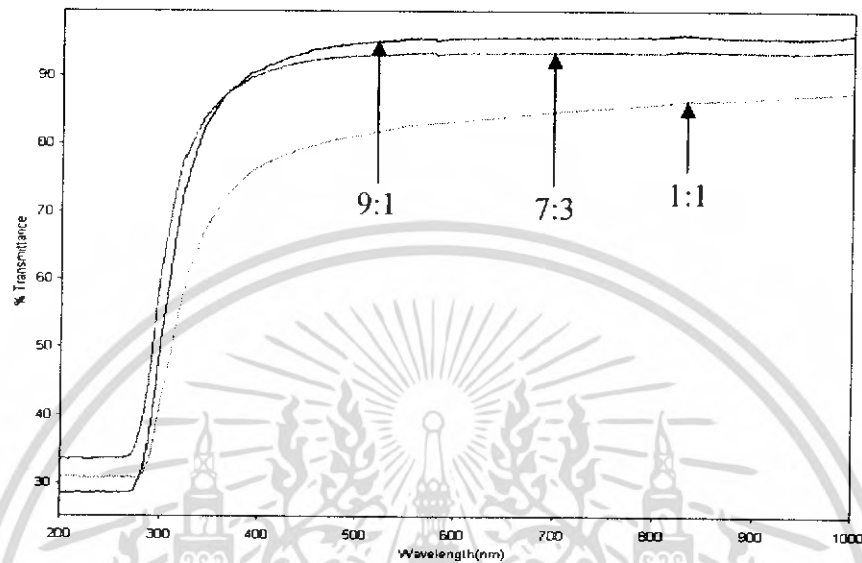
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



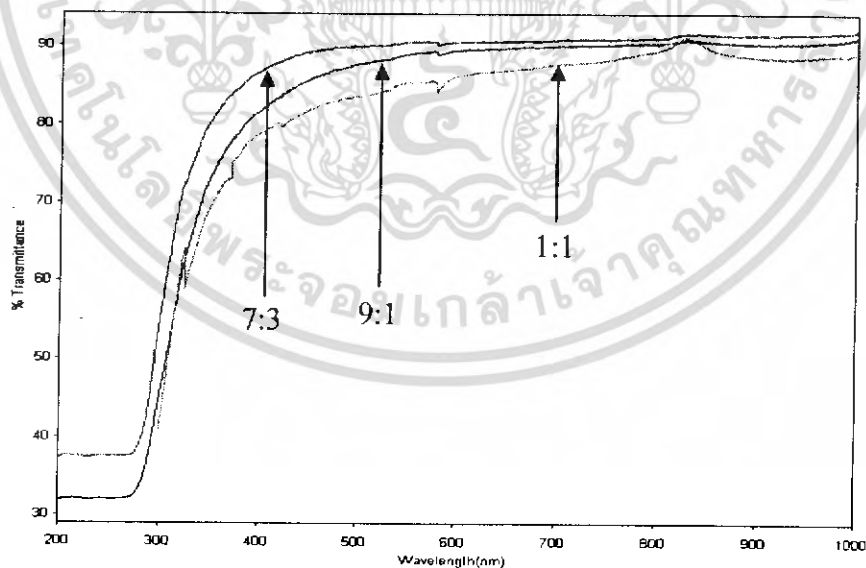
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการส่งผ่านกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ITO ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบความหนา 30 ชั้น

จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 พบว่าค่าการส่งผ่านไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนในช่วงความยาวคลื่น 300 – 1000 nm โดยที่อัตราส่วนระหว่าง In:Sn คือ 7:3 จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านสูงสุดเป็น 90% ในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น(visible – Infrared) เนื่องจากฟิล์มที่ปลูกด้วยอัตราส่วนระหว่าง In:Sn คือ 7:3 มีความใสมากกว่าอัตราส่วนอื่นๆ ในกรณีที่อัตราส่วนระหว่าง In:Sn คือ 9:1 ที่ความหนา 30 ชั้นมีสัมประสิทธิ์การส่งผ่านไม่คี่นั้น อาจเกิดจากการไล่ก๊าซออกซิเจนได้ไม่ดีพอ เนื่องจากก๊าซออกซิเจนมีผลต่อความใสของฟิล์มถ้ามีในปริมาณที่เหมาะสม

4.3.2 ผลของอัตราส่วนระหว่าง In:Sn ต่อสัมประสิทธิ์การส่องผ่านของฟิล์มบางอินเดียมทิน ออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีหมุนเคลือบ



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่องผ่านกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ITO ที่ปลูกโดยวิธีหมุนเคลือบความหนา 10 ชั้น

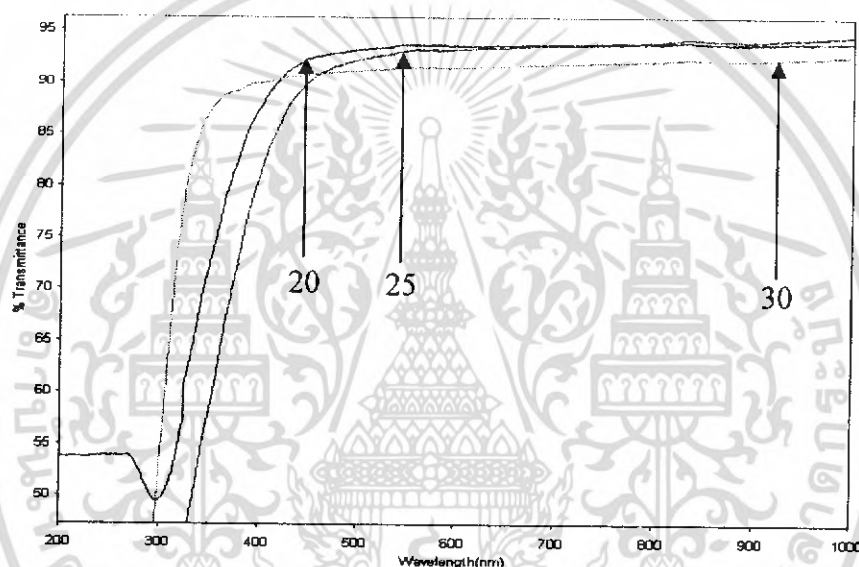


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่องผ่านกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ITO ที่ปลูกโดยวิธีหมุนเคลือบความหนา 20 ชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

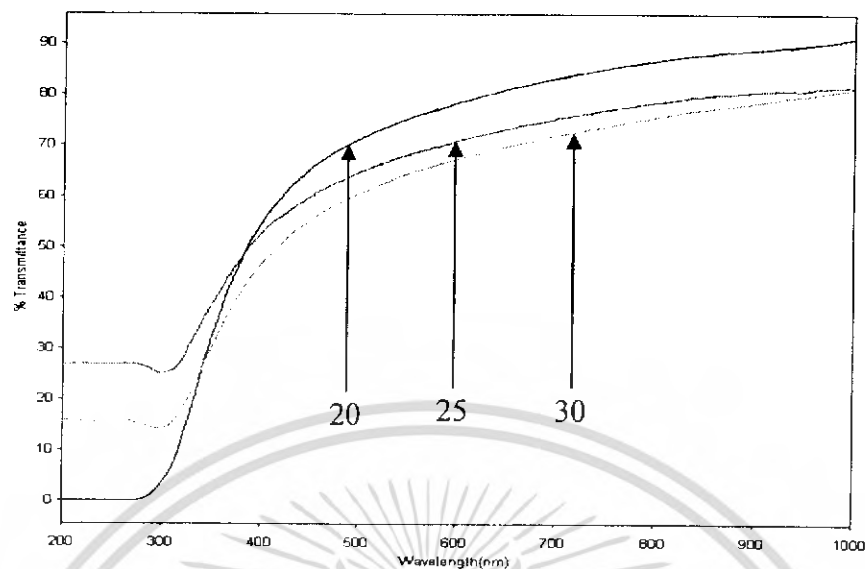
จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 พบว่าค่าการส่องผ่านไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนในช่วงความยาวคลื่น 300 – 1000 nm โดยที่อัตราส่วนระหว่าง In:Sn คือ 9:1 และ 7:3 จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่านสูงสุดเป็น 90% ในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น(visible – Infrared) เนื่องจากฟิล์มที่ปลูกด้วยอัตราส่วนระหว่าง In:Sn คือ 9:1 และ 7:3 จะใสกว่าอัตราส่วนอื่นๆ

4.3.3 ผลของจำนวนชั้นในการเคลือบต่อสัมประสิทธิ์การส่องผ่านของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบ



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่องผ่านกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ITO ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบอัตราส่วน 7:3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่องผ่านกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ITO ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบอัตราส่วน 9:1

จากรูปที่ 4.8 และ 4.9 พบว่าเมื่อจำนวนชั้นในการเคลือบมากขึ้น การส่องผ่านของแสงจะมีค่าลดลงตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามกฎของเบียร์-แลมปีนาร์ท

$$I_T = I_o e^{-\alpha d} \quad (4.1)$$

เมื่อ d คือความหนา

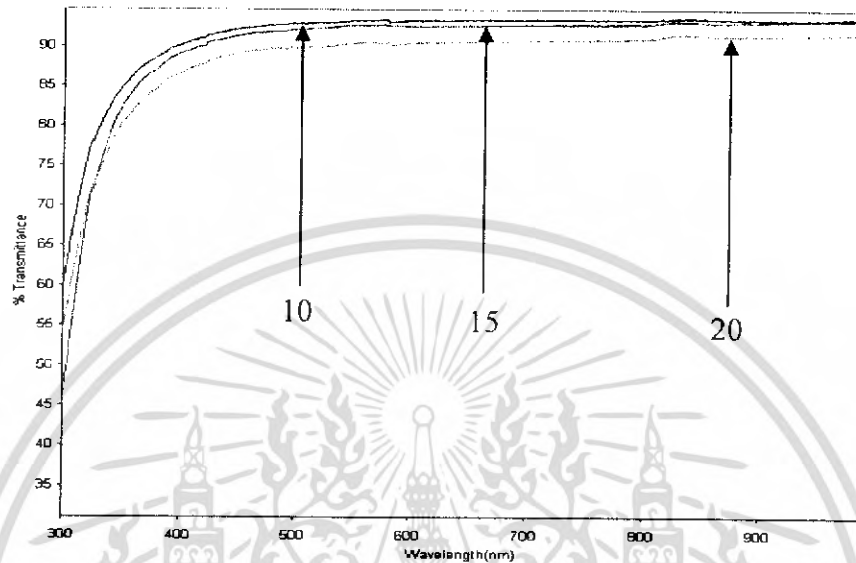
α คือค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน

I_T คือค่าความเข้มแสงหลังจากผ่านตัวอย่างออกมา

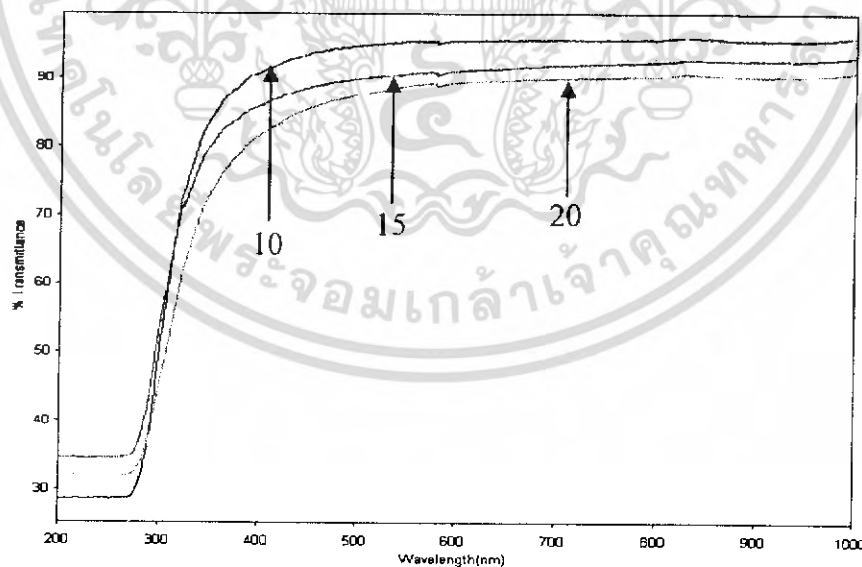
I_o คือค่าความเข้มแสงก่อนผ่านตัวอย่าง

ดังนั้นจึงพอจะสรุปได้ว่าความหนา มีผลต่อค่าการส่องผ่านของแสง คือถ้าฟิล์มมีความหนา มากขึ้นจะทำให้ค่าการส่องผ่านของแสงน้อยลง

4.3.4 ผลของจำนวนชั้นในการเคลือบต่อสัมประสิทธิ์การส่องผ่านของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีหมุนเคลือบ



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่องผ่านกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ITO ที่ปลูกโดยวิธีหมุนเคลือบอัตราส่วน 7:3



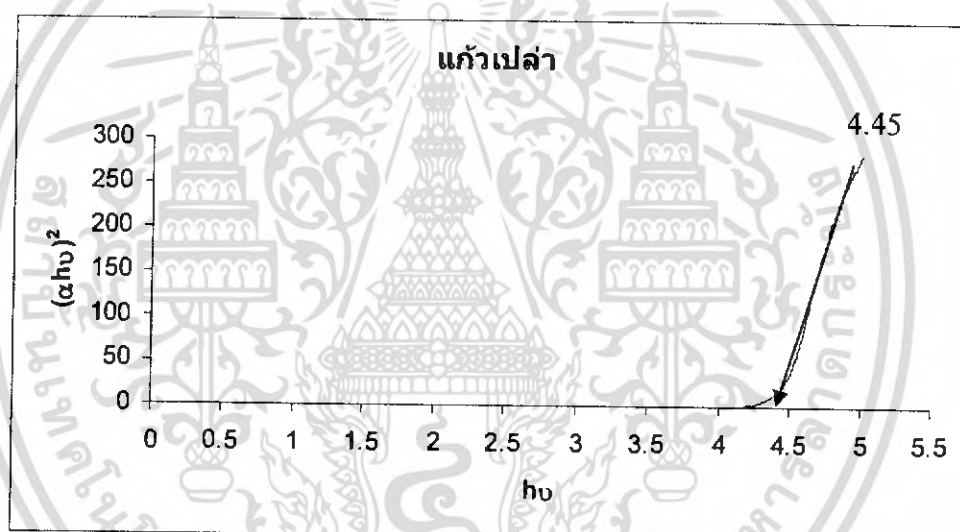
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่องผ่านกับความยาวคลื่นของฟิล์มบาง ITO ที่ปลูกโดยวิธีหมุนเคลือบอัตราส่วน 9:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 และ 4.11 พบว่าเมื่อจำนวนชั้นในการเคลือบมากขึ้น การทะลุผ่านของแสงจะมีค่าลดลงตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามกฎของเบียร์-แลมปีร์ที่คิดไว้แล้ว ดังนั้นจึงพอจะสรุปได้ว่าความหนามีผลต่อค่าการส่องผ่านของแสง คือถ้าฟิล์มมีความหนามากขึ้นจะทำให้ค่าการส่องผ่านของแสงน้อยลง

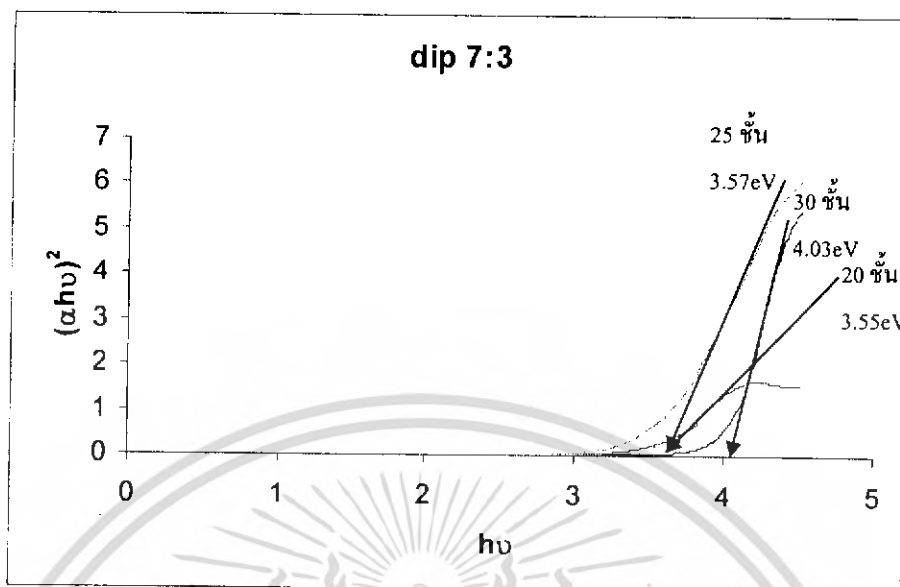
ซึ่งผลที่ได้จากวิธีจุ่มเคลือบ และวิธีหมุนเคลือบ มีความสอดคล้องกัน และสามารถอ้างอิงถึงผลของสัมประสิทธิ์การดูดกลืน และแถบพลังงานต้องห้ามซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

4.3.5 ผลที่ได้จากการวาดกราฟเพื่อหาค่าแถบพลังงานต้องห้ามของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบ

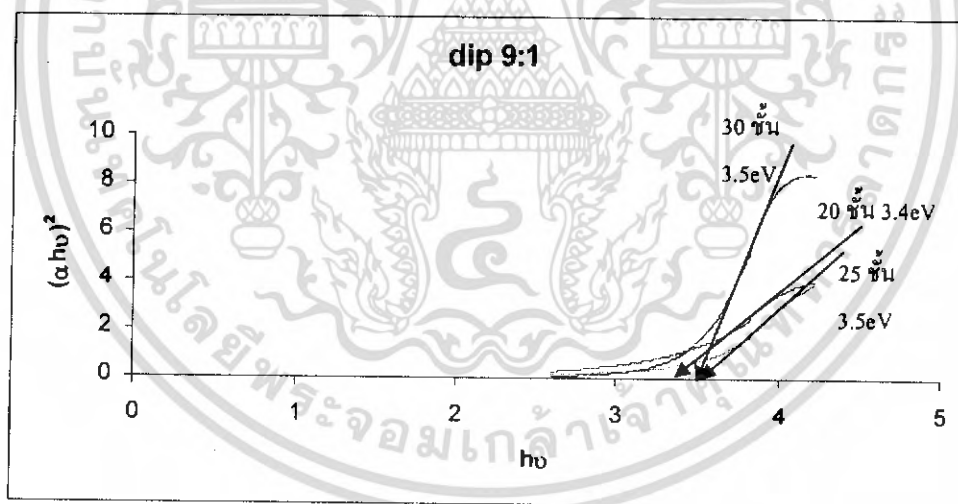


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $(\alpha h\nu)^2$ กับค่าพลังงานโฟตอนซึ่งก็คือค่าแถบพลังงานต้องห้ามของแก้วโบโรซิลิเกตที่ยังไม่ได้ทำการปลูกฟิล์มบาง ITO

จากรูปกราฟที่ 4.12 เป็นกราฟแสดงค่าแถบพลังงานต้องห้ามของแก้ว โบโรซิลิเกตที่ยังไม่ได้ปลูกฟิล์มบาง ITO จะเห็นว่าแก้ว โบโรซิลิเกตจะมีค่าแถบพลังงานต้องห้ามเป็น 4.45 eV



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $(\alpha h\nu)^2$ กับค่าพลังงานโฟตอนซึ่งก็คือค่าแถบพลังงานต้องห้ามของวิธีจุ่มเคลือบที่อัตราส่วน In:Sn เป็น 7:3

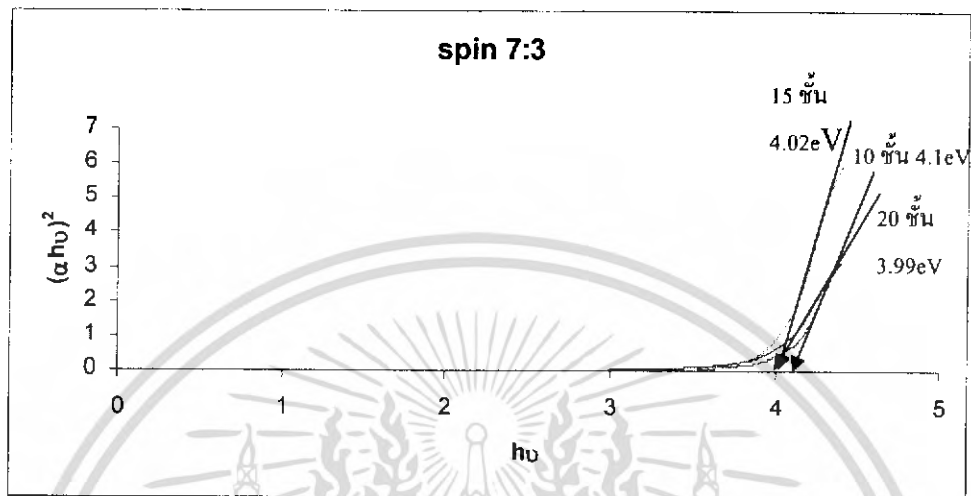


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $(\alpha h\nu)^2$ กับค่าพลังงานโฟตอนซึ่งก็คือค่าแถบพลังงานต้องห้ามของวิธีจุ่มเคลือบที่อัตราส่วน In:Sn เป็น 9:1

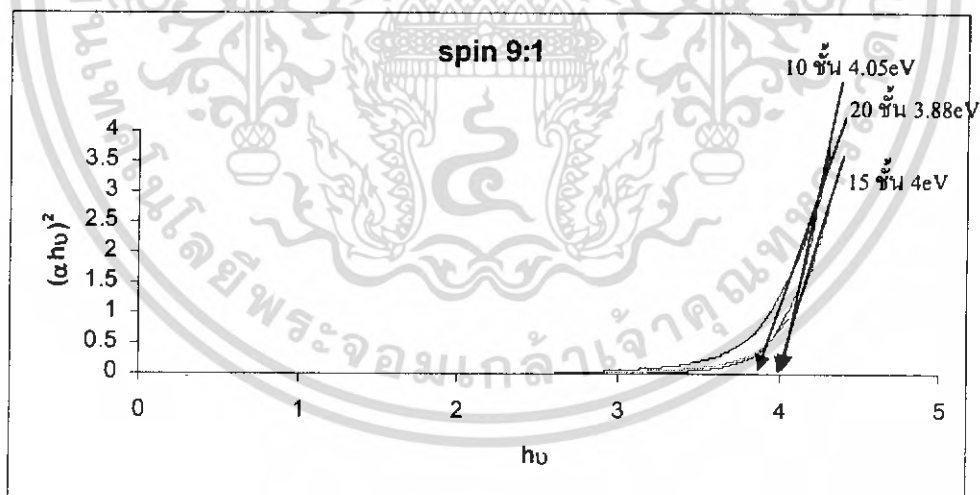
จากรูปที่ 4.13 และ 4.14 จะเห็นว่าค่าการดูดกลืนแสงจะไม่ต่างกันมากนัก แต่ที่ความหนา มากจะดูดกลืนแสงได้มากกว่า เนื่องจากแสงเคลื่อนที่ผ่านชั้นสารด้วยระยะทางมากกว่าจึงถูกดูดกลืนไปมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6 ผลที่ได้จากการวาดกราฟเพื่อหาค่าแถบพลังงานต้องห้ามของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีหมุนเคลือบ



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $(\alpha h\nu)^2$ กับค่าพลังงานโฟตอนซึ่งก็คือค่าแถบพลังงานต้องห้ามของวิธีหมุนเคลือบที่อัตราส่วน In:Sn เป็น 7:3

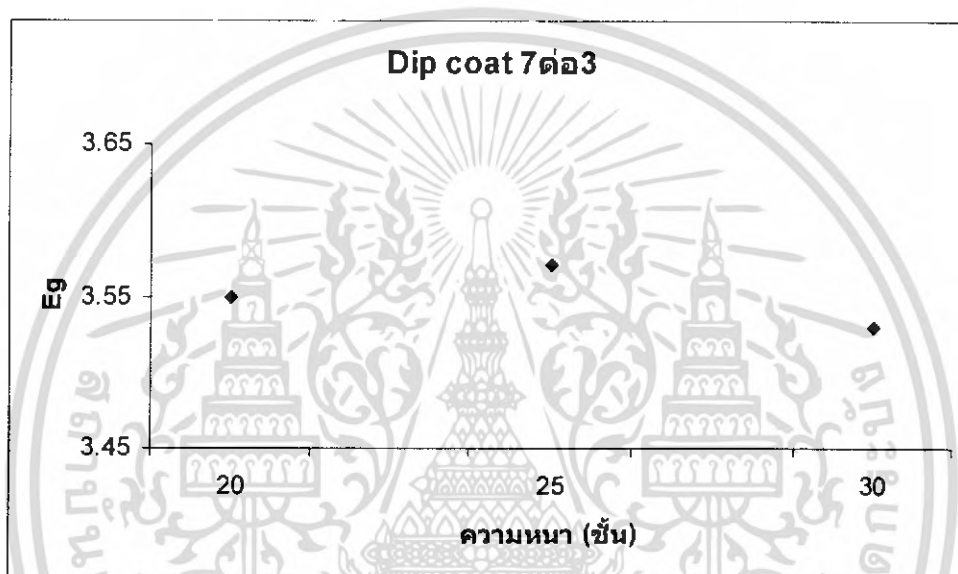


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $(\alpha h\nu)^2$ กับค่าพลังงานโฟตอนซึ่งก็คือค่าแถบพลังงานต้องห้ามของวิธีหมุนเคลือบที่อัตราส่วน In:Sn เป็น 9:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

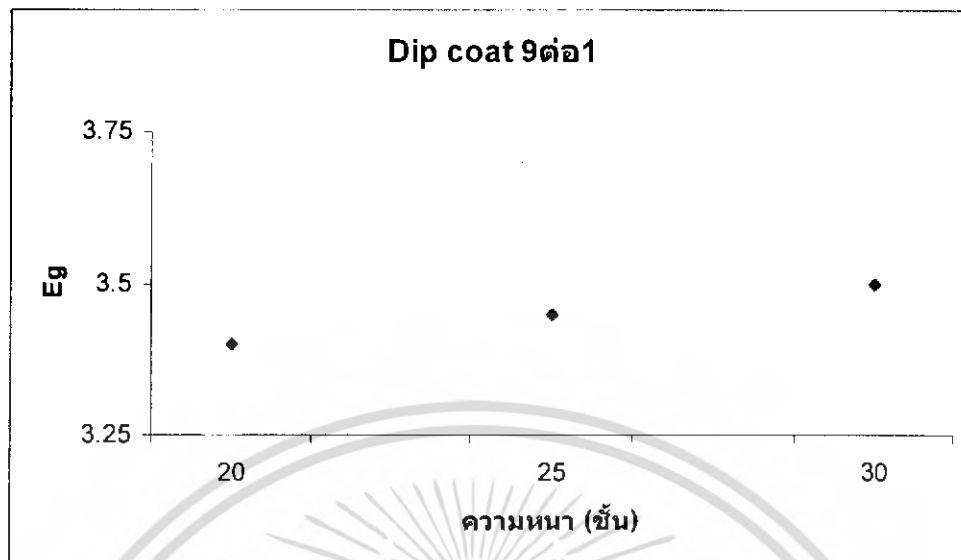
จากรูปที่ 4.15 และ 4.16 จะเห็นว่าค่าการดูดกลืนแสงจะไม่ต่างกันมากนัก แต่ที่ความหนา มากจะดูดกลืนแสงได้มากกว่า เนื่องจากแสงเคลื่อนที่ผ่านชั้นสารด้วยระยะทางมากกว่าจึงถูกดูดกลืนไปมากกว่า

4.3.7 ผลของจำนวนชั้นในการเคลือบต่อค่าแถบพลังงานต้องห้ามของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบ



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแถบพลังงานต้องห้ามกับความหนาของวิธีจุ่มเคลือบที่อัตราส่วน In:Sn เป็น 7:3

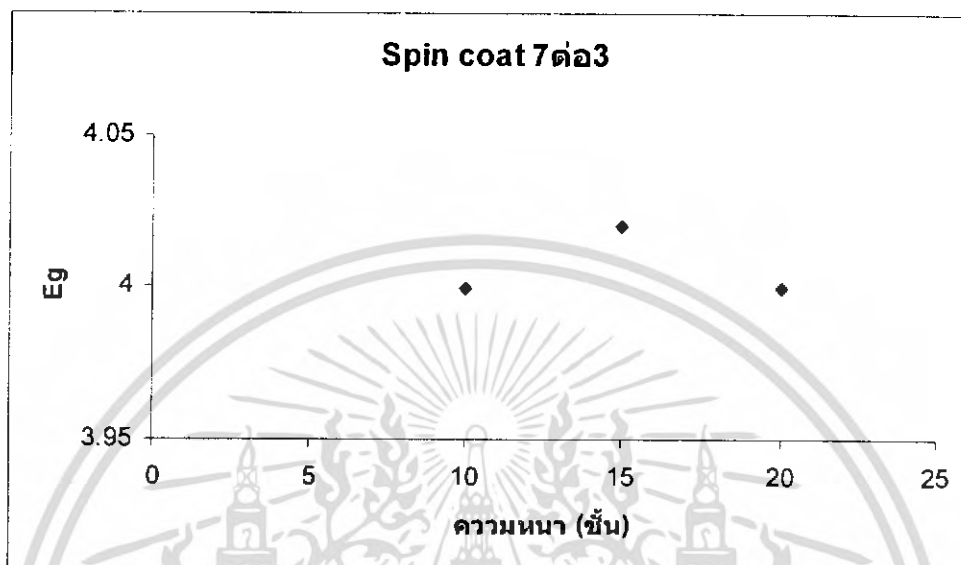
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



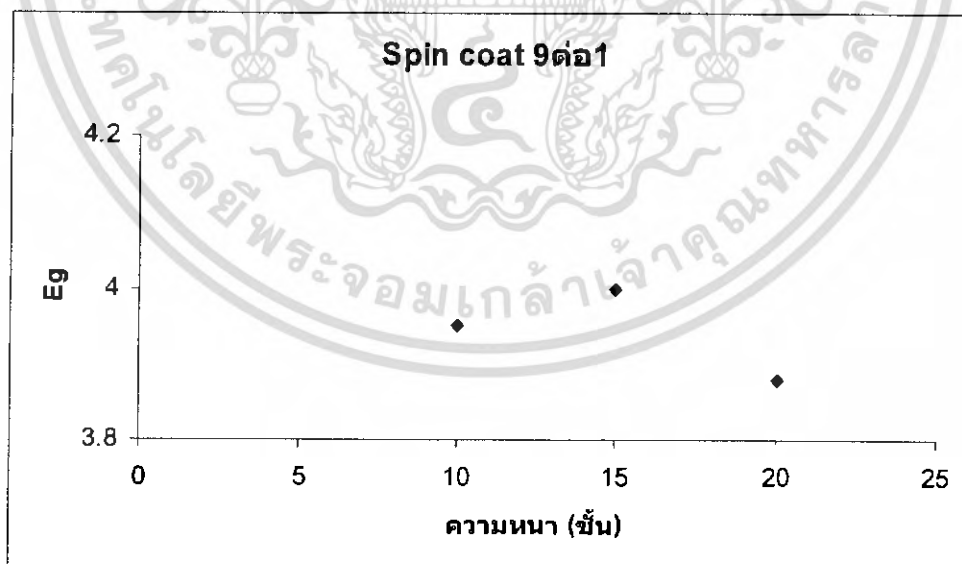
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแถบพลังงานต้องห้ามกับความหนาของวิธีจุ่มเคลือบ
ที่อัตราส่วน In:Sn เป็น 9:1

จากรูปที่ 4.17 และ 4.18 จะเห็นว่าที่ความหนาต่างๆ แต่มีอัตราส่วน In:Sn เท่ากันจะมีค่าแถบพลังงานต้องห้ามไม่ต่างกันมากนักแสดงว่าความหนาไม่ค่อยมีผลต่อค่าแถบพลังงานต้องห้าม ซึ่งจริงๆ แล้วค่าแถบพลังงานต้องห้ามควรจะเท่ากันแม้จะมีความหนาต่างกันก็ตาม แต่ในการทดลองนี้ต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากความหนามากจะมีรอยต่อผิวสัมผัสแต่ละชั้นมาก ซึ่งอาจมีผลต่อค่าแถบพลังงานต้องห้าม เนื่องจากฟิล์มที่ปลูกในแต่ละชั้นมีความไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งแผ่นทำให้ผิวสัมผัสไม่สม่ำเสมอ

4.3.8 ผลของจำนวนชั้นในการเคลือบต่อค่าแถบพลังงานต้องห้ามของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีหมุนเคลือบ



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแถบพลังงานต้องห้ามกับความหนาของวิธีหมุนเคลือบที่อัตราส่วน In:Sn เป็น 7:3

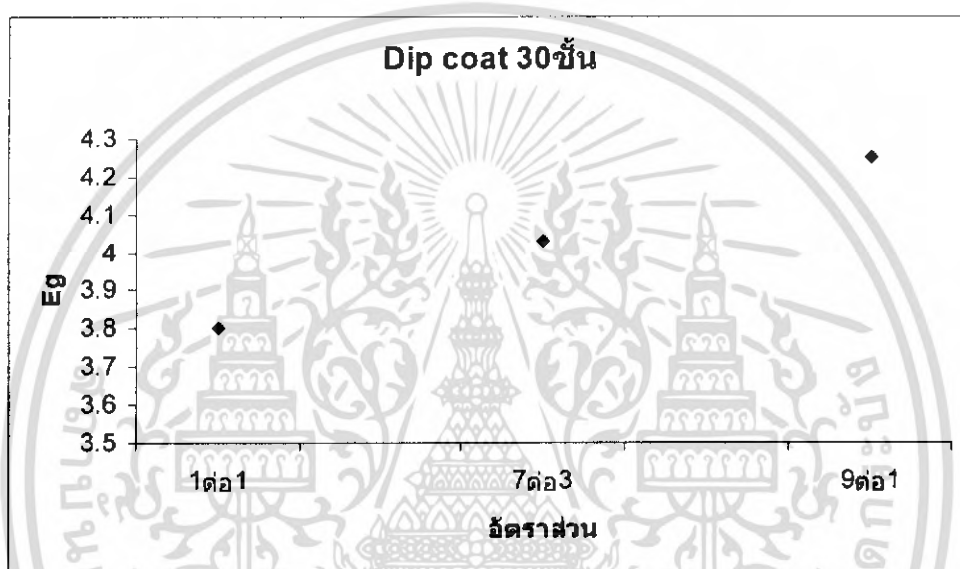


รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแถบพลังงานต้องห้ามกับความหนาของวิธีหมุนเคลือบที่อัตราส่วน In:Sn เป็น 9:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.19 และ 4.20 จะเห็นว่าที่ความหนาต่างๆ แต่มีอัตราส่วน In:Sn เท่ากันจะมีค่าแถบพลังงานต้องห้ามไม่ต่างกันมากนักเช่นเดียวกับฟิล์มที่ได้จากการปลูกด้วยวิธีจุ่มเคลือบดังนั้นจึงน่าจะเกิดจากเหตุผลเดียวกัน

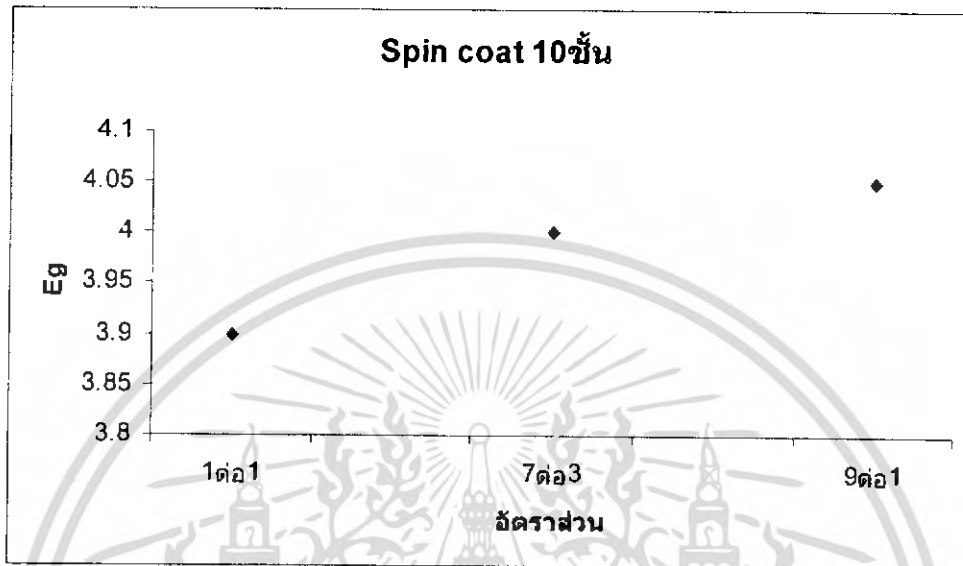
4.3.9 ผลของอัตราส่วนระหว่าง In:Sn ต่อค่าแถบพลังงานต้องห้ามของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบ



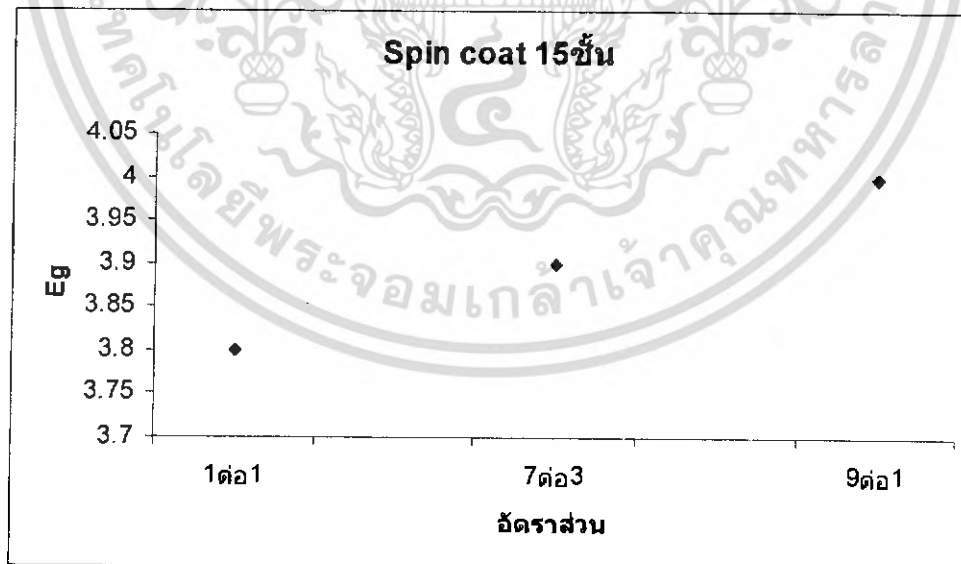
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแถบพลังงานต้องห้ามกับอัตราส่วน In:Sn ต่างๆ ของวิธีจุ่มเคลือบที่ความหนา 30 นาโนเมตร

จากรูปที่ 4.21 จะเห็นว่าที่อัตราส่วน In:Sn เป็น 1:1 จะมีค่าแถบพลังงานต้องหำน้อยที่สุด รองลงมาคือ 7:3 และที่ 9:1 จะมีค่าแถบพลังงานต้องห้ามมากที่สุด แสดงว่าเมื่ออัตราส่วน In:Sn มากขึ้นจะทำให้ค่าแถบพลังงานต้องห้ามมากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากการเจือทินเข้าไปมากขึ้นจะทำให้ค่าช่องว่างแถบพลังงานน้อยลง

4.3.10 ผลของอัตราส่วนระหว่าง In:Sn ต่อค่าแถบพลังงานต้องห้ามของฟิล์มบางอินเดียมทิน ออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีหมุนเคลือบ

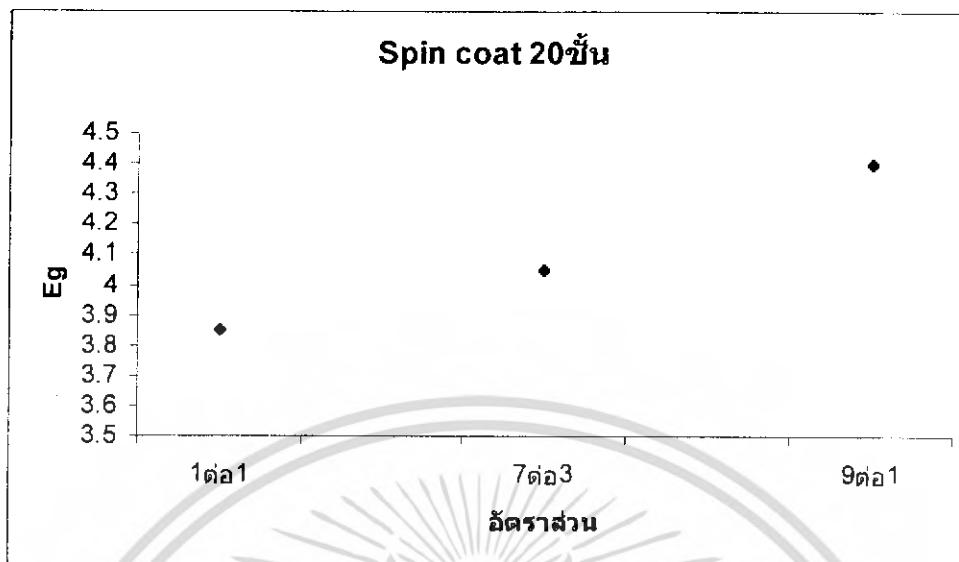


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแถบพลังงานต้องห้ามกับอัตราส่วน In:Sn ต่างๆ ของวิธีหมุนเคลือบที่ความหนา 10 ชั้น



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแถบพลังงานต้องห้ามกับอัตราส่วน In:Sn ต่างๆ ของวิธีหมุนเคลือบที่ความหนา 15 ชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

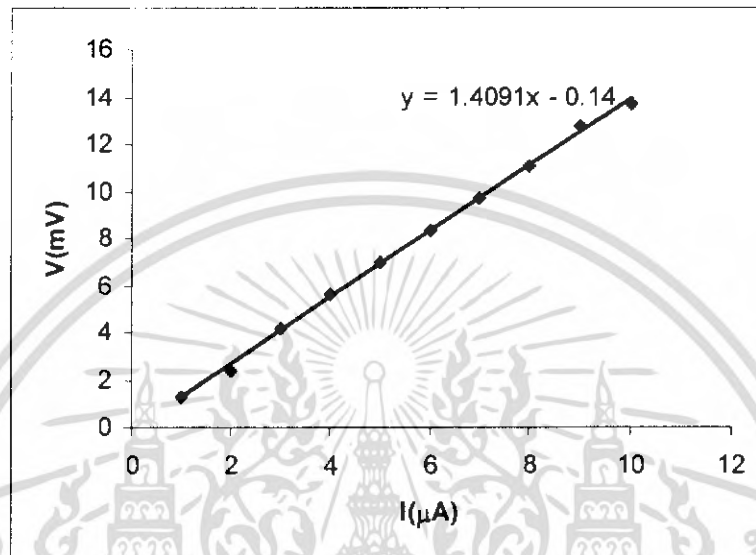


รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแถบพลังงานต้องห้ามกับอัตราส่วน In:Sn ต่างๆ ของวิธีหมุนเคลือบที่ความหนา 20 ชั้น

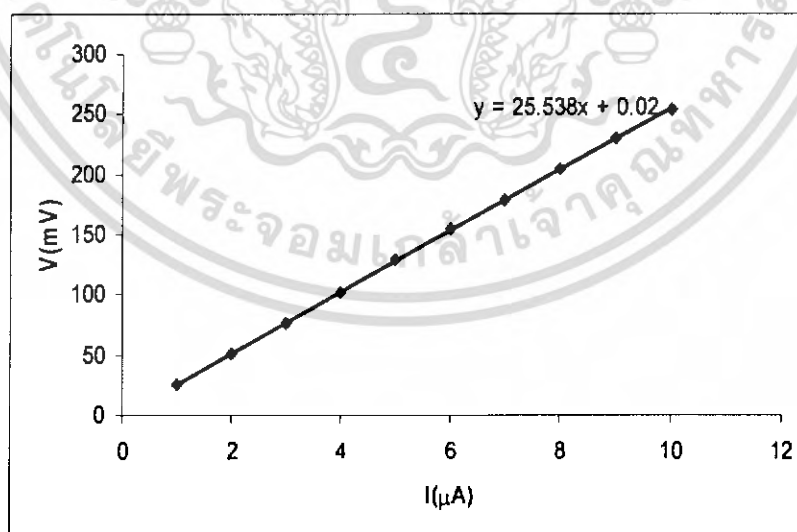
จากรูปที่ 4.22 4.23 และ 4.24 จะเห็นว่าที่อัตราส่วน In:Sn เป็น 1:1 จะมีค่าแถบพลังงานต้องห้าน้อยที่สุด รองลงมาคือ 7:3 และที่ 9:1 จะมีค่าแถบพลังงานต้องห้ามมากที่สุด แสดงว่าเมื่ออัตราส่วน In:Sn มากขึ้นจะทำให้ค่าแถบพลังงานต้องห้ามมากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากการเจือทินเข้าไปมากขึ้นจะทำให้ค่าช่องว่างแถบพลังงานน้อยลงเช่นเดียวกันกับฟิล์มที่ปลูกด้วยวิธีจุ่มเคลือบ

4.4 ผลที่ได้จากการวัดฟิล์มบาง ITO ด้วยเครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้าโดยวิธี 2 ขั้ว

4.4.1 ผลของอัตราส่วนระหว่าง In:Sn ต่อค่าความต้านทานแผ่นของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบ

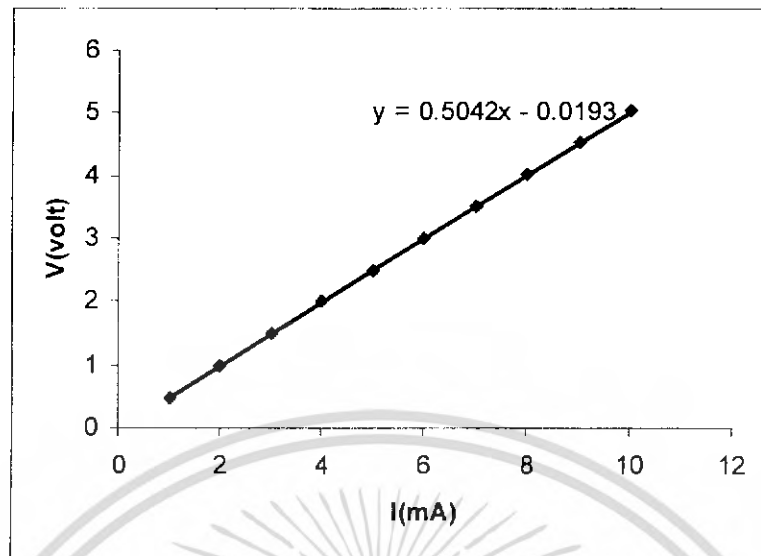


รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับกระแสของวิธีจุ่มเคลือบที่อัตราส่วน In:Sn เป็น 1:1



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับกระแสของวิธีจุ่มเคลือบที่อัตราส่วน In:Sn เป็น 7:3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับกระแสของวิธีจุ่มเคลือบที่อัตราส่วน In:Sn เป็น 9:1

จากกราฟรูปที่ 4.25 4.26 และ 4.27 จะสามารถหาค่าความต้านทานแผ่นได้จากสมการที่ 4.2 เมื่อคำนวณตามสมการจะได้ค่าความต้านทานออกมาดังนี้คือ อัตราส่วน In:Sn เป็น 1:1 มีค่าความต้านทานแผ่นคือ $5.6364 \text{ k}\Omega/\square$ 7:3 มีค่าความต้านทานแผ่นคือ $114.921 \text{ k}\Omega/\square$ และ 9:1 มีค่าความต้านทานแผ่นคือ $1.81512 \text{ k}\Omega/\square$

$$R_s = R \left(\frac{w}{l} \right) \quad (4.2)$$

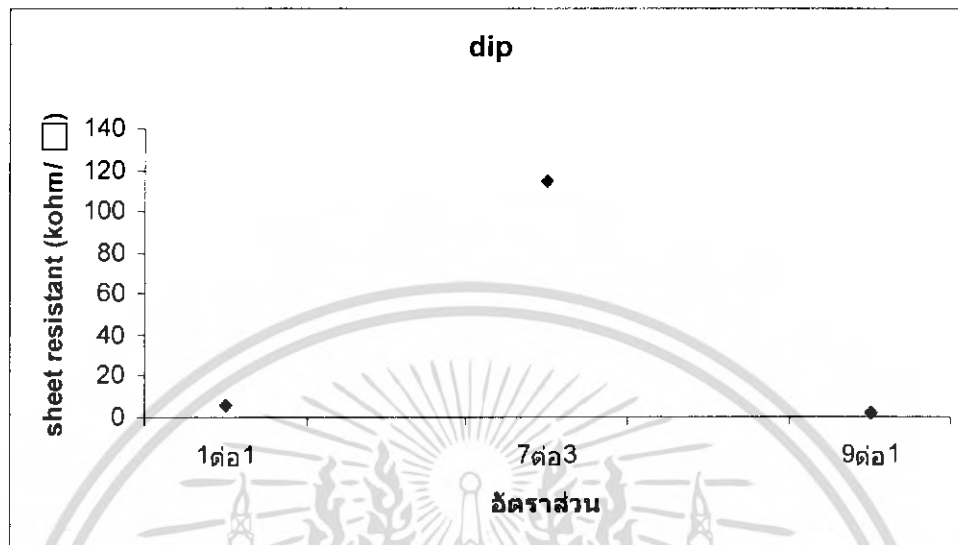
เมื่อ R_s คือค่าความต้านทานแผ่น

R คือค่าความต้านทาน $R = V/I$

w คือความยาวของสารตัวอย่าง

l คือระยะห่างระหว่างขดลวด 2 เส้น

- ผลของอัตราส่วนต่อค่าความต้านทานแผ่น

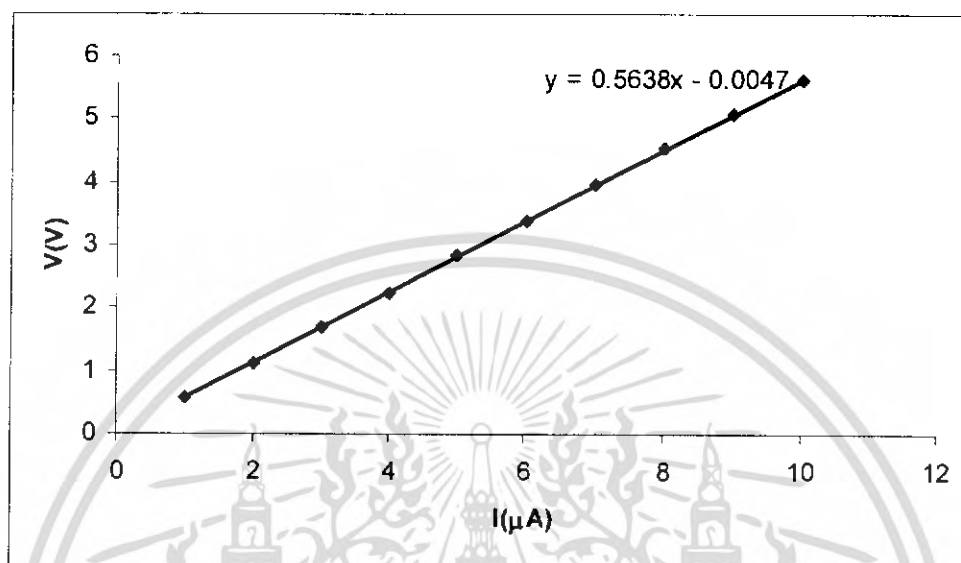


รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแผ่นกับอัตราส่วนต่างๆ ของวิธีจุ่ม

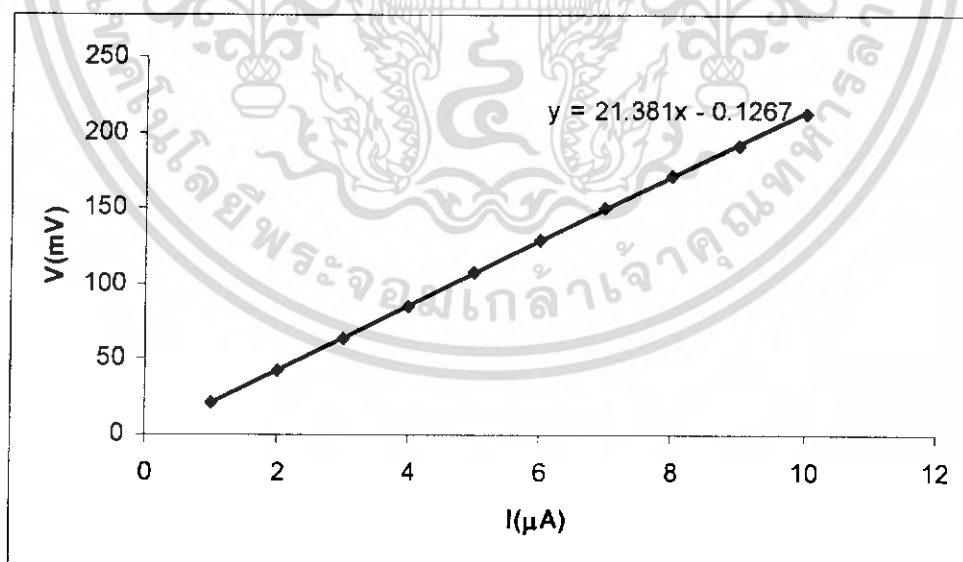
เคลือบ

จากกราฟรูปที่ 4.28 จะเห็นว่า กรณี 9:1 มีความต้านทานต่ำสุด รองลงมาเป็น 1:1 และ 7:3 เนื่องจากปริมาณทินจะส่งผลต่ออิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับค่าความต้านทาน กล่าวคือถ้ามีอิเล็กทรอนิกส์มากก็就会有ความต้านทานไฟฟ้าต่ำ ซึ่งเมื่อปริมาณทินมากขึ้นจะทำให้อิเล็กทรอนิกส์น้อยลงจึงมีค่าความต้านทานน้อยลง แต่ที่ค่าความต้านทานที่อัตราส่วน 1:1 น้อยกว่า 7:3 อาจเกิดจากข้อบกพร่องต่างๆ ของผลึกซึ่งเกิดขณะทำการปลูกหรือการแอนนีสล

4.4.2 ผลของอัตราส่วนระหว่าง In:Sn ต่อค่าความต้านทานแผ่นของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ปลูกโดยวิธีหมุนเคลือบ

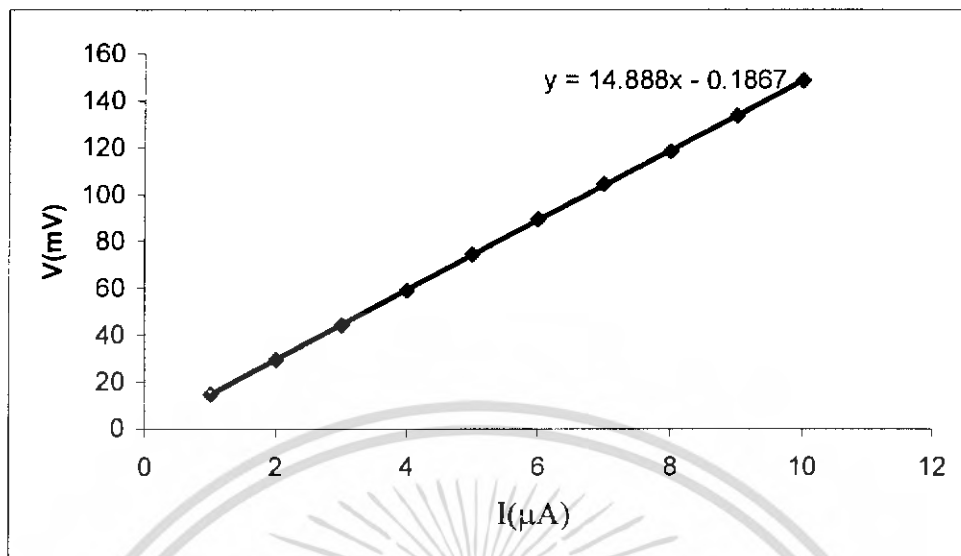


รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับกระแสของวิธีหมุนเคลือบที่อัตราส่วน In:Sn เป็น 1:1



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับกระแสของวิธีหมุนเคลือบที่อัตราส่วน In:Sn เป็น 7:3

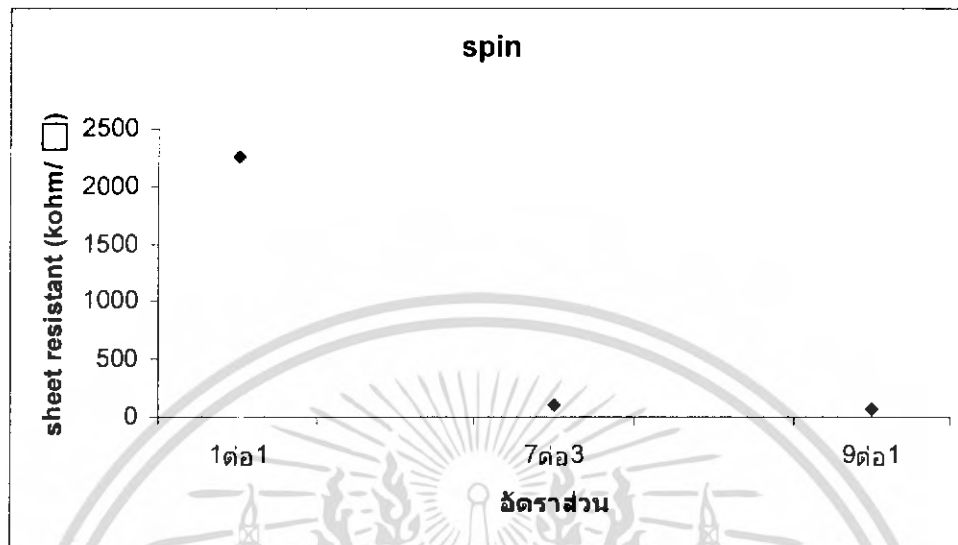
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับกระแสของวิธีหมุนเคลือบที่อัตราส่วน In:Sn เป็น 9:1

จากกราฟรูปที่ 4.29 4.30 และ 4.31 จะสามารถหาค่าความต้านทานแผ่นได้ด้วยสมการเดียวกับวิธีการจุ่มเคลือบ เมื่อคำนวณตามสมการจะได้ค่าความต้านทานออกมาดังนี้คือ อัตราส่วน In:Sn เป็น 1:1 มีค่าความต้านทานแผ่นคือ $2.2552 \text{ M}\Omega/\square$ 7:3 มีค่าความต้านทานแผ่นคือ $109.959 \text{ k}\Omega/\square$ และ 9:1 มีค่าความต้านทานแผ่นคือ $63.274 \text{ k}\Omega/\square$

- ผลของอัตราส่วนต่อค่าความต้านทานแผ่น



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแผ่นกับอัตราส่วนต่างๆ ของวิธีหมุน

เก็บบ

จากกราฟรูปที่ 4.32 จะเห็นว่า กรณี 9:1 มีความต้านทานต่ำสุด รองลงมาเป็น 7:3 และ 1:1 เนื่องจากปริมาณทินจะส่งผลต่ออิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งเมื่อปริมาณทินมากขึ้นจะทำให้อิเล็กตรอนอิสระน้อยลงจึงมีค่าความต้านทานน้อยลง

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษาโครงการพิเศษ

จากการศึกษาโครงการพิเศษเรื่องการศึกษาสมบัติทางแสงและสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบางโปร่งใสอินเดียมทินออกไซด์ เราได้สร้างเครื่องจุ่มเคลือบและเครื่องหมุนเคลือบเพื่อปลูกฟิล์มบางITO ที่อัตราส่วนระหว่าง In:Sn เป็น 1:1, 7:3 และ 9:1 ในแต่ละอัตราส่วนทำการปลูกความหนาต่างๆ กัน และแอนนีกที่อุณหภูมิ 600°C จากนั้นนำมาตรวจสอบสมบัติทางแสงและสมบัติทางไฟฟ้า พบว่าฟิล์มที่ปลูกได้จะมีโครงสร้างตามระนาบ (400) เมื่อเทียบกับฐานข้อมูล ซึ่งฟิล์มจะมีความเป็นผลึกมากกว่าอสัณฐาน เงื่อนไขการปลูกที่ดีที่สุดคือ In:Sn เป็น 9:1 เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (%T) ประมาณ 90-95% ในย่านความยาวคลื่นที่ตามองเห็น ($\lambda = 400-760$ nm) มีแถบพลังงานต้องห้ามประมาณ 3.95-4 eV และมีค่าความต้านทาน (R) ประมาณ $63.274 \times 10^3 \Omega/\square$ สำหรับวิธีจุ่มเคลือบและ $1.815 \times 10^3 \Omega/\square$ สำหรับวิธีหมุนเคลือบ จากผลการทดลองสรุปได้ว่าฟิล์มที่ปลูกโดยวิธีจุ่มเคลือบมีค่าความต้านทานต่ำ แต่ฟิล์มที่ปลูกโดยวิธีหมุนเคลือบมีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านสูงกว่าวิธีจุ่มเคลือบหรือฟิล์มที่มีความสม่ำเสมอมากกว่า

5.2 แนวทางในการพัฒนา

1. ปรับปรุงระบบหมุนเคลือบให้ดีขึ้นเช่น ปลูกฟิล์มในห้องคลุอากาศหรือในห้อง clean room เป็นต้น
2. ปรับปรุงเครื่องหมุนเคลือบให้ดีขึ้นเช่น มีระบบตั้งเวลาในการหมุนเคลือบได้โดยไม่ต้องปรับแรงดัน และต่อปั๊มฟลูอิดอากาศเพื่อให้เป็นระบบสุญญากาศ เป็นต้น
3. ทดลองที่อัตราส่วนเคมีหรืออัตราส่วนอื่นๆ และเปลี่ยนระดับความเร็วรอบของเครื่องหมุนเคลือบ
4. ตรวจสอบสมบัติทางแสงและสมบัติทางไฟฟ้าด้วยเครื่องมืออื่นๆ เช่น เครื่องมือวัดความต้านทานจำเพาะ โดยวิธี 4 ขั้วเชิงเส้น เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- M.J. Alam, D.C. Cameron. 2002. Investigation of annealing effects on sol-gel deposited indium tin oxide thin film in different atmospheres. In: **Thin Solid Films**, pp. 76-82. D.C. Cameron. 420-421. Ireland: Elsevier.
- J. Zhang, K.H. Au, Z.Q. Zhu, S. O'Shea. 2004. Sol-gel preparation of poly(ethylene glycol) doped indium tin oxide thin films for sensing application. In: **Optical Materials**, pp. 47-55. J. Zhang. 26. Singapore: Elsevier.
- Y. Djaoued, Vu Hong Phong, S. Badileseu, P.V. Ashrit, Fernand E. Girouard, Vo-Van Truong. 1997. Sol-gel-prepared ITO films for electrochromic systems. In: **Thin Solid Films**, pp. 108-112. 293. Canada: Elsevier.
- Cost effect equipment. Spin coat theory
- J. W. Bae, H. C. Lee and G. Y. Yeom. 2005. Effects of Tin Concentration and Post-Annealing on the Electrical and the Optical Properties of $\text{In}_{2-x}\text{Sn}_x\text{O}_3$ ($x = 0\sim 0.25$) Deposited at Room Temperature. In: **Journal of the Korean Physical Society**, pp. 889 – 894. Korean.
- S.M. Rozati, T. Ganj. 2004. Transparent conductive Sn-doped indium oxide thin films deposited by spray pyrolysis technique. In: **Renewable Energy**, pp. 1671–1676. Iran: Elsevier.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TOSHIBA BIPOLAR LINEAR INTEGRATED CIRCUIT SILICON MONOLITHIC

TA7259P, TA7259P(LB), TA7259F

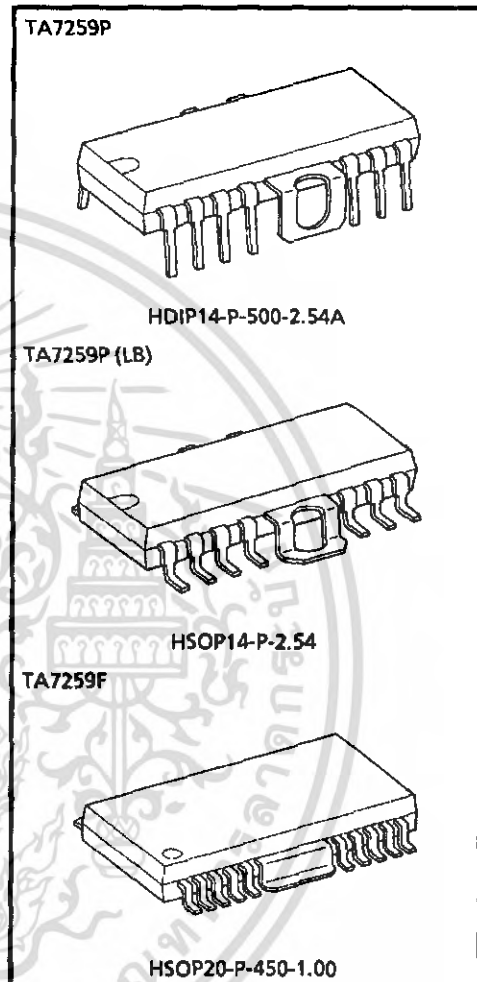
DC MOTOR DRIVER IC

The TA7259P is a 3-phase Bi-directional motor driver IC. It designed for use VTR tape deck, floppy disk and record player motor drivers.

It contains output power drivers, position sensing circuits, control amplifier and CW/CCW control circuit.

FEATURES

- 3-phase Bi-directional driver and output current up to $\pm 1.2A$.
- Few external parts required.
- Wide operating supply voltage range : $V_{CC}(\text{opr.})$ MIN. = 7V
- Forward and reverse rotation is controlled simply by means of a CW/CCW control signal fed into FRS.
- High sensitivity of position sensing amplifier. ($V_H = 10mV$ (Typ.)), recommend to use TOSHIBA Ga-As hall sensor "THS" series.
- Surge protect diode connected for all input terminals. (Position sensing, control, CW/CCW control inputs.)
- DIP-14F power package.



Weight

| | |
|--------------------|----------------|
| HDIP14-P-500-2.54A | : 3.00g (Typ.) |
| HSOP14-P-2.54 | : 3.00g (Typ.) |
| HSOP20-P-450-1.00 | : 0.79g (Typ.) |

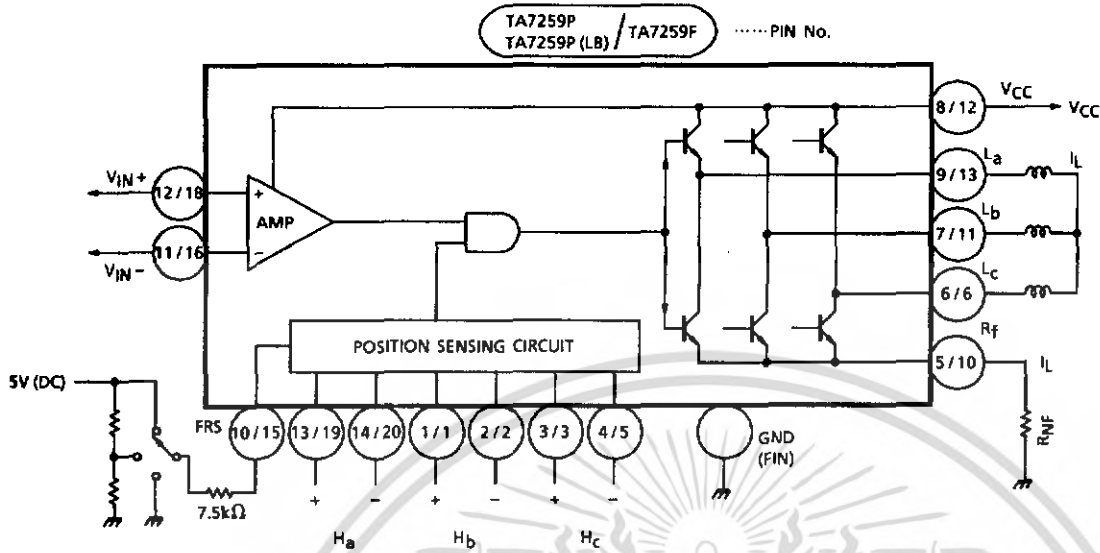
961001EBA1

- TOSHIBA is continually working to improve the quality and the reliability of its products. Nevertheless, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when utilizing TOSHIBA products, to observe standards of safety, and to avoid situations in which a malfunction or failure of a TOSHIBA product could cause loss of human life, bodily injury or damage to property. In developing your designs, please ensure that TOSHIBA products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook.
- The products described in this document are subject to foreign exchange and foreign trade control laws.
- The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA CORPORATION for any infringements of intellectual property or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any intellectual property or other rights of TOSHIBA CORPORATION or others.
- The information contained herein is subject to change without notice.

1997-08-27 1/9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BLOCK DIAGRAM



PIN FUNCTION

| PIN No. | | SYMBOL | FUNCTION DESCRIPTION |
|---------|--------|-------------------|---|
| P TYPE | F TYPE | | |
| 1 | 1 | H _b + | b-phase Hall Amp. positive input terminal |
| 2 | 2 | H _b - | b-phase Hall Amp. negative input terminal |
| 3 | 3 | H _c + | c-phase Hall Amp. positive input terminal |
| 4 | 5 | H _c - | c-phase Hall Amp. negative input terminal |
| 5 | 10 | R _f | Output current detection terminal |
| 6 | 6 | L _c | c-phase drive output terminal |
| 7 | 11 | L _b | b-phase drive output terminal |
| 8 | 12 | V _{CC} | Power supply input terminal |
| 9 | 13 | L _a | a-phase drive output terminal |
| 10 | 15 | FRS | Forward / Reverse / Stop switch terminal |
| 11 | 16 | V _{IN} - | Control Amp, negative input terminal |
| 12 | 18 | V _{IN} + | Control Amp, positive input terminal |
| 13 | 19 | H _a + | a-phase Hall Amp. positive input terminal |
| 14 | 20 | H _a - | a-phase Hall Amp. negative input terminal |
| Fin | Fin | GND | GND Terminal |

FUNCTION

| FRS (10 PIN) | POSITION SENSING INPUT | | | COIL OUTPUT | | |
|-----------------|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | H _a | H _b | H _c | L _a | H _b | L _c |
| L | 1 | 0 | 1 | H | L | M |
| | 1 | 0 | 0 | H | M | L |
| | 1 | 1 | 0 | M | H | L |
| | 0 | 1 | 0 | L | H | M |
| | 0 | 1 | 1 | L | M | H |
| | 0 | 0 | 1 | M | L | H |
| H | 1 | 0 | 1 | L | H | M |
| | 1 | 0 | 0 | L | M | H |
| | 1 | 1 | 0 | M | L | H |
| | 0 | 1 | 0 | H | L | M |
| | 0 | 1 | 1 | H | M | L |
| | 0 | 0 | 1 | M | H | L |
| M | 1 | 0 | 1 | High Impedance | | |
| | 1 | 0 | 0 | | | |
| | 1 | 1 | 0 | | | |
| | 0 | 1 | 0 | | | |
| | 0 | 1 | 1 | | | |
| | 0 | 0 | 1 | | | |

MAXIMUM RATINGS (Ta = 25°C)

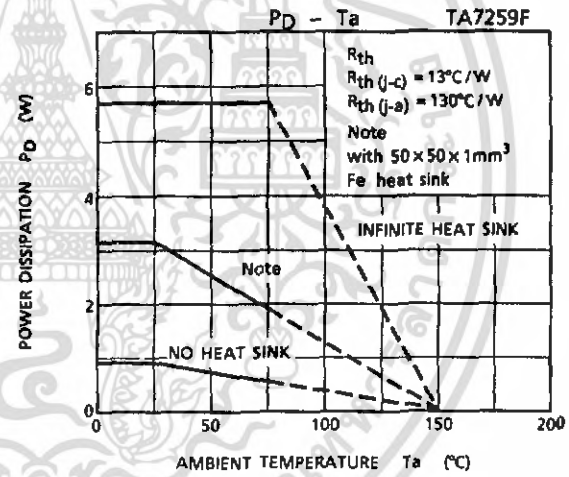
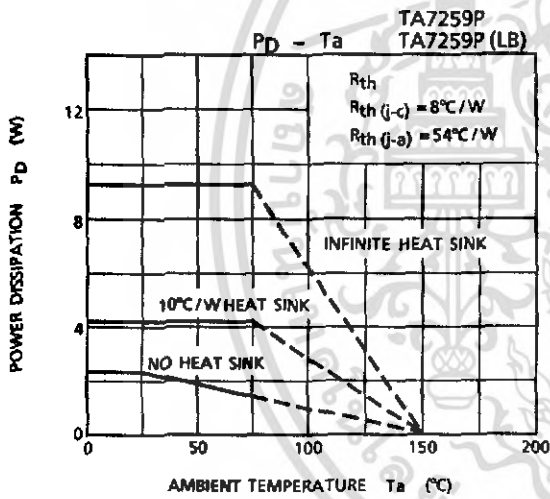
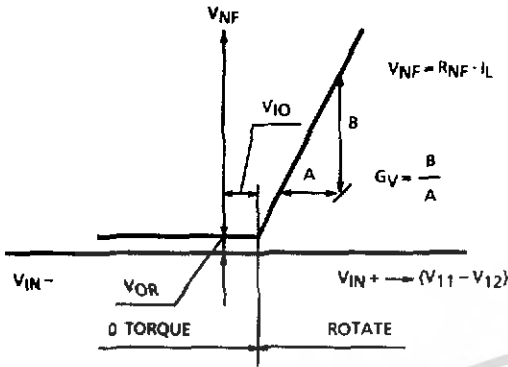
| CHARACTERISTIC | | SYMBOL | RATING | UNIT |
|-----------------------------|--------------|------------------|---------|------|
| Supply Voltage | | V _{CC} | 26 | V |
| Output Current | | I _O | 1.2 | A |
| Power Dissipation (Note) | TA7259P | P _D | 2.3 | W |
| | TA7259P (LB) | | 2.3 | |
| | TA7259F | | 1.0 | |
| Operating Temperature | | T _{opr} | -30~75 | °C |
| Storage Temperature | | T _{stg} | -55~150 | °C |

(Note) No heat sink.

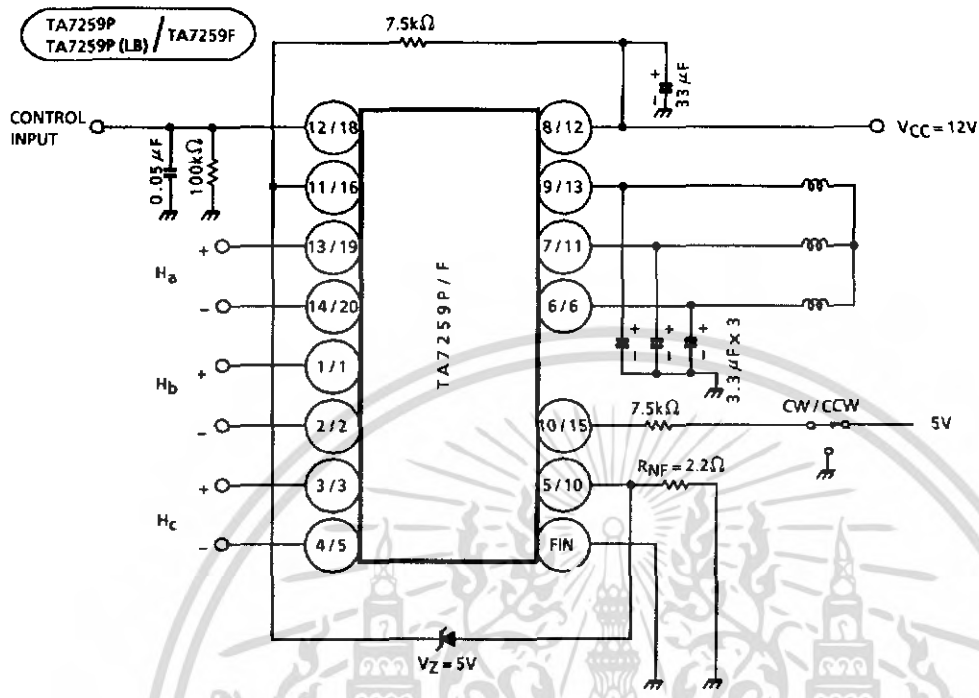
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Unless otherwise specified, $V_{CC} = 12V$, $T_a = 25^\circ C$)

| CHARACTERISTIC | | SYMBOL | TEST CIR-CUIT | TEST CONDITION | MIN. | TYP. | MAX. | UNIT |
|--|----------|--------------------|---------------|----------------------------|------|------|----------------|------------------|
| Quiescent Current | | I_{CC1} | — | FRS open | 2 | 4 | 7 | mA |
| | | I_{CC2} | — | FRS = 5V | 2 | 5 | 9 | |
| | | I_{CC3} | — | $V_{CC} = 22V$, FRS = GND | 2 | 5 | 9 | |
| Input Offset Voltage | | V_{IO} | — | — | — | 40 | — | mV |
| Residual Output Voltage | | V_{OR} | — | $V_{IN-} = V_{IN+} = 7V$ | — | 0 | 10 | mV |
| Voltage Gain | | G_V | — | $R_{NF} = 2.2\Omega$ | — | 15.0 | — | — |
| Saturation Voltage | Upper | V_{SAT1} | — | $I_L = 400mA$ | — | 1.0 | 1.5 | V |
| | Lower | V_{SAT2} | — | | — | 0.4 | 1.0 | |
| Cut-off Current | Upper | I_{OC1} | — | $V_C = 20V$ | — | — | 20 | μA |
| | Lower | I_{OC2} | — | | — | — | 20 | |
| Position sensing Input Sensitivity | | V_H | — | — | — | 10 | — | mV |
| Maximum Position Sensing Input Voltage | | $V_H \text{ MAX.}$ | — | — | — | — | 400 | mV _{pp} |
| Input Operating Voltage | Position | CMR_H | — | — | 2.0 | — | $V_{CC} - 2.5$ | V |
| | Control | CMR_C | — | — | 2.0 | — | $V_{CC} - 2.5$ | |
| Rotation Control Input Voltage | CW | V_F | — | — | — | 0 | 0.4 | V |
| | STOP | V_S | — | — | 2.5 | 3.0 | 3.5 | |
| | CCW | V_R | — | — | 4.5 | 5.0 | 5.8 | |

INPUT vs OUTPUT



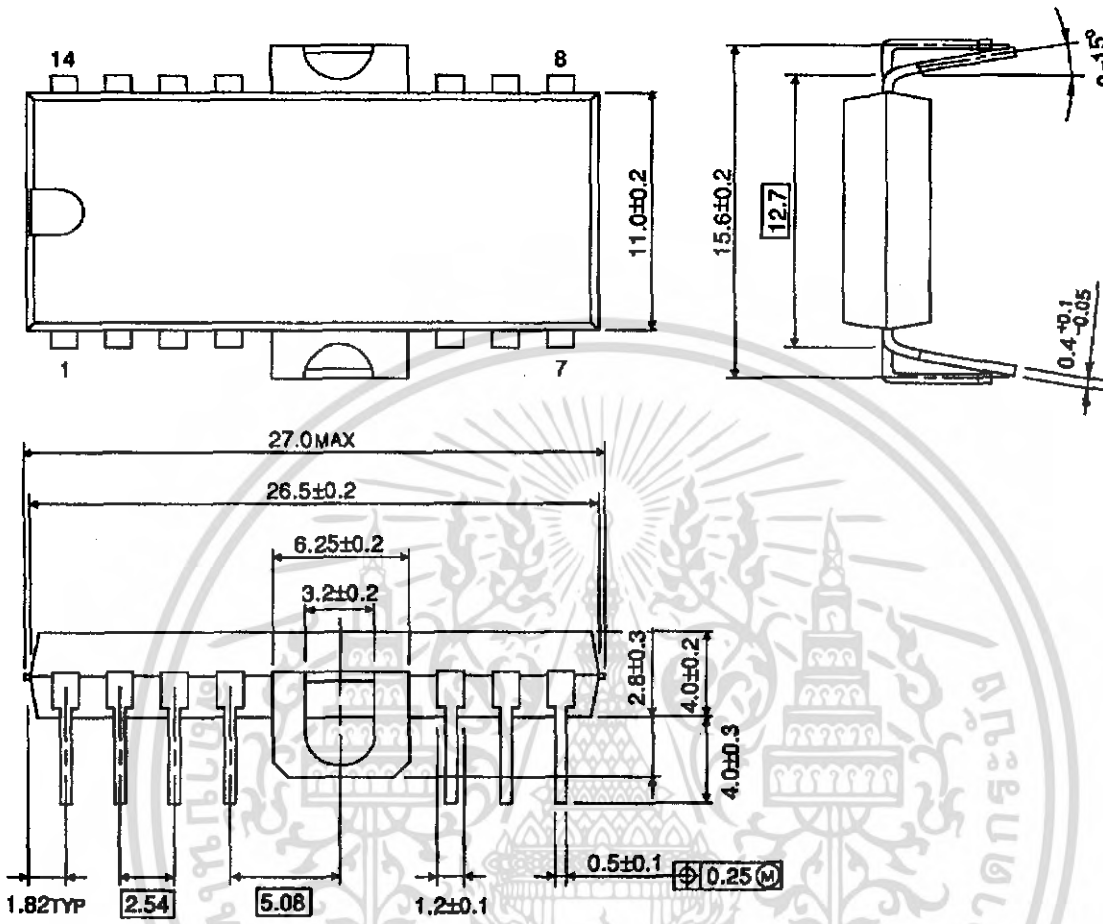
APPLICATION CIRCUIT



(Note) Utmost care is necessary in the design of the output line, V_{CC} and GND line since IC may be destroyed due to short-circuit between outputs, air contamination fault, or fault by improper grounding.

OUTLINE DRAWING
HDIP14-P-500-2.54A

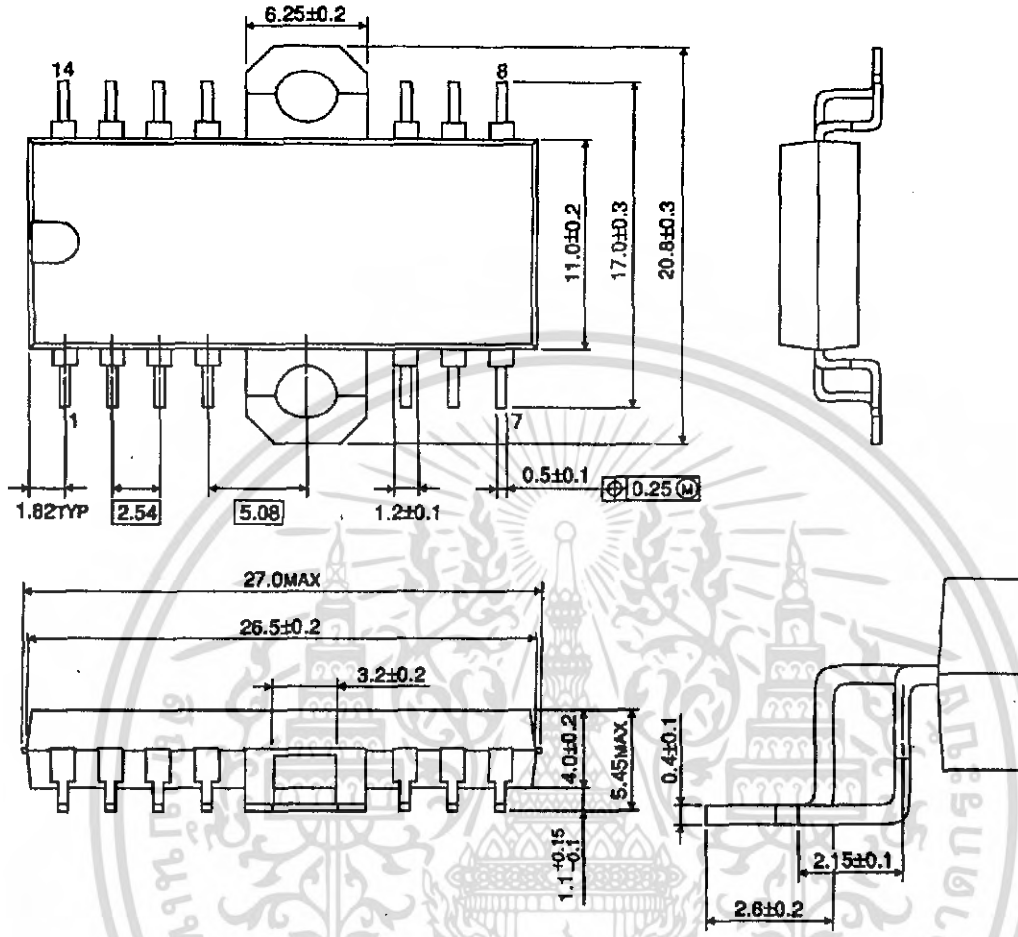
Unit : mm



Weight : 3.00g (Typ.)

OUTLINE DRAWING
HSOP14-P-2.54

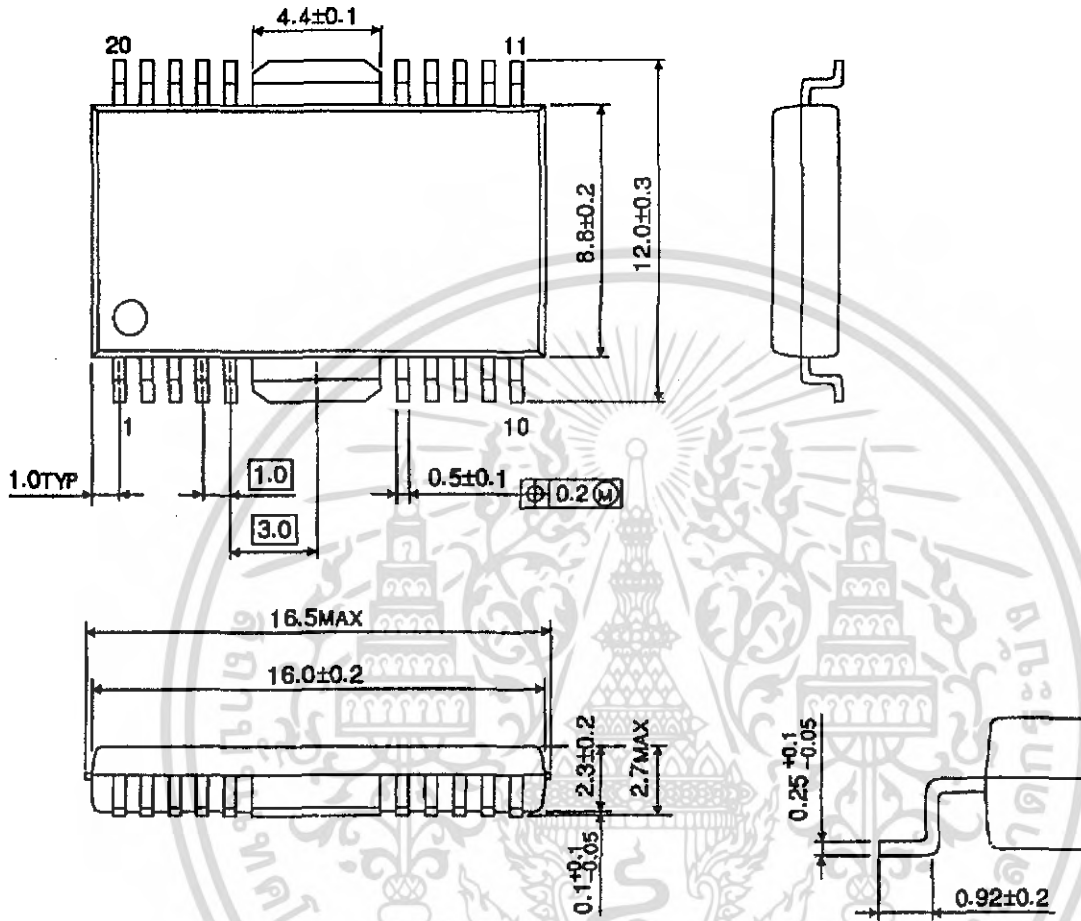
Unit : mm



Weight : 3.00g (Typ.)

OUTLINE DRAWING
HSOP20-P-450-1.00

Unit : mm



Weight : 0.79g (Typ.)