

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

**การเตรียมและศึกษาสมบัติเฉพาะทางแสง
ของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์**



นายสุทรนันท์ เจริญเสถียร โชค
นางสาวศรีัญญา วณิชปริญญากุล

ร.พ.
๗๖๖๓๘
๑๓๔๙

เลขหมู่.....**76638**
เลขทะเบียน.....**- 3 S.ค. 2550**
วัน,เดือน,ปี.....

| |
|---------------|
| b. 118.505.28 |
| i. |

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา พ.ศ. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Preparation and Optical Characteristic of ZnON Thin Films



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
Academic Year 2006

โครงการพิเศษเรื่อง

การเตรียมและศึกษาสมบัติเฉพาะทางแสง

ของฟิล์มบางซึ่งค้อออกซีไนไตรด์

นักศึกษา

นายสุทรนันท์ เจริญเสถียรโชค

นางสาวศรียุญา วนิชปริญญากุล

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

สาขาวิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์ – โพลิตสเทคโนโลยีทรอนิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.จิติ หนูแก้ว

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

| คณะกรรมการตรวจสอบ | ลายมือชื่อ |
|----------------------|-----------------------|
| ประธานกรรมการ | รศ. สุวรรณ ภูสาราญ |
| กรรมการ | รศ. วิชาญ เจริญศิริระ |
| กรรมการ | รศ. วิษณุ เพชรภา |
| กรรมการที่ปรึกษา | รศ.ดร.จิติ หนูแก้ว |
| กรรมการที่ปรึกษาร่วม | อ.เบญจพล ต้นธุ์ |

วิชาญ

(รองศาสตราจารย์วิชาญ เจริญศิริระ)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การเตรียมและศึกษาสมบัติเฉพาะทางแสงของฟิล์มบาง
ซิงค์ออกไซด์ในไตรด์

นักศึกษา

นางสาวศรีัญญา วณิชปริชญากุล
นายสุทธินันท์ เจริญเสถียรโชค

รหัสประจำตัว

46050199

46050205

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สาขาวิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

พ.ศ.

2549

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

รศ.ดร. จิติ หนูแก้ว

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เป็นการปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์ บนฐานรองรับที่เป็นกระจก โดยใช้เครื่องอาร์เอฟแมกนีตรอนสปัตเตอริง เข้าสารเคลือบที่ใช้เป็น ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ที่มีความบริสุทธิ์ 99.999% และทำการเตรียมฟิล์มในบรรยากาศผสมของก๊าซไนโตรเจน (N_2) และก๊าซอาร์กอน (Ar) ที่กำลังสัญญาณ RF และความหนาที่เหมาะสม โครงสร้างฟิล์มบางจะถูกศึกษาด้วยเครื่อง X-ray diffraction จะพบโครงสร้างเป็นแบบผลึกเฮกซาโกนัลที่มีระนาบ (002) ในทุกตัวอย่าง ค่าการทะลุผ่านของแสงจะถูกวัดด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer และสามารถใช่ผลการวัดที่ได้มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (absorption coefficients) เพื่อนำไปสู่การคำนวณหาค่าแถบพลังงานต้องห้าม จากการเปลี่ยนแปลงของค่าแถบพลังงานต้องห้าม สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นฟิล์มกรองแสงในยานความยาวคลื่นแสงที่ต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|-----------------------|---|
| Thesis Title | Preparation and Optical Characteristic of ZnON Thin Films |
| Student | Miss.Sarinya Wanitparinyakun Mr.Suttinan Jaroensathianchok |
| Student ID. | 46050199 46050205 |
| Department | Appied Physics |
| Program | Appied Physics |
| Academic Year | 2549 |
| Thesis Advisor | Assoc. Prof. Dr. Jiti Nukeaw |

ABSTRACT

In this project is a deposition of Zinc oxynitride (ZnON) thin films on glass substrates by RF magnetron sputtering with using 99.999% purified Zinc Oxide target (ZnO). The films were prepared in Mixed of N_2 and Ar Atmosphere with proper RF power. The film structure was studied by X-ray diffraction, the XRD patterns shown with (002) plane hexagonal in all samples. The optical transmittance was measured by UV-VIS Spectrophotometer. The calculate absorption coefficients were obtained from the optical transmittance result. Therefore, the optical ban gap (E_{opt}) were defined by the tuac's plot method. The vary of optical ban gap can be apply to use as an optical filter in expected wavelength.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความสามารถ จากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.จิตติ หนูแก้ว และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์เบญจพล คันธุ์ ที่ให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะและข้อแนะนำต่างๆ ตลอดจนช่วยแก้ไขปัญหาแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ รศ.สุวรรณ คุณสารานู รศ.วิชาญ เตชิตธีระ และ รศ.วิษณุ เพชรภา กรรมการสอบโครงการพิเศษที่ให้คำชี้แนะและตรวจแก้ จนทำให้โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความสำเร็จ

ขอขอบคุณสถาบันนิติวิทยาศาสตร์ที่ให้การอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction : XRD)

ขอขอบคุณพี่ๆจากห้องปฏิบัติการควอนตัมและสารกึ่งตัวนำทางแสง (QOSLab) ทุกคนที่ให้กำลังใจและคำแนะนำที่ดีเสมอมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆ จากห้องปฏิบัติการควอนตัมและสารกึ่งตัวนำทางแสง (QOSLab) ทุกคนที่ให้กำลังใจกันเสมอมา

สำหรับคุณงามความดีและประโยชน์อันเกิดจากโครงการพิเศษฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับมารดาและบิดาอันเป็นที่รักและเคารพ ตลอดจนครอบครัวบาอาจารย์ที่เคยมิประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ต่างๆ แก่ข้าพเจ้า

นางสาวศรียญา วนิชปริญากุล
นายสุทธินันท์ เจริญเสถียรโชค

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| สารบัญ | ง |
| สารบัญตาราง | ช |
| สารบัญรูปภาพ | ซ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย | 1 |
| 1.3 การดำเนินงานวิจัย | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ | 3 |
| 2.1 คุณสมบัติของธาตุ | 3 |
| 2.2 โครงสร้างผลึก | 4 |
| 2.2.1 การจัดกลุ่มแลตทิซ | 5 |
| 2.2.2 โครงสร้างผลึกของซิงค์ออกไซด์ | 6 |
| 2.2.3 ดัชนีมิลเลอร์ | 7 |
| 2.2.4 ข้อบกพร่องผลึก | 9 |
| 2.3 ทฤษฎีการปลูกฟิล์มบางด้วยระบบสปัตเตอร์ริง | 10 |
| 2.3.1 หลักการสปัตเตอร์ริง | 12 |
| 2.3.2 อันตรกิริยาระหว่างไอออนและผิวเป้าของสารเคลือบ | 12 |
| 2.3.3 ค่ายึดติดของสปัตเตอร์ริง | 13 |
| 2.3.4 ขบวนการก๊าซดิสชาร์จ | 14 |
| 2.3.5 ระบบปลูกฟิล์มบางอาร์เอฟสปัตเตอร์ริง | 15 |
| 2.4 หลักการเครื่องมือวิเคราะห์สมบัติเฉพาะของฟิล์มบาง | 15 |
| 2.4.1 การศึกษาโครงสร้างผลึกจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ | 15 |
| 2.4.2 การศึกษาสมบัติทางแสงด้วยวิธีวัดสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสง | 21 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 2.5 ทฤษฎีโครงสร้างแถบพลังงาน | 22 |
| 2.5.1 โครงสร้างแถบพลังงานของโลหะ สารกึ่งตัวนำ และฉนวน | 23 |
| 2.6 การหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากสเปกตรัมการส่งผ่านของแสง | 24 |
| บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย | 27 |
| 3.1 ระบบอาร์เอฟแมกนีตรอนสปีดเทอริง | 27 |
| 3.1.1 ห้องสุญญากาศ | 27 |
| 3.1.2 ระบบปั๊มสุญญากาศและอุปกรณ์การวัดความดันสุญญากาศ | 28 |
| 3.2 ขั้นตอนการทำความสะอาดฐานรองรับกระจก | 32 |
| 3.3 การปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์ด้วยระบบอาร์เอฟสปีดเทอริง | 32 |
| 3.3.1 การปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์โดยการควบคุมอัตราส่วนการจ่ายก๊าซ | 33 |
| 3.3.2 การปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์โดยควบคุมกำลังสัญญาณวิทยุความถี่ 13.56 MHz | 33 |
| 3.3.3 การปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์โดยการควบคุมความหนาของฟิล์มที่ปลูก | 33 |
| 3.4 ขั้นตอนการตรวจสอบสมบัติของฟิล์มบาง | 33 |
| 3.4.1 การตรวจสอบสมบัติทางโครงสร้างโดยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ | 33 |
| 3.4.2 UV-VIS Spectrophotometer | 34 |
| บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย | 36 |
| 4.1 การตรวจสอบสภาพความเป็นผลึกของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์ | 36 |
| 4.1.1 ปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์โดยการควบคุมอัตราส่วนการจ่ายก๊าซ | 36 |
| 4.1.2 การปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์โดยควบคุมกำลังสัญญาณวิทยุความถี่ 13.56 MHz | 38 |
| 4.1.3 การปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์โดยการควบคุมความหนาของฟิล์มที่ปลูก | 39 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 4.2 การตรวจสอบการทะลุผ่านของแสงของผลึกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์ | 40 |
| 4.2.1 ปลุกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์โดยการควบคุม อัตราส่วนการจ่ายก๊าซ | 40 |
| 4.2.2 การปลุกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์โดยควบคุมกำลัง สัญญาณวิทยุความถี่ 13.56 MHz | 42 |
| 4.2.3 การปลุกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์โดยการควบคุมความหนาของ ฟิล์มที่ปลุก | 44 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย | 47 |
| 5.1 ผลการวิจัยจากการวัดด้วยเครื่อง X-ray diffractometer | 47 |
| 5.2 ผลการวิจัยจากการวัดด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer | 47 |
| เอกสารอ้างอิง | 48 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

ตารางที่ 2.1 การจัดกลุ่มเขตพิษ

5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 แสดงโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์ของซิงค์ออกไซด์ | 7 |
| 2.2 แสดงดัชนีมิลเลอร์ของระนาบในโครงสร้างผลึกแบบคิวบิก | 7 |
| 2.3 ดัชนีมิลเลอร์ของระนาบในโครงสร้างผลึกแบบเฮกซาโกนัล | 8 |
| 2.4 แสดงข้อบกพร่องผลึก | 9 |
| 2.5 แสดงเครื่องสปีดเตอร์ริง | 10 |
| 2.6 ลักษณะสเตปคอปเวอร์จที่มักเกิดขึ้น | 11 |
| 2.7 แสดงอันตรกิริยาระหว่างไอออนและผิวแข็งของสารเคลือบ | 13 |
| 2.8 แสดงการคกกระทบและการสะท้อนของรังสีเอ็กซ์ตามกฎของแบรกก์ | 16 |
| 2.9 แสดงเครื่อง X-ray diffractometer | 17 |
| 2.10 แสดงตัวตรวจวัดของ X-ray diffractometer | 17 |
| 2.11 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ | 18 |
| 2.12 แสดงค่าคงที่แลตทิซของสารกึ่งตัวนำชนิดต่างๆ | 20 |
| 2.13 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงทะลุผ่านตัวกลาง | 21 |
| 2.14 แสดงโครงสร้างแถบพลังงาน | 23 |
| 2.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงกับความยาวคลื่น โดยเส้นที่บจะแสดงขอบการดูดกลืนพื้นฐาน | 25 |
| 3.1 ระบบอาร์เอฟ แมกนีตรอนสปีดเตอร์ริง | 27 |
| 3.2 ลักษณะของปั๊มกลโรตารี | 29 |
| 3.3 ลักษณะของปั๊มไอฟุ้งกระจาย | 30 |
| 3.4 ลักษณะของเกจพิรานี | 30 |
| 3.5 ลักษณะของเกจเพินนิง | 31 |
| 3.6 แสดงเครื่อง X-ray diffractometer รุ่น D8 Discover | 34 |
| 3.7 แสดงเครื่อง UV-VIS ยี่ห้อ Thermo electron corporation รุ่น Heλios_๐๐ | 35 |
| 4.1 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์ที่ ควบคุมอัตราส่วน ของการจ่ายก๊าซอาร์กอนกับไนโตรเจน | 37 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.2 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบางซึ่งค้ออกซี่ไนไตรด์ที่ควบคุมด้วยกำลัง 30, 50, 80, 120 และ 170 W | 38 |
| 4.3 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบางซึ่งค้ออกซี่ไนไตรด์ที่ควบคุมความหนา 200, 400 และ 1,000 นาโนเมตร | 39 |
| 4.4 การทะลุผ่านของแสงของฟิล์มบางซึ่งค้ออกซี่ไนไตรด์ที่ควบคุมอัตราส่วนของ การจ่ายก๊าซอาร์กอนกับไนโตรเจน | 40 |
| 4.5 กราฟเทอซ์ของฟิล์มบางซึ่งค้ออกซี่ไนไตรด์ที่ควบคุมอัตราส่วนของการจ่ายก๊าซ อาร์กอนกับไนโตรเจน | 41 |
| 4.6 กราฟระหว่างอัตราส่วนการจ่ายก๊าซอาร์กอนกับไนโตรเจนกับค่า Optical Band Gap ของฟิล์มบางซึ่งค้ออกซี่ไนไตรด์ | 42 |
| 4.7 การทะลุผ่านของแสงของฟิล์มบางซึ่งค้ออกซี่ไนไตรด์ที่ควบคุมกำลังสัญญาณวิทยุ ความถี่ 13.56 MHz | 43 |
| 4.8 กราฟเทอซ์ของฟิล์มบางซึ่งค้ออกซี่ไนไตรด์ที่ควบคุมกำลังสัญญาณวิทยุ ความถี่ 13.56 MHz | 43 |
| 4.9 กราฟระหว่างกำลังสัญญาณวิทยุความถี่ 13.56 MHz กับค่า Optical Band Gap ของฟิล์มบางซึ่งค้ออกซี่ไนไตรด์ | 44 |
| 4.10 การทะลุผ่านของแสงของฟิล์มบางซึ่งค้ออกซี่ไนไตรด์ที่ควบคุมความหนาของฟิล์มที่ปลูก | 45 |
| 4.11 กราฟเทอซ์ของฟิล์มบางซึ่งค้ออกซี่ไนไตรด์ที่ควบคุมความหนาของฟิล์มที่ปลูก | 46 |
| 4.12 กราฟระหว่างความหนาของฟิล์มที่ปลูกกับค่า Optical Band Gap ของฟิล์มบางซึ่งค้ออกซี่ไนไตรด์ | 46 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

สารประกอบของสังกะสี (Zinc) มีหลากหลายลักษณะ และเป็นที่น่าสนใจอันเนื่องมาจากคุณสมบัติที่สำคัญของตัวสารประกอบเหล่านั้น เช่น การเจือเพื่อให้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนออกไซด์ (ZnO) ที่มีความเป็นวัสดุโปร่งแสง พึ่งพาบางที่นำไฟฟ้า เพราะมีความโปร่งใสในช่วงแสงที่ตามองเห็นและมีความสามารถในการนำไฟฟ้าที่ดี [T.Minami, H.Nanto, S.Takata, J. Appl. Phys. Lett.41 (1982)958 และ M.Kadota, T.Kasanami, M.Minakata, Jpn. J. Appl. Phys. 32 (1993) 2341]

โดยเฉพาะสารประกอบออกไซด์ของโลหะสังกะสี ที่เจือด้วยโลหะอื่น เช่น Zn-Sn-N-O และ Zn-In-N-O ได้มีการทดลองเตรียมและพิจารณาเป็นวัสดุชนิดใหม่สำหรับฟิล์มโปร่งใสและนำไฟฟ้าได้ อย่างไรก็ตามฟิล์มบางเชิงซ้อนออกไซด์ในไตรด์ (ZnON) แทบจะไม่มีการศึกษาเลย

จากสารประกอบไนไตรด์ของโลหะสังกะสี ที่เป็นสารกึ่งตัวนำแบบ n-type มีค่าแถบพลังงานต้องห้ามเท่ากับ 1.23 eV [M.Futsuhara, K.Yoshioka, O.Takai, Proc., 3rd Asia-Pacific Sympo. On Plasma Sci. and Technol., (1996)511] โดยที่สารประกอบออกไซด์ของโลหะสังกะสี มีค่าแถบพลังงานต้องห้ามอยู่ที่ประมาณ 3.2 eV เพราะฉะนั้นเราสามารถคาดการณ์ได้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของ Optical band gap จาก 1.23 ถึง 3.2 eV โดยการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติหรือองค์ประกอบของฟิล์มบาง Zinc-Oxide-Nitride หรือเชิงซ้อนออกไซด์ในไตรด์ โดยมีความเป็นไปได้ที่จะนำฟิล์มที่เตรียมได้ ไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุหรืออุปกรณ์ทางแสงในช่วงแสงที่ตามองเห็น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาโครงสร้างที่จะศึกษาด้วยเครื่อง X-ray diffraction
- 1.2.2 เพื่อศึกษาค่าการทะลุผ่านของแสงของฟิล์มบางเชิงซ้อนออกไซด์ในไตรด์ ที่จะวัดด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer
- 1.2.3 เพื่อศึกษาค่า Optical band gap (E_g) โดยคำนวณจากค่าการทะลุผ่านของแสง
- 1.2.4 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของก๊าซไนโตรเจน ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบางเชิงซ้อนออกไซด์ในไตรด์ ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 การดำเนินงานวิจัย

การวิเคราะห์สมบัติทางแสงของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์ โดยฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์ จะปลูกบนฐานรองรับที่เป็นกระจก เป้าสารเคลือบที่ใช้เป็นซิงค์ออกไซด์ที่มีความบริสุทธิ์ 99.999% และทำการเตรียมฟิล์มในบรรยากาศผสมของก๊าซไนโตรเจนและก๊าซอาร์กอนโดยใช้เครื่องอาร์เอฟแมกนีตรอนสปัตเตอริง ที่กำลังสัญญาณ RF ที่เหมาะสม โครงสร้างฟิล์มบางจะถูกศึกษาด้วยเครื่อง X-ray diffraction ค่าการทะลุผ่านของแสงจะถูกวัดด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer และสามารถนำผลการวัดที่ได้มาคำนวณหา absorption coefficients เพื่อนำไปสู่การคำนวณหาค่าแถบพลังงานต้องห้ามของฟิล์มตัวอย่างต่อไป

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.4.1 มีความรู้และความสามารถในการปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์ บนฐานรองรับที่เป็นกระจกด้วยระบบอาร์เอฟแมกนีตรอนสปัตเตอริง

1.4.2 ทำให้ทราบถึงผลกระทบต่อคุณสมบัติเฉพาะของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์ บนฐานรองรับที่เป็นกระจกเนื่องจากการเปลี่ยนเงื่อนไขของการปลูกฟิล์ม

1.4.3 มีความรู้ความชำนาญในการวัดและวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยเครื่อง X-ray diffraction (XRD) และเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer

1.4.4 สามารถนำฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์ ที่ปลูกได้ไปประยุกต์ใช้เป็นตัวกรองแสงในย่านที่เหมาะสมได้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 คุณสมบัติของธาตุ

2.1.1 สังกะสี (Zinc)

สังกะสี มีสูตรทางเคมีว่า Zn เป็นสารเคมีที่มีเลขอะตอมเท่ากับ 30 เป็นสารที่อยู่ในกลุ่มของพวกโลหะตัวนำ ลักษณะของเนื้อสารจะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องและมีสีที่ออกเป็นสีน้ำเงินจางเทา ก็คือเป็นสีน้ำเงินอ่อนๆผสมกับสีเทา มีเลขมวลอะตอมเท่ากับ 65.409 กรัมต่อโมล มีจุดหลอมเหลวของเนื้อสารที่อุณหภูมิ 692.68 เคลวิน (419.53 °C หรือ 787.15 °F) และมีจุดเดือดของสารอยู่ที่ 1180 เคลวิน (907 °C หรือ 1665 °F) โครงสร้างผลึกของสังกะสี จะมีลักษณะเป็นเฮกซาโกนัล ลักษณะหรือลักษณะพิเศษ เป็น โลหะจำพวกหนึ่งในกลุ่มแร่โลหะพื้นฐาน มักพบเป็นเพื่อนแร่กับแร่ตะกั่วเสมอ และอาจเกิดร่วมกับแร่เงิน ทองแดง แคลเมียม พลวง สารหนู แบเรียม บิสมัท มีคุณสมบัติทางเคมี ทนทานต่อการสึกกร่อน ช่วยยืดอายุการใช้งานของเหล็ก ประโยชน์ของแร่สังกะสี เป็นสินแร่สังกะสีดีลึงเอาโลหะสังกะสีมาใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบแผ่นเหล็ก ทำสังกะสีมุงหลังคา กระจกป้องกันรังสี ให้หล่อส่วนประกอบต่าง ๆ ของรถยนต์ นอกจากนี้ยังใช้ในการทำยารักษาโรคและเคมีภัณฑ์ ถิ่นที่อยู่ บริเวณคอคอยผาแดง ตำบลแม่กู ตำบลแม่ดาว อำเภอแม่สอด และตำบลพระธาตุ อำเภอแม่ระมาด ความสัมพันธ์กับชุมชน ทำให้ประชาชนที่อยู่บริเวณนั้นมีงานทำซึ่งเพิ่มรายได้ให้มากขึ้น ความสัมพันธ์ทางเศรษฐกิจ เป็นสินค้าส่งออกที่ทำรายได้เข้าประเทศ นอกจากนี้ยังนำมาใช้ผลิตวัสดุอุปกรณ์สำหรับใช้ภายในประเทศ

2.1.2 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide)

ซิงค์ออกไซด์เป็นสารประกอบทางเคมีที่มีสูตรทางเคมีว่า ZnO สารซิงค์ออกไซด์ ไม่สามารถละลายได้ในน้ำ แต่สามารถละลายได้ในกรดและเบส สารซิงค์ออกไซด์ จะพบอยู่ในผลึกเฮกซาโกนัล หรือในรูปของผงแป้งสีขาวที่รู้จักในชื่อว่า Zinc white และจะยังคงขาวอยู่ได้เมื่อถูกไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือถูกแสงอัลตราไวโอเล็ต ผลึกโปร่งแสงของซิงค์ออกไซด์ อธิบายได้ด้วย piezoelectric effect , luminescent (สีของสารซิงค์ออกไซด์ ที่มีสีขาวจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อถูกให้ความร้อน และจะกลับเป็นสีขาวตามเดิมเมื่ออุณหภูมิลดลง) และการตอบสนองต่อแสงขาว สารซิงค์ออกไซด์ จะสลายตัวกลายเป็นไอระเหยของสังกะสี และก๊าซออกซิเจนที่อุณหภูมิประมาณ 1975 °C สารซิงค์ออกไซด์ ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติส่วนใหญ่จะเป็นแร่ zincite

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ไนโตรเจน (Nitrogen)

ไนโตรเจนเป็นธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีสัญลักษณ์ N และเลขอะตอม 7 เป็นอโลหะที่มีสถานะเป็นแก๊สที่มีอยู่ทั่วไป โดยปกติไม่มีสี กลิ่น หรือรส แต่ละโมเลกุลมี 2 อะตอม ไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบของบรรยากาศของโลกถึง 78 เปอร์เซ็นต์ และเป็นส่วนประกอบของเนื้อเยื่อในสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้ไนโตรเจนยังเป็นส่วนประกอบในสารประกอบที่สำคัญหลายชนิด เช่น กรดอะมิโน แอมโมเนีย กรดไนตริก และสารจำพวกไซยาไนด์ ไนโตรเจนเป็นธาตุอโลหะที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี 3.0 มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 5 อิเล็กตรอน ไนโตรเจนบริสุทธิ์ประกอบด้วยอะตอมของไนโตรเจน 2 อะตอม มีสถานะเป็นแก๊สที่อุณหภูมิห้อง ไม่มีสี กลิ่น หรือรส เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของบรรยากาศโลก เนื่องจากมีปริมาณมากถึง 78 เปอร์เซ็นต์ของแก๊สทั้งหมด ที่ความดัน 1 บรรยากาศ ไนโตรเจนจะควบแน่นเป็นไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิ 77 เคลวิน และแข็งตัวที่อุณหภูมิ 63 เคลวิน

2.1.4 ออกซิเจน (Oxygen)

ออกซิเจนเป็นธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีสัญลักษณ์ O และเลขอะตอม 8 ธาตุนี้พบมาก ทั้งบนโลกและทั่วทั้งจักรวาล โมเลกุลออกซิเจน (O_2 , มักเรียกว่า *free oxygen*) บนโลกมีความไม่เสถียรทางเทอร์โมไดนามิกส์ การเกิดขึ้นครั้งแรกในโลก มาจากการทำงานของเชื้อแบคทีเรียอะแนโรบิกสังเคราะห์แสง และเพิ่มมากขึ้นในเวลาต่อมา เนื่องมาจากพืชปล่อยก๊าซออกซิเจนระหว่างการสังเคราะห์ด้วยแสง ออกซิเจนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญและมีปริมาณเป็นอันดับ 2 ของส่วนประกอบของบรรยากาศโลกคือมีประมาณ 20.947% โดยปริมาตรเนื่องด้วยค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี ของออกซิเจน จะเกิด พันธะเคมี กับธาตุอื่นๆ ได้เกือบหมด (และนี่คือจุดเริ่มต้นของคำจำกัดความว่าออกซิเดชัน) มีเพียงก๊าซมีตระกูลเท่านั้นที่หนีรอดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันไปได้ และออกไซด์ที่มีชื่อเสียงที่สุดก็คือ ไดไฮโดรเจนโมโนออกไซด์ หรือ น้ำ (H_2O)

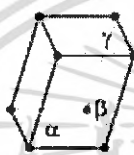


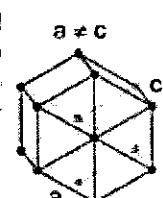
2.2 โครงสร้างผลึก

โครงสร้างผลึกคือการจัดเรียงกันของอะตอมเป็นการเฉพาะตัวใน ผลึก โครงสร้างผลึกประกอบด้วย หน่วยเซลล์ ซึ่งเป็นกลุ่มของ อะตอม ที่จัดเรียงกันในทางเฉพาะเป็น โครงสร้างสามมิติแบบ แลตทิซ โดยที่ว่างระหว่างหน่วยเซลล์ในทิศทางต่างๆ จะถูกเรียกว่า แลตทิซ พารามิเตอร์ คุณสมบัติความสมมาตรของผลึกจะปรากฏในรูปปริภูมิของมัน โครงสร้างของผลึกและความสมมาตรจะแสดงหน้าที่ของมันในการหาคุณสมบัติหลายๆ อย่าง เช่น การแตกร้าว, แถบโครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์ และคุณสมบัติทางแสงของผลึก

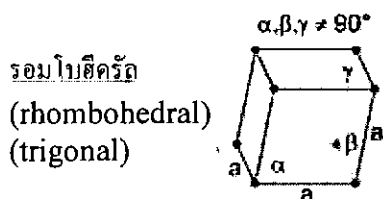
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 การจัดกลุ่มแลตทิซ

ตารางที่ 2.1 การจัดกลุ่มแลตทิซ

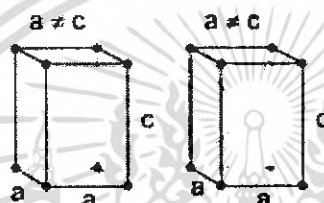
| ระบบผลึก | แลตทิซ |
|--------------------------------|---|
| ไตรคลินิก (triclinic) | $\alpha, \beta, \gamma \neq 90^\circ$  |
| โมโนคลินิก (monoclinic) | Simple |
| | centered |
| | $\alpha \neq 90^\circ$ $\beta, \gamma = 90^\circ$  |
| | $\alpha \neq 90^\circ$ $\beta, \gamma = 90^\circ$  |
| ออร์โธโรมบิก (orthorhombic) | Simple |
| | base-centered |
| | body-centered |
| | face-centered |
| เฮกซาโกนัล (hexagonal) | $a \neq c$  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Simple body-centered

เตตระโกนัล
(tetragonal)



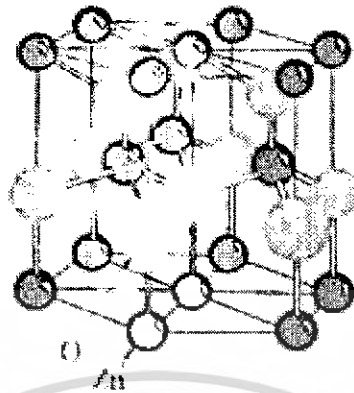
Simple body-centered face-centered

คิวบิก
(isometric)



2.2.2 โครงสร้างผลึกของซิงค์ออกไซด์

ซิงค์ออกไซด์จะมีลักษณะของโครงสร้างผลึก คือ โครงสร้างผลึกแบบเฮกซาโกนัล หรือแบบเวอร์ทไซต์ คือ โครงสร้างผลึกแบบนี้จะมีการจัดเรียงอะตอมเหมือนกับ โครงสร้างผลึกแบบคิวบิกแต่จะแตกต่างกันที่การจัดเรียงระนาบของอะตอมในชั้นที่สองขึ้นไป โครงสร้างผลึกแบบนี้เกิดจากการนำโครงสร้างย่อยแบบ เฮกซาโกนัลโคลสแพค ที่มีอะตอมต่างชนิดกันวางซ้อนเหลื่อมกันเป็นระยะ $5/8$ ตามแนวแกนซี ตัวอย่างผลึกที่มีโครงสร้างแบบนี้ คือ ZnS, ZnO, ZnSe, ZnTe, SiC, CdSe และ CdS เป็นต้น



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์ของซิงค์ออกไซด์

2.2.3 ดัชนีมิลเลอร์

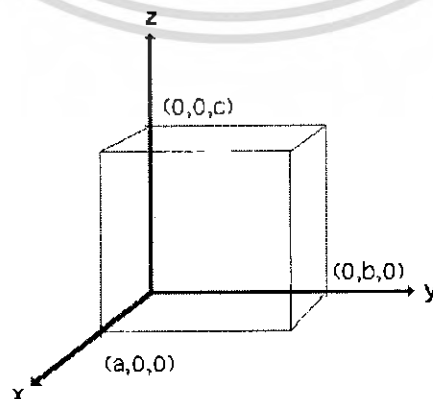
การบอกระนาบต่าง ๆ ในผลึกนั้น จะบอกเป็นค่าดัชนีมิลเลอร์ ค่าดัชนีมิลเลอร์หาได้จาก ส่วนกลับของระยะตัดแกนผลึก— ผู้เสนอคือนักฟิสิกส์ชาวอังกฤษชื่อ มิลเลอร์ โดยการแยก พิจารณาดัชนีมิลเลอร์เป็นสองประเภทดังนี้คือ

2.2.3.1 ดัชนีมิลเลอร์ของระนาบในโครงสร้างผลึกแบบคิวบิก

การบอกชื่อระนาบต่าง ๆ ในโครงสร้างผลึกแบบคิวบิกจะใช้ดัชนีมิลเลอร์ ที่แทนด้วยเลข จำนวนเต็มสามจำนวนคือ h, k, l โดยใช้สัญลักษณ์ (hkl) และเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.2 เราจะได้

$$h : k : l = 1/p : 1/q : 1/r$$

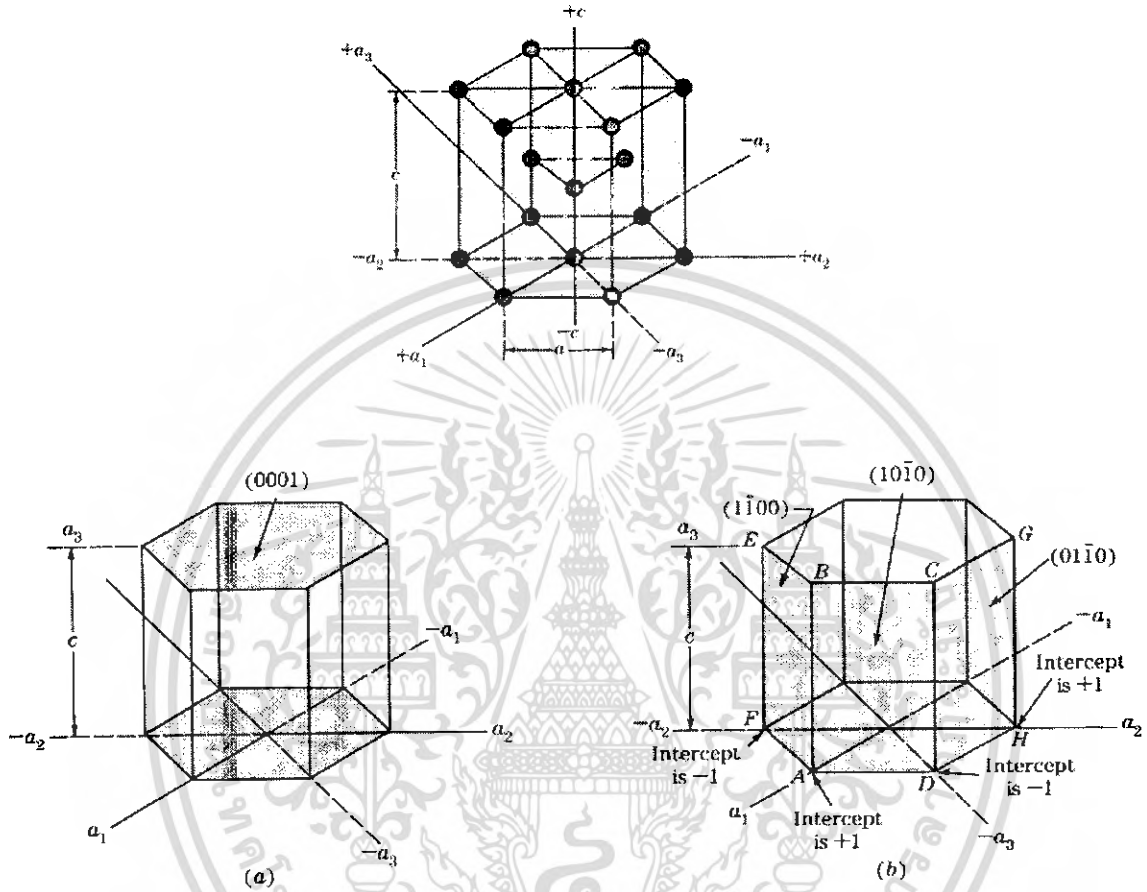
เมื่อ p, q และ r คือ จุดตัดแกนซึ่งหมายถึงตำแหน่งที่ระนาบตัดแกนผลึก a, b, c ตามลำดับ นั่นคือ h, k, l จะเป็นส่วนกลับของระยะตัดแกนผลึก a, b, c ตามลำดับ ซึ่งก็คือดัชนีมิลเลอร์ดัง แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงดัชนีมิลเลอร์ของระนาบในโครงสร้างผลึกแบบคิวบิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.2 ดัชนีมิลเลอร์ของระนาบในโครงสร้างผลึกแบบเฮกซาโกนัล



รูปที่ 2.3 ดัชนีมิลเลอร์ของระนาบในโครงสร้างผลึกแบบเฮกซาโกนัล

ในโครงสร้างผลึกแบบเฮกซาโกนัล ดัชนีที่ใช้เรียกระนาบคือ ดัชนีมิลเลอร์ - บราว ใช้สัญลักษณ์ h, k, i, l ซึ่งเป็นค่าที่หาได้จากส่วนกลับของระยะที่ระนาบที่พิจารณาคัดแกน a_1, a_2, a_3 และ c ตามลำดับ โครงสร้างของหน่วยเซลล์ประกอบด้วยระนาบ 2 แบบ คือ

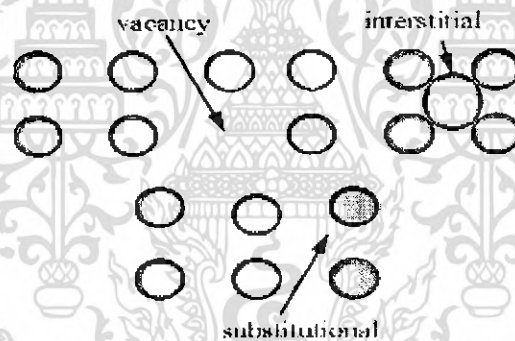
1) ระนาบฐานมีสองระนาบคือระนาบบน และระนาบล่าง แกน a_1, a_2, a_3 เป็นแกนที่อยู่ในระนาบฐานทำมุม 120° ซึ่งกันและกัน และระยะตัดแกน $a_1 = a_2 = a_3 = \infty$ และแกนที่ 4 คือแกน c เป็นแกนที่ตั้งฉากกับระนาบฐานทั้งสอง ซึ่งตัดแกน c ห่างกันเป็นระยะหนึ่งหน่วย ส่วนกลับของระยะตัดแกนทั้งสี่จึงเท่ากับ $0, 0, 0, 1$ ดังนั้นดัชนีมิลเลอร์ - บราว ก็คือ (0001)

2) ระนาบปริซึมมีหกระนาบหรือหน้า ระนาบปริซึมทุกระนาบในหน่วยเซลล์สามารถแทนด้วยดัชนีเดียวกันคือ (1010) ในการเรียกชื่อระนาบอาจจะระบุด้วย (hkl) ก็ได้คืออาศัยเพียง h, k, l โดยที่ $h + k = -i$ แต่การระบุด้วย $(hkil)$ จะแสดงความสมมาตรในหน่วยเซลล์ได้ชัดเจนกว่า

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัยได้

2.2.4 ข้อบกพร่องผลึก

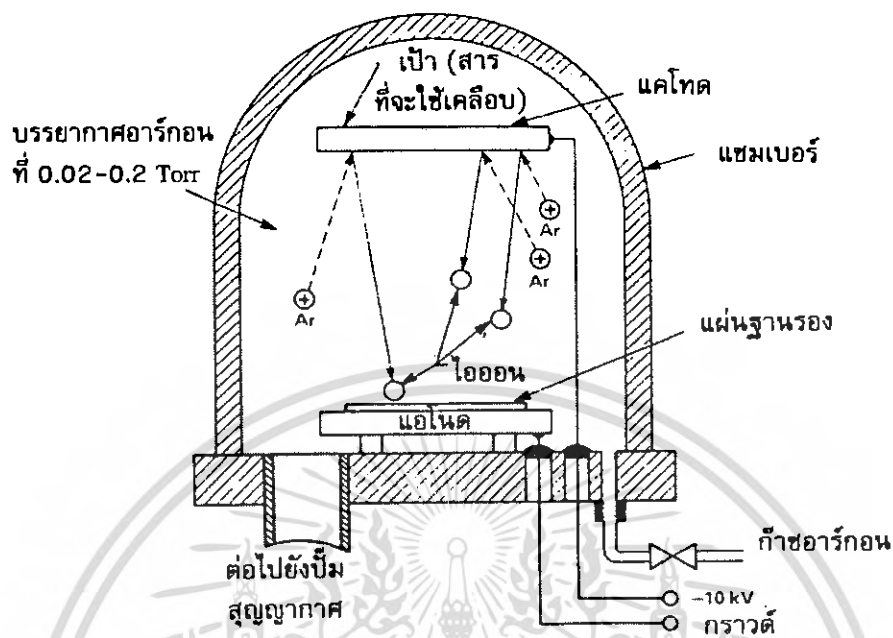
การเกิดข้อบกพร่องผลึกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงฟิสิกส์ต่าง ๆ ในผลึกจริงจะมีข้อบกพร่องผลึกหลายชนิด เช่น ข้อบกพร่องผลึกแบบจุด ได้แก่ ข้อบกพร่องผลึกแบบแวนเคนซี (vacancy defect) เป็นข้อบกพร่องที่มีอะตอมหรือไอออนหลุดไปจากโครงผลึกดังแสดงในรูปที่ 2.4 ข้อบกพร่องผลึกแบบซัพสติติวชันนัล (substitutional defect) เป็นข้อบกพร่องที่มีการแทนที่อะตอมในโครงสร้างผลึกเดิม ข้อบกพร่องแบบอินเตอร์สติเชียล (interstitial defect) เป็นข้อบกพร่องแบบที่มีอะตอมไปแทรกในบริเวณที่ควรเป็นที่ว่างของผลึก เป็นต้น ข้อบกพร่องแบบเชิงเส้น (line defect) เช่น สลิป เป็นข้อบกพร่องที่ระนาบของอะตอมเลื่อนไถลไป ข้อบกพร่องแบบดิสโลเคชันแบบขอบ (edge dislocation) เป็นข้อบกพร่องที่มีระนาบของสลิบตั้งฉากกับทิศทางการไถลของสลิบ ข้อบกพร่องแบบดิสโลเคชันแบบสกรู (screw dislocation) คือข้อบกพร่องผลึกแบบที่ระนาบสลิบขนานกับทิศการไถลของสลิบ



รูปที่ 2.4 แสดงข้อบกพร่องผลึก

2.3 ทฤษฎีการปลูกฟิล์มบางด้วยระบบสปัตเตอร์ริง

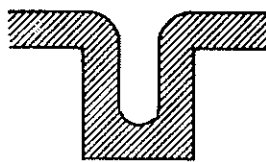
สปัตเตอร์ริงเป็นเทคนิคการเคลือบฟิล์มบางอีกชนิดหนึ่งซึ่งอาจเป็นโลหะ สารกึ่งตัวนำ หรือฉนวนก็ได้ หลักการของกระบวนการสปัตเตอร์ริง (แบบดีซี ซึ่งเป็นแบบที่ง่ายที่สุด) แสดงดังรูปที่ 2.5 ในระบบนี้ แผ่นฐานรองจะอยู่บนแอโนดซึ่งมีอุปกรณ์ทำความร้อนอยู่ข้างใต้เพื่อใช้เพิ่มอุณหภูมิให้แก่แผ่นฐานในขณะที่เคลือบฟิล์ม (อุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 150 – 250 °C) และทางขั้วแคโทดจะมีเป้า (target) ซึ่งเป็นวัสดุที่จะทำการเคลือบลงบนแผ่นฐานรองที่วางอยู่



รูปที่ 2.5 แสดงเครื่องสปีดเตอร์ริง

เมื่อทำการดูดอากาศออกจากแชมเบอร์จนได้ความดันที่ต้องการ (อยู่ในช่วงประมาณ 10^{-5} - 10^{-6} Torr) จากนั้นจะทำการป้อนแรงดันค่าสูงให้ระหว่างขั้วแอโนดกับแคโทด และปรับความดันของก๊าซเฉื่อย (มักใช้อาร์กอน เนื่องจากเป็นธาตุที่มีน้ำหนักอะตอมค่อนข้างมาก จึงเหมาะกับการระดมยิงเป้า) ที่จะเข้ามาในระบบให้มีขนาดตามต้องการ (อยู่ในช่วง 0.02 - 0.2 Torr) หลังจากนั้นอาร์กอน จะแตกตัวเป็นไอออนอันเนื่องจากสนามไฟฟ้าค่าสูงที่ป้อนให้ ด้วยเหตุนี้ไอออนเหล่านี้จึงเคลื่อนตัวจากขั้วแอโนดไปยังแคโทดและปะทะกับเนื้อสารวัสดุที่ใช้เป็นทำเป้า จึงทำให้อะตอมหรือกลุ่มอะตอมของวัสดุดังกล่าวหลุดจากผิวหน้าเป้ามายังผิวหรือเคลือบลงบนแผ่นฐานรอง เนื่องจากในขณะที่ทำการปลูกฟิล์มความดันภายในแชมเบอร์มีค่าต่ำ ดังนั้น เมื่ออะตอมของวัสดุหลุดจากผิวหน้าเป้าแล้ว จะมีโอกาสชนกันเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลยก่อนที่จะเคลือบลงบนผิวหน้าของฐานรอง ด้วยเหตุนี้ชั้นฟิล์มที่ปลูกได้จึงอาจมีลักษณะคล้ายกับการฉาบไอระเหยของโลหะ นั่นคือ มีลักษณะสเตปคอฟเฟอเรจเกิดขึ้นดังแสดงในรูป 2.6 ซึ่งวิธีที่ช่วยลดการเกิดสเตปคอฟเฟอเรจ สามารถกระทำได้โดยการใช้เป้าที่มีพื้นที่หน้าตัดใหญ่ขึ้น

(ก) CVD



(ข) การฉาบไอระเหย



(ค) สเป็คเตอรืง



รูปที่ 2.6 ลักษณะสเปคโคฟเวอเรจที่มักเกิดขึ้น

อันที่จริงแล้วเทคนิคสเป็คเตอรืงสามารถใช้กับวัสดุใดๆ ก็ได้ รวมทั้งโลหะ ฉนวน และสารกึ่งตัวนำที่มีจุดหลอมเหลวสูง นอกจากนี้ยังสามารถทำการสเป็คเตอรืงพวกสารประกอบและอัลลอยได้ แม้ว่าการควบคุมองค์ประกอบต่างๆ ที่ประกอบเป็นสารประกอบจะกระทำได้ลำบากอันเนื่องมาจากอัตราการสเป็คเตอรืงที่แตกต่างกันของส่วนประกอบของสาร ในปัจจุบันเทคนิคสเป็คเตอรืงมักนิยมใช้กับการปลูกฟิล์มโลหะเป็นหลัก สำหรับเครื่องมือสเป็คเตอรืงที่ใช้กันทั่วไปสามารถแบ่งได้ดังนี้คือ

- ดีซีหรืออาร์เอฟสเป็คเตอรืง คือ ถ้าเป่าที่ใช้เป็นพวกวัสดุนำไฟฟ้าสามารถใช้เครื่องมือทั้งสองประเภทได้ แต่ถ้าเป่าเป็นพวกสารไดอิเล็กตริกจะต้องใช้การกระตุ้นแบบอาร์เอฟ
- แมกนีตรอนสเป็คเตอรืง คือ จะมีการวางแม่เหล็กถาวรหรือขดลวดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กไว้ข้างหลังเป่า เพื่อทำหน้าที่ช่วยบังคับพลาสมาที่มีอะตอมของวัสดุให้ฝักหรือเคลื่อนลงบนผิวหน้าแผ่นฐานรองได้ดีขึ้น และเป็นการช่วยเพิ่มอัตราการเคลือบ
- รีแอกทีฟสเป็คเตอรืง คือ ก๊าซปฏิกิริยาบางชนิดสามารถเติมเข้ามาในพลาสมาได้เพื่อช่วยปลูกฟิล์มของวัสดุที่ต้องการ อย่างเช่น ถ้าต้องการปลูกฟิล์มซิงค์ออกไซด์ในไตรด์สามารถทำได้โดยการสเป็คเตอรืง ซิงค์ออกไซด์ในบรรยากาศของไนโตรเจนที่ผสมกับก๊าซเฉื่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 หลักการสปีดเตอริง

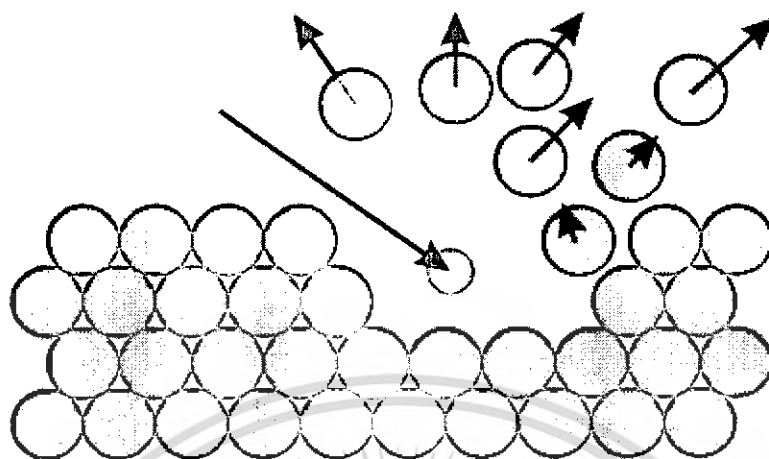
การสปีดเตอริง คือ ขบวนการที่อะตอมผิวหน้าของวัสดุถูกทำให้หลุดออกมาด้วยการชนของอนุภาคพลังงานสูง โดยมีการแลกเปลี่ยนพลังงาน และโมเมนตัมระหว่างอนุภาคที่วิ่งเข้าชนกับอะตอมที่ผิววัสดุ การสปีดเตอริงมีกระบวนการดังนี้

- อาศัยการคิซซาร์จไฟฟ้าของก๊าซอาร์กอน ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออน
- จากนั้นทำการเร่งไอออนให้วิ่งเข้าชนแผ่นสารเคลือบซึ่งต่ออยู่กับขั้วลบของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแรงสูง
- สารเคลือบที่ถูกชนด้วยไอออนของก๊าซ จะหลุดออกมาจากเบ้าสารเคลือบ และวิ่งด้วยความเร็วสูงมายังแผ่นรองรับในทุกทิศทาง พบว่าพลังงานของอนุภาคของสารเคลือบที่หลุดออกมานั้นสูงกว่าอนุภาคที่หลุดออกมาด้วยวิธีการระเหยมก ดังนั้นเมื่ออนุภาคสารเคลือบที่ได้จากการสปีดเตอริง ตกกระทบฐานรองรับจะเกิดการฝังตัวลงในเนื้อฐานรองรับ

2.3.2 อันตรกิริยาระหว่างไอออนและผิวเบ้าของสารเคลือบ

เมื่อไอออนพลังงานสูงวิ่งเข้าชนผิวเบ้าสารเคลือบจะเกิดปรากฏการณ์ต่างดังรูปที่ 2.7 ซึ่งจะเกิดปรากฏการณ์ดังนี้

- ไอออนสะท้อนกลับจากผิวหน้า ส่วนใหญ่เป็นกลางทางไฟฟ้าเนื่องจากการรวมตัวกันกับ อิเล็กตรอน บริเวณผิวหน้าของเบ้าสารเคลือบ
- การชนของไอออนทำให้เกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนชุดที่สองออกจากเบ้าสารเคลือบ เมื่อไอออนมีพลังงานสูงพอ
- ไอออนฝังตัวลงในผิวสารเคลือบ (ion implantation) มีค่าประมาณ 10 อังสตรอมต่อพลังงานไอออน 1 keV สำหรับไอออนของก๊าซอาร์กอนที่ฝังตัวในแผ่นทองแดง
- การชนของไอออนบนผิวสารเคลือบ ทำให้เกิดการเรียงตัวของอะตอมที่ผิวสารเคลือบใหม่และเกิดความบกพร่องของโครงสร้างผลึกเราเรียกการจัดเรียงตัวใหม่ของโครงสร้างผิวนานี้ว่า altered surface layers



รูปที่ 2.7 แสดงอันตรกิริยาระหว่างไอออนและผิวเบ้าของสารเคลือบ

2.3.3 ค่าyield ของสปัตเตอร์ริง (Sputtering yield: S)

ค่าyield ของสปัตเตอร์ริง คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณการหลุดออกของอะตอมเบ้าสารเคลือบต่อปริมาณการชนของไอออน 1 อนุภาค (มีหน่วยเป็น อัตราต่อไอออน) ค่าyield แปรเปลี่ยนไปตามสถานะต่างๆ ในกระบวนการสปัตเตอร์ริง ดังนี้

- 1.) ค่าyield แปรเปลี่ยนไปตามค่าพลังงานของไอออน คือ ไอออนต้องมีพลังงานมากกว่าพลังงานเทรชโซลด์ (Threshold energies พลังงานที่เริ่มมีการปลดปล่อยอะตอมของสารเคลือบในสถานะที่มีการชนอย่างค่อเนื่องของไอออนกับผิวเบ้าสารเคลือบ) ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามคู่อัตราการชนอนุภาค เมื่อทำการเพิ่มพลังงานของไอออนค่าyield จะเพิ่มขึ้นแบบ เอกซ์โปเนนเชียลในช่วงแรกๆ และจะเปลี่ยนเป็นเชิงเส้น จากนั้นจะอิมิตัวเมื่อพลังงานของไอออนมาก เนื่องจากไอออนพลังงานสูงมีโอกาสฝังตัวบนผิวเบ้าสารเคลือบสูงขึ้นทำให้ค่าyield ของสารเคลือบมีค่าคงที่ จากนั้นจะมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มพลังงานของไอออนให้สูงมากขึ้น
- 2.) ค่าyield แปรเปลี่ยนไปตาม ระบายผลึกของผิวเบ้าสารเคลือบ พบ ว่าค่าyield สูงเมื่อไอออนชนเข้าในระนาบที่มีอะตอมหนาแน่น ส่วนระนาบที่มีความหนาแน่นอะตอมต่ำ ไอออนมีแนวโน้มฝังตัวในเบ้าสารเคลือบ
- 3.) ขึ้นอยู่กับมวลของไอออนที่วิ่งเข้าชนเบ้าสารเคลือบ คือ จากที่เราทราบว่าอนุภาค 2 อนุภาคที่มีมวลเท่ากันจะสามารถถ่ายเทพลังงานและโมเมนตัมได้ดีสุดต่ออะตอมบนเบ้าสารเคลือบยึดเกาะกับอะตอมข้างเคียง จึงทำตัวเสมือนมีมวลประสิทธิผลสูงกว่ามวลอะตอมเดี่ยวๆ

2.3.4 ขบวนการก๊าซดิสชาร์จ (Gas discharge process)

ขบวนการก๊าซดิสชาร์จ คือ การทำให้ก๊าซแตกตัวเป็นไอออนโดยใช้สนามไฟฟ้า มีขั้นตอนตามลำดับดังนี้

- 1.) เริ่มให้แรงดันค่าน้อยๆพบว่ากระแสไหลในวงจรน้อยมาก ซึ่งเป็นกระแสเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและไอออนของก๊าซ ที่เกิดขึ้นตลอดเวลาในบรรยากาศ ซึ่งเกิดจากการชนของรังสีคอสมิก (อัตราการเกิดประจุขึ้นกับความเข้มของรังสี)
- 2.) เมื่อเพิ่มแรงดันขึ้นจนมีค่าเข้าใกล้แรงดันพังทลาย พลังงานของประจุ ที่ถูกเร่งภายใต้สนามไฟฟ้า จะมีค่าสูงขึ้นจนสามารถชนโมเลกุลของก๊าซให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนบวกและไอออนลบ ซึ่งไอออนพวกนี้ก็จะถูกเร่งภายใต้สนามไฟฟ้าให้วิ่งชนโมเลกุลของก๊าซต่อไปอีกจึงเกิดการไอออไนซ์เพิ่มขึ้น ซึ่งไอออนบวกจะถูกเร่งเข้าชนคาโทดจนเกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนลำดับที่สอง
- 3.) เพิ่มแรงดันจนถึงค่าแรงดันพังทลาย จะเกิดขบวนการ avalanche ขึ้นคือ ไอออนบวกวิ่งเข้าไปชนขั้วคาโทด ทำให้เกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนลำดับที่สอง (ของสารเคลือบ) แล้วอิเล็กตรอน ก็ถูกสนามไฟฟ้าเร่งให้ไปชนโมเลกุลของก๊าซ เกิดการไอออไนซ์เพิ่มขึ้น จนทำให้มีไอออนมากพอสำหรับผลิตอิเล็กตรอนได้เป็นจำนวนที่คงที่ (ช่วงนี้ระบบรักษาสภาพดิสชาร์จ ได้ด้วยตัวเองไม่ต้องพึ่งแหล่งกำเนิดรังสีจากภายนอก) ขบวนการช่วงนี้เรียกว่า ทาว์นเซนต์ดิสชาร์จ จากนั้นเมื่อกระแสดิสชาร์จจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงค่าๆหนึ่งจึงเกิดการเรืองแสงขึ้น แรงดันไฟฟ้าที่คร่อมขั้วมีค่าลดลง กระแสเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เรียกช่วงนี้ว่าการเรืองแสงปกติ ค่าขีดจำกัด ในช่วงเริ่มต้นของการเรืองแสงหรือโกลวการชนของไอออนบนคาโทดจะปรับตัวเองให้เกิดขึ้นในบางบริเวณ แนวการเรืองแสงอาจเลื่อนตำแหน่งไปมาได้ และการชนของไอออนบนคาโทดไม่มีความสม่ำเสมอ โดยมักจะมี ความเข้มของบริเวณการเรืองแสงตามแนวขอบหรือมุมของคาโทดที่มีสนามไฟฟ้าสูง เพื่อรักษาสภาพการโกลวบางบริเวณ เมื่อกระแสไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น แนวการชนไอออนจะค่อยๆขยายตัวเพิ่มพื้นที่จนครอบคลุมตลอดผิวคาโทด จนกระทั่งมีความหนาแน่นกระแสเท่ากันตลอดโดยมีค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโตรดคงที่ (ช่วงการเรืองแสงปกติที่ค่าแรงดันไฟฟ้าไม่เปลี่ยนแปลงนี้ เรานำมาประยุกต์ใช้งานในการสร้างหลอดควบคุมแรงดันไฟฟ้าคงที่ voltage regulator tube)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.) หลังจากทำการชนของไอออนครอบคลุมพื้นที่คาโทดแล้ว การเพิ่มกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจะทำให้ทั้งแรงดันและกระแสไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น การเรืองแสงจะจางขึ้นผิดปกติ เรียกช่วงนี้ว่า การเรืองแสงผิดปกติเปล่งแสงจางขึ้น ซึ่งเป็นช่วงที่นิยมใช้ในระบบสปีดเตอร์ริง ช่วงนี้ถ้าไม่มีการระบายความร้อนให้กับคาโทด เมื่อความแน่นกระแสของคาโทดเพิ่มขึ้นสูงประมาณ 0.1 แอมป์/ตารางเซนติเมตร ความร้อนที่เกิดจากการชนของไอออนบวกบนผิวคาโทดจะเกิดขึ้นมากจนเกิดขบวนการปลดปล่อยอิเล็กตรอนแบบเทอร์มิออนิก (thermionic electron emission) เสริมกับการปลดปล่อยอิเล็กตรอนชุดที่สองและขบวนการอะวาลานซ์ ทำให้ความนำไฟฟ้าของก๊าซในระบบสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว แรงดันไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโตรดตกลงมาก ในขณะที่กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นสูงและเปล่งแสงประกายจ้าของการอาร์ค

2.3.5 ระบบปลูกฟิล์มบางอาร์เอฟสปีดเตอร์ริง

หลักการ คือ ใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าสลับความถี่ 13.56 MHz เพื่อกระตุ้นให้ก๊าซภายในระบบแตกตัวเป็นไอออนมากขึ้น ทำให้สามารถปลูกฟิล์มบางที่ความดันต่ำกว่าระบบปลูกฟิล์มบางแบบดีซีสปีดเตอร์ริง และยังสามารถเคลือบสารไดอิเล็กตริกได้ เนื่องจากดีซีสปีดเตอร์ริงจะเกิดการสะสมของประจุบวกที่เป่าจนที่ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับอานอคจะทำให้ขบวนการสปีดเตอร์ริงสิ้นสุด แต่อาร์เอฟสปีดเตอร์ริงอีกครั้ง ไซเคลต่อมาจะมีการพาอิเล็กตรอนเข้าสู่ผิวไดอิเล็กตริกทำให้ผิวหน้าเป็นกลางเหมือนเดิม

2.4 หลักการเครื่องมือวิเคราะห์สมบัติเฉพาะของฟิล์มบาง

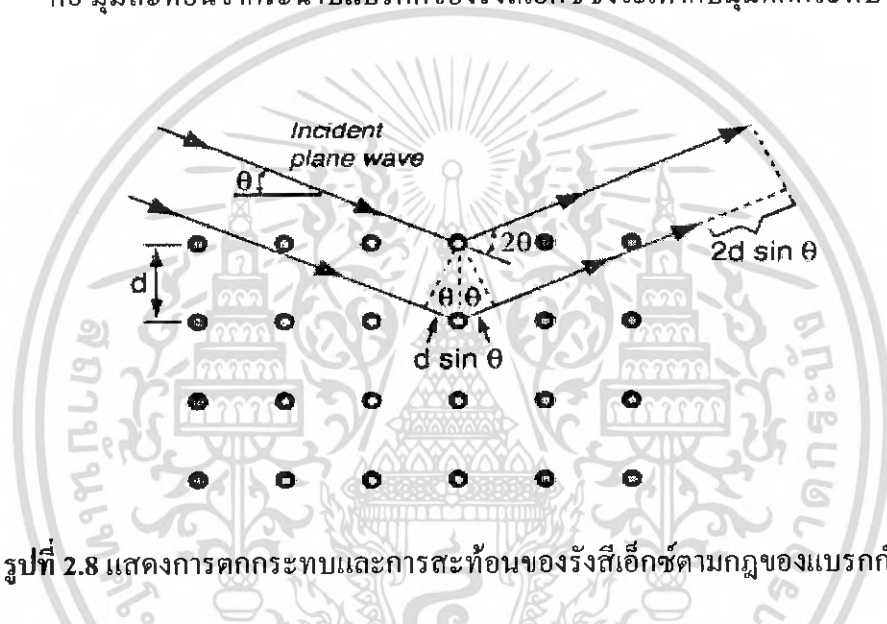
2.4.1 การศึกษาโครงสร้างผลึกจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction: XRD)

รังสีเอ็กซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานสูง รังสีเอ็กซ์เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนที่ถูกเร่งในสนามไฟฟ้าให้มีพลังงานสูงแล้ววิ่งชนเป้าซึ่งทำด้วยโลหะหนัก ผลของการชนก่อให้เกิดรังสีเอ็กซ์ 2 ชนิดคือ รังสีเอ็กซ์ต่อเนื่อง (continuous X-Ray) กับรังสีเอ็กซ์เฉพาะตัว (characteristic X-Ray) รังสีเอ็กซ์จะเกิดการเลี้ยวเบนเมื่อผ่านช่องว่างระหว่างอะตอมในผลึก เมื่อคลื่นผ่านโครงสร้างผลึกออกมาก็เกิดการแทรกสอด ทั้งแบบเสริมและหักล้างกัน วิลเลียม เฮนรี แบริก (William Henry Bragg) นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษได้ตั้งกฎการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ในโครงสร้างผลึกไว้ว่า รังสีเอ็กซ์จะแทรกสอดกันแบบเสริมมากที่สุดเมื่อมีการกระเจิงออกจากแต่ละระนาบด้วยความแตกต่างของทางเดินคลื่นเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ เรียกกฎนี้ว่า กฎของแบริก (Bragg's law) [3] ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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 2.8 แสดงการตกกระทบและการสะท้อนของรังสีเอ็กซ์ตามกฎของแบรกก์

ระนาบต่างๆของผลึกไม่ได้ก่อให้เกิดการเลี้ยวเบนเสมอไป ระนาบใดที่รังสีเอ็กซ์ตกกระทบแล้วกระเจิงออกมาอย่างสอดคล้องกับกฎของแบรกก์เรียกว่า ระนาบแบรกก์ แสดงดังรูปที่ 2.8 และมุมที่รังสีสะท้อนทำกับระนาบที่ขนานกับรังสีตกกระทบเรียกว่า มุมเลี้ยวเบน ซึ่งมีค่าเป็นสองเท่าของมุมสะท้อน ความเข้มของรังสีเอ็กซ์ที่เลี้ยวเบนและมุมเลี้ยวเบนต่างๆ จะถูกตรวจหาด้วย X-Ray diffractometer ดังแสดงดังรูปที่ 2.10 และรูปที่ 2.11 นำค่าทั้งสองที่บันทึกไว้ไปวิเคราะห์โครงสร้างผลึก



รูปที่ 2.9 แสดงเครื่อง X-ray diffractometer

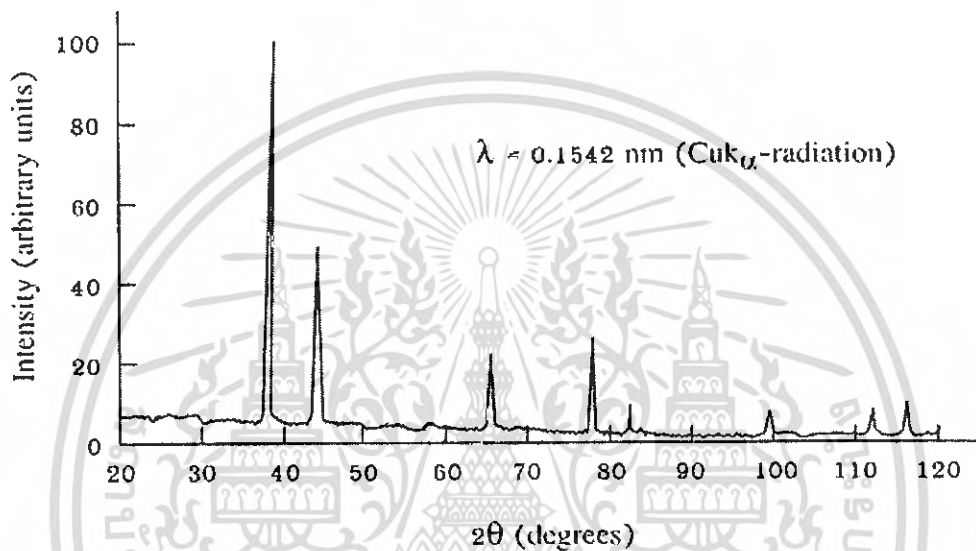


รูปที่ 2.10 แสดงตัวตรวจวัดของ X-ray diffractometer

76638

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มและมุมเลี้ยวเบนที่ได้เรียกว่า รูปแบบการเลี้ยวเบน ซึ่งจะมีลักษณะเฉพาะตัวสำหรับธาตุหรือสารประกอบต่างชนิดกัน จากการเลี้ยวเบนแล้วแทรกสอดกันแบบเสริม ความเข้มของรังสีเอ็กซ์ก็จะมีค่ามากซึ่งจะสังเกตได้จากยอดในรูปแบบการเลี้ยวเบน และยอดเหล่านี้จะปรากฏที่มุมเลี้ยวเบนเดิมเสมอสำหรับธาตุหรือสารประกอบชนิดเดียวกัน



รูปที่ 2.11 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

การศึกษาการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จะสามารถหาค่าตัวแปรซึ่งแสดงถึงสมบัติความเป็นผลึกของฟิล์มบางได้ดังนี้

ค่าคงที่แลตทิซ (lattice constant) จากกฎการเลี้ยวเบนของแบรกก์แอมป์ลิจูดของการเลี้ยวเบนของคลื่นคือ F เวกเตอร์คลื่นของระนาบคลื่นที่ตกกระทบคือ k เวกเตอร์คลื่นของคลื่นสะท้อนคือ k' ดังนั้น

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

เมื่อ n_G คือ แอมป์ลิจูดของการเลี้ยวเบน
 G คือ แลตทิซส่วนกลับ (Reciprocal lattice)

สามารถหาค่าแลตทิซส่วนกลับได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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}' เกิดสมการหาค่า 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

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

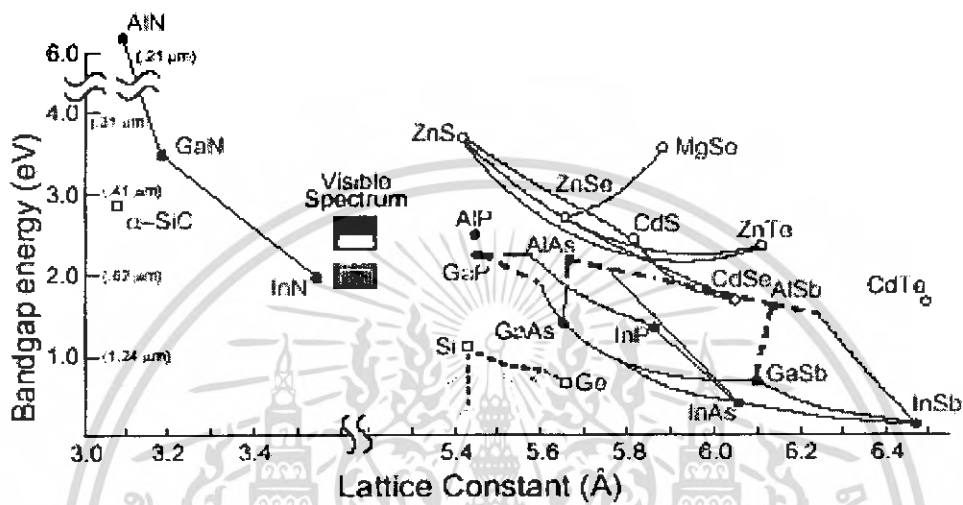
เมื่อ a คือ ค่าคงที่แลตทิซ

λ คือ ค่าความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์

θ คือ มุมของการเลี้ยวเบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Technologically Accessible Photonic Materials



รูปที่ 2.12 แสดงค่าคงที่แลตทิซของสารกึ่งตัวนำชนิดต่างๆ

ขนาดของเม็ดผลึก (Grain size) จากสมการ Sherrer's equation สามารถหาค่าขนาดของเม็ดผลึกได้ดังนี้

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

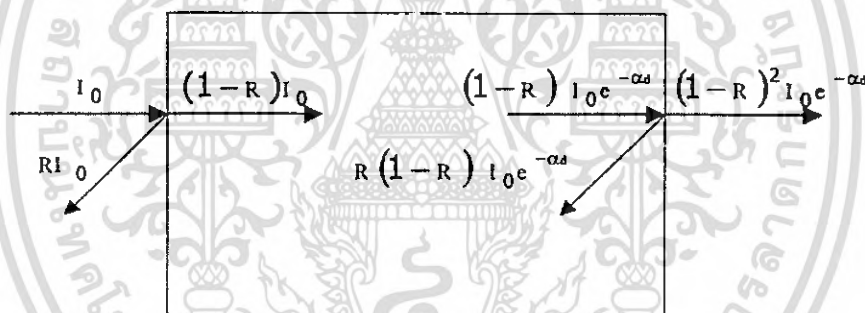
- เมื่อ D คือ ขนาดของเม็ดผลึก
 K คือ ค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับขนาดและรูปร่างของเม็ดผลึก ($0.89 \leq K \leq 0.94$)
 θ คือ มุมของการเลี้ยวเบน
 $\beta_{2\theta}$ คือ ค่าครึ่งหนึ่งของความกว้างสูงสุดของยอดการเลี้ยวเบน (Full width at half-Maximum of the diffraction peak: FWHM)
 λ_x คือ ค่าความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การศึกษาสมบัติทางแสงด้วยวิธีวัดสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสง (UV-Visible Spectrophotometer)

ในการศึกษาคุณสมบัติทางแสงของสารกึ่งตัวนำนั้น เราจะทำการวัดวิเคราะห์สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสง ซึ่งจะทำให้เราทราบค่าระดับพลังงานของ localized states และได้ข้อมูลเกี่ยวกับค่าแถบพลังงานต้องห้าม เนื่องจากทั้งการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงนั้นเกิดจากอิเล็กตรอนที่อยู่ในชั้นพลังงานใดๆหรืออยู่ที่ localized states ดูดกลืนแล้วคลายพลังงานที่เปลี่ยนแปลง ระดับพลังงานค่าความแตกต่างของพลังงานที่เปลี่ยนแปลงนั้นจะมีค่าเท่ากับพลังงานโฟตอนที่อิเล็กตรอนดูดกลืนหรือคายออกมา

เมื่อแสงเดินทางไปตกกระทบวัสดุ แสงบางส่วนจะสะท้อนกลับที่ผิววัสดุและจะมีแสงบางส่วนเดินทางเข้าไปข้างในวัสดุ แสงบางส่วนดังกล่าวจะถูกดูดกลืนและจะมีบางส่วนที่ทะลุออกมา ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงทะลุผ่านตัวกลาง

เมื่อ I_0 คือ ความเข้มแสงที่ตกกระทบผิววัสดุ

I_r คือ ความเข้มแสงที่สะท้อนจากผิววัสดุ

I_t คือ ความเข้มแสงที่ทะลุผ่านผิววัสดุ

เราสามารถให้นิยามของสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง R (Optical Reflectivity Coefficient) สัมประสิทธิ์การดูดกลืน α (Optical Absorption Coefficient) และสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านแสง (Optical Transmittance Coefficient) ได้ดังนี้

$$\text{สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง } R = \frac{I_r}{I_0} \quad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นความเข้มแสงที่เดินทางเข้าสู่วัตถุมีค่า

$$I_0 - I_r = I_0 - RI_0 = (1-R)I_0 \quad (2.13)$$

จากนั้นเมื่อแสงเดินทางเข้าไปในวัสดุแสงจะถูกดูดกลืน จากรูปจะเห็นว่าแสงจะมีค่าความเข้มแสงลดลงแบบเอกซ์โปเนนเชียลตามระยะทาง d

ในกรณีที่มีการสะท้อนที่ผิวด้านหลัง ความเข้มชั้นของแสงที่ทะลุผ่านออกด้านหลังของวัสดุ คือ

$$I_t = (1-R)^2 I_0 e^{-\alpha d} \quad (2.14)$$

สัมประสิทธิ์การทะลุผ่านแสง $T_t = \frac{I_t}{I_0} = (1-R)^2 e^{-\alpha d} \quad (2.15)$

สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง $\alpha = -\frac{1}{d} \ln \left[\frac{T}{(1-R)^2} \right] \quad (2.16)$

ในกรณีที่สมมติให้แสงส่วนใหญ่สะท้อนเฉพาะผิวน้ำที่รับแสงเท่านั้น ความเข้มชั้นแสงที่ทะลุออกด้านหลังของวัสดุคือ

$$I_t = (1-R)I_0 e^{-\alpha d} \quad (2.17)$$

สัมประสิทธิ์การทะลุผ่านแสง $T_t = \frac{I_t}{I_0} = (1-R)e^{-\alpha d} \quad (2.18)$

สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง $\alpha = -\frac{1}{d} \ln \left[\frac{T}{1-R} \right] \quad (2.19)$

2.5 ทฤษฎีโครงสร้างแถบพลังงาน

ในโลหะอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรชั้นนอกสุด เรียกว่า อิเล็กตรอนวาเลนซ์และถือว่าเป็นอิเล็กตรอนอิสระไม่ถูกยึดอยู่ที่อะตอมหนึ่งอะตอมใด โดยเฉพาะ ซึ่งไม่เหมือนกับอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำหรือฉนวนที่ไม่เป็นอิสระ อิเล็กตรอนซึ่งทำให้เกิดกระแสอาจถูกเรียกว่าอิเล็กตรอนนำและในผลึกของแข็งอาจพิจารณาได้ว่าอิเล็กตรอนเคลื่อนที่อยู่ท่ามกลาง บ่อศักย์ที่เป็นคาบอย่างสมบูรณ์

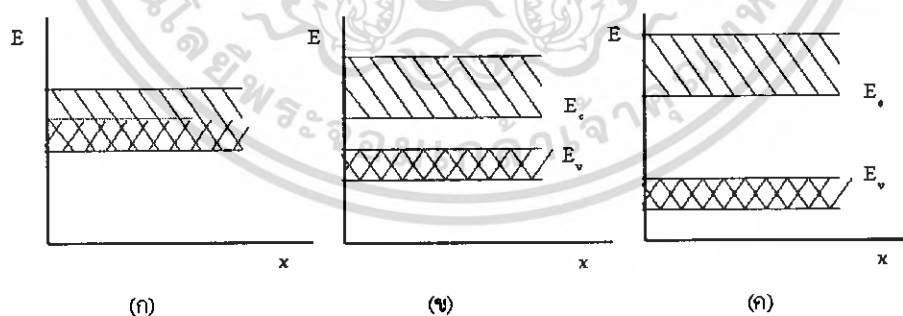
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้เนื่องจากกระยะห่างของไอออนคอร์ มีระยะเท่ากันตลอดซึ่งเท่ากับค่าคงที่ของโครงผลึก ซึ่งจะเห็นได้ว่าพลังงานของอิเล็กตรอนซึ่งจะมีได้นั้นจะมีได้ในแถบหนึ่งแถบใดเท่านั้น คือ แถบยินยอม และแถบพลังงานที่จะมีได้นี้จะถูกแบ่งกันไว้ด้วยแถบพลังงานต้องห้าม ซึ่งหมายถึงพลังงานในย่านนี้อิเล็กตรอนไม่สามารถที่จะมีได้ แถบดังกล่าวถูกเรียกว่า “แถบต้องห้ามหรือช่องว่างแถบพลังงาน” (forbidden band or energy gap) ภายในแถบยินยอมหนึ่ง ๆ อิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบนี้จะแสดงตัวเหมือนกับอิเล็กตรอนอิสระทุกประการ

2.5.1 โครงสร้างแถบพลังงานของโลหะ สารกึ่งตัวนำ และฉนวน

ลักษณะโครงสร้างของแถบพลังงานของของแข็ง สามารถบ่งบอกคุณสมบัติการนำไฟฟ้าของวัสดุของแข็งนั้น ๆ ได้เป็นอย่างดี สภาพความนำไฟฟ้าของสารใด ๆ จะมีค่ามากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับจำนวนหรือปริมาณของความหนาแน่นของประจุพาหะที่มีอยู่

กรณีที่จะมีการนำไฟฟ้าได้แล้ว จำเป็นที่จะต้องมีสถานะซึ่งว่างอยู่ในแถบพลังงานและเมื่อมีสนามไฟฟ้า อิเล็กตรอนที่ระดับต่าง ๆ ซึ่งอยู่ใต้ระดับพลังงานที่ว่างอยู่ ก็จะได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นและเคลื่อนที่เข้าไปอยู่ในสถานะที่ว่างอยู่นั้น จากนั้นอิเล็กตรอนตัวอื่น ๆ ก็จะเคลื่อนที่ตามกันไปอย่างนี้ จะทำให้เกิดการไหลของกระแสอิเล็กตรอนขึ้น ตัวนำที่ดีจะต้องมีพาหะซึ่งอยู่ในระดับต่าง ๆ ภายในแถบพลังงานซึ่งประกอบด้วยแถบพลังงานสองแถบ คือ แถบนำและวาเลนซ์ซ้อนเหลื่อมกัน ซึ่งคือโครงสร้างแถบพลังงานของโลหะนั่นเอง ดังรูปที่ 2.14 (ก)



รูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้างแถบพลังงานของ

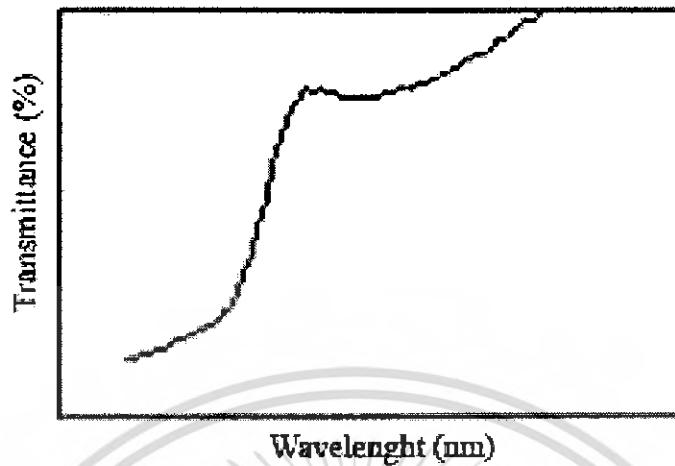
- (ก) โลหะ
- (ข) สารกึ่งตัวนำ
- (ค) ฉนวน

กรณีของฉนวน แถบพลังงานจะประกอบด้วยแถบวาเลนซ์ ซึ่งเป็นแถบที่มีอิเล็กตรอนอยู่เต็ม และจะแยกจากแถบนำ ซึ่งเป็นแถบที่ว่าง โดยมีช่องว่างแถบพลังงานซึ่งกว้างหลาย ๆ อิเล็กตรอนโวลต์กันอยู่ดังแสดงในรูปที่ 2.14 (ข) และที่อุณหภูมิธรรมดา อิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์จะมีโอกาสน้อยมาก ที่จะมีส่วนพลังงานเพิ่มขึ้นจนสามารถข้ามช่องว่างแถบพลังงานเข้าไปอยู่ในแถบนำได้ ดังนั้นจำนวนอิเล็กตรอนอิสระในแถบนำจึงมีน้อยและจำกัด แต่ถ้าหากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูง ๆ จะทำให้ความนำเพิ่มขึ้นได้

ส่วนสารกึ่งตัวนำความนำไฟฟ้าจะมีค่าอยู่ระหว่างโลหะกับฉนวน และมีโครงสร้างของแถบพลังงานดังรูปที่ 2.14 (ค) หากแต่ว่าช่องว่างแถบพลังงานมีขนาดน้อยกว่าฉนวนมาก โดยทั่วไปมักมีค่าไม่กี่อิเล็กตรอนโวลต์ และเนื่องจากว่าช่องว่างแถบพลังงานแคบกว่าของฉนวนนี้เอง จึงทำให้แม้แต่อุณหภูมิธรรมดาๆ อิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบวาเลนซ์ก็สามารถที่จะข้ามช่องว่างแถบพลังงานเข้าไปอยู่ในแถบนำและทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าได้ สิ่งที่แตกต่างกันระหว่างการนำไฟฟ้าในโลหะกับสารกึ่งตัวนำก็คือ เมื่ออิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำ ได้รับพลังงานเพิ่มจากเดิมมากพอที่จะเข้าไปอยู่ในแถบความนำได้แล้วมันจะทิ้งให้เกิดที่ว่างในแถบวาเลนซ์ ทำให้เกิดการไหลของกระแสอันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของประจุในแถบวาเลนซ์อีกด้วย ซึ่งกระแสนี้อธิบายได้โดยการกล่าวได้ว่าเป็นการเคลื่อนที่ของโฮล และยังสามารถสรุปได้ว่าในโลหะพาหะที่ช่วยนำกระแสไฟฟ้าก็คืออิเล็กตรอนอิสระ แต่สำหรับในกรณีสารกึ่งตัวนำ นอกจากอิเล็กตรอนในแถบนำแล้ว ยังมีโฮลในแถบวาเลนซ์ช่วยในการนำไฟฟ้าได้อีกด้วย

2.6 การหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากสเปกตรัมการส่งผ่านของแสง

การดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำเกิดจากการที่อิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากแสง ที่มีพลังงานโฟตอนสูงกว่าค่าแถบช่องว่างพลังงาน แล้วย้ายสถานะพลังงานจากแถบวาเลนซ์ขึ้นไปสู่แถบ นำสเปกตรัมการดูดกลืนแสงบริเวณที่พลังงานโฟตอนมีค่าน้อยจะมีลักษณะเป็นของ แสงถึงการลดลงของการดูดกลืนแสงอย่างกะทันหัน ขอบลักษณะนี้เรียกว่าขอบการดูดกลืนแสงหรือขอบการดูดกลืนพื้นฐาน พลังงาน โฟตอนที่ของการดูดกลืนแสงมีค่าเท่ากับผลต่างของค่าพลังงานที่วัดจากจุดต่ำสุดของแถบความนำ และจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์จุดที่เส้นตรงตัดกับแกนในแนวนอน จะให้ค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) วิธีการนี้เป็นการกำหนดค่าช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำที่นิยมมากที่สุด



รูปที่ 2.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงกับความยาวคลื่น โดยเส้นทึบจะแสดงขอบการดูดกลืนพื้นฐาน

การหาค่าของช่องว่างแถบพลังงาน สามารถพิจารณาได้จากสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (α) ของสารกึ่งตัวนำซึ่ง จะสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของแสง (T) จากรูปที่ 2.15 แสดงภาพจำลองเมื่อแสงตกกระทบจากด้านซ้ายของฟิล์มบาง (I_0) ความเข้มแสงภายในฟิล์มบางจะลดลงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล และมีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของแสงโดยทั่วไปค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (R) มีค่าน้อยมากจะได้

$$T = e^{-\alpha d} \quad (2.20)$$

ดังนั้น

$$\alpha = -\frac{1}{d} \ln T \quad (2.21)$$

ที่กล่าวมาเป็นการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง จากสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสงโดยไม่คิดถึงการสะท้อนของแสง สำหรับกรณีการคำนวณสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงเนื่องจากการย้ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอน แสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงกับค่าช่องว่างแถบพลังงาน ซึ่งมีลักษณะเป็นพาราโบลา ช่องว่างแถบพลังงานของแผ่นฟิล์มบางประมาณได้โดยการคำนวณสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง ซึ่งจะถูกลดลงเมื่อแสงที่ตกกระทบบนแผ่นฟิล์มบางมีค่าพลังงานโฟตอนสูงกว่าค่าของแถบพลังงานต้องห้าม ที่ขอบของการดูดกลืน ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนจะมีค่าเป็น

$$(\alpha h\nu)^2 \sim (h\nu - E_g) \quad (2.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ (2.22) ใช้กับสารที่มีลักษณะ โครงสร้างแถบพลังงานเป็นแบบตรง

$$(\alpha hv)^{1/2} \sim (hv - E_g) \quad (2.23)$$

สมการที่ (2.23) ใช้กับสารที่มีลักษณะ โครงสร้างแถบพลังงานเป็นแบบเฉียง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

3.1 ระบบอาร์เอฟแมกนีตรอนสปีดเตอริง (RF Magnetron Sputtering System)

ส่วนประกอบของระบบอาร์เอฟแมกนีตรอนสปีดเตอริงแสดงดังรูปที่ 3.1 ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 4 ส่วน คือ



รูปที่ 3.1 ระบบอาร์เอฟ แมกนีตรอนสปีดเตอริง

- ห้องสุญญากาศ
- ระบบปั๊มสุญญากาศและอุปกรณ์การวัดความดันสุญญากาศ
- ส่วนควบคุมระบบอาร์เอฟ แมกนีตรอนสปีดเตอริง
- ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

3.1.1 ห้องสุญญากาศ

ทำจากเหล็กกล้ากันสนิม ภายในห้องสุญญากาศทำความดันได้ต่ำกว่า 7×10^{-7} mbar เพื่อป้องกันสิ่งสกปรกสะสมอยู่ภายในห้องสุญญากาศซึ่งทำให้ไม่สามารถทำความดันต่ำได้ ก่อนทำการปลูกฟิล์มควรหุ้มพอลิเอทิลีน และอุปกรณ์ภายในให้เรียบร้อย อุปกรณ์ภายในจะประกอบดังนี้

- เบ้าสารเคลือบ
- ชัตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ในการเปิด/ปิด เบ้าสารเคลือบที่ถูกระเหยขึ้นไปเกาะที่แผ่นฐานรองรับ เมื่อกดเปิดชัตเตอร์จะเป็นการเริ่มวัดความหนาของฟิล์มบาง

- คริสตอล

คริสตอล คือ แผ่นกระจกที่มีทั้งความเว้าและนูน ซึ่งถูกระตุ้นโดยการสั่นของสัญญาณจากหน่วยของการสั่น โดยในช่วงแรกนี้การสั่นของคริสตอล จะมีความถี่ประมาณ 6 เมกะเฮิร์ตซ์ ความถี่ของการสั่นสามารถวัดได้จากมวลของชั้นสารที่เกาะบนพื้นผิวคริสตอล และขณะที่ชั้นของสารระเหยกำลังถูกระเหยการสั่นจะมีค่าลดลง การคำนวณหาความหนาของฟิล์มบาง

$$T_f = \frac{N_q \cdot D_q \cdot f^2 \cdot (f_q / f)}{D_f} \quad (3.1)$$

เมื่อ T_f คือความหนาของฟิล์มบาง (cm)

D_q คือความหนาแน่นของควอตซ์ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)

D_f คือความหนาแน่นของฟิล์มบาง ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)

N_q คือค่าคงที่ความถี่ของการสั่นของคริสตอล ($\text{Hz}\cdot\text{cm}^{-1}$)

f คือความถี่ของคริสตอลภายหลังการระเหยสาร (Hz)

f_q คือความถี่ของคริสตอลก่อนการระเหยสาร (Hz)

- ตัวยึดจับแผ่นฐานรองรับ

เป็นตัวยึดจับแผ่นฐานรองรับในการระเหยสารภายในห้องสุญญากาศ

3.1.2 ระบบปั๊มสุญญากาศและอุปกรณ์การวัดความดันสุญญากาศ

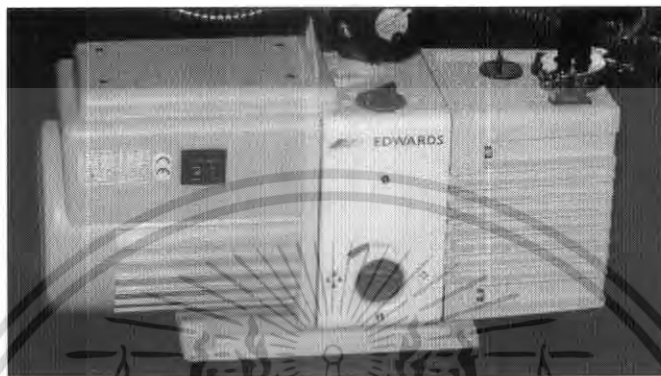
3.1.2.1 ปั๊มกลโรตารี (Mechanical rotary pump)

ปั๊มกลโรตารีใช้ในการสร้างสุญญากาศขั้นต้น สามารถสร้างสุญญากาศตั้งแต่ความดันบรรยากาศจนถึงความดันประมาณ 10^{-3} มิลลิบาร์ หลักการอย่างง่าย คือ ก๊าซหรืออากาศในภาชนะจะถูกขับออกโดยการเครื่องโหวของลูกสูบ ทำให้ก๊าซในห้องสูบมีความดันเพิ่มมากขึ้นจนมากกว่าความดันบรรยากาศภายนอก ก๊าซจะถูกขับออกมา ประสิทธิภาพของปั๊มขึ้นอยู่กับ

- ผิวของสเตเตอร์และโรเตอร์จะต้องสะอาด มันเรียบและซิลดำนบนจะต้องไม่สึกกร่อนง่าย
- การฉีลระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์ อาศัยน้ำมันเป็นตัวฉีลหล่อลื่น และระบายความร้อนไปในตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ก๊าซที่อัดเพื่อขับออกจากปั๊มอาจมีไอน้ำปะปนอยู่ ไอน้ำหรือไอของของเหลวนี้อาจละลายในน้ำมันที่ความดันสูง จึงไม่ถูกขับออกโดยง่าย แต่จะถูกนำกลับเข้าไปในห้องสเตเตอร์ได้อีก ทำให้ประสิทธิภาพการปั๊มลดลง วิธีแก้ไขใช้ ก๊าซบัลลาสต์ (Gasballast)



รูปที่ 3.2 ลักษณะของปั๊มกลโรตารี

3.1.2.2 ปั๊มไอพุ้งกระจาย (Vapour diffusion pump)

สามารถทำความดันตั้งแต่ 10^{-5} ถึง 10^{-10} มิลลิบาร์ จะเห็นว่าปั๊มไอพุ้งกระจายไม่สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ความดันบรรยากาศ จึงต้องใช้งานร่วมกับปั๊มกลโรตารี ใช้หลักการการเคลื่อนย้ายก๊าซโดย การต้มน้ำมันให้ร้อนด้วยขดลวดไฟฟ้า จนน้ำมันเดือดเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอลอยตัวขึ้นไปตามช่องท่อกลวง ไอน้ำมันจะปะทะเข้ากับช่องเจ็ตที่บังคับทิศทางลงด้านล่างในมุมและระดับความสูงต่างๆ กันซึ่งมีการระบายความร้อนด้วยน้ำเย็นตลอดเวลา ไอน้ำมันจะถูกฉีดออกมาจากท่อเจ็ตอย่างรุนแรงปะทะเข้ากับ โมเลกุลของก๊าซที่บริเวณตอนบน ทำให้โมเลกุลของก๊าซภายในห้องสุญญากาศเคลื่อนที่ในทิศทางจากบนลงล่าง โมเลกุลของก๊าซที่ออกมาอยู่ด้านล่างจะทำให้ความดันของก๊าซส่วนล่างมากกว่าส่วนบน แล้วใช้ปั๊มกลโรตารีดึงโมเลกุลของอากาศออกจากปั๊มไอพุ้งกระจายต่ออีกทีหนึ่ง



รูปที่ 3.3 ลักษณะของปั๊มไอฟุ้งกระจาย

3.1.2.3 เกจพิรานี (Pirani gauge)

ใช้วัดความดันอยู่ในช่วงความดันบรรยากาศถึง 10^{-3} มิลลิบาร์ ภายในเกจพิรานีมีเส้นลวดซึ่งเผาให้ร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าอุณหภูมิของเส้นลวดจะเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากความร้อนถูกพาไปโดยโมเลกุลของก๊าซที่มาปะทะ การสูญเสียความร้อนจะมากที่ความดันสูง ที่ความดันต่ำอุณหภูมิของลวดจะสูงขึ้นถ้าความต้านทานของลวดก็จะสูงขึ้นด้วย ความต้านทานของเส้นลวดที่เปลี่ยนแปลงไปนี้ วัดได้โดยใช้วงจรวัดสโตนบริจด์



รูปที่ 3.4 ลักษณะของเกจพิรานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.4 เกจเพนนิง(Penning gauge)

อาจเรียกชื่ออื่นได้ คือ เกจฟิลิปไอออไนเซชัน(Philip ionization gauge) เกจขั้วแคโทดเย็น (Cold cathode ionization) ใช้วัดความดันในช่วง 10^{-2} - 10^8 มิลลิบาร์



รูปที่ 3.5 ลักษณะของเกจเพนนิง

3.1.3 ส่วนควบคุมระบบอาร์เอฟ แมกนีตรอนสปัตเตอริง

- Main Switch Power
ใช้ในการเปิด/ปิดแผงควบคุมการทำงาน
- Thickness Monitor
ส่วนที่ใช้การวัดและแสดงผล อัตราการเคลื่อนที่และความหนาของฟิล์มในขณะที่ทำการระเหยฟิล์มบางในระบบสุญญากาศ จากคริสตอด
- Vacuum control
ใช้ในการควบคุมระบบปั๊ม ทั้งปั๊มไอพ่นกระจายและปั๊มกล โรตารี
- Gas flow control
ส่วนควบคุมระบบการจ่ายก๊าซเข้าไปภายในห้องสุญญากาศ
- RF Power Generator
ส่วนควบคุมชุดกำเนิดสัญญาณวิทยุความถี่ 13.56 MHz ที่สามารถปรับกำลังของ
ความถี่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็น

ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำจะระบายความร้อนจากปั๊มไอฟุ้งกระจาย เบ้าสารเคลือบ และจากคริสตอล ซึ่งจะรักษาอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 20°C

3.2 ขั้นตอนการทำความสะอาดฐานรองรับกระจก

ฐานรองรับที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นกระจกสไลด์ของบริษัท SUPERIOR ขนาด 76×26 มิลลิเมตร ซึ่งในขั้นตอนการทำความสะอาดฐานรองรับกระจกนี้ เพื่อขจัดคราบไขมันและฝุ่นละอองที่เกาะอยู่บนกระจกที่เกิดจากการขนส่งและทิ้งไว้เป็นระยะเวลาที่นาน ขั้นตอนการทำความสะอาดฐานรองรับกระจก จะทำก่อนที่จะนำไปใช้ในการเคลือบฟิล์มบางโดยระบบอาร์เอฟแมกนีตรอนสปีดเตอริง

ขั้นตอนการทำความสะอาดพื้นผิวหน้ากระจก

1. นำกระจกไปล้างด้วยน้ำยาล้างคราบไขมัน
2. จากนั้นนำกระจกไปต้มในสารละลายระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) กับ กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ด้วยอัตราส่วนของ (H_2O_2) ต่อ (H_2SO_4) คือ 1:4 เป็นเวลา 30 นาที
3. นำไปล้างซ้ำด้วยน้ำยาล้างคราบไขมัน
4. ล้างด้วยน้ำไร้ไอออน (De-ionized water) และเป่าให้แห้งด้วยแก๊สไนโตรเจน
5. นำไปอบที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 30 นาที

3.3 การปลูกฟิล์มบางซิงออกไซด์ในไตรด์ด้วยระบบอาร์เอฟแมกนีตรอนสปีดเตอริง

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปลูกฟิล์มบางฟิล์มบางซิงออกไซด์ในไตรด์บนฐานรองรับที่เป็นกระจกด้วยระบบอาร์เอฟแมกนีตรอนสปีดเตอริง ด้วยการใช้สารเคลือบเบ้าที่เป็นซิงค์ออกไซด์ที่มีความบริสุทธิ์ 99.999% ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว ในงานวิจัยนี้ใช้เทคนิคในการปลูกฟิล์มบางที่ไม่มีการให้อุณหภูมิแก่ฐานรองรับ

ขั้นตอนในการปลูกฟิล์มบางซิงออกไซด์ในไตรด์ด้วยระบบอาร์เอฟแมกนีตรอนสปีดเตอริงแบ่งได้ดังนี้

- การปลูกฟิล์มบางซิงออกไซด์ในไตรด์โดยการควบคุมอัตราส่วนการจ่ายก๊าซ
- การปลูกฟิล์มบางซิงออกไซด์ในไตรด์โดยควบคุมกำลังสัญญาณวิทยุความถี่ 13.56 MHz
- การปลูกฟิล์มบางซิงออกไซด์ในไตรด์โดยการควบคุมความหนาของฟิล์มที่ปลูก

3.3.1 การปลูกฟิล์มบางซิงออกไซด์ในไตรด์โดยการควบคุมอัตราส่วนการจ่ายก๊าซ

ในงานวิจัยนี้ได้ควบคุมอัตราส่วนการจ่ายก๊าซอาร์กอนกับไนโตรเจน มีหน่วย sccm (standard cubic centimeter per minute) ด้วยอัตราส่วนดังนี้

- 10:0
- 10:10
- 0:10

3.3.2 การปลูกฟิล์มบางซิงออกไซด์ในไตรด์โดยควบคุมกำลังสัญญาณวิทยุความถี่ 13.56 MHz

จากเงื่อนไขในการควบคุมอัตราส่วนการจ่ายก๊าซอาร์กอนกับไนโตรเจน จะเลือกอัตราส่วนมาหนึ่งเงื่อนไข แล้วทำการปลูกฟิล์มบางซิงออกไซด์ในไตรด์ด้วยเลือกกำลังดังต่อไปนี้

- 30 W
- 50 W
- 80 W
- 120 W
- 170 W

3.3.3 การปลูกฟิล์มบางซิงออกไซด์ในไตรด์โดยการควบคุมความหนาของฟิล์มที่ปลูก

จากเงื่อนไขในการควบคุมอัตราส่วนการจ่ายก๊าซอาร์กอนกับไนโตรเจน และทำการปลูกฟิล์มบางซิงออกไซด์ในไตรด์โดยการควบคุมกำลังแล้ว ต่อจากนั้นทำการเลือกเงื่อนไขของกำลังมาหนึ่งเงื่อนไขและปลูกฟิล์มบางซิงออกไซด์ในไตรด์ควบคุมความหนาของฟิล์มดังนี้

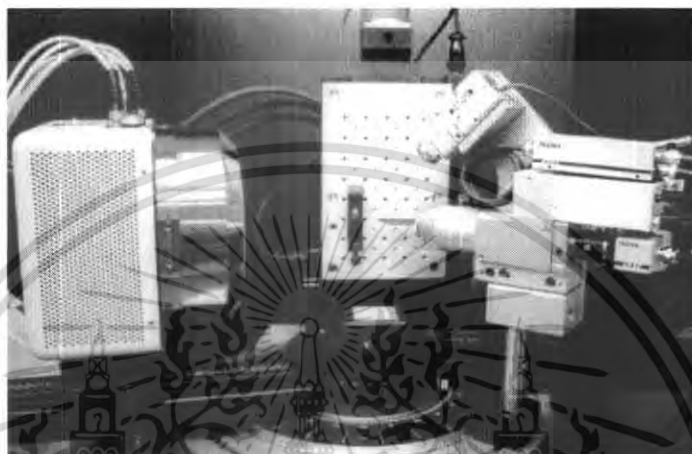
- 200 นาโนเมตร
- 400 นาโนเมตร
- 1000 นาโนเมตร

3.4 ขั้นตอนการตรวจสอบสมบัติของฟิล์มบาง

3.4.1 การตรวจสอบสมบัติทางโครงสร้างโดยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

การตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์อาศัยหลักการของการเลี้ยวเบนที่เป็นไปตามกฎของแบรกก์ กราฟที่ได้จากการตรวจสอบจะเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอ็กซ์และมุมของการเลี้ยวเบนเรียกว่า รูปแบบการเลี้ยวเบน ซึ่งธาตุและเอกสารเป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบแต่ละชนิดจะมีลักษณะรูปแบบการเลี้ยวเบนเฉพาะตัว ในการตรวจสอบสมบัติทางโครงสร้างโดยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จะใช้เครื่อง X-ray diffractometer รุ่น D8 Discover ของบริษัท Bruker แสดงดังรูปที่ 3.6 ซึ่งค่าความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดรังสีเอ็กซ์เท่ากับ 1.5406 อังสตรอม



รูปที่ 3.6 แสดงเครื่อง X-ray diffractometer รุ่น D8 Discover

3.4.2 UV-VIS Spectrophotometer

UV-VIS Spectrophotometer เป็นเทคนิคการวิเคราะห์สารโดยใช้หลักการดูดกลืนแสงที่อยู่ในช่วงอัลตราไวโอเล็ตและช่วงที่ตามองเห็น นั่นก็คือช่วงความยาวคลื่นประมาณ 190-1000 นาโนเมตร ของสารเคมีต่างๆ ได้แก่ สารอินทรีย์ (organic compound) สารประกอบเชิงซ้อน (complex compound) หรือสารอนินทรีย์ (inorganic compound) โดยนำฟิล์มตัวอย่างวางไว้ระหว่างแหล่งกำเนิดแสง และตัวตรวจวัดแสง ฟิล์มตัวอย่างจะดูดกลืนรังสี หรือแสงบางส่วนไว้ แสงที่ไม่ดูดกลืนจะผ่านออกมายังตัวตรวจวัดแสงที่เป็น photomultiplier tube (PMT) เครื่องวัดแสงจะทำการวัดปริมาณแสงที่ออกมา โดยการหักล้างกับปริมาณของแสงก่อนดูดกลืน จากนั้นจะทำการประมวลผลเป็นเส้นสเปกตรัม ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง หรือ ค่าการทะลุผ่านของแสงกับความยาวคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงเครื่อง UV-VIS ยี่ห้อ Thermo electron corporation รุ่น Helios_๐๐



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

การปลูกฟิล์มบางฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์บนฐานรองรับที่เป็นกระจกด้วยระบบอาร์เอฟแมกนีตรอนสปีดเตอริง ในงานวิจัยนี้ใช้เทคนิคในการปลูกฟิล์มบางที่ไม่มีการให้อุณหภูมิแก่ฐานรองรับ ซึ่งเราจะศึกษาในเงื่อนไขต่าง ๆ ดังนี้

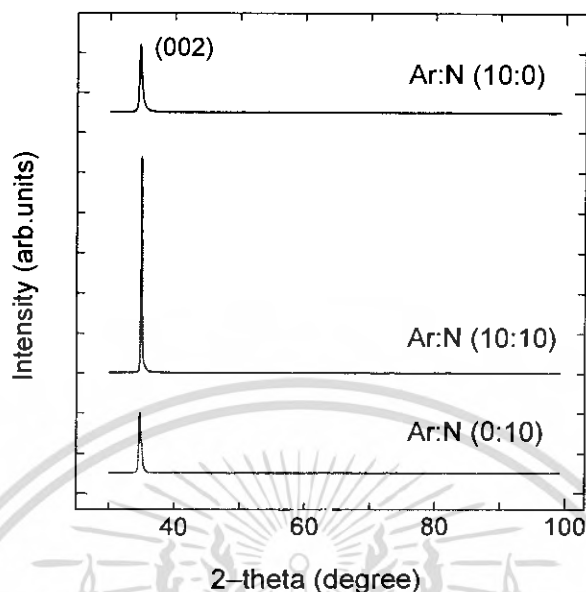
- การปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์โดยการควบคุมอัตราส่วนการจ่ายก๊าซ
- การปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์โดยควบคุมกำลังสัญญาณวิทยุความถี่ 13.56 MHz
- การปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์โดยการควบคุมความหนาของฟิล์มที่ปลูก สำหรับการตรวจสอบคุณลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์ จะกระทำโดยการตรวจสอบ สภาพความเป็นผลึกด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์และตรวจสอบการดูดกลืนของแสงด้วย UV-VIS spectroscopy

4.1 ผลการตรวจสอบสภาพความเป็นผลึกของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์

4.1.1 ปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์โดยการควบคุมอัตราส่วนการจ่ายก๊าซ

ในงานวิจัยนี้ได้ควบคุมอัตราส่วนการจ่ายก๊าซอาร์กอนกับไนโตรเจน มีหน่วย sccm (standard cubic centimeter per minute) ด้วยอัตราส่วนดังนี้

- 10:0
- 10:10
- 0:10



รูปที่ 4.1 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์ที่ควบคุมอัตราส่วนของการจ่ายก๊าซอาร์กอนกับไนโตรเจน

จากรูป 4.1 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์ที่ควบคุมอัตราส่วนของการจ่ายก๊าซอาร์กอนกับไนโตรเจน ยอดของการเลี้ยวเบนของฟิล์มบางที่ควบคุมการจ่ายก๊าซอาร์กอนต่อไนโตรเจน 10:0 sccm, 10:10 sccm และ 0:10 sccm จะมียอดของการเลี้ยวเบนเกิดขึ้น โดยยอดที่สูงที่สุดอยู่ที่มุม 34.7 องศา

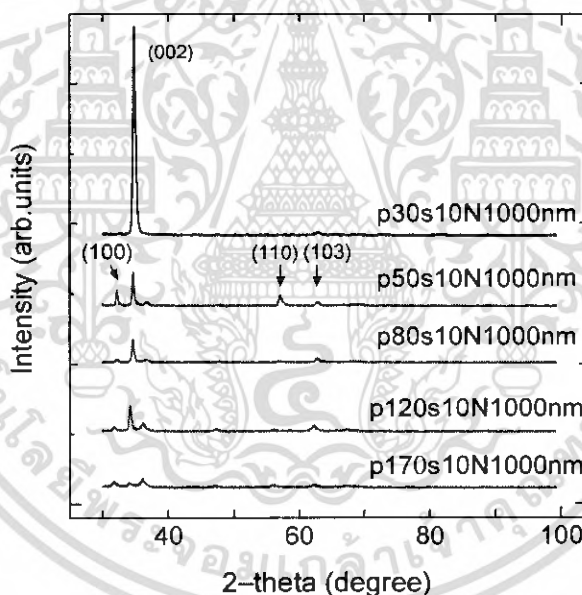
โดยจะนำมุมที่เกิดจากการเลี้ยวเบนมาเทียบกับ data base ของซิงค์ออกไซด์ เนื่องจากมุมที่เกิดจากการเลี้ยวเบนของซิงค์ออกไซด์ มีค่าเป็น 34.422 องศา ซึ่งจากการตรวจสอบพบว่า เป็นการจัดเรียงตัวในระนาบ (002) และจะพบว่าถึงแม้จะควบคุมการจ่ายก๊าซอาร์กอนเข้าไป แต่เมื่อนำมาตรวจสอบด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จะไม่พบยอดของอาร์กอน เนื่องจากว่าอาร์กอนเป็นก๊าซเฉื่อย ซึ่งก๊าซเฉื่อยจะไม่ทำปฏิกิริยากับสารใดในธรรมชาติ

จะสังเกตเห็นว่า Counts จะมีขนาดลดลงโดยซิงค์ออกไซด์ จะมีค่าของ counts มากที่สุด และซิงค์ออกไซด์ ที่มีการเจือก๊าซไนโตรเจนเข้าไปจะเริ่มมี counts ที่ลดลงเนื่องมาจากการเกิดข้อบกพร่องทางผลึกที่มีไนโตรเจนเข้าไป อาจเกิดจากข้อบกพร่องผลึกแบบซับซ้อนตัวชั้นนัล ซึ่งเป็นข้อบกพร่องที่มีการแทนที่อะตอมในโครงสร้างผลึกเดิมหรือ ข้อบกพร่องแบบอินเตอร์สติเชียล เป็นข้อบกพร่องแบบที่มีอะตอมไปแทรกในบริเวณที่ควรเป็นที่ว่างของผลึกทำให้ความเป็นผลึกลดลง

4.1.2 การปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์โดยควบคุมกำลังสัญญาณวิทยุความถี่ 13.56 MHz

จากเงื่อนไขในการควบคุมอัตราส่วนการจ่ายก๊าซอาร์กอนกับไนโตรเจน จะเลือกอัตราส่วนการจ่ายก๊าซอาร์กอนกับไนโตรเจน ที่ 0:10 sccm ความหนา 1,000 นาโนเมตร แล้วทำการปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์ด้วยเลือกกำลังดังต่อไปนี้

- 30 W
- 50 W
- 80 W
- 120 W
- 170 W



รูปที่ 4.2 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์ที่ควบคุมด้วยกำลัง 30, 50, 80, 120 และ 170 W

จากรูป 4.2 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์ที่ควบคุมอัตราส่วนของการจ่ายก๊าซอาร์กอนกับไนโตรเจน ที่ 0:10 sccm ด้วยกำลัง 30, 50, 80, 120 และ 170 W ยอดของการเลี้ยวเบนของฟิล์มบางที่ควบคุมการจ่ายก๊าซอาร์กอนต่อไนโตรเจนที่ 0:10 sccm ความหนา 1,000 นาโนเมตร ด้วยกำลัง 30 W จะมียอดของการเลี้ยวเบนเกิดขึ้น โดย ยอดที่สูงที่สุดอยู่ที่มุม 34.7 องศา ที่ระนาบ (002) ที่กำลัง 50 W แสดงการเลี้ยวเบน 4 จุดคือ 32.2 องศา, 34.7 องศา, 56.9 องศา และ 62.8 องศา ตามลำดับที่ระนาบ (100), (002), (110) และ (103) ที่กำลัง 80 W เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

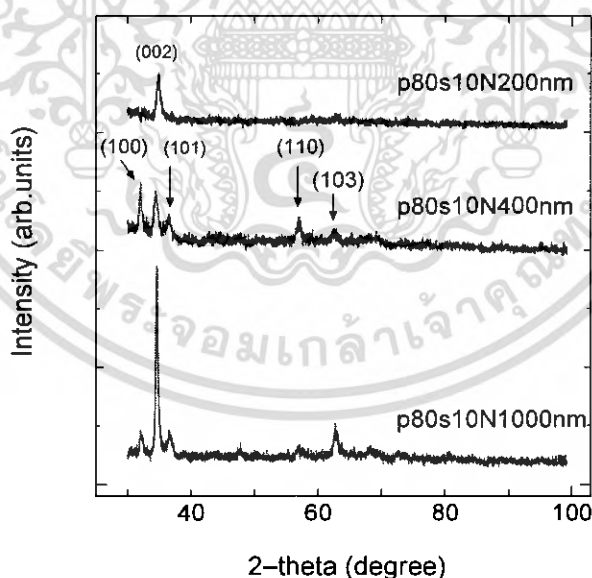
แสดงการเลี้ยวเบน 2 จุดคือ 34.8 องศาและ 62.8 องศา ที่ระนาบ (002) และ (103) ที่กำลัง 120 W แสดงการเลี้ยวเบน 3 จุดคือ 34.2 องศา, 36.1 องศา และ 62.3 องศา ตามลำดับที่ระนาบ (002), (101) และ (103) ที่กำลัง 170 W จะมียอดของการเลี้ยวเบนเกิดขึ้น โดย ยอดที่สูงที่สุดอยู่ที่มุม 36.1 องศา ที่ระนาบ (101) โดยจะนำมุมที่เกิดจากการเลี้ยวเบนมาเทียบกับ data base ของ ซิงค์ออกไซด์

จะสังเกตเห็นว่ากำลังที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ Counts มีขนาดลดลง โดยที่ กำลัง 30 W จะมีค่าของ counts มากที่สุดจากนั้นก็ลดลงมาเรื่อยๆเนื่องมาจากการเกิดข้อบกพร่องทางผลึกที่มีใน โดโรเจน เข้าไป ชัษสดีวชันนัลหรือแบบอินเตอร์สดีเซียสซึ่งทำให้ความเป็นผลึกลดลง

4.1.3 การปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์โดยการควบคุมความหนาของฟิล์มที่ปลูก

เลือกเงื่อนไขของอัตราส่วนการจ่ายก๊าซอาร์กอนกับไนโตรเจนที่ 0:10 sccm และเลือกเงื่อนไขกำลังที่ 80 W แล้วปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์โดยควบคุมความหนาของฟิล์มดังนี้

- 200 นาโนเมตร
- 400 นาโนเมตร
- 1000 นาโนเมตร



รูปที่ 4.3 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ใน ไตรด์ที่ควบคุมความหนา 200, 400 และ 1,000 นาโนเมตร

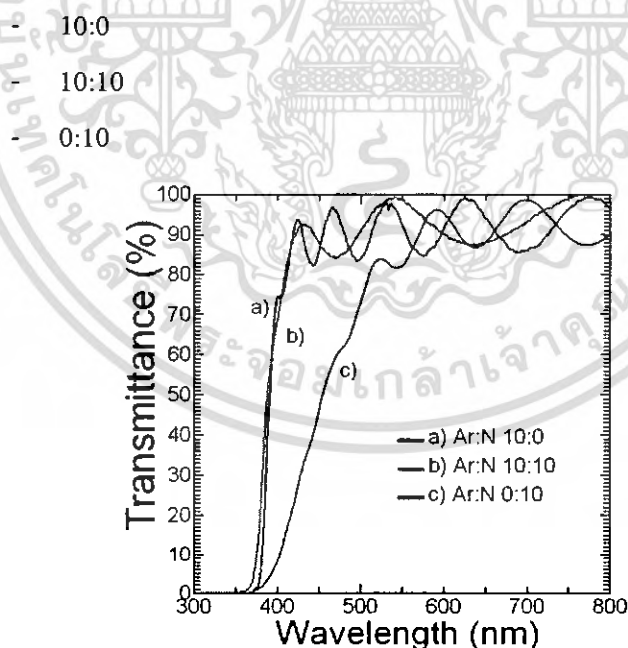
จากรูป 4.3 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์ที่ควบคุมอัตราส่วนของการจ่ายก๊าซอาร์กอนกับไนโตรเจน ที่ 0:10 sccm ด้วยกำลัง 80 W ที่ความหนาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

200, 400, 800 และ 1,000 นาโนเมตร ยอดของการเลี้ยวเบนของฟิล์มบางที่ควบคุมการจ่ายก๊าซ อาร์กอนต่อไนโตรเจน ที่ 0:10 sccm ด้วยกำลัง 80 W ที่ความหนา 200 นาโนเมตร จะมียอดของการเลี้ยวเบนเกิดขึ้น โดย ยอดที่สูงที่สุดอยู่ที่มุม 34.9 องศา ที่ระนาบ (002) ที่ความหนา 400 นาโนเมตร แสดงการเลี้ยวเบน 5 จุดคือ 32.2 องศา, 34.5 องศา, 36.5 องศา, 56.9 องศา และ 62.5 องศา ตามลำดับที่ระนาบ (100), (002), (101), (110) และ (103) ที่ความหนา 1,000 นาโนเมตร แสดงการเลี้ยวเบน 5 จุดคือ 32.0 องศา, 34.7 องศา, 36.7 องศา, 56.9 องศา และ 62.8 องศา ที่ระนาบ (100), (002), (101), (110) และ (103) โดยจะนำมุมที่เกิดจากการเลี้ยวเบนมาเทียบกับ data base ของ ซิงค์ออกไซด์ จะสังเกตเห็นว่าเมื่อความหนาเพิ่มขึ้น จะทำให้ Counts มีขนาดเพิ่มขึ้นด้วยโดยที่ความหนา 200 นาโนเมตร จะมีค่าของ counts ต่ำที่สุดจากนั้นก็เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

4.2 ผลการตรวจสอบการทะลุผ่านของแสงของผลึกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์

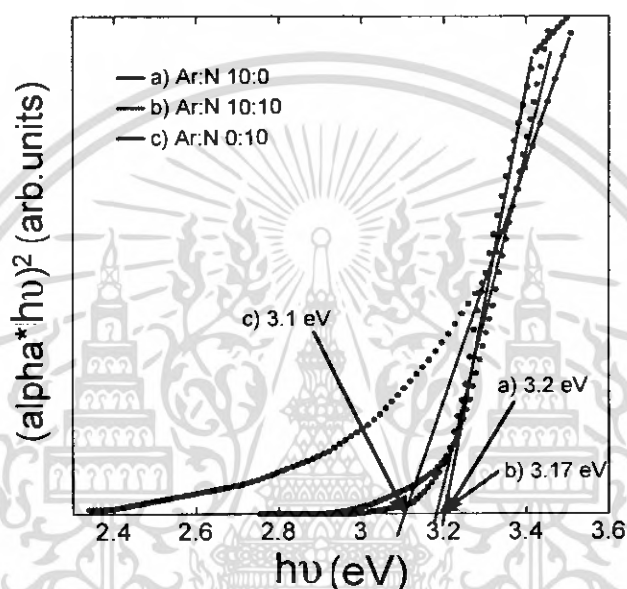
4.2.1 ปลุกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์โดยการควบคุมอัตราส่วนการจ่ายก๊าซ

ในงานวิจัยนี้ได้ควบคุมอัตราส่วนการจ่ายก๊าซอาร์กอนกับไนโตรเจน มีหน่วย sccm ด้วยอัตราส่วนดังนี้



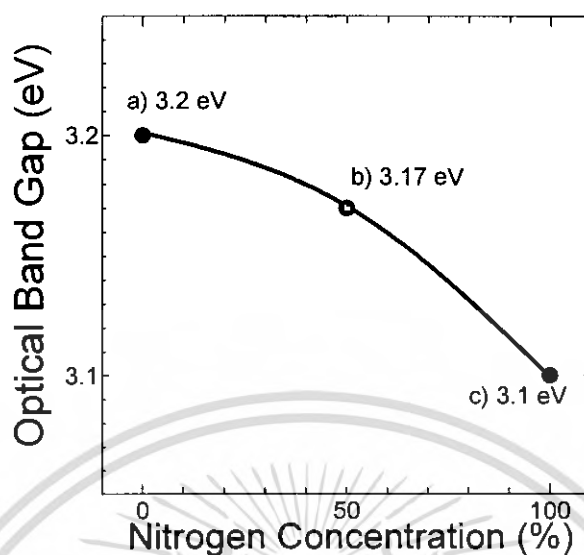
รูปที่ 4.4 การทะลุผ่านของแสงของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์ที่ควบคุมอัตราส่วนของการจ่ายก๊าซอาร์กอนกับไนโตรเจน

จากรูปที่ 4.4 จะเป็นกราฟระหว่างค่าการทะลุผ่านของแสงกับความยาวคลื่นแสงที่วัดจากเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer ซึ่งจะเห็นการเลื่อนไปของการทะลุผ่านของแสงไปทางด้านของความยาวคลื่นแสงสีแดงเมื่อก๊าซไนโตรเจนมากขึ้น นำผลของกราฟระหว่างค่าการทะลุผ่านของแสงกับความยาวคลื่นแสงไปทำการวิเคราะห์ด้วยกราฟเทาช์เพื่อหาค่า Optical Band Gap ได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กราฟเทาช์ของฟิล์มบางซิงโครออร์แกนไนไตรด์ที่ควบคุมอัตราส่วนของการจ่ายก๊าซอาร์กอนกับไนโตรเจน

นำค่าอัตราส่วนการจ่ายก๊าซอาร์กอนกับไนโตรเจนกับค่า Optical Band Gap มาเทียบเป็นกราฟได้ดังรูป 4.6 เพื่อดูผลของการเปลี่ยนอัตราส่วนการจ่ายก๊าซอาร์กอนกับไนโตรเจน ว่ามีผลอย่างไรกับค่า Optical Band Gap ซึ่งจะเห็นการเปลี่ยนแปลงที่ค่า Optical Band Gap ลดลงเมื่อก๊าซไนโตรเจนมากขึ้น

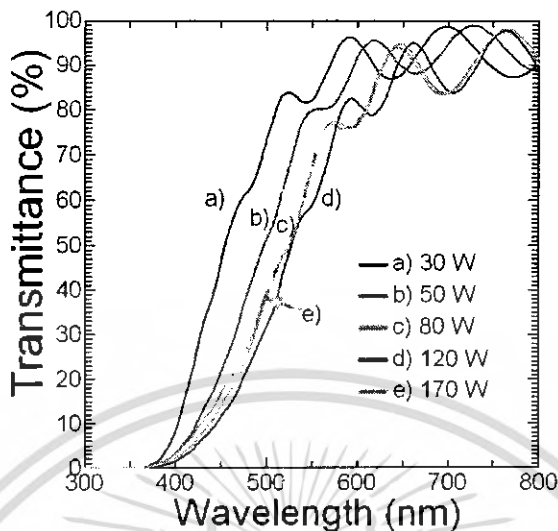


รูปที่ 4.6 กราฟระหว่างอัตราส่วนการจ่ายก๊าซอาร์กอนกับไนโตรเจนกับค่า Optical Band Gap ของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ไนไตรด์

4.2.2 การปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ไนไตรด์โดยควบคุมกำลังสัญญาณวิทยุความถี่ 13.56 MHz

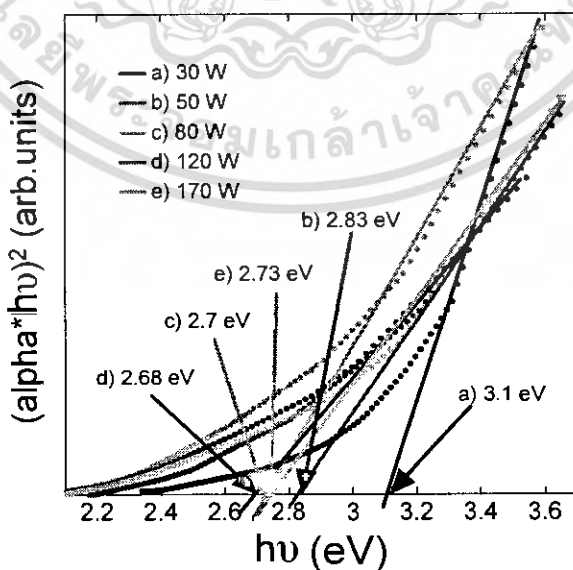
จากเงื่อนไขในการควบคุมอัตราส่วนการจ่ายก๊าซอาร์กอนกับไนโตรเจน จะเลือกอัตราส่วนการจ่ายก๊าซอาร์กอนกับไนโตรเจนที่ 0:10 sccm ความหนา 1,000 นาโนเมตร แล้วทำการปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ไนไตรด์ด้วยเลือกกำลังดังต่อไปนี้

- 30 W
- 50 W
- 80 W
- 120 W
- 170 W



รูปที่ 4.7 การทะลุผ่านของแสงของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์ที่ควบคุมกำลังสัญญาณวิทยุ ความถี่ 13.56 MHz

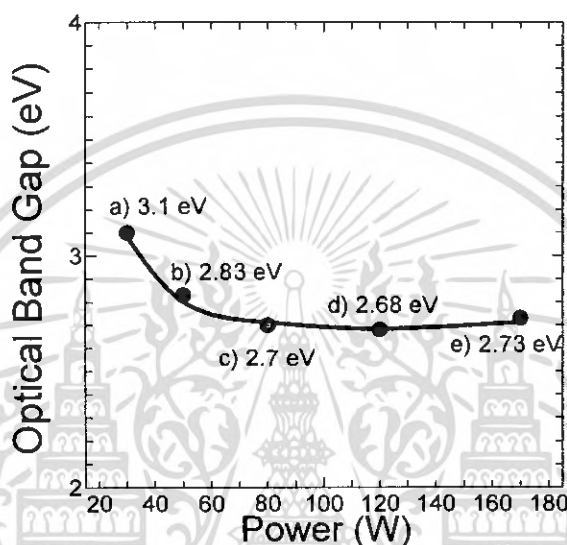
จากรูปที่ 4.7 จะเป็นกราฟระหว่างค่าการทะลุผ่านของแสงกับความยาวคลื่นแสงที่วัดจากเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer ซึ่งจะเห็นการเลื่อนไปของการทะลุผ่านของแสงไปทางด้านของความยาวคลื่นแสงสีแดงเมื่อกำลังสัญญาณวิทยุความถี่ 13.56 MHz เพิ่มขึ้น นำผลของกราฟระหว่างค่าการทะลุผ่านของแสงกับความยาวคลื่นแสงไปทำการวิเคราะห์ด้วยกราฟแทชเพื่อหาค่า Optical Band Gap ได้ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟแทชของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์ที่ควบคุมกำลังสัญญาณวิทยุ ความถี่ 13.56 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่ากำลังสัญญาณวิทยุความถี่ 13.56 MHz กับค่า Optical Band Gap มาเทียบเป็นกราฟได้ดังรูป 4.9 เพื่อดูผลของการเปลี่ยนกำลังสัญญาณวิทยุความถี่ 13.56 MHz ว่ามีผลอย่างไรกับค่า Optical Band Gap ซึ่งจะเห็นการเปลี่ยนแปลงที่ค่า Optical Band Gap ลดลงเมื่อกำลังสัญญาณวิทยุความถี่ 13.56 MHz เพิ่มขึ้น

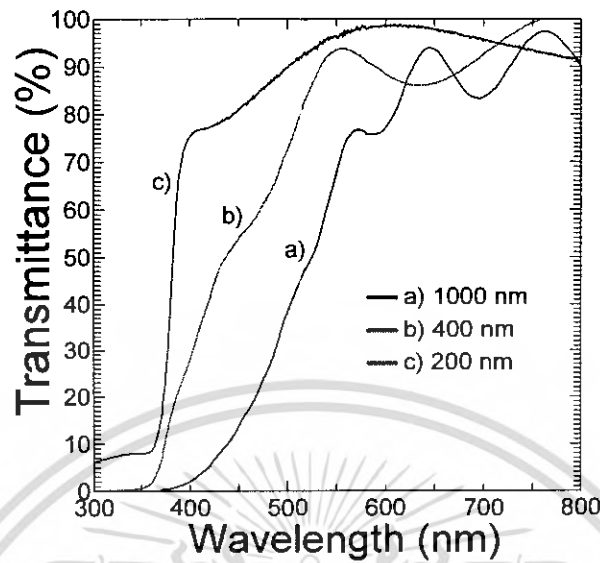


รูปที่ 4.9 กราฟระหว่างกำลังสัญญาณวิทยุความถี่ 13.56 MHz กับค่า Optical Band Gap ของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์

4.2.3 การปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์โดยการควบคุมความหนาของฟิล์มที่ปลูก

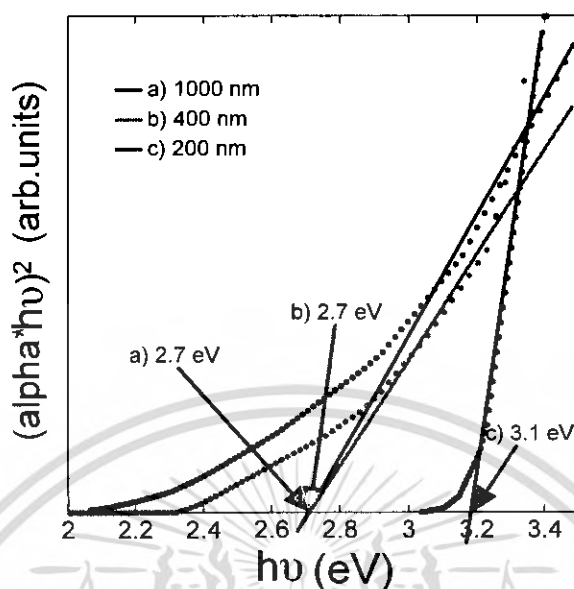
เลือกเงื่อนไขของอัตราส่วนการจ่ายก๊าซอาร์กอนกับไนโตรเจนที่ 0:10 sccm และเลือกเงื่อนไขกำลังที่ 80 W แล้วปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์โดยควบคุมความหนาของฟิล์มดังนี้

- 200 นาโนเมตร
- 400 นาโนเมตร
- 1000 นาโนเมตร



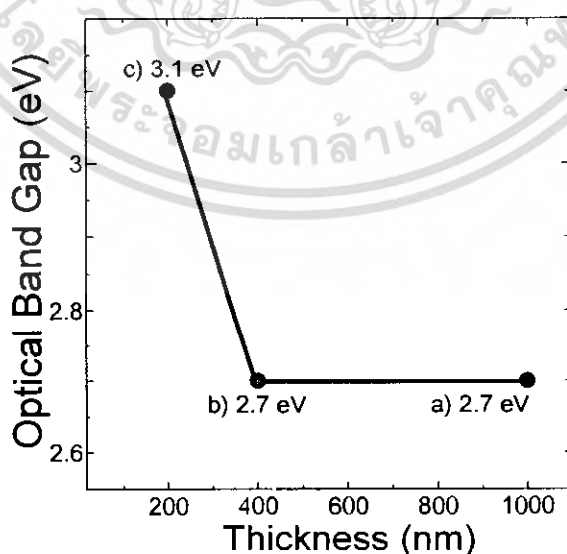
รูปที่ 4.10 การทะลุผ่านของแสงของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไดร็คที่ควบคุมความหนาของฟิล์มที่ปลูก

จากรูปที่ 4.10 จะเป็นกราฟระหว่างค่าการทะลุผ่านของแสงกับความยาวคลื่นแสงที่วัดจากเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer ซึ่งจะเห็นการเลื่อนไปของการทะลุผ่านของแสงไปทางด้านของความยาวคลื่นแสงสีแดงเมื่อความหนาของฟิล์มที่ปลูกเพิ่มขึ้น นำผลของกราฟระหว่างค่าการทะลุผ่านของแสงกับความยาวคลื่นแสงไปทำการวิเคราะห์ด้วยกราฟเทอซ์เพื่อหาค่า Optical Band Gap ได้ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 กราฟเทazăของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในไตรด์ที่ควบคุมความหนาของฟิล์มที่ปลูก

นำค่าความหนาของฟิล์มที่ปลูกกับค่า Optical Band Gap มาเทียบเป็นกราฟได้ดังรูป 4.12 เพื่อดูผลของการเปลี่ยนความหนาของฟิล์มที่ปลูก ว่ามีผลอย่างไรกับค่า Optical Band Gap ซึ่งจะไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงที่ค่า Optical Band Gap แม้ว่าความหนาของฟิล์มที่ปลูกจะมีค่าเพิ่มขึ้นก็ตาม แต่ที่ความหนา 200 นาโนเมตร มีค่า Optical Band Gap ไม่เท่ากับความหนาตัวอื่นเพราะฟิล์มยังไม่มีความเป็นผลึก



รูปที่ 4.12 กราฟระหว่างความหนาของฟิล์มที่ปลูกกับค่า Optical Band Gap ของฟิล์มบาง

ซิงค์ออกไซด์ในไตรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้จะทำการปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ในโครด์ ด้วยระบบสปีดเตอริงความดัน 10^{-6} มิลลิบาร์ ที่อุณหภูมิห้อง ด้วยเงื่อนไขต่างๆ

5.1 ผลการวิจัยจากการวัดด้วยเครื่อง X-ray diffractometer

ผลการวิจัยจากการวัดด้วยเครื่อง X-ray diffractometer สามารถสรุปได้ตามเงื่อนไขต่างๆ ดังนี้

5.1.1 ยอดของการเลี้ยวเบนของฟิล์มบางที่ควบคุมอัตราส่วนของการจ่ายก๊าซอาร์กอนกับไนโตรเจนโดยยอดที่สูงที่สุดอยู่ที่มุม 34.7 องศา ระนาบ (002)

5.1.2 ยอดของการเลี้ยวเบนของฟิล์มบางที่ควบคุมกำลังสัญญาณวิทยุความถี่ 13.56 MHz จะมียอดของการเลี้ยวเบนเกิดขึ้น โดย ยอดที่สูงที่สุดอยู่ที่มุม 34.7 องศา ระนาบ (002)

5.1.3 ยอดของการเลี้ยวเบนของฟิล์มบางที่ควบคุมความหนา 200 , 400 และ $1,000$ นาโนเมตร จะมียอดของการเลี้ยวเบนเกิดขึ้น โดย ยอดที่สูงที่สุดอยู่ที่มุม 34.9 องศา ระนาบ (002)

5.2 ผลการวิจัยจากการวัดด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer

เพื่อที่จะวัดค่าการทะลุผ่านของแสงกับความยาวคลื่นแสง ซึ่งค่าที่ได้จะนำไปวิเคราะห์และคำนวณหาค่า Optical Band Gap และเทียบดูแต่ละเงื่อนไขการปลูกฟิล์มใดที่จะมีผลทำให้ค่า Optical Band Gap เปลี่ยนแปลงมากที่สุด โดยแต่ละเงื่อนไขการปลูกฟิล์มมีผลสรุปเป็นดังนี้

5.2.1 การควบคุมอัตราส่วนของการจ่ายก๊าซอาร์กอนต่อไนโตรเจน ที่ไนโตรเจนมากขึ้น ค่า Optical Band Gap จะมีค่าลดลง ซึ่งค่าน้อยสุดคือ 3.1 eV ที่อัตราส่วนก๊าซอาร์กอนต่อไนโตรเจนเป็น 0:10

5.2.2 การควบคุมกำลังสัญญาณวิทยุความถี่ 13.56 MHz ที่กำลังมากขึ้น ค่า Optical Band Gap จะมีค่าลดลง ซึ่งค่าน้อยสุดคือ 2.68 eV ที่กำลัง 120 W

5.2.3 การควบคุมความหนาของฟิล์มที่ปลูก จะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า Optical Band Gap ซึ่งที่ความหนา 200 นาโนเมตร มีค่า 3.1 eV เนื่องจากฟิล์มยังไม่มีผลเป็นผลึก

โดยเงื่อนไขการปลูกฟิล์มที่ทำให้ค่า Optical Band Gap เปลี่ยนแปลงมากที่สุดคือ อัตราส่วนก๊าซอาร์กอนต่อไนโตรเจน เป็น 0:10 ที่กำลัง 120 W และความหนา 1000 นาโนเมตร

เอกสารอ้างอิง

- [1] อรรถพร คล้ำชื่น. “การปลูกฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์บนฐานรองรับพลาสติกโดยอาร์เอฟแมกนีตรอนสปีดเตอริงแบบควบคุมเวลาก๊าซ” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2548.
- [2] เบลูจพล ต้นธุ์. “การปลูกฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ CuPc โดยเทคนิคระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอน” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2548.
- [3] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตติ หนูแก้ว. “โครงการพัฒนาสารกึ่งตัวนำโดยวิธีระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอนในสุญญากาศ เพื่อประยุกต์เป็นอุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์” ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.
- [4] C. G. Granqvist, and A. Hultåker “Transparent and conducting ITO films: new developments and applications” thin solid films, vol.411, April 2002. Pp.1-5
- [5] Masanobu Futsuhara, Katsuaki Yoshioka, Osamu Takai “Optical properties of zinc oxynitride thin films” thin solid films, vol.317, 1998. Pp.322-325