

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

**การศึกษาสมบัติรอยต่อไอห่มมิคของฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์
ที่เตรียมด้วยวิธีอบสารละลายเคมี**



นางสาวกุดวรางค์ นุตะมาน
นายคงกฤษณ์ ไพรวลย์

4/พ.
1185050A
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... **76636**
วัน,เดือน,ปี..... **-3 S.ค. 2550**

b. **1185050A**
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานปีการศึกษา 2549 นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาสมบัติรอยต่อโอห์มมิกของฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์
ที่เตรียมด้วยวิธีอบสารละลายเคมี



นางสาวกฤษกรังค์ นุตะมาน
นายคงกฤษณ์ ไพโรวัลย์

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ปีการศึกษา 2549 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Study of Ohmic Contact of CdS Thin films Prepared by Chemical
Bath Deposition Method**



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 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การศึกษาสมบัติรอยต่อโอห์มมิกของฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์ที่เตรียมด้วยวิธีออบสารละลายเคมี
นักศึกษา นางสาวกุลวรางค์ นุตะมาน
 นายคงกฤษณ์ ไพรวัลย์
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. จูตินัย แก้วแดง
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ. ณัฐพร พรหมมรส

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

| คณะกรรมการการตรวจสอบ | ลายมือชื่อ |
|----------------------|---------------------------------|
| ประธานกรรมการ | ร.ศ. งามนิตย์ วงษ์เจริญ |
| กรรมการ | ผศ.ดร. ชัยสิทธิ์ ภูริภัยเกียรติ |
| กรรมการ | อ. ภารุจ บัณฑิตชาดิวิทย์ |
| กรรมการที่ปรึกษา | รศ.ดร. จูตินัย แก้วแดง |
| กรรมการที่ปรึกษาร่วม | อ. ณัฐพร พรหมมรส |

.....
(Signature)

(รองศาสตราจารย์วิชาญ เตชะดิธีระ)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบให้สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การศึกษาสมบัติรอยต่อ โอห์มมิกของฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์ที่เตรียมด้วยวิธีออบสารละลายเคมี

นักศึกษา นางสาวกฤษวรงค์ นุตะมาน
นายคงกฤษณ์ ไพรวัดย์

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

ปีการศึกษา 2549

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ชูตินัย แก้วแดง

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ. ณัฐพร พรหมรส

บทคัดย่อ

ในโครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษารอยต่อโอห์มมิกระหว่างฟิล์มบาง CdS กับ อลูมิเนียม และเงิน โดยทำการศึกษาภายใต้เงื่อนไขของการแอนนีสและการวัดที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งฟิล์มบาง CdS ที่ทำการศึกษานั้นเตรียมขึ้นด้วยวิธีออบสารละลายเคมี โดยจากการทดลองทำการศึกษาค่ากระแสรีชาร์ดสัน ซึ่งวัดได้จากจุดที่เกิดการแยกของกราฟระหว่างค่ากระแสและความต่างศักย์ที่อุณหภูมิต่างๆ โดยในการศึกษาค่ากระแสรีชาร์ดสันที่อุณหภูมิต่างๆ จะพบว่าค่ากระแสรีชาร์ดสันของฟิล์มที่ได้จากการแอนนีสในอากาศจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิ 100°C แต่เมื่ออุณหภูมิมีค่ามากกว่า 100°C ค่ากระแสรีชาร์ดสันจะลดลงอย่างฉับพลัน และเมื่อทำการศึกษาค่ากระแสรีชาร์ดสันของฟิล์มบางที่ทำการแอนนีสภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน พบว่าค่ากระแสรีชาร์ดสันจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิแอนนีสมีค่าสูงขึ้น นั่นคือค่ากระแสและความต่างศักย์นั้นเป็นฟังก์ชันที่ขึ้นกับอุณหภูมิ โดยค่ากระแสรีชาร์ดสันจะลดลงเมื่ออุณหภูมิมียค่าลดลง และในการทดลองสามารถหาค่าความสูงของกำแพงศักย์ได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง I_0/T^2 กับ $1/T$ ซึ่งพบว่ารอยต่อโอห์มมิกที่สร้างขึ้นจากเงินและแอนนีสในอากาศ จะเป็นรอยต่อโอห์มมิกที่ดีที่สุด เนื่องจากมีค่ากำแพงศักย์ต่ำที่สุดนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Study of Ohmic Contact of CdS Thin Films Prepared by Chemical Bath Deposition Method

Name Miss. Kulwarang Nutaman
Mr. Kongkrit Priwan

Department Applied Physics Faculty of Science

Program Applied Physics

Academic Year 2006

Special Project Advisor Assoc. Prof. Dr. Thitinai Gaewdang

Special Project co-advisor Aj. Nathapom Promros

ABSTRACT

In this special project, ohmic contacts of CdS thin films with Al and silver paint contact were studied at various temperatures and annealing conditions. CdS thin films were prepared by chemical bath deposition method. Richardson's current determined from the splitting point of I-V curve was measured at various temperatures. Regarding to the experimental data at room temperature, it is shown that Richardson's current of the films annealed in air decreases as the annealing temperature increases up to 100°C. Conversely, Richardson's current of the films sharply decreases when annealing temperature higher than 100°C. However, Richardson's current of the films annealed in nitrogen atmosphere decreases as the annealing temperature increases. I-V measurement were also performed as a function of temperature. Richardson's current decreases as the temperature decreases. The barrier height values of the two metal contacts were evaluated from the graph of I_0/T^2 versus $1/T$. The metal contact made from the silver paint annealed in air showed the best ohmic contact with the lowest barrier height.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จและลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาของรองศาสตราจารย์ ดร. จูตินัย แก้วแดง รองศาสตราจารย์ งามนิศย์ วงษ์เจริญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยสิงห์ ภูริรักษ์เกียรติ รองศาสตราจารย์ ดร. ทิพรัตน์ วงษ์เจริญ และอาจารย์ ฉัฐพร พรหมรส ที่คอยให้คำแนะนำรวมทั้งเอื้ออำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดลองตลอดจนให้คำแนะนำคำปรึกษาทางวิชาการรวมไปถึงการปลูกฝังสิ่งที่ดีงามให้แก่ศิษย์ทุกคน

ขอขอบคุณ ดร.ชาญวิทย์ จิตยุทธการ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ออกแบบและสร้างเครื่องระเหยสารด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ เพื่อใช้ในการสร้างรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำ

ขอขอบคุณคุณปกรณ์ สิทธิเชตรกรณ์ คุณจิตติกร จรรยาธรรม คุณอัครุย์ หาญวิงม่วง และคุณประธาน ประจวบโชค นักศึกษาปริญญาโท ห้องปฏิบัติการทางแสง ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกด้าน ขอขอบคุณเพื่อนๆ และน้องๆ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจด้วยดีเสมอมา และที่ขาดเสียมิได้ขอขอบคุณผู้ร่วมทำโครงการพิเศษ ที่ให้ความร่วมมือและใส่ใจในการทำโครงการพิเศษร่วมกัน

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณครูอาจารย์ทุกท่าน ที่ให้ความเมตตาประสิทธิ์ประสาทวิชา ตั้งแต่การศึกษาภาคบังคับจนกระทั่งปัจจุบัน ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับคุณพ่อ คุณแม่ ครอบครัว ที่เป็นที่ปรึกษาทั้งเรื่องการเรียนรู้และการใช้ชีวิต รวมถึงคอยอบรมสั่งสอน และให้ความรักความเข้าใจแก่ลูก ขอขอบคุณญาติพี่น้อง ทุกๆ ท่านที่ให้ความอนุเคราะห์อุปการะทุนการศึกษาเล่าเรียน และเป็นกำลังใจให้กันตลอดมา

นางสาว กุลวรางค์ นุตะมาน

นาย กงกฤษณ์ ไพรวลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | ข |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ค |
| สารบัญ..... | ง |
| สารบัญตาราง..... | ฉ |
| สารบัญรูป..... | ฉ |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์..... | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... | 2 |
| 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน..... | 3 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 3 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง..... | 4 |
| 2.1 ทฤษฎีและการวิเคราะห์โครงสร้างของผลึก..... | 4 |
| 2.1.1 โครงสร้างผลึกในอุดมคติ..... | 4 |
| 2.1.1.1 โครงสร้างผลึกที่สำคัญของสารกึ่งตัวนำ..... | 6 |
| 2.1.1.2 โครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์..... | 6 |
| 2.1.1.3 โครงสร้างผลึกแบบเวอร์ทไซท์..... | 7 |
| 2.1.1.4 ความไม่สมบูรณ์ของผลึก..... | 7 |
| 2.1.1.4.1 ข้อบกพร่องผลึกแบบจุด..... | 8 |
| 2.1.1.4.2 ข้อบกพร่องผลึกเชิงเส้น..... | 9 |
| 2.1.1.4.3 ข้อบกพร่องผลึกแบบแนวระนาบ..... | 9 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 2.2 ทฤษฎีโครงสร้างแถบพลังงาน..... | 10 |
| 2.2.1 โครงสร้างแถบพลังงานของโลหะ สารกึ่งตัวนำ และฉนวน..... | 10 |
| 2.2.1.1 ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ..... | 12 |
| 2.3 สมบัติทางไฟฟ้า..... | 13 |
| 2.3.1 สภาพนำไฟฟ้า..... | 13 |
| 2.3.1.1 การนำไฟฟ้าในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ..... | 15 |
| 2.3.2 แบบจำลองของชอตต์กี..... | 16 |
| 2.3.3 ทฤษฎีเทอร์มิโอนิกอิมิสชัน..... | 17 |
| 2.3.3.1 กระแสที่เกิดจากการลอดผ่านกำแพงศักย์..... | 19 |
| 2.3.4 รอยต่อแบบ โอห์มมิก..... | 20 |
| 2.3.5 การหาค่าความสูงของกำแพงศักย์ที่รอยต่อระหว่าง โลหะกับสารกึ่งตัวนำ..... | 22 |
| 2.4 เทคนิคการเคลื่อนฟิล์มบาง โดยการระเหยสารด้วยความร้อนในสุญญากาศ..... | 27 |
| 2.4.1 กระบวนการเตรียมฟิล์มบางด้วยการระเหยสาร..... | 27 |
| 2.4.1.1 อัตราการระเหยสาร..... | 27 |
| 2.4.1.2 ความดันไอของธาตุ..... | 28 |
| 2.4.1.3 แหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้ในการระเหยสารด้วยไฟฟ้า..... | 29 |
| 2.4.1.3.1 แหล่งกำเนิดชนิดหลอดทังสเตน..... | 29 |
| 2.4.1.3.2 แหล่งกำเนิดชนิดแผ่นโลหะทรงรูป..... | 30 |
| 2.4.1.3.3 เตาระเหย..... | 30 |
| 2.4.1.3.4 เป้าหลอม..... | 30 |
| 2.5 การเตรียมฟิล์มบาง Cds โดยใช้วิธีอบสารละลายเคมี..... | 31 |
| 2.5.1 กระบวนการเกิดปฏิกิริยา..... | 31 |
| 2.5.1.1 การเกิดปฏิกิริยาเพื่อให้ได้แคดเมียมซัลไฟด์..... | 31 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย..... | 32 |
| 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย..... | 32 |
| 3.1.1 เตรียมฟิล์มบาง โดยวิธีการอบสารละลายเคมี..... | 32 |
| 3.1.2 ล้างผิวหน้าฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมโดยการอบสารละลายเคมี..... | 33 |
| 3.1.3 สร้างรอยต่อ โอลิเมอร์กับฟิล์มบางด้วยซิลเวอร์..... | 33 |
| 3.1.4 สร้างรอยต่อ โอลิเมอร์กับฟิล์มบางด้วยอลูมิเนียมโดยวิธีระเหยด้วยความร้อน ในระบบสุญญากาศ..... | 34 |
| 3.1.5 กระบวนการแอนนัลในบรรยากาศใน โครเจนและบรรยากาศออกซิเจน..... | 35 |
| 3.1.6 การศึกษาสมบัติของรอยต่อ โอลิเมอร์กับฟิล์มบางขณะลดและเพิ่มอุณหภูมิ..... | 36 |
| 3.1.7 การศึกษาคุณสมบัติของรอยต่อ โอลิเมอร์กับฟิล์มบาง..... | 36 |
| 3.2 ขั้นตอนการวิจัย..... | 38 |
| 3.2.1 การเตรียมแผ่นรองรับที่เป็นกระจกใส..... | 38 |
| 3.2.2 วิธีการเตรียมฟิล์มบาง CdS โดยวิธีการอบสารละลายเคมี..... | 39 |
| 3.2.3 ล้างผิวหน้าของฟิล์มบาง CdS..... | 40 |
| 3.2.4 การสร้างรอยต่อ โอลิเมอร์ด้วยการระเหยสารด้วยความร้อนในระบบ สุญญากาศของอลูมิเนียม..... | 40 |
| 3.2.5 การสร้างรอยต่อ โอลิเมอร์ด้วยกาวยาง..... | 41 |
| 3.2.6 กระบวนการแอนนัลในบรรยากาศออกซิเจน..... | 42 |
| 3.2.7 กระบวนการแอนนัลในบรรยากาศใน โครเจน..... | 42 |
| 3.2.8 การศึกษาคุณสมบัติของรอยต่อ โอลิเมอร์กับฟิล์มบางที่อุณหภูมิห้อง..... | 43 |
| 3.2.9 การศึกษาสมบัติของรอยต่อ โอลิเมอร์กับฟิล์มบางขณะทำการลดอุณหภูมิ..... | 43 |
| 3.2.10 การศึกษาสมบัติของรอยต่อ โอลิเมอร์กับฟิล์มบางขณะทำการเพิ่มอุณหภูมิ..... | 44 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 3.3 ขั้นตอนการคำนวณและวิเคราะห์ผลการทดลอง..... | 44 |
| 3.31 ศึกษาสมบัติของรอยต่อจากค่าความหนาแน่นของกระแสชาร์ตสัน..... | 44 |
| 3.32 ศึกษาสมบัติของรอยต่อจากความสูงของกำแพงศักย์..... | 45 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล..... | 46 |
| 4.1 ลักษณะของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมได้จากวิธีอบสารละลายเคมี..... | 46 |
| 4.1.1 ลักษณะของฟิล์มบาง CdS ที่ทำการสร้างรอยต่อโอห์มมิกกับเงิน ด้วยวิธีป้ายกาวเงิน | 47 |
| 4.1.2 ลักษณะของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อโอห์มมิกกับบอลูมิเนียม ด้วยวิธีการระเหยสารด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ..... | 47 |
| 4.1.3 ลักษณะของฟิล์ม CdS ที่ทำการสร้างรอยต่อโอห์มมิกกับเงินแล้ว แอนนีสที่อุณหภูมิต่าง ๆ ภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน..... | 48 |
| 4.1.4 ลักษณะของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อโอห์มมิกกับบอลูมิเนียม แล้วแอนนีสที่อุณหภูมิต่าง ๆ ภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน..... | 48 |
| 4.1.5 ลักษณะของฟิล์มบาง CdS ที่ทำการสร้างรอยต่อ โอห์มมิกกับเงิน แล้วแอนนีสที่อุณหภูมิต่าง ๆ ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน..... | 49 |
| 4.1.6 ลักษณะของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อ โอห์มมิกกับบอลูมิเนียม แล้วแอนนีสที่อุณหภูมิต่าง ๆ ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน..... | 49 |
| 4.2 การศึกษาสมบัติรอยต่อโอห์มมิกของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียม ด้วยวิธีอบสารละลายเคมี | 50 |
| 4.2.1 การศึกษาสมบัติรอยต่อโอห์มมิกเมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิห้อง ของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมด้วยวิธีอบสารละลายเคมี..... | 50 |

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

| | |
|---|----|
| 4.2.1.1 การศึกษาสมบัติรอยต่อไอห่มมิกเมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิห้องของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อไอห่มมิกโดยเงิน และทำการแอนนัลภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน..... | 51 |
| 4.2.1.2 การศึกษาสมบัติรอยต่อไอห่มมิกเมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิห้องของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อไอห่มมิกโดยอลูมิเนียมและทำการแอนนัลภายใต้บรรยากาศของออกซิเจนที่อุณหภูมิห้อง..... | 53 |
| 4.2.1.3 การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าเมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิห้องของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อไอห่มมิกโดยเงิน ที่ทำการแอนนัลภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนที่อุณหภูมิห้อง..... | 55 |
| 4.2.1.4 การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าเมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิห้องของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อไอห่มมิกโดยอลูมิเนียมแล้วทำการแอนนัลภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนที่อุณหภูมิห้อง..... | 57 |
| 4.2.2.1 การศึกษาสมบัติรอยต่อไอห่มมิกเมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิสูงของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อไอห่มมิกโดยเงิน และแอนนัลภายใต้บรรยากาศของออกซิเจนเมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิสูง..... | 59 |
| 4.2.2.2 การศึกษาสมบัติรอยต่อไอห่มมิกเมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิต่ำของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อไอห่มมิกโดยเงินและแอนนัลภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนเมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิต่ำ..... | 61 |
| 4.2.3.1 การศึกษาสมบัติรอยต่อไอห่มมิกเมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิสูงของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมด้วยวิธีอบสารละลายเคมี และสร้างรอยต่อไอห่มมิกโดยอลูมิเนียม และแอนนัลภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน..... | 63 |
| 4.2.3.2 การศึกษาสมบัติรอยต่อไอห่มมิกเมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิต่ำของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมด้วยวิธีอบสารละลายเคมี และ สร้างรอยต่อไอห่มมิกโดยอลูมิเนียม และแอนนัลภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน..... | 65 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 4.3 ศึกษาสมบัติของรอยต่อจากความสูงของกำแพงศักย์ (ϕ_b)..... | 67 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... | 70 |
| 5.1 การเตรียมฟิล์มบาง Cds ด้วยวิธีออบสารละลายเคมี..... | 70 |
| 5.1.1 การสร้างรอยต่อโอห์มมิกกับเงิน ด้วยวิธีป้ายกาวเงิน..... | 70 |
| 5.1.2 การสร้างรอยต่อโอห์มมิก กับอลูมิเนียมด้วยวิธีการ ระเหยสารด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ..... | 70 |
| 5.2 การศึกษาสมบัติของรอยต่อโอห์มมิกของฟิล์มบาง Cds ที่เตรียมด้วยวิธีออบสารละลายเคมี..... | 71 |
| 5.2.1 การศึกษาสมบัติของกระแสชาร์ดสันที่อุณหภูมิแอนนีสต่างๆ..... | 71 |
| 5.2.2 การศึกษาคุณสมบัติของกระแสชาร์ดสันเมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน..... | 71 |
| 5.3 การศึกษาคุณสมบัติของกำแพงศักย์ของโลหะ..... | 72 |
| ปัญหาและข้อเสนอแนะ..... | 72 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 73 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 75 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|----------|---|
| 2.1 | ค่าคงที่ของ โครงผลึกของหน่วยเซลล์ในระบบ 2 มิติ.....5 |
| 4.1 | แสดงค่าพื้นที่ของรอยต่อ กระแสบริเวณที่กราฟเกิดการแยกออก (กระแสชาร์ดสัน) รวมถึงค่าความหนาแน่นของกระแสชาร์ดสัน ของฟิล์มบาง CdS ที่ทำการสร้างรอยต่อ โห้หม่มกับเงินแล้วแอนนีส ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ภายใต้บรรยากาศของออกซิเจนเป็นเวลา 10 นาที.....52 |
| 4.2 | แสดงค่าพื้นที่ของรอยต่อ และกระแสบริเวณที่กราฟเกิดการแยกออก (กระแสชาร์ดสัน) รวมถึงค่าความหนาแน่นของกระแสชาร์ดสันของ ฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อ โห้หม่มกับบอลูมิเนียม แล้วแอนนีสที่ อุณหภูมิต่างๆ ภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน เป็นเวลา 10 นาที.....54 |
| 4.3 | แสดงพื้นที่ของรอยต่อ และกระแสบริเวณที่กราฟเกิดการแยกออก (กระแสชาร์ดสัน) รวมถึงค่าความหนาแน่นของกระแสชาร์ดสัน ของฟิล์มบาง CdS ที่ทำการสร้างรอยต่อ โห้หม่มกับเงินแล้วแอนนีส ที่อุณหภูมิต่างๆ ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนเป็นเวลา 10 นาที.....56 |
| 4.4 | แสดงค่าพื้นที่ของรอยต่อ และกระแสบริเวณที่กราฟเกิดการแยกออก (กระแสชาร์ดสัน) รวมถึงค่าความหนาแน่นของกระแสชาร์ดสัน ของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อ โห้หม่มกับบอลูมิเนียม แล้วแอนนีส ที่อุณหภูมิต่างๆ ในบรรยากาศของไนโตรเจนเป็นเวลา 10 นาที.....58 |
| 4.5 | แสดงค่าพื้นที่ของรอยต่อ และกระแสบริเวณที่กราฟเกิดการแยกออก (กระแสชาร์ดสัน) รวมถึงค่าความหนาแน่นของกระแสชาร์ดของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อ โห้หม่มโดยเงิน ทำการแอนนีสภายใต้บรรยากาศของ ออกซิเจนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เมื่อวัดที่อุณหภูมิต่างๆเป็นเวลา 10 นาที.....60 |
| 4.6 | แสดงค่าพื้นที่ของรอยต่อ และกระแสบริเวณที่กราฟเกิดการแยกออก (กระแสชาร์ดสัน) รวมถึงค่าความหนาแน่นของกระแสชาร์ดของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อ โห้หม่มโดย เงิน ทำการแอนนีสภายใต้บรรยากาศของ ไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เมื่อวัดที่ อุณหภูมิต่างๆเป็นเวลา 10 นาที.....62 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | | หน้า |
|----------|--|------|
| 4.7 | แสดงค่าพื้นที่ของรอยต่อ และกระแสบริเวณที่กราฟเกิดการแยกออก (กระแสชาร์จ์คั่น) รวมถึงค่าความหนาแน่นของกระแสชาร์จ์ของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อโอห์มมิกโดย อลูมิเนียม ทำการแอลนีลภายใต้บรรยากาศของ ออกซิเจนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เมื่อวัดที่อุณหภูมิต่างๆเป็นเวลา 10 นาที..... | 64 |
| 4.8 | แสดงค่าพื้นที่ของรอยต่อ และ กระแสบริเวณที่กราฟเกิดการแยกออก (กระแสชาร์จ์คั่น) รวมถึงค่าความหนาแน่นของกระแสชาร์จ์ของฟิล์มบางCdS ที่สร้างรอยต่อ โอห์มมิกโดย อลูมิเนียม ทำการแอลนีลภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียสเมื่อวัดที่อุณหภูมิต่าง ๆเป็นเวลา 10 นาที..... | 66 |
| 4.9 | แสดงค่าความสูงของกำแพงศักย์ (ϕ_b) ผังโลหะ ที่หาได้จากความชันของกราฟ..... | 69 |

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 แสดงหน่วยเซลล์ในระบบ 2 มิติ..... | 4 |
| 2.2 แสดงพันธะเตตระอีตรอนของสารประกอบตระกูล II –VI..... | 6 |
| 2.3 แสดงโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์ของ CdS..... | 6 |
| 2.4 แสดงโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์ของ CdS..... | 7 |
| 2.5 แสดงข้อบกพร่องผลึกแบบจุด..... | 8 |
| 2.6 แสดงข้อบกพร่องผลึกแบบคิสโตเคชันแบบขอบและแบบสกรู..... | 9 |
| 2.7 แสดงเกรน และขอบเขตของเกรน..... | 9 |
| 2.8 แสดงโครงสร้างแถบพลังงานของ | |
| ก. โลหะ | |
| ข. สารกึ่งตัวนำ | |
| ค. ฉนวน..... | 11 |
| 2.9 แสดงลักษณะโครงสร้างแถบพลังงาน และการย้ายสถานะพลังงานของ | |
| อิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์..... | 12 |
| ก. ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง | |
| ข. ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบเอียง | |
| 2.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโฟตอนกับพลังงาน | |
| โฟตอนของสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์..... | 13 |
| ก. ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง | |
| ข. ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบเอียงในกรณีที่เกิดกระบวนการสร้างโฟนอน | |
| 2.11 แสดงการจ่ายแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสารตัวอย่าง..... | 14 |
| 2.12 แสดงระดับพลังงานของรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น..... | 16 |
| ก. ชนิดรอยต่อชอตต์กีเมื่อ $\phi_m > \chi_s$ | |
| ข. ชนิดรอยต่อโอห์มมิกเมื่อ $\phi_m < \chi_s$ | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.13 แสดงระดับพลังงานของรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิดพี..... | 17 |
| ก. ชนิดรอยต่อโอห์มมิกเมื่อ $\phi_m < \chi_s$ | |
| ข. ชนิดรอยต่อชอตต์กีเมื่อ $\phi_m > \chi_s$ | |
| 2.14 แสดงโครงสร้างพลังงานของรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นที่มีการไหลของกระแสที่เกิดจากขบวนการเทอร์มิโอนิกอิมิสชัน..... | 19 |
| ก. ขณะไม่มีการไบอัส ภาวะสมดุล | |
| ข. ขณะไบอัสตรง | |
| ค. ขณะไบอัสกลับทาง | |
| 2.15 ภาพแสดงโครงสร้างแถบพลังงานของรอยต่อแบบโอห์มมิกตัวนำชนิดเอ็นที่มีการไหลของกระแสที่เกิดจากกระบวนการลอดผ่านกำแพงศักย์..... | 21 |
| ก. รอยต่อที่กำแพงศักย์มีค่าต่ำ | |
| ข. รอยต่อที่เกิดจากการโค้งมาก ๆ ด้วยโลหะที่ใช้ทำขั้ว | |
| ค. รอยต่อที่มีศูนย์กลางการรวมตัวระหว่างอิเล็กตรอนกับโฮล | |
| 2.16 การหาค่าความสูงของกำแพงศักย์ที่รอยระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำ..... | 22 |
| ก. สิ่งประดิษฐ์ที่ใช้ในการศึกษาสมบัติของรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำ | |
| ข. แสดงโครงสร้างแถบพลังงานของอิเล็กตรอนที่สอดคล้องกับสิ่งประดิษฐ์ในรูป(ก) | |
| 2.17 แสดงทิศทางและขนาดของกระแสรีชาร์ดสันที่ไหลข้ามกำแพงศักย์เมื่อไม่มีการไบอัส..... | 22 |
| 2.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่ตกคร่อมสิ่งประดิษฐ์ดังรูปที่ 2.16 (ก) ที่ทำจาก Sn-GaAs-(Ge-Au) กับอุณหภูมิที่กระแสคงที่ค่าต่าง..... | 24 |
| 2.19 กราฟที่แสดงหาค่าความสูงของกำแพงศักย์ที่รอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำ..... | 26 |
| ก. ค่าความสัมพันธ์ต่างๆ แสดงอุณหภูมิ T_s และ T_p ที่กระแสค่าคงที่ต่างๆ | |
| ข. แสดงการหาค่าความสูงกำแพงศักย์จากกระแสรีชาร์ดสันกับอุณหภูมิ | |
| 2.20 กราฟแสดงค่าความดันไอของธาตุ โดยจุดต่าง ๆ จะสัมพันธ์กับจุดหลอมเหลว..... | 28 |
| 2.21 กราฟแสดงค่าความดันไอของธาตุในสารกึ่งตัวนำ จุดต่าง ๆ จะสัมพันธ์กับจุดหลอมเหลว..... | 29 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.22 แสดงแหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้ระเหยสารด้วยไฟฟ้าแบบต่าง ๆ..... | 30 |
| 2.23 แสดงกลไกในการเกิดผลึกฟิล์มบางเตรียมโดยใช้วิธีอบสารละลายเคมี..... | 31 |
| ก. กระบวนการเซทเทอโรจีเนียส | |
| ข. กระบวนการโฮโมจีเนียส | |
| ค. กระบวนการผสมระหว่างเซทเทอโรจีเนียสและโฮโมจีเนียส | |
| 3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทำมาสะอาดผิวหน้าฟิล์มบาง Cds..... | 33 |
| ก. ฟิล์มบาง Cds ที่เตรียมโดยวิธีอบสารละลายเคมี | |
| ข. เครื่องอัลตราโซนิค | |
| 3.2 กาวเงินที่ใช้สร้างรอยต่อโอห์มมิกบนฟิล์มบาง..... | 33 |
| 3.3 แสดงภาพถ่ายระบบการเตรียมฟิล์มบางด้วยวิธีระเหยด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ..... | 34 |
| ก. เครื่องระเหยด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ | |
| ข. แสดงภาพถ่ายภายในภาชนะสุญญากาศ | |
| 3.4 แสดงไดอะแกรมการวางตำแหน่งภายในเครื่องระเหยในระบบสุญญากาศ..... | 35 |
| 3.5 แสดงภาพถ่ายระบบที่ใช้ในกระบวนการแอนนัล..... | 36 |
| ก. ระบบที่ใช้ในการแอนนัลในบรรยากาศของไนโตรเจนและออกซิเจน | |
| ข. เตาอบที่ทนอุณหภูมิได้สูงถึง 1,050 °C และ 200 °C ตามลำดับ | |
| 3.6 แสดงภาพถ่ายเครื่องมือที่ใช้ลดและเพิ่มอุณหภูมิขณะศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าฟิล์มบาง..... | 37 |
| ก. เครื่องสเปกโตรโฟลูออโรโฟโตมิเตอร์ | |
| ข. ระบบทำความเย็นเครื่องไครโอเจนิก | |
| ค. บีมพีกัลโรตารี | |
| ง. เครื่องมือที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิขณะศึกษาสมบัติฟิล์มบางและเตาให้ความร้อน | |
| 3.7 แสดงภาพถ่ายเครื่องมือที่ใช้ศึกษาสมบัติรอยต่อโอห์มมิก..... | 37 |
| ก. เครื่องอิเล็กโตรมิเตอร์ ของ Keithley รุ่น 610 CR | |
| ข. แหล่งจ่ายกระแสตรงคงที่ของ Keithley รุ่น 23 | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 3.8 แสดงภาพถ่ายขั้นตอนการเตรียมแผ่นรองรับที่เป็นกระจกใสค์ตามลำดับ..... | 38 |
| 3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและ ความต่างศักย์และแสดงการอ่านค่ากระแสรีชาร์ดสัน..... | 45 |
| 3.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $(1/T')$ กับ ค่า $10^3/T$ เพื่อหาค่าความสูงของกัมพงศักย์..... | 45 |
| 4.1 फिल्मบาง CdS ที่เตรียมได้โดยใช้วิธีอบสารละลายเคมี..... | 46 |
| 4.2 फिल्मบาง CdS ที่สร้างรอยต่อโอห์มมิกโดยเงินด้วยวิธีป้ายกาวเงิน..... | 47 |
| 4.3 फिल्मบาง CdS ที่สร้างรอยต่อโอห์มมิกกับอลูมิเนียมด้วยวิธีการ ระเหยสารด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ..... | 48 |
| 4.4 ลักษณะของฟิล์มบาง CdS ที่ทำการสร้างรอยต่อโอห์มมิกกับเงิน ด้วยวิธีป้ายกาวเงิน แล้วแอนนัลที่อุณหภูมิ 25, 50, 75,100,125,150 องศาเซลเซียสตามลำดับภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน..... | 48 |
| 4.5 ลักษณะของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อ โอห์มมิกกับอลูมิเนียม แล้วแอนนัลที่ที่อุณหภูมิ 25, 50, 75,100,125,150 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน..... | 48 |
| 4.6 ลักษณะของฟิล์มบาง CdS ที่ทำการสร้างรอยต่อโอห์มมิกกับเงิน แล้วแอนนัลที่ที่อุณหภูมิ 50, 75,100,125,150 องศาเซลเซียสตาม ลำดับ ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน..... | 49 |
| 4.7 ลักษณะของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อโอห์มมิกกับอลูมิเนียม แล้วแอนนัลที่ที่อุณหภูมิ 50, 75,100, 125,150 องศาเซลเซียสตาม ลำดับภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน..... | 49 |
| 4.8 กราฟแสดงสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อ โอห์มมิกโดยเงิน ทำการแอลนัลภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 50, 75,100,125,150 องศาเซลเซียสตามลำดับ..... | 51 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.9 กราฟแสดงสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อ ไอหุ้มมิก โดยอลูมิเนียม ทำการแอลนึลภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 25, 50, 75, 100, 125, 150 องศาเซลเซียสตามลำดับ..... | 53 |
| 4.10 กราฟแสดงสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบางCdS ที่สร้างรอยต่อไอหุ้มมิก โดยเงิน ที่แสดงค่ากระแสรีซาคันที่ทำการแอลนึลภายใต้บรรยากาศ ของไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 50, 75, 100, 125, 150 องศาเซลเซียสตามลำดับ..... | 55 |
| 4.11 กราฟแสดงสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบางCdS ที่สร้างรอยต่อไอหุ้มมิก โดยอลูมิเนียมที่แสดงค่ากระแสรีซาคันที่ทำการแอลนึลภายใต้บรรยากาศ ของไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 50, 75, 100, 125, 150 องศาเซลเซียสตามลำดับ..... | 57 |
| 4.12 กราฟแสดงสมบัติทางไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100 110 120 130 และ 140 องศาเซลเซียส ตามลำดับของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อไอหุ้มมิกโดยเงิน และทำการแอลนึล ภายใต้บรรยากาศของออกซิเจนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส..... | 59 |
| 4.13 กราฟแสดงสมบัติทางไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 140 150 170 และ 180 องศาเคลวิน ตามลำดับ ของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อไอหุ้มมิกโดยเงินทำการแอลนึล ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส..... | 61 |
| 4.14 กราฟแสดงสมบัติทางไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100 110 120 130 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อไอหุ้มมิกโดยอลูมิเนียมทำการ แอลนึลภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส..... | 63 |
| 4.15 กราฟแสดงสมบัติทางไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100 120 130 140เคลวิน ตามลำดับ ของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อ ไอหุ้มมิกโดยอลูมิเนียม ทำการแอลนึล ภายใต้ บรรยากาศของไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส..... | 65 |
| 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $1/T^2$ กับค่า $10^3/T$ ของฟิล์มบาง CdS กับ เงิน ที่แอลนึลภายใต้บรรยากาศของออกซิเจนที่อุณหภูมิ 75°C..... | 67 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $1/T^2$ กับค่า $10^3/T$ ของฟิล์มบาง CdS กับ เงิน ที่แอนนัลภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 50°C | 67 |
| 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $1/T^2$ กับค่า $10^3/T$ ของฟิล์มบาง CdS กับอลูมิเนียมที่แอนนัลภายใต้บรรยากาศของออกซิเจนที่อุณหภูมิ 100°C | 68 |
| 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $1/T^2$ กับค่า $10^3/T$ ของฟิล์มบาง CdS กับอลูมิเนียม ที่แอนนัลภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 125°C | 68 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ [Kittle, 1971; Contrerasและคณะ, 1999; W.Tanfraporn, 1970]

จากแนวโน้มในอดีตจนถึงปัจจุบันสภาวะความต้องการพลังงานของมนุษย์มีค่าเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ เป็นเหตุให้มนุษย์ต้องหาพลังงานต่างๆ มาตอบสนองความต้องการให้เพียงพอและสำรองไว้ตามต้องการ แต่ปัจจุบันพลังงานที่ได้จากธรรมชาติเช่น น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาตินั้น กำลังจะหมดไป มนุษย์ต้องค้นหาแหล่งพลังงานใหม่มาทดแทนพลังงานเหล่านี้ พลังงานที่สามารถใช้ได้ทุกๆ ที่ทั่วโลก โดย ไม่มีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและไม่เป็นพิษ นั่นก็คือพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาดและเหมาะสมที่สุดที่มนุษย์จะได้นำมาใช้

พลังงานแสงอาทิตย์นั้นสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยอาศัยเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าจากปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก (photovoltaic effect) ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานแหล่งใหม่ที่ได้ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก สารกึ่งตัวนำที่มีโครงสร้างแบบซาลโคไพไรต์ (chalcopyrite structure) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Cu (In, Ga) Se_2 ได้รับความสนใจเป็นพิเศษ เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางที่อยู่ในรูปของรอยต่อวิวิพันธ์ (heterojunction) ของสาร $\text{SiO}_2 / \text{ZnO} / \text{CdS} / \text{Cu(In, Ga)Se}_2 / \text{Mo} /$ แผ่นรองรับที่เป็นแก้วอ่อนหรือโลหะไร้สนิมให้ประสิทธิภาพสูงถึง 18.8% และ 17.5% ตามลำดับ

ฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีชนิดการนำไฟฟ้าเป็นชนิดเอ็น (n-type) มีลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง (direct band gap) มีช่องว่างแถบพลังงาน (energy gap) ณ อุณหภูมิห้องเท่ากับ 2.42 eV เป็นฟิล์มที่ได้รับความนิยมว่าเหมาะกับการสร้างเป็นชั้นหน้าต่าง (windows) สำหรับใช้สร้างประจักษ์เซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อทำเป็นรอยต่อระหว่างหัวต่อพี-เอ็น (ฟิล์มบาง CdS หนา 0.1 ไมโครเมตร จะดูดกลืนพลังงานที่สูงกว่า 2.42 eV ได้ถึง 36%)

การเตรียมสารกึ่งตัวนำ CdS มีกระบวนการเตรียมให้เลือกหลายวิธี ได้แก่ วิธีการระเหยสารด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ (evaporation) วิธีสปัตเตอร์ริง (sputtering) วิธีสเปรย์ไพโรไลซิส (spray pyrolysis) และวิธีอบสารละลายเคมี (chemical bath deposition: CBD) เป็นต้น แต่วิธีอบสารละลายเคมีนั้น กระบวนการเตรียมไม่ซับซ้อน มีคุณภาพดี ทำได้ครั้งละมากๆ เหมาะสำหรับเป็นกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม

สิ่งประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ที่จะนำไปใช้งานในทางปฏิบัติ นั้น มักต้องเกี่ยวข้องกับ การทำผิวสัมผัสระหว่างโลหะ-สารกึ่งตัวนำ (ohmic contact) เพื่อนำลวดตัวนำมาต่อออกสู่ภายนอกเพื่อประยุกต์ใช้งาน ซึ่งการสร้างผิวสัมผัสแบบนี้เป็นปัญหาที่ละเอียดไม่ได้เนื่องจากอันที่จริงแล้วประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนหนึ่งมาจากผิวสัมผัสหรือรอยต่อระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำที่สร้างขึ้นเพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกด้วย

โดยที่สมบัติการนำไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถกำหนดได้จากสนามไฟฟ้าที่เกิดระหว่างผิวสัมผัสของกึ่งตัวนำแต่ละชนิดซึ่งคุณสมบัติอันนี้สามารถพิจารณาได้จากความแตกต่างระหว่างระดับพลังงานเฟอร์มิของวัสดุทั้งสองที่ใช้ทำผิวสัมผัส เมื่อนำวัสดุ 2 ชนิดมาทำผิวสัมผัสกันโดยปกติระดับเฟอร์มิในวัสดุทั้งสองจะปรับตัวให้อยู่ในระดับเดียวกัน หลังจากที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างกันเรียบร้อยแล้วจะทำให้เกิดเป็นรอยต่อระหว่างโลหะสารกึ่งตัวนำขึ้นมา

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาวิธีการเตรียมฟิล์มบาง CdS โดยวิธีอบสารละลายเคมี
2. ศึกษาวิธีการสร้างรอยต่อบนฟิล์มบาง CdS ด้วยวิธีระเหยสารด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ และเรียนรู้การใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในการทดลอง
3. ศึกษาถึงสมบัติต่าง ๆ ของรอยต่อโอห์มมิก ระหว่างฟิล์มบาง CdS กับ อลูมิเนียม (Al) และฟิล์มบาง CdS กับ เงิน (Ag) ตามเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นต่าง ๆ กันไป

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์ที่เตรียมโดยวิธีอบสารละลายเคมี เนื่องจากวิธีนี้เป็นวิธีการเตรียมที่ให้ประสิทธิภาพสูงและมีต้นทุนที่ไม่สูงจนเกินไป โดยนำฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์ที่เตรียมโดยวิธีการอบสารละลายเคมีแล้วไปสร้างรอยต่อโอห์มมิก ระหว่างอลูมิเนียมกับฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์ และกาวเงินกับฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์ เพื่อนำไปศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับผิวสัมผัสโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดรอยต่อโอห์มมิก โดยวัดค่ากระแสและความต่างศักย์เพื่อนำไปคำนวณหาค่ากระแสริชาร์ดสัน ค่าความหนาแน่นของกระแสริชาร์ดสัน และค่าคงที่ของริชาร์ดสัน เพื่อวิเคราะห์และสรุปผลต่อไป

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ค้นคว้าศึกษาข้อมูลต่างๆ ตลอดจนทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมฟิล์มบางด้วยวิธีอบสารละลายเคมี การสร้างรอยต่อโอห์มมิกด้วยวิธีระเหยในระบบสุญญากาศ และคุณสมบัติต่างๆของรอยต่อโอห์มมิก พร้อมทั้งจัดหาวัสดุอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทำโครงการพิเศษ
2. เตรียมฟิล์มบาง CdS โดยวิธีอบสารละลายเคมี
3. สร้างรอยต่อโอห์มมิกบนฟิล์มบางCdS ที่เตรียม โดยวิธีการอบสารละลายเคมีด้วยอลูมิเนียม และกาวเงินด้วยการระเหยด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศและทาด้วยกาวเงินตามลำดับ
4. แอนนีกัลฟิล์มบางที่สร้างรอยต่อ โอห์มมิกเรียบร้อยแล้วที่อุณหภูมิ 25 ,50, 75,100, 125 และ 150 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของออกซิเจนและไนโตรเจนบริสุทธิ์
5. วัดค่ากระแส (I) และความต่างศักย์ (V) ที่อุณหภูมิห้อง และที่อุณหภูมิต่างๆ บริเวณรอยต่อแล้วนำค่าที่วัดได้มาพล็อตกราฟเพื่อทำการคำนวณหาค่ากระแสรีชาร์ดสัน ค่าความหนาแน่นของกระแสรีชาร์ดสัน และค่าคงที่ของรีชาร์ดสันรวมถึงความสูงของกำแพงศักย์ฝั่งโลหะ
6. นำค่าต่างๆที่คำนวณได้มาวิเคราะห์ผลการทดลอง
7. สรุปผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงหลักการและวิธีการเตรียมฟิล์มบาง CdS ที่เตรียม โดยวิธีการอบสารละลายเคมีที่มีคุณภาพดีข้อบกพร่องผลึกน้อย ความต้านทานต่ำและสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงสูงชัดเจน ผิวหน้าเรียบ
2. ทำให้ได้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับทฤษฎีและเงื่อนไขในการเตรียมฟิล์มบางให้มีคุณภาพเหมาะที่จะนำไปประยุกต์ทำเป็นชั้นบัฟเฟอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์
3. ทำให้ได้ทราบถึงสมบัติต่างๆที่บริเวณรอยต่อโอห์มมิกของสารกึ่งตัวนำกับโลหะ
4. ทำให้ได้เรียนรู้วิธีการตรวจสอบสมบัติพื้นฐานของฟิล์มบางและสมบัติทางไฟฟ้าของรอยต่อโอห์มมิก
5. ทำให้ทราบว่าระหว่างอลูมิเนียมและเงิน โลหะใดมีสมบัติเหมาะสมที่จะนำมาสร้างรอยต่อโอห์มมิกกับฟิล์มบาง CdS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

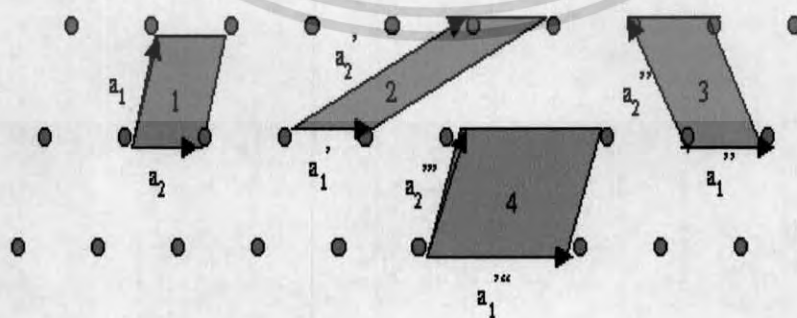
2.1 ทฤษฎีและการวิเคราะห์โครงสร้างของผลึก [Kittle, 1971; งามนิตย์, 2537; จูตินัย, 2530; จูตินัย และคณะ, 2543; จูตินัย และคณะ, 2546]

ในทางผลึกวิทยาสามารถแบ่งสสารและวัสดุที่อยู่ในสภาพของแข็งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ตามการจัดเรียงตัวของอะตอมได้แก่ วัสดุที่เป็นผลึก (crystalline material) และวัสดุที่เป็นอสัณฐาน (amorphous material) ซึ่งในที่นี้จะสนใจแต่วัสดุที่เป็นผลึกเท่านั้น

2.1.1 โครงสร้างผลึกในอุดมคติ

ผลึกของสารเกิดจากการที่อะตอมหรือโมเลกุลของสสารชนิดนั้นมารวมกันอยู่เป็นจำนวนมาก โดยระยะห่างระหว่างอะตอมมีค่าคงที่และมีการจัดเรียงตัวกันเป็นระบบแบบรูปทรงเรขาคณิตที่แน่นอนเป็นระเบียบอย่างต่อเนื่อง ภายในหนึ่งหน่วยเซลล์ของผลึกอาจประกอบด้วยอะตอมของธาตุเพียงอะตอมเดียวไปจนถึงหลายๆอะตอมหรือหลายๆ โมเลกุล เซลล์ที่มีปริมาตรเล็กที่สุดที่สามารถใช้เป็นตัวแทนของผลึกนั้นเรียกว่า หน่วยเซลล์ (unit cell) กล่าวคือ ถ้าเอาหน่วยเซลล์นี้มาเรียงต่อกันก็จะได้ผลึกขึ้นมา และเรียกตำแหน่งต่างๆของอะตอมที่ระบบ 3 มิติว่า โครงผลึก (lattice)

ในทางทฤษฎีการกำหนดหน่วยเซลล์จะทำได้ไม่จำกัดแต่ตามปกติจะเลือกหน่วยเล็กที่สุดที่เป็นไปได้และมีสมมาตรค่อนข้างสูง ตัวอย่างการเลือกหน่วยเซลล์ในโครงผลึก 2 มิติ แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงหน่วยเซลล์ในระบบ 2 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบ 2 มิติ ค่าคงที่ของโครงผลึกต่างๆ ได้แก่ เวกเตอร์ \vec{a} และเวกเตอร์ \vec{b} และมุม γ ซึ่งเป็นมุมระหว่างเวกเตอร์ทั้งสองชนิด (เวกเตอร์ \vec{a} และเวกเตอร์ \vec{b}) ของโครงผลึกที่แตกต่างกันที่เป็นไปได้มีเพียง 5 แบบ ดังตารางที่ 2.2

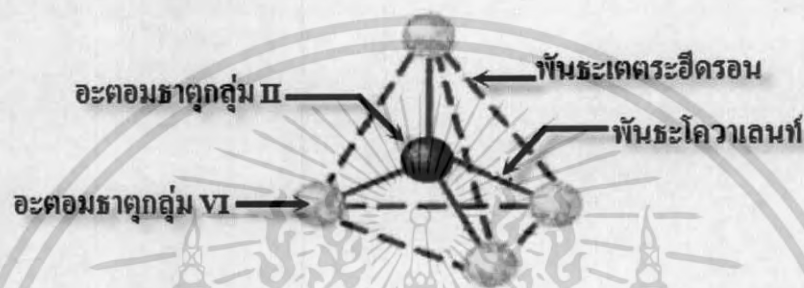
ตารางที่ 2.1 ค่าคงที่ของโครงผลึกของหน่วยเซลล์ในระบบ 2 มิติ

| โครงผลึกในระบบ 2 มิติ | | ค่าคงที่ของโครงผลึก | มุม |
|----------------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|
| สี่เหลี่ยมจัตุรัส | (square) | $a = b$ | $\gamma = 90^\circ$ |
| สี่เหลี่ยมผืนผ้า | (rectangle) | $a \neq b$ | $\gamma = 90^\circ$ |
| สี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบบอดีเซนเตอร์ | (body-centered rectangle) | $a \neq b$ | $\gamma = 90^\circ$ |
| สี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน 60° | (60° rhombus) | $a = b$ | $\gamma = 90^\circ$ |
| สี่เหลี่ยมด้านขนานทั่วไป | (general parallelogram) | $a \neq b$ | - |

ในระบบ 3 มิติ ค่าคงที่ของโครงผลึกได้แก่ ขนาดของเวกเตอร์ a , b และ c และมุม α , β และ γ ซึ่งเป็นมุมระหว่างเวกเตอร์ต่างๆ ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.2 ทั้งนี้สามารถจัดแบ่งรูปแบบของโครงผลึกขึ้นมา โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 14 แบบ ใน 3 มิติ ซึ่งจัดได้เป็น 7 กลุ่ม คือ ไตรคลินิก (triclinic) โมโนคลินิก (monoclinic) ออร์โธโรมบิก (orthorhombic) เตตระโกนอล (tetragonal) คิวบิก (cubic) รอมโบฮีดรอล (rhombohedral) และ เฮกซะโกนอล (hexagonal)

2.1.1.1 โครงสร้างผลึกที่สำคัญของสารกึ่งตัวนำ

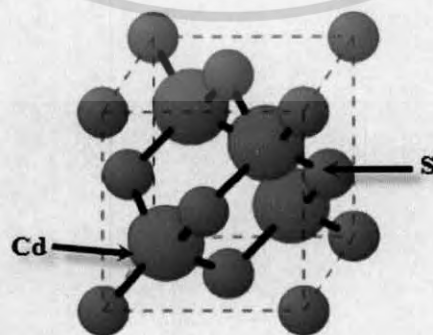
โครงสร้างทางกายภาพของสารแต่ละสารนั้น เรียกว่าโครงสร้างผลึกซึ่งเกิดจากการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบของอะตอม โครงสร้างผลึกของสารกึ่งตัวนำกลุ่ม II-VI นี้มีลักษณะการจัดเรียงตัวของอะตอมในหน่วยเซลล์คล้ายโครงสร้างผลึกของเพชร ซึ่งมีพันธะของโมเลกุลแบบพันธะโคเวเลนต์ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงพันธะโคเวเลนต์ของสารประกอบตระกูล II-VI

2.1.1.2. โครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์ (zincblende structure)

โครงสร้างผลึกแบบนี้มักพบในสารกึ่งตัวนำในกลุ่ม III-V และ II-VI มีลักษณะคล้ายโครงสร้างผลึกแบบเพชร อาจพิจารณาว่าเป็นโครงสร้างผลึกแบบเพสเซนเตอร์คิวบิก 2 โครงสร้างซ้อนกันอยู่แต่โครงหนึ่งเป็นธาตุหมู่ II (หรือ III) ส่วนอีก โครงผลึกเป็นธาตุหมู่ VI (หรือ V) ในหนึ่งหน่วยเซลล์ประกอบด้วยอะตอม 2 ชนิด แต่ละชนิดมี 4 อะตอม สารที่มีโครงสร้างผลึกแบบนี้ ได้แก่ ZnS, CuCl, AgI, CuF, SiC และ CdS เป็นต้น ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่นำมาประยุกต์เพื่อประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และอิเล็กทรอนิกส์เชิงแสงดังแสดงในรูปที่ 2.3

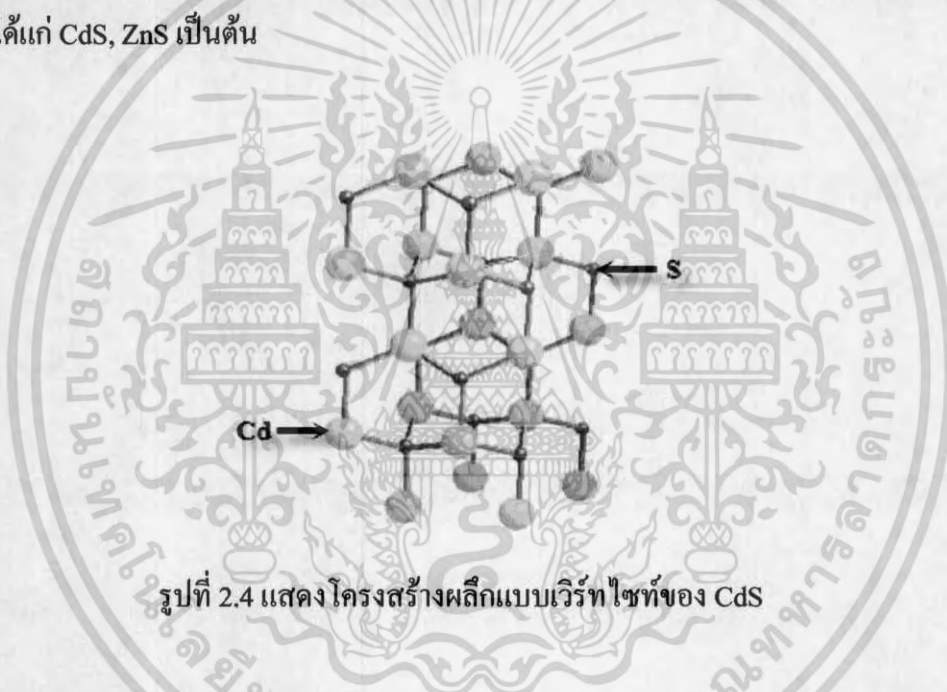


รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์ของ CdS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.3. โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ตไซต์ (wurtzite structure)

โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ตไซต์เกิดจากการนำโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอลที่มีอะตอมของธาตุ 2 ชนิด วางซ้อนเหลื่อมกันเป็นระยะ $5/8$ ตามแนวแกน C หนึ่งหน่วยเซลล์จะมี 8 อะตอมมีอะตอมเพื่อนบ้านอยู่ 4 อะตอม มีพันธะเคมีของโมเลกุลเป็นพันธะเตตระฮีดรอน และมีพันธะเคมีระหว่างอะตอมเป็นแบบโควาเลนต์ ดังนั้นจึงมีการจัดเรียงระนาบของอะตอมคล้ายกับโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์ แต่ ในโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ตไซต์จะมีการจัดเรียงระนาบของพันธะเตตระฮีดรอนเป็นแบบ ABAB ... หรือ 0101 ... ส่วนในโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์จะมีการจัดเรียงระนาบของพันธะเตตระฮีดรอนแบบ ABCABC ... หรือ 012012 ... สารที่มีโครงสร้างผลึกแบบนี้ ได้แก่ CdS, ZnS เป็นต้น



รูปที่ 2.4 แสดง โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ตไซต์ของ CdS

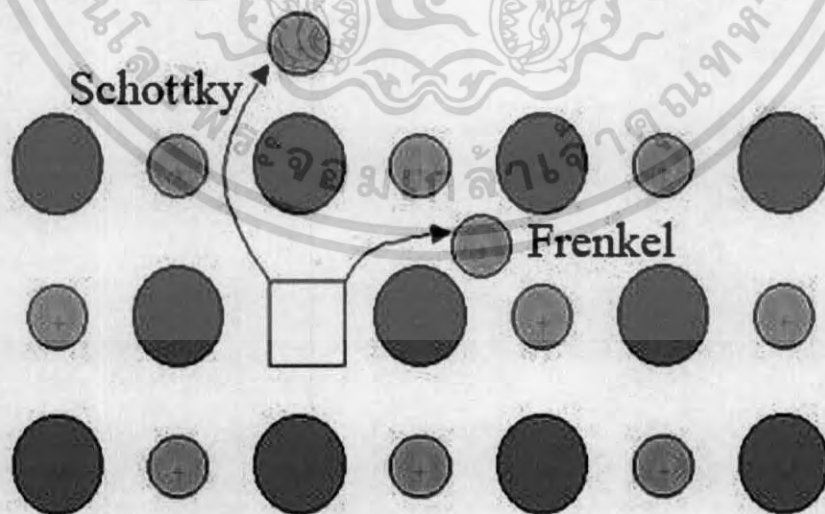
2.1.1.4 ความไม่สมบูรณ์ของผลึก

ที่ผ่านมาเราพิจารณาโครงสร้างผลึกในอุดมคติมาโดยตลอดแต่ในความเป็นจริงแล้วโครงสร้างผลึกจะมีลักษณะไม่สมบูรณ์แบบโครงสร้างผลึกในอุดมคติทั้งหมด ความไม่สมบูรณ์ของผลึกนั้นมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสาร และในบางกรณีตัวแปรทางไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับความไม่สมบูรณ์ของผลึกด้วย ซึ่งความไม่สมบูรณ์หรือข้อบกพร่องของโครงสร้างผลึกมีหลายชนิดด้วยกัน

2.1.1.4.1 ข้อบกพร่องผลึกแบบจุด (point defect)

ข้อบกพร่องของผลึกแบบจุดดังแสดงในรูปที่ 2.8 นี้ จะเกี่ยวข้องกับการพิจารณาอะตอมที่ผิดเพี้ยนไปจากตำแหน่งเดิมในโครงสร้างผลึก

1. ข้อบกพร่องผลึกแบบแวนแคนซี (vacancy defect) ซึ่งมีลักษณะที่อะตอมหรือไอออนหลุดหายไป โดยหากเป็นกรณีที่อะตอมหรือไอออนหลุดหายไปจากตำแหน่งของโครงผลึก ที่อยู่ภายในจุดย้ายขึ้นไปอยู่ที่ผิวหน้าจะเรียกว่าข้อบกพร่องผลึกแบบ “ชอตต์กี” (schottky defect)
2. ข้อบกพร่องผลึกแบบอินเทอร์สติเชียล (interstitial) ซึ่งเป็นลักษณะที่อะตอมบางอะตอมหรือไอออนที่ไม่อยู่ที่ตำแหน่งของโครงผลึก แต่จะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างตำแหน่งที่ว่างของโครงผลึก โดยทั่วไปแล้วรัศมีอะตอมที่เข้าไปแทรกอยู่ จะมีอยู่ระหว่างหรือน้อยกว่ารัศมีของอะตอมหลัก
3. ข้อบกพร่องผลึกแบบเฟรเนล (frenkel defect) คือ เกิดจากการที่มีอะตอมหรือไอออนหลุดหายไปจากตำแหน่งของโครงผลึกที่อยู่ภายในย้ายไปแทรกอยู่ระหว่างตำแหน่งที่ควรเป็นที่ว่างของโครงผลึก
4. การผิดรูปของโครงผลึกแบบแอนติสตรัคเจอร์ (anti-structure disorder) เป็นลักษณะของอะตอมตั้งแต่ 2 อะตอมขึ้นไป เข้าไปอยู่ในตำแหน่งของโครงผลึกทำให้ลักษณะของโครงผลึกไม่เป็นระเบียบ

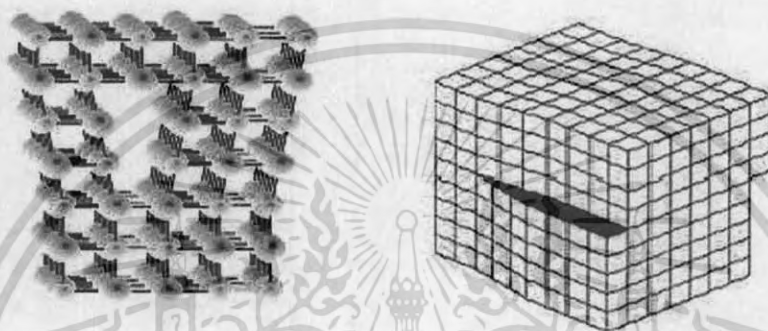


รูปที่ 2.5 แสดงข้อบกพร่องผลึกแบบจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.4.2 ข้อบกพร่องผลึกเชิงเส้น (line defect)

ข้อบกพร่องผลึกเชิงเส้นอาจจะเรียกได้อีกอย่างว่าดิสโลเคชัน (dislocations) เกิดจากความผิดปกติของจุดของแลตทิซตั้งแต่ 2 จุดขึ้นไป ขาดหายหรือเพิ่มขึ้นมาซึ่งมีผลทำให้เกิดความผิดปกติของโครงผลึกแบบเชิงเส้นการเกิดดิสโลเคชัน อาจจะแบ่งออกได้ตามลักษณะรูปร่างที่สังเกตเห็นคือ ดิสโลเคชันแบบขอบและดิสโลเคชันแบบสกรู ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงข้อบกพร่องผลึกแบบดิสโลเคชันแบบขอบและแบบสกรู

2.1.1.4.3 ข้อบกพร่องผลึกแบบแนวระนาบ (planar defect)

เป็นลักษณะของความผิดปกติของผลึกแบบระนาบแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือการเรียงระนาบผิดลำดับ (stacking faults) ระนาบทวิน (twin planes) และเกรนและขอบของเกรน (grain and grain boundaries)

ข้อบกพร่องผลึกชนิดนี้มักจะเกิดขึ้นในผลึกพหุพันธ์ (polycrystalline) ที่มีหลายเกรนซึ่งในแต่ละเกรนจะมีการจัดเรียงตัวของผลึกในทิศทางเดียวกันและมีแนวแบ่งระหว่างเกรนที่มีการจัดเรียงตัวของผลึกในทิศทางต่างกัน ซึ่งเกรนและขอบเขตของเกรนมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงฟิสิกส์ต่างๆ ไปจากผลึกในอุดมคติดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงเกรน และขอบเขตของเกรน

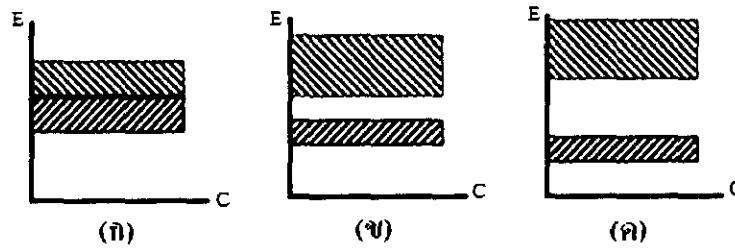
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2. ทฤษฎีโครงสร้างแถบพลังงาน [Kittle, 1971; งามนิศย์, 2537; ฐิตินัย, 2530; ฐิตินัย และคณะ, 2543; ฐิตินัย และคณะ, 2546]

ในโลหะ อิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรชั้นนอกสุด เรียกว่า อิเล็กตรอนวาเลนซ์และถือว่าเป็นอิเล็กตรอนอิสระไม่ถูกยึดอยู่ที่อะตอมหนึ่งอะตอมใดโดยเฉพาะ ซึ่งไม่เหมือนกับอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำหรือ ฉนวนที่ไม่เป็นอิสระ อิเล็กตรอนซึ่งทำให้เกิดกระแสอาจถูกเรียกว่าอิเล็กตรอนนำ (conduction electron) และในผลึกของแข็งอาจพิจารณาได้ว่าอิเล็กตรอนเคลื่อนที่อยู่ท่ามกลางบ่อศักย์ที่เป็นคาบ (periodic potential) อย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้เนื่องจากระยะห่างของไอออนคอร์ (ion core) มีระยะเท่ากันตลอดซึ่งเท่ากับค่าคงที่ของโครงผลึก (lattice constant) ซึ่งจะเห็นได้ว่าพลังงานของอิเล็กตรอนซึ่งจะมีได้นั้นจะมีได้ในแถบหนึ่งแถบใดเท่านั้น คือ แถบยินยอม (allowed band) และแถบพลังงานที่จะมีได้นั้นจะถูกแบ่งกันไว้ด้วยแถบพลังงานต้องห้าม ซึ่งหมายถึงพลังงานในย่านนี้อิเล็กตรอนไม่สามารถที่จะมีได้ แถบดังกล่าวถูกเรียกว่า "แถบต้องห้ามหรือช่องว่างแถบพลังงาน" (forbidden band or energy gap) ภายในแถบยินยอมหนึ่ง ๆ อิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบนี้จะแสดงตัวเหมือนกับอิเล็กตรอนอิสระทุกประการ

2.2.1. โครงสร้างแถบพลังงานของโลหะ สารกึ่งตัวนำ และฉนวน

ลักษณะ โครงสร้างของแถบพลังงานของของแข็ง สามารถบ่งบอกคุณสมบัติการนำไฟฟ้าของวัสดุของแข็งนั้น ๆ ได้เป็นอย่างดีสภาพความนำไฟฟ้าของสารใด ๆ จะมีความมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับจำนวน หรือปริมาณของความหนาแน่นของประจุพาหะที่มีอยู่กรณีที่จะมีการนำไฟฟ้าได้แล้ว จำเป็นที่จะต้องมีส่วนที่ว่างอยู่ในแถบพลังงานและเมื่อมีสนามไฟฟ้า อิเล็กตรอนที่ระดับต่างๆ ซึ่งอยู่ได้ระดับพลังงานที่ว่างอยู่ก็จะได้รับพลังงานเพิ่มขึ้น และเคลื่อนที่เข้าไปอยู่ในสถานะที่ว่างอยู่นั้น จากนั้นอิเล็กตรอนตัวอื่น ๆ ก็จะเคลื่อนที่ตามกันไปอย่างนี้ จะทำให้เกิดการไหลของกระแส อิเล็กตรอนขึ้น ตัวนำที่ดีจะต้องมีพาหะซึ่งอยู่ในระดับต่าง ๆ ภายในแถบพลังงานซึ่งประกอบด้วยแถบพลังงานสองแถบคือแถบนำและวาเลนซ์ซ้อนเหลื่อมกันซึ่งคือ โครงสร้างแถบพลังงานของโลหะนั่นเอง ดังรูปที่ 2.8 (ก)



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างแถบพลังงานของ

ก. โลหะ

ข. สารกึ่งตัวนำ

ค. ฉนวน

กรณีของฉนวน แถบพลังงานจะประกอบด้วยแถบวาเลนซ์ (valence band) ซึ่งเป็นแถบที่มีอิเล็กตรอนอยู่เต็ม และจะแยกจากแถบนำ (conduction band) ซึ่งเป็นแถบที่ว่าง โดยมีช่องว่างแถบพลังงานซึ่งกว้างหลาย ๆ อิเล็กตรอน โวลต์กันอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 2.8(ข) และที่อุณหภูมิธรรมดา อิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์จะมีโอกาสน้อยมาก ที่จะมีพลังงานเพิ่มขึ้นจนสามารถข้ามช่องว่างแถบพลังงานเข้าไปอยู่ในแถบนำได้ ดังนั้นจำนวนอิเล็กตรอนอิสระในแถบนำจึงมีน้อยและจำกัด แต่ถ้าหากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูง ๆ จะทำให้ความนำเพิ่มขึ้นได้

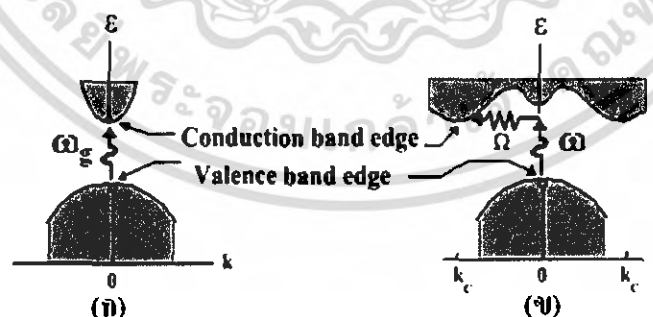
ส่วนสารกึ่งตัวนำความนำไฟฟ้าจะมีค่าอยู่ระหว่างโลหะกับฉนวน และมีโครงสร้างของแถบพลังงานดังรูปที่ 2.8 (ค) หากแต่ว่าช่องว่างแถบพลังงานมีขนาดน้อยกว่าฉนวนมาก โดยทั่วไปมักมีค่าไม่กี่อิเล็กตรอน โวลต์ และเนื่องจากว่าช่องว่างแถบพลังงานแคบกว่าของฉนวนนี้เอง จึงทำให้แม้แต่อุณหภูมิธรรมดาๆ อิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบวาเลนซ์ก็สามารถที่จะข้ามช่องว่างแถบพลังงานเข้าไปอยู่ในแถบนำและทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าได้ สิ่งที่แตกต่างกันระหว่างการนำไฟฟ้าในโลหะกับสารกึ่งตัวนำก็คือ เมื่ออิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำ ได้รับพลังงานเพิ่มจากเคมิมากพอที่จะเข้าไปอยู่ใน

ในแถบความนำได้แล้วมันจะทิ้งให้เกิดที่ว่างในแถบวาเลนซ์ ทำให้เกิดการไหลของกระแส อันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของประจุในแถบวาเลนซ์อีกด้วย ซึ่งกระแสนี้อธิบายได้โดยการกล่าวได้ว่าเป็นการเคลื่อนที่ของโฮล และยังสามารถสรุปได้ว่าในโลหะพาหะที่ช่วยนำกระแสไฟฟ้าก็คืออิเล็กตรอนอิสระ แต่สำหรับในกรณีสารกึ่งตัวนำ นอกจากอิเล็กตรอนในแถบนำแล้ว ยังมีโฮลในแถบวาเลนซ์ช่วยในการนำไฟฟ้าได้อีกด้วย

2.2.1.1 ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ

โดยทั่วไปลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำมีสองแบบ คือ แบบตรงและแบบเฉียงดังแสดงในรูปที่ 2.9 (ก) และ (ข) ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง คือ โครงสร้างแถบพลังงานที่มีจุดต่ำสุดของแถบนำ กับจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์อยู่ที่ตำแหน่งเวกเตอร์คลื่นค่าเดียวกัน หรืออยู่ที่ตำแหน่งที่มีโมเมนตัมคลื่นเท่ากัน ถ้าอิเล็กตรอนได้รับพลังงานโฟตอน ที่มีค่าเท่ากับขนาดของช่องว่างแถบพลังงาน ($h\nu = E_g$) อิเล็กตรอนจะดูดกลืนพลังงานโฟตอนนั้น และอยู่ในสถานะถูกกระตุ้นย้ายสถานะพลังงาน จากจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ไปยังจุดต่ำสุดของแถบนำ กลายเป็นอิเล็กตรอนและโฮลอิสระ โดยไม่มีการสูญเสียพลังงานให้แก่โครงสร้างผลึก คือ ไม่มีการสร้างหรือทำลายล้างโฟนอน เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโฟตอนกับพลังงานโฟตอนจะได้กราฟดังรูปที่ 2.10 (ก) ส่วนลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียง คือ โครงสร้างแถบพลังงานที่มีจุดต่ำสุดของแถบนำกับจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ไม่อยู่ที่ตำแหน่งเวกเตอร์คลื่นเดียวกัน หรืออยู่ที่ตำแหน่งที่มีโมเมนตัมคลื่นเท่ากัน

อิเล็กตรอนได้รับพลังงานโฟตอนที่มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าขนาดของช่องว่างแถบพลังงานแล้วจะทำให้เกิดกระบวนการสร้างหรือทำลายโฟนอนเกิดขึ้น $h\nu = E_g \pm \hbar\Omega$ เมื่อ Ω คือ ค่าความถี่เชิงมุมของพลังงานโฟนอนนั้นคือเมื่ออิเล็กตรอน ที่อยู่ในสถานะถูกกระตุ้นทำให้เกิดการย้ายสถานะพลังงานจากจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ ไปยังต่ำสุดของแถบนำมีเวกเตอร์คลื่น $k \cong k_c$ ออกมาจึงเกิดการสร้างโฟนอน อิเล็กตรอน และโฮลอิสระแสดงดังรูปที่ 2.9 (ข) และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโฟตอนกับพลังงานโฟตอนดังรูป 2.10 (ข)



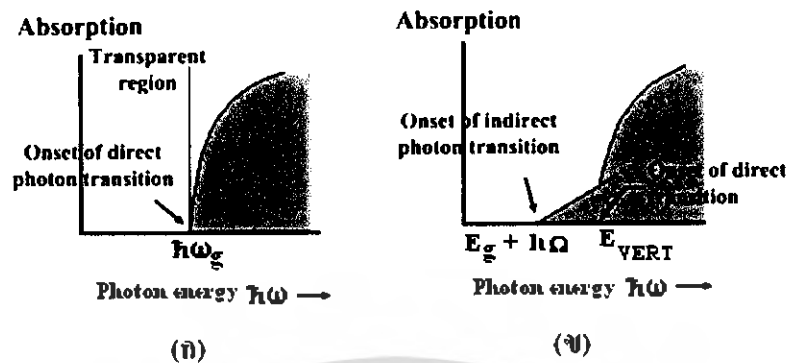
รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะโครงสร้างแถบพลังงาน และการย้ายสถานะพลังงานของ

อิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์

ก. ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง

ข. ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโฟตอนกับพลังงานโฟตอนของสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์

- ก. ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง
- ข. ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียงในกรณีที่เกิดกระบวนการสร้างโฟนอน

2.3. สมบัติทางไฟฟ้า [Kittle, 1971; งามนิตย์, 2537; จูตินัย, 2530; งามนิตย์ และคณะ, 2543; จูตินัย และคณะ, 2546; Ramaiah, 1999; Garcia, 1987; Oaring, 2002; Mc, 1988; W.Tanfraporn, 1970]

จากทฤษฎีแถบพลังงานสารกึ่งตัวนำที่มีขนาดช่องว่างแถบพลังงานเกินกว่า 2 eV พลังงานความร้อนที่อุณหภูมิห้องไม่เพียงพอที่จะกระตุ้นให้เกิดพาหะอิสระได้ ดังนั้นพาหะอิสระของสารกึ่งตัวนำประเภทนี้จึงน้อย ส่วนใหญ่มาจากระดับช่องว่างแถบพลังงาน ซึ่งเป็นทั้งระดับพลังงานผู้ให้และระดับพลังงานผู้รับหรือศูนย์กลางการรวมตัว (recombination center) ดังนั้นสภาพนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิใด ๆ ของสารกึ่งตัวนำ จึงขึ้นกับความหนาแน่นของพาหะอิสระเหล่านี้

2.3.1. สภาพนำไฟฟ้า

เมื่อใส่สนามไฟฟ้าเข้าไปในสารกึ่งตัวนำอิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบนำจะตอบสนองต่อสนามไฟฟ้าเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนกลายเป็นกระแสไฟฟ้า จากกฎของโอห์มสภาพนำไฟฟ้า (electrical conductivity: σ) คือ อัตราส่วนของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (current density: J) ต่อสนามไฟฟ้า (electric field) ที่ใส่เข้าไปดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$J = \sigma E = e(\mu_n n + \mu_p p) E \quad (2.1)$$

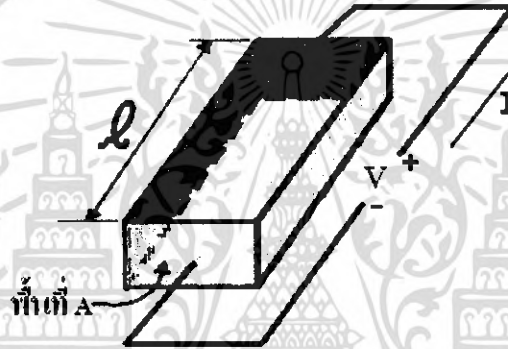
เมื่อ μ_n, μ_p คือ สภาพคล่องของอิเล็กตรอนและโฮล ตามลำดับ

n คือ ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน

p คือ ความหนาแน่นของโฮล

ส่วนกลับของสภาพนำไฟฟ้าเรียกว่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{e(\mu_n n + \mu_p p)} \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.11 แสดงการจ่ายแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสารตัวอย่าง

ถ้ามีแท่งสารกึ่งตัวนำ ดังรูปที่ 2.11 ซึ่งให้แรงดันและเกิดกระแส 1 แล้วจะได้ว่า

$$J = \frac{I}{A} \quad (2.3)$$

และ

$$E = \frac{V}{l} \quad (2.4)$$

สามารถเขียนสมการที่ (2.5) ใหม่ได้เป็น

$$\frac{I}{A} = \sigma \left(\frac{V}{l} \right) \quad (2.5)$$

หรือ

$$V = \left(\frac{l}{\sigma A} \right) I = \left(\frac{\rho l}{A} \right) I = IR \quad (2.6)$$

สมการที่ (2.6) คือ กฎของโอห์มสำหรับสารกึ่งตัวนำ ความต้านทานเป็นฟังก์ชันกับสภาพต้านทาน หรือสภาพนำไฟฟ้าและขึ้นกับมิติรูปทรงทางเรขาคณิตของสารกึ่งตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.1 การนำไฟฟ้าในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ

ในการศึกษากลไกการนำไฟฟ้าซึ่งเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมินั้นที่โดดเด่นอยู่ในแต่ละช่วงอุณหภูมิ 2 แบบด้วยกัน โดยในช่วงอุณหภูมิสูงการนำไฟฟ้าอธิบายได้โดยการประมาณของSetaในแบบจำลองนี้ประจุจะถูกดักจับไว้ที่ขอบเขตของเกรน ทำให้เกิดเขตปลอดพาหะขึ้นในบริเวณเกรน ซึ่งเป็นเหตุผลที่ทำให้เกิดค่าแกงศักย์ที่ขอบเขตของเกรน หรือไม่ก็เกิดการขยายตัวของเขตปลอดพาหะหรือเพียงบางส่วน ซึ่งขึ้นกับขนาดของความหนาแน่นของระดับพลังงานของกัณฑ์ประจุ ระดับพลังงานของสารเจือ ขนาดของเกรนและความยาวคอรับายน์ ซึ่งความสูงของค่าแกงศักย์ที่ขอบเขตของเกรนนี้จะขึ้นกับอุณหภูมิ พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าแกงศักย์จะลดลง และทำให้การนำไฟฟ้าเป็นแบบเทอร์มิโอนิกอิมิตชันซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\sigma = AT^{-1/2} \exp\left[\frac{-\Phi_B}{k_B T}\right] \quad (2.7)$$

| | | | |
|-------|----------|-----|--|
| เมื่อ | σ | คือ | สภาพนำไฟฟ้าของสาร |
| | Φ_B | คือ | ค่าค่าแกงศักย์ |
| | A | คือ | ค่าคงที่ |
| | T | คือ | อุณหภูมิเป็นเคลวิน |
| | k_B | คือ | ค่าคงที่ของโบลตซ์มันน์ (Boltzmann's constant) = 1.38×10^{-23} J/K |

ในช่วงอุณหภูมิต่ำการนำไฟฟ้าอธิบายได้โดยการประมาณตามแบบจำลองของ Mott ซึ่งจำลองมาจากการนำไฟฟ้าในสารที่จัดเรียงตัวแบบไม่เป็นระเบียบเรียกการนำไฟฟ้าแบบการกระโดดเป็นช่วง ๆ (variable range hopping) ซึ่งจะโดดเด่นในช่วงอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำสารกึ่งตัวนำมีลักษณะการจัดเรียงตัวของอะตอมไม่เป็นระเบียบ และโฟนอนมีพลังงานไม่เพียงพอในการเคลื่อนย้ายไปยังอะตอมข้างเคียง และพาหะจะเคลื่อนที่ลักษณะคล้ายการกระโดดจากอะตอมเดิมไปยังอะตอมข้างเคียงที่มีระดับพลังงานเดียวกัน

ในสารกึ่งตัวนำที่เป็นผลึกพหุพันธ์ที่อุณหภูมิต่ำพาหะไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านบริเวณขอบเขตของเกรนได้ด้วยกระบวนการเทอร์มิโอนิกอิมิตชัน ซึ่งที่ขอบเขตของเกรนนั้นมีลักษณะเป็นระดับพลังงานกัณฑ์ประจุซึ่งเกิดจากความไม่เป็นระเบียบของอะตอมหรือความไม่สมบูรณ์ของพันธะเคมี ซึ่งกระจายอยู่ในช่องว่างแถบพลังงานซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\sigma T^{1/2} = A \exp\left[-\left(\frac{T_0}{T}\right)^{1/4}\right] \quad (2.8)$$

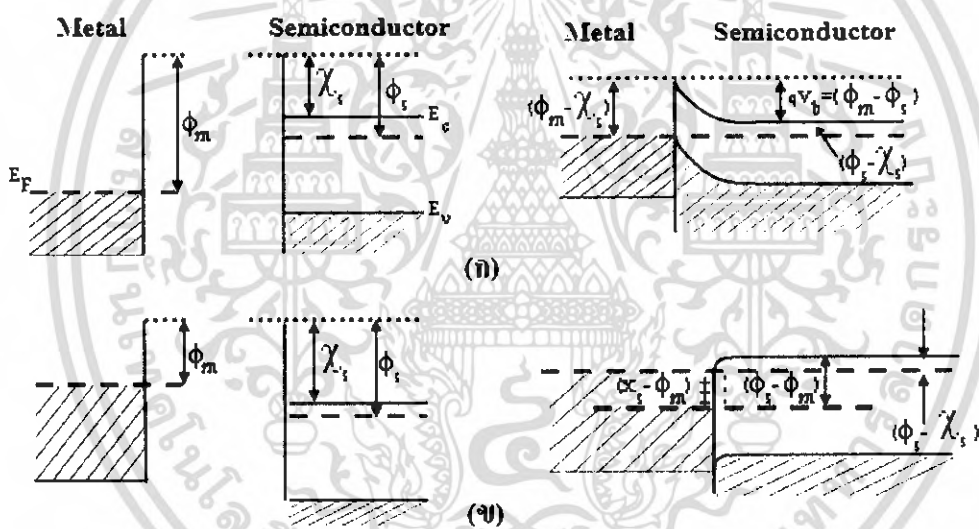
| | | | | |
|-------|-------|---|------------------------------|-------|
| เมื่อ | T_0 | = | $\frac{k_B^4 T^5}{\Phi_B^4}$ | (2.9) |
|-------|-------|---|------------------------------|-------|

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 แบบจำลองของขอตติ

กำแพงศักย์ที่เกิดขึ้นที่รอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำเป็นค่าซึ่งเกิดขึ้นเนื่องมาจากความแตกต่างซึ่งเกิดขึ้นระหว่างค่าเวิร์กฟังก์ชัน (ϕ_m) ของโลหะ (metal) กับค่าอิเล็กตรอนแอฟฟินิตี (electron affinity : χ_s) ของสารกึ่งตัวนำ

กำแพงศักย์ที่เกิดขึ้นที่บริเวณรอยต่อ ระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น มีค่าเท่ากับ $(\phi_m - \chi_s)$ โดยศึกษาเมื่อค่า $\phi_m > \chi_s$ และ $\phi_m < \chi_s$ เมื่อมีค่า $\phi_m > \chi_s$ เป็นรอยต่อชนิดให้กระแสไหลทางเดียวชนิดโอห์มมิก กำแพงศักย์ที่เกิดขึ้นที่บริเวณรอยต่อ ระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิดพี มีค่าเท่ากับ $(\phi_m - \chi_s)$ โดยศึกษาเมื่อค่า $\phi_m > \chi_s$ และ $\phi_m < \chi_s$ เมื่อมีค่า $\phi_m < \chi_s$ เป็นรอยต่อชนิดให้กระแสไหลทางเดียวชนิดโอห์มมิก

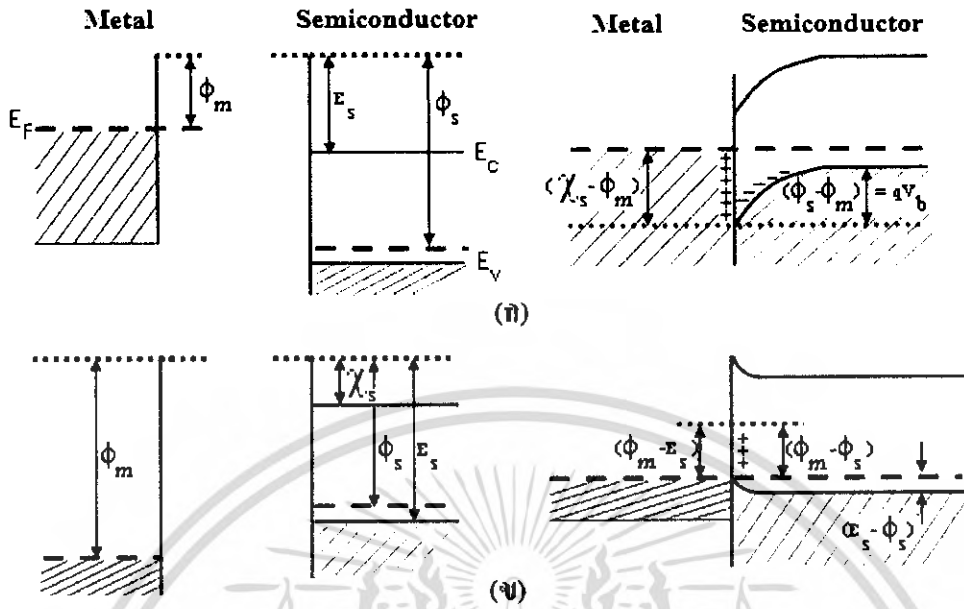


รูปที่ 2.12 แสดงโครงสร้างแถบพลังงานของรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

ก. ชนิดรอยต่อขอตติเมื่อ $\phi_m > \chi_s$

ข. ชนิดรอยต่อโอห์มมิกเมื่อ $\phi_m < \chi_s$

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.13 แสดง โครงสร้างแถบพลังงานของรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิดพี

ก. ชนิดรอยต่อโอห์มิกเมื่อ $\phi_m < \chi_s$

ข. ชนิดรอยต่อชอตต์กีเมื่อ $\phi_m > \chi_s$

2.3.3 ทฤษฎีเทอร์มิโอนิกอิมิสชัน

เป็นทฤษฎีที่อธิบายพฤติกรรมของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนผ่านกำแพงศักย์ตรงรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำ

1. กำแพงศักย์ (ϕ_b) จะต้องมีค่ามากกว่า $k_B T$
2. ระยะเวลาที่ขนานกับรอยต่อจะต้องอยู่ในสภาวะสมดุลเชิงความร้อนซึ่งทำให้การไหลของกระแสอยู่ในแนว ที่ตั้งฉากกับ ระยะเวลาดังกล่าวนี้เท่านั้น
3. การที่มีกระแสสุทธิไหลจะไม่มีผลกระทบต่อสภาวะสมดุลเชิงความร้อนดังกล่าว

ถ้ารอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นมีกำแพงศักย์เกิดขึ้น อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อนี้ได้ต้องมีพลังงานสูงกว่าค่ากำแพงศักย์ ดังนั้นความหนาแน่นของกระแสจากสารกึ่งตัวนำไปยังโลหะ ($J_s \rightarrow_m$) สามารถหาได้จากความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงกว่า $E_F + \phi_b$ และเคลื่อนที่ไปในแกน x ดังสมการ

$$J_{S \rightarrow M} = \int_{E_F + q\phi_B}^{\infty} qv_x dn \quad (2.10)$$

เมื่อ v_x คือ ความเร็วลอยเลื่อน(drift velocity)

$$dn = N_C(E) \cdot f(E) \cdot dE \quad (2.11)$$

= ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่มีพลังงานในช่วง E ถึง $E+dE$

N_C = ความหนาแน่นของสถานะพลังงาน(density of state)

$$= \frac{1}{2\pi^2} \left(\frac{2m_e}{\hbar^2} \right)^{3/2} (E - E_C)^{1/2} \quad (2.12)$$

$$f(E) = 1 / [\exp(E - E_F / k_B T) + 1] \quad (2.13)$$

เมื่ออุณหภูมิต่ำไม่สูงมากนัก $E - E_F \gg k_B T$ ซึ่ง $\exp(E - E_F) / k_B T \gg 1$

ฟังก์ชันของการกระจายแบบเฟอร์มี-ดิแรก (Fermi-Dirac distribution function) คือ

$$f(E) = \exp[-(E - E_F) / k_B T] \quad (2.14)$$

ถ้าสมมติว่าพลังงานทั้งหมดของอิเล็กตรอนที่อยู่เหนือขอบล่างของแถบนำคือพลังงานจลน์

$$(E - E_C)^{1/2} = v(m_e / 2)^{1/2} \quad (2.15)$$

แทนค่าสมการทั้งหมดลงในสมการที่(2.10) จะได้

$$J_{m \rightarrow s} = -A^* T^2 \exp(-q\phi_B / k_B T) \quad (2.16)$$

ดังนั้นความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าทั้งหมดที่ผ่านรอยต่อ คือ

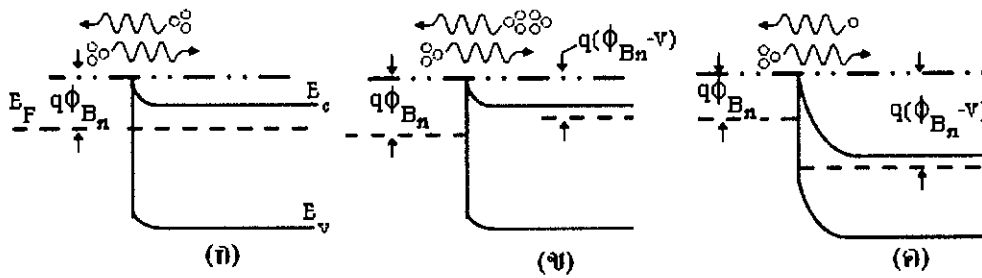
$$J_0 = A^* T^2 \exp(-q\phi_B / k_B T) \quad (2.17)$$

= ความหนาแน่นของกระแสริชาร์ดสัน
(Richardson current density)

$$I_0 = J_0 A$$

$$= AA^* T^2 \exp(-q\phi_B / k_B T)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 แสดง โครงสร้างพลังงานของรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นที่มีการ

ไหลของกระแสที่เกิดจากขบวนการเทอร์มิโอนิกมิสชัน

- ก. ขณะไม่มีการไบอัส ภาวะสมดุล (equilibrium)
- ข. ขณะไบอัสตรง (forward bias)
- ค. ขณะไบอัสกลับทาง (reverse bias)

2.3.3.1 กระแสที่เกิดจากการลอดผ่านกำแพงศักย์ (tunneling current)

สารกึ่งตัวนำที่มีการได้ไปมากๆ หรือในสภาวะอุณหภูมิต่ำ กระแสส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจะได้จากอิเล็กตรอนลอดผ่าน (tunnel) กำแพงศักย์ ความหนาแน่นของกระแสที่ไหลจากสารกึ่งตัวนำไปยังโลหะ ($J_s \rightarrow M$) จะแสดงอยู่ในรูปของ ขบวนการเทอร์มิโอนิกมิสชัน และลอดผ่านกำแพงศักย์ ความหนาแน่นของกระแสสุทธิคือ

$$J = J_s [\exp(qV / nk_B T) - 1] \tag{2.18}$$

เมื่อ $V \gg k_B T / q$ สมการนี้จะกลายเป็น

$$J \approx J_s \exp(qV / nk_B T) \tag{2.19}$$

เมื่อ J_s คือ ความหนาแน่นของกระแสอิ่มตัว

และ n คือ แฟกเตอร์อุดมคติ (ideality factor) ซึ่งนิยามขึ้นจาก

$$n = \frac{q / k_B T}{\partial (\ln J) / \partial V} \tag{2.20}$$

แฟกเตอร์อุณหภูมิจจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 2 ซึ่งจะมีค่าใกล้ 1 เมื่อมีการโต้ปสิ่งเจือปนน้อยๆ หรือที่อุณหภูมิสูงๆ แต่จะมีค่ามากขึ้นเมื่อมีการโต้ปสิ่งเจือปนมากๆ หรือที่อุณหภูมิต่ำๆ ถ้าความหนาแน่นของกระแสเกิดจากขบวนการลอดผ่านกำแพงศักย์ ความหนาแน่นของกระแสจะอยู่ในรูป

$$J_i \approx \exp(-\phi_B / E) \quad (2.21)$$

$$\text{เมื่อ} \quad E = \frac{h}{4\pi} [N_D / (\epsilon_S m_e)]^{1/2} \quad (2.22)$$

นั่นคือ ความหนาแน่นของกระแส จะเพิ่มขึ้นตามความหนาแน่นของสิ่งเจือปนที่ถูกโต้ป (N_D)

2.3.4. รอยต่อแบบโอห์มมิก

ในการศึกษาสมบัติเชิงไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำสิ่งสำคัญคือ ต้องมีการต่อขั้วไฟฟ้าออกจากสารกึ่งตัวนำ รอยต่อระหว่างโลหะที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้ากับสารกึ่งตัวนำจะต้องมีความต้านทานน้อย เมื่อเทียบความต้านทานของชั้นสารกึ่งตัวนำ เพื่อที่ว่าความต่างศักย์ที่ให้กับอุปกรณ์จะได้ไม่ตกคร่อมที่รอยต่อมากนัก ลักษณะที่บ่งบอกสมบัติของรอยต่อแบบโอห์มมิก คือค่าความต้านทานจำเพาะของรอยต่อ (specific contact resistance, R_c) ซึ่งนิยามขึ้นดังสมการ

$$R_c = \left(\frac{\partial J}{\partial V} \right)^{-1}_{V=0} \quad (2.23)$$

สำหรับรอยต่อแบบโอห์มมิกของสารกึ่งตัวนำที่มีการโต้ปน้อย กระแสที่ไหลผ่านรอยต่อจะมาจากขบวนการเทอร์มิโอนิกอิมิสชัน กำแพงศักย์มีค่าน้อยทำให้ความต้านทานจำเพาะของรอยต่อมีค่าน้อยด้วย [รูปที่ 2.15 (ก)] ค่าความต้านทานจำเพาะของรอยต่อจะเป็นไปตามสมการ

$$R_c = \frac{k_B}{qA * T} \exp(\phi_B / k_B T) \quad (2.24)$$

สำหรับรอยต่อแบบโอห์มมิกของสารกึ่งตัวนำที่มีการโต้ปมาก กำแพงศักย์จะแคบขึ้นดังนั้น กระแสที่ไหลผ่านรอยต่อส่วนใหญ่จะมาจากขบวนการลอดผ่านกำแพงศักย์ [รูปที่ 2.20 (ข)]

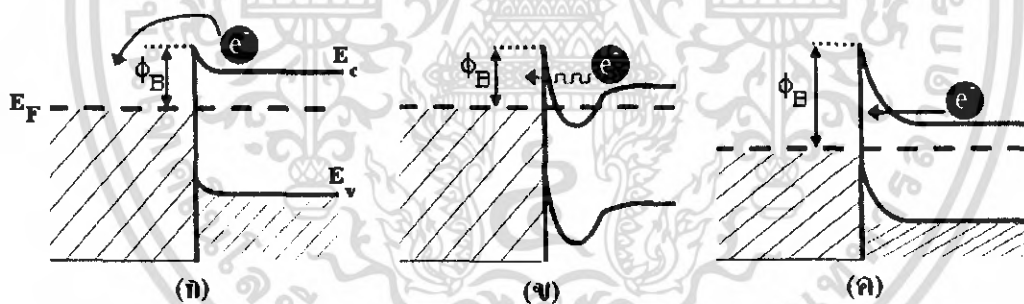
ความต้านทานจำเพาะของรอยต่อจะมีค่าน้อยลงในขณะที่ความหนาแน่นของสิ่งเจือปน (N_D) เพิ่มขึ้นความต้านทานจำเพาะของรอยต่อจะเป็นไปตามสมการ

$$R_c \approx \exp[4\pi(\frac{\epsilon_S m_e}{h})^{1/2} (\phi_B / \sqrt{N_D})] \quad (2.25)$$

การโค๊ปมาก ๆ ด้วยโลหะบริเวณขั้วไฟฟ้า และเลือกโลหะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ค่าแรงศักย์ที่มีค่าต่ำทำให้ความต้านทานจำเพาะของรอยต่อมีค่าน้อย ซึ่งจะเป็นรอยต่อแบบโอห์มมิก ที่นอกจากนั้นแล้วรอยต่อแบบ โอห์มมิกยังทำได้จากการเตรียมรอยต่อที่มีความบกพร่องของผลึกเป็นจำนวนมากพอเหมาะ ซึ่งตำแหน่งความบกพร่องเหล่านี้จะเป็นศูนย์กลางการรวมตัวระหว่างอิเล็กตรอนกับ โฮลซึ่งจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าผ่านรอยต่อได้ [รูปที่ 2.15 (ค)]

ในทางปฏิบัติการเรียนรู้แต่เพียงค่าความต้านทานจำเพาะของรอยต่อนั้น ไม่สะดวกในการนำไปใช้งานแต่ถ้ารู้ทั้งความสูงของกำแพงศักย์และค่าความหนาแน่นของกระแสที่มากที่สุดโดยที่รอยต่อยังไม่แสดงผลในการขัดขวางการไหลของกระแส (no blocking contact) ในช่วงของอุณหภูมิที่ใช้งานจะเหมาะสมต่อการบอกลักษณะของรอยต่อแบบ โอห์มมิกมากกว่าการใช้ค่าความต้านทานจำเพาะของรอยต่อ

การเลือกโลหะเพื่อนำมาใช้สร้างรอยต่อให้เหมาะสมกับสารกึ่งตัวนำของเราโดยหาให้มีความสูงของกำแพงศักย์ต่ำนั้นหาไม่ง่ายนัก หรือการที่จะทำให้ได้ตำแหน่งของข้อบกพร่องผลึกอันเหมาะสมที่บริเวณรอยต่อนั้น เป็นการยากที่จะควบคุมได้ อีกทั้งยังไม่สามารถทราบถึงกลไกภายในที่เกิดขึ้นอย่างแท้จริงอีกด้วย



รูปที่ 2.15 ภาพแสดง โครงสร้างแถบพลังงานของรอยต่อแบบ โอห์มมิกตัวนำชนิดเอ็นที่มีการไหลของกระแสที่เกิดจากระบวนการลอดผ่านกำแพงศักย์
 ก. รอยต่อที่กำแพงศักย์มีค่าต่ำ
 ข. รอยต่อที่เกิดจากการโค๊ปมาก ๆ ด้วยโลหะที่ใช้ทำขั้ว
 ค. รอยต่อที่มีศูนย์กลางการรวมตัวระหว่างอิเล็กตรอนกับโฮล

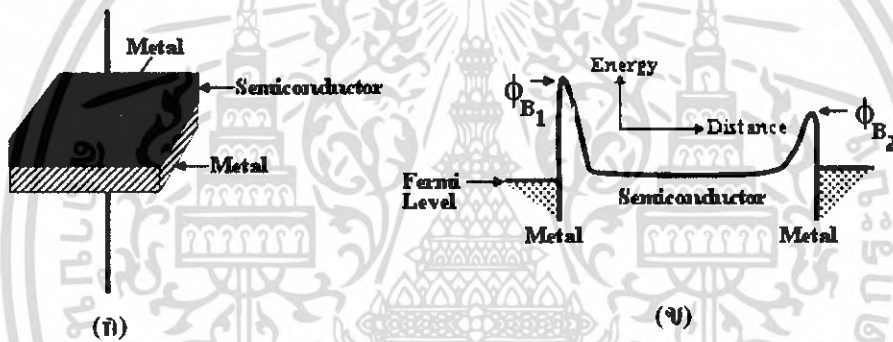
ดังนั้นเราจะเลือกใช้วิธีการ โค๊ปมาก ๆ ด้วยโลหะหรือโลหะชนิดที่เป็นอัลลอยด์ โดยคำนึงถึงชนิดของสารกึ่งตัวนำเพื่อให้ได้เป็น $M-n^{-}n$ หรือ $M-p^{+}p$

สมบัติของโลหะที่จะนำมาใช้ทำรอยต่อแบบโอห์มมิกที่ต้องพิจารณาประกอบอีกด้วยคือ

- 1 เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี
- 2 ยึดติดกับอุปกรณ์สิ่งประดิษฐ์ได้ดี
- 3 ไม่เสื่อมคุณภาพได้ง่าย ในสภาวะแวดล้อมที่ใช้งานงาน
- 4 เชื่อมต่อสายเข้ากับอุปกรณ์ภายนอกได้ง่าย

2.3.5 การหาค่าความสูงของกำแพงศักย์ที่รอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำ

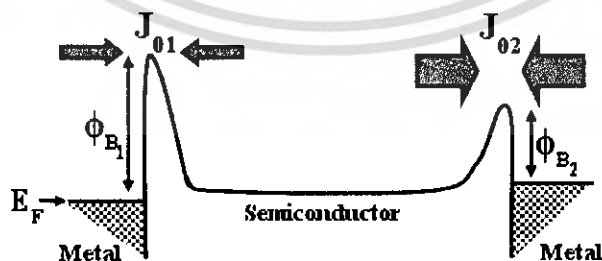
การศึกษาสมบัติของรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำในที่นี้จะพิจารณาในระบบที่ประกอบด้วยคาโทด-เนื้อสารกึ่งตัวนำ-แอโนด (cathode bulk-anode)



รูปที่ 2.16 การหาค่าความสูงของกำแพงศักย์ที่รอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำ

ก. ตั้งประติมากรรมที่ใช้ในการศึกษาสมบัติของรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำ

ข. แสดงโครงสร้างแถบพลังงานของอิเล็กทรอนิกส์ที่สอดคล้องกับตั้งประติมากรรมในรูป(ก)



รูปที่ 2.17 แสดงทิศทางและขนาดของกระแสรัศร์ดสันที่ไหลข้ามกำแพงศักย์เมื่อไม่มีการไบอัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีนี้สามารถที่จะหาความสูงของกำแพงศักย์ ได้ทั้งที่มีค่ามากหรือน้อย โดยตั้งสมมุติฐานว่าปรากฏการณ์ที่เกิดที่กำแพงศักย์จะอยู่ที่รอยต่อระหว่างคาโทดกับเนื้อสารกึ่งตัวนำเท่านั้น ความต้านทานที่อยู่ระหว่างคาโทดกับสารกึ่งตัวนำออกไป จะเรียกรวมกันว่าความต้านของเนื้อสาร

ที่สถานะสมดุลเชิงความร้อนความหนาแน่นของกระแสที่ไหลข้ามกำแพงศักย์ได้ทั้งจากทางด้านโลหะเข้าสู่สารกึ่งตัวนำหรือจากสารกึ่งตัวนำสู่โลหะจะเป็นไปตามสมการ

$$J_0 = A * T^2 \exp(-\phi_B / k_B T) \quad (2.26)$$

ถ้ารอยต่อมีพื้นที่ a_1 และความสูงของกำแพงศักย์มีค่าเป็น ϕ_{B1} [ดังรูปที่ 2.16.(จ)] ดังนั้นค่ากระแสริชาร์ดสัน [ดังรูปที่ 2.17] จะเป็นไปตามสมการ

$$I_{01} = a_1 J_0 = a_1 A * T^2 \exp(-\phi_{B1} / k_B T) \quad (2.27)$$

ถ้ารอยต่อมีพื้นที่ $a_2 > a_1$ ดังรูปที่ 2.16 (ก) และความสูงของกำแพงศักย์มีค่าเป็น ϕ_{B2} ดังนั้นค่ากระแสริชาร์ดสัน [ดังรูปที่ 2.16 (ก)] จะเป็นไปตามสมการ

$$I_{01} = a_2 A * T^2 \exp(-\phi_{B2} / k_B T) \quad (2.28)$$

เมื่อไบอัสสิ่งประคิษฐ์กระแสที่ไหลผ่านความต้านของเนื้อสารจะเป็นไปตามสมการ

$$I = V_R / R \quad (2.29)$$

เมื่อ V_R คือ ความต่างศักย์ที่ตกคร่อมในเนื้อสาร

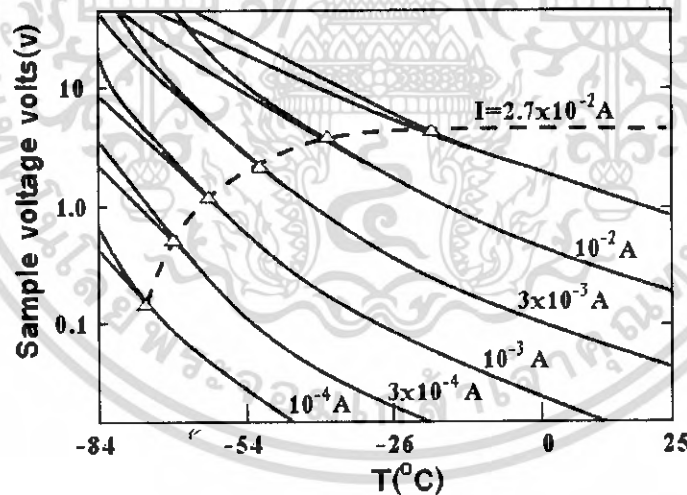
ถ้าให้ขั้วลบ (negative side) ของ V_1 อยู่ทางด้านรอยต่อที่มีพื้นที่ a_1 กระแสที่ไหลผ่านกำแพงศักย์จะมีค่าเป็น I สำหรับในกรณีที่ $I \ll I_{01}$ แล้วกำแพงศักย์ ϕ_{B1} ของรอยต่อจะไม่มีผลในการขัดขวางการไหลของกระแส ฉะนั้น V_R จะมีค่าเท่ากับ V_1 แต่ถ้าในกรณีที่ขั้วลบของ V_2 อยู่ทางด้านรอยต่อพื้นที่ a_2 ถ้า $I \ll I_{02}$ แล้วกำแพงศักย์ ϕ_{B2} จะไม่ขัดขวางการไหลของกระแส

ฉะนั้น V_R จะมีค่าเท่ากับ V_2 หรือ $V_1 = V_2$ นั่นคือเมื่อกระแสมีค่าน้อยๆ ($I \ll I_{01}, I_{02}$) ถึงแม้ว่าจะมีการสลับขั้วของความต่างศักย์ก็ตาม แต่กำแพงศักย์จะไม่ขัดขวางการไหลของกระแส แต่ในกรณีที่ $\phi_{B1} > \phi_{B2}$ เราทราบแล้วว่า $J_{01} < J_{02}$ ถ้ากำหนดให้พื้นที่ $a_1 = a_2$ เราจะได้ $I_{01} < I_{02}$ สำหรับในทางปฏิบัติถ้าให้กระแส $I_{01} < I < I_{02}$ ถ้าใส่ V_2 เข้าไปโดยขั้วลบอยู่ทางด้านรอยต่อที่มีพื้นที่ a_2 ความต่างศักย์ที่ตกคร่อมเนื้อสาร (V_R) จะมีค่าเท่ากับ V_2 แต่ถ้าสลับขั้วของความต่างศักย์และต้องการจะให้ได้กระแส I ค่าเดิม จะเห็นได้ชัดว่ากระแสริชาร์ดสัน (I_{01}) มีค่าน้อยกว่ากระแส I ที่ต้องการ

ฉะนั้นกระแส I นี้จะได้อาจมาจากกระแสรีชาร์ดสันรวมกับกระแสที่เกิดจากอิเล็กทรอนิกส์ที่มีพลังงานต่ำกว่ากำแพงศักย์ ϕ_{B_1} กำแพงศักย์ ϕ_{B_2} ดังกล่าวนี้จะมีผลในการขัดขวางการไหลของกระแสเปรียบเสมือนว่าเกิดความต่างศักย์ตกคร่อมที่รอยต่อตั้งนั้นเพื่อให้ได้กระแส I ค่าดังกล่าวจะต้องมีการเพิ่มความต่างศักย์ขึ้นเป็น V_1 โดยที่ $|V_1| > |V_R|$ สรุปได้ว่าถ้ากำหนดให้กระแสมีค่าคงที่ และ $I_{01} < I_{02}$ แล้วเราจะได้ว่า $|V_1| > |V_2|$ แสดงว่าที่กระแส I คงที่นี้กำแพงศักย์ ϕ_{B_1} เท่านั้นที่ขัดขวางการไหลของกระแส

สำหรับในการทดลองเพื่อหาค่าความสูงกำแพงศักย์ที่รอยต่อระหว่างโลหะชนิดใดกับสารกึ่งตัวนำ ถ้าใช้โลหะชนิดเดียวกัน ในการทำรอยต่อชนิดดังกล่าวกำแพงศักย์ ϕ_{B_1} จะเท่ากับ ϕ_{B_2} แต่กำหนดให้ $a_1 < a_2$ ซึ่งจะได้เงื่อนไข $I_{01} < I_{02}$ เหมือนตัวที่กล่าวมาข้างต้นจากเงื่อนไข $I_{01} < I_{02}$, $|V_1| > |V_2|$ และที่กระแสคงที่หลายๆค่า

รวมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเนื่องจากอุณหภูมิมิผลต่อค่ากระแส I_{01} และ I_{02} จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ $|V_1|$, $|V_2|$ กับอุณหภูมิ T ของสิ่งประดิษฐ์ที่ทำจาก Sn-GaAs-(Ge-Au) ดังปรากฏในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่ตกคร่อมสิ่งประดิษฐ์ดังรูปที่ 2.16 (ก) ที่ทำจาก Sn-GaAs-(Ge-Au) กับอุณหภูมิที่กระแสคงที่ค่าต่างๆ

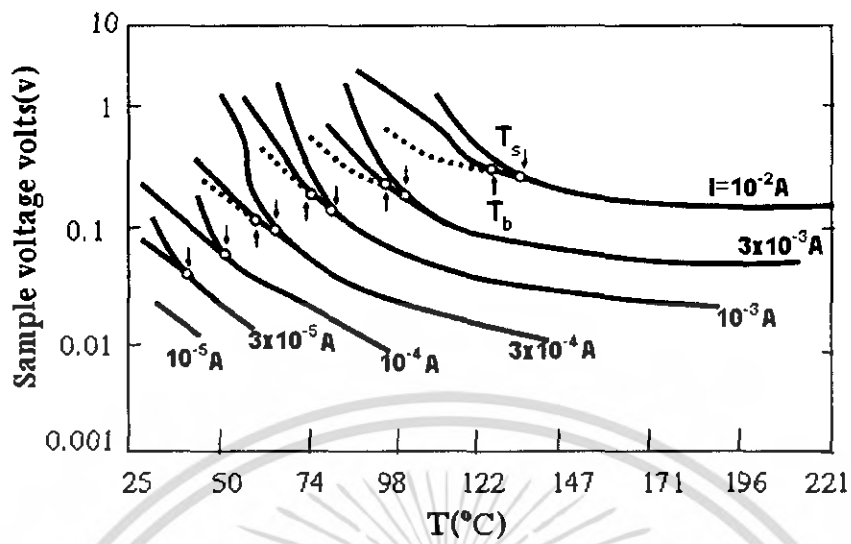
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟในรูปที่ 2.18 จะเห็นว่าที่อุณหภูมิ -26°C ค่าของความต่างศักย์ $|V_1|$ จะเท่ากับ $|V_2|$ ที่กระแสค่าคงที่ทุกค่าเฉพาะค่าที่ต่ำกว่า 10^{-2}A แต่ถ้ากระแสสูงกว่าค่านี้ความต่างศักย์ $|V_1|$ จะเริ่มมีค่ามากกว่า $|V_2|$ แสดงว่าค่าแรงแศักย์ ϕ_{B_2} เริ่มมีผลในการขัดขวางการไหลของกระแสสำหรับกระแสค่าคงที่แต่ละค่าจะเกิดการแยก (split) ของ $|V_1|$ และ $|V_2|$ ที่อุณหภูมิ T_s ค่าแรงแศักย์จะไม่ขัดขวางการไหลของกระแสเมื่อค่ากระแสและอุณหภูมิอยู่ต่ำกว่าเส้นประของรูปที่ 2.18 ความต่างศักย์ที่ตกคร่อมเนื้อสาร V_R จึงเท่ากับ $|V_1|$ และ $|V_2|$ นั่นคือการศึกษาคความต้านทานของสารกึ่งตัวนำที่เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิโดยไม่มีผลของรอยต่อเข้ามาเกี่ยวข้อง

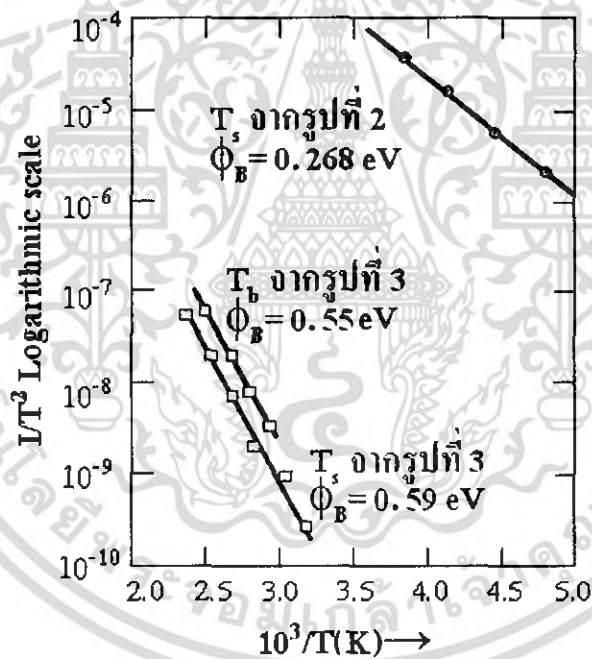
ถ้ายังคงมีการลดอุณหภูมิให้ต่ำกว่า T_s ต่อไปจนกระทั่งกระแสค่าคงที่ $I > I_{02}$ แล้ว $|V_2| > V_R$ เส้นโค้งของกราฟระหว่างความต่างศักย์กับอุณหภูมิ มีแนวโน้มที่จะโค้งแยกออกจากแนวเดิมที่อุณหภูมิ T_s แสดงว่าค่าแรงแศักย์ ϕ_{B_2} เริ่มมีผลในการขัดขวางการไหลของกระแสค่าคงที่ I ดังปรากฏในรูปที่ 2.19 นำเอาค่าของกระแสและอุณหภูมิที่จุดเริ่มมีการแยกของงความต่างศักย์ [ดังรูปที่ 2.18 และ 2.19 (ก)] ไปเขียนกราฟระหว่าง $\ln(I/T^3)$ กับ $1/T$ โดยที่ T คือ T_s หรือ T_0 จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $-\phi_{B_1}/k_B$ หรือ $-\phi_{B_2}/k_B$ ซึ่งสามารถหาความสูงของค่าแรงแศักย์ที่มีผลในการขัดขวางการไหลของกระแสได้โดยง่ายดังรูปที่ 2.19 (ข)

ถ้าความสูงของค่าแรงแศักย์มีค่ามาก ที่อุณหภูมิห้องค่าแรงแศักย์ ϕ_{B_1} และ ϕ_{B_2} จะขัดขวางการไหลของกระแสซึ่งทำให้กระแสค่าคงที่ค่าหนึ่งความต่างศักย์ $|V_1|$ จะไม่เท่ากับ $|V_2|$ ดังนั้นจำเป็นต้องเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเพื่อหาอุณหภูมิ T_s แทนที่จะเป็นการลดอุณหภูมิให้ต่ำลงตามวิธีที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นที่กระแสค่าคงที่นี้ ความต่างศักย์ที่ได้จากการสลับขั้วจะมีค่าเท่ากัน ($|V_1|=|V_2|$) เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า T

จากระบบที่ประกอบด้วย คาโทด-เนื้อสารกึ่งตัวนำ-อานโนด ช่วยทำให้เราหาความสูงของค่าแรงแศักย์ที่รอยต่อได้อย่างถูกต้องทั้งที่มีค่ามากหรือน้อย รวมทั้งค่าคงที่ริชาร์ดสันที่ค่าแรงแศักย์ ϕ_{B_1} , ϕ_{B_2} นอกจากนั้นยังทำให้ศึกษาสมบัติของเนื้อสารกึ่งตัวนำได้โดยตรงในอาณาบริเวณใต้เส้นประ T_s ของรูปที่ 2.19 โดยไม่มีผลของรอยต่อเข้ามารบกวนสมบัติของเนื้อสารกึ่งตัวนำ เช่น พลังงานไอออไนซ์ของระดับพลังงานสิ่งเจือปนหาได้จากการวัดส่วนกลับของความต้านทานของเนื้อสารที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นต้น



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.19 กราฟที่แสดงหาค่าความสูงของกำแพงศักย์ที่รอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำ

ก. ค่าความสัมพันธ์ต่างๆ แสดงอุณหภูมิ T_s และ T_b ที่กระแสค่าคงที่ต่างๆ

ข. แสดงการหาค่าความสูงกำแพงศักย์จากกระแสรีชาร์ดสันกับอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เทคนิคการเคลือบฟิล์มบางโดยการระเหยสารด้วยความร้อนในสุญญากาศ[Mc-Guire, 1988; Harris, 1989; ชัยวิทย์, 2526]

2.4.1 กระบวนการเตรียมฟิล์มบางด้วยการระเหยสาร (thin-film evaporation processes)

การเตรียมฟิล์มบางด้วยวิธีการระเหยสารดำเนินการกันในสุญญากาศที่ระดับความดันประมาณ 10^{-5} ถึง 10^{-7} ทอร์วัตต์ ประสิทธิภาพของการเตรียมฟิล์มบางด้วยวิธีนี้ คือ การควบคุมการเคลื่อนย้ายอะตอมจากแหล่งกำเนิดความร้อนไปยังแผ่นรองรับ ที่ห่างออกไปแล้วทับถมกันเกิดเป็นฟิล์มบาง วิธีการเตรียมฟิล์มบางด้วยการระเหยสารนั้นมีด้วยกันหลายวิธี แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเพียงการเตรียมฟิล์มบางด้วยวิธีการระเหยสารด้วยความร้อน (thermal evaporation)

2.4.1.1 อัตราการระเหยสาร (the physics and chemistry of evaporation) [8]

จากการทดลองของเฮิร์ตซ์และนูดเซน(Hertz and Knudsen) อัตราการไหลของอะตอม หรือโมเลกุลในสุญญากาศ จากแหล่งกำเนิดความร้อน (heat source) คือ

$$\Phi_e = \frac{3.513 \cdot 10^{22}}{(MT)^{1/2}} P_e \text{ โมลต่อตารางเซนติเมตร-วินาที} \quad (2.30)$$

โดยที่ Φ_e คือ ฟลักซ์ของจำนวนอะตอมหรือโมเลกุลของสารที่ระเหยต่อหน่วยพื้นที่ต่อเวลา
 P_e คือ ความดันสมดุล (equilibrium pressure)
 M คือ มวลโมเลกุล
 T คือ อุณหภูมิในหน่วยเคลวิน

เมื่อ P_e มีหน่วยเป็นทอร์ อัตราการระเหยมวลสาร (mass evaporation rate) สามารถหาได้จาก

$$\Gamma_e = 5.84 \cdot 10^{-2} (M/T)^{1/2} P_e \text{ กรัมต่อตารางเซนติเมตร-วินาที} \quad (2.31)$$

โดยที่ Γ_e คือ มวลของอัตราการระเหยสาร

ความดัน 10^{-2} ทอร์ค่าของ Γ_e ในธาตุจำนวนมากจะมีค่าประมาณ 10^{-4} กรัมต่อตารางเซนติเมตร-วินาที อิทธิพลต่ออัตราการระเหยสาร คือ อุณหภูมิ เพราะมีผลต่อความดันสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.2. ความดันไอของธาตุ (vapor pressure of the elements)

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความดันไอ แสดงได้ดังสมการ

$$\frac{dP}{dT} = \frac{P\Delta H(T)}{T\Delta V} \quad (2.32)$$

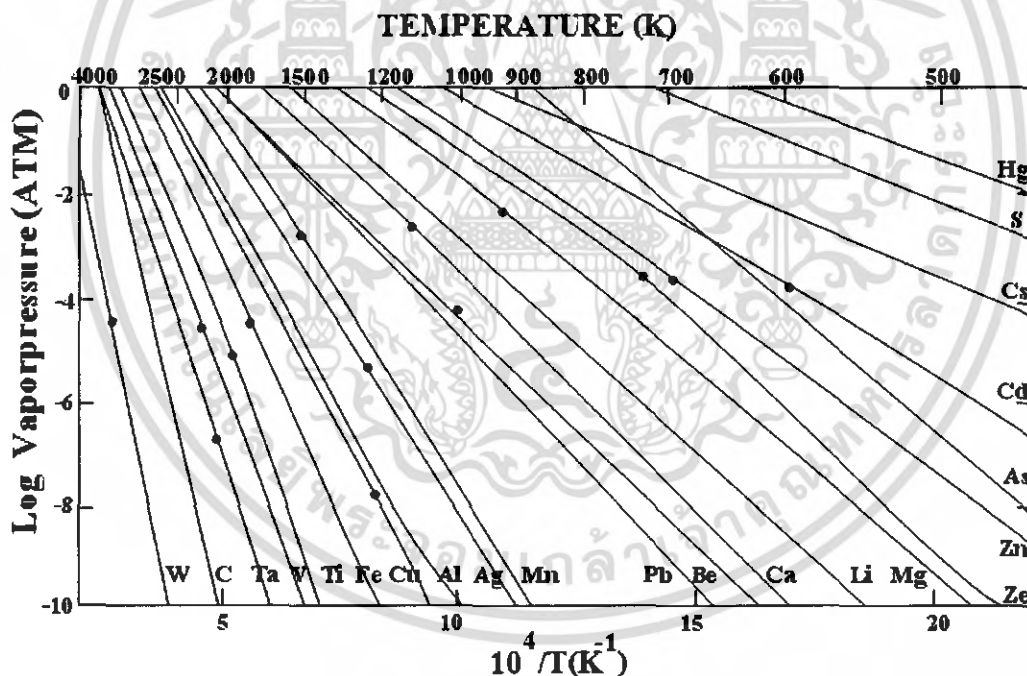
ให้ ΔV มีค่าเท่ากับปริมาตรของไอ (V_v) และเป็นก๊าซในอุดมคติแล้ว V_v จะมีค่าเป็น RT/P ดังนั้นเขียนสมการที่ (2.32) ใหม่ได้เป็น

$$\frac{dP}{dT} = \frac{P\Delta H(T)}{RT^2} \quad (2.33)$$

จากการประมาณค่า $\Delta H(T)$ มีค่าเท่ากับ ΔH_c (ความร้อนของสารในการระเหย) ในกรณีนี้จะได้

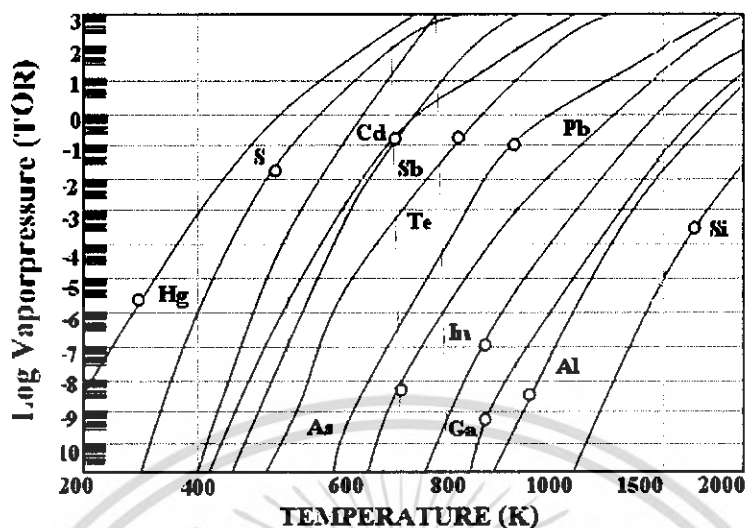
$$\ln P \cong -\frac{\Delta H_c}{RT} + I \quad \text{หรือ} \quad P = P_0 \exp\left(-\frac{\Delta H_c}{RT}\right) \quad (2.34)$$

เมื่อ I (หรือ $P_0 = \exp I$) เป็นค่าคงที่ของการอินทิเกรต



รูปที่ 2.20 กราฟแสดงค่าความดันไอของธาตุ โดยจุดต่าง ๆ จะสัมพันธ์กับจุดหลอมเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 กราฟแสดงค่าความดันไอของธาตุในสารกึ่งตัวนำ จุดต่าง ๆ จะสัมพันธ์กับจุดหลอมเหลว

2.4.1.3 แหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้ในการระเหยสารด้วยไฟฟ้า (electrically heated evaporation source)

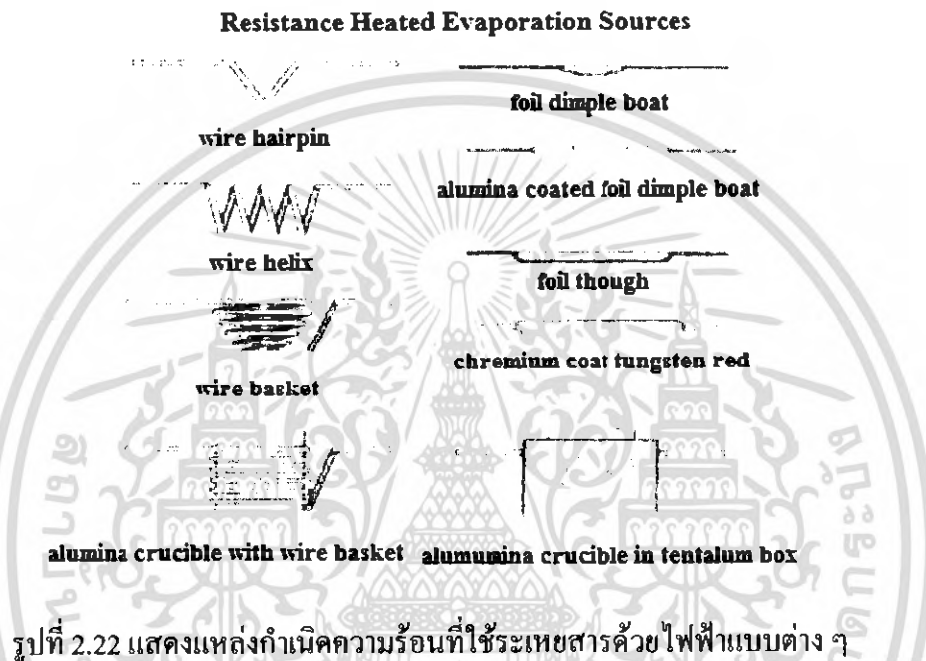
ในการเตรียมฟิล์มบางด้วยวิธีระเหยสารด้วยความร้อนจะต้องให้ความร้อนแก่สารกึ่งตัวนำที่ต้องการนำมาเคลือบผิวแผ่นรองรับ โดยทั่วไปแล้วจะใช้ตัวต้านทานหรือขดลวดเหนี่ยวนำ เป็นแหล่งกำเนิดโดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่ตัวต้านทานหรือขดลวดเหนี่ยวนำได้ แหล่งกำเนิดความร้อนมีหลายชนิดแบ่งออกได้ดังนี้

2.4.1.3.1 แหล่งกำเนิดชนิดขดลวดทังสเตน (tungsten wire source)

แหล่งกำเนิดชนิดนี้จะอยู่ในรูปของขดลวดพันรอบเดี่ยวหรือพันหลายรอบ เป็นเกลียวทรงกระบอกหรือรูปโคน โดยขดลวดเกลียวทรงกระบอกจะใช้สำหรับโลหะที่หลอมละลายได้เร็ว ส่วนขดลวดรูปโคนจะใช้ได้ดีกับโลหะที่หลอมละลายช้า ขดลวดทังสเตนสามารถทำงานได้จนกระทั่งอุณหภูมิ 2200 เคลวิน เกินกว่านี้ประสิทธิภาพจะลดลง

2.4.1.3.2 แหล่งกำเนิดชนิดแผ่นโลหะคงรูป (refractory metal sheet source)

แหล่งกำเนิดชนิดแผ่นโลหะคงรูป เช่น ทังสเตน, แทนทาลัม และ โมลิบดีนัม จะเหมือนกับอุปกรณ์ที่เป็นขดลวด คือ มีความต้านทานในตัวเอง และให้ความร้อนที่ค่าแรงดันต่ำแต่กระแสสูง แหล่งกำเนิดเหล่านี้จะถูกสร้างขึ้นมาในรูปร่างต่าง ๆ กัน ดังรูปที่ 2.22



2.4.1.3.3 เตาระเหิด (sublimation furnaces)

ในการระเหย ซัลไฟด์ซีลีไนต์และสารประกอบออกไซด์บางชนิดจะต้องใช้เตาระเหิด อุปกรณ์ในการระเหยสารที่เป็นผงหรือผงอัดเม็ด (pellet) จะมีการใช้แผ่นตะแกรง (baffle) เพื่อหลีกเลี่ยงการกระเด็นหลุดออกมาของอนุภาค เนื่องมาจากการหมุนเวียนของก๊าซที่อัดแน่นภายในแหล่งกำเนิดเพื่อป้องกันอนุภาคไปเกาะติดกับแผ่นรองรับ ซึ่งแผ่นตะแกรงจะยอมให้โมเลกุลหรืออะตอมของสารเท่านั้นผ่านไป

2.4.1.3.4 เบ้าหลอม (crucible source)

แหล่งกำเนิดความร้อนชนิดนี้จะมีลักษณะเป็นถ้วยทรงกระบอก ซึ่งสร้างมาจาก โบรอน, ไนไตร, แกรไฟต์, ออกไซด์และโลหะทนความร้อนสูงเป็นต้น ถ้วยจะได้รับความร้อนจากขดลวดทังสเตนซึ่งล้อมรอบอยู่โดยรอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

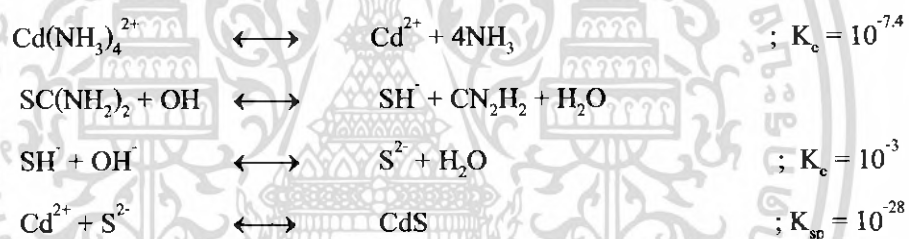
2.5 การเตรียมฟิล์มบาง CdS โดยใช้วิธีออบสารละลายเคมี [ฐิตินัย และคณะ, 2543; งามนิตย์ และคณะ, 2546; Ramajiah, 1999]

2.5.1 กระบวนการเกิดปฏิกิริยา

ในการเตรียมฟิล์มบางCdSสามารถทำได้ด้วยวิธีการออบสารละลายเคมี โดยการจุ่มฐานรองรับซึ่งเป็นกระจกสไลด์ สารละลายที่ใช้ประกอบไปด้วยไทโอยูเรีย(SC(NH₂)₂)เกลือแคดเมียมซัลเฟต(CdSO₄)ซึ่งจะให้ไอออนของซัลเฟอร์(S²⁻)ไอออนของแคดเมียม(Cd²⁺) ตามลำดับในการเตรียมฟิล์มนี้จะมีค่าpHของสารละลายในอ่างประมาณ 10.6 – 11.8 โดยในกระบวนการเคลือบฟิล์มบางคาดว่า จะเกิดปฏิกิริยาดังนี้

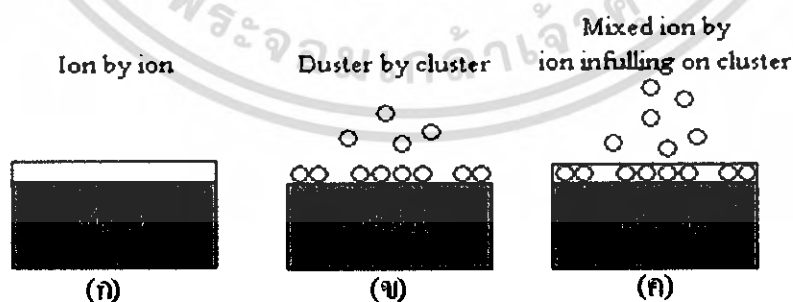
2.5.1.1 การเกิดปฏิกิริยาเพื่อให้ได้แคดเมียมซัลไฟด์ (CdS)

1) กระบวนการ ไฮโดรเจนเนชัน



เมื่อ K_c และ K_{sp} คือ ค่าคงที่สมดุล (equilibrium constant) และ ค่าผลคูณการละลาย

2) กระบวนการเฮเทอโรจีเนียส



รูปที่ 2.23 แสดงกลไกในการเกิดผลึกฟิล์มบางเตรียมโดยใช้วิธีออบสารละลายเคมี

ก. กระบวนการเฮเทอโรจีเนียส

ข. กระบวนการ ไฮโดรเจนเนชัน

ค. กระบวนการผสมระหว่างเฮเทอโรจีเนียสและ ไฮโดรเจนเนชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

ในโครงการพิเศษนี้เป็นการนำฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมด้วยวิธีอาบสารละลายเคมี มาสร้างรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำ ซึ่งต้องการให้เกิดรอยต่อชนิดโอห์มมิกขึ้นเพื่อศึกษาถึงสมบัติของรอยต่อชนิดนี้โดยเลือกใช้โลหะประเภททอเลียมเนียมและเงิน จากนั้นศึกษาถึงสมบัติของรอยต่อโดยวัดค่ากระแสและความต่างศักย์ที่บริเวณรอยต่อตามเงื่อนไขที่กำหนดขึ้น นำค่าที่วัดได้ไปเขียนกราฟและคำนวณค่าต่างๆที่เกี่ยวข้อง เพื่อวิเคราะห์ผลการทดลองซึ่งจะได้กล่าวถึงรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 การเตรียมฟิล์มบางโดยวิธีการอาบสารละลายเคมี

ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1. แผ่นกระจกสไลด์ 12 x 25 mm.²
2. บีกเกอร์ขนาด 200 ml.
3. อ่างน้ำปรับอุณหภูมิได้
4. เตาให้ความร้อน
5. สเต็ปปีงมอเตอร์
6. เทอร์โมมิเตอร์
7. เครื่องชั่งดิจิตอล (ที่มีตำแหน่งทศนิยมละเอียดถึง 4 ตำแหน่ง)
8. แท่นยึด
9. สารตั้งต้นประกอบด้วย

-แคดเมียมซัลเฟต ($CdSO_4$)

-ไทโอยูเรีย [$SC(NH_2)_2$]

-แอมโมเนีย (NH_3)

-น้ำปอดคประจุ (deionized water: DI water)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การทำความสะอาดผิวหน้าฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมโดยการอบสารละลายเคมี [ฐิตินัย และคณะ, 2543; งามนิตย์ และคณะ, 2546; Ramaiah,1999; Garcia และคณะ, 1987; Oaring, 2002]

ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1. ฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมโดยวิธีอบสารละลายเคมีขนาด $12 \times 25 \text{ mm}^2$
2. เครื่องอัลตราโซนิก
3. กรดไฮโดรคลอริกเจือจาง 10%
4. น้ำปอดคประจุ
5. ก๊าซไนโตรเจน (N_2)



รูปที่ 3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทำความสะอาดผิวหน้าฟิล์มบาง CdS

ก. ฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมโดยวิธีอบสารละลายเคมี

ข. เครื่องอัลตราโซนิก

3.1.3 การสร้างรอยต่อโอห์มมิกบนฟิล์มบางด้วยเงิน (Ag)

ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1. กาวเงิน (silver paint)
2. อะซีโตน



รูปที่ 3.2 กาวเงินที่ใช้สร้างรอยต่อโอห์มมิกบนฟิล์มบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 การสร้างรอยต่อไอห่มมิกบนฟิล์มบางด้วยอลูมิเนียมโดยวิธีระเหยด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ [Ramaiah, 1999]

ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

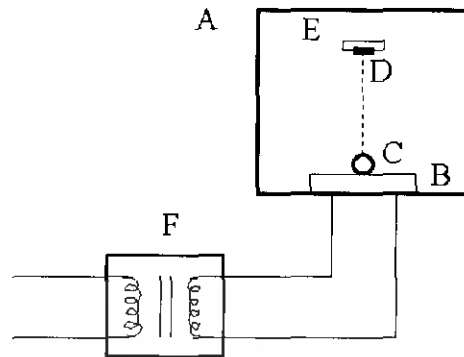
1. หน้ากากแผ่นอลูมิเนียม (mask)
2. สารตั้งต้น (เมล็ดอลูมิเนียม)
3. เครื่องระเหยในระบบสุญญากาศ ประกอบด้วย
 1. ภาชนะสุญญากาศเป็นห้องสุญญากาศให้แก่ระบบระเหยสารด้วยความร้อน
 2. เข้าหลอมสารทำหน้าที่รองรับสารและให้ความร้อนแก่สารที่ใช้ทำการระเหย
 3. แทนวาล์วกระจกสไลด์รองรับไอของสารที่ระเหยขึ้นมาเกาะติดเป็นฟิล์มบาง
 4. ชัตเตอร์ทำหน้าที่เปิดปิดควบคุมไอระเหยของสาร
 5. หม้อแปลงโวลต์ต่ำกระแสสูงทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้แก่เข้าหลอม
 6. แวริแอกทำหน้าที่ควบคุมกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงโวลต์ต่ำกระแสสูง
 7. เกจวัดความดันทำหน้าที่วัดความดันในระบบสุญญากาศ
 8. ปัมพ์กลโรตารีสามารถลดความดันได้ต่ำสุดประมาณ 10^{-2} ถึง 10^{-3} มิลลิบาร์
 9. เทอร์โบปัมพ์ทำหน้าที่ลดความดันในภาชนะ โดยทำงานร่วมกับปัมพ์กลโรตารีสามารถลดความดันได้ต่ำสุดประมาณ 10^{-5} ถึง 10^{-6} มิลลิบาร์



รูปที่ 3.3 แสดงภาพถ่ายระบบการเตรียมฟิล์มบางด้วยวิธีระเหยด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ

- ก. เครื่องระเหยด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ
- ข. แสดงภาพถ่ายภายในภาชนะสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงไดอะแกรมการวางตำแหน่งภายในเครื่องระเหยในระบบสุญญากาศ

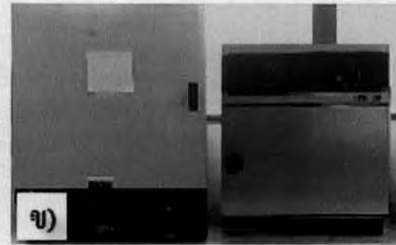
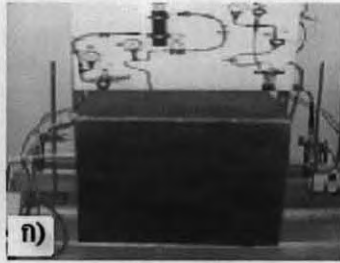
- A คือ ภาชนะสุญญากาศ
- B คือ น้ำหลอมสาร
- C คือ สารที่ใช้เตรียมฟิล์มบาง
- D คือ ฟิล์มบาง
- E คือ ฐานรอง
- F คือ หม้อแปลงโวลต์ต่ำกระแสสูง

3.1.5 กระบวนการแอนนีสในบรรยากาศของไนโตรเจนและบรรยากาศของออกซิเจน

ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1. แท่งแก้วควอทซ์เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 30 มม. และยาวประมาณ 330 มม.
2. เครื่องควบคุมอุณหภูมิของ SHIMADEN รุ่น PID FP21 พร้อมเทอร์โมคัปเปิล
3. แก๊สไนโตรเจน 99.999 %
4. ปั๊มฟกัลโรตารี (rotary pump)
5. เตาแอนนีส
6. เตาอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงภาพถ่ายระบบที่ใช้ในกระบวนการแอนนีสล

ก. ระบบที่ใช้ในการแอนนีสลในบรรยากาศของไนโตรเจนและออกซิเจน

ข. เตาอบที่ทนอุณหภูมิได้สูงถึง 1,050 °C และ 200 °C ตามลำดับ

3.1.6 การศึกษาสมบัติของรอยต่อโอห์มิกบนฟิล์มบางขณะทำการลดและเพิ่มอุณหภูมิ

ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1. เครื่องควบคุมอุณหภูมิของ SHINKO รุ่น MCD100 พร้อมเทอร์โมคัปเปิล
2. เครื่องวัดอุณหภูมิของ Digicon รุ่น Dp-50A
3. ระบบทำความเย็นเครื่องไครโอเจนิก
4. ปุ่มพกดโรตารี
5. เครื่องสเปกโตรฟลูออโรโฟโตมิเตอร์
6. เตาให้ความร้อน

3.1.7 การศึกษาคูณสมบัติของรอยต่อโอห์มิกบนฟิล์มบาง

ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1. เครื่องอิเล็กทรอนิกส์ของ Keithley รุ่น 610 CR
2. แหล่งจ่ายกระแสตรงคงที่ของ Keithley รุ่น 23



รูปที่ 3.6 แสดงภาพถ่ายเครื่องมือที่ใช้ลดและเพิ่มอุณหภูมิขณะศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าฟิล์มบาง

- ก. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
- ข. ระบบทำความเย็นเครื่องโครโมมิเตอร์
- ค. ปั๊มฟลักซ์โรตารี
- ง. เครื่องมือที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิขณะศึกษาสมบัติฟิล์มบางและเตาให้ความร้อน



รูปที่ 3.7 แสดงภาพถ่ายเครื่องมือที่ใช้ศึกษาสมบัติรอยต่อโอห์มมิก

- ก. เครื่องอิเล็กทรอนิกส์ของ Keithley รุ่น 610 CR
- ข. แหล่งจ่ายกระแสตรงคงที่ของ Keithley รุ่น 23

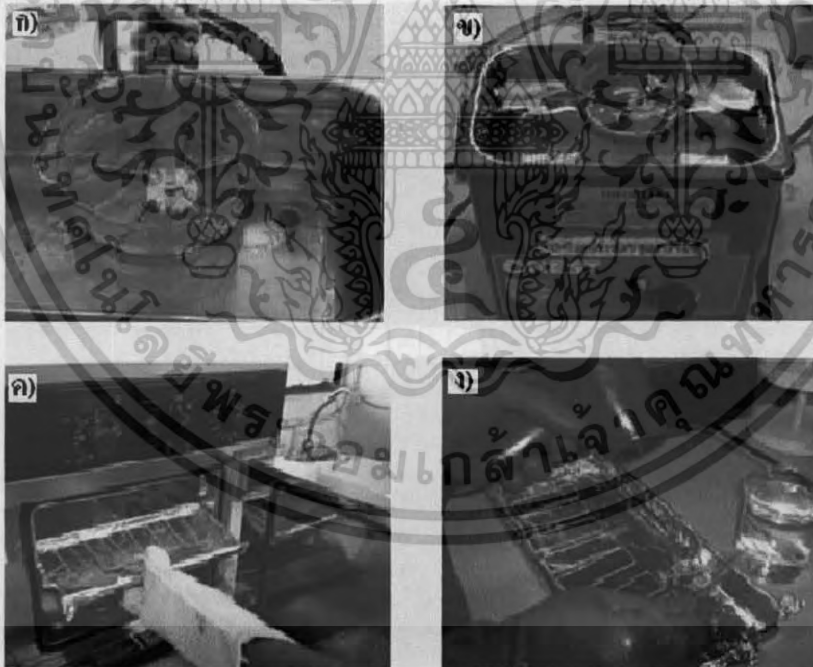
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนการวิจัย [ฐิตินัย และคณะ, 2543; งามนิตย์ และคณะ, 2546]

3.2.1 การเตรียมแผ่นรองรับที่เป็นกระจกสไลด์

มีขั้นตอนดังนี้

1. นำแผ่นกระจกสไลด์ไปทำความสะอาดด้วยน้ำยาล้างจาน
2. ล้างแผ่นกระจกสไลด์ด้วยไตรคลอโรเอทิลีน (TCE)
3. ล้างแผ่นกระจกสไลด์ด้วยอะซิโตน
4. ล้างแผ่นกระจกสไลด์ด้วยเอทานอล
5. นำแผ่นกระจกสไลด์ไปกักด้วยกรรกักแก้วเพื่อจางความเข้มข้น 10% เป็นเวลา 10 นาที แล้วล้างด้วยน้ำปอดประจุ
6. ล้างแผ่นกระจกสไลด์ในน้ำปอดประจุด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 10 นาที จำนวนสามครั้ง
7. นำแผ่นกระจกสไลด์ไปอบในเตาที่มีอุณหภูมิประมาณ 95°C เป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 3.8 แสดงภาพถ่ายขั้นตอนการเตรียมแผ่นรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 วิธีการเตรียมฟิล์มบาง CdS โดยวิธีการอบสารละลายเคมี มีขั้นตอนดังนี้ [ฐิตินัย และคณะ, 2543; งามนิตย์ และคณะ, 2546; Oaring, 2002; Mc Guire, 1988; Harris, 1989; ชัยวิทย์, 2526]

1. ชั่งสารตั้งต้น เกล็ดแคดเมียมซัลเฟต [$\text{CdSO}_4 \cdot 8/3 \text{H}_2\text{O}$], ไทโอยูเรีย [$\text{SC}(\text{NH}_2)_2$] และ แอมโมเนีย (NH_3)
2. ละลายเกล็ดแคดเมียมซัลเฟตลงในน้ำปอดประจุ 10 ml. และเกล็ดไทโอยูเรียลงในน้ำปอดประจุ 10 ml. ที่อุณหภูมิห้อง
3. นำกระจกสไลด์ที่ขัดด้วยเทพลอนใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำปอดประจุอยู่ประมาณ 100 ml. ซึ่งแช่อยู่ในอ่างปรับอุณหภูมิ 80°C
4. เปิดสวิทช์สเต็ปมอเตอร์ให้หมุนแท่นยึดฐานรองรับตลอดเวลาด้วยอัตราเร็วประมาณ 60 รอบต่อนาที
5. เทสารละลายแคดเมียมซัลเฟตลงในแอมโมเนียที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปเทลงในบีกเกอร์ ตามด้วยไทโอยูเรียที่เตรียมไว้ในบีกเกอร์ จากนั้นเติมน้ำปอดประจุลงในบีกเกอร์ให้มีค่าประมาณ 150 ml. ตามลำดับ
6. เมื่อสารละลายเริ่มเปลี่ยนสี ให้วัดค่า pH ของสารละลาย ซึ่งจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 11.6 จากนั้นรอประมาณ 1 ชั่วโมง โดยระหว่างนั้นให้ควบคุมอุณหภูมิของอ่าง และควบคุมอัตราการหมุนของแท่นยึดให้มีค่าคงที่เสมอและ ต้องเติมน้ำในอ่างให้มีระดับน้ำเท่ากับสารละลายที่อยู่ในบีกเกอร์ตลอดเวลา
7. เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง ให้นำเอาออกจากบีกเกอร์ ซึ่งจะพบว่าฟิล์มบางเคลือบติดอยู่บนแผ่นกระจกสไลด์ นอกจากนี้ยังมีตะกอนของ CdS เกาะอยู่ที่ผิวหน้าของฟิล์มบางและ ตกตะกอนอยู่ที่ก้นบีกเกอร์
8. นำแผ่นกระจกที่เคลือบฟิล์มบางใส่ลงในน้ำปอดประจุแล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องอัลตราโซนิก ประมาณ 10 นาที จากนั้นเปลี่ยนน้ำปอดประจุ แล้วทำการเขย่าอีก 2 ครั้ง เพื่อขจัดตะกอนที่อยู่บนผิวหน้าของฟิล์มบางออกให้หมด
9. นำฟิล์มบางที่เตรียมได้มาเคลือบอีก 7 ครั้ง ตามขั้นตอนที่ 1-9 หลังจากครบแล้วนำมาเป่าด้วยไฟแห้งด้วยความร้อน
10. บรรจุฟิล์มบางที่เตรียมเสร็จแล้วในถุงพลาสติกสุญญากาศ เพื่อป้องกันฝุ่นละอองและการเกิดออกไซด์ที่บริเวณผิวหน้าของฟิล์มบาง

3.2.3 การทำความสะอาดผิวหน้าของฟิล์มบาง Cds

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำฟิล์มบาง Cds ที่เตรียมโดยการอบสารละลายเคมีไปทำความสะอาดด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง 10% โดยนำฟิล์มบาง Cds จุ่มลงในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง 10% เป็นเวลา 30 วินาที
2. นำฟิล์มบางไปทำความสะอาดต่อด้วยการสั่นโดยเครื่องอัลตราโซนิกในน้ำปอดประจุเป็นเวลา 30 นาทีจำนวน 3 ครั้งด้วยกัน
3. นำฟิล์มบาง Cds ที่ทำความสะอาดตามกระบวนการข้างต้นไปเป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

3.2.4 การสร้างรอยต่อโอห์มิกด้วยกาวเงิน (Silver paint)

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ผสมกาวเงินและ อะซิโตนให้มีความข้นพอประมาณ เพื่อใช้ป้ายลงบนฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์ที่เตรียมแล้ว
2. ประมาณค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางรอยต่อที่จะสร้างขึ้น โดยประมาณให้เส้นผ่านศูนย์กลางของรอยต่อใหญ่ คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของรอยต่อเล็ก เท่ากับ 5:1 เท่า
3. นำฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์ ที่ผ่านขั้นตอนการทำความสะอาดผิวหน้าแล้วมาทา กาวเงินตามขนาดที่กำหนดไว้โดยทำเป็นรอยต่อใหญ่เพียงรอยต่อเดียวและทำรอยต่อเล็ก 3 รอยต่อ เพื่อป้องกันความผิดพลาดจากการสร้างรอยต่อแล้วใช้การไม่ได้

3.2.5 การสร้างรอยต่อโอห์มมิกด้วยวิธีระเหยสารด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศโดยใช้ อลูมิเนียม

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำความสะอาดภายในระบบสุญญากาศเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกด้วยอะซิโตนและ
เอทานอล ตามลำดับ
2. ทำการติดตั้งระบบต่างๆ ภายในระบบสุญญากาศให้เสร็จสมบูรณ์
3. นำเม็ดสารอลูมิเนียม บรรจุลงในภาชนะระเหยสารที่เป็นโลหะทั้งสแตน
4. นำฟิล์มบางที่เตรียมไว้วางลงบนหน้ากาก ที่ทำจากแผ่นอลูมิเนียมเจาะเป็นช่องตาม
แบบและขนาดที่ต้องการ หลังจากนั้นปิดระบบสุญญากาศให้เรียบร้อย
5. ตรวจสอบระบบระเหยสารว่าวาล์วที่ควบคุมการเปิดปิดการสูบอากาศออกและวาล์วที่
ควบคุมการเปิดปิดเพื่อปล่อยอากาศเข้าอยู่ในตำแหน่งที่ปิดเรียบร้อยแล้ว
6. เปิดปั๊มพีโรตารีประมาณ 2 นาทีเปิดวาล์วสูบอากาศออกจนความดัน 3×10^{-3} mbar แล้ว
เปิดปั๊มเทอร์โบจนได้ความดันที่ต้องการในช่วง $5 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-6}$ mbar
7. เริ่มทำการระเหยสารเพื่อเคลือบบนฟิล์มบาง โดยการเปิดสวิตช์แวลูแล้วเพิ่ม
แรงดันอย่างช้าๆ จนกระทั่งกระแสอยู่ที่ประมาณ 100 – 130 A แล้วแค่กรณีเมื่อมวล
เม็ดสารเริ่มลดลงก็ทำการเปิดชัตเตอร์
8. เมื่อได้ความหนาของฟิล์มตามที่ต้องการแล้วให้ปิดชัตเตอร์แล้วลดแรงดันอย่างช้าๆ
จนกระทั่งไม่มีกระแสและปิดแวลู
9. ปิดปั๊มเทอร์โบ จากนั้นให้ระบบทำงานแล้วปิดวาล์วสูบอากาศและปั๊มพีโรตารี
10. เปิดวาล์วให้อากาศเข้าภายในห้องสุญญากาศ
11. นำฟิล์มบางที่สร้างรอยต่อเสร็จแล้วออกมาจากระบบ

3.2.6 กระบวนการแอนนีลในบรรยากาศออกซิเจน

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำฟิล์มบาง CdS ที่ สร้างรอยต่อเรียบร้อยแล้วใส่ไว้ในท่อแก้วควอทซ์ที่อยู่ในเตาแอนนีล แล้วทำการปิดท่อแก้วควอทซ์
2. ปลดปล่อยให้ภายในท่อแก้วควอทซ์เป็นบรรยากาศปกติ โดยไม่ต้องทำการดูดอากาศภายในออกและปรับความดันภายในท่อแก้วควอทซ์เกือบเท่ากับความดันบรรยากาศ
3. ทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 25, 50, 75, 100, 125 และ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลาครั้งละ 10 นาที
4. ปิดเครื่องควบคุมอุณหภูมิแล้วรอนถึงอุณหภูมิห้องแล้วจึงนำฟิล์มที่เตรียมได้ออกมาและนำไปเก็บไว้ในภาชนะควบคุมความชื้น

3.2.7 กระบวนการแอนนีลในบรรยากาศไนโตรเจน

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำฟิล์มบาง CdS และสร้างรอยต่อเรียบร้อยแล้ว นำไปใส่ไว้ในท่อแก้วควอทซ์ที่อยู่ในเตาแอนนีล แล้วทำการปิดท่อแก้วควอทซ์
2. ทำการอีแวค-รีฟิล (evac-refill) โดยการดูดอากาศภายในท่อแก้วควอทซ์ออกแล้วเติมแก๊สไนโตรเจนเข้าไปจนกระทั่งมีความดันเกือบเท่ากับความดันบรรยากาศ
3. ทำการแอนนีลที่อุณหภูมิ 50, 75, 100, 125 และ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลาครั้งละ 10 นาที
4. ปิดเครื่องควบคุมอุณหภูมิแล้วรอนถึงอุณหภูมิห้องแล้วจึงนำฟิล์มที่เตรียมได้ออกมาและนำไปเก็บไว้ในภาชนะควบคุมความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.8 การศึกษาคุณสมบัติของรอยต่อโอห์มมิกบนฟิล์มบางที่อุณหภูมิห้อง

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำฟิล์มบางที่ทำการสร้างรอยต่อและแอนนีลที่อุณหภูมิต่างๆเรียบร้อยแล้วมาวัดค่ากระแสและความต่างศักย์ของรอยต่อ โอห์มมิกบนฟิล์มบางที่อุณหภูมิห้องโดยใช้เครื่องอิเล็กทรอนิกส์ของ Keithley รุ่น 610 CR และจ่ายไฟด้วยแหล่งจ่ายกระแสตรงคงที่ของ Keithley รุ่น 23
2. ปรับเพิ่มค่าแรงดันจากเครื่องจ่ายไฟด้วยแหล่งจ่ายกระแสตรงคงที่ของ Keithley รุ่น 23 และอ่านค่ากระแสที่วัดได้จากเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ ของ Keithley รุ่น 610 CR
3. บันทึกค่ากระแสและความต่างศักย์เพื่อใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์ผลต่อไป

3.2.9 การศึกษาสมบัติของรอยต่อโอห์มมิกบนฟิล์มบางขณะทำการลดอุณหภูมิ

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำฟิล์มบาง CdS ที่ต้องการศึกษาสมบัติขณะทำการลดอุณหภูมิวางลงบนหัวโคร โอสเตท นำแท่นโคร โอสเตทเลื่อนเข้าสู่ระบบสุญญากาศ ทำการอีแวคริฟิล (evac-refill) โดยการดูดอากาศภายในท่อแก้วควอทซ์ออกเป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง และตรวจสอบความเรียบร้อยของระบบ
2. เริ่มปรับอุณหภูมิค่าสุดไปที่ 50 K พร้อมกับปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ต้องการวัดด้วย
3. วัดค่ากระแสและความต่างศักย์ของรอยต่อโอห์มมิกบนฟิล์มบาง ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 50, 75, 100, 125, 150, 175 และ 200 เคลวิน โดยใช้เครื่องอิเล็กทรอนิกส์ของ Keithley รุ่น 610 CR และจ่ายไฟด้วยแหล่งจ่ายกระแสตรงคงที่ของ Keithley รุ่น 23
4. ปรับเพิ่มค่าแรงดันจากเครื่องจ่ายไฟด้วยแหล่งจ่ายกระแสตรงคงที่ของ Keithley รุ่น 23 และอ่านค่ากระแสที่วัดได้จากเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ของ Keithley รุ่น 610 CR ทำซ้ำทุกๆ อุณหภูมิข้างต้น
5. บันทึกค่ากระแสและความต่างศักย์เพื่อใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์ผลต่อไป

3.2.10 การศึกษาสมบัติของรอยต่อโอห์มิกบนฟิล์มบางขณะทำการเพิ่มอุณหภูมิ

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำฟิล์มบาง CdS ที่ต้องการศึกษาสมบัติขณะทำการเพิ่มอุณหภูมิ วางลงบนเตาให้ความร้อน จัดวางอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.6 ง)
2. เปิดเตาให้ความร้อนควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 50 ,75 , 100 , 125 และ 150 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิของ SHINKO รุ่น MCD 100 พร้อมเทอร์โมคัปเปิล
3. ปรับเพิ่มค่าแรงดันจากเครื่องจ่ายไฟด้วยแหล่งจ่ายกระแสตรงคงที่ของ Keithley รุ่น 23 และอ่านค่ากระแสที่วัดได้จากเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ของ Keithley รุ่น 610 CR ทำซ้ำทุกๆ อุณหภูมิที่กล่าวข้างต้น
4. บันทึกค่ากระแสและความต่างศักย์เพื่อใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์ผลต่อไป

3.3 ขั้นตอนการคำนวณและวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.3.1 การศึกษาสมบัติของรอยต่อจากค่าความหนาแน่นของกระแสชาร์ดสัน

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

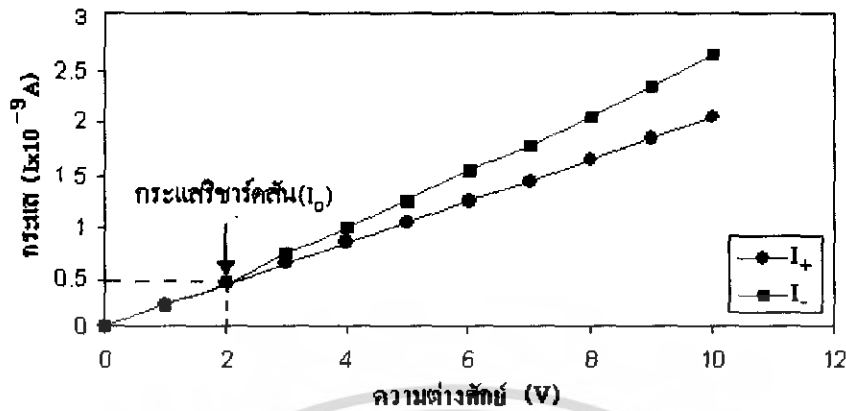
1. เขียนกราฟระหว่างค่ากระแสและความต่างศักย์ที่บันทึกได้จากการทดลองข้างต้น โดยให้แกนตั้ง (y) เป็นค่ากระแส และแกนนอน (x) เป็นค่าความต่างศักย์
2. อ่านค่ากระแสชาร์ดสัน (Richardson current) จากกราฟโดยอ่านจากจุดที่เกิดการแยกออกของกระแสไฟฟ้าค่าบวกและค่าลบ
3. คำนวณค่าความหนาแน่นของกระแสชาร์ดสัน (Richardson current density) โดยการแทนค่ากระแสชาร์ดสันที่อ่านได้ในสมการดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ} \quad I_0 &= J_0 A \\ \text{โดยที่} \quad I_0 &= AA^* T^2 \exp(-q\phi_B / kT) \\ J_0 &= A^* T^2 \exp(-q\phi_B / kT) \end{aligned}$$

A คือ พื้นที่ของรอยต่อขนาดเล็กที่สร้างขึ้น (พื้นที่รูปวงกลม = πr^2)

4. เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของกระแสชาร์ดสัน (J_0) ทุกๆ กรณีที่ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

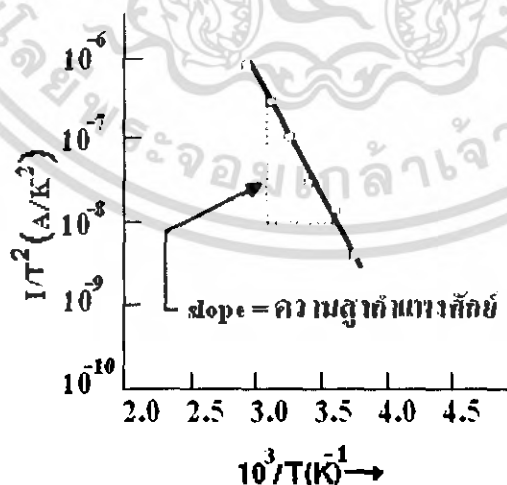


รูปที่ 3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแส (I) และความต่างศักย์ (V) และแสดงการอ่านค่ากระแสชาร์ตสันซึ่งจากกราฟมีค่าเท่ากับ 2×10^{-9} A

3.3.2 ศึกษาสมบัติของรอยต่อจากความสูงของกำแพงศักย์ (ϕ_b)

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. คำนวณค่าความหนาแน่นของกระแสชาร์ตสัน (Richardson current density)
2. คำนวณความหนาแน่นของกระแสชาร์ตสันส่วนอุณหภูมิ (เคลวิน) ยกกำลังสอง I/T^2 (A/K²) และค่า $10^3/T$ (K⁻¹)
3. เขียนกราฟระหว่างค่า I/T^2 (A/K²) กับ ค่า $10^3/T$ (K⁻¹)
4. หาค่าความสูงของกำแพงศักย์ (ϕ_b) จากค่าความชันของกราฟ



รูปที่ 3.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า I/T^2 (A/K²) กับ ค่า $10^3/T$ (K⁻¹) เพื่อหาค่าความสูงของกำแพงศักย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ในโครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาสมบัติของรอยต่อไอหุ้มมิทของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมด้วยวิธีออบสารละลายเคมี โดยการเตรียมฟิล์มบาง CdS ตามวิธีข้างต้น แล้วนำมาสร้างรอยต่อไอหุ้มมิทระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำ โดยเลือกใช้โลหะประเภท อลูมิเนียมและเงิน จากนั้น ศึกษาถึงสมบัติของรอยต่อชนิดนี้ โดยวัดค่ากระแสและความต่างศักย์ที่บริเวณรอยต่อ ตามเงื่อนไขที่กำหนดขึ้น นำค่าที่วัดได้ไปพล็อตกราฟและคำนวณค่าต่างๆที่เกี่ยวข้อง โดยในบทนี้ได้นำเสนอผลการทดลองในแต่ละขั้นตอนอย่างละเอียด รวมถึงการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อเป็นแนวทางในการสรุปผลการทดลองต่อไป

4.1 ลักษณะของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมได้จากวิธีออบสารละลายเคมี

จากการสังเกตฟิล์มบาง CdS ที่ทำการเตรียมได้จากวิธีออบสารละลายเคมี โดยมีสารตั้งต้นคือ แคลเซียมซัลเฟต, ไท โอยูเรีย และ แอมโมเนียจะพบว่าฟิล์มบางที่ได้มีลักษณะเป็นสีเหลือง อมส้มแวววาวมีความเรียบสม่ำเสมอเกาะติดบนฐานรองรับได้ดีไม่หลุดร่อนง่าย ลักษณะของฟิล์มบางที่เตรียมได้จากงานวิจัยนี้ แสดงดังในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมได้โดยใช้วิธีออบสารละลายเคมีเมื่อไม่มีการแอนนัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 ลักษณะของฟิล์มบาง Cds ที่ทำการสร้างรอยต่อโอห์มมิกกับเงิน ด้วยวิธีป้ายกาวเงิน

ฟิล์มบาง Cds ที่เตรียมได้จากวิธีอบสารละลายเคมีนำมาทำการสร้างรอยต่อโอห์มมิกกับเงิน ด้วยวิธีป้ายกาวเงิน พบว่ารอยต่อที่สร้างขึ้นติดแน่นบนฟิล์มบาง Cds แต่มีรอยต่อไม่คมชัดมีความเรียบของผิวหน้าของรอยต่อไม่สม่ำเสมอ ลักษณะของรอยต่อโอห์มมิก ระหว่างฟิล์มบาง Cds กับเงินที่เตรียมด้วยวิธีการป้ายกาวเงิน ดังแสดงในรูปที่ 4.2

รูปที่ 4.2 ฟิล์มบาง Cds เมื่อไม่มีการแอนนัลที่สร้างรอยต่อ โอห์มมิก โดยเงินด้วยวิธีป้ายกาวเงิน

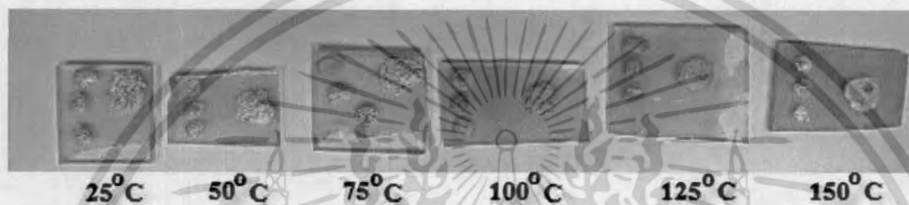
4.1.2 ลักษณะของฟิล์มบาง Cds ที่สร้างรอยต่อโอห์มมิกกับอลูมิเนียม ด้วยวิธีการระเหยสารด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ

ฟิล์มบาง Cds ที่เตรียมได้จากวิธีอบสารละลายเคมีนำมาทำการสร้างรอยต่อโอห์มมิกกับอลูมิเนียม ด้วยวิธีการระเหยสารด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ พบว่ารอยต่อที่สร้างขึ้นคมชัดเป็นไปตามหน้าฉากแผ่นอลูมิเนียม มีความเรียบสม่ำเสมอรอยต่อติดแน่นบนฟิล์มบาง Cds ไม่หลุดร่อนง่าย ลักษณะของรอยต่อโอห์มมิกระหว่างฟิล์มบาง Cds กับอลูมิเนียม ที่เตรียมด้วยวิธีการระเหยสารด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.3

รูปที่ 4.3 ฟิล์มบาง Cds เมื่อไม่มีการแอนนัลที่สร้างรอยต่อ โอห์มมิกกับอลูมิเนียม ด้วยวิธีการระเหยสารด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ

4.1.3 ลักษณะของฟิล์ม CdS ที่ทำการสร้างรอยต่อไอหุ้มมิกกับเงินแล้วแอนนัลที่อุณหภูมิต่างๆ ภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน

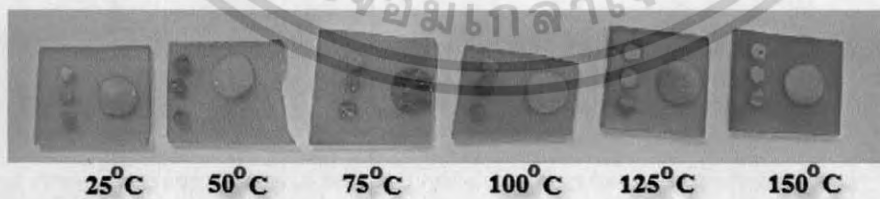
เมื่อสังเกตลักษณะของฟิล์มบาง CdS ที่ทำการสร้างรอยต่อไอหุ้มมิกกับเงินแล้วแอนนัลที่อุณหภูมิต่าง ๆ ภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน พบว่าเมื่อให้อุณหภูมิแอนนัลมีค่าสูงขึ้นทำให้ฟิล์มมีสีเปลี่ยนไปโดยมีสีเหลืองเข้มขึ้นเล็กน้อย ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ลักษณะของฟิล์มบาง CdS ที่ทำการสร้างรอยต่อไอหุ้มมิกกับเงินด้วยวิธีป้ายกาวเงิน แล้วแอนนัลที่อุณหภูมิ 25, 50, 75, 100, 125, 150 องศาเซลเซียสตามลำดับภายใต้บรรยากาศของออกซิเจนเป็นเวลา 10 นาที

4.1.4 ลักษณะของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อไอหุ้มมิกกับอลูมิเนียมแล้วแอนนัลที่อุณหภูมิต่างๆ ภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน

เมื่อสังเกตลักษณะของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อไอหุ้มมิกกับอลูมิเนียมแล้วแอนนัลที่อุณหภูมิต่าง ๆ ภายใต้บรรยากาศของออกซิเจนพบว่าเมื่อให้อุณหภูมิแอนนัลมีค่าสูงขึ้นทำให้ฟิล์มมีสีเปลี่ยนไปโดยมีสีเหลืองเข้มขึ้นเล็กน้อยดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ลักษณะของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อไอหุ้มมิกกับอลูมิเนียมแล้วแอนนัลที่อุณหภูมิ 25, 50, 75, 100, 125, 150 องศาเซลเซียสตามลำดับ ภายใต้บรรยากาศของออกซิเจนเป็นเวลา 10 นาที

4.1.5 ลักษณะของฟิล์มบาง CdS ที่ทำการสร้างรอยต่อโอห์มมิกกับเงินแล้วแอนนัลที่อุณหภูมิต่างๆ ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน

ลักษณะของฟิล์มบาง CdS ที่ทำการสร้างรอยต่อโอห์มมิกกับเงิน แล้วแอนนัลที่อุณหภูมิต่างๆ ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน พบว่าเมื่อให้อุณหภูมิแอนนัลมีค่าสูงขึ้นทำให้ฟิล์มมีสีเปลี่ยนไปโดยมีสีเหลืองเข้มขึ้นเล็กน้อย ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ลักษณะของฟิล์มบาง CdS ที่ทำการสร้างรอยต่อ โอห์มมิกกับเงิน แล้วแอนนัลที่ที่อุณหภูมิต่างๆ 50, 75, 100, 125, 150 องศาเซลเซียสตามลำดับ ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนเป็นเวลา 10 นาที

4.1.6 ลักษณะของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อโอห์มมิกกับอลูมิเนียมแล้วแอนนัลที่อุณหภูมิต่างๆ ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน

ลักษณะของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อโอห์มมิกกับอลูมิเนียมแล้วแอนนัลที่อุณหภูมิต่างๆ ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน พบว่าเมื่อให้อุณหภูมิแอนนัลมีค่าสูงขึ้นทำให้ฟิล์มมีสีเปลี่ยนไปโดยมีสีเหลืองเข้มขึ้นเล็กน้อย ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ลักษณะของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อโอห์มมิกกับอลูมิเนียมแล้วแอนนัลที่ที่อุณหภูมิต่างๆ 50, 75, 100, 125, 150 องศาเซลเซียส ตามลำดับภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนเป็นเวลา 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาสมบัติรอยต่อไอห่มมิกของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมด้วยวิธีอบสารละลายเคมี

การศึกษาสมบัติรอยต่อไอห่มมิกของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมด้วยวิธีอบสารละลายเคมี ในการทดลองครั้งนี้ได้ศึกษาถึงกระแสรั่วไหลบริเวณรอยต่อหรือกระแสริชาร์ดสัน เนื่องจากสามารถนำไปหาค่าความสูงของกำแพงศักย์ที่บริเวณรอยต่อได้ โดยมีผลการศึกษาสมบัติของรอยต่อไอห่มมิกของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมด้วยวิธีอบสารละลายเคมี ดังนี้

ทำการวัดค่ากระแสที่ความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน บริเวณรอยต่อ นำมาเขียนกราฟ ดังจะได้แสดงในแต่ละกรณีต่อไป โดยจากกราฟจะพบว่าเมื่อเพิ่มความต่างศักย์แก่รอยต่อค่ากระแสจะเพิ่มขึ้น โดยค่ากระแสในกรณีที่ทำกรจ่ายไฟบวกจะมีค่ากระแสเท่ากับกรณีที่ทำกรจ่ายไฟลบ แต่เมื่อถึงความต่างศักย์ค่าหนึ่ง กระแสในกรณีที่ทำกรจ่ายไฟบวก และกรณีที่ทำกรจ่ายไฟลบจะเริ่มแยกออกจากกัน เกิดเป็นสลิต (slit) และค่ากระแสจุดที่เริ่มแยกออกจากกันคือ ค่ากระแสริชาร์ดสัน (I_0) โดยหาค่าความหนาแน่นของกระแสริชาร์ดสัน (J_0) ได้โดย

$$I_0 = J_0 A$$

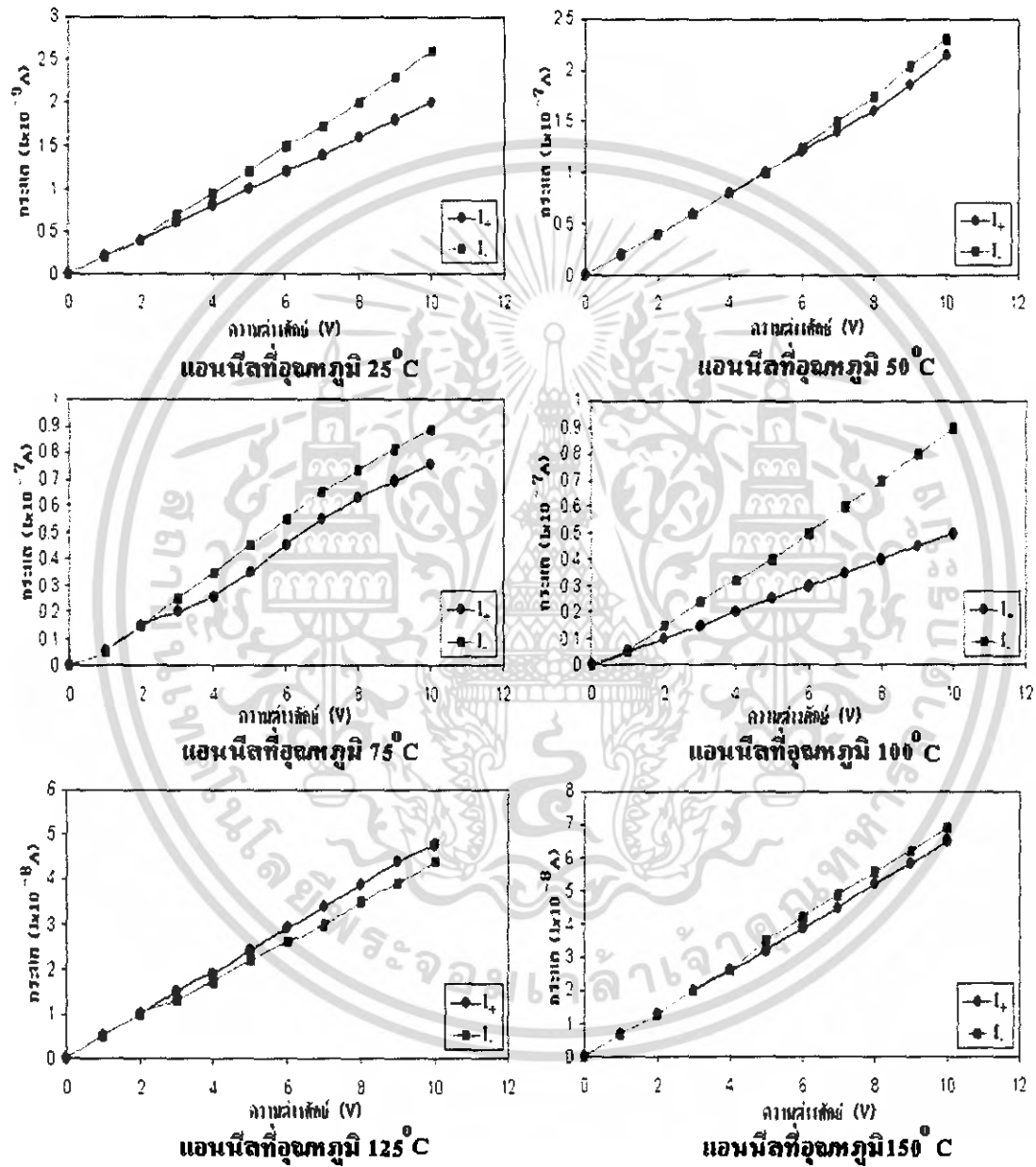
เมื่อ A คือ พื้นที่ของรอยต่อขนาดเล็กที่สร้างขึ้น (พื้นที่รูปวงกลม = πr^2)

โดยค่ากระแสริชาร์ดสัน (I_0) และ ค่าความหนาแน่นของกระแสริชาร์ดสัน (J_0) และพื้นที่ของรอยต่อจะแสดงในตารางของแต่ละกรณีที่ทำการศึกษาต่อไป

4.2.1 การศึกษาสมบัติรอยต่อไอห่มมิกเมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิห้อง ของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมด้วยวิธีอบสารละลายเคมี

โดยทำการศึกษาสมบัติรอยต่อไอห่มมิกเมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิห้อง ของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมด้วยวิธีอบสารละลายเคมี เมื่อทำการวัดค่ากระแสที่ความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน

4.2.1.1 การศึกษาสมบัติรอยต่อโอห์มิกเมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิห้อง ของฟิล์มบาง CdS ที่
สร้างรอยต่อโอห์มิกโดยเงินและทำการแอนนัลภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อโอห์มิกโดยเงิน ทำการแอนนัลภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 50, 75, 100, 125, 150 องศาเซลเซียสตามลำดับเป็นเวลา 10 นาทีตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

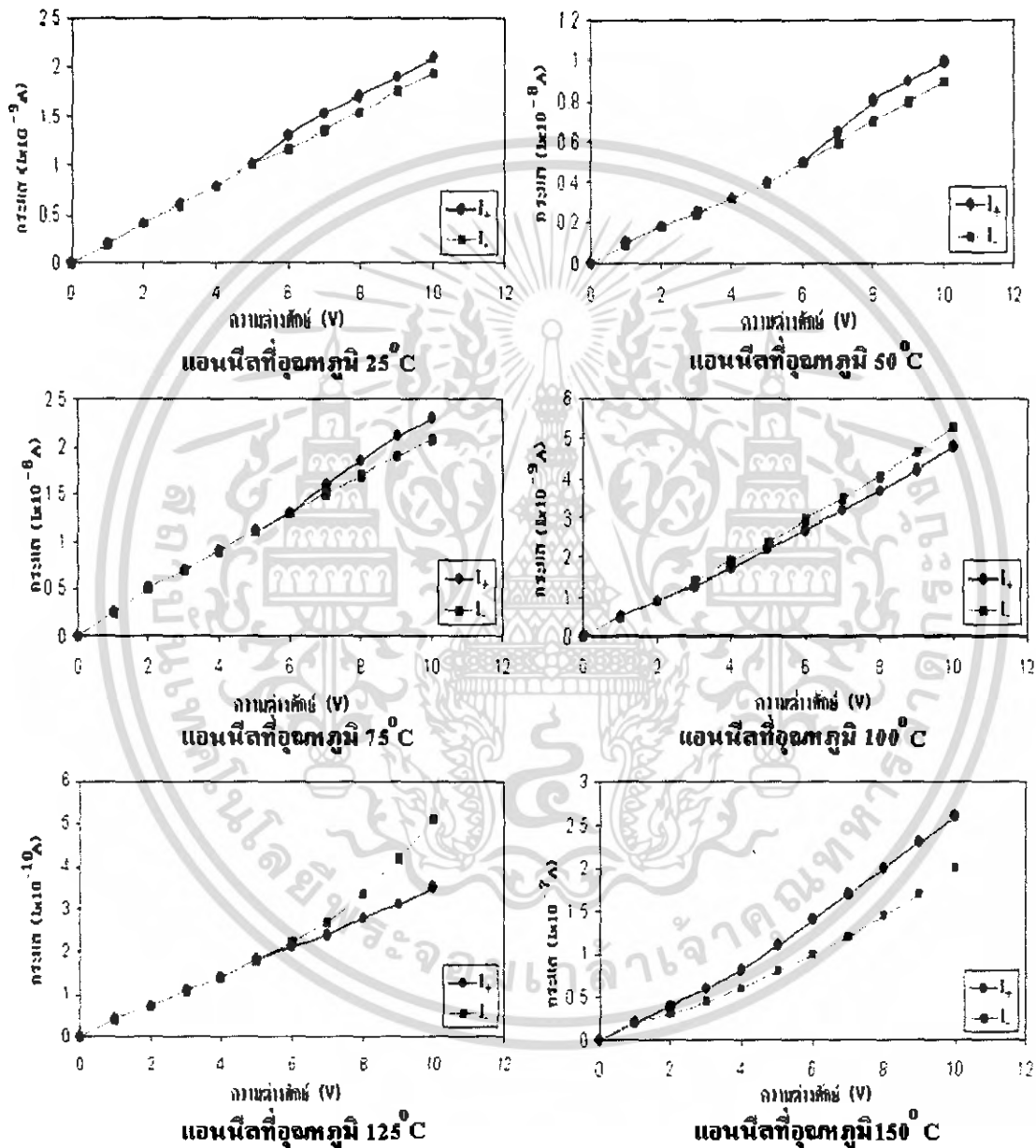
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าพื้นที่ของรอยต่อ กระแสบริเวณที่กราฟเกิดการแยกออก (กระแสชาร์ดสัน) รวมถึงค่าความหนาแน่นของกระแสชาร์ดสันของฟิล์มบาง Cds ที่ทำการสร้างรอยต่อโอห์มมิกกับเงินแล้วแอนนัลที่อุณหภูมิต่าง ๆ ภายใต้บรรยากาศของออกซิเจนเป็นเวลา 10 นาที

| อุณหภูมิ แอนนัล (°C) | พื้นที่ (A) (cm ²) | กระแสชาร์ดสัน (I ₀) (A) | ความหนาแน่นของกระแสชาร์ดสัน (J ₀) (A/cm ²) |
|-------------------------|-----------------------------------|--|---|
| 25 | 0.0132 | 0.04x10 ⁻⁸ | 3.03x10 ⁻⁸ |
| 50 | 0.0226 | 10.0x10 ⁻⁸ | 4.42 x10 ⁻⁶ |
| 75 | 0.0380 | 0.15x10 ⁻⁸ | 3.95 x10 ⁻⁸ |
| 100 | 0.0314 | 0.50x10 ⁻⁸ | 1.59 x10 ⁻⁷ |
| 125 | 0.0176 | 1.00x10 ⁻⁸ | 5.68 x10 ⁻⁷ |
| 150 | 0.0346 | 2.60x10 ⁻⁸ | 7.51 x10 ⁻⁷ |

การศึกษาศสมบัติรอยต่อโอห์มมิกของฟิล์มบาง Cds ที่เตรียมด้วยวิธีอบสารละลายเคมี ที่สร้างรอยต่อโอห์มมิกโดยเงินและทำการแอนนัลภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน จากรูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.1 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิแอนนัลเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส จะมีค่ากระแสชาร์ดสันสูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 10×10^{-8} A และมีค่าความหนาแน่นของกระแสชาร์ดสันสูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.42×10^{-6} A/cm²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.2 การศึกษาสมบัติรอยต่อโอห์มิกเมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิห้องของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อโอห์มิกโดยอลูมิเนียมและแอนนิตภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อโอห์มิกโดยอะลูมิเนียม ทำการแอนนิตภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 25, 50, 75, 100, 125, 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาทีตามลำดับ

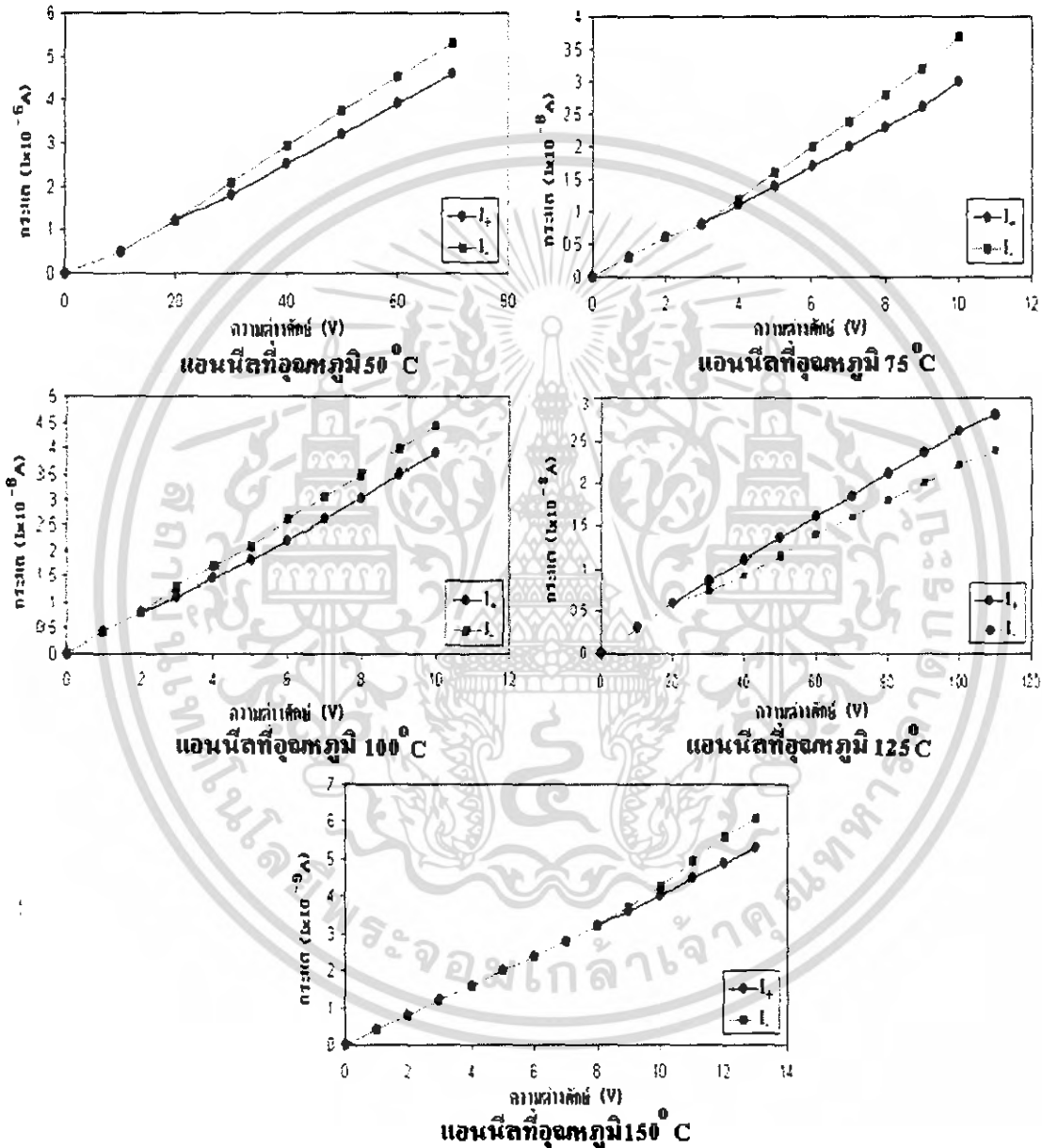
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพื้นที่ของรอยต่อ และกระแสบริเวณที่กราฟเกิดการแยกออก (กระแสชาร์ดสัน) รวมถึงค่าความหนาแน่นของกระแสชาร์ดสันของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อ โหมดัมกับบอลูมิเนียม แล้วแอนนัลที่อุณหภูมิต่างๆ ภายใต้บรรยากาศของออกซิเจนเป็นเวลา 10 นาที

| อุณหภูมิแอนนัล (°C) | พื้นที่ (A) (cm ²) | กระแสชาร์ดสัน (I ₀) (A) | ความหนาแน่นของกระแสชาร์ดสัน (J ₀) (A/cm ²) |
|---------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--|
| 25 | 0.05 | 1.00x10 ⁻⁹ | 2.00x10 ⁻⁸ |
| 50 | 0.05 | 5.00x10 ⁻⁹ | 10.0x10 ⁻⁸ |
| 75 | 0.05 | 13.0x10 ⁻⁹ | 26.1x10 ⁻⁸ |
| 100 | 0.05 | 0.90x10 ⁻⁹ | 1.80x10 ⁻⁸ |
| 125 | 0.05 | 0.18x10 ⁻⁹ | 0.36x10 ⁻⁸ |
| 150 | 0.05 | 20.0x10 ⁻⁹ | 40.0x10 ⁻⁸ |

การศึกษาสมบัติรอยต่อโหมดัมของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมด้วยวิธีอบสารละลายเคมี และสร้างรอยต่อโหมดัมกับบอลูมิเนียม แล้วทำการแอนนัลภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน จากรูปที่ 4.9 และ ตารางที่ 4.2 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิแอนนัลเท่ากับ 150 องศาเซลเซียสจะมีค่ากระแสชาร์ดสันสูงที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 20x10⁻⁹A และมีค่าความหนาแน่นของกระแสชาร์ดสันสูงที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 40x10⁻⁸ A/cm²

4.2.1.3 การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าเมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิห้อง ของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อไอหุ้มมิกโดยเงิน ที่ทำการแอนนีสภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบางCdS ที่สร้างรอยต่อไอหุ้มมิกโดยเงินที่แสดงค่ากระแสชาร์ดสันที่ทำการแอนนีสภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 50, 75, 100, 125,150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาทีตามลำดับ

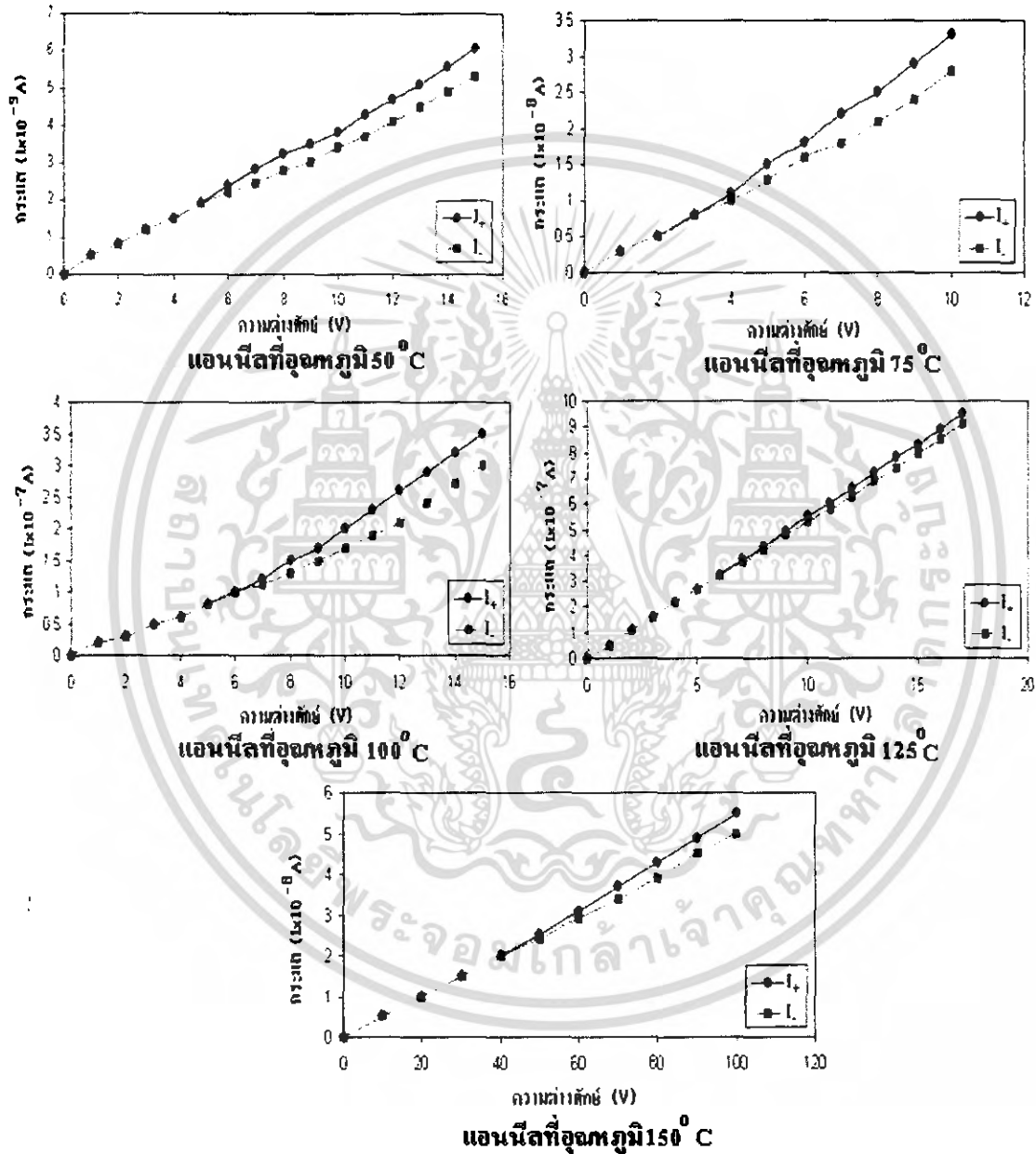
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงพื้นที่ของรอยต่อ และกระแสบริเวณที่กราฟเกิดการแยกออก (กระแสรีชาร์ดสัน) รวมถึงค่าความหนาแน่นของกระแสรีชาร์ดสันของฟิล์มบาง CdS ที่ทำการสร้างรอยต่อ โอลิโอมิกกับเงิน แล้วแอนนัลที่อุณหภูมิต่างๆ ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนเป็นเวลา 10 นาที

| อุณหภูมิ แอนนัล (°C) | พื้นที่ (A) (cm ²) | กระแสรีชาร์ดสัน (I ₀) (A) | ความหนาแน่นของกระแสรีชาร์ดสัน (J ₀) (A/cm ²) |
|-------------------------|-----------------------------------|--|---|
| 50 | 0.0380 | 120x10 ⁻⁸ | 3.16x10 ⁻⁵ |
| 75 | 0.0176 | 0.80 x10 ⁻⁸ | 4.55x10 ⁻⁷ |
| 100 | 0.0314 | 0.80x10 ⁻⁸ | 2.55x10 ⁻⁷ |
| 125 | 0.0314 | 0.60x10 ⁻⁸ | 1.91x10 ⁻⁷ |
| 150 | 0.0346 | 0.32x10 ⁻⁸ | 9.25x10 ⁻⁸ |

การศึกษาศสมบัติรอยต่อโอลิโอมิกของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมด้วยวิธีอบสารละลายเคมี ที่สร้างรอยต่อโอลิโอมิกโดยเงิน แล้วทำการแอนนัลภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน จากรูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.3 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิแอนนัลเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส จะมีค่ากระแสรีชาร์ดสันสูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 120x10⁻⁸ A และมีค่าความหนาแน่นของกระแสรีชาร์ดสันสูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.16x10⁻⁵ A/cm²

4.2.1.4 การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าเมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิห้อง ของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อโอห์มมิกโดยอลูมิเนียมแล้วทำการแอนนัลภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบางCdS ที่สร้างรอยต่อโอห์มมิกโดยอลูมิเนียมที่แสดงค่ากระแสไหลสวนที่ทำการแอนนัลภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 50,75,100, 125,150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาทีตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าพื้นที่ของรอยต่อ และกระแสบริเวณที่กราฟเกิดการแยกออก (กระแสชาร์จ์สัน) รวมถึงค่าความหนาแน่นของกระแสชาร์จ์สันของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อ ไอห์มมิกกับอลูมิเนียม แล้วแอนนีสที่อุณหภูมิต่างๆ ในบรรยากาศของไนโตรเจนเป็นเวลา 10 นาที

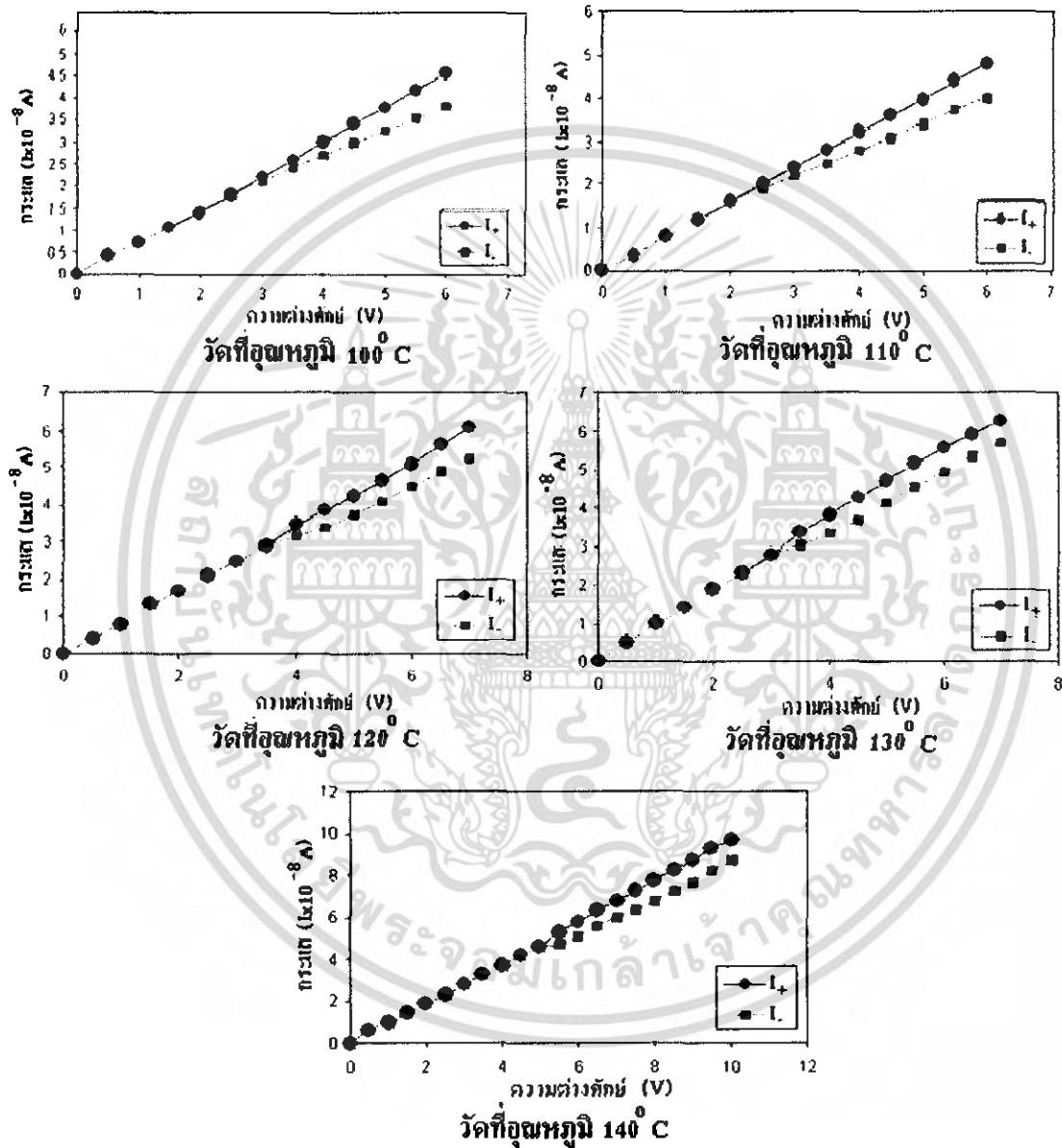
| อุณหภูมิแอนนีส (°C) | พื้นที่ (A) (cm ²) | กระแสชาร์จ์สัน (I ₀) (A) | ความหนาแน่นของกระแสชาร์จ์สัน (J ₀) (A/cm ²) |
|---------------------|--------------------------------|--------------------------------------|---|
| 50 | 0.05 | 0.19x10 ⁻⁸ | 0.38x10 ⁻⁸ |
| 75 | 0.05 | 0.80 x10 ⁻⁸ | 16.0x10 ⁻⁸ |
| 100 | 0.05 | 10.0x10 ⁻⁸ | 200x10 ⁻⁸ |
| 125 | 0.05 | 32.0x10 ⁻⁸ | 640x10 ⁻⁸ |
| 150 | 0.05 | 2.00x10 ⁻⁸ | 40.0x10 ⁻⁸ |

การศึกษาสมบัติรอยต่อ ไอห์มมิกของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมด้วยวิธีอบสารละลายเคมี และสร้างรอยต่อ ไอห์มมิกกับอลูมิเนียม แล้วทำการแอนนีสในบรรยากาศของไนโตรเจน จากรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.4 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิแอนนีสเท่ากับ 125 องศาเซลเซียส จะมีค่ากระแสชาร์จ์สันสูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 32x10⁻⁸ A และมีค่าความหนาแน่นของกระแสชาร์จ์สันสูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 640x10⁻⁸ A/cm²

4.2.2 การศึกษาสมบัติของรอยต่อ ไอห์มมิกเมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิต่างๆ ของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมด้วยวิธีอบสารละลายเคมีและสร้างรอยต่อ ไอห์มมิกโดยเงิน

ทำการศึกษาสมบัติของรอยต่อ ไอห์มมิกของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมด้วยวิธีอบสารละลายเคมี และสร้างรอยต่อ ไอห์มมิกโดยเงิน เมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิต่างๆ โดยเลือกฟิล์มบางที่ให้กระแสชาร์จ์สันสูงสุดขณะทำการศึกษาที่อุณหภูมิห้อง นั่นคือ เลือกฟิล์มบางที่อุณหภูมิแอนนีสเท่ากับ 75 °C ในกรณีที่แอนนีสภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน และ เลือกฟิล์มบางที่อุณหภูมิแอนนีสเท่ากับ 50 °C กรณีที่แอนนีสภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน

4.2.2.1 การศึกษาสมบัติรอยต่อโอห์มมิกเมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิสูง ของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อโอห์มมิกโดยเงิน และแอนนิลภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงสมบัติทางไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100, 110, 120, 130, และ 140 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อโอห์มมิกโดยเงิน และทำการแอนนิลภายใต้บรรยากาศของออกซิเจนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาทีตามลำดับ

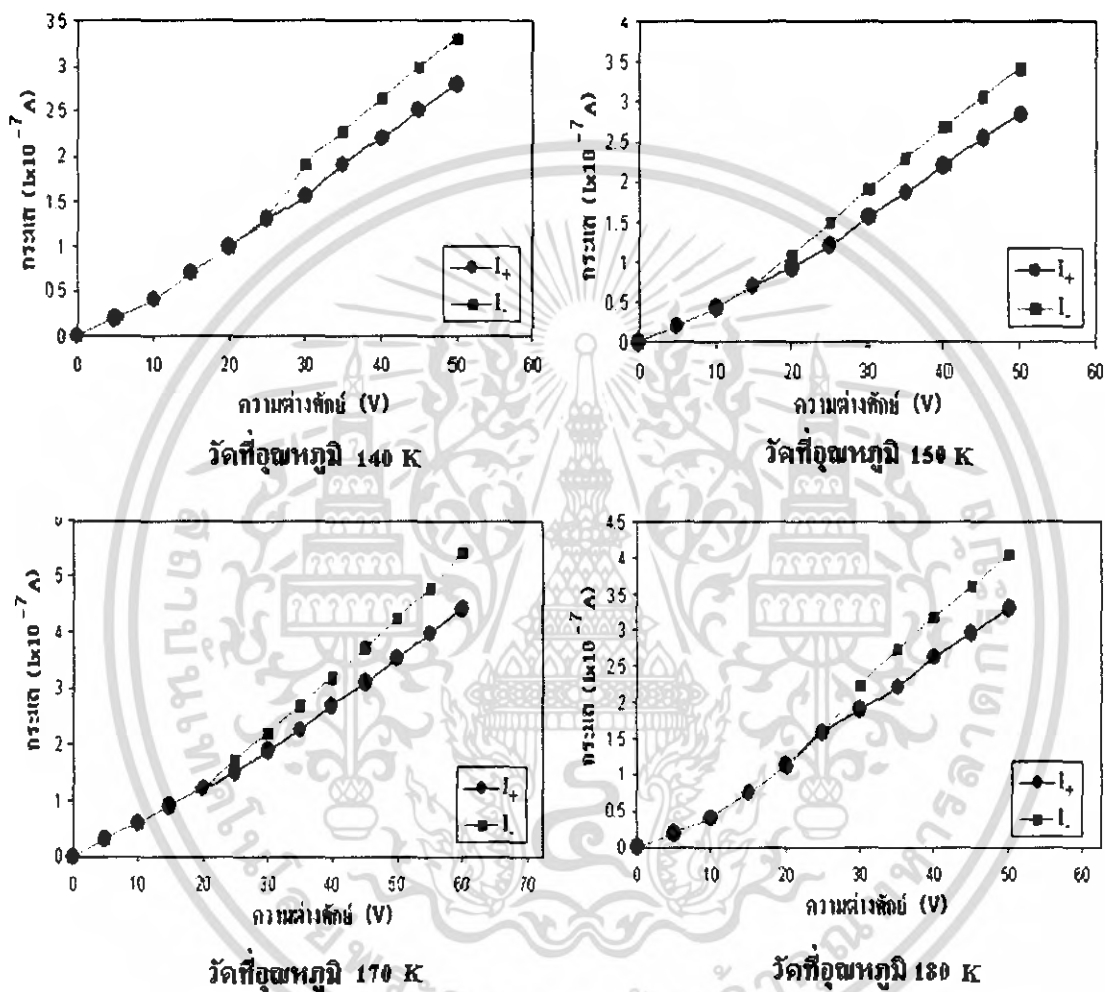
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าพื้นที่ของรอยต่อ และกระแสบริเวณที่กราฟเกิดการแยกออก (กระแสชาร์ตสัน) รวมถึงค่าความหนาแน่นของกระแสชาร์ตของฟิล์มบาง Cds ที่สร้างรอยต่อโอห์มมิกโดยเงิน ทำการแอนนัลภายใต้บรรยากาศของออกซิเจนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที เมื่อวัดที่อุณหภูมิต่างๆดังนี้

| อุณหภูมิที่ใช้ในการวัด (°C) | พื้นที่ (A) (cm ²) | กระแสชาร์ตสัน (I _o) (A) | ความหนาแน่นของกระแสชาร์ตสัน (J _o) (A/cm ²) |
|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--|
| 100 | 0.013 | 1.8×10^{-8} | 1.38×10^{-6} |
| 110 | 0.013 | 2.0×10^{-8} | 1.54×10^{-6} |
| 120 | 0.013 | 2.9×10^{-8} | 2.23×10^{-6} |
| 130 | 0.013 | 3.2×10^{-8} | 2.46×10^{-6} |
| 140 | 0.013 | 4.6×10^{-8} | 3.54×10^{-6} |

การศึกษาศักยภาพของฟิล์มบาง Cds ที่สร้างรอยต่อโอห์มมิกโดยเงิน และแอนนัล ภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน เมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิสูง จากรูปที่ 4.12 และตารางที่ 4.5 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขณะทำการวัดเท่ากับ 140 องศาเซลเซียส จะมีค่ากระแสชาร์ตสันสูงที่สุดเท่ากับ 4.6×10^{-8} A และมีค่าความหนาแน่นของกระแสชาร์ตสันสูงที่สุด เท่ากับ 3.54×10^{-6} A/cm²

4.2.2.2 การศึกษาสมบัติรอยต่อโอห์มมิกเมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิต่ำ ของฟิล์มบาง Cds ที่สร้าง รอยต่อโอห์มมิกโดยเงินและแอนนิตภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงสมบัติทางไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 140, 150, 170 และ 180 เคลวิน ตามลำดับ ของฟิล์มบาง Cds ที่สร้างรอยต่อโอห์มมิกโดยเงิน ทำการแอนนิตภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาทีตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าพื้นที่ของรอยต่อ และกระแสบริเวณที่กราฟเกิดการแยกออก (กระแสรีชาร์ดสัน) รวมถึงค่าความหนาแน่นของกระแสรีชาร์ดสันของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อโอห์มมิกโดยเงิน ทำการแอนนัลภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาทีเมื่อวัดที่อุณหภูมิต่างๆ ดังนี้

| อุณหภูมิที่ใช้ในการวัด (K) | พื้นที่ (A) (cm ²) | กระแสรีชาร์ดสัน (I ₀) (A) | ความหนาแน่นของกระแสรีชาร์ดสัน (J ₀) (A/cm ²) |
|----------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--|
| 140 | 0.0314 | 0.4×10^{-7} | 1.27×10^{-6} |
| 150 | 0.0314 | 0.7×10^{-7} | 2.23×10^{-6} |
| 170 | 0.0314 | 1.3×10^{-7} | 4.14×10^{-6} |
| 180 | 0.0314 | 1.6×10^{-7} | 5.09×10^{-6} |

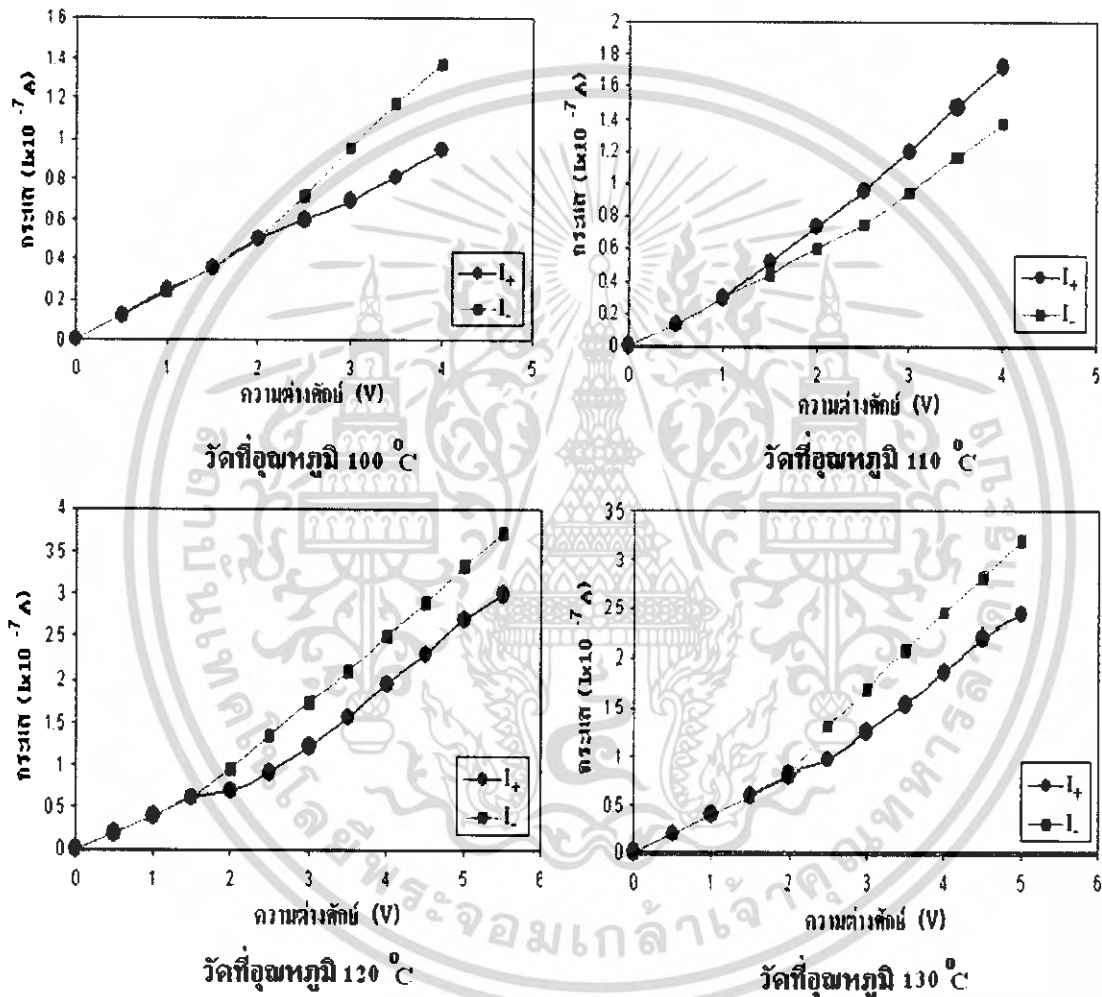
การศึกษาสมบัติรอยต่อโอห์มมิกของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อโอห์มมิกโดยเงิน และแอนนัลภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน เมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิต่ำ จากรูปที่ 4.13 และ ตารางที่ 4.6 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิมิขณะทำการวัดเท่ากับ 180 เคลวิน จะมีค่ากระแสรีชาร์ดสันสูงที่สุดเท่ากับ 1.6×10^{-7} A และมีค่าความหนาแน่นของกระแสรีชาร์ดสันสูงที่สุดเท่ากับ 5.09×10^{-6} A/cm²

4.2.3 การศึกษาสมบัติรอยต่อโอห์มมิกเมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิต่างๆ ของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมด้วยวิธีอบสารละลายเคมี และสร้างรอยต่อโอห์มมิกโดยอลูมิเนียม

ทำการศึกษสมบัติของรอยต่อโอห์มมิกของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมด้วยวิธีอบสารละลายเคมี และสร้างรอยต่อโอห์มมิกโดยอลูมิเนียม เมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิต่างๆ โดยเลือกฟิล์มบางที่ให้กระแสรีชาร์ดสันสูงที่สุดขณะทำการศึกษาที่อุณหภูมิห้อง นั่นคือ เลือกฟิล์มบางที่อุณหภูมิแอนนัลเท่ากับ 100 °C ในกรณีที่แอนนัลภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน และ เลือกฟิล์มบางที่อุณหภูมิแอนนัลเท่ากับ 1250 °C ในกรณีที่แอนนัลภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.1 การศึกษาสมบัติรอยต่อโอห์มิกเมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิสูง ของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมด้วยวิธีอาบสารละลายเคมี และสร้างรอยต่อโอห์มิกโดยอลูมิเนียม และแอนีลภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงสมบัติทางไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100, 110, 120 และ 130 องศาเซลเซียสตามลำดับของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อโอห์มิกโดยอลูมิเนียมทำการแอนีลภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาทีตามลำดับ

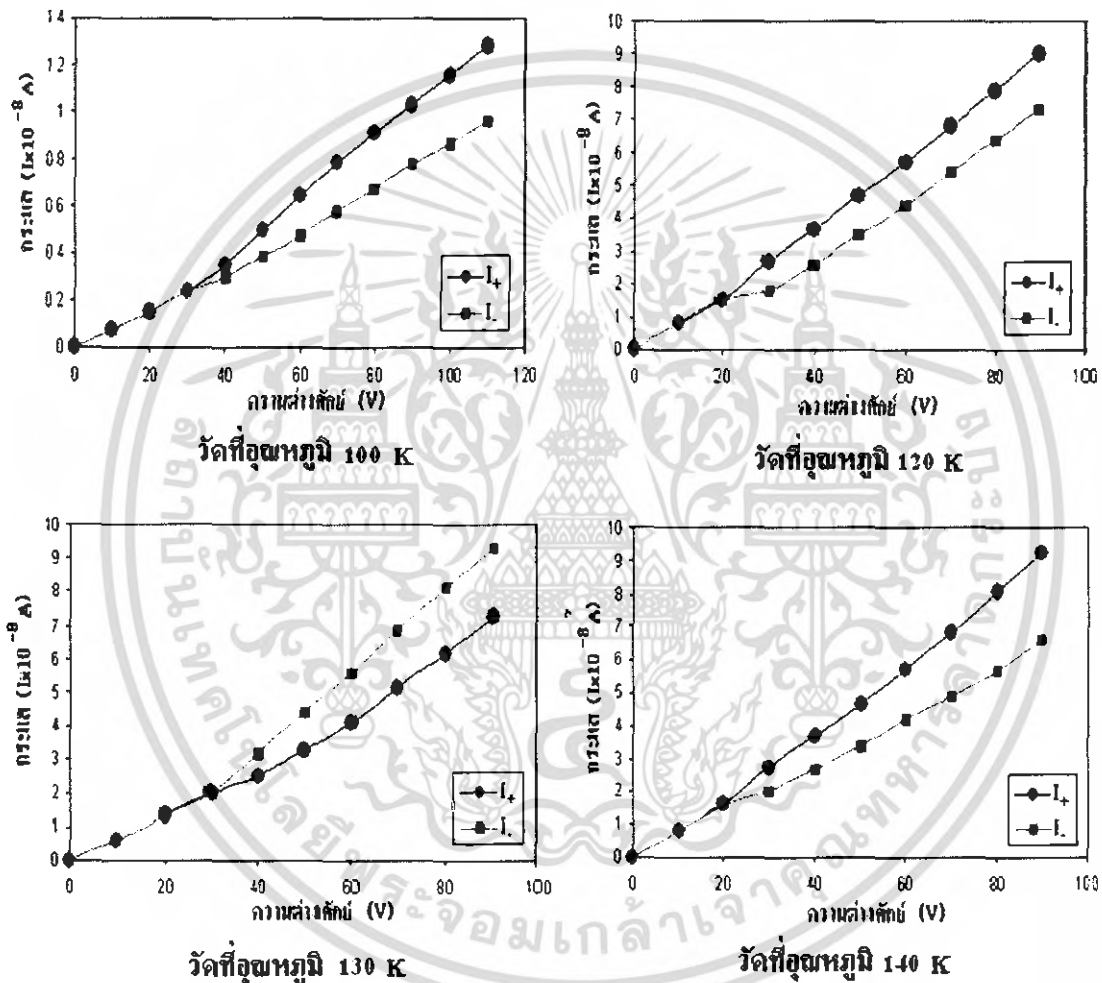
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าพื้นที่ของรอยต่อ และกระแสบริเวณที่กราฟเกิดการแยกออก (กระแสรีชาร์ดสัน) รวมถึงค่าความหนาแน่นของกระแสรีชาร์ดของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อโอห์มมิกโดยอลูมิเนียม ทำการแอลนีลภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาทีเมื่อวัดที่อุณหภูมิต่างๆ ดังนี้

| อุณหภูมิ แอลนีล (°C) | พื้นที่ (A) (cm ²) | กระแสรีชาร์ดสัน (I ₀) (A) | ความหนาแน่นของกระแสรีชาร์ดสัน (J ₀) (A/cm ²) |
|-------------------------|-----------------------------------|--|---|
| 100 | 0.05 | 0.6×10^{-8} | 1.220×10^{-7} |
| 110 | 0.05 | 0.3×10^{-7} | 6.000×10^{-7} |
| 120 | 0.05 | 0.6×10^{-7} | 1.224×10^{-6} |
| 130 | 0.05 | 0.8×10^{-7} | 1.632×10^{-6} |

การศึกษาสมบัติรอยต่อโอห์มมิกของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมด้วยวิธีออบสารละลายเคมี โดยสร้างรอยต่อโอห์มมิกกับอลูมิเนียม ทำการแอลนีลภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จากรูปที่ 4.14 และ ตารางที่ 4.7 พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขณะทำการวัดเท่ากับ 130 องศาเซลเซียส จะมีค่ากระแสรีชาร์ดสันสูงสุด (I₀) เท่ากับ 0.8×10^{-7} A และมีค่าความหนาแน่นของกระแสรีชาร์ดสันสูงสุด (J₀) เท่ากับ 1.632×10^{-6} A/cm²

4.2.3.2 การศึกษาสมบัติรอยต่อโอห์มมิกเมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิต่ำของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมด้วยวิธีออบสารละลายเคมีและ สร้างรอยต่อโอห์มมิกโดยอลูมิเนียมและแอนีลภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงสมบัติทางไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100, 120, 130 และ 140 เคลวินตามลำดับของฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อโอห์มมิกโดยอลูมิเนียม ทำการแอนีลภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาทีตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าพื้นที่ของรอยต่อ และ กระแสบริเวณที่กราฟเกิดการแยกออก (กระแสชาร์ดสัน) รวมถึงค่าความหนาแน่นของกระแสชาร์ดของฟิล์มบาง Cds ที่สร้างรอยต่อโอห์มมิกโดยอลูมิเนียม ทำการแอลนีลภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาทีเมื่อวัดที่อุณหภูมิต่างๆดังนี้

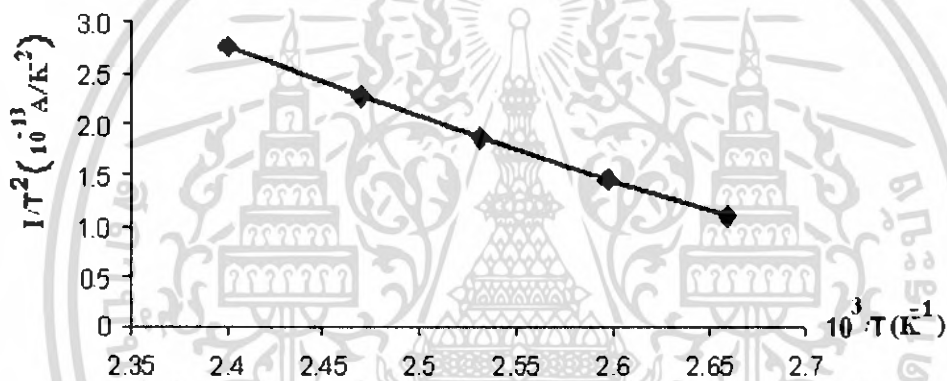
| อุณหภูมิ แอนนีล (K) | พื้นที่ (A) (cm ²) | กระแสชาร์ดสัน (I ₀) (A) | ความหนาแน่นของกระแสชาร์ดสัน (J ₀) (A/cm ²) |
|------------------------|-----------------------------------|--|---|
| 100 | 0.05 | 0.15×10^{-8} | 3.060×10^{-8} |
| 120 | 0.05 | 0.80×10^{-8} | 1.663×10^{-7} |
| 130 | 0.05 | 1.30×10^{-8} | 2.650×10^{-7} |
| 140 | 0.05 | 1.60×10^{-8} | 3.265×10^{-7} |

การศึกษาสมบัติรอยต่อโอห์มมิกของฟิล์มบาง Cds ที่เตรียมด้วยวิธีอบสารละลายเคมี โดยสร้างรอยต่อโอห์มมิกกับอลูมิเนียม ทำการแอลนีลภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 140 เคลวิน จากรูปที่ 4.15 และ ตารางที่ 4.8 พบว่า เมื่อลดอุณหภูมิขณะทำการวัดเท่ากับ 100 เคลวิน จะมีค่ากระแสชาร์ดสันสูงสุด (I₀) เท่ากับ 1.6×10^{-8} A และมีค่าความหนาแน่นของกระแสชาร์ดสันสูงสุด (J₀) เท่ากับ 3.265×10^{-8} A/cm²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

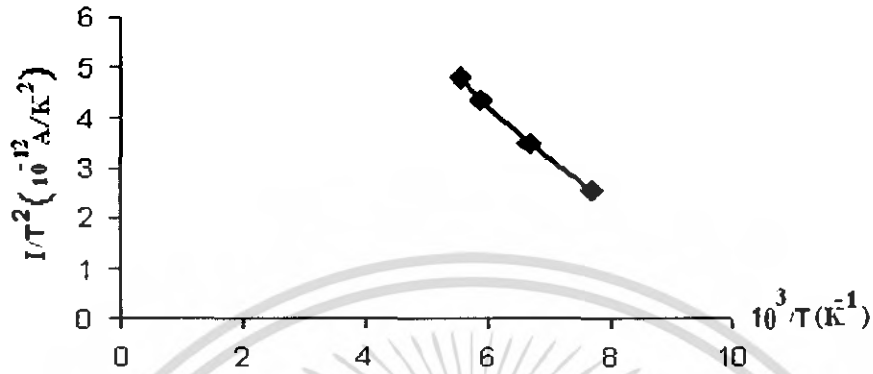
4.3 ศึกษาสมบัติของรอยต่อจากความสูงของกำแพงศักย์ (ϕ_B)

หลังจากทำการศึกษาถึงสมบัติทางไฟฟ้าของรอยต่อเมื่อวัดที่อุณหภูมิต่างๆ โดยทำการหาค่ากระแสรีชาร์ดสัน ของฟิล์มบาง ที่นำไปแอนนัลภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน และ ในโตรเจน แล้ว ทำการเขียนกราฟระหว่างค่ากระแสรีชาร์ดสันยกกำลังสอง ส่วนด้วยอุณหภูมิขณะทำการวัด I/T^2 กับค่าส่วนกลับของอุณหภูมิขณะทำการวัด $10^3/T$ สามารถหาค่าความสูงของกำแพงศักย์ฝั่งโลหะ (ϕ_B) ได้จากค่าความชันของกราฟ

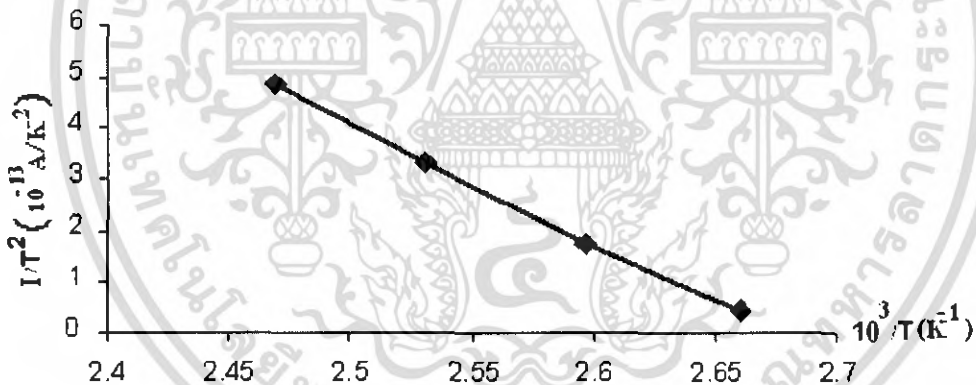


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า I/T^2 กับค่า $10^3/T$ ของฟิล์มบาง CdS กับเงินที่แอนนัลภายใต้บรรยากาศของออกซิเจนที่อุณหภูมิ 75°C เป็นเวลา 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

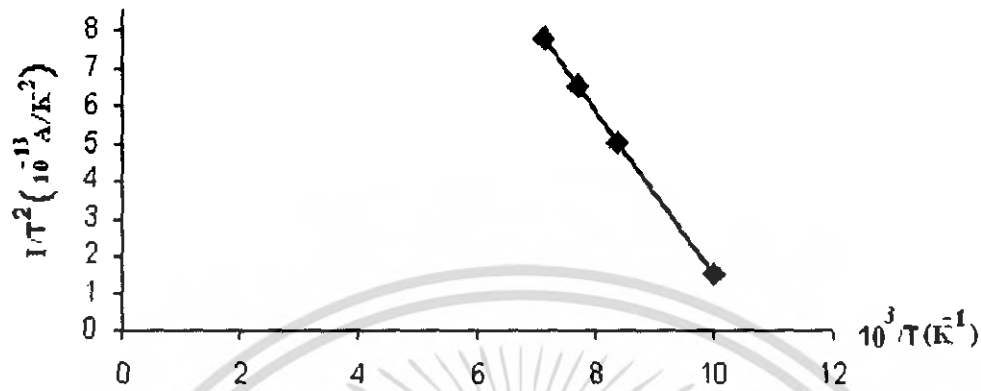


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า I/T^2 กับค่า $10^3/T$ ของฟิล์มบาง CdS กับ เงิน ที่แอนนีสลายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 10 นาที



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า I/T^2 กับค่า $10^3/T$ ของฟิล์มบาง CdS กับ อลูมิเนียมที่แอนนีสลายใต้บรรยากาศของออกซิเจนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $1/T^2$ กับค่า $10^3/T$ ของฟิล์มบาง CdS กับอลูมิเนียม ที่แอนนีลภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 125°C เป็นเวลา 10 นาที

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความสูงของกำแพงศักย์ (ϕ_B) ฝั่งโลหะ ที่หาได้จากความชันของกราฟจากรูปที่ 4.16, 4.17, 4.18 และ 4.19

| โลหะที่ใช้สร้างรอยต่อ | แอนนีลภายใต้ บรรยากาศ | อุณหภูมิแอนนีล ($^\circ\text{C}$) | กำแพงศักย์ฝั่งโลหะ (ϕ_B) (eV) |
|-----------------------|--------------------------|--|---|
| เงิน | ออกซิเจน | 75 | 0.330 |
| เงิน | ไนโตรเจน | 50 | 0.635 |
| อลูมิเนียม | ออกซิเจน | 100 | 1.208 |
| อลูมิเนียม | ไนโตรเจน | 125 | 0.118 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาคุณสมบัติของรอยต่อไอหุ้มมิคของฟิล์มบาง CdS กับ เงินและ อลูมิเนียมที่ผ่าน มาสามารถสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะได้ดังนี้

5.1 การเตรียมฟิล์มบาง CdS ด้วยวิธีออบสารละลายเคมี

ฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมด้วยวิธีออบสารละลายเคมี โดยมีสารตั้งต้นคือ แคดเมียมซัลเฟต, ไทโอยูเรีย และ แอมโมเนีย พบว่าฟิล์มบางที่เตรียมจะมีความหนาเพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งที่ทำการ ออบสารละลายเคมี โดยฟิล์มบางที่เตรียมได้นั้น มีความหนาของชั้นฟิล์มที่พอเหมาะกับการนำไป วัดค่ากระแส และความต่างศักย์ได้อย่างดี ลักษณะฟิล์มบางที่ได้เป็นสีเหลือง อมส้มแวววาวมีความ เรียบสม่ำเสมอเกาะติดบนฐานรองรับ ได้ดีไม่หลุดร่อนง่าย

5.1.1 การสร้างรอยต่อไอหุ้มมิคกับเงิน ด้วยวิธีเปียกวางเงิน

รอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำที่เตรียมขึ้นจากฟิล์มบาง CdS กับ เงิน โดยวิธีเปียกวาง เงินนั้นพบว่า ความเรียบของผิวสัมผัสระหว่าง ฟิล์มบาง กับ เงินนั้นไม่สม่ำเสมอเท่าที่ควร และ พื้นที่ของรอยต่อก็ไม่ได้เป็นพื้นที่ของวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากันในทุกๆ การทดลอง จึง ต้องทำการวัด และคำนวณพื้นที่ของรอยต่ออย่างรอบคอบเพื่อป้องกันความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น

5.1.2 การสร้างรอยต่อไอหุ้มมิค กับอลูมิเนียมด้วยวิธีการระเหยสารด้วยความร้อนในระบบ สูญญากาศ

รอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำที่เตรียมขึ้นจากฟิล์มบาง CdS กับ อลูมิเนียมด้วย วิธีการระเหยสารด้วยความร้อนในระบบสูญญากาศนั้น พบว่ารอยต่อที่เตรียมได้นั้นมีความเรียบ และสม่ำเสมอเป็นอย่างดี รอยต่อคมชัด มีพื้นที่ของรอยต่อเท่าๆ กันตามแบบของหน้าฉากที่เตรียม ไว้ ทำให้ง่ายต่อการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของรอยต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การศึกษาสมบัติรอยต่อไอห่มมิคของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมด้วยวิธีอบสารละลายเคมี

5.2.1 การศึกษาสมบัติของกระแสชาดสันที่อุณหภูมิแอนนีสต่างๆ

จากการทดลองเมื่อนำฟิล์มบางที่สร้างรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำ ไปทำการแอนนีสที่อุณหภูมิต่างๆ ภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน พบว่าที่อุณหภูมิแอนนีสเท่ากับ 25 ถึง 75 องศาเซลเซียส ค่ากระแสชาดสันจะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ที่อุณหภูมิแอนนีสเท่ากับ 100 ถึง 150 องศาเซลเซียส ค่าของกระแสชาดสันจะมีค่าลดลง และในกรณีที่แอนนีสภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 50 ถึง 150 องศาเซลเซียสนั้น พบว่าค่ากระแสชาดสันจะไม่ขึ้นกับอุณหภูมิที่แอนนีสในทุกกรณี จึงอาจกล่าวได้ว่าจากการแอนนีสที่อุณหภูมิต่างๆ ภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน และไนโตรเจนนั้น พบว่าที่บริเวณรอยต่อระหว่างโลหะ และสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดอาจเกิดสารประกอบใหม่ขึ้นมา หรืออาจเกิดชั้นฉนวนชั้นกลางอยู่ระหว่างรอยต่อ จึงส่งผลทำให้ค่ากระแสชาดสันเกิดการเปลี่ยนแปลงนั่นเอง

5.2.2 การศึกษาคุณสมบัติของกระแสชาดสันเมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิต่างๆ กัน

จากการศึกษาค่ากระแสชาดสัน ณ บริเวณรอยต่อของฟิล์มบาง CdS กับ อลูมิเนียม และรอยต่อของฟิล์มบาง CdS กับ เงิน ที่ทำการแอนนีสภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน เมื่อให้อุณหภูมิขณะทำการวัดมีค่าต่างๆ กัน พบว่าเมื่อให้อุณหภูมิขณะทำการวัดมีค่าสูงขึ้นค่าของกระแสชาดสันจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ และเมื่อนำฟิล์มบาง CdS ที่ได้ทำการสร้างรอยต่อกับ เงินและอลูมิเนียม ที่แอนนีสในบรรยากาศของไนโตรเจน ไปทำการวัดเพื่อหาค่ากระแสชาดสันที่อุณหภูมิต่ำ พบว่าค่ากระแสชาดสันจะมีค่าลดลงตามอุณหภูมิ โดยสาเหตุที่ต้องนำฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อและแอนนีสในบรรยากาศของออกซิเจน มาทำการวัดที่อุณหภูมิสูงเพราะว่าค่ากระแสที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อยมากและเมื่อนำมาวัดที่อุณหภูมิสูงจะได้ค่ากระแสที่สูงขึ้นทำให้สามารถสังเกตค่ากระแสชาดสันได้ง่าย และฟิล์มบาง CdS ที่สร้างรอยต่อและแอนนีสในบรรยากาศของ ไนโตรเจน มาทำการวัดที่อุณหภูมิต่ำ เพราะค่ากระแสที่ได้จากการทดลองมีค่ามากจนไม่สามารถหาค่ากระแสชาดสันได้ เพราะฉะนั้นจึงต้องทำการวัดที่อุณหภูมิต่ำเพื่อให้กระแสมีค่าลดลงจึงจะสามารถหาค่ากระแสชาดสันได้

5.3 การศึกษาคุณสมบัติของกำแพงศักย์ของโลหะ

จากการทดลองเมื่อนำค่ากระแสรีชาร์ดสันที่ได้ไปพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสรีชาร์ดสันกับอุณหภูมิโดยค่าความชันที่ได้ ก็คือ ค่าของกำแพงศักย์ฝั่งโลหะ ซึ่งจากการทดลองจะได้ค่ากำแพงศักย์ของเงิน และ อลูมิเนียม ที่ทำการแอนนิลภายใต้บรรยากาศของ ออกซิเจน คือ 0.33 eV กับ 1.208 eV ค่ากำแพงศักย์ของ เงิน และ อลูมิเนียม ที่ทำการแอนนิลภายใต้บรรยากาศของ ไนโตรเจน คือ 0.635 eV กับ 0.118 eV พบว่าค่ากำแพงศักย์ที่ได้นั้นไม่เป็นไปตามทฤษฎี อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากการเกิดการเปลี่ยนแปลงที่รอยต่อของโลหะ และ สารกึ่งตัวนำ ทำให้เกิดสารประกอบตัวใหม่ หรือ เกิดชั้นฉนวน ที่รอยต่อขึ้นทำให้ค่ากำแพงศักย์ที่วัดได้ไม่ใช่ค่ากำแพงศักย์ของโลหะที่ต้องการจะทราบอย่างแท้จริง

ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษารอยต่อโอห์มมิกควรมีการศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบ CdS กับ เมื่อทำการแอนนิลภายใต้บรรยากาศของ ออกซิเจน และ ไนโตรเจน
2. ในกรณีของฟิล์มบาง CdS ควรมีการตรวจสอบว่ามีการเกิดชั้นฉนวนที่บริเวณผิวหน้าหรือไม่ เพราะชั้นฉนวน จะส่งผลอย่างมากในการนำกระแสโดยทำให้กระแสที่ได้มีค่าลดลง
3. ควรทำการวัดโดยทันทีหลังจากที่ได้ทำรอยต่อเสร็จแล้วเพื่อลดผลกระทบของการเกิดชั้นฉนวนซึ่งจะมีผลต่อค่ากระแสที่ไหลผ่านรอยต่อ
4. ในการสร้างรอยต่อควรที่จะให้รอยต่อใหญ่มีขนาดที่ใหญ่กว่ารอยเล็กประมาณ 5 เท่า แต่รอยต่อเล็กไม่ควรมีขนาดเล็กเกินไปซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้กระแสมีค่าน้อยและวัดได้ยาก
5. ในการวัดที่อุณหภูมิสูงไม่ควรวัดที่อุณหภูมิเกิน 150 °C เพราะจะทำให้กาเงินที่เกาะอยู่บนฟิล์มบาง CdS ใหม่และหลุดออกจากฟิล์มบาง CdS ได้
6. เมื่อค่ากระแสรีชาร์ดสันที่ได้มีค่าสูงมาก ๆ ควรนำไปวัดที่อุณหภูมิต่ำเพราะค่ากระแสที่ไหลผ่านรอยต่อจะมีค่าน้อยลง แต่ถ้ากระแสรีชาร์ดสันที่ได้มีค่าน้อยมาก ๆ ควรนำไปวัดที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ค่ากระแสรีชาร์ดสันมีค่าเพิ่มขึ้น
7. ในการวัดที่อุณหภูมิสูงควรควบคุมอุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ไม่ให้นานจนเกินไป เพราะอาจจะทำให้คุณสมบัติบริเวณรอยต่อหรือคุณสมบัติของฟิล์มเปลี่ยนไปจากเดิมที่ควรจะเป็น
8. ในการสร้างรอยต่อโอห์มมิกระหว่างฟิล์มบาง CdS กับ อลูมิเนียมควรที่จะทำชั้นของอลูมิเนียมให้มีความหนาพอสมควร เพราะถ้าชั้นของ Al บางเกินไปเวลาวัดหัววัดอาจทะลุลงไปถึงชั้นของฟิล์มบาง CdS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

Kittle, 1971, **Introduction to Solid State Physics**, 4th ed., New York: John Wiley & Sons Inc: pp. 4 – 32, 46 – 48, 56 – 60, 269 – 277, 364 – 365, 540 – 552

Contreras, M.A., Egas, B., Ramanathan, K., Hiltner, J., Swartzlande, A., Hasoon, F. and Norfi, R., 1999, *Prog. Photovoltaics* 7 (4): 311 - 313.

W.Tanfraporn, 1970, **Determination of Low Barrier Heights in Metal-Semiconductor**

Contacts, General Electric Research and Development Center, Schenectody, New York 12301

งามนิศย์ วงษ์เจริญ, 2537, **รอยต่อระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำ**, วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบังปีที่ 4 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม หน้า 99-110

ฐิตินัย แก้วแดง, 2530, **การเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารกึ่งตัวนำคอปเปอร์อินเดียมไคซีลีไนด์**, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ฐิตินัย แก้วแดง, งามนิศย์ แก้วแดง, ทิพรรัตน์ วงษ์เจริญ และ ชัยสิทธิ์ ภูริรักษ์เกียรติ, 2543, **การประดิษฐ์ฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ เพื่อประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์**, รายงานการวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฐิตินัย แก้วแดง, งามนิศย์ แก้วแดง, ทิพรรัตน์ วงษ์เจริญ และ ชัยสิทธิ์ ภูริรักษ์เกียรติ, 2546, **การประดิษฐ์ฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่มี Zn ในปริมาณสูงสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์**, รายงานการวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Abelas, F., 1972, **Optical Properties of Solids**, London, North – Holland, pp. 23–40.

W.R., 1975, **Semiconductor Measurement and Instrumentation**, New York, Mc Grew Hill, Bombay, pp.67 – 91

อารีย์ วิเชียรฉาย, 2543, **เครื่องมือและการวัดทางฟิสิกส์ของสารกึ่งตัวนำ**, เอกสารประกอบการเรียน, คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Ramaiah, K.S. 1999, **Electrical properties of in doped CdS thin films**, *J.Mater.Sci.Mater Elec*10:291-294.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Garcia Cuencu Morenza, 1987, **Electrical condition in polycrystalline CdS films, I. theory.**
 J.Phys.D:Appl.Phys. 20:951-957.
- Oaring, 2002, **Materials Science of Thin Films Deposition and Structure**, Second ed.
 Sandiego, CA: Academic Press: pp.58-69, 71, and 97-101,106-109,118-121
- Mc Guire, G.E. 1988, **Semiconductor Materials and Process Technology Handbook**, Park
 Ridge, NJ: Noyes: pp.340-343,349
- Harris, N.S. 1989, **Modern Vacuum Practice** London: McGraw-Hill.:pp.71-73, 76-77, 114, 118-
 120
- ชัยวิทย์ สิวาวิชาโนย, 2526, **ฟิสิกส์และเทคโนโลยีระบบสุญญากาศ**. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริม
 เทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น): หน้า 9-15, 25-26
- Dieter K.Schroder D.K., 1998, 141(1):205-210, **Semiconductor Material and Characterization**,
 2nd Ed. New York: john Wiley & Sons Inc. 1998.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวกุลวรางค์ นุตะมาน เกิดเมื่อวันที่ 24 สิงหาคม พ.ศ. 2528 มีภูมิลำเนาอยู่ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษา ณ โรงเรียนราชินี ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น และระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ณ โรงเรียนศึกษานารี จากนั้นได้เข้ารับการศึกษาระดับอุดมศึกษา ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในคณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ ในปีการศึกษา 2546

นายคงกฤษณ์ ไพรวลย์ เกิดเมื่อวันที่ 29 ตุลาคม พ.ศ. 2527 มีภูมิลำเนาอยู่ที่จังหวัด ประจวบคีรีขันธ์ อำเภอหัวหิน สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษา ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ณ โรงเรียนวังไกลกังวลในพระบรมราชูปถัมภ์ จากนั้นได้เข้ารับการศึกษาระดับอุดมศึกษา ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในคณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ ในปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้