



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การประดิษฐ์และการศึกษาสมบัติของฟิล์มบาง CdS_xTe_{1-x} เพื่อประยุกต์ใช้

ในเซลล์แสงอาทิตย์

Fabrication and Characterization of CdS_xTe_{1-x} Thin Films for Solar Cell Application

นายจตุตินัย แก้วแดง

นางงามนิตย์ วงษ์เจริญ

นางทิพรัตน์ วงษ์เจริญ

นายชัยสิทธิ์ ภัรักษ์เกียรติ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2556

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

MCH
๙ 33571
๒๕๕๖

b. 12๗4823๗

i.

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 140745

วันเดือนปี 24 ก.พ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การประดิษฐ์และการศึกษาสมบัติของฟิล์มบาง CdS_xTe_{1-x} เพื่อประยุกต์
ใช้ในเซลล์แสงอาทิตย์

แหล่งเงิน งบประมาณแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณ 2556 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 200,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2555 ถึง 30 กันยายน 2556

หัวหน้าโครงการวิจัย

นายฐิตินัย แก้วแดง สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520, E-mail: kgthitin@kmitl.ac.th

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

นางงามนิศย์ วงษ์เจริญ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520, E-mail: kwngamni@kmitl.ac.th

นางทิพรรัตน์ วงษ์เจริญ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ อ.
คลองหลวง จ. ปทุมธานี 12120, E-mail: tiparatana.w@bu.ac.th

นายชัยสิงห์ ภูรัศม์เกียรติ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน
กรุงเทพฯ 10330, E-mail: Chaisingh.P@chula.ac.th

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการเตรียมฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} ที่เคลือบลงบนแผ่น
ฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์โดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศจากสาร
ตั้งต้นที่เป็นผลึกของ CdS และ CdTe ที่มีความบริสุทธิ์สูง 99.999 เปอร์เซ็นต์ และ 99.999
เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในกรณีที่สัดส่วนผสมของโมลอะตอมของธาตุ S ต่ำกว่า 0.2 ของโครงสร้าง
ผลึกของฟิล์มบางที่ได้จะเป็นแบบคิวบิกหรือแบบซิงค์เบลนด์ แต่เมื่อ $x > 0.2$ แล้วโครงสร้างผลึก
ของฟิล์มบางที่ได้จะเป็นแบบเฮกซะโกนัลหรือแบบเวิร์ทไซท์ จากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แรง
อะตอม (AFM) พบว่าถ้าสัดส่วนผสมของโมลอะตอมของธาตุ S เพิ่มขึ้นจะทำให้ขนาดของเกรน
ลดลง ค่าช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} จะมีค่าเปลี่ยนจาก 1.50
อิเล็กตรอน โวลต์ (ของสารกึ่งตัวนำ CdTe) ไปเป็น 2.40 อิเล็กตรอน โวลต์ (ของสารกึ่งตัวนำ CdS)
สำหรับค่าความต้านทานแผ่นที่อุณหภูมิห้องของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} ที่ยังไม่ได้
แอนนีลจะมีค่าลดลงตามสัดส่วนผสมของโมลอะตอมของธาตุ S ที่เพิ่มขึ้นและค่าความต้านทาน
แผ่นจะลดลงเมื่อมีการฉายแสงจากหลอดฮาโลเจนชนิด ELH นอกจากนี้ยังพบว่าพลังงานกระตุ้นมี
หลายค่าซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากความสูงของกำแพงศักย์ของเกรนและ/หรือสถานะกับดักประจุที่
ปรากฏอยู่ที่บริเวณรอยต่อระหว่างเกรน

คำสำคัญ: ฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} , การระเหยความร้อนในระบบสุญญากาศ, XRD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Fabrication and Characterization of $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ Thin Films for Solar Cell Application

Researcher: Mr. Thitinai Gaewdang, Mrs. Ngamnit Wongcharoen, Mrs. Tiparatana Wongcharoen, Mr. Chaisingh Poo-Rakkiat

Faculty: Science **Department:** Physics

ABSTRACT

In this research, $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ thin films have been prepared on slide glass substrate by thermal evaporation in vacuum using high purity (99.999%) of CdS and (99.999%) of CdTe powder. When the S mole ratio less than 0.2 the crystal structure of $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ films was cubic or zinblend. However, for $x > 0.2$ the $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ thin films were grown with hexagonal or wurtzite structure. The AFM micrographs show that the grain size decreases when the S content increases. As the CdS mole ratio increases, the energy gap value of $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ films varies from 1.50 eV for CdTe to 2.40 eV for CdS. Electrical sheet resistance at room temperature of the as-deposited $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ thin films decreases as a function of S content and the sheet resistance decreases under illumination using a halogen (ELH) lamp. Several activation energy values may be attributed to barrier height and/or trap states appearing at intergrain boundaries

Keywords : $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ thin films, thermal evaporation techniques, XRD

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีก็ด้วยความอนุเคราะห์ของรองศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ จูติรุ่งเรือง หัวหน้าศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้นำปลอดประจวบมาใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ นางสาวแก้วกาญจน์ สุระเดช นางสาวจุฑามาศ หวังสมัค นายพงศธร จันทร์เพ็ญ นายอดิศร นพรุจิกุล นายจักรพงษ์ สวัสดิวงศ์ และนายทศพร ชันตยาภรณ์ นักศึกษาของห้องปฏิบัติการวิจัยวัสดุโฟโตนิกส์ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลของการทดลองและช่วยทำรูปเล่มรายงานจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์และการแนะนำในการใช้เครื่อง ยูวี-วิสทิเบิล แบบดับเบิล ปีม สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Thermo electron corporation รุ่น He λ ios α ที่ใช้ในการศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงโดยการวัดการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางในช่วงความยาวคลื่นอัลตราไวโอเล็ตไปจนถึงย่านอินฟราเรด (ความยาวคลื่น 190 – 1100 nm) และเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Bruker รุ่น D8 Advance ซึ่งรังสีเอ็กซ์มีความยาวคลื่นในย่าน $\text{Cu}_{K\alpha}$ 1.5406 Å ในการศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM - 6400 ในการศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคของฟิล์มบาง

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2556 จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

นายฐิตินัย แก้วแดง
นางงามนิษฐ์ วงษ์เจริญ
นางทิพรัตน์ วงษ์เจริญ
นายชัยสิงห์ ภูรัศม์เกียรติ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและ ความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย	4
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 สารกึ่งตัวนำ	6
2.2 โครงสร้างผลึกของสารกึ่งตัวนำ	7
2.2.1 โครงสร้างผลึกแบบเพชร	8
2.2.2 โครงสร้างผลึกแบบสฟาลเลอร์ไรท์หรือซิงค์เบลนด์	9
2.2.3 โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ตไฮท์	10
2.3 การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์	11
2.4 สมบัติทางแสงของสารกึ่งตัวนำ	16
2.4.1 ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงาน	17
2.4.2 การส่งผ่านแสง	19
2.4.3 การดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำ	20
2.5 การหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากสเปกตรัมการส่งผ่านแสง	21
2.6 การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 การเตรียมฟิล์มบาง	28
2.7.1 เตรียมฟิล์มบางโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบ สุญญากาศ	29
2.7.1.1 อัตราการระเหยสาร	29
2.7.1.2 ความดันไอของธาตุ	29
2.7.1.3 การระเหยสารประกอบ	22
2.7.1.4 อิทธิพลของโครงสร้างเชิงเรขาคณิตต่อการระเหยสาร	31
2.8 เฟสไดอะแกรมของฟิล์มบางของอัลลอยด์ของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x}	33
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	19
3.1 ระบบการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ	21
3.2 การเตรียมแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์	22
3.3 การเตรียมสารตั้งต้นที่ใช้สำหรับการเตรียมฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ โดยที่ใช้อัตราส่วนผสมของสัดส่วนผสมของ โมลอะตอมของ $(x) = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ และ 1.0 ลงบนแผ่นฐานรองรับที่ เป็นกระจกสไลด์โดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ	27
3.4 วิธีการเตรียมฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ลงบน แผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์โดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อน ในระบบสุญญากาศ	30
3.5 วิธีการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์บางประการของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์โดยวิธีการระเหย สารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ	35
3.5.1 วิธีการแอนนีสล	36
3.5.2 การตรวจสอบลักษณะของโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคของฟิล์มบางโดย การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์	37
3.5.3 การศึกษาลักษณะของโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	39
3.5.4 การวัดการส่งผ่านทางแสงโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	40
3.5.5 วิธีการวัดความต้านทานของฟิล์มบาง	

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	47
4.1 พิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนیلและมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	47
4.2 ผลการศึกษาการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนิลและมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	50
4.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะของโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนิลและมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	61
4.4 ผลการวิเคราะห์ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(x=0.4)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนิลและมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	68
4.5 ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมของการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนิลและมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100 - 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6 ผลการศึกษาสมบัติเชิงไฟฟ้าเมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิห้องทั้งกรณีที่ไม่มีการฉายแสงและมีการฉายแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนีสลและมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	84
4.7 ผลการศึกษาสมบัติเชิงไฟฟ้าเมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิสูงในช่วงอุณหภูมิ 25-150 องศาเซลเซียส เพื่อหาค่าพลังงานกระตุ้น (activation energy :Ea) ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนีสลและมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	89
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	97
5.1 สรุปผลการเคลือบฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ โดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศทั้งในกรณีที่ไม่มีการแอนนีสลและมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	97
5.2 สรุปผลการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ โดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศทั้งในกรณีที่ไม่มีการแอนนีสลและมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	98
5.3 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข	99
เอกสารอ้างอิง	101

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก
ประวัติผู้เขียน

หน้า
105
109



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงระบบผลึก ค่าคงที่ของโครงผลึก มุมที่อยู่ระหว่างค่าคงที่ของผลึกและรูปทรงเรขาคณิตของหนึ่งหน่วยเซลล์	15
ตารางที่ 2.2 แสดงปฏิกิริยาการระเหยสารประกอบ	31
ตารางที่ 3.1 แสดงค่าปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ โดยที่ใช้อัตราส่วนผสมของสัดส่วนผสมของมอลอะตอมของ $(x) = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ และ 1.0 ลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ โดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ	40
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์เตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนีสและมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	81
ตารางที่ 4.2 แสดงความต้านทานแผ่นของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์เตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนีสและมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	88
ตารางที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานกระตุ้นกับค่าสัดส่วนผสมของโมลอะตอม (x) เมื่อทำการวัดค่าความต้านทานแผ่นที่อุณหภูมิสูงในช่วงอุณหภูมิ 25-150 องศาเซลเซียส ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์เตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนีสและมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	96

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 แสดงการเกิดชั้นอัลลอยด์ CdS_xTe_{1-x} ตรงบริเวณรอยต่อวิวิธพันธุ์ของฟิล์มบาง CdS/CdTe คัดแปลงมาจากเอกสารอ้างอิง [8]	3
ภาพที่ 1.2 แสดงแผนภูมิเฟสของสารประกอบ CdTe- CdS	3
ภาพที่ 2.1 แสดงค่าสภาพต้านทานและสภาพนำไฟฟ้าของตัวนำ สารกึ่งตัวนำและฉนวน	6
ภาพที่ 2.2 แสดงพันธะสี่หน้า	7
ภาพที่ 2.3 แสดงการจัดเรียงตัวของอะตอมในโครงสร้างผลึกแบบเพชรของสารกึ่งตัวนำ	8
ภาพที่ 2.4 แสดงโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์ของสารกึ่งตัวนำ CdS	9
ภาพที่ 2.5 แสดงโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ตไซต์ของสารกึ่งตัวนำ	10
ภาพที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ตไซต์กับแบบซิงค์เบลนด์	10
ภาพที่ 2.7 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จากระนาบผลึก	12
ภาพที่ 2.8 แสดงวิธีการหา $\beta_{2\theta}$ เพื่อนำไปหาขนาดของเกรนจากสเปกตรัมของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์	14
ภาพที่ 2.9 แสดงลักษณะ โครงสร้างแถบพลังงานอย่างง่ายของ <ul style="list-style-type: none"> ก. ฉนวน ข. สารกึ่งตัวนำที่บริสุทธิ์ ค. สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ง. สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น จ. โลหะ ฉ. สารกึ่งโลหะ 	16
ภาพที่ 2.10 แสดงลักษณะ โครงสร้างแถบพลังงาน และการย้ายสถานะพลังงานของ <ul style="list-style-type: none"> อเล็กตรอนสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์ ก. ลักษณะ โครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง ข. ลักษณะ โครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียง 	18
ภาพที่ 2.11 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโฟตอนกับพลังงานโฟตอนของสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์ <ul style="list-style-type: none"> ก. ลักษณะ โครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง ข. ลักษณะ โครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียงในกรณีที่เกิดกระบวนการสร้างโฟนอน 	19

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 2.12 แสดงภาพจำลองเมื่อแสงตกกระทบบนแผ่นฟิล์มบาง	19
ภาพที่ 2.13 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงกับพลังงานโฟตอน	22
ภาพที่ 2.14 แสดงส่วนประกอบของเครื่องอิเล็กทรอนิกส์แบบส่องกราด	24
ภาพที่ 2.15 อันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนกับผิวของสารตัวอย่าง	24
ภาพที่ 2.16 กราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอของธาตุต่างๆกับส่วนกลับของอุณหภูมิสัมบูรณ์	30
ภาพที่ 2.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอของธาตุต่างๆกับอุณหภูมิองศาสัมบูรณ์	30
ภาพที่ 2.18 แสดงรูปแบบการระเหยของสาร	32
ภาพที่ 2.19 แสดงเฟสไดอะแกรมของระบบผลึกของอัลลอยด์ของสารกึ่งตัวนำ CdS-CdTe	34
ภาพที่ 2.20 แสดงค่าคงที่ของโครงสร้างผลึก a และ c ที่สัมพันธ์กับ x ของอัลลอยด์ของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} ทั้งโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์และโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์ที่อุณหภูมิ 300 เคลวิน	35
ภาพที่ 2.21 แสดงค่าช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มบางของอัลลอยด์ของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x}	36
ภาพที่ 3.1 แสดงภาพถ่ายของระบบการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ	38
ภาพที่ 3.2 แสดงระบบเตาแอนนีลที่สามารถใช้งานได้ถึง 900 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์	43
ภาพที่ 3.3 แสดงภาพถ่ายเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ยี่ห้อ Bruker รุ่น D8 Advance	44
ภาพที่ 3.4 แสดงภาพถ่ายเครื่อง UV-VIS ยี่ห้อ Thermo electron corporation รุ่น He λ ions α	45
ภาพที่ 3.5 แสดงภาพถ่ายเครื่องอิเล็กทรอนิกส์โตมิเตอร์ยี่ห้อ Keithley รุ่น 236 และซอฟต์แวร์ที่ใช้	46

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.1 แสดงฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนัล	47
ภาพที่ 4.2 แสดงฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	48
รูปที่ 4.3 แสดงฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	48
ภาพที่ 4.4 แสดงฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	49
ภาพที่ 4.5 แสดงฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	49
ภาพที่ 4.6 แสดงฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	50

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.7 แสดงพีคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็น กระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบ สูญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนัล	51
ภาพที่ 4.8 แสดงพีคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็น กระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบ สูญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ภายใต้ บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	51
ภาพที่ 4.9 แสดงพีคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็น กระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบ สูญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ภายใต้ บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	52
ภาพที่ 4.10 แสดงพีคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็น กระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบ สูญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ภายใต้ บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	52
ภาพที่ 4.11 แสดงพีคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็น กระจกสไลด์เตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบ สูญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้ บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	53
ภาพที่ 4.12 แสดงพีคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็น กระจกสไลด์เตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบ สูญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้ บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	53

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.13 แสดงพิกัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $x = 0.0$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนีสและมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100 – 500 องศา ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	54
ภาพที่ 4.14 แสดงพิกัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $x = 0.2$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนีสและมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100 – 500 องศา ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	54
ภาพที่ 4.15 แสดงพิกัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $x = 0.4$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนีสและมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100 – 500 องศา ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	55
ภาพที่ 4.16 แสดงพิกัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $x = 0.6$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนีสและมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100 – 500 องศา ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	55
ภาพที่ 4.17 แสดงพิกัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $x = 0.8$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนีสและมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100 – 500 องศา ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	56

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
<p>ภาพที่ 4.18 แสดงพีคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $x = 1.0$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนัลและมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100 – 500 องศา ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที</p>	56
<p>ภาพที่ 4.19 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนผสมของ โมลอะตอม (x) ค่าต่างๆ กับค่า a_0, c_0 ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ ($0 \leq x \leq 1.0$) ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนัล</p>	58
<p>ภาพที่ 4.20 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนผสมของ โมลอะตอม (x) ค่าต่างๆ กับค่า a_0, c_0 ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ ($0 \leq x \leq 1.0$) ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที</p>	58
<p>ภาพที่ 4.21 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนผสมของ โมลอะตอม (x) ค่าต่างๆ กับค่า a_0, c_0 ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ ($0 \leq x \leq 1.0$) ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที</p>	59
<p>ภาพที่ 4.22 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนผสมของ โมลอะตอม (x) ค่าต่างๆ กับค่า a_0, c_0 ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ ($0 \leq x \leq 1.0$) ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที</p>	59

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.23 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนผสมของโมลอะตอม (x) ค่าต่างๆ กับค่า a_0 , c_0 ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	60
ภาพที่ 4.24 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนผสมของโมลอะตอม (x) ค่าต่างๆ กับค่า a_0 , c_0 ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	60
ภาพที่ 4.24 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนผสมของโมลอะตอม (x) ค่าต่างๆ กับค่า a_0 , c_0 ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	60
ภาพที่ 4.25 แสดงขนาดเกรนที่ถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศกรณีไม่มีการแอนนีส	61
ภาพที่ 4.26 แสดงขนาดเกรนที่ถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศกรณีมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	62

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
<p>ภาพที่ 4.27 แสดงขนาดเกรนที่ถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศกรณีมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที</p>	63
<p>ภาพที่ 4.28 แสดงขนาดเกรนที่ถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศกรณีมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที</p>	64
<p>ภาพที่ 4.29 แสดงขนาดเกรนที่ถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศกรณีมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที</p>	65
<p>ภาพที่ 4.30 แสดงขนาดเกรนที่ถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศกรณีมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที</p>	66
<p>ภาพที่ 4.31 แสดงภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(x=0.4)$ เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนัลและมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที</p>	67

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.32 แสดงสเปกตรัมของการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนีสล	68
ภาพที่ 4.33 แสดงสเปกตรัมของการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	69
ภาพที่ 4.34 แสดงสเปกตรัมของการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	69
ภาพที่ 4.35 แสดงสเปกตรัมของการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	70
ภาพที่ 4.36 แสดงสเปกตรัมของการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	70
ภาพที่ 4.37 แสดงสเปกตรัมของการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนีสลที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	71

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.38 แสดงสเปกตรัมของการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $x = 0.0$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนیلและมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100–500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	71
ภาพที่ 4.39 แสดงสเปกตรัมของการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $x = 0.2$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนิลและมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100–500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	72
ภาพที่ 4.40 แสดงสเปกตรัมของการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $x = 0.4$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนิลและมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100–500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	72
ภาพที่ 4.41 แสดงสเปกตรัมของการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $x = 0.6$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนิลและมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100–500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	73
ภาพที่ 4.42 แสดงสเปกตรัมของการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $x = 0.8$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนิลและมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100–500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	73

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.43 แสดงสเปกตรัมของการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $x = 1.0$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนีสและมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100 – 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	74
ภาพที่ 4.44 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha h\nu)^2$ กับ $h\nu$ ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนีส	75
ภาพที่ 4.45 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha h\nu)^2$ กับ $h\nu$ ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	76
ภาพที่ 4.46 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha h\nu)^2$ กับ $h\nu$ ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	77
ภาพที่ 4.47 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha h\nu)^2$ กับ $h\nu$ ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	78
ภาพที่ 4.48 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha h\nu)^2$ กับ $h\nu$ ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	79

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
<p>ภาพที่ 4.49 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha h\nu)^2$ กับ $h\nu$ ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนیلที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที</p>	80
<p>ภาพที่ 4.50 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างแถบพลังงานกับค่าสัดส่วนผสมของ โมลอะตอม (x) ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนิล</p>	81
<p>ภาพที่ 4.51 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างแถบพลังงานกับค่าสัดส่วนผสมของ โมลอะตอม (x) ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที</p>	82
<p>ภาพที่ 4.52 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างแถบพลังงานกับค่าสัดส่วนผสมของ โมลอะตอม (x) ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที</p>	82
<p>ภาพที่ 4.53 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างแถบพลังงานกับค่าสัดส่วนผสมของ โมลอะตอม (x) ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที</p>	83

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
<p>ภาพที่ 4.54 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างแถบพลังงานกับค่าสัดส่วนผสมของโมลอะตอม (x) ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที</p>	83
<p>ภาพที่ 4.55 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างแถบพลังงานกับค่าสัดส่วนผสมของโมลอะตอม (x) ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที</p>	84
<p>ภาพที่ 4.56 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแผ่นกับค่าสัดส่วนผสมของโมลอะตอม (x) เมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิห้องทั้งในกรณีที่ไม่มีการฉายแสงและมีการฉายแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนัล</p>	85
<p>ภาพที่ 4.57 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแผ่นกับค่าสัดส่วนผสมของโมลอะตอม (x) เมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิห้องทั้งในกรณีที่ไม่มีการฉายแสงและมีการฉายแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที</p>	85

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
<p>ภาพที่ 4.58 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแผ่นกับค่า สัดส่วนผสมของโมลอะตอม (x) เมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิห้องทั้ง ในกรณีที่ไม่มี การฉายแสงและมีการฉายแสงของฟิล์มบางของ สารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐาน รองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความ ร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที</p>	86
<p>ภาพที่ 4.59 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแผ่นกับค่า สัดส่วนผสมของโมลอะตอม (x) เมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิห้องทั้ง ในกรณีที่ไม่มี การฉายแสงและมีการฉายแสงของฟิล์มบางของ สารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐาน รองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความ ร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที</p>	86
<p>ภาพที่ 4.60 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแผ่นกับค่า สัดส่วนผสมของโมลอะตอม (x) เมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิห้องทั้ง ในกรณีที่ไม่มี การฉายแสงและมีการฉายแสงของฟิล์มบางของ สารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐาน รองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความ ร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที</p>	87
<p>ภาพที่ 4.61 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแผ่นกับค่า สัดส่วนผสมของโมลอะตอม (x) เมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิห้องทั้ง ในกรณีที่ไม่มี การฉายแสงและมีการฉายแสงของฟิล์มบางของ สารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐาน รองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความ ร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที</p>	87

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.62 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1000/T$ กับ $\ln(R_0/R)$ เมื่อทำการวัดค่าความต้านทานแผ่นที่อุณหภูมิสูงในช่วงอุณหภูมิ 25-150 องศาเซลเซียสของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนیل	90
ภาพที่ 4.63 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1000/T$ กับ $\ln(R_0/R)$ เมื่อทำการวัดค่าความต้านทานแผ่นที่อุณหภูมิสูงในช่วงอุณหภูมิ 25-150 องศาเซลเซียสของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	91
ภาพที่ 4.64 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1000/T$ กับ $\ln(R_0/R)$ เมื่อทำการวัดค่าความต้านทานแผ่นที่อุณหภูมิสูงในช่วงอุณหภูมิ 25-150 องศาเซลเซียสของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	92
ภาพที่ 4.65 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1000/T$ กับ $\ln(R_0/R)$ เมื่อทำการวัดค่าความต้านทานแผ่นที่อุณหภูมิสูงในช่วงอุณหภูมิ 25-150 องศาเซลเซียสของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที	93

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
<p>ภาพที่ 4.66 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1000/T$ กับ $\ln(R_0/R)$ เมื่อทำการวัดค่าความต้านทานแผ่นที่อุณหภูมิสูงในช่วงอุณหภูมิ 25-150 องศาเซลเซียสของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที</p>	94
<p>ภาพที่ 4.67 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1000/T$ กับ $\ln(R_0/R)$ เมื่อทำการวัดค่าความต้านทานแผ่นที่อุณหภูมิสูงในช่วงอุณหภูมิ 25-150 องศาเซลเซียสของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที</p>	95

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

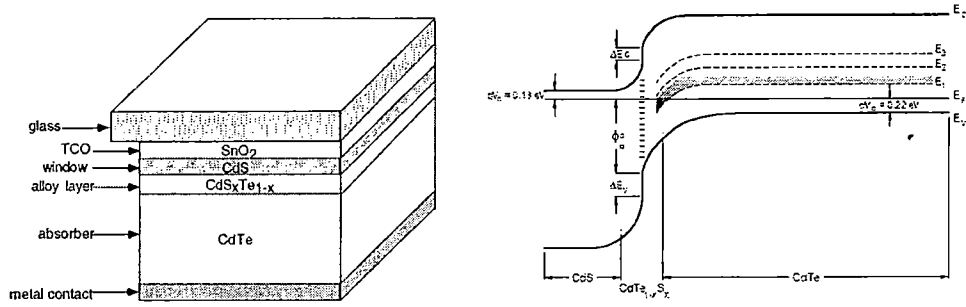
พลังงานจากแสงอาทิตย์ก็เป็นทางเลือกอีกทางหนึ่ง เนื่องจากเป็นพลังงานทดแทนที่สะอาดไม่สร้างมลภาวะขณะใช้งานและยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยอาศัยปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก ซึ่งค้นพบครั้งแรกโดยเบคเคอเรล ในปี ค.ศ. 1839 [1] จากการศึกษาสมบัติของของแข็งที่อยู่ภายในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ขณะมีการฉายแสงอาทิตย์ลงบนตัวเซลล์จะปรากฏมีความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าขึ้นที่ขั้วไฟฟ้า เซลล์แสงอาทิตย์มีอายุการใช้งานมากกว่า 20 ปี ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์จึงเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่มีต้นทุนต่ำ ใช้ได้ในระยะยาวนาน งานวิจัยและพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์จากสารกึ่งตัวนำ ในกลุ่ม II-VI และ I-III-VI₂ เช่น CdTe, CdS, CuInSe₂ และ CuInGaSe₂ ได้มีการวิจัยกันอย่างกว้างขวางทั้งในประเทศสหรัฐอเมริกา ยุโรปและ ญี่ปุ่น เป็นต้น ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ที่โดดเด่นและน่าสนใจมากคือเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดห้วต่อวิวิพันธ์ของสารกึ่งตัวนำ CdS/CdTe ซึ่งประดิษฐ์ขึ้นเป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2515 โดยบอนเนต (Bonnet) และราเบนโฮสต์ (Rabenhorst) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าประมาณ 5-6% [2] จากนั้นได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบันซึ่งประสิทธิภาพสูงถึง 16.5 % [3-7]

ในกระบวนการประดิษฐ์รอยต่อวิวิพันธ์ของฟิล์มบาง CdS/CdTe อะตอม S จะแพร่เข้าสู่ชั้นสารกึ่งตัวนำ CdTe ที่บริเวณรอยต่อและอะตอม Te จะแพร่เข้าสู่ชั้นฟิล์มบาง CdS ด้วยเหมือนกัน จนกระทั่งเกิดเป็นชั้นบางๆ ของอัลลอยด์ CdS_xTe_{1-x} ชั้นที่บริเวณรอยต่อ [8-10] ดังปรากฏในรูปที่ 1 อัลลอยด์ CdS_xTe_{1-x} นี้จะเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกอันหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ CdS/CdTe กล่าวคือ อะตอม Te จะแพร่เข้าสู่ฟิล์มบาง CdS ส่งผลให้ช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มบาง CdS ซึ่งทำหน้าที่เป็นชั้นหน้าต่างของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลง ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้จะตอบสนองต่อแสงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นสั้นได้ไม่ดี [10] อีกทั้งอะตอม S ที่แพร่เข้าสู่ชั้นฟิล์มบาง CdTe จะทำให้ค่าช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มบาง CdTe มีค่าลดลง การตอบสนองต่อแสงอาทิตย์ของเซลล์ในช่วงอินฟราเรดจะมีค่าเพิ่มขึ้น ความหนาของชั้นอัลลอยด์ CdS_xTe_{1-x} นี้จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการประดิษฐ์รอยต่อ เช่น อุณหภูมิและระยะเวลาของการเคลือบฟิล์มบาง CdTe ลงบน CdS รวมทั้งอุณหภูมิและช่วงเวลาในการอบด้วยไอของสาร CdCl₂ [11] เป็นต้น

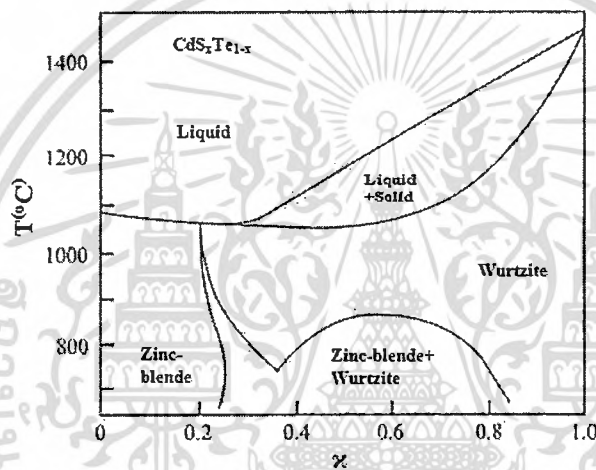
ฟิล์มบาง CdS_xTe_{1-x} สามารถเกิดเป็นสารละลายของแข็งตลอดช่วงของสัดส่วนโมล (0 ≤ x ≤ 1) เมื่อ x < 0.2 จะมีโครงสร้างผลึกแบบซิงเบลนด์ แต่เมื่อ x > 0.8 จะมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบเวิร์ท

ไซท์ สำหรับ x ที่อยู่ระหว่าง 0.2 ถึง 0.8 จะมีโครงสร้างผลึกทั้งแบบซิงเบลนด์และแบบเวิร์ทไซท์ผสมกันอยู่ [12-14] แผนภูมิเฟสของสารประกอบ CdTe-CdS จะแสดงดังรูปที่ 2 และเกรนมีขนาดเล็กมากอยู่ในระดับไม่กี่สิบนานโนเมตร แต่ขนาดของเกรนสามารถเพิ่มขึ้นได้เมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิที่เหมาะสม ส่วนค่าช่องว่างแถบพลังงานจะสัมพันธ์กับสัดส่วนโมล (x) ในแบบสมการกำลังสอง (quadratic equation) [10,12] กล่าวคือช่องว่างแถบพลังงานจะมีค่าต่ำสุดที่ $x \approx 0.2$ แต่เมื่อ $x > 0.2$ แล้วช่องว่างแถบพลังงานจะมีค่าเพิ่มขึ้น [15] และอุณหภูมิแอนนัลจะมีผลอย่างมากต่อโครงสร้างผลึกและสมบัติทางฟิสิกส์ของฟิล์มบาง $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ สามารถเตรียมฟิล์มบาง $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ ได้หลายวิธีเช่น การอบสารละลายเคมี [16] การเตรียมด้วยเลเซอร์แบบพัลส์ [17,18] การเตรียมด้วยการระเหยสารด้วยความร้อน [9] และการเตรียมด้วยลำอิเล็กตรอน [19] เป็นต้น การเตรียมฟิล์มบางโดยวิธีการระเหยสารด้วยความร้อนภายในระบบสุญญากาศมีข้อดีคือ สามารถควบคุมอัตราการเคลือบฟิล์มบางได้ดี สามารถควบคุมปริมาณสารตั้งต้นให้สิ้นเปลืองน้อยที่สุดได้ง่าย สามารถควบคุมปริมาณสารเจือได้ง่าย และสามารถหลีกเลี่ยงการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับอะตอมออกซิเจนได้ดี อีกทั้งระบบสุญญากาศเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายอยู่แล้วในอุตสาหกรรมการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์

ในงานวิจัยนี้จะทำการประดิษฐ์ฟิล์มบาง $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ ($0 \leq x \leq 1$) โดยวิธีระเหยสารด้วยความร้อนภายในระบบสุญญากาศ ที่ความดันต่ำระดับ 4×10^{-5} มิลลิบาร์ โดยใช้สารตั้งต้นที่เป็นผลึก CdS และ CdTe ที่มีความบริสุทธิ์สูง 99.99% โดยเลือกอุณหภูมิของฐานรองที่เหมาะสม จากนั้นจึงนำฟิล์มบางที่เตรียมได้ไปแอนนัลในบรรยากาศก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ในช่วงอุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส ตรวจสอบโครงสร้างผลึกของฟิล์มบาง $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ ที่ผ่านการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียสด้วยวิธีเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ตรวจสอบผิวหน้าของฟิล์มบางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม และตรวจสอบองค์ประกอบของฟิล์มบางด้วยเทคนิค EDS ขั้นตอนไปคือศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์มบาง $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ ที่ผ่านการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส โดยการวัดการส่งผ่านแสงเพื่อคำนวณค่าช่องว่างแถบพลังงาน และศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าโดยการวัดความต้านทานแผ่นขณะที่ไม่มีการฉายแสงและมีการฉายแสงจากหลอดฮาโลเจนที่มีสเปกตรัมคล้ายแสงอาทิตย์ เพื่อคำนวณค่าการตอบสนองต่อแสงอาทิตย์ (photosensitivity) รวมทั้งวัดความต้านทานแผ่นที่เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ



ภาพที่ 1.1 แสดงการเกิดชั้นอัลลอยด์ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ ตรงบริเวณรอยต่อวิวิธพันธุ์ของฟิล์มบาง CdS/CdTe คัดแปลงมาจากเอกสารอ้างอิง [8]



ภาพที่ 1.2 แสดงแผนภูมิเฟสของสารประกอบ $\text{CdTe}-\text{CdS}$

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เตรียมฟิล์มบาง $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ ($0 \leq x \leq 1$) โดยวิธีระเหยสารด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเพื่อเคลือบบนกระจกโซดาไลม์ ให้มีความหนาประมาณ 500 นาโนเมตร จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึก CdS และ CdTe ที่มีความบริสุทธิ์สูง โดยเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสม
- 1.2.2 นำฟิล์มบางที่เตรียมได้ไปแอนนัลในบรรยากาศก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที
- 1.2.3 ตรวจสอบโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางโดยวิธีเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิแอนนัลที่มีต่อการเปลี่ยนเฟสของโครงสร้างผลึกของฟิล์มบาง $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$
- 1.2.4 ตรวจสอบผิวหน้าของฟิล์มบางโดยการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิแอนนัลที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบาง $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.2.5 ศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์มบาง CdS_xTe_{1-x} โดยการวัดการส่งผ่านแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เพื่อนำไปคำนวณหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน จากนั้นจะหาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างผลึกกับขนาดของช่องว่างแถบพลังงาน
- 1.2.6 ศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าโดยการวัดความต้านทานแผ่นขณะไม่มีการฉายแสงและภายใต้การฉายแสงจากหลอดฮาโลเจนรวมทั้งวัดความต้านทานแผ่นที่เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ เพื่อที่จะหาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างผลึกกับความต้านทานแผ่น

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.3.1 เตรียมฟิล์มบาง CdS_xTe_{1-x} ($0 \leq x \leq 1$) โดยวิธีระเหยสารด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเพื่อเคลือบบนกระจกโซดาไลม์ ให้มีความหนาประมาณ 500 นาโนเมตร จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึก CdS และ CdTe ที่มีความบริสุทธิ์สูง โดยเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสม
- 1.3.2 นำฟิล์มบางที่เตรียมได้ไปแอนนัลในบรรยากาศก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที
- 1.3.3 ตรวจสอบ โครงสร้างผลึกของฟิล์มบาง โดยวิธีเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิแอนนัลที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างผลึกของฟิล์มบาง CdS_xTe_{1-x}
- 1.3.4 ตรวจสอบผิวหน้าของฟิล์มบาง โดยการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิแอนนัลที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบาง CdS_xTe_{1-x}
- 1.3.5 ศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์มบาง CdS_xTe_{1-x} โดยการวัดการส่งผ่านแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เพื่อนำไปคำนวณหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน จากนั้นจะหาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างผลึกกับขนาดของช่องว่างแถบพลังงาน
- 1.3.6 ศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าโดยการวัดความต้านทานแผ่นขณะไม่มีการฉายแสงและภายใต้การฉายแสงจากหลอดฮาโลเจนรวมทั้งวัดความต้านทานแผ่นที่เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ เพื่อที่จะหาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างผลึกกับความต้านทานแผ่น

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1.4.1 พัฒนาระบบระเหยสารด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศความดันต่ำที่เหมาะสมที่จะเตรียมฟิล์มบาง CdS_xTe_{1-x} ($0 \leq x \leq 1$)
- 1.4.2 เคลือบฟิล์มบาง CdS_xTe_{1-x} ที่มีสัดส่วนโมล $x=0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ และ 1.0 ให้มีความหนา 500 nm ลงบนกระจกโซดาไลม์ โดยวิธีระเหยด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศจากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของ CdS และ CdTe ที่มีความบริสุทธิ์สูง 99.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

% โดยควบคุมอุณหภูมิฐานรองให้เหมาะสม

- 1.4.3 นำฟิล์มบางที่เตรียมได้ไปแอนนัลในบรรยากาศก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 100, 200, 300, 400 และ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที
- 1.4.4 ตรวจสอบโครงสร้างผลึกของฟิล์มบาง CdS_xTe_{1-x} ที่ผ่านการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียสด้วยวิธีเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์
- 1.4.5 ตรวจสอบผิวหน้าของฟิล์มบาง CdS_xTe_{1-x} ที่ผ่านการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียสด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) รวมทั้งตรวจสอบองค์ประกอบของฟิล์มบางด้วยเทคนิค EDS
- 1.4.6 ศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์มบาง CdS_xTe_{1-x} ที่ผ่านการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส โดยการวัดการส่งผ่านแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ในช่วงความยาวคลื่น 300- 1000 นาโนเมตร เพื่อนำไปคำนวณหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน
- 1.4.7 ศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง CdS_xTe_{1-x} ที่ผ่านการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส โดยการวัดความต้านทานแผ่นขณะไม่มีการฉายแสงและภายใต้การฉายแสงจากหลอดไฟฮาโลเจนรวมทั้งวัดความต้านทานแผ่นที่เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิเพื่อคำนวณหาค่าพลังงานกระตุ้น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

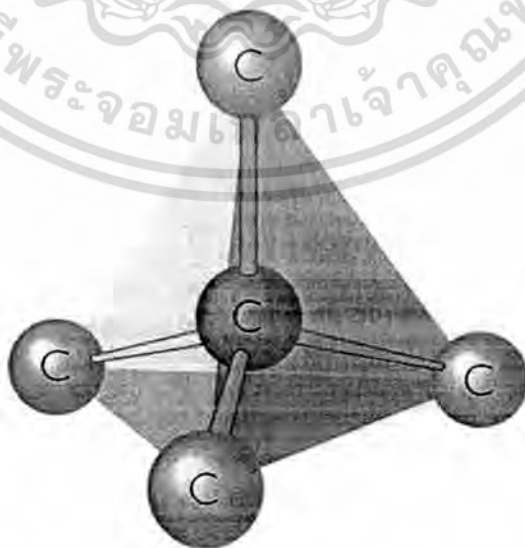
- 1.5.1 ทำให้ทราบถึงวิธีการเตรียมฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} ($0 \leq x \leq 1$) โดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ
- 1.5.2 ทำให้ทราบถึงหลักการปรับปรุงคุณภาพของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} ($0 \leq x \leq 1$) โดยการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที
- 1.5.3 ทำให้ทราบถึงอิทธิพลของการแอนนัลที่มีต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x}
- 1.5.4 ได้พัฒนาการวิจัยของนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาที่ร่วมในโครงการ
- 1.5.5 ได้ผลงานวิจัยที่สามารถนำไปเผยแพร่ในวารสารและนำเสนอในงานประชุมทางวิชาการระดับชาติและระดับนานาชาติได้

และนอกจากนี้สารกึ่งตัวนำยังมีสมบัติที่แตกต่างจากสารอื่น ๆ อีกดังนี้

1. สภาพนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำจะเพิ่มแบบเอกซ์โพเนนเชียลกับอุณหภูมิ (thermister action) หรือกล่าวได้อีกนัยหนึ่งคือ มีสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนความต้านทานตามอุณหภูมิเป็นลบ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความต้านทานจะลดต่ำลง
2. มีสมบัติยอมให้กระแสไฟฟ้าผ่านทางเดียวหรือเปลี่ยนกระแสไฟสลับให้เป็นกระแสไฟตรง (rectifying effect) เมื่อประคิยรู้เป็นรอยต่อขอตักหรือรอยต่อพี-เอ็น
3. สภาพนำไฟฟ้าของสารจะขึ้นกับปริมาณของสารเจือหรืออาจกล่าวได้ว่าสารเจือทำให้ความต้านทานไฟฟ้าเปลี่ยนไป
4. เมื่อมีแสงมาตกกระทบบจะทำให้สภาพนำไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง (อาจจะเท่าเดิมหรือเพิ่มขึ้น) กล่าวได้อีกนัยหนึ่ง เมื่อมีแสงตกกระทบบจะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเกิดขึ้นทำให้ความต้านทานไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง
5. เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเรียกว่ามีปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กตริก (thermoelectric effect)
6. จะคงรักษาโครงสร้างผลึกแบบพันธะสี่หน้า (tetrahedral bond) แม้ลักษณะของหนึ่งหน่วยเซลล์ของผลึกจะแตกต่างกันไปก็ตาม

2.2 โครงสร้างผลึกของสารกึ่งตัวนำ

ตามธรรมชาติผลึกสารกึ่งตัวนำโดยส่วนมากจะมีลักษณะทางโครงสร้างผลึกเป็นแบบพันธะสี่หน้า กล่าวคือ ทุก ๆ อะตอมในผลึก มีอะตอมอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้เคียงที่สุดล้อมรอบอยู่สี่อะตอม ดังภาพที่ 2.2



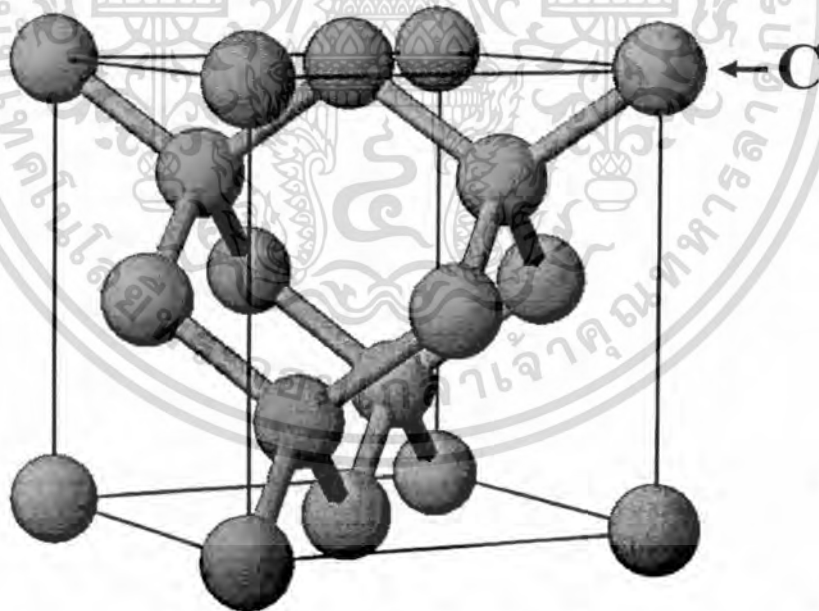
ภาพที่ 2.2 แสดงพันธะสี่หน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม้ว่าสารประกอบและโลหะผสมกึ่งตัวนำ จะมีลักษณะของพันธะเป็นแบบพันธะสี่หน้า แต่เนื่องจาก อะตอมของธาตุชนิดต่าง ๆ กันนั้น มีขนาดและอำนาจดึงดูดซึ่งกันและกันไม่เท่ากัน เป็นผลให้โครงสร้างผลึกมีลักษณะแตกต่างกันไป ซึ่งอาจแบ่งโครงสร้างของพันธะสี่หน้าออกเป็น โครงสร้างผลึกหลายแบบดังนี้

2.2.1 โครงสร้างผลึกแบบเพชร (diamond structure) [25-32]

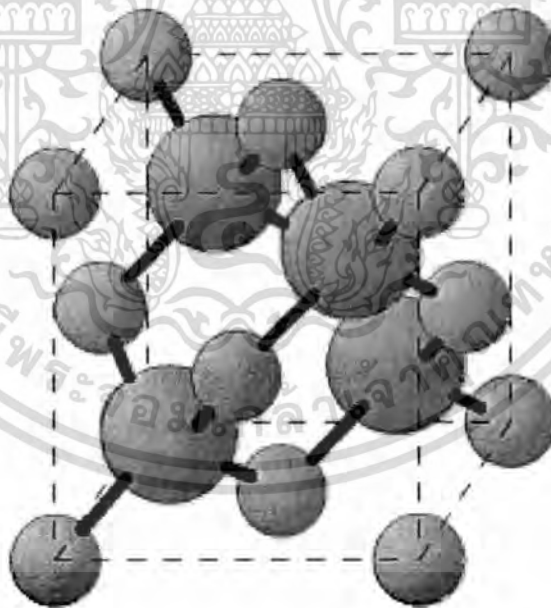
โครงสร้างผลึกแบบนี้เป็นโครงสร้างผลึกของธาตุกลุ่ม IV คือ C, Si, Ge และ α -Sn เราอาจพิจารณาได้ว่าโครงสร้างผลึกแบบเพชรนี้เกิดจากการนำเอาโครงผลึกแบบเฟซเซนเตอร์คิวบิก (face-center cubic lattices, $a = b = c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90$ องศา) สองโครงมาวางซ้อนเหลื่อมกันเป็น ระยะทาง $\frac{1}{4}$ ของเส้นทแยงมุม หนึ่งหน่วยเซลล์มี 8 อะตอมและอะตอมของโครงผลึกทั้งสองเป็น ชนิดเดียวกันมีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีเท่ากันและอยู่ที่ตำแหน่ง $000, 0\frac{11}{22}, \frac{1}{2}0\frac{1}{2}, \frac{11}{22}, \frac{111}{444}, \frac{133}{444}, \frac{313}{444}, \frac{331}{444}$ ดังภาพที่ 2.3 ดังนั้นแต่ละแกนของพันธะสี่หน้าจึงมีแรงดึงดูดซึ่งกันและกันเท่ากันทุกทิศทุกทาง นอกจากนี้แต่ละอะตอมยังมีพันธะโควาเลนต์ที่แข็งแรงกับอะตอมข้างเคียง 4 อะตอม ทำให้โครงผลึกแบบนี้เป็นรูปคิวบิกซึ่งบิดเบี้ยวได้ยาก โครงผลึกจึงสมมาตรมากที่สุด ในจำนวนโครงสร้างผลึกทั้งหมดของกลุ่มนี้



ภาพที่ 2.3 แสดงการจัดเรียงตัวของอะตอมใน โครงสร้างผลึกแบบเพชรของสารกึ่งตัวนำ

2.2.2 โครงสร้างผลึกแบบสฟาลเออร์ไรท์หรือซิงค์เบลนด์ (sphalerite or zincblende structure) [25-30]

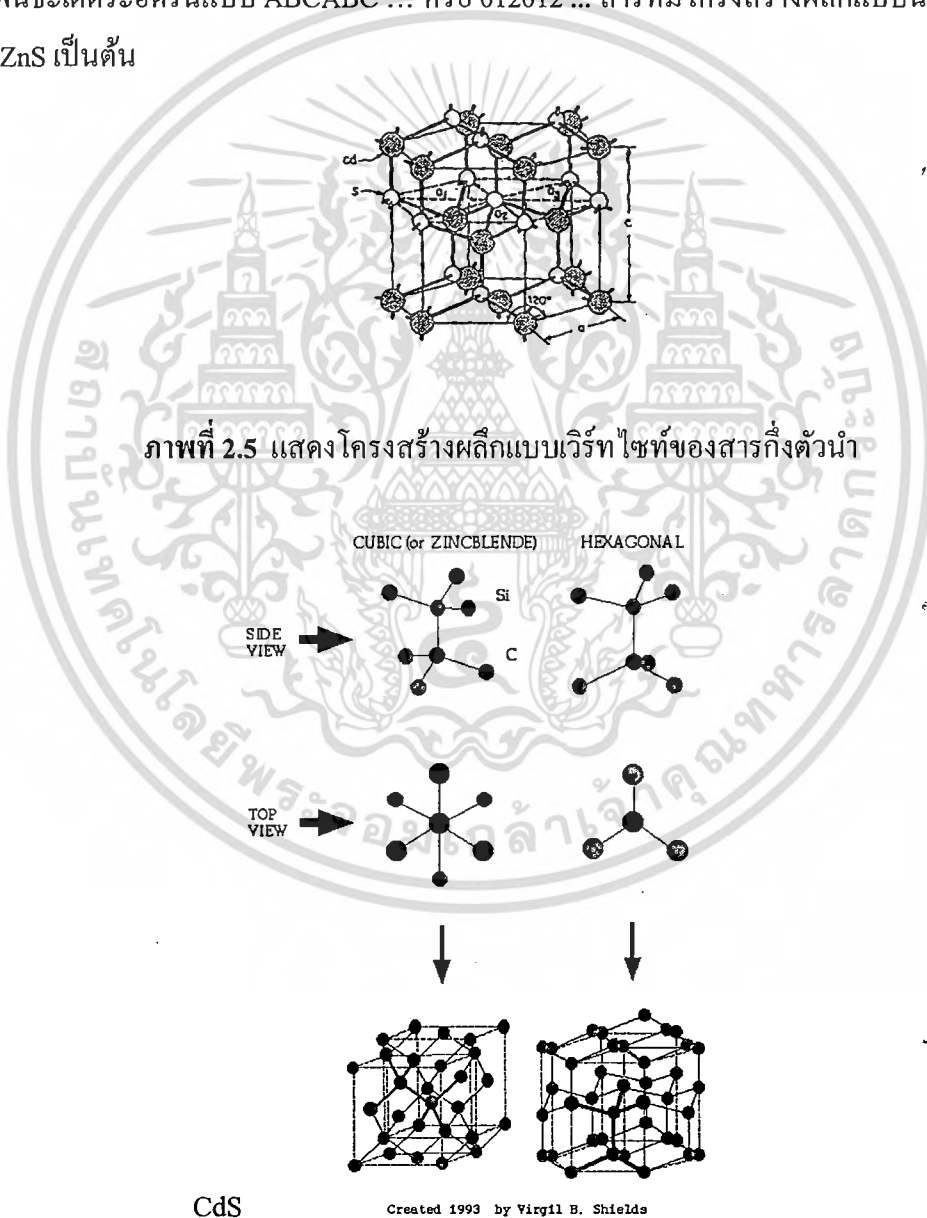
โครงสร้างผลึกแบบนี้มักพบในสารกึ่งตัวนำที่ประกอบด้วยอะตอมของธาตุ 2 ชนิด หรือเรียกว่าเป็นสารประกอบกึ่งตัวนำเชิงคู่(binary compound semiconductor) ได้แก่ สารประกอบสารกึ่งตัวนำในกลุ่ม III-V เช่น GaAs และ InSb และ สารประกอบสารกึ่งตัวนำในกลุ่ม II-VI เช่น CdS, CdTe และ ZnS เป็นต้น โครงสร้างผลึกแบบนี้มีลักษณะคล้ายโครงสร้างผลึกแบบเพชร คือ อาจพิจารณาว่าเป็นโครงสร้างผลึกแบบเพชเชนเตอร์ คิวบิก 2 โครงสร้างซ้อนกันอยู่แต่โครงสร้างหนึ่งเป็นธาตุหมู่ II (หรือ III) ส่วนอีกโครงสร้างเป็นธาตุหมู่ VI (หรือ V) สำหรับสารกึ่งตัวนำเชิงคู่ II-VI (หรือ III-V) ในหนึ่งหน่วยเซลล์ประกอบด้วยอะตอม 2 ชนิด แต่ละชนิดมี 4 อะตอม เช่นใน CdS อะตอมของ Cd จะอยู่ที่ตำแหน่ง $000, 0\frac{1}{2}, 0\frac{1}{2}, 1\frac{1}{2}$ และ $1\frac{1}{2}, 0\frac{1}{2}, 0\frac{1}{2}$ ส่วนตำแหน่งของอะตอม S จะอยู่ที่ $\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{3}{4}, \frac{3}{4}, \frac{3}{4}, \frac{3}{4}, \frac{3}{4}$ และ $\frac{3}{4}, \frac{3}{4}, \frac{3}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}$ จึงมีความแข็งแรงน้อยกว่าและมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าโครงสร้างผลึกแบบเพชรดังแสดงในภาพที่ 2.4 สารที่มีโครงสร้างผลึกแบบนี้ ได้แก่ ZnS, CdTe, และ CdS เป็นต้น ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีความสำคัญสำหรับนำมาประยุกต์เพื่อประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสง



ภาพที่ 2.4 แสดงโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์ของสารกึ่งตัวนำ CdS

2.2.3 โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์ (wurtzite structure)

โครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์ที่แสดงในภาพที่ 2.5 ซึ่งจัดอยู่ในระบบโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนัล เกิดจากการนำโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนัลที่มีอะตอมของธาตุต่าง ๆ อยู่ 2 ชนิด วางซ้อนเหลื่อมกันเป็นระยะ $5/8$ ตามแนวแกน c หนึ่งหน่วยเซลล์จะมี 8 อะตอม มีอะตอมเพื่อนบ้านอยู่ 4 อะตอม มีพันธะเคมีของโมเลกุลเป็นพันธะเตตระฮีดรัน และมีพันธะเคมีระหว่างอะตอมเป็นแบบโควาเลนต์ ดังนั้นจึงมีการจัดเรียงระนาบของอะตอมคล้ายกับโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์แต่จะมีความแตกต่างกันคือในโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์จะมีการจัดเรียงระนาบของพันธะเตตระฮีดรันเป็นแบบ ABAB ... หรือ 0101 ... ส่วนในโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์จะมีการจัดเรียงระนาบของพันธะเตตระฮีดรันแบบ ABCABC ... หรือ 012012 ... สารที่มีโครงสร้างผลึกแบบนี้ ได้แก่ CdS และ ZnS เป็นต้น



ภาพที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์กับแบบซิงค์เบลนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ [25-28]

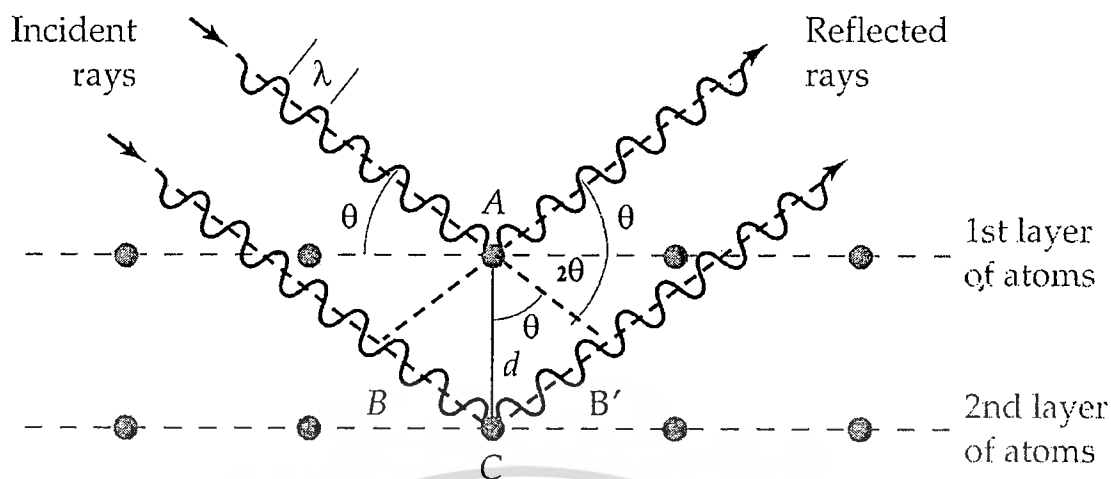
การศึกษาโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำด้วยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) เป็นการศึกษาเพื่อยืนยันว่าฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำที่เตรียมได้มีโครงสร้างผลึกสมบูรณ์เป็นไปตามที่ต้องการและเมื่อทราบผลแล้วจึงจะนำฟิล์มบางที่ได้ไปตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์อื่น ๆ ต่อไป

ในปี 1912 นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ มากซ์ ฟอน เลาเอ (Max Von Laue) ได้ค้นพบการจัดเรียงตัวของอะตอมในผลึก (มีระยะห่างระหว่างอะตอมประมาณ 10^{-10} เมตร) โดยการผ่านรังสีเอกซ์เข้าไปในผลึกแล้วศึกษาถึงวิธีการแทรกสอดของแสงบนแผ่นฟิล์ม โดยสังเกตว่ารูปแบบการเลี้ยวเบนที่เกิดขึ้นเกิดจากการที่รังสีเอกซ์ถูกกระเจิงด้วยอะตอมหรือโมเลกุลภายในผลึก

ต่อมาในปีเดียวกันนักวิทยาศาสตร์ฟิสิกส์ชาวอังกฤษชื่อ วิลเลียม เฮนรี แบริก และ วิลเลียม ลอว์เรนซ์ แบริก (William Henry Bragg และ William Lawrence Bragg) ได้เสนอแนวคิดที่ว่าเราสามารถมองได้ว่าผลึกจัดเรียงตัวเป็นชั้น (layer) หรือ ระนาบ (plane) ของอะตอมซึ่งสามารถสะท้อนคลื่นที่ตกกระทบ โดยมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน และได้ตั้งกฎการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ไว้ว่า รังสีเอกซ์จะแทรกสอดเสริมกันมากที่สุด เมื่อมีการกระเจิงออกจากแต่ละระนาบด้วยระยะที่แตกต่างกันเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่นรังสีเอกซ์ และกฎนี้เรียกว่ากฎของแบรกก์ (Bragg's Law) ดังสมการที่ (2.1)

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

เมื่อ	d_{hkl}	คือ	ระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอมในผลึกที่ขนานกัน
	θ	คือ	มุมตกกระทบและมุมสะท้อนของรังสีเอกซ์ที่ทำกับระนาบของผลึก
	2θ	คือ	มุมแบรกก์หรือมุมเลี้ยวเบนซึ่งเป็นมุมที่รังสีตกกระทบทำมุมกับรังสีสะท้อน
	n	คือ	อันดับการเลี้ยวเบนมีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3, ...
	λ	คือ	ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์



ภาพที่ 2.7 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จากระนาบผลึก

จากข้อมูลการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เราสามารถนำมาหาค่าคงที่ของโครงผลึกได้ในกรณีของผลึกที่มีโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์ ซึ่งจัดอยู่ในระบบคิวบิก (cubic system, $a = b = c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90$ องศา) มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{1}{d_{hkl}^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \quad (2.2)$$

จากสมการที่ (2.1) เมื่อ $n = 1$ แทนใส่ในสมการที่ (2.2) จะได้ความสัมพันธ์ที่ใช้หาค่าคงที่ของโครงผลึก (a) เมื่อทราบมุมแบรกก์ (θ) ความยาวคลื่นรังสีเอกซ์ (λ) และดัชนีมิลเลอร์ ($h k l$) ดังสมการ

$$\frac{4 \sin^2 \theta}{\lambda^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \quad (2.3)$$

ส่วนผลึกคอปเปอร์อินเดียมไดซัลไฟด์ มีโครงสร้างแบบซาลโคไพไรท์ จัดอยู่ในระบบเตตระโกนัล (tetragonal system, $a = b \neq c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90$ องศา) มีความสัมพันธ์ดังนี้คือ

$$\frac{1}{d_{hkl}^2} = \frac{h^2 + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (2.4)$$

ในทำนองเดียวกันจากสมการที่ (2.1) เมื่อ $n = 1$ แทนใส่ในสมการที่ (2.4) จะได้ความสัมพันธ์ที่ใช้หาค่าคงที่ของโครงผลึก (a, c) เมื่อเราทราบขนาดมุมแบรกก์ (θ) ความยาวคลื่นรังสีเอกซ์ (λ) และดัชนีมิลเลอร์ ($h k l$) ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{4 \sin^2 \theta}{\lambda^2} = \frac{h^2 + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (2.5)$$

นอกจากนี้เรายังสามารถนำข้อมูลที่ได้นำไปหาสัมประสิทธิ์การจัดเรียงระนาบผลึก (texture coefficient) ของระนาบ (h k l) ขนาดของเกรน ความหนาแน่นของดิสโลเคชัน (dislocation density) ความเครียด (strain) และความน่าจะเป็นของสัมประสิทธิ์การจัดเรียงระนาบผิดพลาด (stacking fault probability) ได้ดังนี้

สัมประสิทธิ์การจัดเรียงระนาบผลึกหาได้จากสมการ

$$TC(hkl) = \frac{I(hkl)/I_0(hkl)}{(1/N)\sum_N I(hkl)/I_0(hkl)} \quad (2.6)$$

เมื่อ	TC(h k l)	คือ	สัมประสิทธิ์การจัดเรียงระนาบผลึก (h k l)
	I(h k l)	คือ	ความเข้มของพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางที่ปรากฏ
	I ₀ (h k l)	คือ	ความเข้มมาตรฐาน ASTM ของพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์
	N	คือ	จำนวนพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ปรากฏ

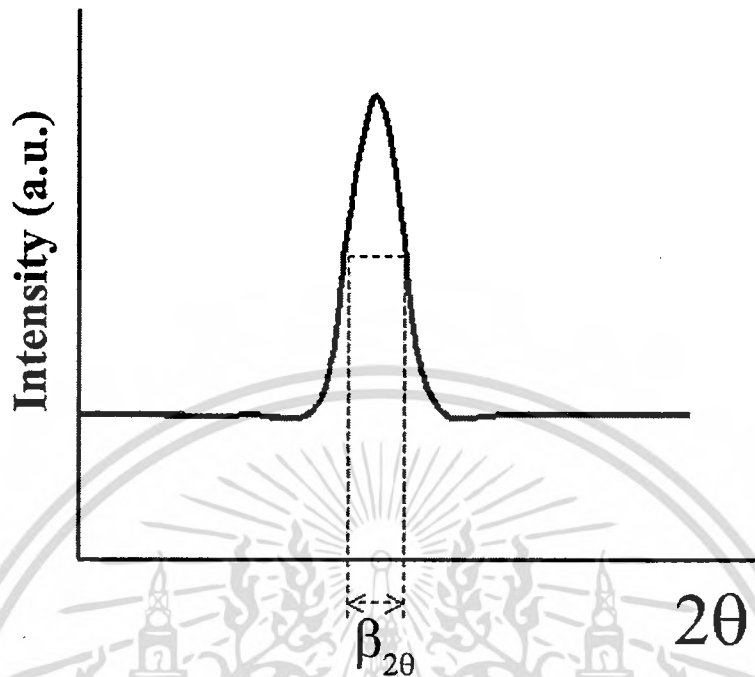
ขนาดของเกรน (D) และความเครียด (ϵ_s) เราสามารถหาได้จากสมการ

$$\beta = \frac{\lambda}{D \cos \theta} - \epsilon_s \tan \theta \quad (2.7)$$

ดังนั้น

$$\beta \cos \theta = \frac{\lambda}{D} - \epsilon_s \sin \theta \quad (2.8)$$

เมื่อ	D	คือ	ขนาดของเกรน
	β	คือ	ความกว้างของพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มีความเข้มเป็นครึ่งหนึ่งของความเข้มสูงสุด (full width at half maximum, FWHM)
	θ	คือ	มุมตกกระทบและมุมสะท้อนของรังสีเอกซ์ที่ทำกับระนาบของผลึก
	ϵ_s	คือ	ความเครียด



ภาพที่ 2.8 แสดงวิธีการหา $\beta_{2\theta}$ เพื่อนำไปหาขนาดของเกรนจากสเปกตรัมของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

จากสมการที่ (2.8) ถ้าเราให้ $\sin\theta = 0$ แล้วเราจะสามารถหาขนาดของเกรนได้ ส่วนขนาดของความเครียดสามารถหาได้จากความชันของกราฟที่วาดระหว่าง $\beta\cos\theta$ และ $\sin\theta$

จำนวนของดิสโลเคชันในหนึ่งหน่วยพื้นที่ หรือที่เราเรียกว่า “ความหนาแน่นของดิสโลเคชัน (γ)” จะหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการ (2.9)

$$\gamma = \frac{c}{D^2} \quad (2.9)$$

โดยที่ γ มีหน่วยเป็น ไลน์ต่อตารางเมตร (line/m^2), D มีหน่วยเป็นเมตรและ c เป็นค่าค่าคงที่ที่ทำให้ความหนาแน่นของดิสโลเคชันมีค่าน้อยที่สุด ในงานวิจัยนี้เราให้มีค่าเท่ากับ 1

ความน่าจะเป็นของสัมประสิทธิ์การจัดเรียงระนาบผิวดลำดับ (S_f) หาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.10)

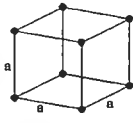
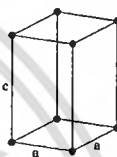


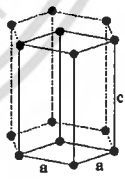
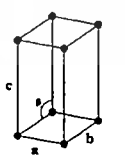
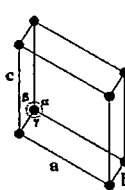
$$S_f = \frac{2\pi^2 \beta}{45(3 \tan \theta_{\text{hkl}})^{1/2}} \quad (2.10)$$

เมื่อ β คือ ความกว้างของพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มีความเข้มเป็นครึ่งหนึ่งของความเข้มสูงสุด (full width at half maximum, FWHM)

θ_{hkl} คือ มุมเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่มีความเข้มสูงสุด ในงานวิจัยนี้คือ θ_{112}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

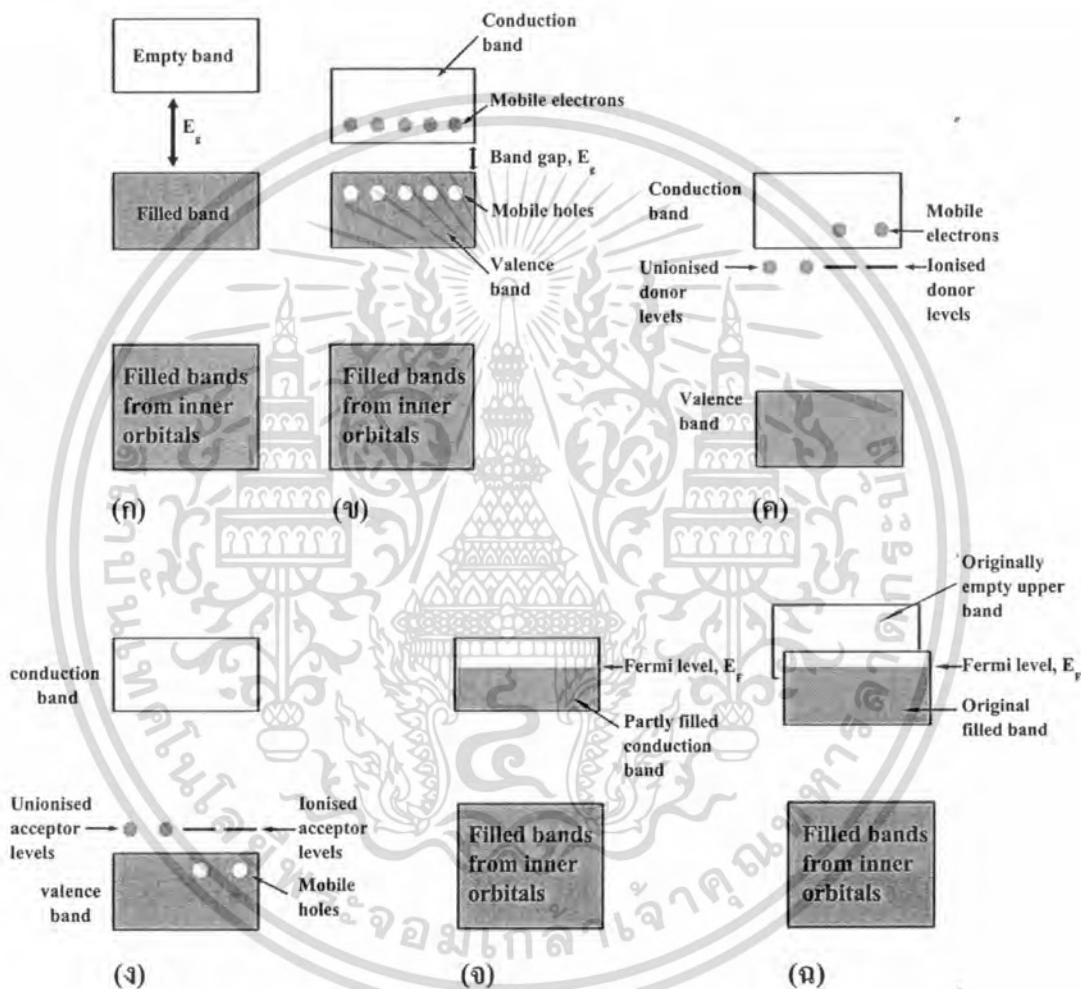
ตารางที่ 2.1 แสดงระบบผลึก ค่าคงที่ของโครงผลึก มุมที่อยู่ระหว่างค่าคงที่ของผลึกและรูปทรงเรขาคณิตของหนึ่งหน่วยเซลล์

ระบบผลึก(system)	ค่าคงที่ของโครงผลึกและมุมที่อยู่ระหว่างค่าคงที่ของผลึก	รูปทรงเรขาคณิตของหนึ่งหน่วยเซลล์
คิวบิก (cubic)	$a = b = c,$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
เตตระโกนัล (tetragonal)	$a = b \neq c,$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
ออร์โธโรมบิก (orthorhombic)	$a \neq b \neq c,$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
รอมโบฮีดรัล (rhombohedral)	$a = b = c,$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$ $a = b \neq c,$	
เฮกซะโกนัล (hexagonal)	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	
โมโนคลินิก (monoclinic)	$a \neq b \neq c,$ $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	
ไตรคลินิก (triclinic)	$a \neq b \neq c,$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 สมบัติทางแสงของสารกึ่งตัวนำ [21-24, 30-36]

เมื่อแสงตกกระทบกับสารกึ่งตัวนำ พฤติกรรมทางแสงที่สังเกตได้ก็คือ การดูดกลืน การสะท้อน และการส่งผ่านของแสง จากผลของสมบัติทางแสงของสารกึ่งตัวนำ เราสามารถหา ลักษณะ โครงสร้างแถบพลังงาน และขนาดช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) ของสารกึ่งตัวนำได้ โดยจะกล่าวถึงลักษณะ โครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ การส่งผ่านแสงและการคำนวณหา ค่าช่องว่างแถบพลังงาน



ภาพที่ 2.9 แสดงลักษณะ โครงสร้างแถบพลังงานอย่างง่ายของ

- ก. ฉนวน
- ข. สารกึ่งตัวนำที่บริสุทธิ์
- ค. สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น
- ง. สารกึ่งตัวนำชนิดพี
- จ. โลหะ
- ฉ. สารกึ่งโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงาน [21-24, 33-36]

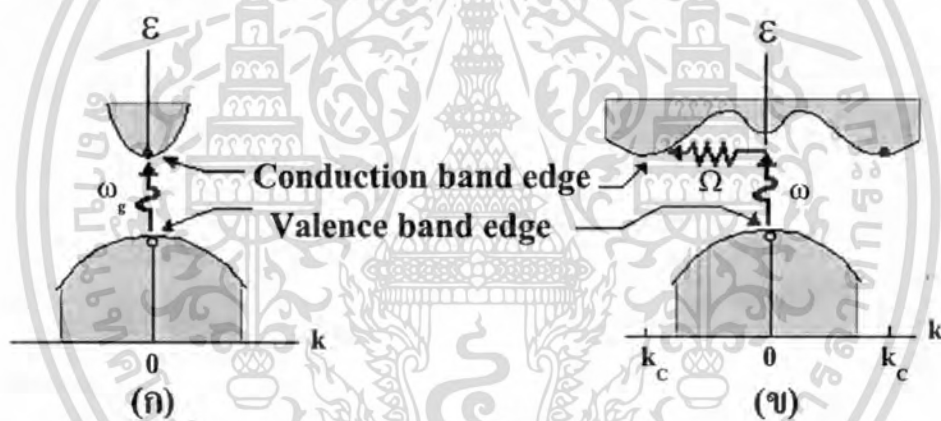
ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานจะประกอบไปด้วยส่วนใหญ่ ๆ 3 ส่วน คือ แถบนำไฟฟ้า (conduction band) แถบวาเลนซ์ (valence band) และแถบพลังงานต้องห้าม (forbidden band หรือ forbidden region หรือ forbidden gap) และเรียกความกว้างของช่องว่างระหว่างแถบนำกับ แถบวาเลนซ์นั้นว่า ช่องว่างแถบพลังงาน (energy gap) โดยเราสามารถที่จะแบ่งประเภทของวัสดุว่า เป็นฉนวน (insulator) โลหะหรือตัวนำ (metal หรือ conductor) และสารกึ่งตัวนำ (semiconductor) ได้โดยดูจากขนาดของช่องว่างแถบพลังงานที่แตกต่างกันดังแสดงในภาพที่ 2.9

ในวัสดุที่เป็นฉนวนเมื่อดูจากแถบพลังงานจะเห็นได้ว่าขนาดช่องว่างแถบพลังงานจาก ขอบล่างสุดของแถบบาง (แถบนำ) ถึงขอบบนสุดของแถบเต็ม (แถบวาเลนซ์) มีขนาดกว้างมาก ประมาณได้ว่า $E_g \gg kT$ หรือมากกว่า 3 อิเล็กตรอน โวลต์ ดังแสดงในภาพที่ 2.9 (ก) การที่จะทำให้ วัสดุนำไฟฟ้าได้ต้องใส่พลังงานที่สูงมาก เพื่อที่จะทำให้อิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ขึ้นไปยังแถบนำได้ถ้าช่องว่างแถบพลังงานระหว่างแถบนำกับแถบวาเลนซ์มีขนาดเล็กพอที่อิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์เมื่อได้รับพลังงานความร้อนสามารถเคลื่อนย้ายขึ้นไปยังแถบนำ และทำให้วัสดุนำไฟฟ้าได้ จะเรียกสารชนิดนี้ว่า สารกึ่งตัวนำที่บริสุทธิ์ (intrinsic semiconductors) (ดังแสดงในภาพที่ 2.9 (ข)) จากรูปจะเห็นได้ว่าเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนย้ายขึ้นไปอยู่ในแถบนำแล้วจะเหลือที่ว่างไว้ใน แถบวาเลนซ์ โดยจะมีสภาพทางไฟฟ้าเป็นบวก และจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงข้ามกับอิเล็กตรอน เมื่ออยู่ภายใต้สนามไฟฟ้า จะเรียกที่ว่างนี้ว่า โฮล และถ้าทำการเจืออะตอมของธาตุบางอย่าง ลงไปในสารกึ่งตัวนำที่บริสุทธิ์แล้ว อะตอมของสารเจือประพติดตัวเป็นอะตอมผู้ให้ ก็จะทำให้เกิดระดับพลังงานผู้ให้ โดยให้อิเล็กตรอนกับแถบนำ จะเรียกสารนี้ว่า สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type semiconductors) ดังแสดงในภาพที่ 2.9 (ค) และถ้าอะตอมประพติดตัวเป็นอะตอมผู้รับก็จะทำให้เกิดระดับพลังงานผู้รับ โดยทำการรับอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ จะเรียกสารนี้ว่า สารกึ่งตัวนำชนิดพี (p-type semiconductors) ดังแสดงในภาพที่ 2.9 (ง) สำหรับแถบพลังงานของวัสดุที่เป็นโลหะ หรือตัวนำจะพบว่าอิเล็กตรอนเข้าไปอยู่ในแถบนำแล้วบางส่วน (ภาพที่ 2.9 (จ)) และบอกได้ว่า แถบวาเลนซ์กับแถบนำมีการซ้อนเหลื่อมกันอยู่ ทำให้สารสามารถนำไฟฟ้าได้ และในภาพที่ 2.9 (ฉ) ถ้าขอบล่างของแถบบางที่ $(n+1)$ ซ้อนเหลื่อมกับขอบสูงสุดของแถบที่มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่ที่ n และระดับเฟอร์มิอยู่ระหว่างแถบทั้งสอง อิเล็กตรอนก็จะสามารถไหลจากแถบเต็มไปยังด้านล่างของแถบบางได้ จะเรียกสารที่มีโครงสร้างแถบพลังงานแบบนี้ว่าเป็นสารกึ่งโลหะ

ลักษณะของโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง คือ อิเล็กตรอนได้รับพลังงานโฟตอนที่มีค่า เท่ากับขนาดของช่องว่างแถบพลังงาน ($\hbar\omega = E_g$) อิเล็กตรอนจะดูดกลืนพลังงานโฟตอนนั้นและ อยู่ในสถานะถูกกระตุ้นจึงย้ายสถานะพลังงาน (transition) จากจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ไปยัง จุดต่ำสุดของแถบนำกลายเป็นอิเล็กตรอนและ โฮลอิสระ โดยไม่มีการสูญเสียพลังงานให้แก่ โครงสร้างผลึก คือ ไม่มีการสร้างหรือทำลายโฟนอน ดังแสดงในภาพที่ 2.10 (ก) และเมื่อเขียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

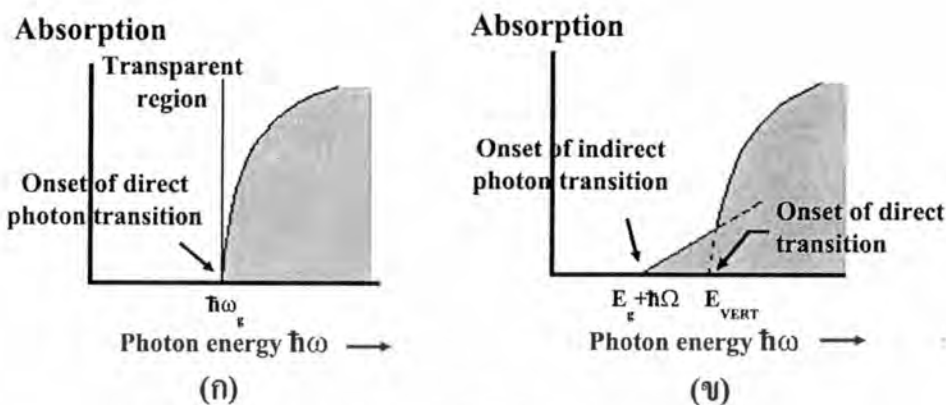
กราฟระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโฟตอนกับพลังงานโฟตอนจะได้กราฟดังแสดงในภาพที่ 2.11 (ก) และลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียง คือ โครงสร้างแถบพลังงานที่มีจุดต่ำสุดของแถบวาเลนซ์ไม่อยู่ที่ตำแหน่งเวกเตอร์คลื่นค่าเดียวกันหรืออยู่ที่ตำแหน่งโมเมนตัมของคลื่นไม่เท่ากัน ดังนั้นอิเล็กตรอนจะต้องได้รับพลังงานโฟนอนที่มีค่ามากกว่าขนาดของช่องว่างแถบพลังงาน ในกรณีนี้มีกระบวนการสร้างโฟนอนเกิดขึ้น ($\hbar\omega = E_g + \hbar\Omega$) เมื่อ Ω คือค่าความถี่เชิงมุมของพลังงานโฟนอน ซึ่งมีค่าน้อยกว่าขนาดของช่องว่างแถบพลังงาน หรือในกรณีที่มีการทำลายล้างโฟนอน ($\hbar\omega = E_g - \hbar\Omega$) นั่นคือเมื่ออิเล็กตรอนที่อยู่ในสภาวะถูกกระตุ้น การย้ายสถานะพลังงานจากจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ไปยังจุดต่ำสุดของแถบนำจะมีการปล่อยโฟนอน (emitted phonon) ที่มีความถี่เชิงมุม Ω มีเวกเตอร์คลื่น $K \cong k_c$ ออกมา จึงเกิดการสร้างโฟนอน ($E_g = \hbar\Omega$) และการสร้างอิเล็กตรอนและโฮลอิสระ (E_{VERT}) ขึ้นมาในกระบวนการนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 (ข) และเมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโฟตอนกับพลังงานโฟตอนจะได้ดังแสดงในภาพที่ 2.11 (ข)



ภาพที่ 2.10 แสดงลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานและการย้ายสถานะของพลังงานอิเล็กตรอนของสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาสมบูรณ์ ($T = 0$ เคลวิน)

ก. ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง

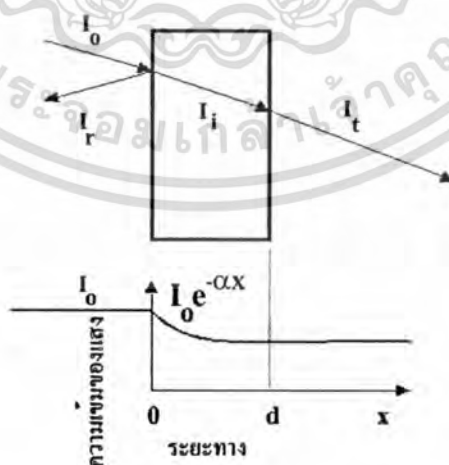
ข. ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียง



ภาพที่ 2.11 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโฟตอนกับพลังงานโฟตอนของสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาสมบูรณ์ ($T = 0$ เคลวิน)
 ก. ลักษณะ โครงสร้างแถบพลังงานแบบตรง
 ข. ลักษณะ โครงสร้างแถบพลังงานแบบเฉียงในกรณีที่เกิดกระบวนการสร้างโฟนอน

2.4.2 การส่งผ่านแสง [21-24, 33-36]

การศึกษาวิธีวัดสเปกตรัมการสะท้อนและการส่งผ่านแสงนี้ จะกล่าวถึงสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสงและองค์ประกอบของการวัดสเปกตรัมการส่งผ่านแสง เมื่อแสงเดินทางไปกระทบฟิล์มบาง แสงบางส่วนจะสะท้อนกลับที่ผิวของฟิล์มบาง บางส่วนของแสงจะเดินทางเข้าไปในแผ่นฟิล์มบางและถูกดูดกลืน ดังแสดงในภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 แสดงภาพจำลองเมื่อแสงตกกระทบลงบนแผ่นฟิล์มบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมประสิทธิ์การสะท้อนของแสงมีค่าเป็น

$$R = \frac{I_r}{I_0} \quad (2.11)$$

หรือ
$$I_r = RI_0 \quad (2.12)$$

เมื่อ	I_0	คือ	ความเข้มแสงตกกระทบแผ่นฟิล์มบาง
	I_r	คือ	ความเข้มแสงสะท้อนจากฟิล์มบาง
	I_t	คือ	ความเข้มแสงส่งผ่านออกมาจากฟิล์มบาง
	I_i	คือ	ความเข้มแสงที่เดินทางเข้าสู่แผ่นฟิล์มบาง
	R	คือ	สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (reflectivity)
	T	คือ	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสง (transmittance)
	α	คือ	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (absorption coefficient)
	d	คือ	ระยะทางที่แสงเดินทางในแผ่นฟิล์มบาง

เพราะฉะนั้น ความเข้มแสงที่เดินทางเข้าสู่แผ่นฟิล์มบางมีค่า

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

เมื่อแสงนี้เดินทางเข้าสู่แผ่นฟิล์มบางจะถูกดูดกลืนทำให้ความเข้มแสงภายในแผ่นฟิล์มบางลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียลตามระยะทาง ดังนั้นความเข้มแสงที่ส่งผ่านฟิล์มบางมีค่าเป็น

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

ถ้าไม่มีการสะท้อนแสงที่ผิวด้านหลัง สัมประสิทธิ์การส่งผ่านของแสงจะมีค่าเท่ากับ

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

2.4.3 การดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำ [21-24, 33-36]

เมื่อแสงตกกระทบสารกึ่งตัวนำ ด้วยความเข้ม I_0 แสงบางส่วนจะส่งผ่านออกไป บางส่วนถูกดูดกลืน และส่วนที่เหลือจะสะท้อนกลับมา ดังแสดงในภาพที่ 2.12 โดย

$$T + A + R = 1 \quad (2.16)$$

เมื่อ	T	คือ	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสง
	A	คือ	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง
	R	คือ	สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง

โดยที่
$$R = \frac{(n-1)^2 + K^2}{(n+1)^2 + K^2} \quad (2.17)$$

และค่าดัชนีหักเหของผลึก
$$n_c = n - iK \quad (2.18)$$

เมื่อ	n	คือ	จำนวนจริง
	K	คือ	จำนวนเชิงซ้อน เรียกว่า สัมประสิทธิ์การสูญเสียม (extinction coefficient)
	โดยที่ n และ K เป็นฟังก์ชันของ λ		

2.5 การหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากสเปกตรัมการส่งผ่านแสง [21-24, 33-36]

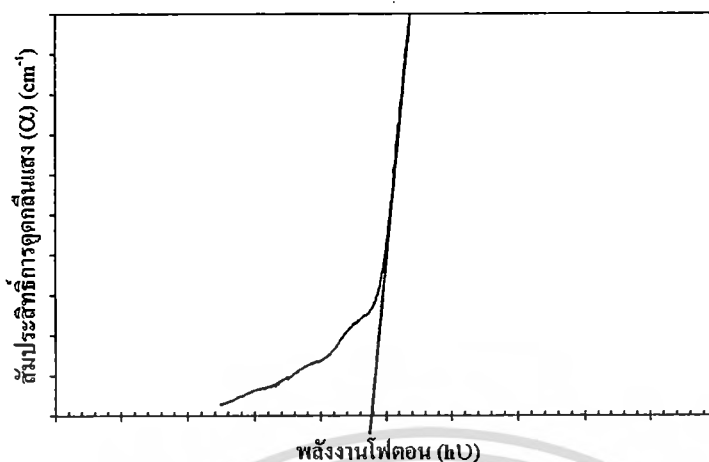
การดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำเกิดจากการที่อิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากแสงที่มีพลังงานโฟตอนสูงกว่าค่าช่องว่างพลังงานจากนั้นจึงย้ายสถานะพลังงานจากแถบวาเลนซ์ขึ้นไปสู่แถบนำ สเปกตรัมการดูดกลืนแสงบริเวณที่พลังงานโฟตอนมีค่าน้อยจะมีลักษณะเป็นขอบแสดงถึงการลดลงของการดูดกลืนแสงอย่างฉับพลัน ขอบลักษณะนี้เรียกว่าขอบการดูดกลืนแสง (absorption edge) หรือขอบการดูดกลืนพื้นฐาน (fundamental edge) พลังงานโฟตอนที่ขอบการดูดกลืนแสงมีค่าเท่ากับผลต่างของค่าพลังงานที่วัดจากจุดต่ำสุดของแถบนำกับจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์จุดที่เส้นตรงตัดกับแกนในแนวนอน จะให้ค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) วิธีการนี้เป็น การกำหนดค่าช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำที่นิยมมากที่สุด

การหาค่าของช่องว่างแถบพลังงาน สามารถพิจารณาได้จากสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (α) ของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสง (T) จากภาพที่ 2.12 แสดงภาพจำลองเมื่อแสงตกกระทบจากด้านซ้ายของฟิล์มบาง (I_0) ความเข้มแสงภายในฟิล์มบางจะลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียลและมีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสงโดยทั่วไปการสะท้อน (R) มีค่าน้อยมาก และมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับความยาวคลื่นแสงที่ตกกระทบดังนั้น

$$T = e^{-\alpha d} \quad (2.19)$$

จะได้ว่า
$$\alpha = \frac{1}{d} \ln\left(\frac{1}{T}\right) \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.13 แสดงการหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงกับพลังงานโฟตอน

ที่กล่าวมาเป็นการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงจากสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสง โดยไม่คิดถึงการสะท้อนของแสง สำหรับกรณีการคำนวณสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงเนื่องจากการย้ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอน ในกรณีที่อิเล็กตรอนย้ายสถานะพลังงานจากจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ไปยังจุดต่ำสุดของแถบนำที่เวกเตอร์คลื่นค่าเดียวกัน เรียกการย้ายสถานะพลังงานแบบนี้ว่าการย้ายสถานะพลังงานแบบตรง และการย้ายสถานะพลังงานแบบตรงนี้ยังแบ่งได้อีกสองชนิด คือ การย้ายสถานะพลังงานชนิดยินยอม และชนิดต้องห้าม โดยทั้งสองชนิดนี้ขึ้นกับค่าสมาชิกเมทริกซ์เชิงแสง (optical matrix element) ในการประมาณครั้งที่หนึ่งว่าเป็นศูนย์หรือไม่ คือ ถ้าเป็นศูนย์จะเป็นการย้ายสถานะพลังงานชนิดต้องห้าม และถ้าไม่เป็นศูนย์จะเป็นการย้ายสถานะพลังงานชนิดยินยอม เมื่อพิจารณาการย้ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนในบริเวณตำแหน่งจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์ไปยังจุดต่ำสุดของแถบนำแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงกับค่าช่องว่างแถบพลังงานซึ่งมีลักษณะเป็นพาราโบลา ช่องว่างแถบพลังงานของแผ่นฟิล์มบางประมาณได้โดยการคำนวณสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง ซึ่งจะถูกดูดกลืนเมื่อแสงที่ตกกระทบบนแผ่นฟิล์มบางมีค่าพลังงานโฟตอนสูงกว่าค่าของแถบพลังงานต้องห้าม ที่ขอบการดูดกลืนค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนจะมีค่าเป็น

สำหรับสารกึ่งตัวนำที่มีการย้ายสถานะพลังงานชนิดยินยอมแบบตรง

$$(\alpha h\nu) = A(h\nu - E_g)^{\frac{1}{2}} \quad (2.21)$$

สำหรับสารกึ่งตัวนำที่มีการย้ายสถานะพลังงานชนิดอินยอมแบบเฉียง

$$(\alpha hv) = B(hv - E_g)^2 \quad (2.22)$$

และสำหรับกึ่งตัวนำที่มีการย้ายสถานะพลังงานชนิดต้องห้าม

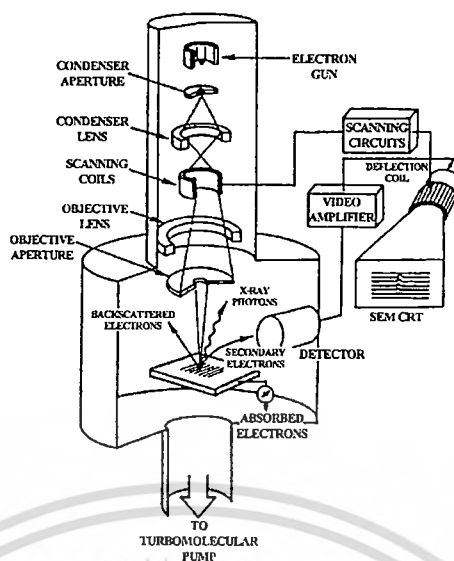
$$(\alpha hv) = C(hv - E_g)^{\frac{3}{2}} \quad (2.23)$$

เมื่อ α คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง
 hv คือ พลังงานโฟตอน
 A, B และ C คือ ค่าคงที่

2.6 การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด [21-24, 34-37]

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) ถูกใช้ในการศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคมีหลักการทํางาน คือ ใช้ลำแสงอิเล็กตรอนฉายหรือส่องกราดไปบนผิวหน้าของสารตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวทางกายภาพปรากฏเป็นภาพขยายที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ภาพที่เกิดจาก SEM มีลักษณะเป็นภาพสามมิติ SEM ถูกประดิษฐ์ขึ้นในช่วงปี พ.ศ. 2472-2474 แต่ไม่ได้รับความนิยมเนื่องจากอุปกรณ์ที่รวบรวมสัญญาณที่เกิดจากลำแสงอิเล็กตรอนกระทบผิวของตัวอย่างยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ มีการแจกแจงรายละเอียดต่ำ (low resolution) ภาพที่ปรากฏที่จอภาพจึงมีลักษณะพร่ามัวขาดรายละเอียด ในปี พ.ศ. 2508 SEM ได้รับการปรับปรุงระบบเลนส์สนามแม่เหล็กและระบบภาพให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นทำให้นักวิทยาศาสตร์เริ่มสนใจและได้รับความนิยมตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา

หลักการทํางานของ SEM เริ่มจากอิเล็กตรอนปฐมภูมิ (primary electron) จากแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน ซึ่งกลุ่มอิเล็กตรอนถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าช่วง 1-40 กิโลโวลต์ ใช้เลนส์รวมแสง (condenser lens) เป็นตัวกำหนดทิศทางของกลุ่มอิเล็กตรอนและทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนเป็นลำ ใช้เลนส์วัตถุ (objective lens) เป็นตัวโฟกัสภาพลำอิเล็กตรอนจะกราดไปยังพื้นผิวของสารตัวอย่างโดยขดลวดสนามแม่เหล็ก (scanning coils) บนระนาบ x-y เพื่อทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron : SE) อิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกตรวจจับโดยเซนเซอร์ (sensor) และแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วนำไปขยายสัญญาณเพื่อส่งต่อให้ระบบสร้างภาพบนจอคาโทด (cathode ray tube : CRT)

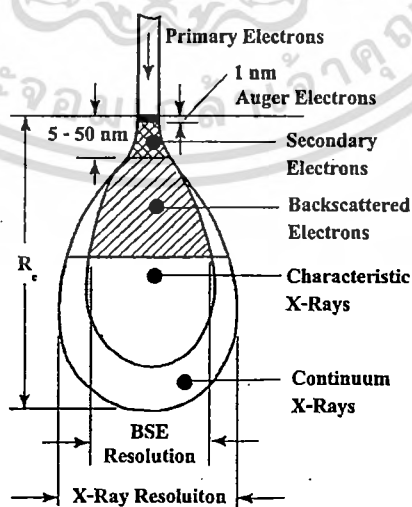


ภาพที่ 2.14 แสดงส่วนประกอบของเครื่องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ปัจจัยสำคัญสำหรับการใช้งาน SEM มีดังนี้

1. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางปลายลำอิเล็กตรอน (electron probe diameter : d_p)
2. กระแสของลำอิเล็กตรอน (electron probe current : i_p)
3. มุมการกระเจิงของลำอิเล็กตรอน (electron probe convergence : α_p)

ปัจจัยทั้ง 3 มีความสำคัญต่อการศึกษาค้นคว้าโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคด้วย SEM ซึ่งปัจจัยทั้ง 3 มีความสัมพันธ์กัน โดย d_p แปรผันตรงกับ i_p แต่แปรผันแบบผกผันกับ α_p ตัวอย่างเช่น เมื่อ d_p มีขนาดลดลง i_p จะมีค่าน้อยลงแต่ α_p จะมีค่ามากขึ้น



ภาพที่ 2.15 อันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนกับผิวของสารตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนกับสารตัวอย่าง

อันตรกิริยาของลำอิเล็กตรอนที่ตกกระทบบนพื้นผิวของสารตัวอย่างจะกำเนิดสัญญาณต่าง ๆ ดังภาพที่ 2.14 ซึ่งสามารถแบ่งอันตรกิริยาของการชนเป็นสองลักษณะคือการชนแบบยืดหยุ่นและการชนแบบไม่ยืดหยุ่นซึ่งการชนทั้งสองลักษณะนี้จะให้ผลหรือสัญญาณที่แตกต่างกัน

การชนแบบยืดหยุ่น (elastic scattering)

ในกรณีการชนแบบยืดหยุ่นอิเล็กตรอนปฐมภูมิจะสูญเสียพลังงานบางส่วน (น้อยมาก) ให้กับอะตอมของตัวอย่างที่ตกกระทบและมีการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ มีการกระเจิงกลับจากผิวของสารตัวอย่าง อิเล็กตรอนที่กระเจิงกลับส่วนนี้เรียกอิเล็กตรอนแบบกระเจิงกลับ (backscatter electron: BE) ภายในห้องใส่ตัวอย่างจะมีหัววัดสัญญาณ (detector) ติดตั้งไว้เพื่อนำสัญญาณ BE นี้ไปสร้างเป็นสัญญาณภาพแสดงผลบนจอ CRT

การชนแบบไม่ยืดหยุ่น (inelastic scattering)

ในกรณีการชนแบบไม่ยืดหยุ่นอิเล็กตรอนปฐมภูมิจะถ่ายโอนพลังงานจลน์ให้กับอิเล็กตรอนของสารตัวอย่างและทำให้อะตอมของสารตัวอย่างที่อยู่ในระดับลึกจากผิวตัวอย่างได้รับอันตรกิริยาที่แตกต่างกันซึ่งหลังจากการชนชนิดนี้จะกำเนิดสัญญาณหลายชนิดหลังจากการชนชนิดนี้ เช่น อิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electrons) ออเจิอิเล็กตรอน (Auger electrons) รังสีเอกซ์เฉพาะธาตุ (characteristic X-ray) รังสีเอกซ์ชนิดต่อเนื่อง (continuum x-rays, Bremsstrahlung) การเรืองแสงคาโทด (Cathodo luminescence) เป็นต้น จะเห็นว่าการชนในลักษณะนี้จะเกิดสัญญาณหลายชนิด โดยแต่ละชนิดก็จะบ่งบอกองค์ประกอบของตัวอย่างที่แตกต่างออกไปทั้งลักษณะของภาพจากสัญญาณ SE จนถึงการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (qualitative) และปริมาณ (quantitative) ของธาตุในสารตัวอย่างจากสัญญาณของรังสีเอกซ์อันจะทำให้ทราบชนิดและปริมาณของธาตุในตัวอย่างนั้น ๆ

อิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron)

การถ่ายโอนพลังงานจากอิเล็กตรอนปฐมภูมิของสารตัวอย่างไปยังบริเวณชั้นอิเล็กตรอนหรืออิเล็กตรอนของสารตัวอย่างได้รับพลังงานสูงขึ้นกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอะตอม อิเล็กตรอนจึงหลุดออกจากอะตอมกลายเป็นอิเล็กตรอนทุติยภูมิ ซึ่งสัญญาณชนิดนี้มีความสำคัญมากในการศึกษาลักษณะพื้นผิวของสารตัวอย่าง ซึ่งจะใช้ภาพของสัญญาณ SE เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้โอกาสในการเกิดสัญญาณ SE ยังขึ้นอยู่กับความลึกที่อิเล็กตรอนปฐมภูมิจะสามารถเคลื่อนผ่านลงไปในเรื่องของสารตัวอย่าง ซึ่งถ้าความลึกของอิเล็กตรอนปฐมภูมิมิค่ามากโอกาสที่จะเกิด SE นั้นก็จะน้อยลง หมายถึง สัญญาณ SE ที่หลุดออกมาจากสารตัวอย่างส่วนใหญ่จะออกมาจากบริเวณผิวของสารตัวอย่าง ทั้งนี้สามารถอธิบายได้จากสัญญาณ SE เป็นอิเล็กตรอนที่มีพลังงานต่ำ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนปฐมภูมิลงไปกระตุ้นอะตอมของตัวอย่างในบริเวณลึกจากผิวของสารตัวอย่าง โอกาสที่

SE จะหลุดออกมาจากชั้นที่อยู่ในระดับลิ้นนั้นมีน้อยเพราะสัญญาณ SE จะถูกดูดกลืนโดยอะตอมบนผิวก่อนที่จะเล็ดลอดออกมา

รังสีเอกซ์

รังสีเอกซ์ที่เกิดจากการกระตุ้นโดยอิเล็กตรอนปฐมภูมิแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ รังสีเอกซ์ชนิดต่อเนื่องและรังสีเอกซ์เฉพาะธาตุ

รังสีเอกซ์ชนิดต่อเนื่องเกิดจากอิเล็กตรอนปฐมภูมิทำอันตรกิริยากับอะตอมที่บริเวณสนามคูลอมบ์ใกล้นิวเคลียสเกิดการเปลี่ยนทิศทางและสูญเสียพลังงานอย่างรวดเร็วจึงคายพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic field) ซึ่งจะมีพลังงานตั้งแต่ค่าสูงสุดของพลังงานอิเล็กตรอนปฐมภูมิก่อนทำอันตรกิริยาถึงค่าพลังงานของอิเล็กตรอนปฐมภูมิหลังทำอันตรกิริยาสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ (กรณี $E_0 > E_1$)

$$E_0 - E_1 = \Delta E = h\nu \tag{2.24}$$

- เมื่อ E_0 คือ พลังงานของอิเล็กตรอนปฐมภูมิก่อนทำอันตรกิริยา
- E_1 คือ พลังงานของอิเล็กตรอนปฐมภูมิหลังทำอันตรกิริยา
- h คือ ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck constant)
- ν คือ ความถี่ของรังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้น

รังสีเอกซ์เฉพาะธาตุเกิดจากอิเล็กตรอนปฐมภูมิทำอันตรกิริยากับอะตอมบริเวณชั้นโคจรของอิเล็กตรอนของอะตอม ถ้าอิเล็กตรอนในชั้นโคจรใดได้รับพลังงานสูงกว่าแรงยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในชั้นโคจรนั้นก็หลุดออกจากวงโคจร ทำให้เกิดช่องว่างขึ้นในอะตอม ดังนั้นอิเล็กตรอนในวงโคจรถัดไปก็จะเข้ามาแทนที่ แต่เนื่องจากอิเล็กตรอนในวงโคจรนอกจะมีพลังงานมากกว่า จึงต้องลดระดับพลังงานโดยคายพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่นอิเล็กตรอนปฐมภูมิทำอันตรกิริยากับวงโคจรชั้น K แล้วอิเล็กตรอนในชั้น L ก็เข้ามาแทนที่พร้อมทั้งคายพลังงานออกมา ซึ่งพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปลดปล่อยมานี้จะเป็นพลังงานเฉพาะระดับชั้นโคจร (electron shell) ของอิเล็กตรอนจากธาตุนั้นจึงเรียกคลื่นแม่เหล็กชนิดนี้ว่ารังสีเอกซ์เฉพาะธาตุ

เนื่องจากระดับพลังงานในชั้นโคจรของอิเล็กตรอนสำหรับแต่ละธาตุนั้นมีค่าไม่เท่ากันจึงสามารถนำความแตกต่างของระดับพลังงานเป็นตัวจำแนกชนิดของธาตุที่มีอยู่ในตัวอย่างซึ่งเป็นการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ และนอกจากนั้นความเข้มของรังสีเอกซ์บ่งบอกถึงปริมาณของธาตุในเนื้อตัวอย่างได้อีกด้วย ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ

ออเจิลีคตรอน (auger electron)

ออเจิลีคตรอนเกิดจากอิเล็กตรอนปฐมภูมิตกกระทบตัวอย่างและเหนี่ยวนำให้เกิดรังสีเอกซ์เฉพาะธาตุของชั้นโคจรใด ๆ รังสีเอกซ์ที่ปลดปล่อยจากอันตรกิริยานี้มีโอกาสถ่ายโอนพลังงานให้กับอิเล็กตรอนชั้นโคจรถัดออกไปทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจร ซึ่งการวิเคราะห์พลังงานออเจิลีคตรอนนี้มีประโยชน์ในการวิเคราะห์พื้นผิวของตัวอย่าง เช่น การวัดปริมาณของธาตุที่จับอยู่บนผิวที่บางมาก

การเรืองแสงคาโทด

เป็นลักษณะเรืองแสงจากตัวอย่างซึ่งแสงที่เรืองนี้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงที่ตามองไม่เห็นเกิดจากอะตอมของตัวอย่างได้รับพลังงานจากอิเล็กตรอนปฐมภูมิทำให้อิเล็กตรอนในวงโคจรชั้นนอกถูกกระตุ้นและเมื่อกลับเข้าสู่ภาวะปกติอิเล็กตรอนจะคายพลังงานออกมาในลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเนื่องจากสภาวะกระตุ้นสภาวะปกติมีช่วงพลังงานไม่ห่างกันมากเมื่อคายพลังงานออกมาแล้วทำให้ความถี่หรือความยาวคลื่นอยู่ในช่วงที่ตามองเห็นได้

การกำเนิดภาพของสัญญาณอิเล็กตรอนทุติยภูมิ

เมื่ออิเล็กตรอนจากขดลวดฟิลาเมนต์ (filament) ถูกควบคุมให้เป็นลำอิเล็กตรอนและโฟกัสด้วยเลนส์แม่เหล็กลงบนผิวของตัวอย่างและลำอิเล็กตรอนจะถูกควบคุมโดยชุดขดลวดสนามแม่เหล็กซึ่งเป็นขดลวดที่สร้างสนามแม่เหล็กเพื่อควบคุมการกราดของลำอิเล็กตรอน ไปบนผิวของสารตัวอย่าง ซึ่งการกราดบนผิวของสารตัวอย่างนี้จะทำให้ได้สัญญาณต่าง ๆ สัญญาณควบคุมการกราดบนพื้นผิวนี้อาจทำงานเข้าจังหวะกับชุดควบคุมการแสดงผลการสแกนของจอภาพ CRT จุดต่อจุดและเส้นต่อเส้นในขณะเดียวกันสัญญาณอิเล็กตรอนจะถูกนำไปควบคุมปริมาณความมืด-สว่างบนจอ CRT เกิดเป็นภาพขึ้นตามระนาบการกราดของอิเล็กตรอนใน SEM เนื่องจากพื้นที่แสดงจอภาพ CRT ใหญ่กว่าพื้นที่สแกนบนผิวของตัวอย่างโดยลำอิเล็กตรอนใน SEM ดังนั้นจึงสามารถหาความสัมพันธ์เพื่อหาค่ากำลังขยายของภาพได้ดังนี้

$$\text{กำลังขยาย} = \frac{\text{พื้นที่บน CRT}}{\text{พื้นที่ของการกราดบนสารตัวอย่างของลำอิเล็กตรอน}}$$

ชุดของขดลวดสนามแม่เหล็กเป็นตัวควบคุมพื้นที่ของการกราดบนตัวอย่างของลำอิเล็กตรอนและนอกจากควบคุมพื้นที่ในการกราดแล้วยังควบคุมความเร็วในการกราดอีกด้วย โดยที่ลักษณะของความเร็วในการกราดนี้จะทำให้ภาพออกมามีความละเอียดแตกต่างกัน ถ้าเราใช้ความเร็วในการกราดมีความเร็วสูงเราจะได้ภาพที่มีความละเอียดต่ำกว่าใช้ความเร็วในการกราดต่ำ

2.7 การเตรียมฟิล์มบาง[23-24, 29-31, 37-39]

เทคนิคการเตรียมฟิล์มบางในปัจจุบันมีหลายวิธีที่นิยมใช้กัน โดยเราสามารถแบ่งตามลักษณะการเตรียมได้ดังนี้

1. กระบวนการเตรียมฟิล์มบางในระบบสุญญากาศ (vacuum processes)

- การระเหยสารเคมีในสุญญากาศ (Evaporation, PVD, TE)
- เทคนิคผนังร้อน (Hot wall technique, HWT)
- การระเหิดในระยะประชิด (Close spaced sublimation, CSS)
- สเป็คเตออร์ (Sputter deposition, SD)

2. กระบวนการเตรียมฟิล์มที่ได้จากปฏิกิริยาเคมีจากสถานะแก๊ส (Processes with chemical reactions from the gas phase)

- ซีวีดี (Chemical vapour deposition, CVD)
- พลาสมาซีวีดี (Plasma enhanced CVD, PECVD)
- เอ็ม โอซีวีดี (Metal-organic CVD, MOCVD)
- ซีเอสวีที (Close spaced vapour transport, CSVT)

3. เทคนิคการเตรียมอื่น ๆ (Other techniques)

- การพ่นละอองสารเคมี (Spray pyrolysis, SPL)
- การอบสารละลายเคมี (Chemical bath deposition, CBD)
- การเตรียมโดยวิธีไฟฟ้าเคมี (Electrodeposition, ED)
- เตรียมฟิล์มโดยทำให้เป็นชั้น ๆ ของสาร (Stacked layer reaction, SLR)
- วิธีการพิมพ์สกรีน (Screen printing and sintering, SP)

ในงานวิจัยนี้เราเลือกใช้กระบวนการเตรียมฟิล์มบางในระบบสุญญากาศ โดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ (Thermal Evaporation Method: TE) เนื่องจากฟิล์มที่เตรียมได้ มีคุณภาพดี เหมาะสำหรับนำมาศึกษาสมบัติพื้นฐานของฟิล์มบาง

2.7.1 การเตรียมฟิล์มบางโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ

เทคนิคการเตรียมฟิล์มบางโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศนั้น เป็นวิธีการเตรียมฟิล์มบางวิธีหนึ่งของการเตรียมฟิล์มบางด้วยวิธีการระเหยสาร ซึ่งต้องเตรียมในสุญญากาศที่ระดับความดันประมาณ 10^{-5} - 10^{-7} ทอร์ วัตถุประสงค์ของการเตรียมฟิล์มบางด้วยวิธีนี้

คือ การควบคุมการเคลื่อนย้ายอะตอมจากแหล่งกำเนิดความร้อนไปยังฐานรองรับที่ห่างออกไปแล้ว เกิดเป็นฟิล์มบาง

2.7.1.1 อัตราการระเหยสาร [37]

จากการทดลองของ Hertz และ Knudsen พบว่าอัตราการไหลของอะตอมหรือโมเลกุล ในสุญญากาศ จากแหล่งกำเนิดความร้อน (heat source) คือ

$$\Phi_e = \frac{3.513 \cdot 10^{22}}{(MT)^{1/2}} P_e \quad \text{โมเลกุลต่อตารางเซนติเมตร-วินาที} \quad (2.25)$$

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

อัตราการระเหยมวลสาร (mass evaporation rate : Γ_e) สามารถหาได้จาก

$$\Gamma_e = 5.84 \cdot 10^{-2} (M/T)^{1/2} P_e \quad \text{กรัมต่อตารางเซนติเมตร-วินาที} \quad (2.26)$$

ที่ความดัน 10^{-2} ทอร์ ค่าของ Γ_e ในธาตุจำนวนมากจะมีค่าประมาณ 10^{-4} กรัมต่อตารางเซนติเมตร-วินาที ดังนั้นสิ่งที่มีอิทธิพลต่ออัตราการระเหยสาร คือ อุณหภูมิเพราะมีผลกระทบอย่างมากต่อความดันสมดุล

2.7.1.2 ความดันไอของธาตุ (vapor pressure of the elements)

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความดันไอ แสดงได้ดังสมการ

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta H(T)}{T\Delta V} \quad (2.27)$$

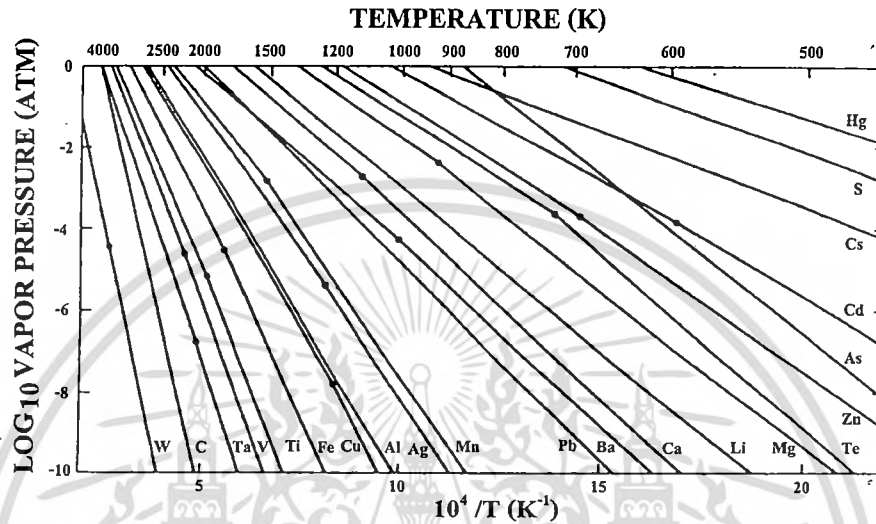
ถ้าให้ ΔV มีค่าเท่ากับปริมาตรของไอ (V_v) และเมื่อแก๊สนี้เป็นแก๊สในอุดมคติแล้ว V_v จะมีค่าเป็น RT/P ดังนั้น เขียนสมการที่ (2.27) ใหม่ได้เป็น

$$\frac{dP}{dT} = \frac{P\Delta H(T)}{RT^2} \quad (2.28)$$

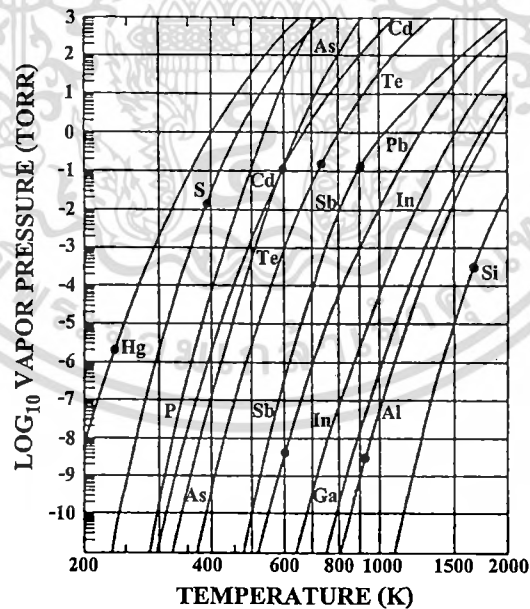
ถ้าประมาณให้ $\Delta H(T)$ มีค่าเท่ากับ ΔH_e (ความร้อนของสารในการระเหย) ในกรณีนี้ จะได้

$$\ln P \cong -\frac{\Delta H_e}{RT} + I \quad \text{หรือ} \quad P = P_0 \exp -\frac{\Delta H_e}{RT} \quad (2.29)$$

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



ภาพที่ 2.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอของธาตุต่างๆ กับส่วนกลับของอุณหภูมิสัมบูรณ์



ภาพที่ 2.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอของธาตุต่างๆ กับอุณหภูมิองศาสัมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1.3 การระเหยสารประกอบ (evaporation of compound)

เนื่องจากสารประกอบจะมีไอออนขนาดใหญ่กว่าโลหะ ดังนั้นเมื่อสารประกอบระเหิดกลายเป็นไอแล้ว ส่วนประกอบของไอจะต่างไปจากสารตั้งต้นที่เป็นของแข็งหรือของเหลว ตัวอย่างเช่น การระเหยสารประกอบกึ่งตัวนำหมู่ II-VI ได้แก่ CdS, CdTe และ CdSe เป็นต้น เมื่อระเหยเป็นไอจะเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวออก (dissociation) ดังนี้ $MX_{(s)} \rightarrow M_{(g)} + \frac{1}{2}X_{2(g)}$ โดยที่ X คือ S, Te และ Se และเมื่อเกาะลงบนผิวของฐานรองรับแล้วจะทำการจัดรูปแบบใหม่เป็น $MX_{(s)}$ เหมือนเช่นเดียวกับสารตั้งต้นในการระเหย แสดงได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงปฏิกิริยาการระเหยสารประกอบ

ชนิดของปฏิกิริยา	ปฏิกิริยาทางเคมี	สารตัวอย่าง
การระเหยโดยไม่มีการแตกตัว	$MX(s \text{ หรือ } l) \rightarrow MX(g)$	SiO, GeO, SnO, AlN, CaF ₂ , MgF ₂
การแยกส่วนประกอบ	$MX(s) \rightarrow M(s) + 1/2 X_2(g)$	Ag ₂ S, Ag ₂ Se
	$MX(s) \rightarrow M(l) + 1/n X_n(g)$	สารกึ่งตัวนำกลุ่ม III-IV
การระเหยโดยการแตกตัว	$MX(s) \rightarrow M(g) + 1/2 X_2(g)$	
(ก) ซาล์โคจีไนต์	X = S, Se, Te	CdS, CdTe, CdSe
(ข) ออกไซด์	$MO_2(s) \rightarrow MO(s) + 1/2 O_2(g)$	SiO ₂ , GeO ₂ , TiO ₂ , SnO ₂ , ZrO ₂

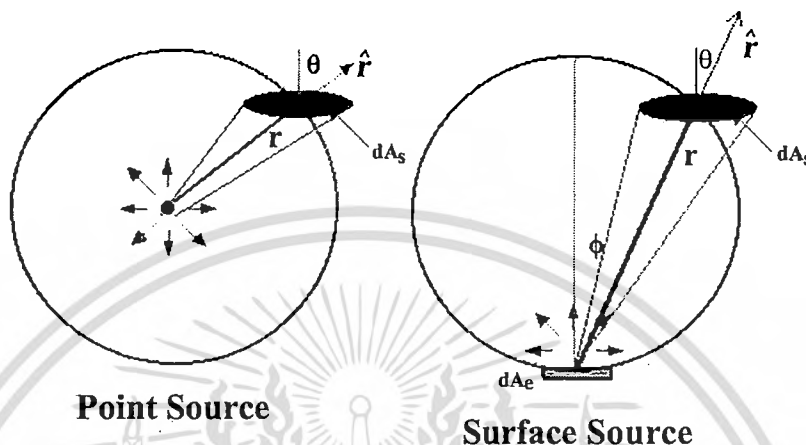
M = โลหะ X = อโลหะ

2.7.1.4 อิทธิพลของโครงสร้างเชิงเรขาคณิตต่อการระเหยสาร (deposition geometry)

การเตรียมฟิล์มบางนั้นจะต้องพิจารณาประเภทของแหล่งกำเนิดสารที่ใช้ในการระเหย รวมถึงฐานรองรับที่อะตอมของสารจะมาตกกระทบด้วย สมมติว่าการระเหยสารเกิดขึ้นในระบบการไหลของโมเลกุล พิจารณาการระเหยสารจากแหล่งกำเนิดแบบจุด (point source) มวลรวมของสารจากการระเหย (total evaporation mass : \bar{M}_e) สามารถวัดได้จากน้ำหนักของสารก่อนและ

หลังระเหยแต่เมื่อพิจารณาแหล่งกำเนิดจากพื้นผิว (surface source) มวลรวมของสารจากการระเหย จะหาได้จาก

$$\bar{M}_e = \int_0^t \int_{A_e} \frac{M}{N_A} \Phi_e dA_e dt = \int_0^t \int_{A_e} \Gamma_e dA_e dt \quad (2.30)$$



ภาพที่ 2.18 แสดงรูปแบบการระเหยของสาร

โดยที่ A_e คือ พื้นผิวของสารที่ใช้ระเหย ปริมาณของมวล $d\bar{M}_s$ ที่ตกลงบนฐานรองเป็นพื้นที่ dA_s จากภาพที่ 2.18 dA_c คือ พื้นผิวของทรงกลม จะได้ว่า $dA_c = dA_s \cos \theta$ ดังนั้น จะมีค่าเป็น

$$d\bar{M}_s = dA_s \left(\frac{\bar{M}_e \cos \theta}{4\pi r^2} \right) \quad (2.31)$$

เมื่อ r คือ ระยะระหว่างแหล่งกำเนิดถึงฐานรอง

เมื่อพิจารณาการระเหยสารจากแหล่งกำเนิดที่มีผิวเรียบมวลตกกระทบบนพื้นที่เล็กน้อย dA_c โดยทำมุมกับพื้นผิวแหล่งกำเนิด ϕ และอยู่ห่างเป็นระยะ r จะได้

$$d\bar{M}_s(\phi, r) = (\cos \phi) d\bar{M}_s(0, r) dA_c$$

แฟกเตอร์ $\cos \phi$ เป็นฟังก์ชันของ ϕ เรียกว่า การกระจายของฟลักซ์แบบโคไซน์ (cosine flux distribution) เป็นผลมาจากระบบการไหลของโมเลกุลเพื่อประมาณค่า $\frac{d\bar{M}_s(\phi, r)}{dA_c}$ ทำการอินทิเกรตตลอดครึ่งทรงกลมรัศมี r จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\bar{M}_e = \int_0^{\pi/2} \left(\frac{d\bar{M}_s(0,r)}{dA_c} \right) (\cos \phi) 2\pi (\sin \phi) r d\phi$$

จากการประมาณค่าอินทิเกรตข้างต้นจะพบว่า

$$\frac{d\bar{M}_s(0,r)}{dA_c} = \frac{\bar{M}_e}{\pi^2}$$

ดังนั้น

$$\frac{d\bar{M}_s(\phi,r)}{dA_c} = \frac{\bar{M}_e}{\pi^2} \cos \phi$$

จาก

$$dA_c = dA_s \cos \theta$$

จะได้

$$\frac{d\bar{M}_s(\phi,\theta,r)}{dA_s} = \frac{\bar{M}_e \cos \phi \cos \theta}{\pi^2} \quad (2.32)$$

และสามารถเขียนเป็นสมการทั่วไปได้ดังนี้ คือ

$$\frac{d\bar{M}_s(\phi,\theta,r)}{dA_s} = \bar{M}_e \frac{(n+1) \cos^n \phi \cos \theta}{2\pi^2} \quad (n \geq 0) \quad (2.33)$$

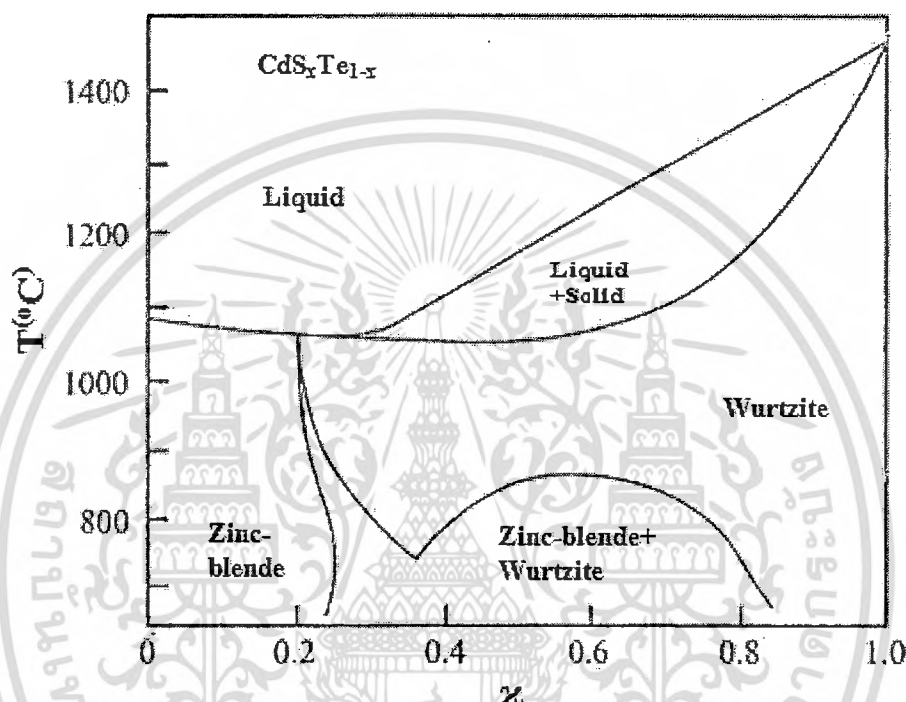
เมื่อ $n=1$ สมการนี้จะเป็นการกระจายของฟลักซ์แบบโคซายน์ ถ้า $n > 1$ อธิบายได้ว่า มีทิศทางของฟลักซ์หลายทิศทาง (more forward directed) หรือถ้า $n < 1$ จะเกิดการกระจายแบบเดียวกัน (more uniform distribution) และสำหรับ $n = 0$ การกระจายของฟลักซ์จะเหมือนแหล่งกำเนิดแบบจุด

2.8 เฟสไดอะแกรมของฟิล์มบางของอัลลอยด์ของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} [40–47]

อัลลอยด์ของสารกึ่งตัวนำ CdS และ CdTe มีโครงสร้างผลึกเป็นได้ทั้งแบบซิงค์เบลนด์และแบบเวิร์ทไซท์ ในยุคแรก การเตรียมผลึกเดี่ยวของอัลลอยด์ของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} ทุกองค์ประกอบของ x ตั้งแต่ 0 ถึง 1 ไม่ประสบความสำเร็จเนื่องจากช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ CdS ($E_g = 2.42$ อิเล็กตรอนโวลต์) กับ CdTe (1.50 อิเล็กตรอนโวลต์) แตกต่างกันมาก แต่เมื่อนานมานี้ โอฮาตะและเพื่อนร่วมงาน [47] ได้ทำการศึกษาสมบัติของอัลลอยด์ของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} ตลอดทุกองค์ประกอบของ x และพบว่าโครงสร้างเปลี่ยนจากโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์เป็นโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์ที่ $x \sim 0.2$ จากนั้นวูดและเพื่อนร่วมงาน [42]

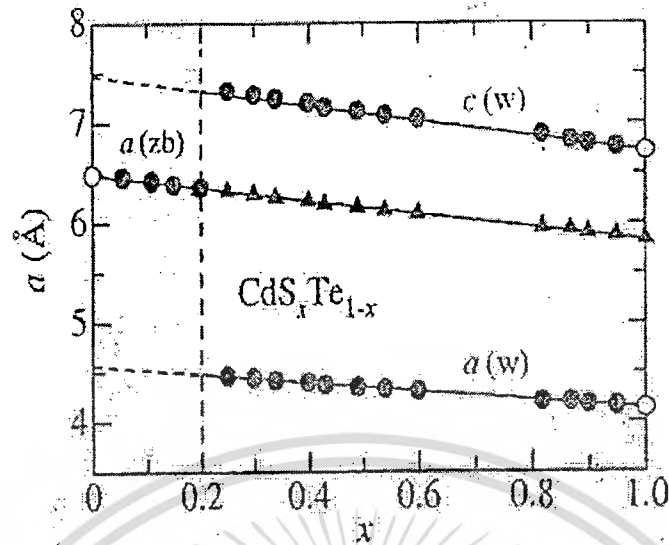
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการศึกษาการปลดปล่อยรังสีเอกซ์ โดยการเหนี่ยวนำด้วยอนุภาค (particle-induced X-ray emission, PIXE) และการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ซึ่งยืนยันว่า อัลลอยด์ของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ มีโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์ที่ $x \leq 0.2$ และจะมีโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์เมื่อ $x \geq 0.25$ ภาพที่ 2.19 แสดงให้เห็นถึงเฟสไดอะแกรมของระบบผลึกของอัลลอยด์ของสารกึ่งตัวนำ CdS และของสารกึ่งตัวนำ CdTe



ภาพที่ 2.19 แสดงเฟสไดอะแกรมของระบบผลึกของอัลลอยด์ของสารกึ่งตัวนำ CdS-CdTe

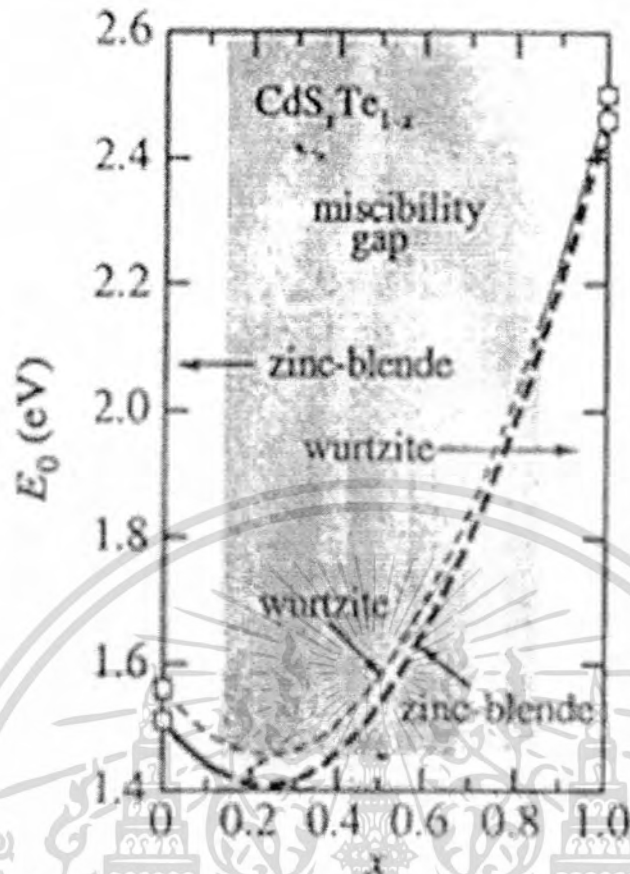
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของโครงผลึก a และ c กับองค์ประกอบ x ของผลึกเดี่ยว อัลลอยด์ของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ ที่ศึกษาโดยวูดและเพื่อนร่วมงาน (Wood, 1999) จากวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จะแสดงคั่งรูปที่ 2.42 การเปลี่ยนเฟสจะเกิดขึ้นเมื่อ $x \sim 0.2$ สัญลักษณ์รูปสามเหลี่ยมทึบ จะแสดงค่าคงที่โครงผลึกยังผล $a_{eff} = (\sqrt{3}a^2c)^{1/3}$ ซึ่งนิยามโดยอะคาชิ [40-41] จากภาพที่ 2.20 สามารถสรุปได้ว่า ค่าคงที่โครงผลึกทั้งโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์และโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์สอดคล้องกับกฎของเวการ์ด์ (Vegard's law) ได้เป็นอย่างดี ถ้าเราใช้ค่าคงที่โครงผลึกยังผล a_{eff} แทนค่า a และ c ของเฟสที่มีโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์ ($0.2 \leq x \leq 1.0$) แล้วอัลลอยด์ของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ จะได้ a_{eff} กับ x มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นตลอดช่วง ($0 \leq x \leq 1.0$)



ภาพที่ 2.20 แสดงค่าคงที่ของโครงผลึก a และ c ที่สัมพันธ์กับ x ของอัลลอยด์ของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ ทั้งโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์และโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์ที่อุณหภูมิ 300 เคลวิน

จากเฟสไดอะแกรมในภาพที่ 2.19 ในช่วงอุณหภูมิต่ำ เมื่อความเข้มข้นของอะตอม S มีค่าต่ำ อัลลอยด์ของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ จะมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบซิงค์เบลนด์ แต่เมื่อความเข้มข้นของ S มีค่าสูงแล้วโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์ บริเวณโครงสร้างผลึกซิงค์เบลนด์กับบริเวณโครงสร้างผลึกเวิร์ทไซท์จะถูกคั่นด้วยเฟสผสมที่เป็นทั้งโครงสร้างผลึกซิงค์เบลนด์และโครงสร้างผลึกเวิร์ทไซท์ ดังนั้นในทางปฏิบัติมักจะวัดขอบการดูดกลืนแสงได้สองค่าเสมอ ซึ่งขอบการดูดกลืนแสงค่าพลังงานต่ำจะสอดคล้องกับเฟสของโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์ ส่วนขอบการดูดกลืนแสงค่าพลังงานสูงจะสอดคล้องกับเฟสของโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์ ซึ่งความเข้มข้นของขอบการดูดกลืนแสงจะสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเนื้อสารในแต่ละเฟส

โอสาคะและเพื่อนร่วมงาน [47] ได้ทำการศึกษาหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) ของอัลลอยด์ของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ ขององค์ประกอบ $0 \leq x \leq 1$ ภาพที่ 2.21 แสดงค่า $E_g(x)$ ของโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์และโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์จะเป็น $1.5+0.085x+1.80x^2$ และ $1.560+0.859x+1.80x^2$ ตามลำดับ โดยที่พารามิเตอร์โบวิง (bowing parameter) มีค่าประมาณ 1.80 อิเล็กตรอนโวลต์ ทั้งโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์และโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์



ภาพที่ 2.21 แสดงค่าช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มบางของอัลลอยด์ของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

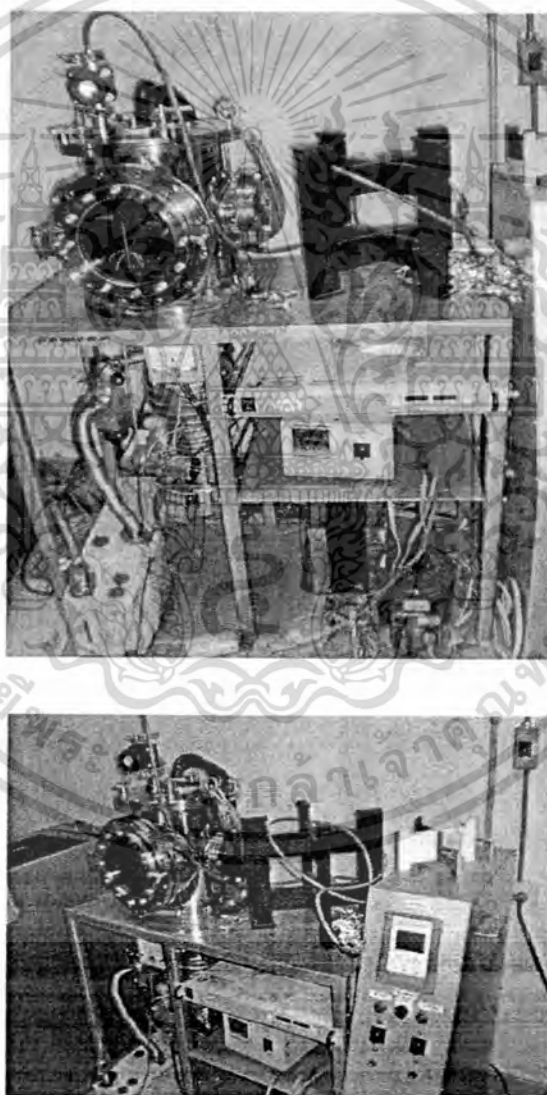
โครงการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์และทำการเตรียมฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ โดยที่มีค่าสัดส่วนผสมของโมลอะตอม $(x) = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ และ 1.0 ตามลำดับ ลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ ต่อจากนั้นเราจะศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ต่างๆ ของฟิล์มบางที่เตรียมได้ทั้งหมด ทั้งในกรณีที่ไม่มีการแอนนیلและมีการแอนนیلที่อุณหภูมิ $100 - 500$ องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที ได้แก่ ศึกษาลักษณะของโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ และศึกษาลักษณะของโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ศึกษาการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำเพื่อหาลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำและคำนวณหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน วัดความต้านทานแผ่นของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำโดยวิธีสองขั้วทั้งในกรณีที่ไม่มีกระแสแสงและมีการฉายแสงเพื่อศึกษาการตอบสนองต่อแสงของฟิล์มบาง นอกจากนี้ยังทำการวัดความต้านทานแผ่นที่อุณหภูมิสูงในช่วงอุณหภูมิ $100 - 500$ องศาเซลเซียส เพื่อหาค่าพลังงานกระตุ้น (activation energy)

3.1 ระบบการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ [23, 24, 29, 30, 31, 37]

ในการเตรียมฟิล์มบางด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ สิ่งที่ทำเป็นที่สุดก็คือระบบการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ โดยองค์ประกอบของระบบการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศประกอบด้วย

1. ภาชนะสุญญากาศทำหน้าที่เป็นห้องสุญญากาศให้แก่ระบบระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ
2. เบ้าหลอมสาร ทำหน้าที่รองรับและให้ความร้อนแก่อะตอมของสารเคมีที่ใช้ในการระเหย
3. แผ่นฐานรองรับมักเป็นกระจกสไลด์ ทำหน้าที่รองรับไอของสารเคมีที่ระเหยขึ้นมาเกาะติดเป็นฟิล์มบาง
4. ชัตเตอร์ ทำหน้าที่ปิดกั้นไอระเหยของสารเคมี
5. หม้อแปลงโวลต์ต่ำกระแสสูง ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้แก่เบ้าหลอมสารเคมี เพื่อใช้ในการระเหยซึ่งเป็นแบบที่ให้เอาท์พุทเป็นแรงดันต่ำ แต่จะให้กระแสสูง

6. แวริแอก ทำหน้าที่ควบคุมกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงโวลต์ต่ำกระแสสูง
7. เกจวัดความดัน ทำหน้าที่วัดความดันในระบบสุญญากาศ
8. บีม์พัสทโรตารี ทำหน้าที่ลดความดันในระบบขั้นต้น สามารถลดความดันได้ต่ำสุดประมาณ 10^{-2} ถึง 10^{-3} มิลลิบาร์
9. บีม์พัสทไฟวชัน ทำหน้าที่ลดความดันในภาชนะ โดยทำงานร่วมกับบีม์พัสทโรตารี สามารถลดความดันได้ต่ำสุดประมาณ 10^{-5} มิลลิบาร์
10. เครื่องทำความเย็น ทำหน้าที่ให้ความเย็นแก่บีม์พัสทไฟวชันเพื่อระบายความร้อนให้กับไอน้ำมัน



- ภาพที่ 3.1 แสดงภาพถ่ายของระบบการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเตรียมแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ [23, 24, 29,30, 31,37]

การเตรียมแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์มีขั้นตอนในการเตรียมดังนี้

1. ทำความสะอาดแผ่นกระจกสไลด์ด้วยน้ำยาล้างจาน
2. นำแผ่นกระจกสไลด์ไปทำความสะอาดด้วยน้ำปอดคประจุที่ล้างด้วยระบบอัลตราโซนิกเป็นเวลา 10 นาที 3 ครั้ง
3. ล้างแผ่นกระจกสไลด์ด้วยอะซิโตน โดยระบบอัลตราโซนิก เป็นเวลา 10 นาที
4. ล้างแผ่นกระจกสไลด์ด้วยเอทานอล โดยระบบอัลตราโซนิก เป็นเวลา 10 นาที
5. นำแผ่นกระจกสไลด์ไปทำความสะอาดด้วยน้ำปอดคประจุที่ล้างด้วยระบบอัลตราโซนิกอีกครั้งเป็นเวลา 10 นาที 3 ครั้ง
6. นำแผ่นกระจกสไลด์ไปเป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์
7. บรรจุแผ่นกระจกสไลด์ในถุงเพื่อนำไปใช้สำหรับการเตรียมฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์โดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศต่อไป

3.3 การเตรียมสารตั้งต้นที่ใช้สำหรับการเตรียมฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ โดยที่ใช้อัตราส่วนผสมของสัดส่วนผสมของโมลอะตอมของ $(x) = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ และ 1.0 ลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ โดยวิธีการระเหยสารเคมี ด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ [23, 24, 29,30, 31,37]

ในการเตรียมสารตั้งต้นที่ใช้สำหรับการเตรียมฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ โดยที่ใช้อัตราส่วนผสมของสัดส่วนผสมของโมลอะตอมของ $(x) = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ และ 1.0 ลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ โดยวิธีการระเหยสารเคมี ด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ เราต้องเตรียมสารตั้งต้นที่เป็นผลึกของสารประกอบ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เป็นผลึกของสารประกอบ CdS ที่มีความบริสุทธิ์สูง 99.999 เปอร์เซ็นต์ และผลึกของสารประกอบ $CdTe$ ที่มีความบริสุทธิ์สูง 99.999 เปอร์เซ็นต์ ที่เตรียมได้โดยวิธีการดังนี้

1. ทำการบดผลึกของสารประกอบ CdS และสารประกอบ $CdTe$ ให้ละเอียด นำไปชั่งน้ำหนักตามอัตราส่วนที่คำนวณไว้ ดังตารางที่ 3.1
2. นำผลึกของสารประกอบ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมฟิล์มบางที่บดแล้วไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3. เมื่ออุณหภูมิของสารตั้งต้นเย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องแล้วจึงนำไปใส่ไว้ในภาชนะระเหยสารเคมี (boat) ที่อยู่ในระบบสุญญากาศต่อไป

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ โดยที่ใช้อัตราส่วนผสมของสัดส่วนผสมของโมลอะตอมของ $(x) = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ และ 1.0 ลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ โดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ

สัดส่วนผสมของโมลอะตอมของ(x)	ปริมาณสารตั้งต้น (ทั้งหมด 1 กรัม)	
	CdS (กรัม)	CdTe (กรัม)
0.0	-	1.0000
0.2	0.1307	0.8693
0.4	0.2863	0.7137
0.6	0.4744	0.5256
0.8	0.7065	0.2935
1.0	1.0000	-

หมายเหตุ : การนำสารตั้งต้นเข้าไปในระบบสุญญากาศไม่ควรมีความชื้น

3.4 วิธีการเตรียมฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์โดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ [23, 24, 29,30, 31,37] ระบบระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศแสดงในรูปที่ 3.1 โดยมีขั้นตอนในการเตรียมฟิล์มบาง ดังนี้

1. ทำความสะอาดระบบสุญญากาศโดยการกำจัดฝุ่นและสิ่งสกปรกต่างๆและคราบไขมันด้วยอะซิโตน
2. ทำการติดตั้งระบบต่างๆภายในระบบสุญญากาศให้เสร็จสมบูรณ์
3. นำแผ่นกระจกสไลด์ที่เตรียมเอาไว้แล้ว วางลงบนหน้ากอกซึ่งทำมาจากแผ่นอลูมิเนียม เจาะเป็นช่องตามแบบและขนาดที่ต้องการ

4. นำผงผลึกของสารตั้งต้นใส่ลงในภาชนะระเหยสารซึ่งเป็นโลหะทั้งสแตนหลังจากนั้นปิดฝาห้องสุญญากาศให้เรียบร้อย
5. เปิด TC POWER ON ที่หน้าปัดควบคุม
6. เปิด ROTARY ON และเปิด ROTARY PUMP
7. โยกคันโยกไปตำแหน่ง BACKING รอประมาณ 5 นาที จึงโยกมาที่ตำแหน่ง ROUGHING
8. รอความดันลดลงจนถึงประมาณ 2.8×10^{-2} มิลลิบาร์ จึงเปิด WATER PUMP ON
9. เปิด DIFFSTAK รอน้ำมันเดือดประมาณ 15 นาที
10. โยกคันโยกมาที่ตำแหน่ง BACKING
11. โยกคันโยก BUTTERFLY ไปด้านหลัง
12. รอความดันลดลงจนถึงประมาณ 2.8×10^{-5} มิลลิบาร์
13. จ่ายแรงดันให้กับระบบ 100 – 150 โวลต์ รอจนอุณหภูมิของแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์อยู่ที่ 90 – 95 องศาเซลเซียส
14. เริ่มจ่ายกระแสให้กับสารตั้งต้นประมาณ 95 – 120 แอมแปร์
15. เมื่อทำการระเหยเสร็จจึงค่อยๆ ปรับกระแสลงอย่างช้าๆ
16. รออุณหภูมิลดลงจนถึงประมาณ 70 องศาเซลเซียส แล้วจึงปิด DIFFATAK
17. รอ 15 นาทีแล้วโยก BUTTERFLY เข้าหาตัวโยก BACKING มาตำแหน่งตรงกลาง
18. ปิด ROTARY PUMP และ ROTARY OFF
19. ปิด WATER PUMP ON และปิด COMPRESSOR ON

3.5 วิธีการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์บางประการของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์โดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ [23, 24, 29,30, 31,37]

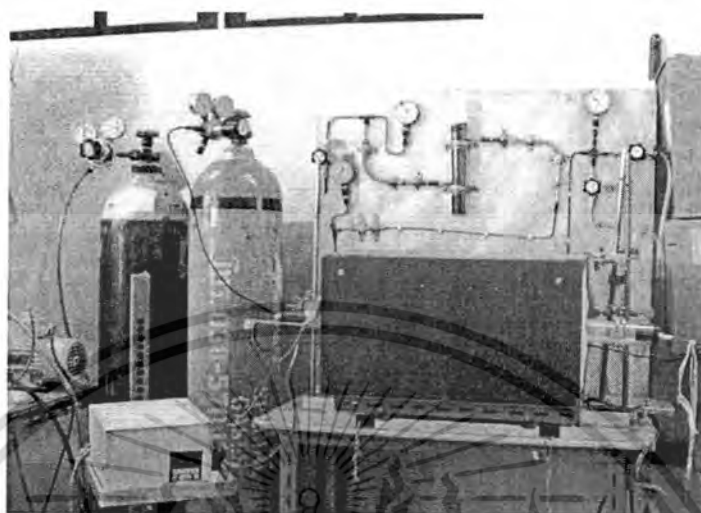
3.5.1 วิธีการแอนนีสล

เปิดวาล์วที่ถังก๊าซไนโตรเจนก่อนให้วาล์วละเอียดอยู่ที่ 100 กิโลปาสกาล

1. ตรวจสอบวาล์วหมายเลข 1, 2, 3 และ 4 ให้อยู่ในตำแหน่งปิด (ปิดไปทางขวามือ)

2. เสียบปลั๊กไฟปั๊มฟลูอิดอากาศเพื่อให้อุปกรณ์ทำงาน ตรวจสอบสายขั้วสายอากาศออกสู่ภายนอกห้อง จากนั้นจึงค่อยๆ เปิดวาล์วหมายเลข 4 ช้าๆ เพื่อทำการดูดอากาศออกแล้วจึงค่อยปิดวาล์วหมายเลข 4
3. เปิดวาล์วหมายเลข 1 ช้าๆ โดยให้สเกลใน G1 ไม่เกิน 4 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (Psi) (ไม่เช่นนั้น หลอดซีลิกาเจลจะระเบิดได้) ให้เปิดวาล์วหมายเลข 2 ต่อเนื่องทำให้สเกลใน G3 จะเพิ่มขึ้น
4. พยายามปรับวาล์วหมายเลข 1 ให้ก๊าซไนโตรเจนไหลช้าๆ โดยดูจากสเกล G3 จะเพิ่มขึ้นจนเต็มสเกล แล้วจึงปิดวาล์วหมายเลข 1 และ 2
5. ทำการดูดอากาศออกจากท่อแก้วโดยการเปิดวาล์วหมายเลข 4 จนสเกล G3 ลดลงต่ำสุด
6. ปิดวาล์วหมายเลข 4
7. เริ่มทำ 3, 4 และ 5 ช้าตามลำดับ อีก 2 ครั้ง เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มี ก๊าซออกซิเจนเหลืออยู่
8. ปิดวาล์วหมายเลข 4
9. เปิดวาล์วหมายเลข 1 และ 2 ให้ก๊าซไหลเข้าในท่อแก้วจนความดันในสเกล G3 เพิ่มขึ้น เกือบเป็นศูนย์ แล้วจึงเปิดวาล์วหมายเลข 3 ปล่อยให้ฟองอากาศผุดขึ้นมาอย่างช้าๆ ส่วนสเกล G1 ต้องไม่เกิน 4 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (Psi) ซึ่งจะค่อยๆ ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป
10. คอยตรวจสอบวาล์วหมายเลข 1 อย่างสม่ำเสมอเพื่อไม่ให้สเกล G1 เพิ่มขึ้นสูงเกินไป หรือ ลดต่ำลงจนเกินไป จากนั้นจึงทำการเพิ่มอุณหภูมิให้กับเตาตามต้องการ เพื่อเป็นการรักษาอุณหภูมิของเตาให้คงที่ จะต้องใช้เซรามิกส์ไฟเบอร์ (ceramic fiber) อุดที่หัวเตาและท้ายเตา เพื่อป้องกันการไหลของอากาศเย็นเข้าไปในเตา
11. กดปุ่ม โหมด ให้ไฟขึ้นที่ปุ่ม โหมด แล้วกดปุ่มขึ้นลงเพื่อทำการปรับอุณหภูมิตามที่ต้องการ
12. ใช้เวลาแอนนัล 30 นาที เมื่อครบแล้วให้ปิดสวิทช์ของแหล่งจ่ายไฟ แล้วเอาเซรามิกส์ไฟเบอร์ออก (ในขั้นตอนนี้ควรสวมถุงมือและหน้ากาก เพื่อความปลอดภัยจากเซรามิกส์ไฟเบอร์)
13. เมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ให้ทำการปิดวาล์วทุกตัวและเปิดจุกที่หัวท้ายเตาเอาสารตัวอย่างออก
14. เมื่อได้อุณหภูมิตามที่ต้องการ จึงเริ่มทำการจับเวลา 20 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่จะใช้ในการแอนนัล
15. ปิดสวิทช์ของแวนเอคไปที่เลขศูนย์
16. ถ้าอุณหภูมิต่ำที่ใช้ ในการแอนนัลมีค่าเท่ากับ 300, 400 และ 500 องศาเซลเซียส ต้องรอให้อุณหภูมิลดลงถึง 100 องศาเซลเซียส จึงจะสามารถปิดวาล์วที่บอร์ดทั้งหมด ปิดวาล์วละเอียด (สี่ค่า) และวาล์วหยาบ

17. จากนั้นรอให้เตาเย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง นำสารตัวอย่างออก

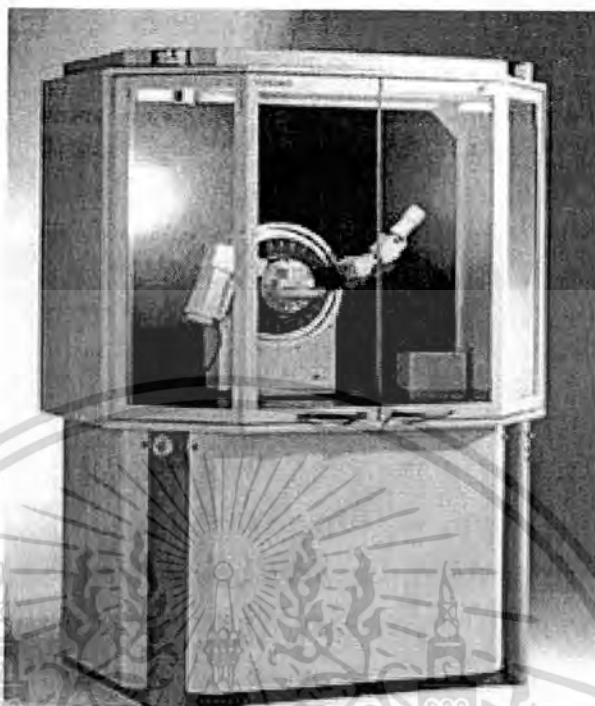


ภาพที่ 3.2 แสดงระบบเตาแอนนิตที่สามารถใช้งานได้ถึง 900 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์

3.5.2 การตรวจสอบลักษณะของโครงสร้างผลึกเชิงจุดภาคของฟิล์มบางโดยการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

ในการศึกษาโครงสร้างของผลึกเชิงจุดภาคของฟิล์มบางโดยการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ด้วยเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์ ยี่ห้อ Bruker รุ่น D8 Advance รังสีเอกซ์ย่าน Cu K_α มีความยาวคลื่น 1.5418 อังสตรอม ซึ่งใช้กระแส 30 มิลลิแอมป์ และความต่างศักย์ 25 กิโลโวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 แสดงภาพถ่ายเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ยี่ห้อ Bruker รุ่น D8 Advance

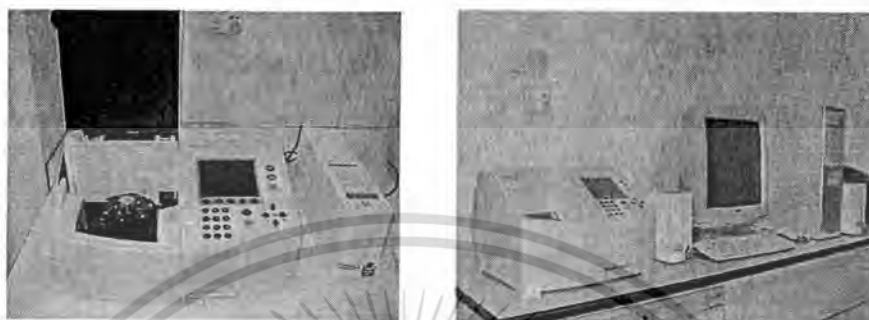
3.5.3 การศึกษาลักษณะของโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ในการศึกษาลักษณะของโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ยี่ห้อ JOEL รุ่น JSM-6400 ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ โดยที่มีค่าสัดส่วนผสมของโมลอะตอม $(x) = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ และ 1.0 ตามลำดับ ลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ ทั้งในกรณีที่ไม่มีการแอนนیلและมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ $100 - 500$ องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4 การวัดการส่งผ่านทางแสงโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ในการศึกษาการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางที่เตรียมได้นั้นด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Thermo electron corporation (He λ ions α) ช่วง 190-1100 นาโนเมตร



ภาพที่ 3.4 แสดงภาพถ่ายเครื่อง UV-VIS ยี่ห้อ Thermo electron corporation รุ่น He λ ions α

3.5.5 วิธีการวัดความต้านทานของฟิล์มบาง

1. นำฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 < x \leq 1.0)$ ทั้งในกรณีที่ไม่มีการแอนนีสและที่มีการแอนนีสที่ 100-500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที นำมาทำรอยต่อโดยใช้กาวเงินเต็มลงผิวหน้าของฟิล์มบางจำนวน 2 เส้นขนานกันเพื่อทำเป็นขั้วไฟฟ้า
2. ทำการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงไปที่กาวเงินทั้ง 2 เส้นจากนั้นวัดค่ากระแสที่แหล่งจ่ายไฟตรงให้กับวงจร
3. นำแผ่นชิ้นงานใส่กล่องโลหะเพื่อลดสัญญาณรบกวน แล้วบันทึกค่าความต่างศักย์ที่ ตกคร่อมขั้วทั้งสองพร้อมทั้งบันทึกค่ากระแสที่ไหลภายในวงจรกระแสที่วัดได้อยู่ในช่วง 10^{-7} - 10^{-8} แอมแปร์
4. เพิ่มแรงดันที่จ่ายให้กับวงจร พร้อมทั้งบันทึกค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงกับกระแส โดยทำการวัดค่าความต้านทานประมาณ 10 ค่า
5. ฉายแสงด้วยหลอดไฟชนิดฮาโลเจน ELH ขนาด 120 โวลต์ 300 วัตต์ ที่ค่าความเข้มแสงประมาณ 950 ลักซ์และ ทำการวัดค่าความต่างศักย์กับกระแส
6. ทำการเขียนกราฟระหว่างค่ากระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้า
7. จากความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสกับแรงดันไฟฟ้าสามารถหาค่าความต้านทานแผ่นได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_s = \frac{V(W)}{I(L)}$$

โดยที่ W คือ ความกว้างของฟิล์มบาง

L คือ ระยะห่างระหว่างขั้วทั้งสอง

$\frac{V}{I}$ คือ ความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดัน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าความต้านทานแผ่น

- อิเล็กทรอนิกส์ Keithley รุ่น 236
- ก่อออสซิลมิเตอร์
- หลอดฮาโลเจนชนิด ELH(120 โวลต์ , 300 วัตต์)



ภาพที่ 3.5 แสดงภาพถ่ายเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ Keithley รุ่น 236 และซอฟต์แวร์ที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

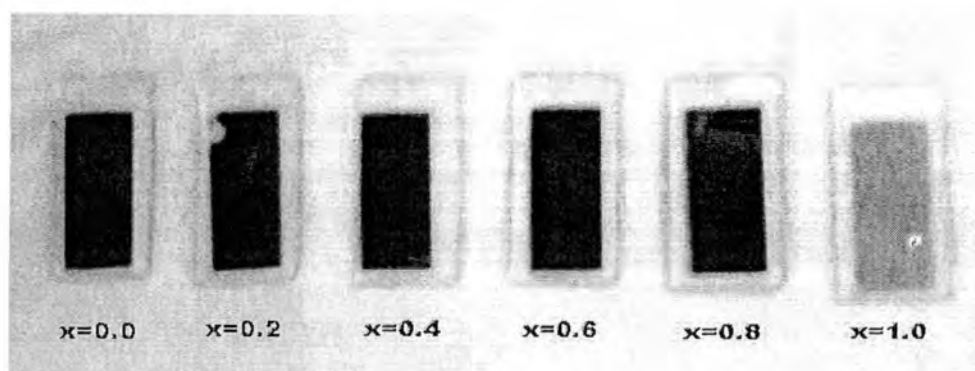
ในบทนี้จะกล่าวถึงสมบัติทางฟิสิกส์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนیلและมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

4.1 ฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนิลและมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

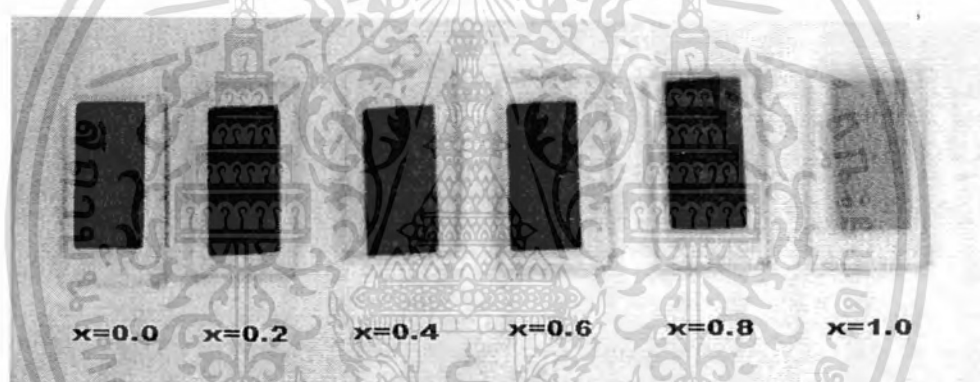
ฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนิลและมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที จะยึดติดกับกระจกสไลด์ได้ดี ฟิล์มมีสีดำโดยความเข้มของสีดำจะจางลงเมื่อสัดส่วนผสมของโมลของซัลเฟอร์มีค่าเพิ่มขึ้น ดังปรากฏในภาพที่ 4.1-4.6



ภาพที่ 4.1 แสดงฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนิล

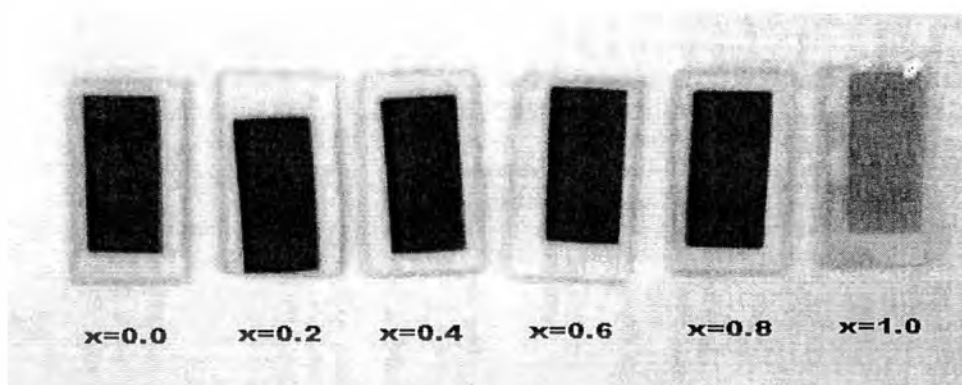


ภาพที่ 4.2 แสดงฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

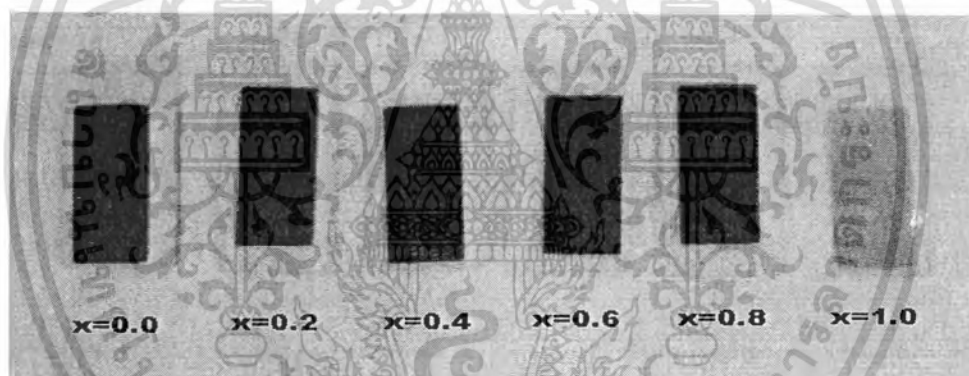


ภาพที่ 4.3 แสดงฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

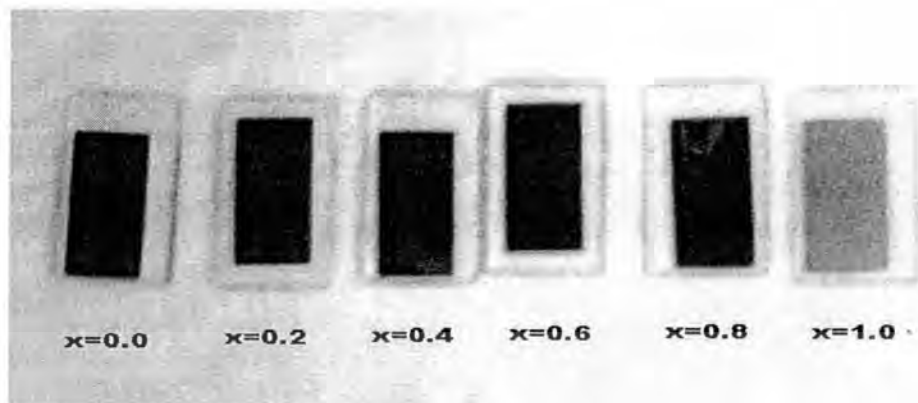


ภาพที่ 4.4 แสดงฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



ภาพที่ 4.5 แสดงฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

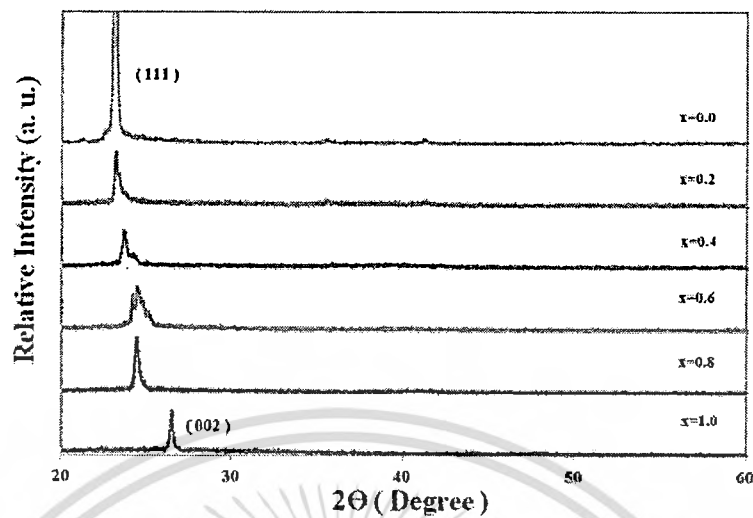
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



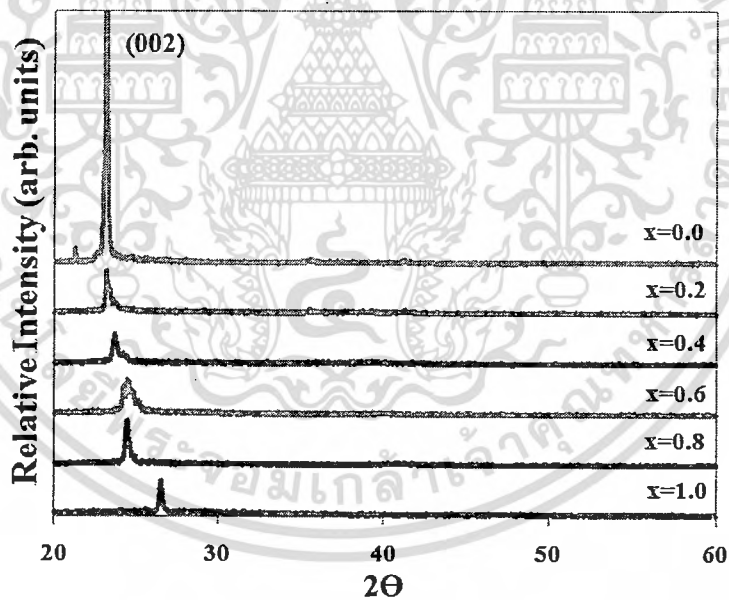
ภาพที่ 4.6 แสดงฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

4.2 ผลการศึกษาการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนีสและมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

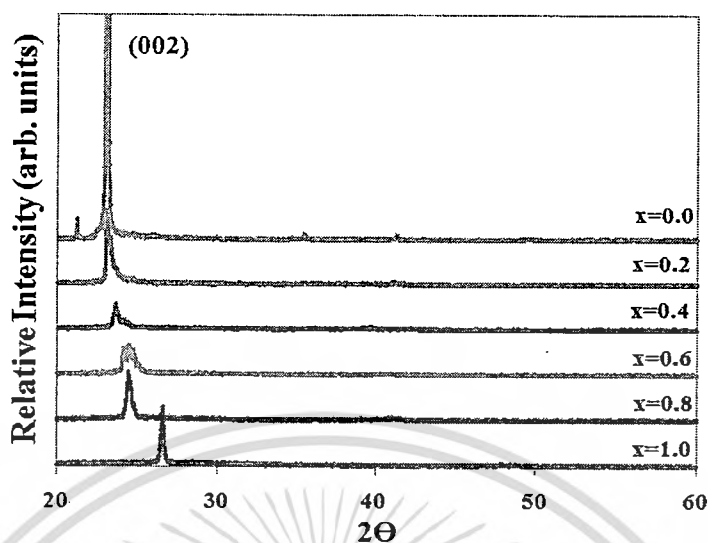
โครงสร้างผลึกของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนีสและมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที ได้จากการศึกษาการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ภาพที่ 4.7-4.14 แสดงผลการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} $(0 \leq x \leq 1)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์และไม่ได้แอนนีส พบว่าฟิล์มบาง CdTe มีโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์ สำหรับฟิล์มบาง CdS_xTe_{1-x} ที่มีสัดส่วนโมล (x) เท่ากับหรือมากกว่า 0.8 ฟิล์มบางจะมีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนัล แต่สำหรับกรณีสัดส่วนโมล (x) อยู่ระหว่าง 0.2 -0.8 ฟิล์มบางจะมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบซิงค์เบลนด์ผสมเฮกซะโกนัล โดยที่ค่าคงที่โครงสร้างผลึก a_0, c_0 ของฟิล์มบาง มีแนวโน้มลดลงแบบเชิงเส้นเมื่อสัดส่วนโมล (x) มีค่าเพิ่มขึ้น



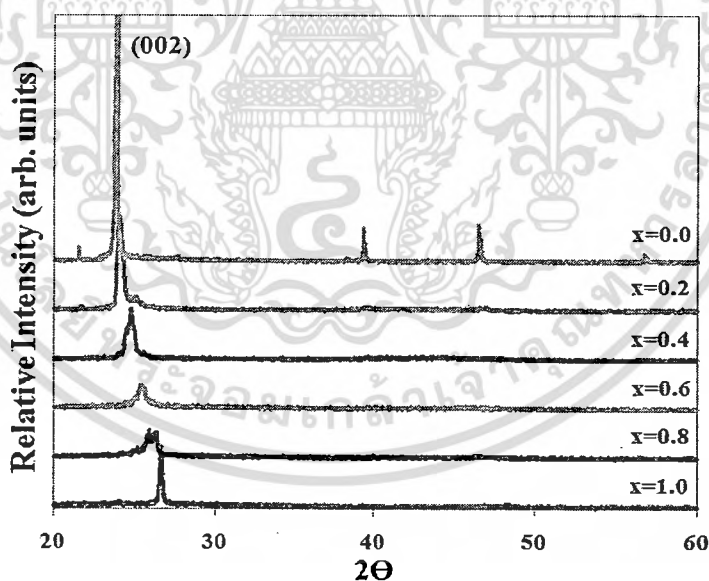
ภาพที่ 4.7 แสดงพีคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ (0 ≤ x ≤ 1.0) ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนีส



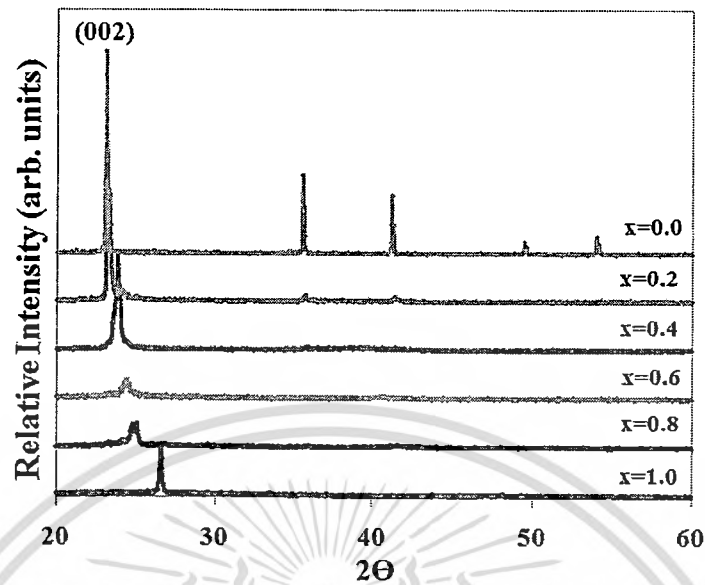
ภาพที่ 4.8 แสดงพีคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ (0 ≤ x ≤ 1.0) ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



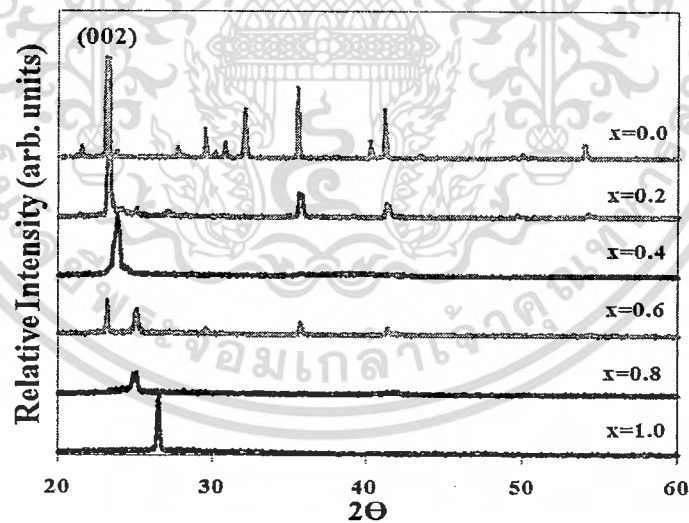
ภาพที่ 4.9 แสดงผลการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



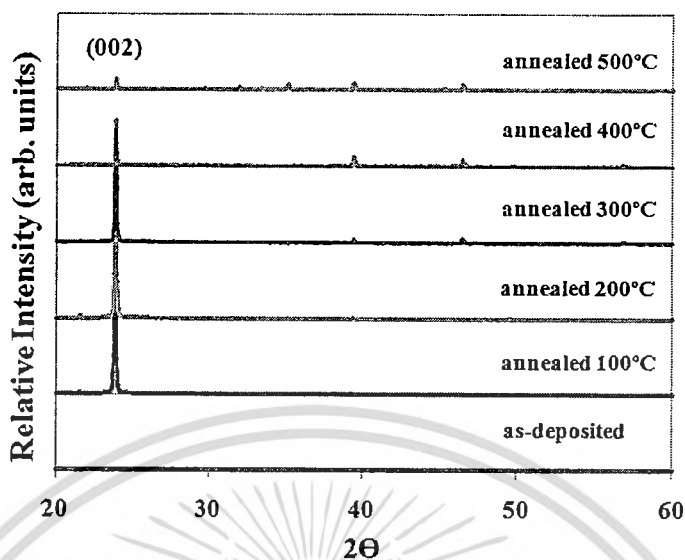
ภาพที่ 4.10 แสดงผลการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



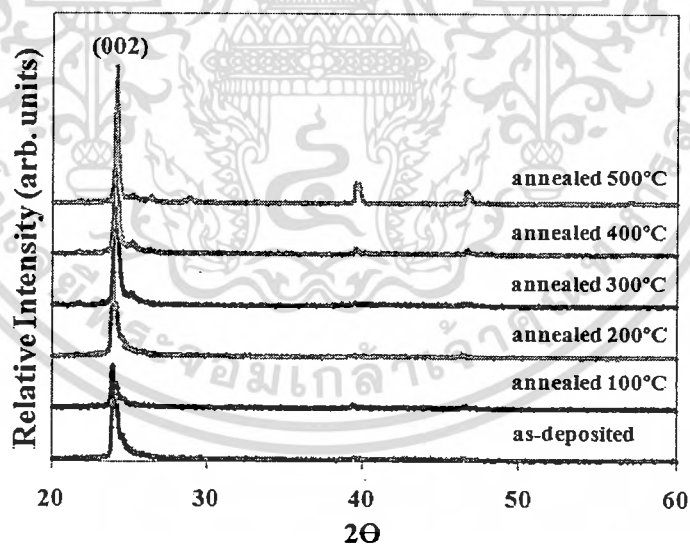
ภาพที่ 4.11 แสดงผลการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่ง เตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



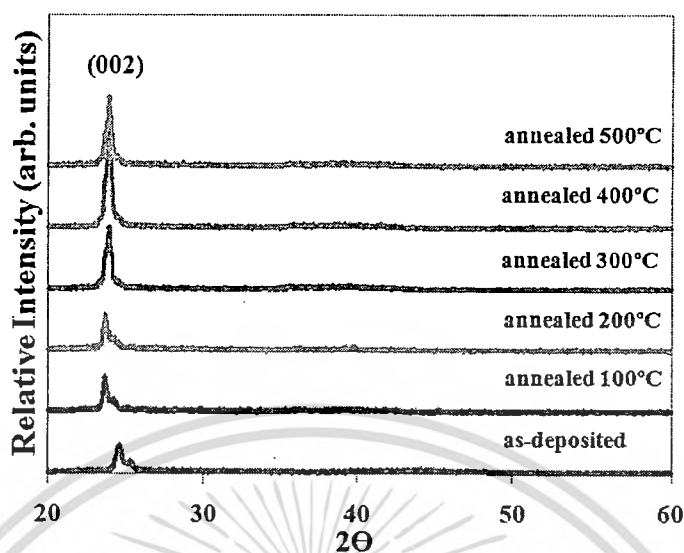
ภาพที่ 4.12 แสดงผลการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่ง เตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



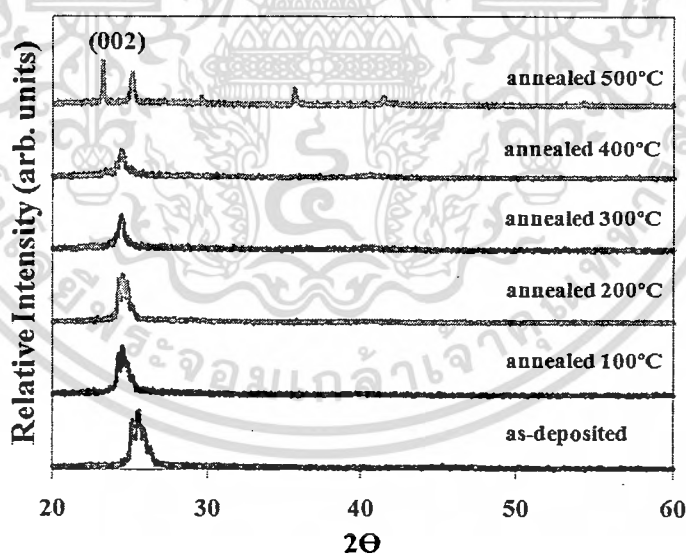
ภาพที่ 4.13 แสดงผลการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $x = 0.0$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่ง เตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนีกและมีการแอนนีกที่อุณหภูมิ 100 - 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



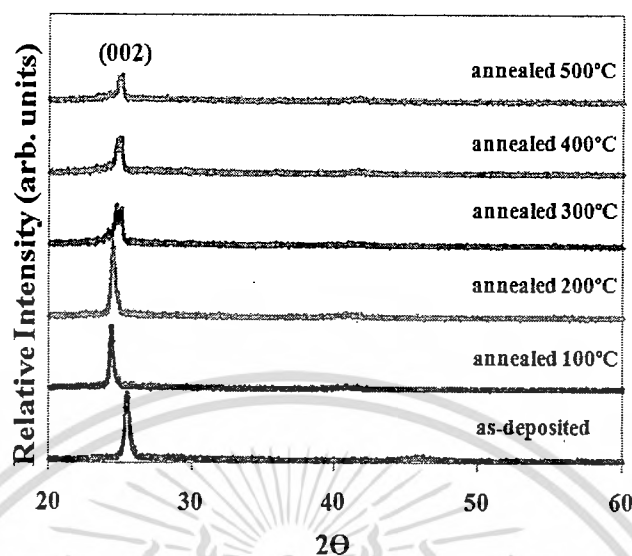
ภาพที่ 4.14 แสดงผลการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $x = 0.2$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่ง เตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนีกและมีการแอนนีกที่อุณหภูมิ 100 - 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



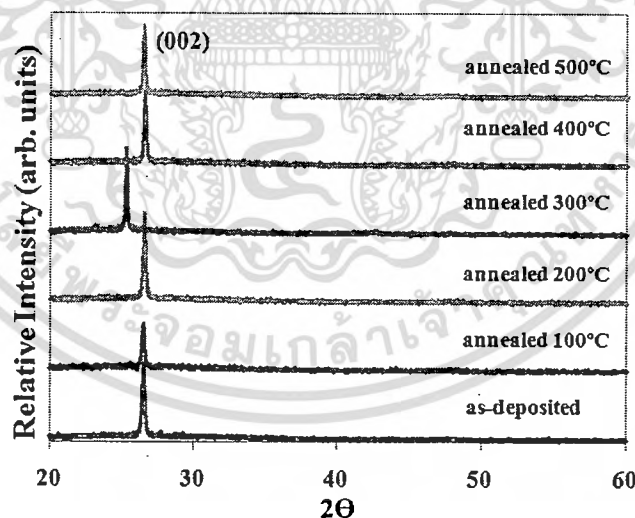
ภาพที่ 4.15 แสดงผลการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $x = 0.4$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่ง เตรียม โดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนัลและมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100 - 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



ภาพที่ 4.16 แสดงผลการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $x = 0.6$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่ง เตรียม โดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนัลและมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100 - 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



ภาพที่ 4.17 แสดงผลการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $x = 0.8$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่ง เตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนัลและมีที่อุณหภูมิ 100 - 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



ภาพที่ 4.18 แสดงผลการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $x = 1.0$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่ง เตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนัลและมีที่อุณหภูมิ 100 - 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

ลักษณะของโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนัล และลักษณะของโครงสร้างผลึกแบบคิวบิกมีความสัมพันธ์กันดังนี้ [40-41]

$$a_0 = a/(2)^{1/2} \quad (4.1)$$

$$c_0 = 2a/(3)^{1/2} \quad (4.2)$$

จากการศึกษาลักษณะของโครงสร้างผลึกด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์เตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ เมื่อไม่มีการแอนนีส และ มีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100 - 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที พบว่าเมื่อ $x \leq 0.2$ ฟิล์มบางจะมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบคิวบิกและเมื่อ $0.2 < x \leq 1.0$ ฟิล์มบางจะมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบเวิร์ทไซท์ จะเห็นได้ว่าส่วนใหญ่จะพบว่าฟิล์มบางที่เตรียมได้มีลักษณะโครงสร้างผลึกเป็นแบบเวิร์ทไซท์

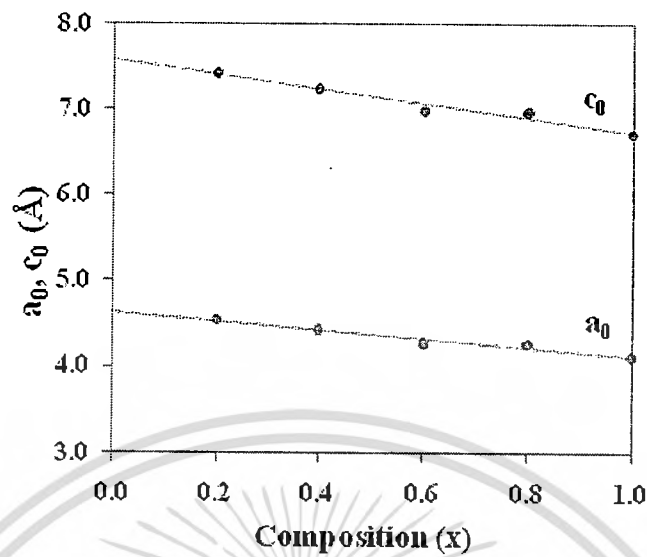
จากการศึกษาการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จะพบว่ามีมีฟิสิกที่แสดงให้เห็นดังภาพข้างต้น ถ้าเป็นโครงสร้างผลึกแบบเวิร์ทไซท์ จะสอดคล้องกับระนาบ (002) ถ้าเป็นโครงสร้างผลึกแบบคิวบิก จะสอดคล้องกับระนาบ (111)

เมื่อพิจารณาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_0, c_0 กับ ค่าสัดส่วนผสมของโมลอะตอม (x) โดยเริ่มจากการพิจารณาว่าเป็นระนาบ (111) ของโครงสร้างผลึกแบบคิวบิก

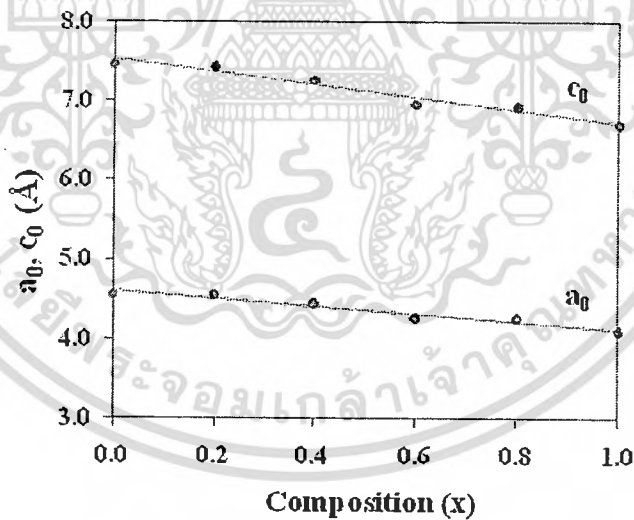
$$\text{จาก } 2d \sin \theta = n\lambda \quad \text{เมื่อ } n=1,2,3,\dots \quad (4.3)$$

$$\text{และ } \frac{1}{d^2} = \frac{h^2+k^2+l^2}{a^2} \quad (4.4)$$

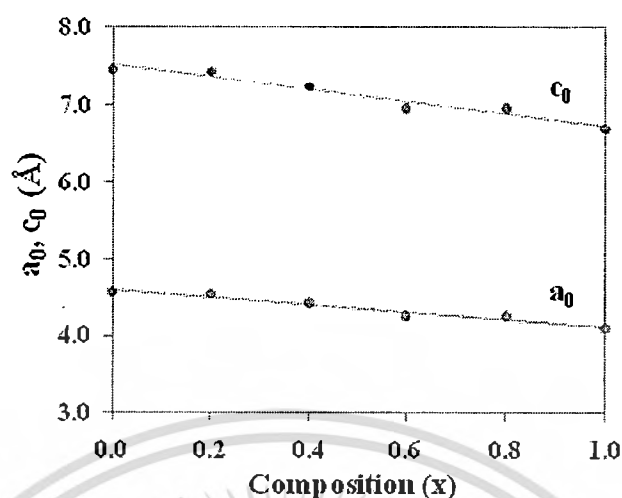
โครงสร้างผลึกแบบคิวบิกที่สอดคล้องกับระนาบ (111) แสดงว่า $h = 1, k = 1, l = 1$ ค่าคงที่ของโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนัล (a_0, c_0) สามารถเขียนได้ในรูปของค่าคงที่ของโครงสร้างผลึกแบบคิวบิก (a) แทนได้



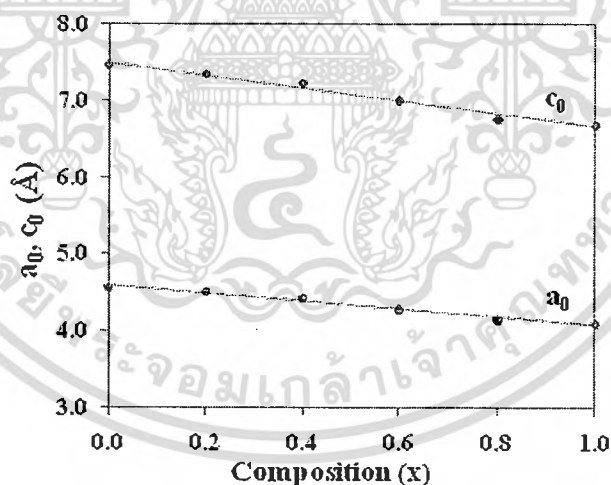
ภาพที่ 4.19 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนผสมของโมลอะตอม (x) ค่าต่างๆ กับค่า a_0 , c_0 ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ ($0 \leq x \leq 1.0$) ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกใสซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนีส



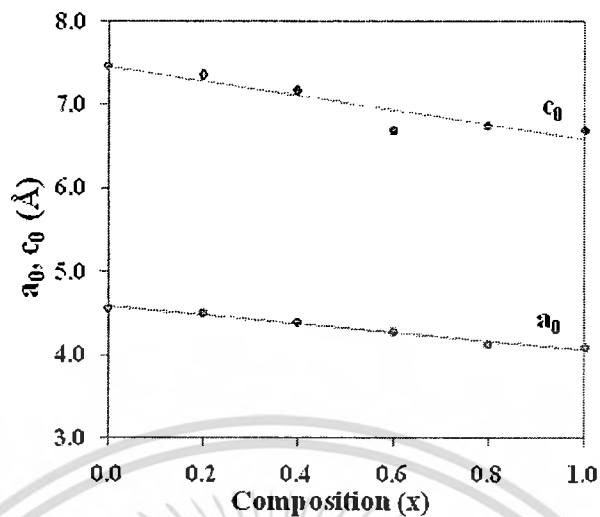
ภาพที่ 4.20 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนผสมของโมลอะตอม (x) ค่าต่างๆ กับค่า a_0 , c_0 ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ ($0 \leq x \leq 1.0$) ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกใสซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



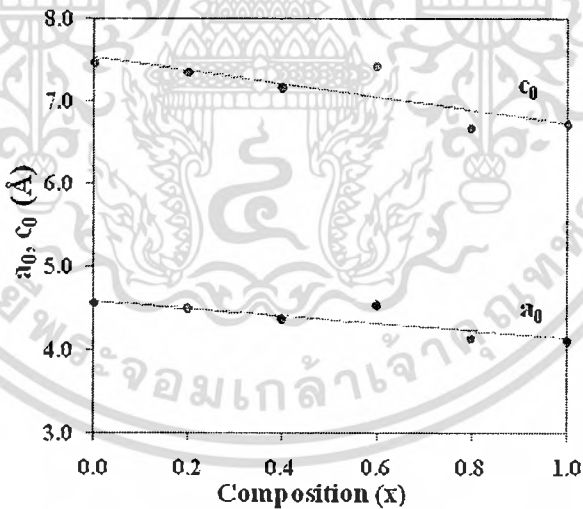
ภาพที่ 4.21 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนผสมของโมลอะตอม (x) ค่าต่างๆ กับค่า a_0 , c_0 ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ ($0 \leq x \leq 1.0$) ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกใสซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



ภาพที่ 4.22 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนผสมของโมลอะตอม (x) ค่าต่างๆ กับค่า a_0 , c_0 ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ ($0 \leq x \leq 1.0$) ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกใสซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

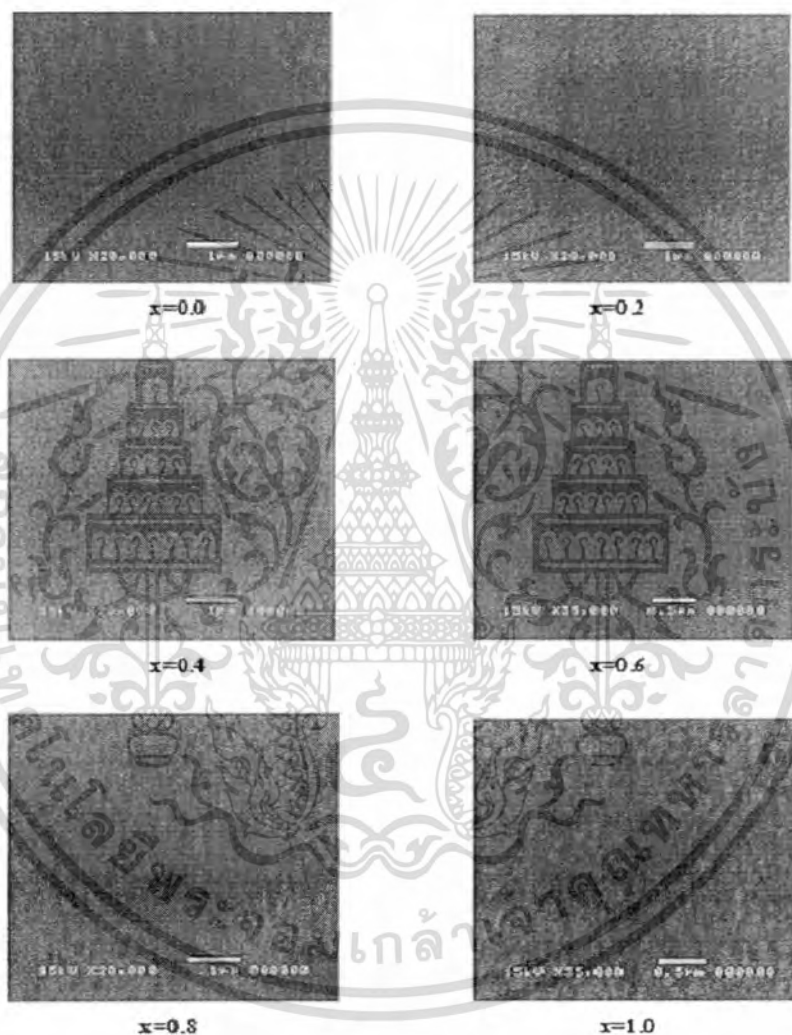


ภาพที่ 4.23 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนผสมของ โมลอะตอม (x) ค่าต่างๆ กับค่า a_0, c_0 ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ ($0 \leq x \leq 1.0$) ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



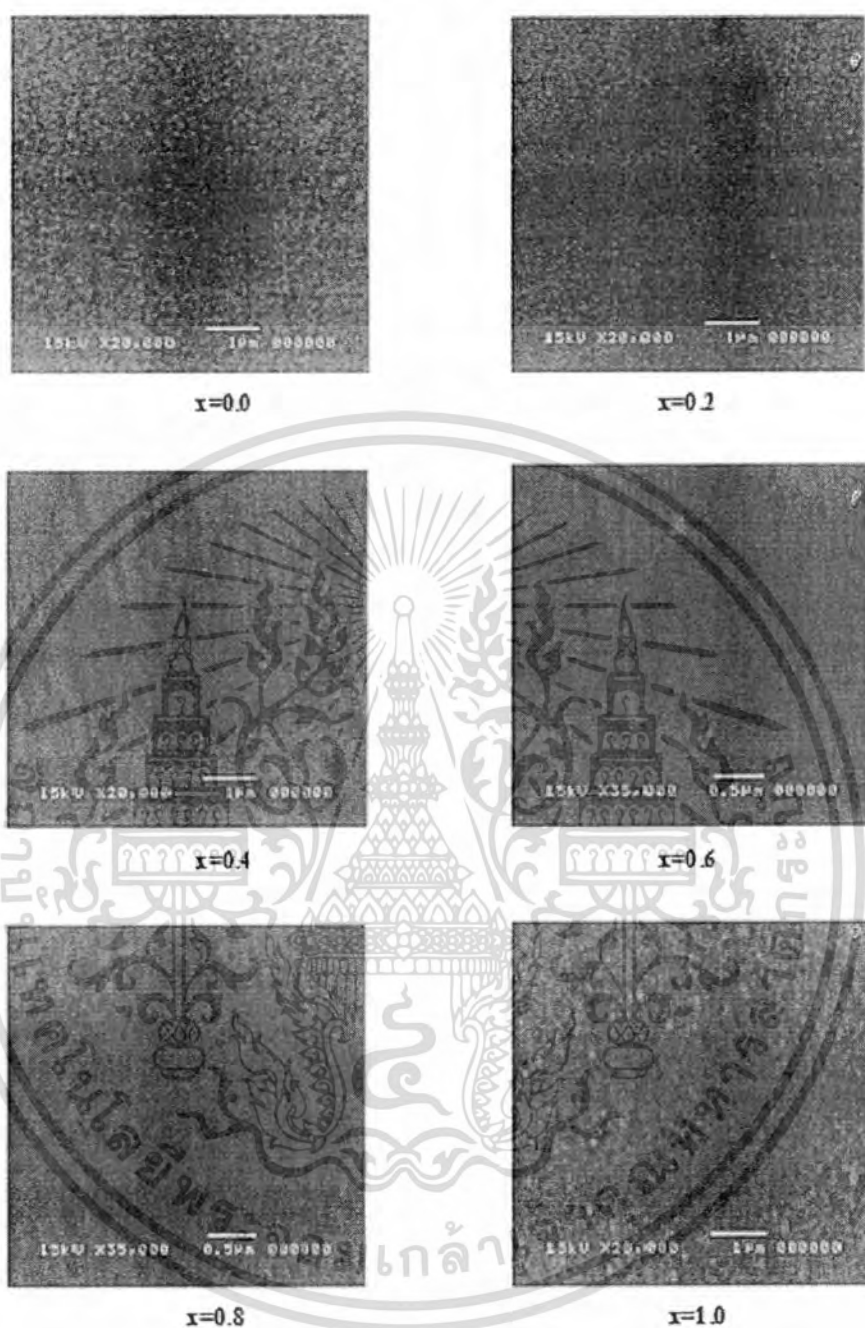
ภาพที่ 4.24 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนผสมของ โมลอะตอม (x) ค่าต่างๆ กับค่า a_0, c_0 ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ ($0 \leq x \leq 1.0$) ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

4.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะของโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ เมื่อไม่มีการแอนนีสและมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



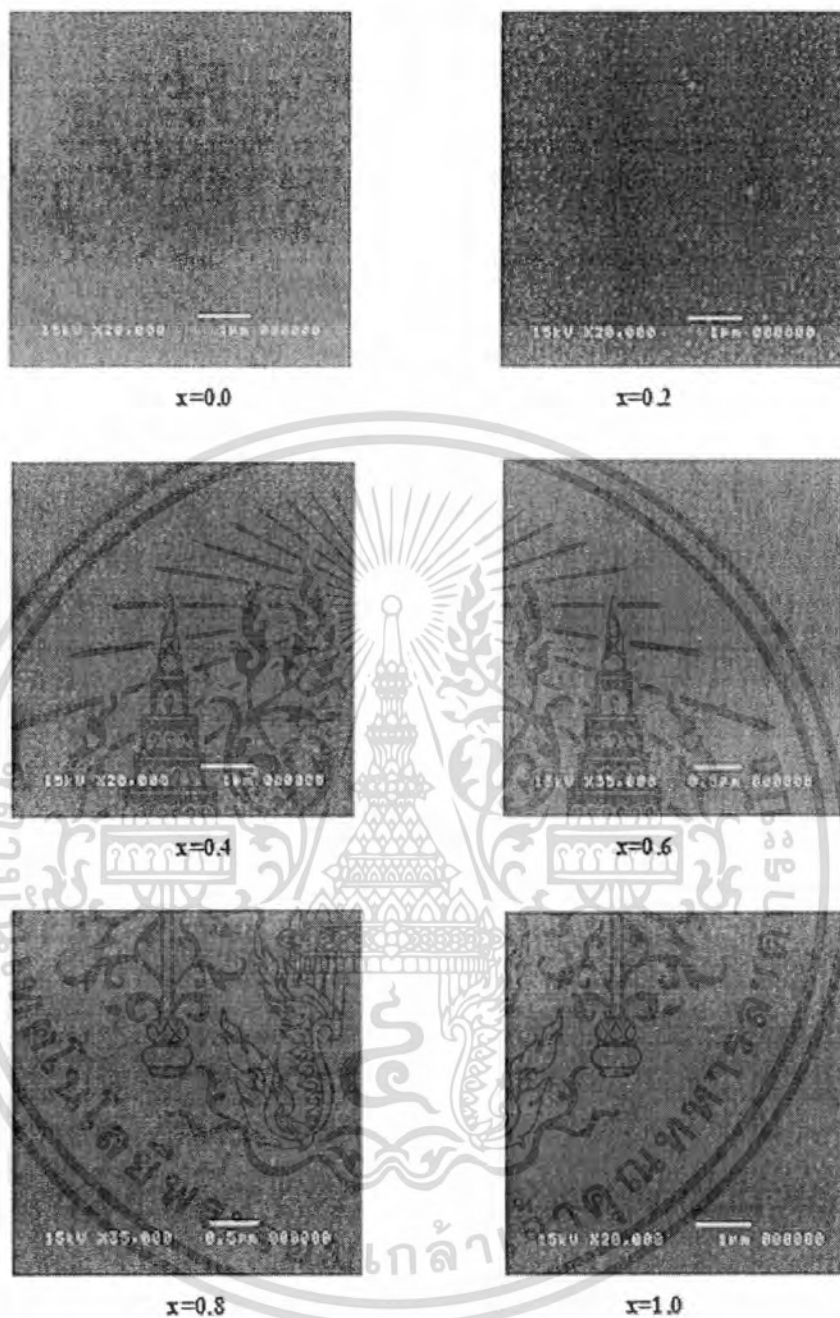
ภาพที่ 4.25 แสดงขนาดเกรนที่ถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศกรณีไม่มีการแอนนีส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



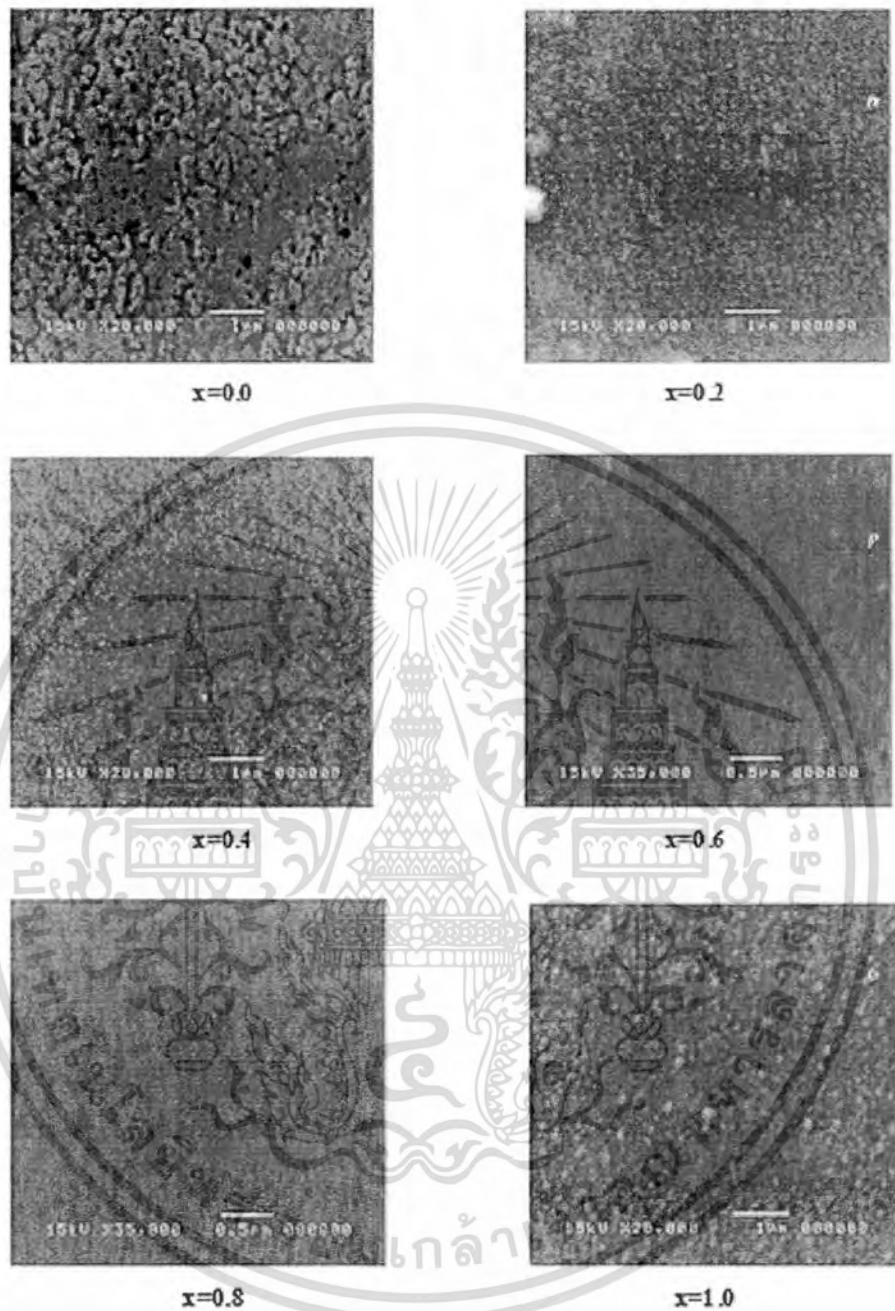
ภาพที่ 4.26 แสดงขนาดเกรนที่ถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศกรณีมีการแอนนیلที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



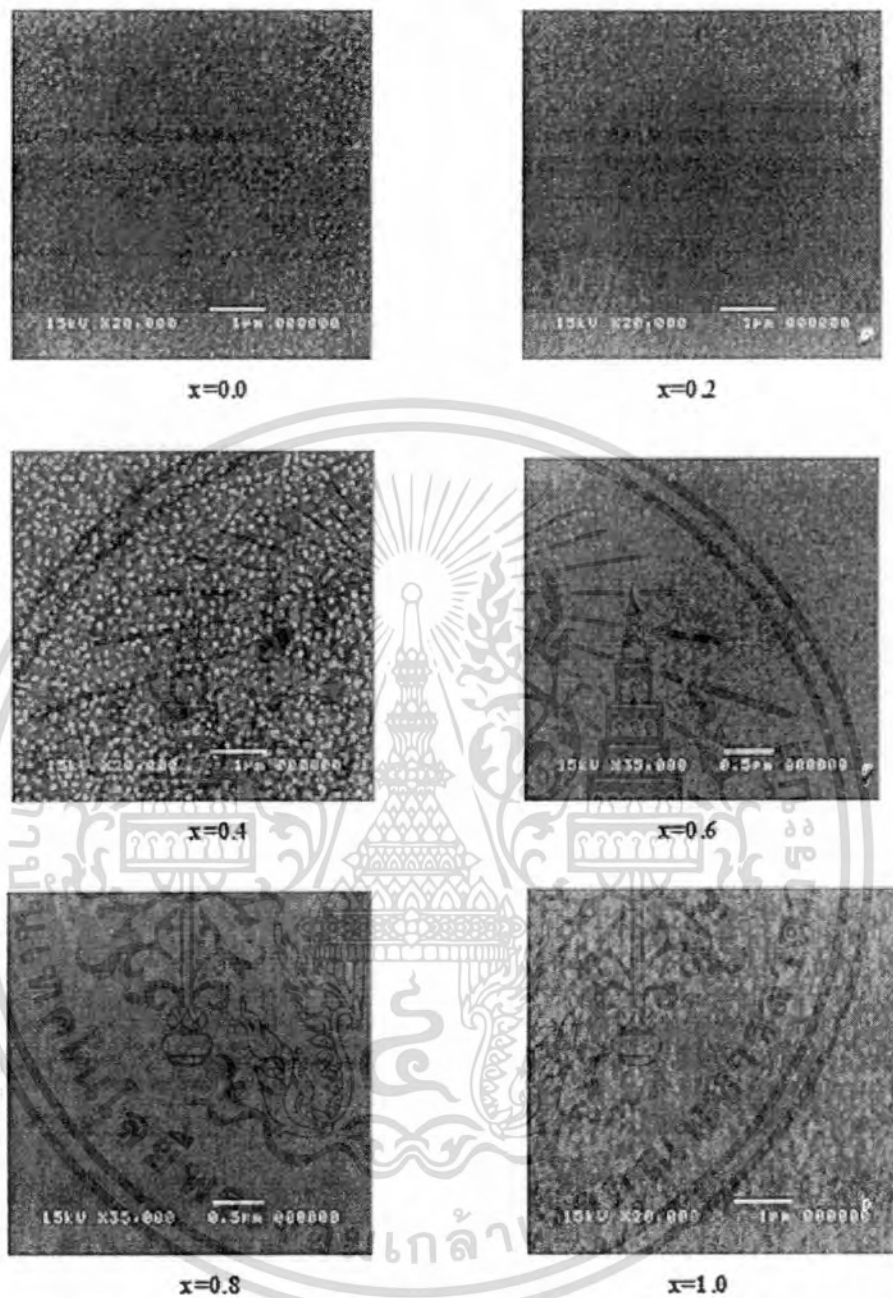
ภาพที่ 4.27 แสดงขนาดเกรนที่ถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศกรณีมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



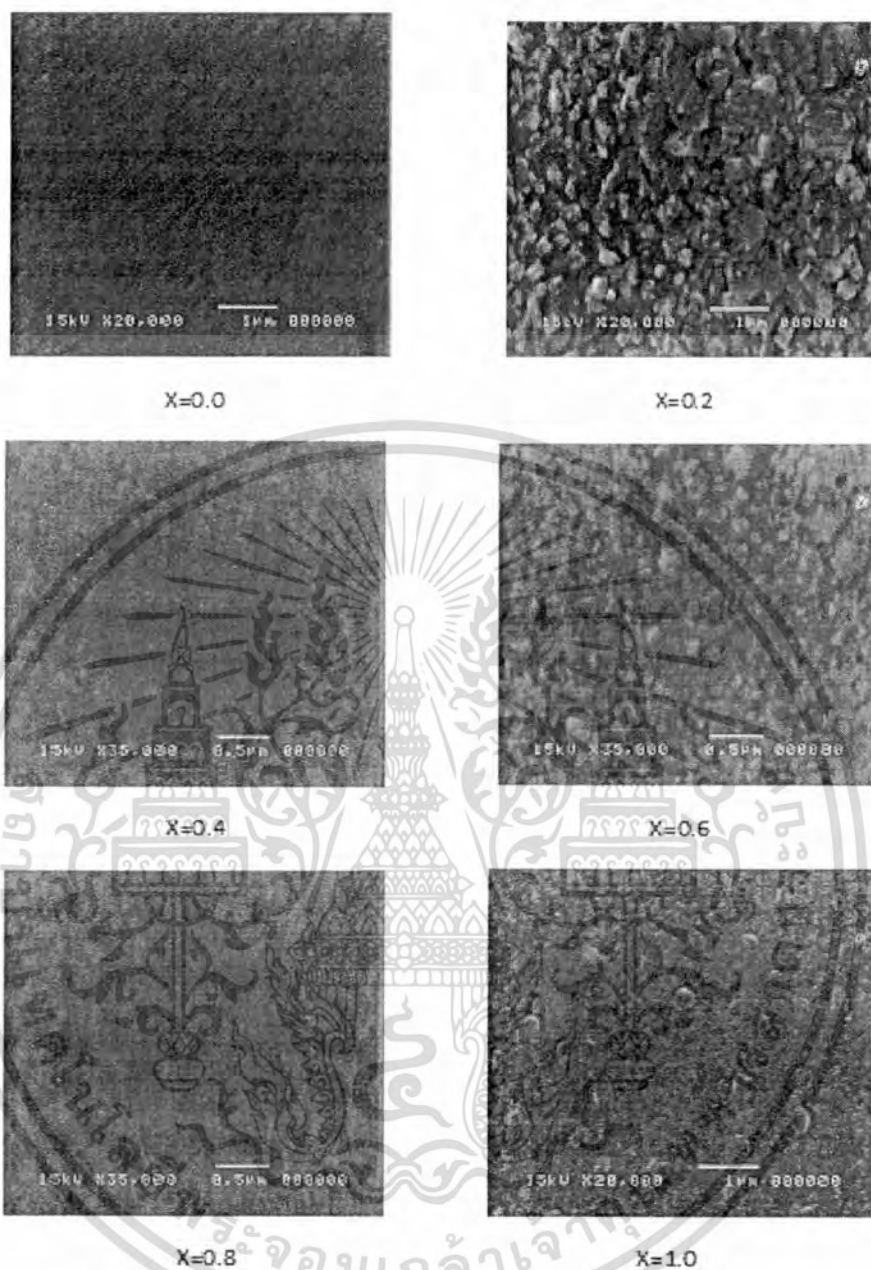
ภาพที่ 4.28 แสดงขนาดเกรนที่ถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มบางของการกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศกรณีมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.29 แสดงขนาดเกรนที่ถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศกรณีมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

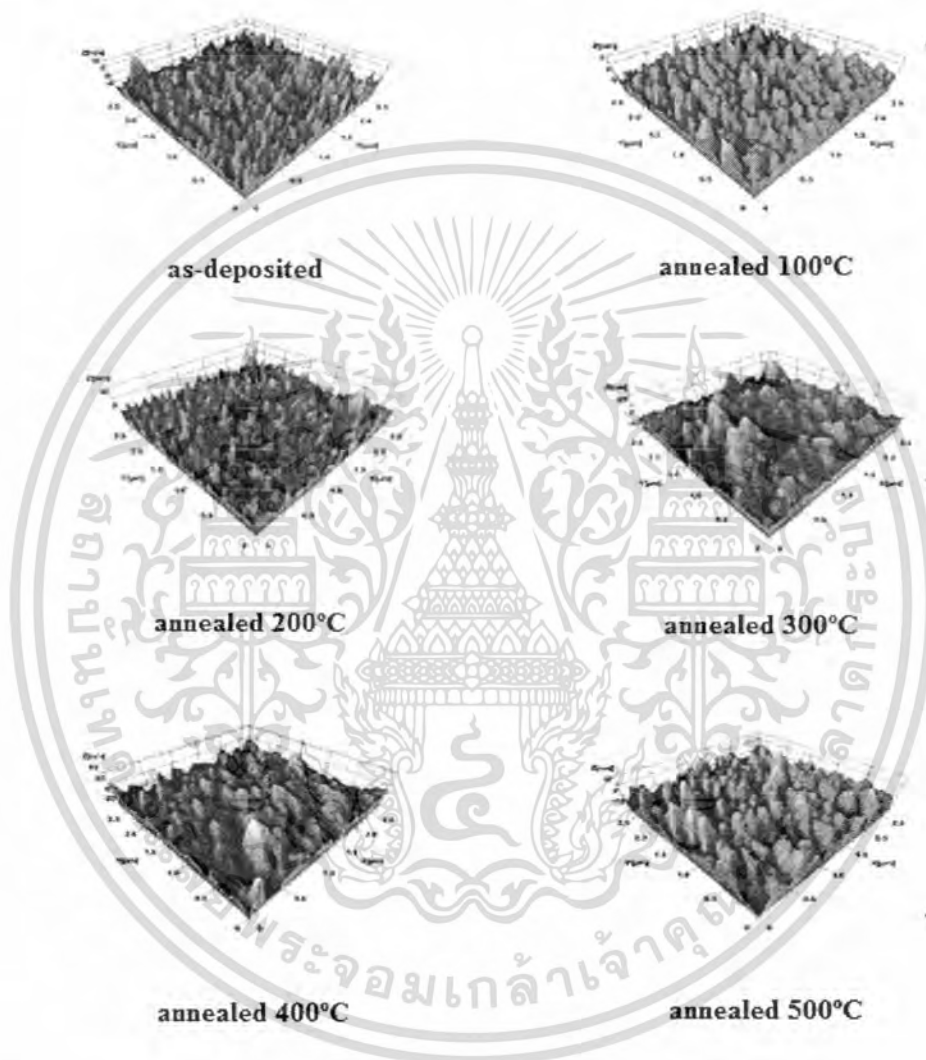
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.30 แสดงขนาดเกรนที่ถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศกรณีมีการแอนนیلที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

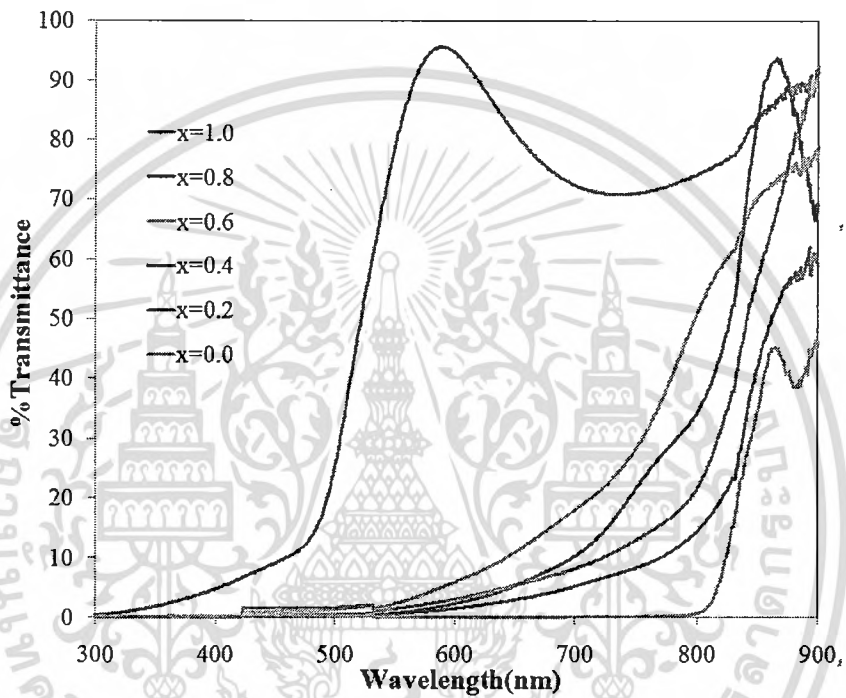
4.4 ผลการวิเคราะห์ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $x=0.4$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนีสและมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



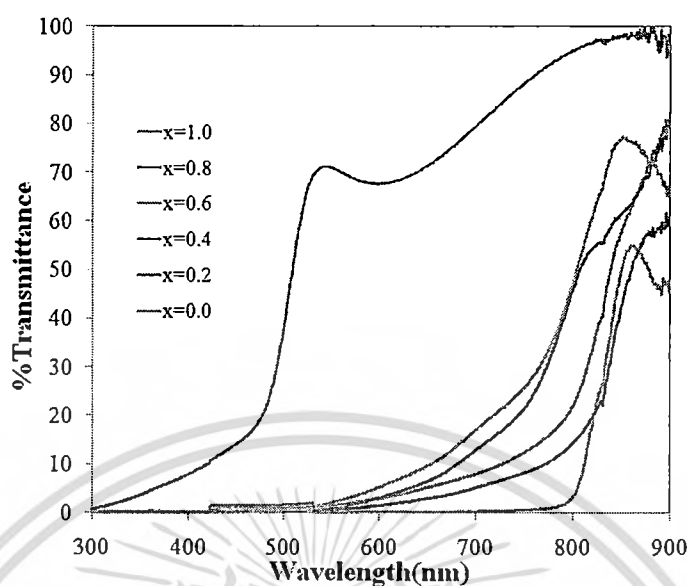
ภาพที่ 4.31 แสดงภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $x=0.4$ เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนีสและมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

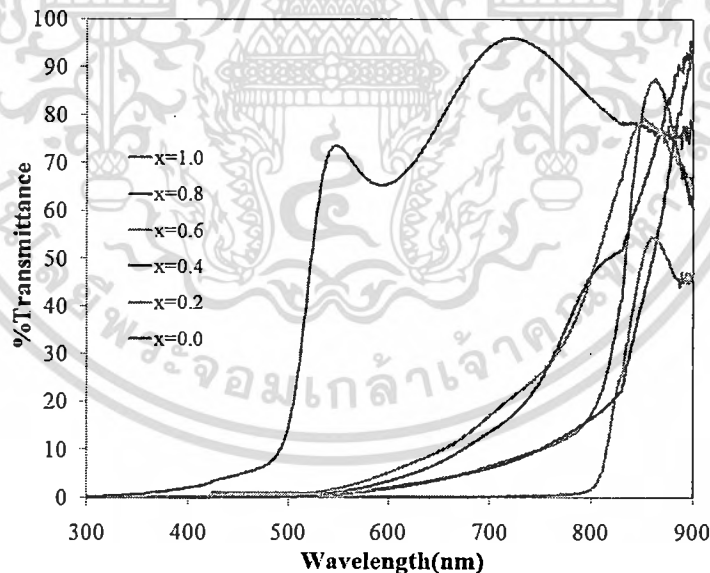
4.5 ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมของการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนیلและมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100 - 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



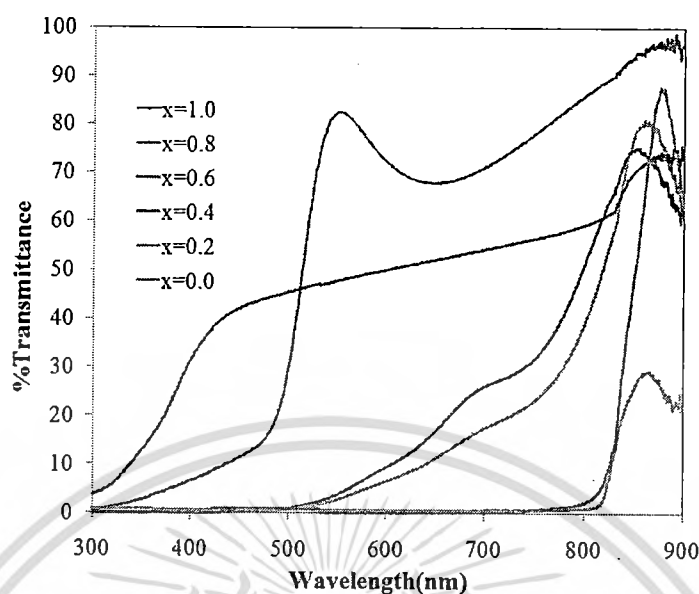
ภาพที่ 4.32 แสดงสเปกตรัมของการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนิล



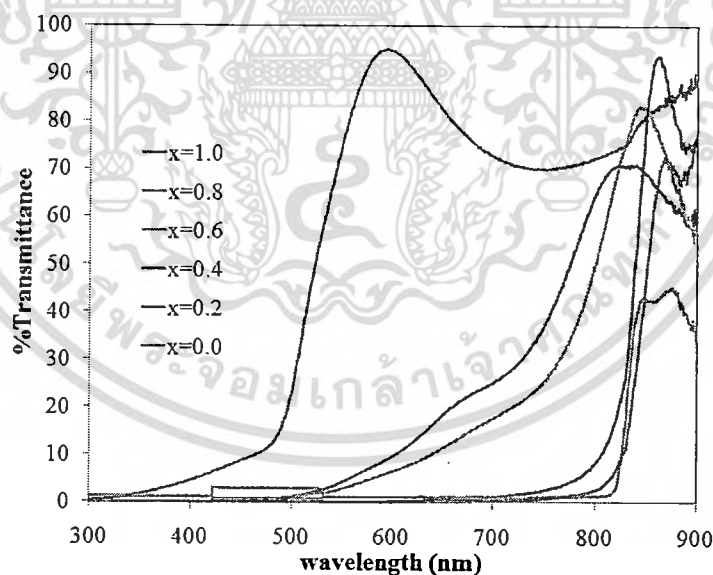
ภาพที่ 4.33 แสดงสเปกตรัมของการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ เมื่อมีการแอนนیلที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



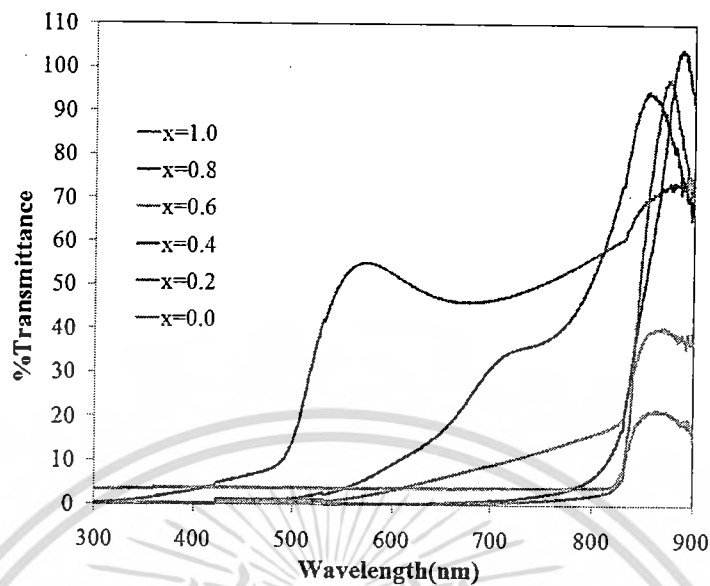
ภาพที่ 4.34 แสดงสเปกตรัมของการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ เมื่อมีการแอนนیلที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



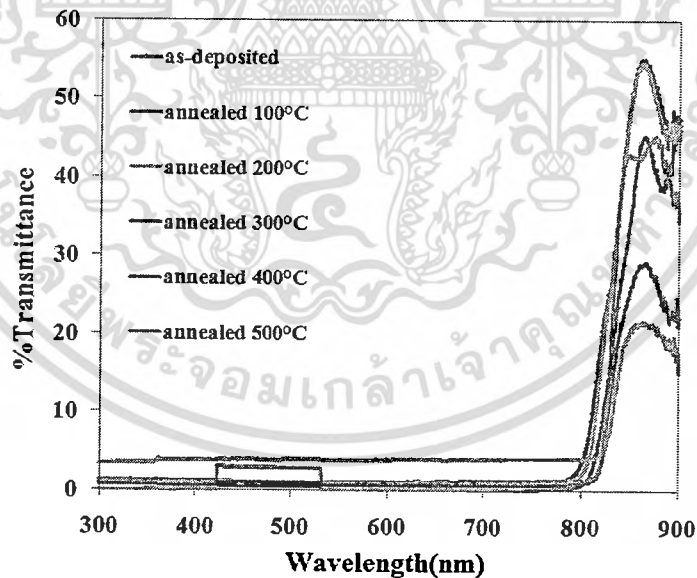
ภาพที่ 4.35 แสดงสเปกตรัมของการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ เมื่อมีการแอนนیلที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



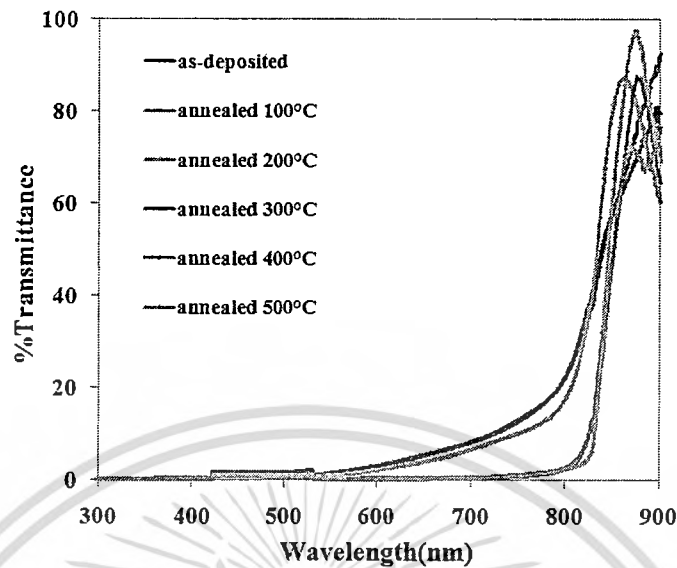
ภาพที่ 4.36 แสดงสเปกตรัมของการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ เมื่อมีการแอนนیلที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



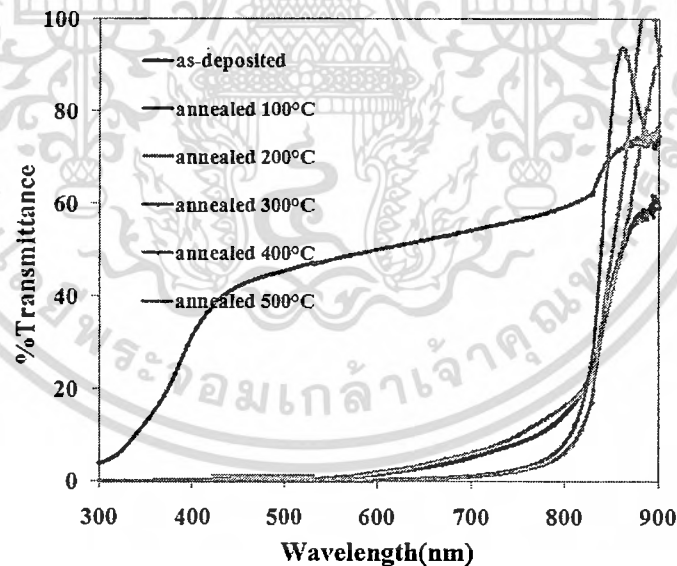
ภาพที่ 4.37 แสดงสเปกตรัมของการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ เมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



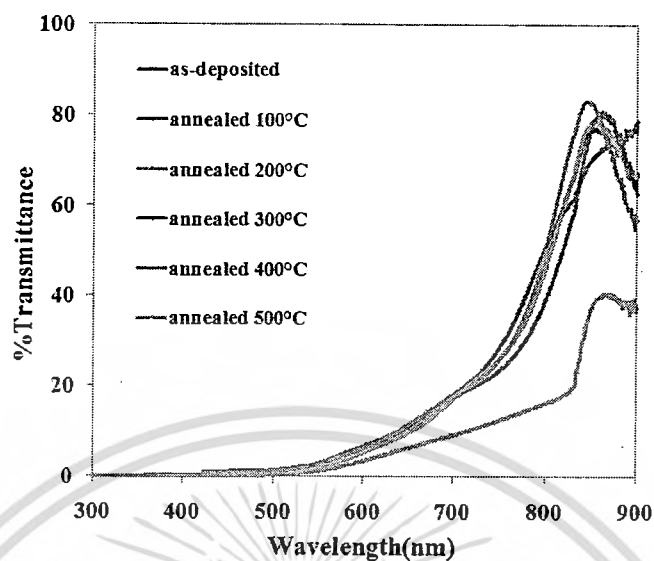
ภาพที่ 4.38 แสดงสเปกตรัมของการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $x = 0.0$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนัลและมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100 - 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



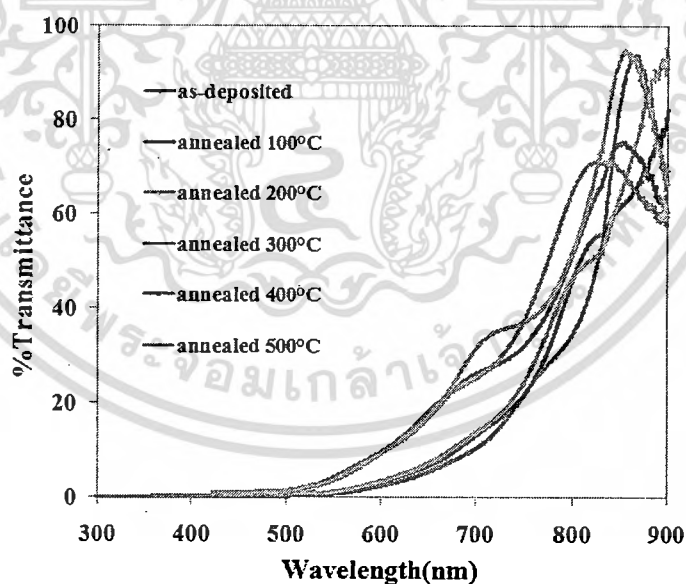
ภาพที่ 4.39 แสดงสเปกตรัมของการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $x = 0.2$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนีสและมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100 - 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



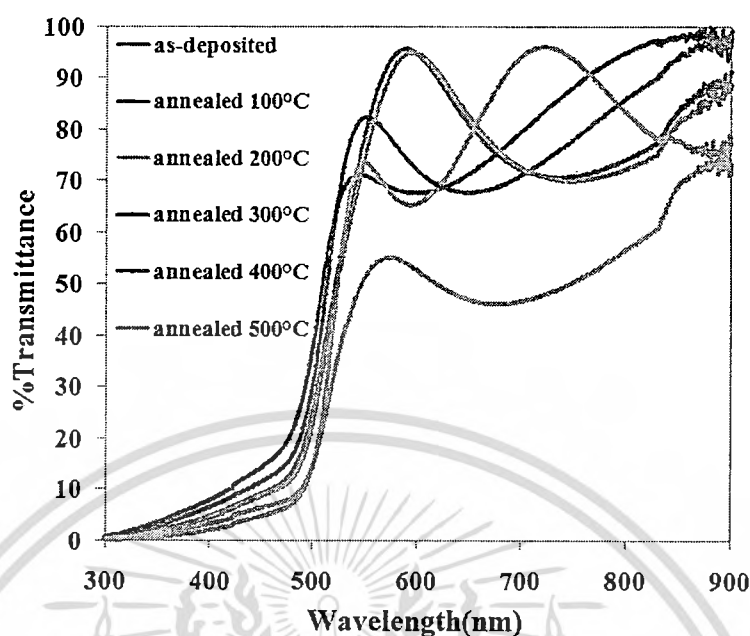
ภาพที่ 4.40 แสดงสเปกตรัมของการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $x = 0.4$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนีสและมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100 - 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



ภาพที่ 4.41 แสดงสเปกตรัมของการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $x = 0.6$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่ง เตรียม โดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนیلและมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100 - 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

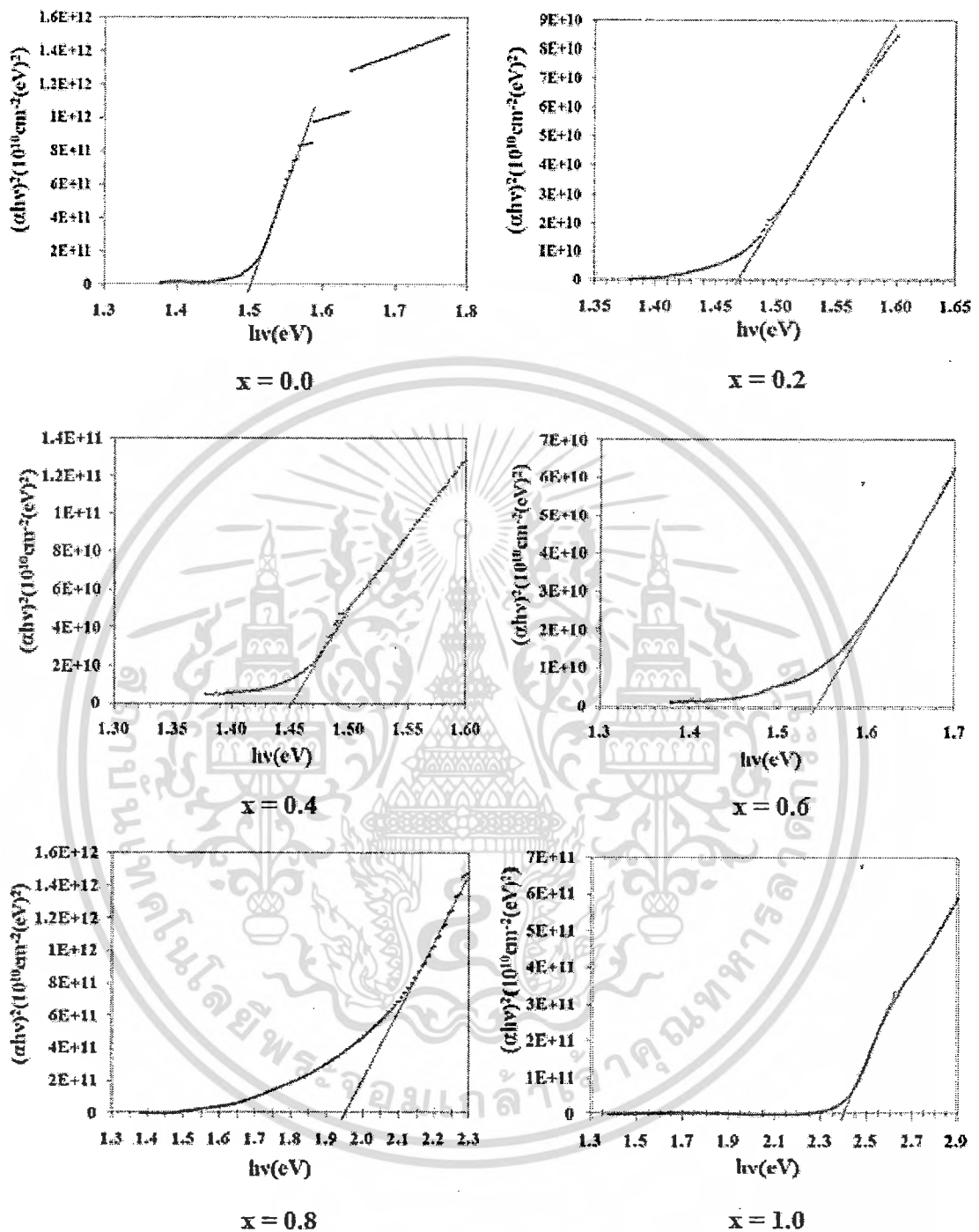


ภาพที่ 4.42 แสดงสเปกตรัมของการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $x = 0.8$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ เตรียม โดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนิลและมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100 - 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

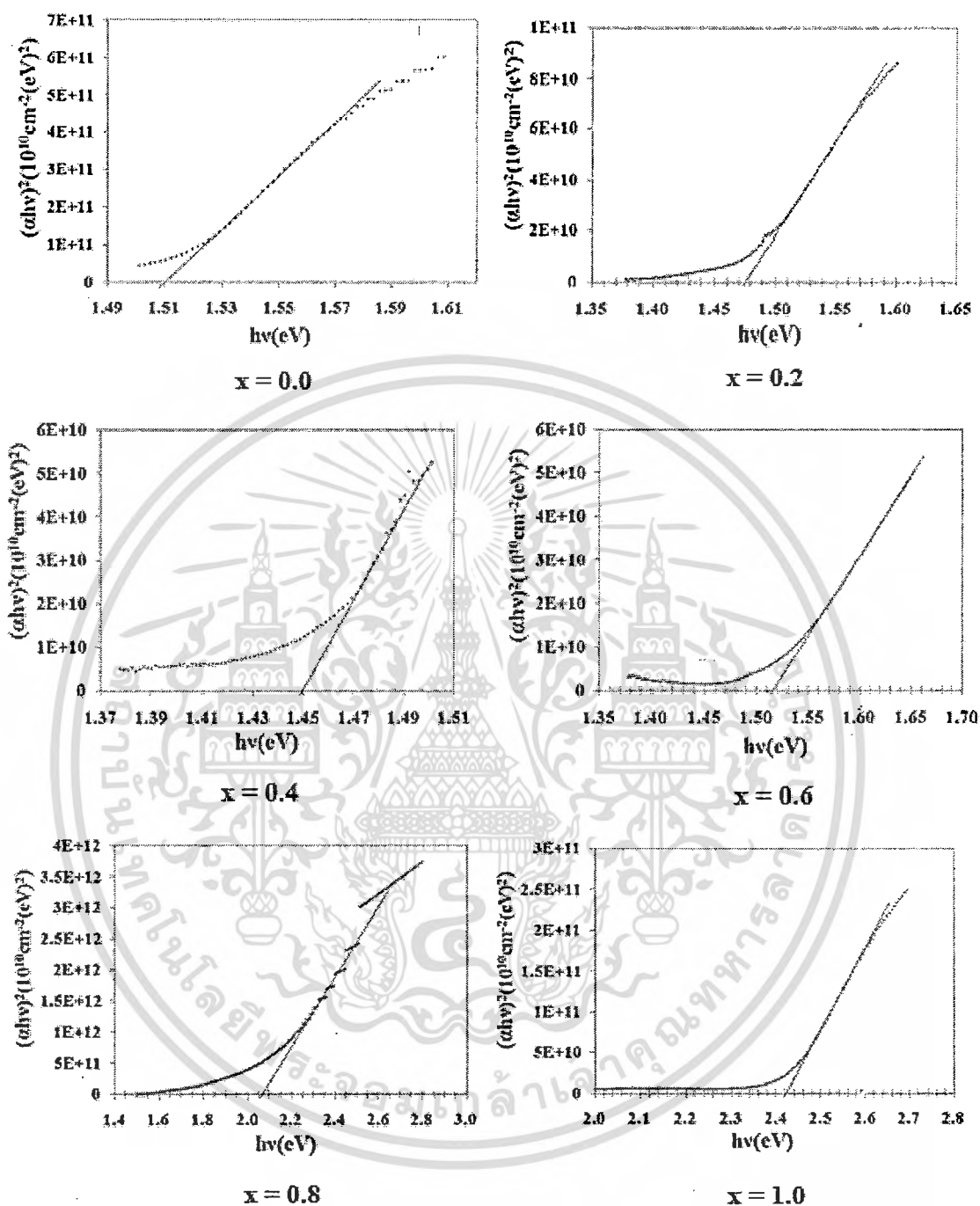


ภาพที่ 4.43 แสดงสเปกตรัมของการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $x = 1.0$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนีสและมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100 - 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

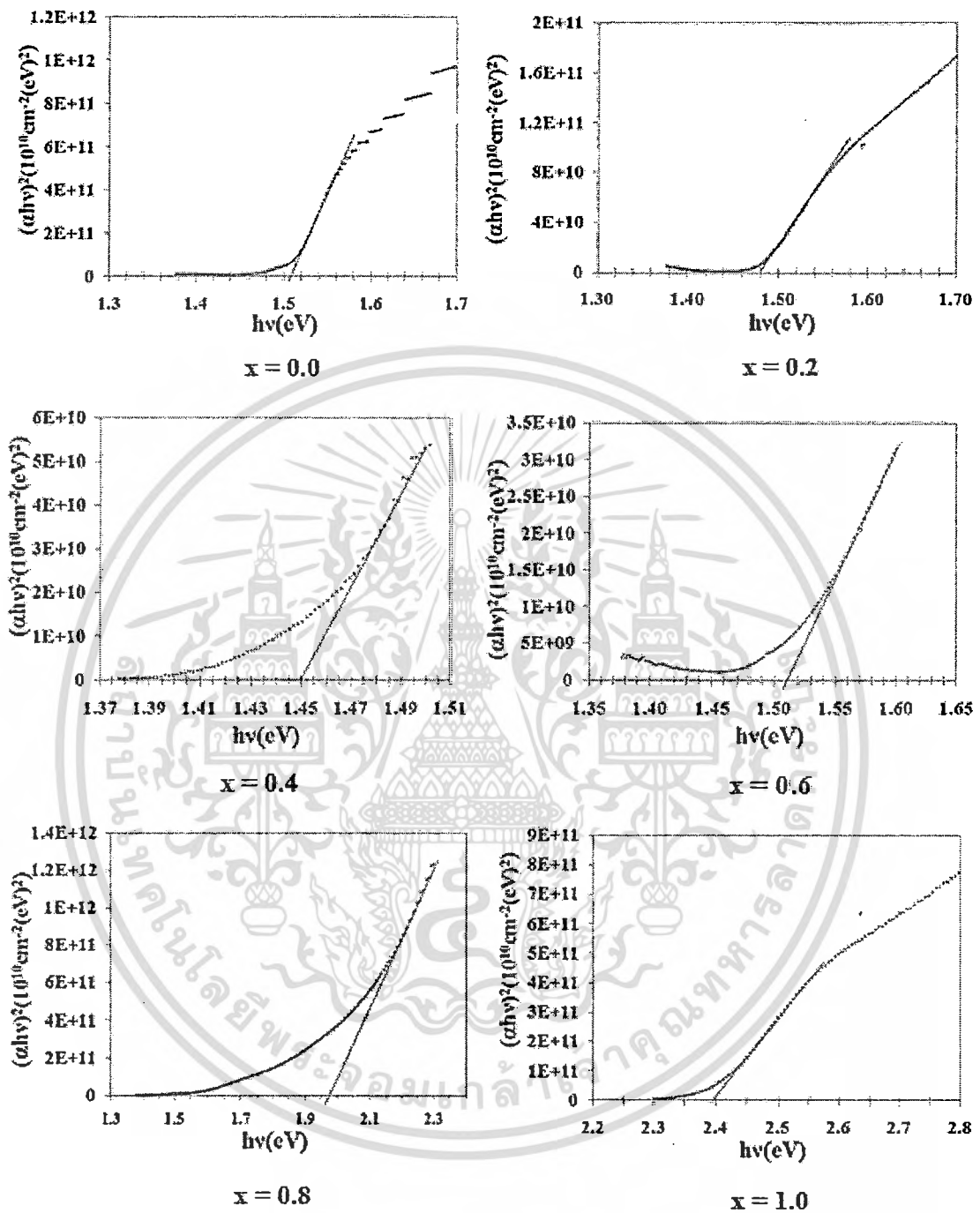
ภาพที่ 4.32 ถึงภาพที่ 4.43 แสดงสเปกตรัมของการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ เมื่อไม่มีการแอนนีสและมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที โดยใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ชนิดดับเบิลบีม ยี่ห้อ JASCO 7800 ที่ช่วงความยาวคลื่น 300 - 900 นาโนเมตร เมื่อไม่มีการแอนนีส พบว่าขอบของการดูดกลืนแสงเลื่อนไปทางความยาวคลื่นที่สั้นกว่า ซึ่งหมายความว่าค่าช่องว่างแถบพลังงานมีค่าสูงขึ้น เมื่อความเข้มข้นของอะตอมของธาตุ S ที่อยู่ในผลึกของสารตั้งต้น CdS ที่มีความบริสุทธิ์สูง 99.999 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้น เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha h\nu)^2$ กับ $h\nu$ เพื่อหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) ของฟิล์มบาง ซึ่งค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) ของฟิล์มบางจะเปลี่ยนแปลงตามสัดส่วนโมล (x) ดังภาพที่ 4.51 โดยที่พารามิเตอร์โบวริง (bowing parameter) มีค่าเท่ากับ 1.84



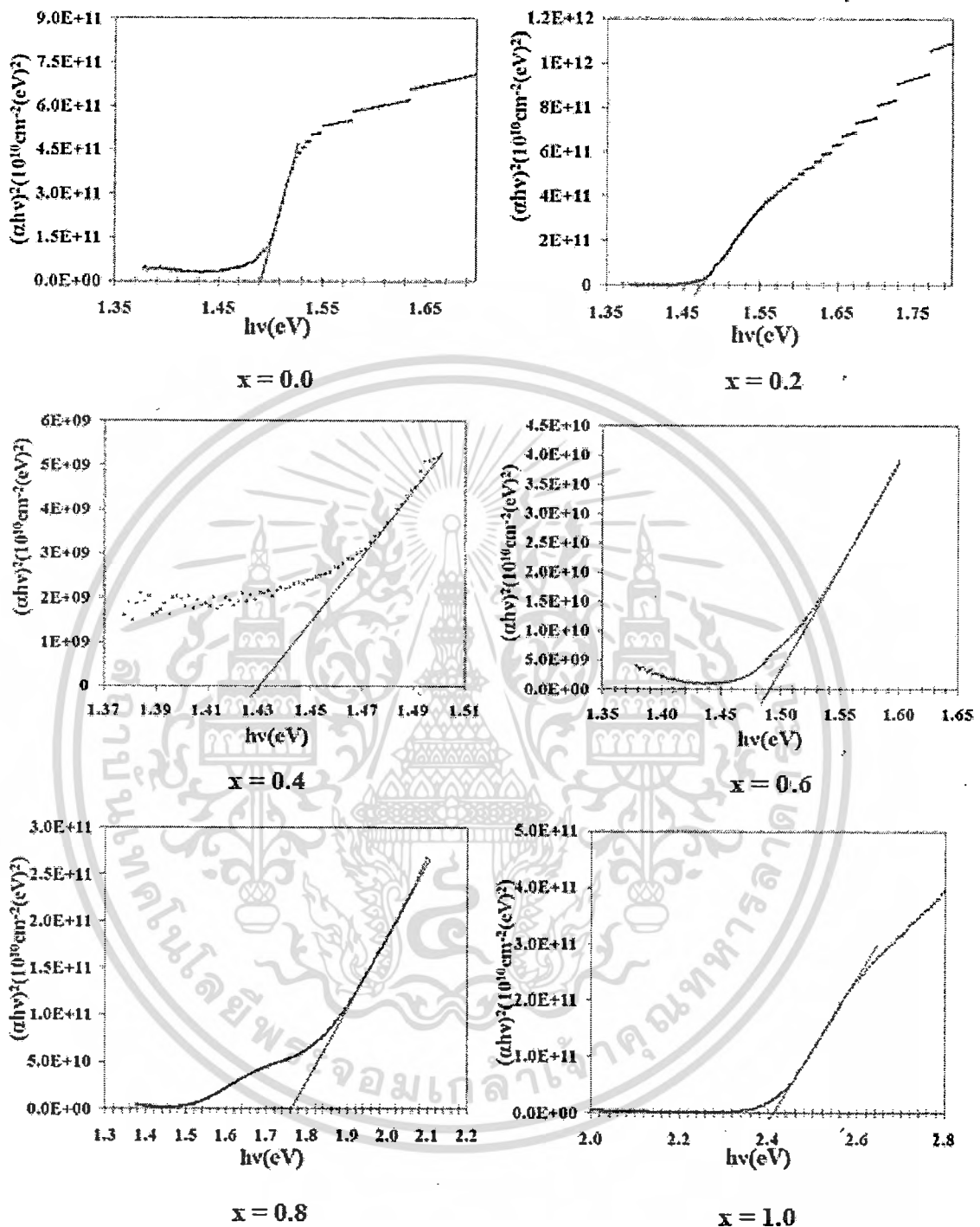
ภาพที่ 4.44 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha hv)^2$ กับ $h\nu$ ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนیل



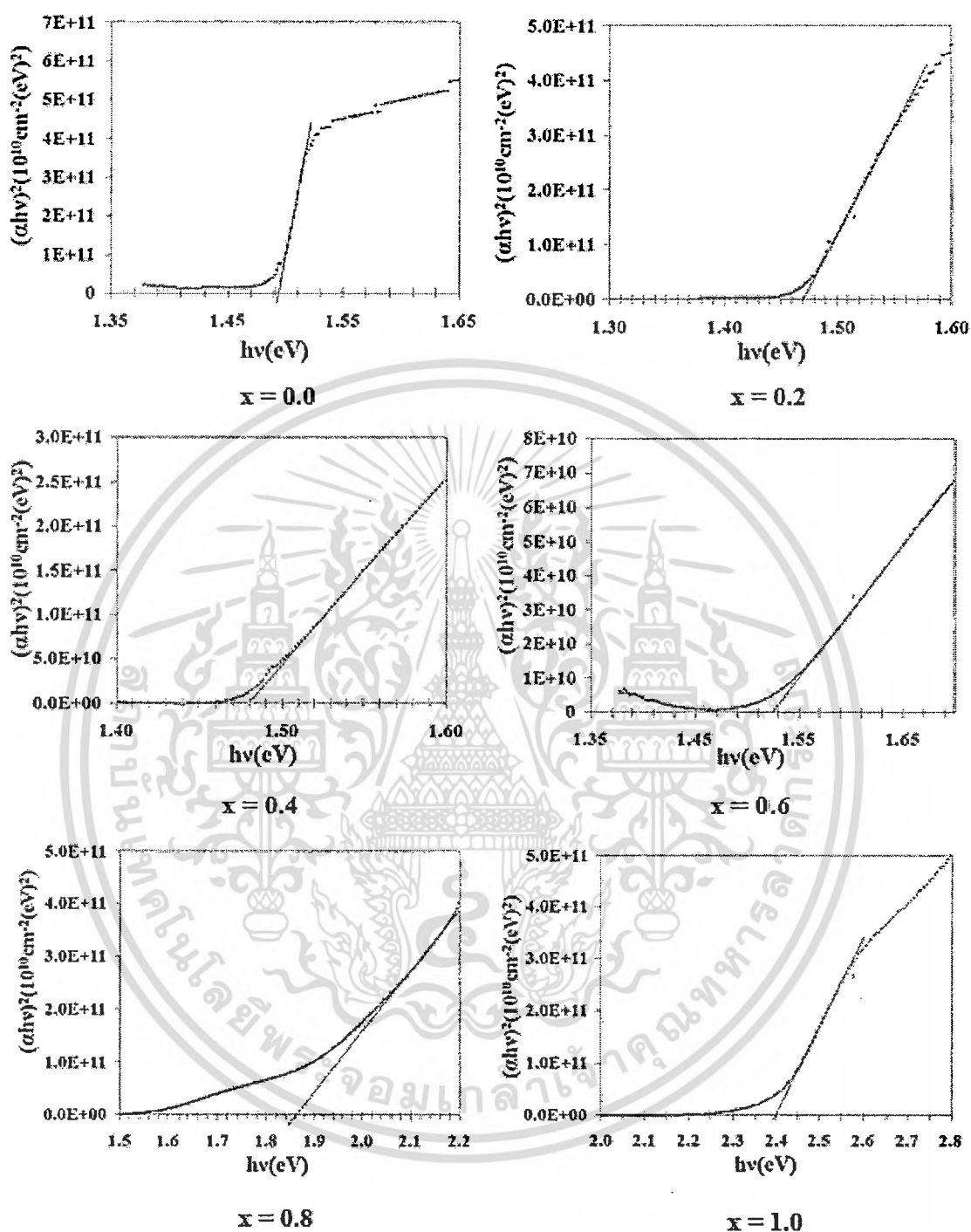
ภาพที่ 4.45 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha hv)^2$ กับ $h\nu$ ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



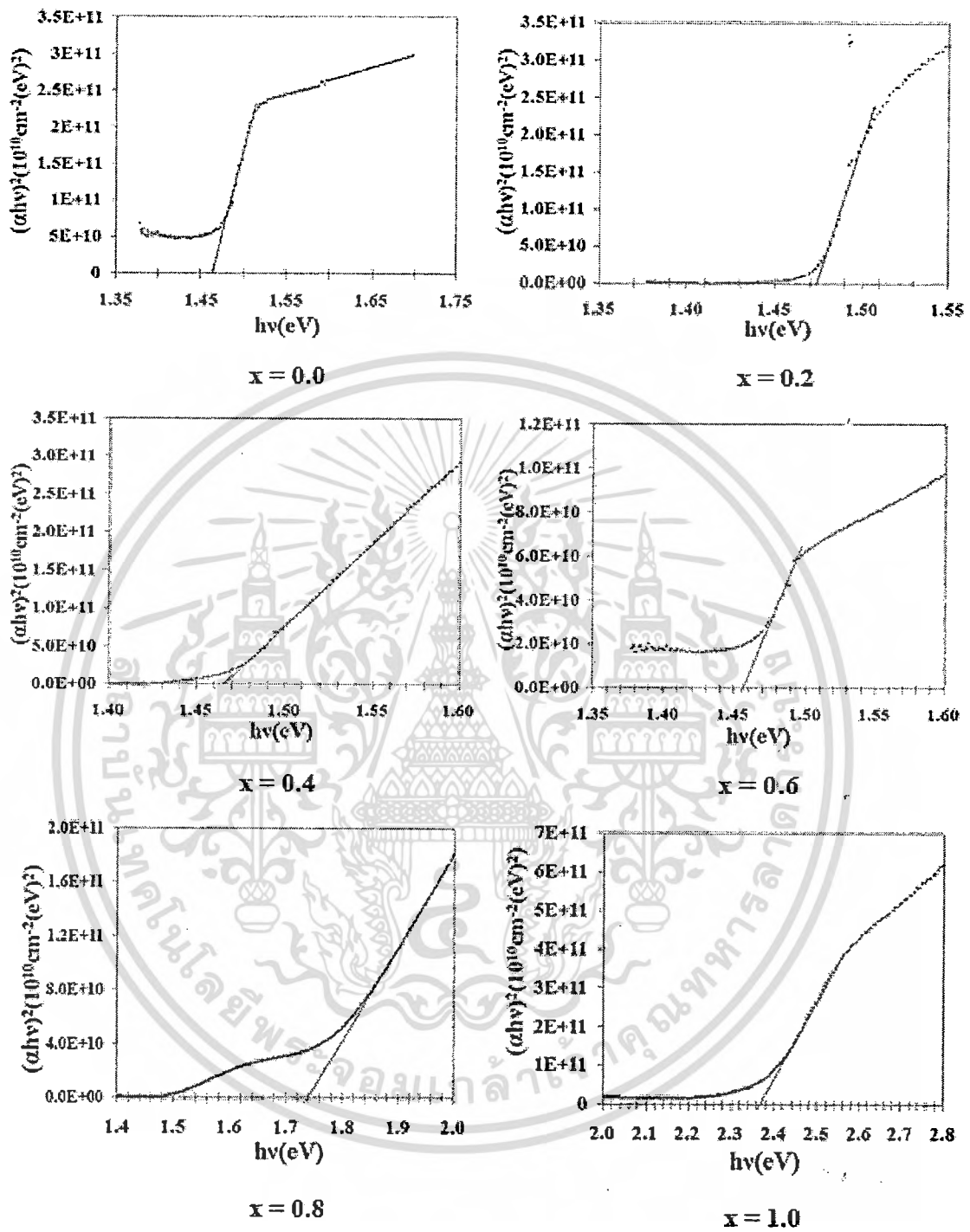
ภาพที่ 4.46 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha hv)^2$ กับ $h\nu$ ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



ภาพที่ 4.47 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha hv)^2$ กับ $h\nu$ ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



ภาพที่ 4.48 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha hv)^2$ กับ $h\nu$ ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

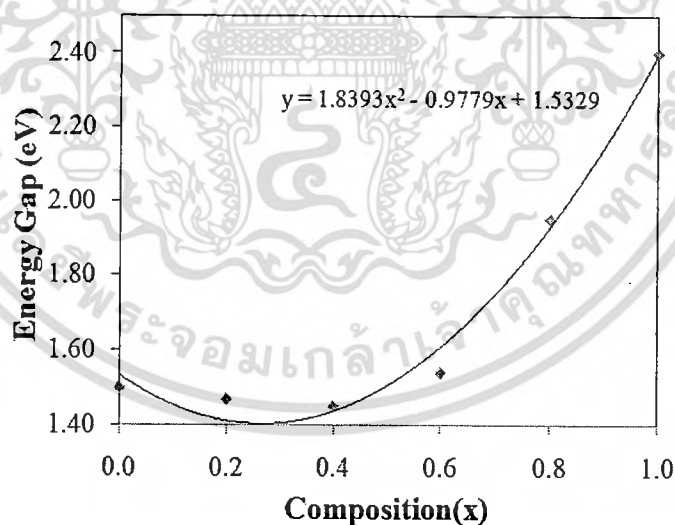


ภาพที่ 4.49 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha hv)^2$ กับ $h\nu$ ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

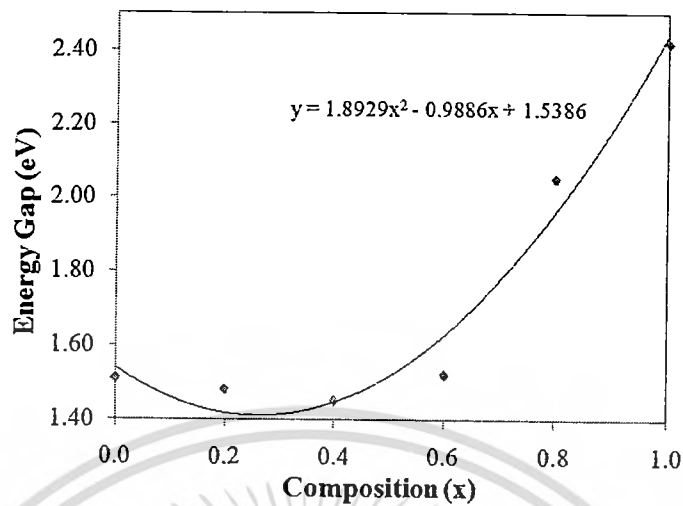
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนिलและมีการแอนนिलที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

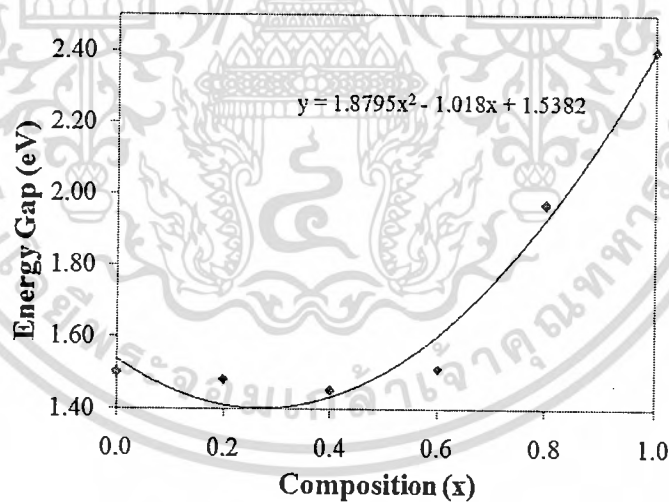
Composition (x) of $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$	Annealing Temperature ($^{\circ}\text{C}$)											
	as-deposited		100		200		300		400		500	
	$E_g(\text{eV})$	$E_r(\text{meV})$	$E_g(\text{eV})$	$E_r(\text{meV})$	$E_g(\text{eV})$	$E_r(\text{meV})$	$E_g(\text{eV})$	$E_r(\text{meV})$	$E_g(\text{eV})$	$E_r(\text{meV})$	$E_g(\text{eV})$	$E_r(\text{meV})$
0.0	1.50	65.8	1.51	51.1	1.50	56.6	1.49	123.6	1.49	31.7	1.47	712.6
0.2	1.47	71.2	1.48	107.1	1.48	25.7	1.48	36.1	1.47	29.7	1.47	30.4
0.4	1.45	297.2	1.86	689.3	1.45	46.5	1.43	1717.3	1.48	14.3	1.46	41.9
0.6	1.54	174.5	2.10	662.6	1.51	666.2	1.49	792.8	1.52	58.2	1.45	890.3
0.8	1.95	548.9	2.08	644.0	1.97	495.1	1.77	634.4	1.83	497.0	1.74	549.8
1.0	2.40	115.6	2.42	161.8	2.40	91.9	2.41	97.0	2.40	146.0	2.37	278.4



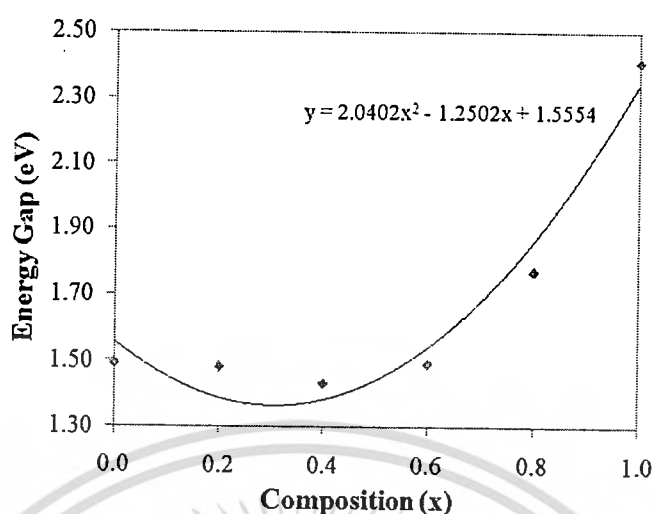
ภาพที่ 4.50 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างแถบพลังงานกับค่าสัดส่วนผสมของโมเลกุลอะตอม (x) ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนिल



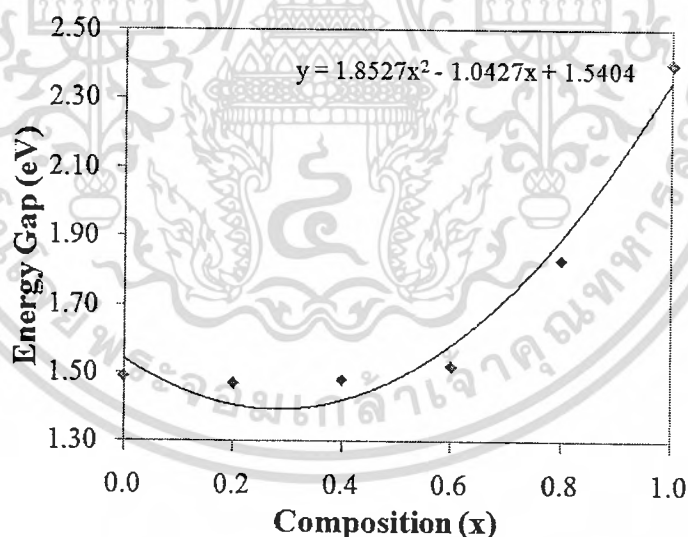
ภาพที่ 4.51 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างแถบพลังงานกับค่าสัดส่วนผสมของโมลอะตอม (x) ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



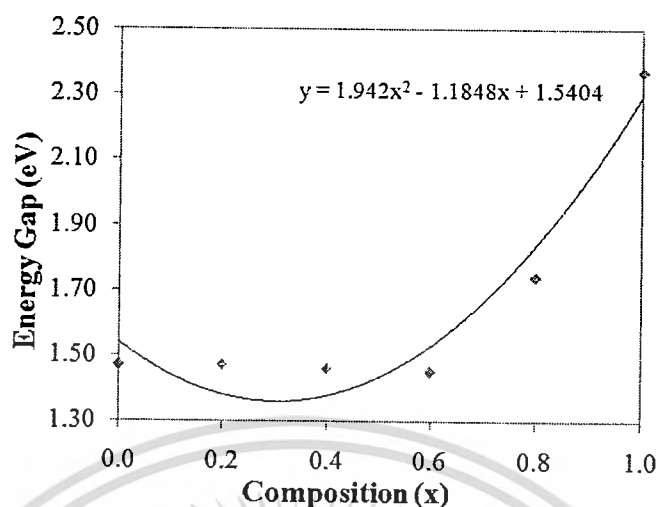
ภาพที่ 4.52 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างแถบพลังงานกับค่าสัดส่วนผสมของโมลอะตอม (x) ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



ภาพที่ 4.53 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างแถบพลังงานกับค่าสัดส่วนผสมของโมเลอะตอม (x) ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกใส ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



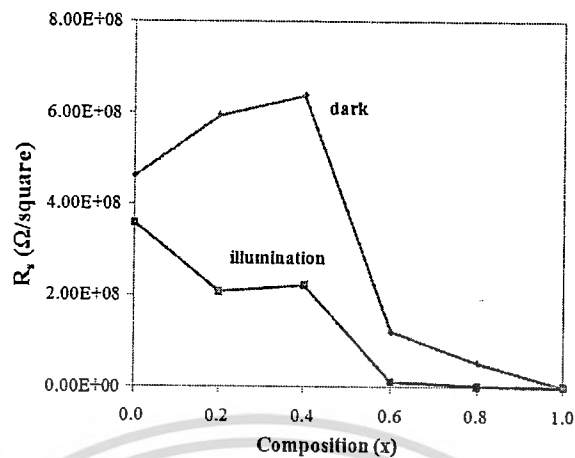
ภาพที่ 4.54 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างแถบพลังงานกับค่าสัดส่วนผสมของโมเลอะตอม (x) ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกใส ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



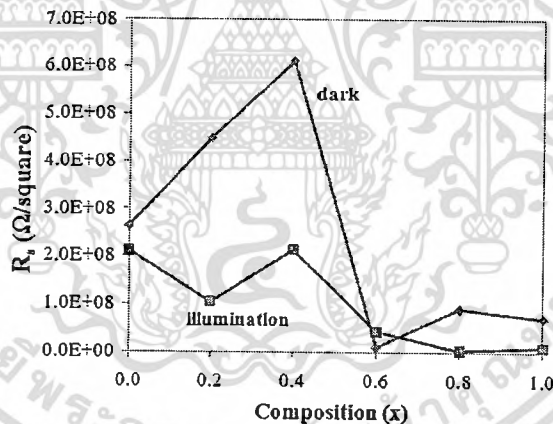
ภาพที่ 4.55 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างแถบพลังงานกับค่าสัดส่วนผสมของ โมลอะตอม(x)ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

4.6 ผลการศึกษาสมบัติเชิงไฟฟ้าเมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิห้องทั้งกรณีที่ไม่มีการฉายแสงและมีการฉายแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็น กระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนีสและมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

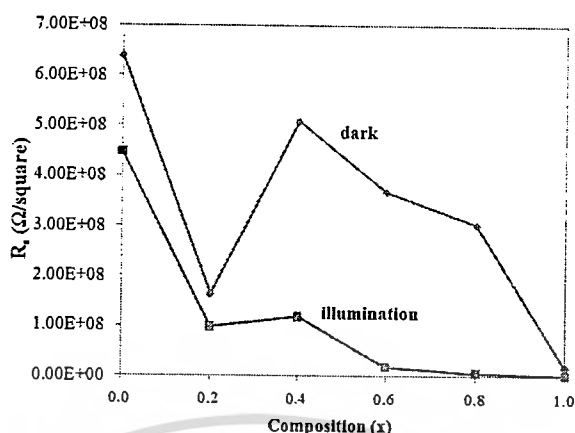
เมื่อทำการวัดค่าความต้านทานแผ่นที่อุณหภูมิห้องทั้งในกรณีที่ไม่มีการฉายแสงและมีการฉายแสงด้วยหลอดฮาโลเจนชนิด ELH ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์เตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนีสและมีการแอนนีสที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที แล้วจะแสดงผลการทดลองได้ดังนี้



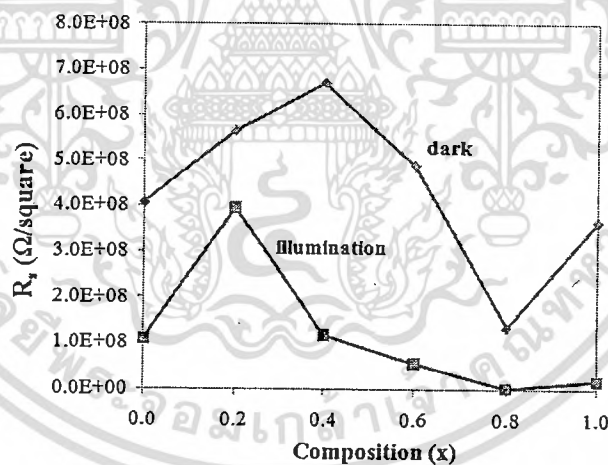
ภาพที่ 4.56 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแผ่นกับค่าสัดส่วนผสมของโมลอะตอม (x) เมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิห้องทั้งในกรณีที่ไม่มีการฉายแสงและมีการฉายแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ ($0 \leq x \leq 1.0$) ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนัล



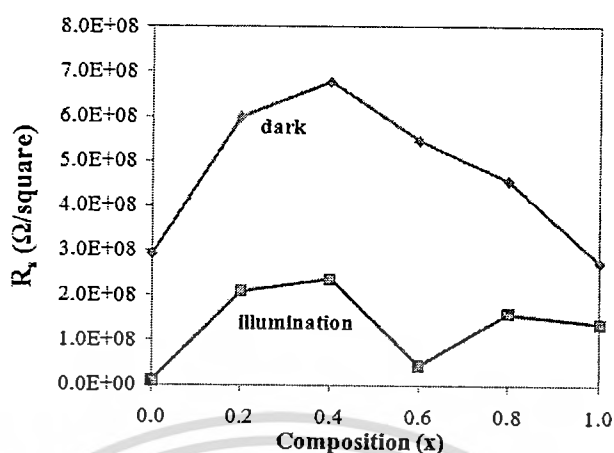
ภาพที่ 4.57 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแผ่นกับค่าสัดส่วนผสมของโมลอะตอม (x) เมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิห้องทั้งในกรณีที่ไม่มีการฉายแสงและมีการฉายแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ ($0 \leq x \leq 1.0$) ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



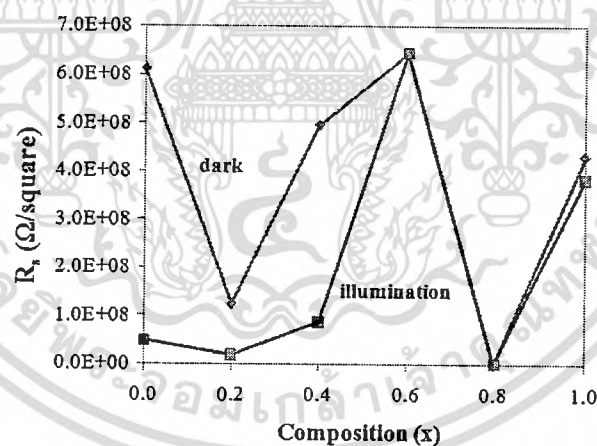
ภาพที่ 4.58 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแผ่นกับค่าสัดส่วนผสมของโมลอะตอม (x) เมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิห้องทั้งในกรณีที่ไม่มีแสงและการฉายแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



ภาพที่ 4.59 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแผ่นกับค่าสัดส่วนผสมของโมลอะตอม (x) เมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิห้องทั้งในกรณีที่ไม่มีแสงและการฉายแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



ภาพที่ 4.60 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแผ่นกับค่าสัดส่วนผสมของโมลอะตอม (x) เมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิห้องทั้งในกรณีที่ไม่มีแสงและการฉายแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนیلที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



ภาพที่ 4.61 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแผ่นกับค่าสัดส่วนผสมของโมลอะตอม (x) เมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิห้องทั้งในกรณีที่ไม่มีแสงและการฉายแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

Composition (%) of CdS_xTe_{1-x}	R_f (Ω square)																	
	Annealing Temperature ($^{\circ}C$)																	
	100			200			300			400			500					
X-ray diffraction		dark		illumination		dark		illumination		dark		illumination		dark		illumination		
0.0	4.62E+08	3.59E+08	2.64E+08	2.11E+08	6.39E+08	4.48E+08	4.06E+08	1.08E+09	2.92E+08	9.74E+06	6.12E+08	4.89E+07						
0.2	5.95E+08	2.08E+08	4.49E+08	1.05E+08	1.63E+08	9.79E+07	5.64E+08	3.95E+08	5.99E+08	2.10E+08	1.25E+08	1.87E+07						
0.4	6.38E+08	2.23E+08	6.12E+08	2.14E+08	5.09E+08	1.19E+08	6.71E+08	1.17E+08	6.77E+08	2.37E+08	4.96E+08	8.68E+07						
0.6	1.21E+08	1.11E+07	9.72E+06	4.32E+07	3.68E+08	1.84E+07	4.88E+08	5.57E+07	5.46E+08	4.37E+07	6.45E+08	6.45E+08						
0.8	5.38E+07	2.69E+06	9.02E+07	3.61E+06	3.04E+08	6.07E+06	1.34E+08	2.67E+06	4.57E+08	1.60E+08	1.01E+06	5.06E+05						
1.0	1.54E+06	1.54E+06	7.08E+07	9.44E+06	1.77E+07	1.77E+06	3.64E+08	1.82E+07	2.73E+08	1.37E+08	4.31E+08	3.83E+08						

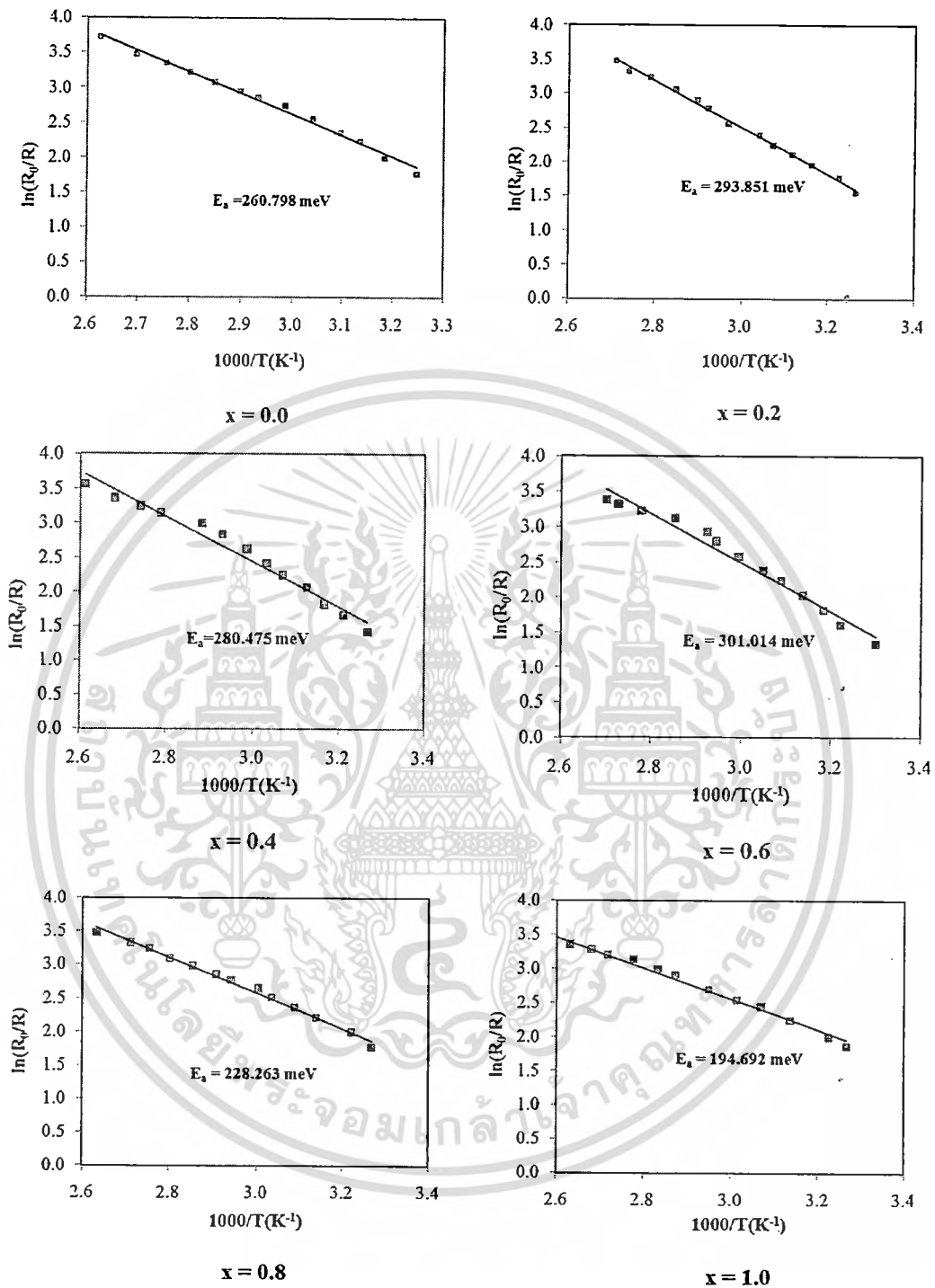
ตารางที่ 4.2 แสดงความต้านทานแผ่นของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกใสที่ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนิลและมีการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

4.7 ผลการศึกษาสมบัติเชิงไฟฟ้าเมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิสูงในช่วงอุณหภูมิ 25-150 องศาเซลเซียส เพื่อหาค่าพลังงานกระตุ้น ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนัลและมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

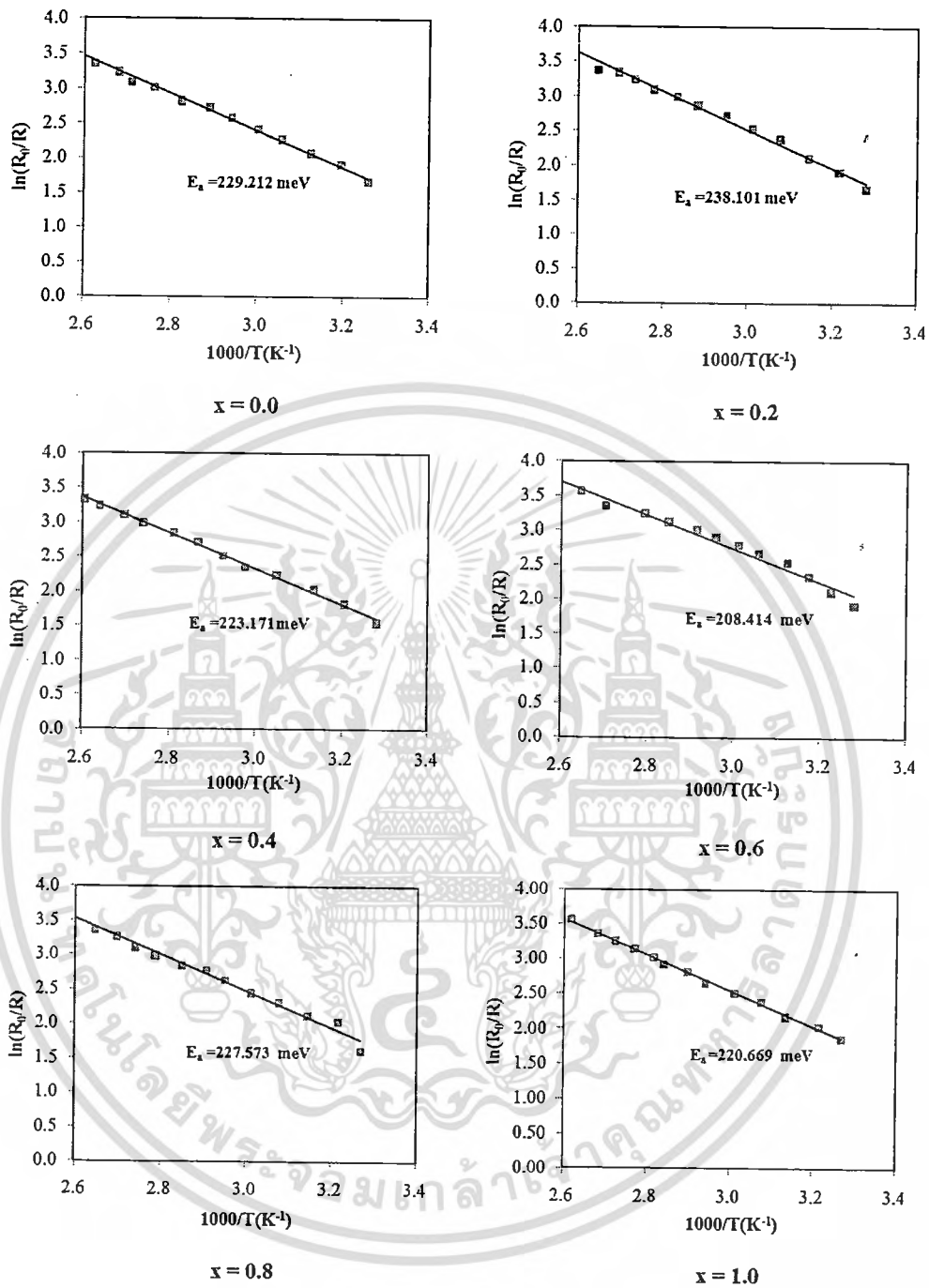
และจากภาพที่ 4.62 ถึงภาพที่ 4.67 และจากตารางที่ 4.3 เป็นผลการศึกษาสมบัติเชิงไฟฟ้าเมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิสูงในช่วงอุณหภูมิ 25-150 องศาเซลเซียส เพื่อหาค่าพลังงานกระตุ้น (activation energy : E_a) ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนัลและมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที พบว่าค่าพลังงานกระตุ้น (E_a) จะมีเพียงค่าเดียวซึ่งจะเป็นค่าก่าแพงศักย์ที่บริเวณขอบของเกรน เมื่อเกรนมีขนาดเล็กค่าของค่าแพงศักย์จะมีค่าเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับค่าความต้านทานไฟฟ้าซึ่งอธิบายได้จากสมการ

$$\sigma = AT^{-\frac{1}{2}} \exp \left[\frac{-\Phi_b}{kT} \right]$$

จากสมการข้างต้นจะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิมีค่ามากขึ้นค่าแพงศักย์จะมีค่าลดลงส่งผลให้ฟิล์มบางนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น

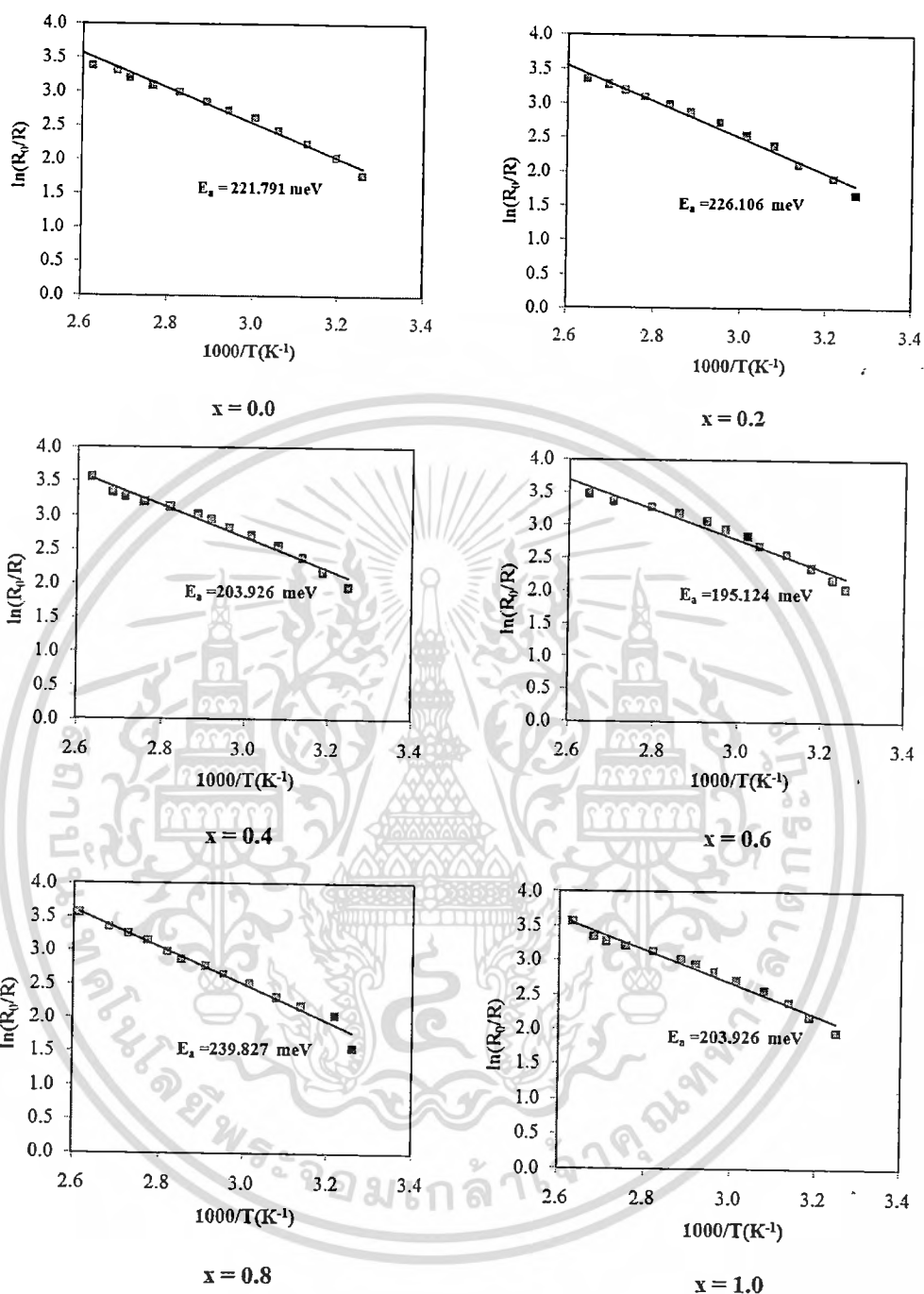


ภาพที่ 4.62 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1000/T$ กับ $\ln(R_p/R)$ เมื่อทำการวัดค่าความต้านทานแผ่นที่อุณหภูมิสูงในช่วงอุณหภูมิ 25-150 องศาเซลเซียส ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนัล



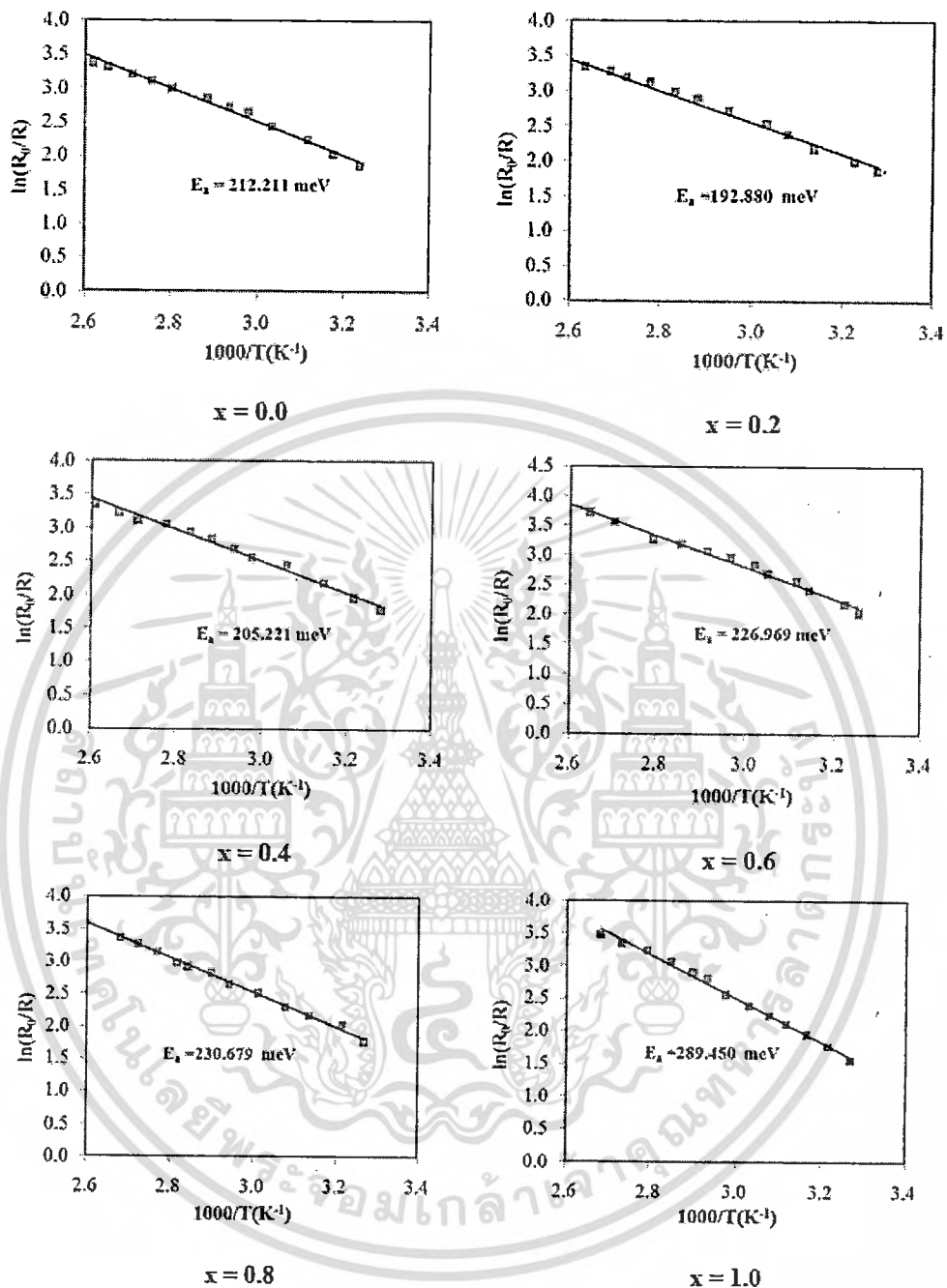
ภาพที่ 4.63 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1000/T$ กับ $\ln(R_p/R)$ เมื่อทำการวัดค่าความต้านทานแผ่นที่อุณหภูมิสูงในช่วงอุณหภูมิ 25-150 องศาเซลเซียส ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนیلที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

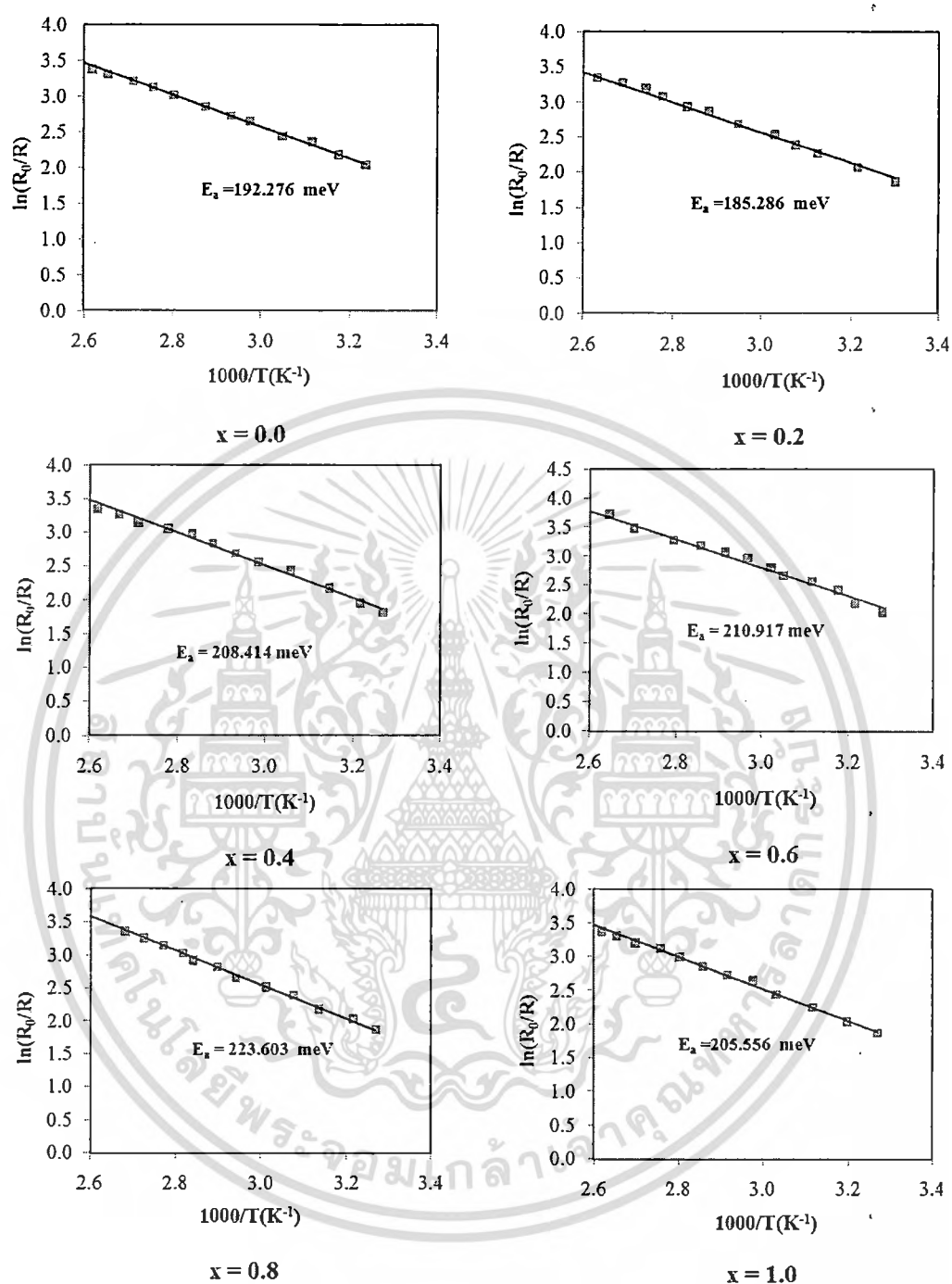


ภาพที่ 4.64 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1000/T$ กับ $\ln(R_p/R)$ เมื่อทำการวัดค่าความต้านทานแผ่นที่อุณหภูมิสูงในช่วงอุณหภูมิ 25-150 องศาเซลเซียส ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนีลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

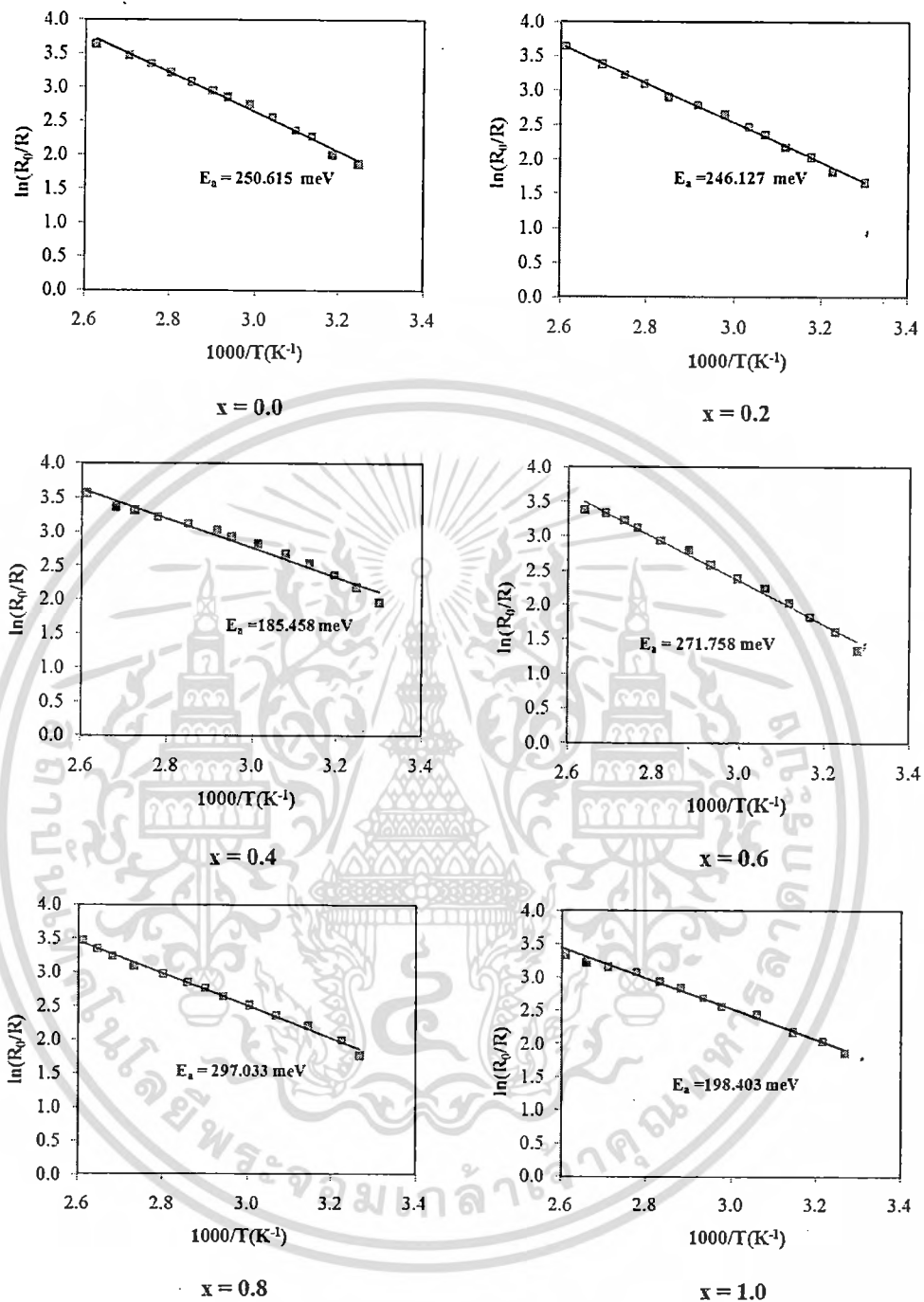
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.65 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1000/T$ กับ $\ln(R_p/R)$ เมื่อทำการวัดค่าความต้านทานแผ่นที่อุณหภูมิสูงในช่วงอุณหภูมิ 25-150 องศาเซลเซียส ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



ภาพที่ 4.66 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1000/T$ กับ $\ln(R_0/R)$ เมื่อทำการวัดค่าความต้านทานแผ่นที่อุณหภูมิสูงในช่วงอุณหภูมิ 25-150 องศาเซลเซียส ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที



ภาพที่ 4.67 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1000/T$ กับ $\ln(R_p/R)$ เมื่อทำการวัดค่าความต้านทานแผ่นที่อุณหภูมิสูงในช่วงอุณหภูมิ 25-150 องศาเซลเซียส ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

ตารางที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานกระตุ้นกับค่าสัดส่วนผสมของโมลอะตอม (X) เมื่อทำการวัดค่าความต้านทานแผ่นที่อุณหภูมิสูงในช่วงอุณหภูมิ 25-150 องศาเซลเซียส ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ ($0 \leq x \leq 1.0$) ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศเมื่อไม่มีการแอนนัลและการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

Composition (x) of CdS_xTe_{1-x}	Activation Energy (meV)					
	as-deposited	Annealed Temperature (°C)				
		100	200	300	400	500
0.0	260	229	221	212	192	250
0.2	293	238	226	192	185	246
0.4	280	223	182	205	208	185
0.6	301	208	195	226	210	271
0.8	228	227	239	230	223	297
1.0	194	220	203	289	205	198

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้เป็นการสรุปการดำเนินงานของโครงการวิจัยตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ โดยมีค่าสัดส่วนผสมของโมลอะตอม $(x) = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ และ 1.0 ตามลำดับ ลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ จากสารตั้งต้นที่เป็นผลึกของสารประกอบ CdS และ $CdTe$ ที่มีความบริสุทธิ์สูงถึง 99.999 เปอร์เซ็นต์ ทั้งในกรณีที่ไม่มีการแอนนیلและการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100 - 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นจึงเป็นการศึกษาสมบัติพื้นฐานทางฟิสิกส์ของฟิล์มบางที่เตรียมได้ดังกล่าว พร้อมด้วยข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ทำเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไป

5.1 สรุปผลการเคลือบฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ โดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศทั้งในกรณีที่ไม่มีการแอนนิล และการแอนนิล ที่อุณหภูมิ 100 - 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

ในโครงการวิจัยนี้เป็นการเตรียมและการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ โดยมีค่าสัดส่วนผสมของโมลอะตอม $(x) = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ และ 1.0 ตามลำดับ ลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ จากสารตั้งต้นที่เป็นผลึกของสารประกอบ CdS และ $CdTe$ ที่มีความบริสุทธิ์สูงถึง 99.999 เปอร์เซ็นต์ ทั้งในกรณีที่ไม่มีการแอนนิลและการแอนนิลที่อุณหภูมิ 100 - 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งทำโดยการคำนวณอัตราส่วนผสมของสารแล้วนำไปอบด้วยความร้อน 100 องศาเซลเซียส เพื่อให้สารตั้งต้นมีความชื้นน้อยที่สุดในการนำไประเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ ผลที่ได้คือฟิล์มบางที่เตรียมได้ ยึดติดกับแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ได้ดี มีความเรียบสม่ำเสมอ มีสีเข้มไม่โปร่งแสงและจะมีสีอ่อนจางลงเมื่อสัดส่วนผสมของโมลอะตอมของธาตุ S มีค่าเพิ่มขึ้น (ฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS จะมีสีเหลืองส้ม) แล้วนำฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เตรียมได้ไปแอนนิลที่อุณหภูมิ 100, 200, 300, 400 และ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที ผลที่ได้จากการแอนนิลคือฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำจะมีสีเข้มขึ้น เมื่อแอนนิลที่อุณหภูมิสูงขึ้น

5.2 สรุปผลการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์โดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ ทั้งในกรณีที่ไม่มีการแอนนีกัล และ มีการแอนนีกัลที่อุณหภูมิ 100 - 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

จากการศึกษาลักษณะของโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ โดยมีค่าสัดส่วนผสมของโมลอะตอม $(x) = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ และ 1.0 ตามลำดับ ลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ที่เตรียมได้ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ CdS และ $CdTe$ ที่มีความบริสุทธิ์สูงถึง 99.999 เปอร์เซ็นต์ ทั้งในกรณีที่ไม่มีการแอนนีกัลและมีการแอนนีกัลที่อุณหภูมิ 100 - 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที ที่เตรียมได้ ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์พบว่าฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบเวิร์ทไซท์ที่สะอาด คล้องกับระนาบ (002) และมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบคิวบิกจะสอดคล้องกับระนาบ (111) ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการเตรียมและยังพบว่าโครงสร้างผลึกนี้จะเปลี่ยนจากคิวบิกเป็นเวิร์ทไซท์ที่ $x = 0.2$ เป็นไปตามผลการทดลองที่ได้มีการรายงานไว้ [40-41] ดังรูปที่ 2.41 ฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ จะมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบคิวบิกที่ $x \leq 0.2$ และจะเป็นแบบเวิร์ทไซท์เมื่อ $x \geq 0.25$ สำหรับโครงสร้างผลึกเป็นแบบคิวบิกที่พบว่าค่าคงที่โครงสร้างผลึกมีแนวโน้มลดลงแบบเชิงเส้นเป็นไปตามสมการ a (zincblende) $= 6.477 - 0.657x$ [11] นอกจากนี้ยังพบว่ามุมของการเลี้ยวเบนจะเลื่อนไปทางมุม 2θ ที่มีค่ามากขึ้นตามค่าความเข้มข้นของผงผลึกของสารประกอบ CdS ที่เพิ่มขึ้น ขนาดของเกรนที่คำนวณได้นั้นมีค่าลดลงเมื่อค่าความเข้มข้นของผงผลึกของสารประกอบ CdS เพิ่มขึ้นซึ่งตรงกับภาพที่ได้จากภาพถ่าย SEM ค่าคงที่โครงสร้างผลึกของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ สามารถคำนวณได้ทั้ง 2 กรณี คือค่าคงที่โครงสร้างผลึกมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนผสมของค่าความเข้มข้นของผงผลึกของสารประกอบ CdS เพิ่มขึ้น ในกรณีแอนนีกัลที่จะลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการแอนนีกัลเพิ่มขึ้น [48]

สำหรับการศึกษาลักษณะของโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ภาพที่ถ่ายจะเห็นได้นั้นต้องนำฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$

ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ไปเคลือบด้วยทองคำก่อน จากภาพถ่ายแสดงให้เห็นว่า ถ้าสัดส่วนผสมโมลอะตอมของธาตุ S มีค่าเพิ่มขึ้นขนาดเกรนของฟิล์มบางจะมีขนาดใหญ่ขึ้น

จากการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง พบว่าฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ที่เตรียมได้ทั้งกรณีที่ไม่มีการแอนนีสและกรณีที่มีการแอนนีสจะมีลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานเป็นแบบตรง ค่าช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ที่เตรียมได้ในกรณีที่สารตั้งต้นเป็นผลึกของสารประกอบ CdS และ CdTe ที่มีความบริสุทธิ์สูง 99.999 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอยู่ในช่วง 1.43– 2.41 อิเล็กตรอนโวลต์ สามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์โบว์ริง (bowing parameter) ได้ประมาณ 1.84 อิเล็กตรอนโวลต์ [40, 41, 49] สรุปได้ว่าค่าช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนผสมของ โมลอะตอมของธาตุ S มีค่าเพิ่มขึ้น [48]

จากการวัดค่าความต้านทานแผ่นของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ทั้งกรณีที่ไม่มีการแอนนีสและกรณีที่มีการแอนนีส พบว่าค่าความต้านทานแผ่นเมื่อทำการฉายแสงจากหลอดฮาโลเจนชนิด ELH จะมีค่าลดลงสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้มีการรายงานไว้ [23, 29, 30, 31]

จากการวัดค่าพลังงานกระตุ้นของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CdS_xTe_{1-x} เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ทั้งกรณีที่ไม่มีการแอนนีสและกรณีที่มีการแอนนีส พบว่าค่าพลังงานกระตุ้น (E_a) มีค่าเดียวและสามารถอธิบายถึงกำแพงศักย์ที่บริเวณขอบของเกรนได้ว่า เมื่อเกรนเล็กค่าของกำแพงศักย์จะมีค่าเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับค่าความต้านทานไฟฟ้า แต่เมื่อค่าพลังงานกระตุ้น (E_a) มีค่าลดลงเมื่อสัดส่วนผสมของ โมลอะตอมของธาตุ S เพิ่มขึ้น เกิดจากการที่มีระดับพลังงานย่อยตรงบริเวณรอยต่อระหว่างเกรน ซึ่งเป็นผลจากการที่อิเล็กตรอนถูกจับไว้โดยกับดักประจุซึ่งระดับพลังงานย่อยนี้มีอยู่สองระดับ ดังนั้นเมื่อเราให้พลังงานความร้อนแก่ฟิล์มบาง อิเล็กตรอนสามารถกลับขึ้นมาเป็นอิเล็กตรอนอิสระได้

5.3 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข

1. การเตรียมฟิล์มบาง

- กระจกสไลด์ที่ใช้มีขนาดไม่เท่ากันเมื่อนำไปใส่ในหน้ากาก เพื่อใช้เตรียมสาร สารที่เตรียมได้จึงมีลักษณะบิดเบี้ยวไปบ้าง
- การระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ ควรนำสารตั้งต้นที่บดแล้วไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสก่อน เพื่อไม่ให้สารตั้งต้นจับเป็นก้อนและง่ายต่อการระเหยสาร

- การทำงานในแบบสุญญากาศควรสวมถุงมือเพื่อป้องกันสิ่งสกปรกต่างๆ จากผู้ทดลอง ผู้ระบบสุญญากาศได้
- ก่อนทำการระเหยด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ ควรตรวจสอบความสะอาดของเครื่องมือ และ เช็ดสภาพเครื่องก่อนทุกครั้ง
- ก่อนทำการระเหยด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ ควรศึกษาวิธีการใช้เครื่องมือก่อนทุกครั้ง

2. การแอนนีลในบรรยากาศก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์

- ก่อนทำแอนนีลควรตรวจสอบปริมาณของก๊าซไนโตรเจนและเครื่องมือให้พร้อมก่อนทำการแอนนีล
- ก่อนทำแอนนีลควรศึกษาวิธีการใช้เครื่องมือและลำดับขั้นตอนก่อนทำการแอนนีล
- ในขณะที่แอนนีล ต้องคอยควบคุมปริมาณฟองอากาศให้คงที่สม่ำเสมอ ไม่เร็วจนเกินไป
- เมื่อทำการแอนนีลเสร็จแล้วควรปิดเครื่องมือตามลำดับขั้นตอน และปิดก๊าซไนโตรเจนให้เรียบร้อยทุกครั้ง

3. การวัดสมบัติทางฟิสิกส์ต่างๆ

- การถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) นั้น ถ้าไม่เห็นเกรน ให้นำฟิล์มบางไปเคลือบด้วยทองคำก่อน แล้วนำกลับมาถ่ายภาพอีกครั้ง
- การวัดความต้านทานแผ่นนั้น กระแสที่ไหลผ่านวงจรควรอยู่ในระดับต่ำกว่า 10^{-6} แอมแปร์ เนื่องจากปัญหารอยต่อ โอห์มมิก ระหว่างขั้วไฟฟ้ากับสารกึ่งตัวนำจะมีค่าที่ลดลง
- การวัดความต้านทานแผ่นเมื่อฉายแสงควรรีบทำการทดลอง คือ รีบเปิดและปิดทันทีเพื่อป้องกันหลอดไฟขาด
- การทำการทดลองวัดสมบัติทางแสงหรือทางไฟฟ้าควรทำให้เร็วที่สุดหลังจากเตรียมฟิล์มบางได้ เพื่อลดผลกระทบจากข้อบกพร่องผลึกที่ปรากฏบนผิวหน้า

เอกสารอ้างอิง

- [1] Moller H.J., **Semiconductors for Solar Cells**, Artech House, Inc. 1993.
- [2] Bonet D. and Rabenhorst H., New results on the development of a thin film p-CdTe/n-CdS heterojunction solar cell, **Proceedings of 9th IEEE Photovoltaic Specialists Conference**, Silver Spring, 1972: 129-131.
- [3] Gupta A. et al., High efficiency ultra thin sputtered CdTe solar cells, **Sol. Energy Mater. Sol. Cells**, 90, 2006: 2263-2271.
- [4] Britt J. and Ferekides C., Thin films CdS/CdTe solar cell with 15.8% efficiency, **Appl. Phys. Lett.**, 62, 1993: 2851-2854.
- [5] Lalitha S., et al., Influence of CdCl₂ treatment on structural and optical properties of vacuum evaporated CdTe thin films, **Sol. Energy Mater. Sol. Cells**, 90, 2006: 694- 703.
- [6] Kestner J.M. et al., An experimental and modeling analysis of vapor transport deposition of cadmium telluride, **Sol. Energy Mater. Sol. Cells**, 83, 2004: 55-65.
- [7] Bosio A. et al., Why CuInSe₂ and CdTe polycrystalline thin film solar cells are more efficient than the corresponding single crystal?, **Cryst. Res. Technol.**, 40, 2005: 1048-1053.
- [8] Romeo N. et al., Recent progress on CdTe/CdS thin film solar cells, **Sol. Energy**, 77, 2004: 795-799.
- [9] Compaan A.D. et al., High efficiency magnetron sputtered CdS/CdTe solar cells, **Sol. Energy**, 77, 2004: 815-821.
- [10] Wood D.A. et al., Optical properties of CdS_xTe_{1-x} polycrystalline thin films, **J. Electron. Mater.**, 28, 1999: 1403-1408.
- [11] Dhere R. et al., Formation and characterization of alloy prepared from thin film couples of CdS and CdTe, **29th IEEE PV Specialists Conf.**, May 20-24 2002, New Orleans, Louisiana, pp. 484-487.
- [12] Boiko et al., Photovoltaic properties in CdS/CdTe thin film hetero-systems with graded gap interfaces, **Sol. Energy Mater. Sol. Cells**, 45, 1997:303-308.
- [13] Murali K.R. and Thirumoorthy P., Electrical and optical properties of pulsed plated CdS_xTe_{1-x} films, **Ionics**, 16, 2010: 613-619.
- [14] Murali K.R. et al., Pulsed plated CdS_xTe_{1-x} films and their properties, **Sol. Energy**, 83 2009: 14-20.

- [15] Lane D.W., A review of optical band gap of the films $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$, **Sol. Energy Mater. Sol. Cells**, 90, 2006: 1169-1175
- [16] Patil V.B. et al., Photovoltaic properties of n- $\text{CdS}_{1-x}\text{Te}_x$ thin film/polysulphide photoelectrochemical solar cells prepared by chemical bath deposition, **Thin Solid Films**, 446, 2004: 1-5.
- [17] Wood D.A. et. al., Optical properties of $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ polycrystalline thin films, **J. Phys. C: Condens. Matter.**, 12, 2000: 4433-4438.
- [18] Wei K. and Pollak H., Optical properties of $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$:experiment and modeling, **J. Appl. Phys.** 85, 1999: 7418-7425.
- [19] Hill R. and D. Richaedson D., Energy gap variations and structural phase changes in $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ alloy thin films, **Thin Solid Films**, 18, 1973: 25-29.
- [20] Karlheinz S. **Semiconductor Physics : An Introduction.** 7th ed. Berlin : Springer. 1999.
- [21] ฐิตินัย แก้วแดง. “การเตรียมและศึกษาสมบัติของสารกึ่งตัวนำคอปเปอร์อินเดียมไดซีลีไนด์ (CuInSe_2).” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2530.
- [22] งามนิศย์ วงษ์เจริญ. “การศึกษารอยต่อแบบโลหะ-ฉนวน-สารกึ่งตัวนำ ของคอปเปอร์อินเดียมไดซีลีไนด์.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2531.
- [23] งามนิศย์ แก้วแดง, ฐิตินัย แก้วแดง, ชัยสิงห์ ภูรักษ์เกียรติ, ทิพรรัตน์ วงษ์เจริญ. “การเตรียมและศึกษาสมบัติของฟิล์มบาง $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ เพื่อประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์.” รายงานวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545.
- [24] งามนิศย์ แก้วแดง, ฐิตินัย แก้วแดง, ทิพรรัตน์ วงษ์เจริญ, ชัยสิงห์ ภูรักษ์เกียรติ. “การประดิษฐ์ฟิล์มบาง CuInSe_2 โดยวิธีซีลีไนด์ชั้นเพื่อประยุกต์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์” รายงานวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2555.
- [25] Cullity, B.D. 1956. **Elements of X-rays Diffraction.** Addison-Wesley Publishing Company Inc.; pp 9-14.
- [26] Werner M. **Crystal Structure Determination.** 2nd ed. Berlin : Springer. 2004.
- [27] Hammond C. **The Basics of Crystallography and Diffraction.** New York : Oxford University Pess Inc. 1997.

- [28] Kittel, C., **Introduction of Solid State Physics**. 8th ed. New York: John Wiley & Sons Inc., 2005.
- [29] งามนิตย์ แก้วแดง, ฐิตินัย แก้วแดง, ทิพรรัตน์ วงษ์เจริญ และชัยสิงห์ ภูรักษ์เกียรติ. การเตรียมและการศึกษาสมบัติของฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ เพื่อประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์. รายงานวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2543.
- [30] ฐิตินัย แก้วแดง, งามนิตย์ วงษ์เจริญ, ทิพรรัตน์ วงษ์เจริญ และชัยสิงห์ ภูรักษ์เกียรติ. การประดิษฐ์ฟิล์มบาง $Cd_{1-x}Zn_xS$ ที่มี Zn ในปริมาณสูง สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์. รายงานวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2546.
- [31] ฐิตินัย แก้วแดง, งามนิตย์ แก้วแดง, ทิพรรัตน์ วงษ์เจริญ. การเตรียมฟิล์มบาง CdS ที่เจือด้วยอะตอม In โดยระเหยในระบบสุญญากาศ. รายงานวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2547.
- [32] Sze S.M. and Kwok K.Ng., **Physics of Semiconductor Devices**. 3rd Ed., Wiley Inter Science: John Wiley & Sons Inc., New York, 2007.
- [33] Abelas, F., **Optical Properties of Solids**. North-Holland, London. 1972, pp. 23-40.
- [34] Runyan W.R., **Semiconductor Measurement and Instrument**. 3rd ed. New York: Mc Graw-Hill. 1975.
- [35] Schroder D.K., **Semiconductor Material and Characterization**, 2nd ed. New York : John Wiley & Sons Inc., 1998.
- [36] Tilley R.J. D., **Understanding Solids : The Science of Materials**. Chichester: John Wiley & Sons. 2004.
- [37] Ohring, M., **Materials Science of Thin Films Deposition and Structure**. 2nd ed. Sandiego, CA: Academic Press: 2002.
- [38] ฐิตินัย แก้วแดง, งามนิตย์ แก้วแดง และทิพรรัตน์ วงษ์เจริญ “การประดิษฐ์ขั้วไฟฟ้าด้านหลังชนิดใหม่ที่เหมาะสมกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง $CdS/CdTe$ ” รายงานวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2554.
- [39] ฐิตินัย แก้วแดง, งามนิตย์ วงษ์เจริญ, ทิพรรัตน์ วงษ์เจริญ และชัยสิงห์ ภูรักษ์เกียรติ. “การเตรียมฟิล์มบาง $CdTe$ โดยวิธีระเหิดในระยะประชิดเพื่อประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์” รายงานวิจัยเสนอต่อคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2551.
- [40] Adachi, S., **Properties of Group IV, III-V and II-VI Semiconducting**, John Wiley & Sons, Ltd., 2005.

- [41] Adachi, S., **Properties of Semiconductor Alloys Group-IV, III-V and II-VI Semiconductors**, John Wiley & sons, Ltd., 2009.
- [42] Wood, D.A., Lane, D.W., Rogers, K.D. and Coath, J.A., Optical properties of $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ polycrystalline thin films, **J. Electron. Mater.**, 28(12), 1999: 1403-1408.
- [43] Lane, D.W., A review of the optical band gap of thin films, **Sol. Energy Mater. Sol. Cell**, 90, 2006: 1169-1175.
- [44] Wei, K and Pollak, F.H., Optical properties of $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ ($0 \leq x \leq 1.0$) : experiment and modeling, **J. Appl. Phys.**, 85, 1999: 7418-7425.
- [45] Santana-Aranda, M.A., Melendez-Lira, M. and Escobar-Alarcon, L., Structural and optical characterization of screen-printed $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ films, **Superficies y Vacio**, 10, 2000: 36-39.
- [46] Murali, K.R. and Palanisamy, T., Electrical and optical properties of pulse plated $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ films, **Ionics**, 16, 2010: 613-619.
- [47] Ohata, K., Saraie, J. and Tanaka, T., Some properties of $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ alloys, **Jap. J. Appl. Phys.** 12, 1973: 1198-1202.
- [48] Lee, J.H.; Song, W.C.; Yi, J.S.; Yang, K.J.; Han, W.D. and Hwang, J., Growth and properties of the $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ thin films for solar cells applications. **Thin Solid Films**. 431-432, 2003: 349-353.
- [49] Gaewdang T., Wongcharoen, Ng. and T. Wongcharoen, T., "Preparation and characterization of $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ ($0 \leq x \leq 1$) thin films" Proceedings in **Asian Conference on Civil, Material and Environmental Sciences (ACCMES) 2013**, March 15-17, 2013, Tokyo, Japan, pp. 2070- 2077.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ CdS และ CdTe ที่ได้จากไฟล์ข้อมูลมาตรฐาน

JCPDS (The Joint Committee on Powder Diffraction Standards)

Pattern : 77-2306		Radiation = 1.540600		Quality : Calculated	
CdS		2 θ :	h	k	l
Cadmium Sulfide		24.837	63	1	0
		26.535	45	0	0
		28.216	100	1	0
		36.662	25	1	0
		43.738	43	1	0
		47.894	41	1	0
		50.949	6	2	0
		51.890	31	1	1
		52.866	13	2	0
		54.644	2	0	0
		58.354	5	2	0
		60.912	2	1	0
		66.858	12	2	0
		69.359	8	2	1
		70.862	9	2	1
		72.472	4	1	1
		75.572	8	1	0
		75.689	5	2	1
		77.956	1	2	0
		80.356	4	3	0
		83.367	10	2	1
		86.434	4	3	0
		87.021	1	0	0
Lattice : Hexagonal S.G. : P63mc (186) a = 4.13600 c = 6.71300 Z = 2 Mol. weight = 144.47 Volume [CD] = 99.45 Dx = 4.824 μ_{cor} = 7.93					
ICSD COLLECTION CODE : 060629 REMARKS FROM ICSD : REM F Determination based on model III of Fakiness, Steverson REMARKS FROM ICSD : REM Barnea Aust. J. Phys. 1982,35 416 424. TEST FROM ICSD : At least one TF missing.					
*Calculated from ICSD using POWD-12+, (1997) primary reference : *Acta Crystallogr., Sec. B: Structural Science, volume 40, page 621, (1984) :					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pattern : 75-1546		Radiation = 1.540600		Quality : Calculated		
CdS		2 θ	I	h	k	l
Cadmium Sulfide		28.505	100	1	1	1
		30.699	22	2	0	0
		43.959	47	2	2	0
		52.076	33	3	1	1
		54.579	5	2	2	2
		63.932	6	4	0	0
		70.468	11	3	3	1
		72.585	5	4	2	0
		80.842	10	4	2	2
		85.902	7	5	1	1
Lattice : Face-centered cubic		Mol. weight = 144.47				
S.G. : F-43m (216)		Volume [CD] = 197.14				
a = 5.82000		Dx = 4.868				
Z = 4		V _{cell} = 14.05				
ICSD COLLECTION CODE : 031075 TEST FROM ICSD : No R value given. TEST FROM ICSD : At least one TF missing.						
*Calculated from ICSD using POWD-12+, (1997) primary reference : *Z. Kristallogr., Kristallogr., Kristallophys., Kristallchem., volume 62, page 260, (1925) :						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

Pattern : 10-207		Raduatiib = 1.540598		Quality : Deleted		
CdTe		<i>2θ</i>	<i>I</i>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>
Cadmium Tellurium		23.772	100	1	1	1
		39.312	80	2	2	0
		46.535	70	3	1	1
		56.783	20	4	0	0
		62.493	40	3	3	1
		71.154	50	4	2	2
		76.228	40	5	1	1
		84.559	40	4	4	0
<i>Lattice</i> : Face-centered cubic		89.620	70			
<i>S.G.</i> : F-43m (216)		97.443	70	6	2	0
<i>a</i> = 6.49000		102.458	50			
<i>Z</i> = 4						
<i>Mol. Weight</i> = 240.01						
<i>Volume [CD]</i> = 273.36						
<i>Dx</i> = 5.832						
DELETED AND REJECTED BY : Delete : Post parcel January 7,1964 (for Set 15).						
*Private Communication, Primary reference : Vaughan, D., Battelle Memorial Inst., Coulmbus, OH, USA. *Z.Phys. Chem., volume 124, page 277, (1926) unit cell aste : Zachariasen.						
<i>Radiation</i> : FeK α 1.		<i>Filter</i> : Beta				
<i>Lambda</i> : 1.93600		<i>d-sp</i> : Not given				
<i>SS/FOM</i> : F9= 3(0.1880,14)						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติหัวหน้าคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นายฐิติไนย์ แก้วแดง

ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์ ระดับ 9

ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับ	อักษรย่อปริญญา	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันการศึกษา
2526	ปริญญาตรี	วท.บ.	ฟิสิกส์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ
2530	ปริญญาโท	วท.ม.	ฟิสิกส์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ
2536	ปริญญาเอก	Ph.D.	วัสดุศาสตร์	Bordeaux University I, France

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา)

ฟิสิกส์ของแข็ง ฟิสิกส์ของสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

1. T. Gaewdang, Ng. Wongcharoen and T. Wongcharoen "Effect of Annealing Temperature on the Optical Parameters of CdS Thin Films Prepared by Thermal Evaporation Method" Advanced Materials Research, Vol. 747, 2013, pp. 329-332.
2. Ng. Wongcharoen, T. Gaewdang and T. Wongcharoen "Structural and Thermoelectric Properties of Zn-Doped Cuprous Aluminate Delafossite" Advanced Materials Research, Vol. 747, 2013, pp. 333-336.
3. Ng. Wongcharoen, T. Gaewdang and T. Wongcharoen "Determination of Gap State Density in n-CdS/p-CuAlO₂ Heterojunction" Asian Conference on Civil, Material and Environmental Sciences (ACCMES) 2013, March 15-17, 2013, Tokyo, Japan, Proceedings, pp. 2078-2088.

4. T. Gaewdang, Ng. Wongcharoen and T. Wongcharoen "Preparation and Characterization of CdS_xTe_{1-x} ($0 \leq x \leq 1$) Thin Films" Asian Conference on Civil, Material and Environmental Sciences (ACCMES) 2013, March 15-17, 2013, Tokyo, Japan Proceedings, pp. 2070-2077.
5. T. Gaewdang, Ng. Wongcharoen and T. Wongcharoen "Characterization of CdS/CdTe Heterojunction Solar Cell by Current- Voltage Measurements at Various Temperatures under Illumination", Energy Procedia, vol. 15, 2012, pp. 299-304.
6. Ng. Wongcharoen, T. Gaewdang and T. Wongcharoen "Electrical Properties of Al-Doped CdO films Prepared by Thermal Evaporation in Vacuum" Energy Procedia, vol. 15, 2012, pp. 361-370.
7. T. Gaewdang, Ng. Wongcharoen, A. Nopparuchikun, T. Wongcharoen and C. Poo-Rakkiat "Fabrication and Characterization of Heterojunction of CdS Thin Films and $CuAlO_2$ Ceramic Pill Substrate" Journal of Metals, Materials and Minerals, vol. 22(2), 2012, pp. 125-129.
8. Ng. Wongcharoen and T. Gaewdang, "Thermoelectric Properties of Ni-Doped $CuAlO_2$ " Physics Procedia, vol.2, 2009, pp.101-106.
9. Wongcharoen, T. Gaewdang, P. Siripudhhaiwon and N. Promros "Influence of Substrate Temperature on Some Properties of Close-Spacing Thermal Evaporated CdTe Thin Films" Advanced Materials Research, Vol. 55-57, 2008, pp.881-884.
10. T. Gaewdang and Ng. Wongcharoen "Optical and Electrical Properties of Chemical Bath Co-Deposited CdS-ZnS Thin Films" ISES Solar World Congress 2007, September 18- 21, 2007, Beijing, China, Proceedings, pp.1299-1302.
11. Ng. Wongcharoen and T. Gaewdang "Co-existence of F and Sb Dopant in Transparent Conducting SnO_2 Thin Films Prepared by Ultrasonic Spray Pyrolysis Method" ISES Solar World Congress 2007, September 18- 21, 2007. Beijing, China, Proceedings, pp.1269-1274.
12. T. Gaewdang and Ng. Wongcharoen "Growth and Characterization of Co-Doped Fluorine and Antimony in Tin Oxide Thin Films Obtained by Ultrasonic Spray Pyrolysis" Journal of Solid Mechanics and Material Engineering, Vol. 1, No. 4, 2007, pp.592-601. (ผู้วิจัยหลัก)
13. T. Gaewdang "Investigations on Chemically Deposited $Cd_{1-x}Zn_xS$ Thin Films With Low Zn Content" Materials Letters, Vol.59, 2005 pp. 3577- 3584.

14. Ng. Wongcharoen and T. Gaewdang "Comparative Studies of Thermally Evaporated $Cd_{1-x}Zn_xS$ Thin Films Prepared by Using Different Precursors" Technical Digest of the International PVSEC-15, 10-15 October 2005, Shanghai, RPC. pp.694- 695.
15. T. Gaewdang and Ng. Wongcharoen "Optical and Electrical Properties of B-Doped $Cd_{0.6}Zn_{0.4}S$ Thin Films Prepared by Chemical Bath Deposition Method" Technical Digest of the International PVSEC-15, 10-15 October 2005, Shanghai, RPC. pp.696- 697.
16. Ng. Gaewdang and T. Gaewdang "Thickness Dependence of Structural, Optical and Electrical Properties of CdS and CdS:In Films Prepared by Thermal Evaporation" Technical Digest of the International PVSEC-14, Bangkok, Thailand. 2004, pp.581-582.
17. Ng. Gaewdang, T. Gaewdang and W. Lipar "Some Characterization of Chemical Bath Co-Deposited CdS- ZnS Thin Films" Technical Digest of the International PVSEC-14, Bangkok, Thailand. 2004, pp.583-584.
18. J.P. Chaminade, A. Garcia, T. Gaewdang, M. Pouchard, J. Grannec and B. Jacquier, "Reversible Photoionization Process in Luminescent Ce^{3+} -Doped Elpasolite-Type Fluoroindates", Radiation Effects and Defects in Solids, Vol. 135, 1995, pp. 137-146.
19. A. Garcia, T. Gaewdang, J.P. Chaminade, C. Fouassier, B. Varrel, B. Jacquier, M. Messous, B. Chambon and D. Drain, "Luminescence and Scintillation Properties of $In_2Si_2O_7$ ", Radiation Effects and Defects in Solids, Vol. 135, 1995, pp. 397-399.
20. Y. Messous, B. Chambon, M.De Jesus, D. Drain, C. Pastor, A. Garcia, J.P. Chambon, T. Gaewdang, C. Fouassier, B. Jacquier and B. Varrel, "Indium Disilicate, a New Fast Scintillator", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. Vol. 354, 1995, pp. 527-529.
21. T. Gaewdang, "Coexistence of the Ce^{3+} and In^{3+} luminescent Centres in $Rb_2KInF_6 : Ce^{3+}$ Single Crystals", Thai Journal of Physics, Vol. 1, No.1, 1995, pp. 5-12.
22. T. Gaewdang, J.P. Chaminade, A. Garcia, M. Pouchard, P. Hagenmuller and B. Jacquier, "Luminescence of Ce^{3+} in the $In_xSc_{1-x}BO_3$ ($0 \leq x \leq 1$) Solid Solution", J. Phys. Chem. Solids, Vol. 55, No. 6, 1994, pp. 501-504.