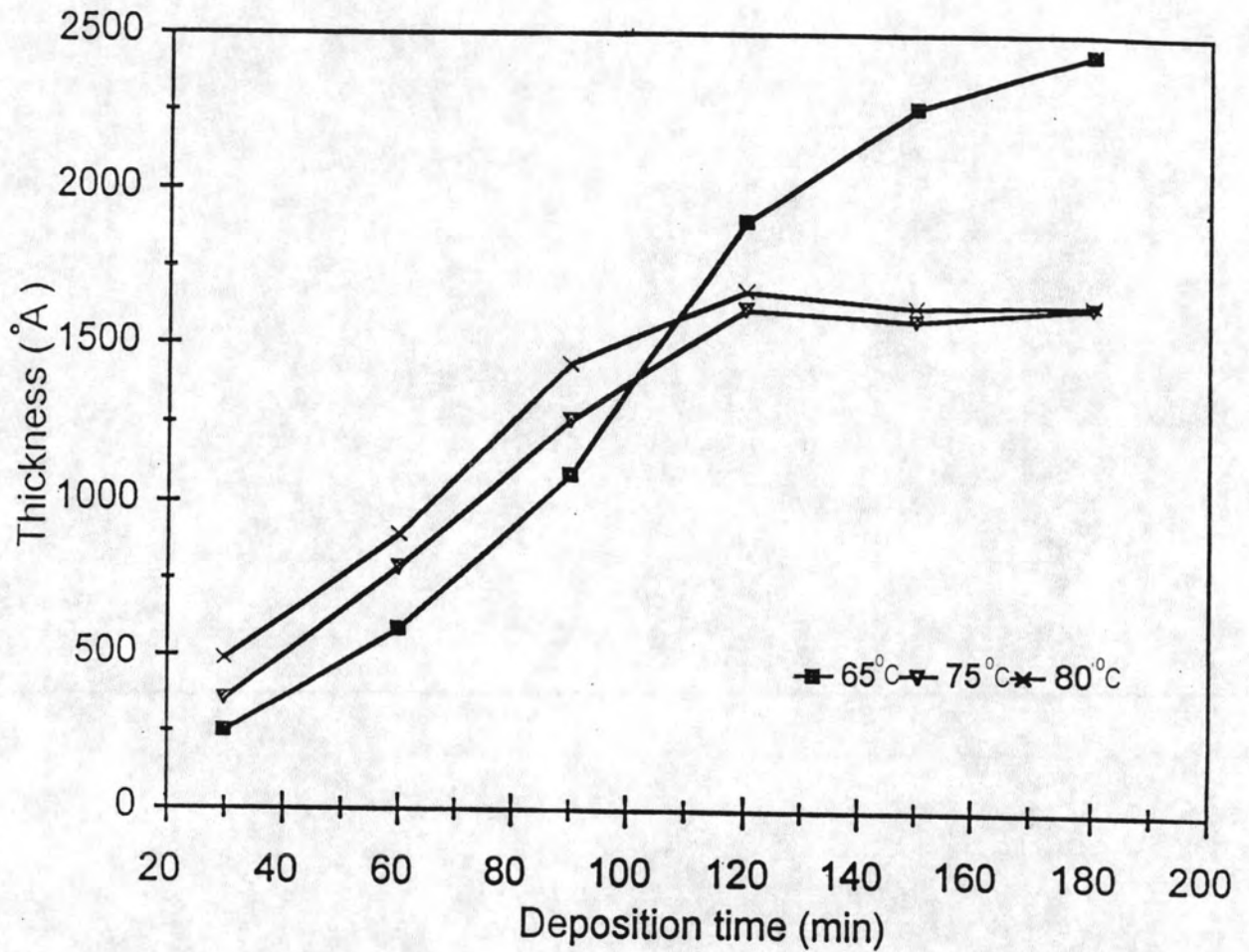


บทที่ 6

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

การวัดความหนา

ฟิล์มที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิ 65, 75, 80 °C จะมีสีเหลืองส้ม ผิวเรียบ สะท้อนแสงเคลือบติดอย่างสม่ำเสมอบนแผ่นรองรับที่เป็นกระจกทั้งสองด้าน ดังนั้นเมื่อนำไปวัดความหนาจะต้องลอกออกด้านหนึ่งโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกเจือจาง แล้วนำไปวัดความหนาโดยวิธีโทลานสกี (แสดงวิธีการวัดในบทที่ 5) ได้ผลความหนาตามที่แสดงในรูปที่ 6.1 โดยในช่วงเวลาการจุ่ม 30 - 120 นาที ความหนาของฟิล์มจะเพิ่มขึ้นตามเวลาของการจุ่มทั้งฟิล์มที่เตรียมที่อุณหภูมิ 65, 75, 80 °C แสดงว่าในช่วงเวลานี้ปฏิกิริยาเคมียังไม่สมบูรณ์ความหนาจึงเพิ่มขึ้นแต่ความหนาของฟิล์มแตกต่างกันโดยเตรียมที่อุณหภูมิสูงกว่าจะได้ความหนามากกว่า ในขณะที่เวลาของการจุ่มฟิล์มเท่ากัน โดยอัตราการเคลือบฟิล์มจะมีค่าตามลำดับดังนี้ 13.8, 14.9, 15.3 Å/min สำหรับฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 65, 75 และ 80 °C ดังเช่นที่เวลา 30 วินาที เตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ได้ความหนา 250 Å เตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ได้ความหนา 360 Å และเตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C ได้ความหนา 480 Å ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องจากอุณหภูมิช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเร็วขึ้นเมื่อพิจารณาในช่วงเวลา 120 - 180 นาที ฟิล์มที่เตรียมที่อุณหภูมิ 75 และ 80 °C ความหนาจะคงที่ โดยเตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ได้ ความหนา 1620 Å และเตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C ได้ความหนา 1680 Å ส่วนฟิล์มที่เตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ความหนาจะเริ่มคงที่เมื่อเวลา 180 นาที ได้ความหนา 2430 Å แสดงว่าเมื่อความหนาเริ่มคงที่ปฏิกิริยาเคมีจะสมบูรณ์ความหนาจึงไม่เพิ่มขึ้นอีก แต่เมื่อสังเกตที่ความหนาในช่วงที่ปฏิกิริยาเคมีสมบูรณ์ จะเห็นได้ว่าฟิล์มที่เตรียมที่อุณหภูมิสูงกว่าความหนาจะคงที่เร็วกว่าและได้ความหนาน้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิไปช่วยเร่งให้เกิดการแตกตัวของ S^2 จากไทโอยูเรียมากขึ้น ดังนั้น S^2 ก็จะรวมตัวกับ Cd^{2+} เกิดเป็น CdS ได้มากขึ้นด้วย ดังนั้นจึงเกิดเป็นตะกอนแคดเมียมซัลไฟด์มากกว่าที่จะเป็นฟิล์มบนแผ่นรองรับ จึงทำให้ฟิล์มที่เตรียมที่อุณหภูมิ 75 และ 80 °C ได้ความหนาเร็วกว่าในช่วงเวลาแรกและน้อยกว่าในช่วงเวลาที่ปฏิกิริยาเคมีสมบูรณ์แล้วเมื่อเทียบกับฟิล์มที่เตรียมที่ 65 °C



รูปที่ 6.1 แสดงความหนาของฟิล์มที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิ 65 , 75 , 80 °C สัมพันธ์กับเวลาของการจุ่มฟิล์มในสารละลาย

การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

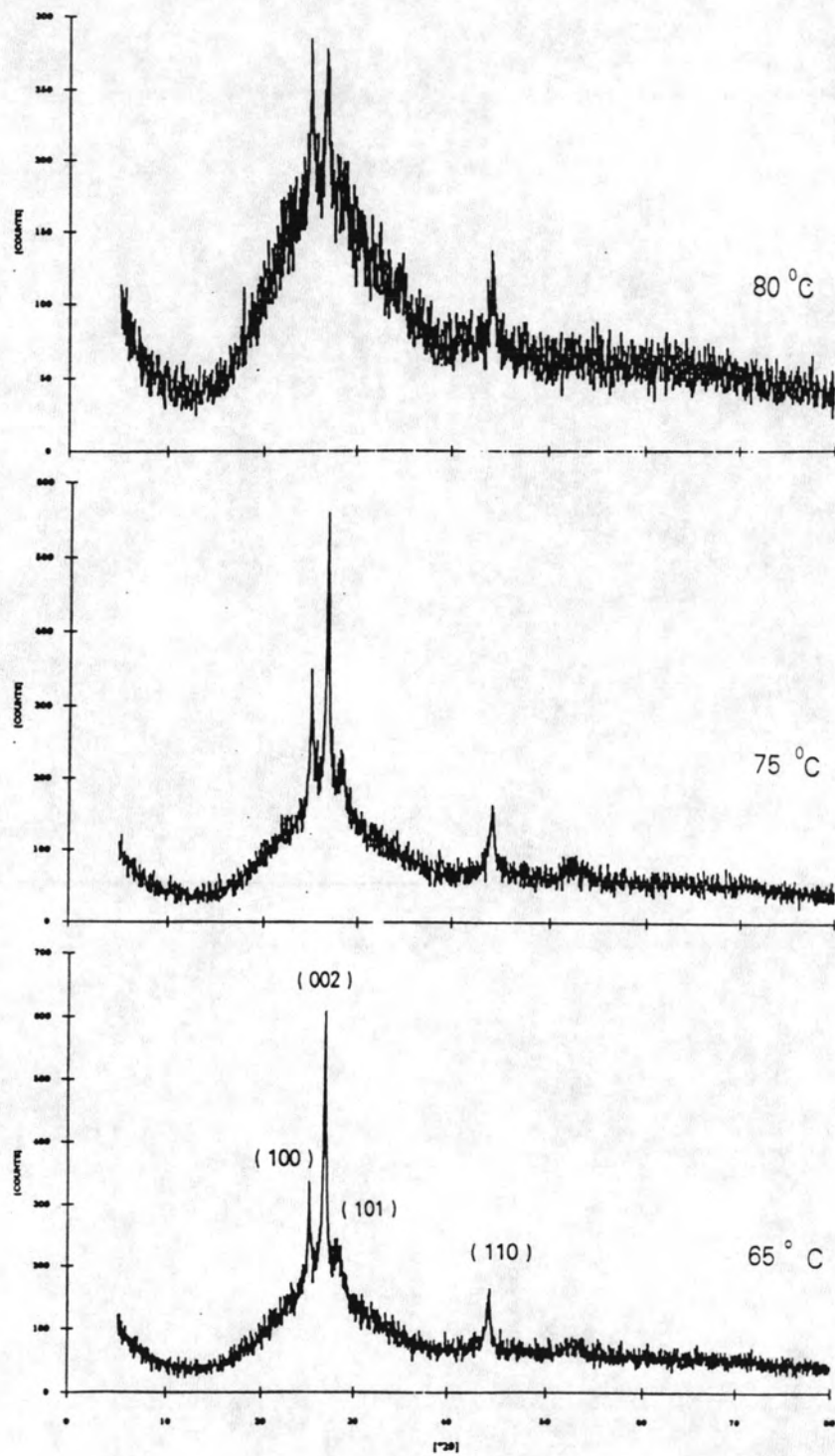
จากการวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์โดยเครื่องดิฟแฟรคโตมิเตอร์ จะได้แพทเทิร์นการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ดังแสดงในรูปที่ 6.2 , 6.3 , 6.4 , 6.5 จากรูปที่ 6.2 เป็นการเปรียบเทียบ

เทียบโครงสร้างผลึก CdS ซัลไฟด์ที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิ 65 , 75 และ 80 ° C รูปที่ 6.3 แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างผลึก CdS ที่เตรียมที่อุณหภูมิ 65 ° C กับ แอนนิลที่อุณหภูมิ 400 ° C รูปที่ 6.4 แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างผลึก CdS ที่เตรียมที่อุณหภูมิ 75 ° C กับแอนนิลที่อุณหภูมิ 400 ° C และรูปที่ 6.5 แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างผลึก CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 80 ° C กับแอนนิลที่อุณหภูมิ 400 ° C ซึ่งแพทเทิร์นที่ได้นี้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการเลี้ยวเบนกับมุมของแบรกก์ และใช้เป็นข้อมูลในการหาค่าคงที่ของโครงสร้างผลึก

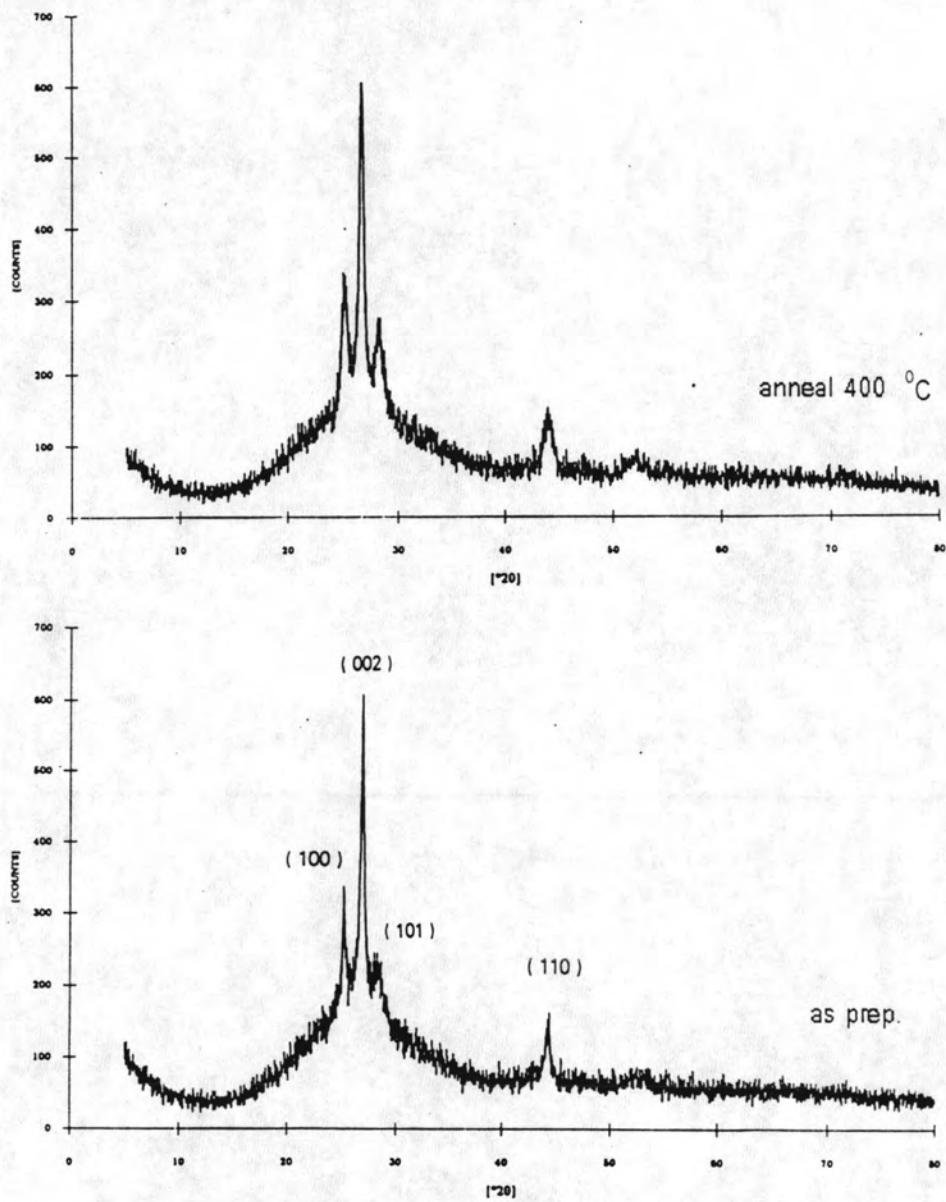
จากแพทเทิร์นการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ได้ตามรูปที่ 6.2 จะสังเกตเห็นพีคของระนาบ hkl ที่มุมของแบรกก์ (2θ) ค่าต่างๆ และเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานของแพทเทิร์นการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ CdS [22] ที่เป็น cubic และ hexagonal ดังแสดงในรูปที่ 6.6 พบว่าจากในรูปที่ 6.2 และตารางที่ 6.1 फिल्मบางที่เตรียมที่อุณหภูมิ 65 , 75 และ 80 ° C จะมีตำแหน่งของพีคต่างๆใกล้เคียงกันตามลำดับดังนี้ พีคที่ 1 จะตรงกับมุม 25.0 , 25.2 , 25.1 องศา เมื่อเทียบกับตารางที่ 6.1 ก็ตรงกับระนาบ 100 พีคที่ 2 ตรงกับมุม 26.6 , 26.6 , 26.8 องศา ซึ่งตรงกับระนาบ 002 พีคที่ 3 ตรงกับมุม 28.0 , 28.4 , ไม่ชัดเจน องศา ก็ตรงกับระนาบ 101 และพีคที่ 4 ตรงกับมุม 44.1 , 44.1 , 44.1 องศา ตรงกับระนาบ 110 เมื่อนำผลที่ได้เทียบกับค่ามาตรฐานโครงสร้างผลึกของ CdS ในรูปที่ 6.6 พบว่าโครงสร้างผลึกของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมได้มีลักษณะโครงสร้างผลึกเป็นแบบ Hexagonal แต่เมื่อนำฟิล์มที่เตรียมได้มาแอนนิลที่อุณหภูมิสูงขึ้นแอนนิลที่อุณหภูมิ 400 ° C พบว่าพีคที่ 3 จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนกว่าพีคอื่นๆ กล่าวคือพีคจะสมบรูณ์ขึ้น ดังที่แสดงในรูปที่ 6.3 , 6.4 , 6.5 ซึ่งเป็นของฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 65 , 75 , 80 ° C ตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผลึกให้สมบรูณ์ยิ่งขึ้น เมื่อพิจารณาตำแหน่งของพีคต่างๆหลังจากแอนนิลแล้วตามรูปที่ 6.3 , 6.4 และ 6.5 ตำแหน่งของพีคที่ค่ามุมแบรกก์ไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นโครงสร้างผลึกจึงเป็นโครงสร้างผลึกแบบ Hexagonal เหมือนเดิมแต่จะมีโครงสร้างผลึกที่สมบรูณ์ขึ้นหลังจากที่แอนนิลแล้ว

Hexagonal CdS				Cubic CdS		
d	l	hkl	2 θ	l	hkl	2 θ
3.583	75	100	24.8			
3.36	60	002	26.5	100	111	26.5
3.160	100	101	28.2			
2.90				40	200	30.8
2.450	25	102	36.6			
2.068	55	110	43.7			
2.058				80	220	43.9
1.898	40	103	47.9			
1.791	18	200	50.9			
1.761	45	112	51.9			
1.753				60	311	52.1
1.680				10	222	54.56
1.679	4	004	54.6			
1.581	8	202	58.3			
1.453				20	400	64.0
1.337				30	331	70.3

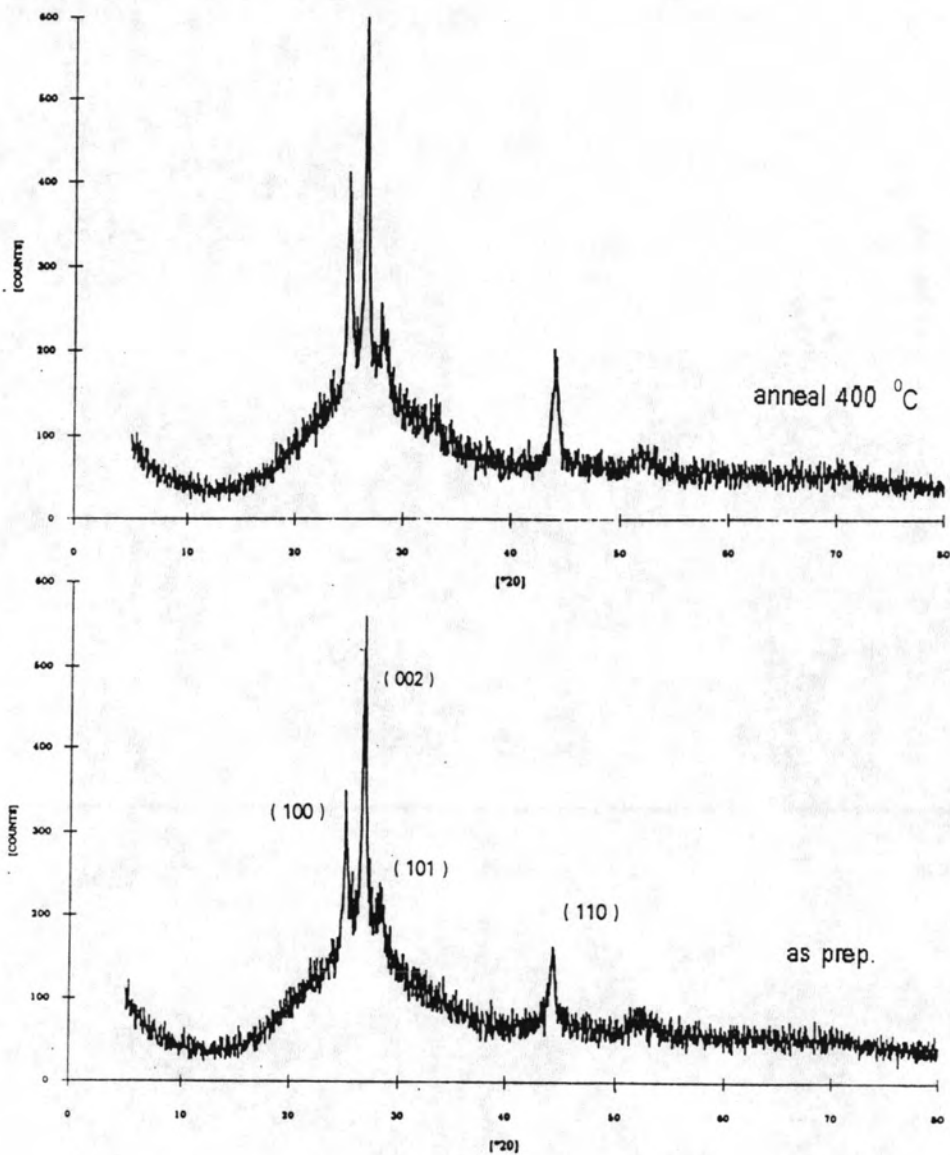
ตารางที่ 6.1 แสดงตำแหน่งระนาบที่สัมพันธ์กับค่ามุมแบรกก์ของ
โครงสร้างผลึก แบบ hexagonal และแบบ cubic ของ CdS



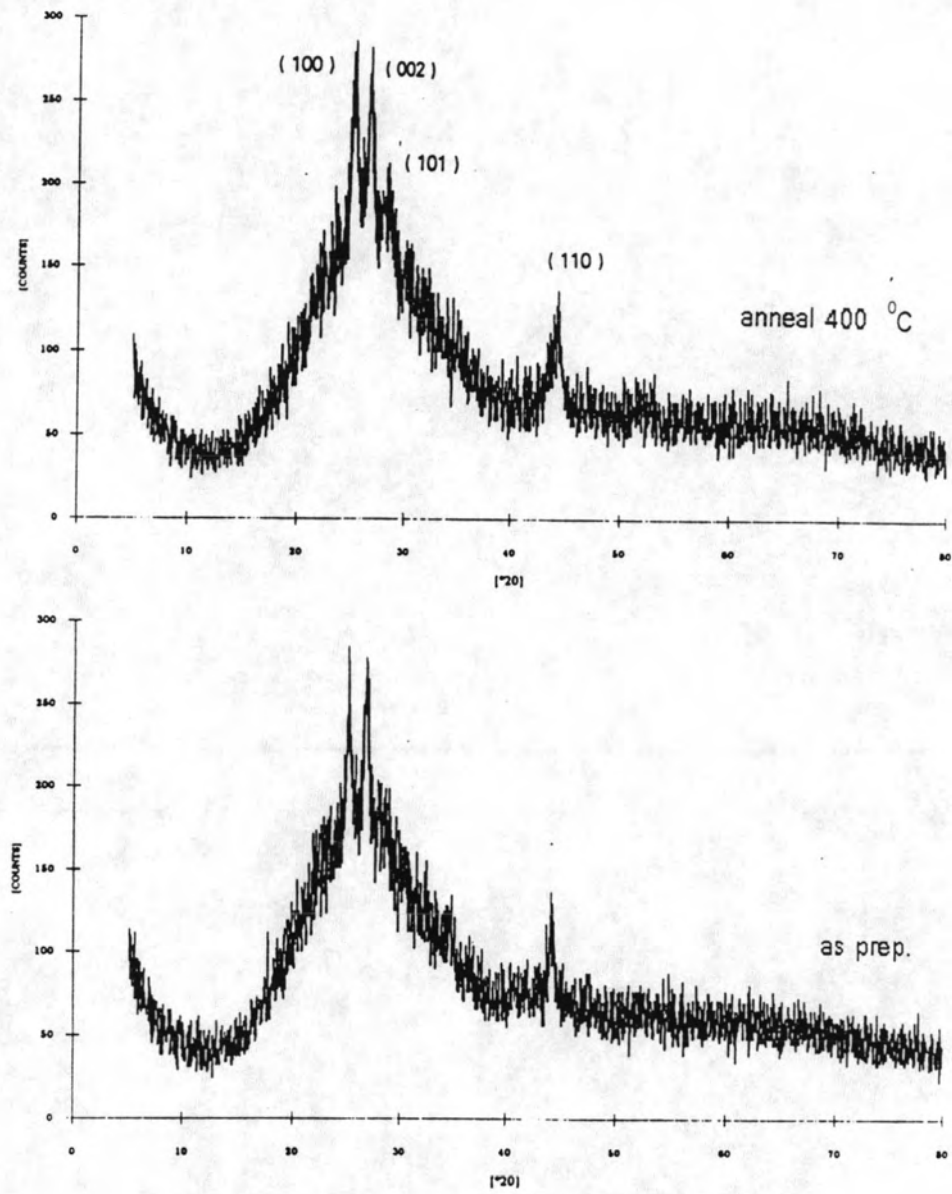
รูปที่ 6.2 แสดงการเปรียบเทียบแพทเทิร์นการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง CdS เตรียมซ้ำ 3 ครั้ง ครั้งละ 120 นาที ที่อุณหภูมิ 65 , 75 , 80 °C



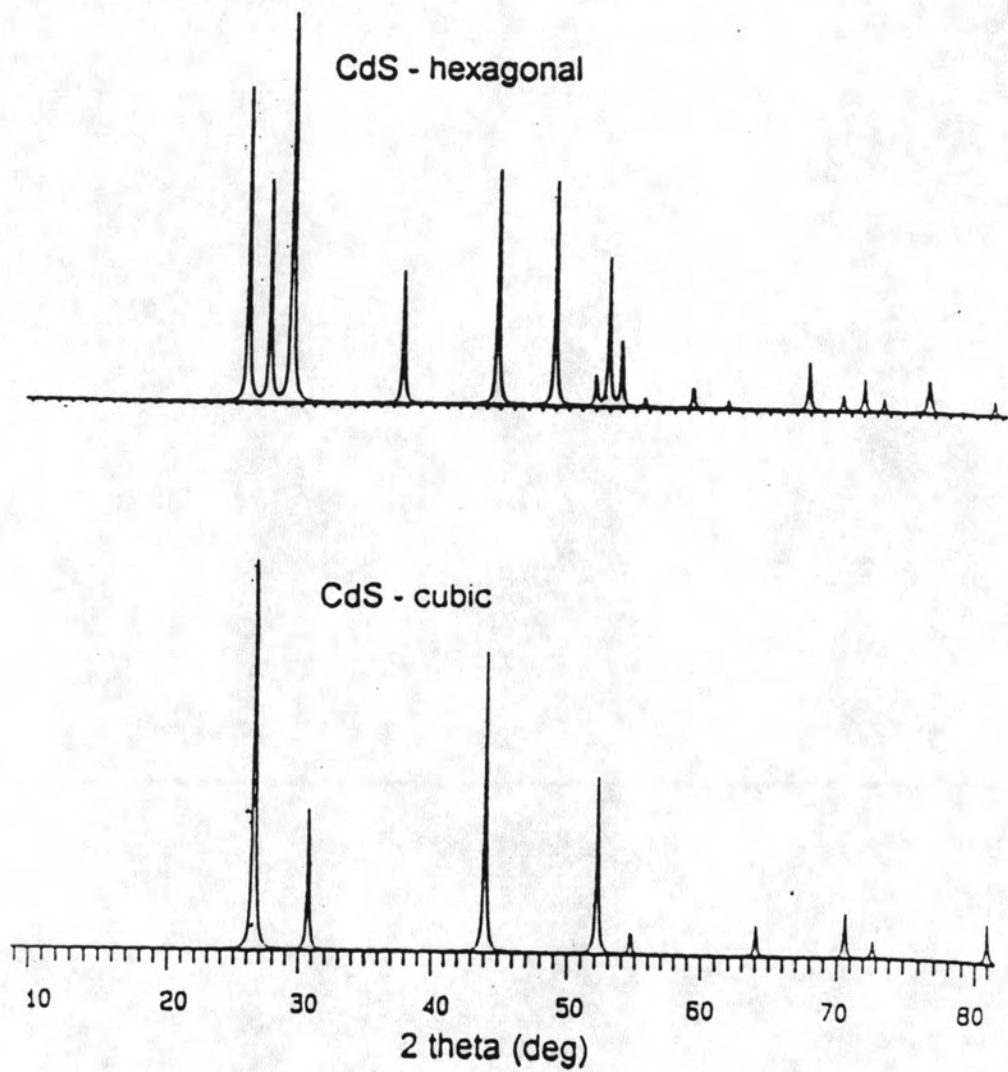
รูปที่ 6.3 แสดงการเปรียบเทียบแพทเทิร์นการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง CdS เตรียมซ้ำ 3 ครั้ง ครั้งละ 120 นาที ที่อุณหภูมิ 65 °C กับฟิล์มแอนนัลที่อุณหภูมิ 400 °C ในก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที



รูปที่ 6.4 แสดงการเปรียบเทียบแพทเทิร์นการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง CdS เตรียมซ้ำ 3 ครั้ง ครั้งละ 120 นาทีที่อุณหภูมิ 75 °C กับฟิล์มแอนนัลที่อุณหภูมิ 400 °C ในกาซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที



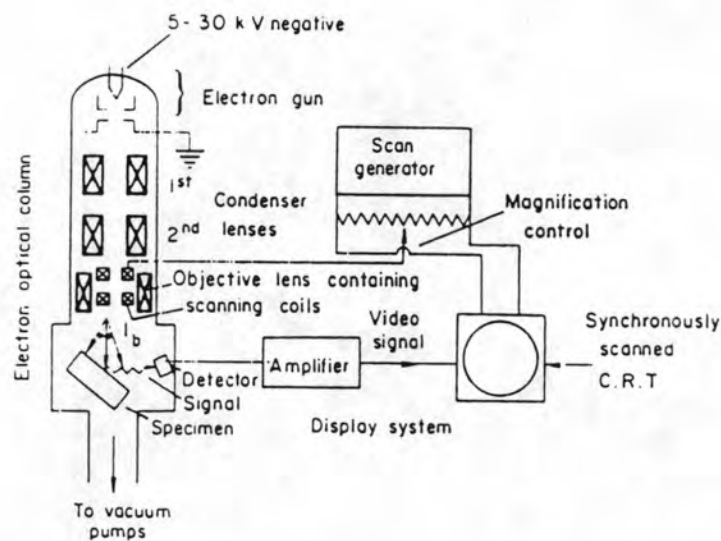
รูปที่ 6.5 แสดงการเปรียบเทียบแพทเทิร์นการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง CdS เตรียมซ้ำ 3 ครั้ง ครั้งละ 120 นาที ที่อุณหภูมิ 80 °C กับ แอนนัลที่อุณหภูมิ 400 °C



รูปที่ 6.6 แสดงค่ามาตรฐานแพทเทิร์นการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผลึก CdS ที่มีโครงสร้างผลึกแบบ Hexagonal และ Cubic

การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกโดยวิธี SEM (scanning electron microscopy)

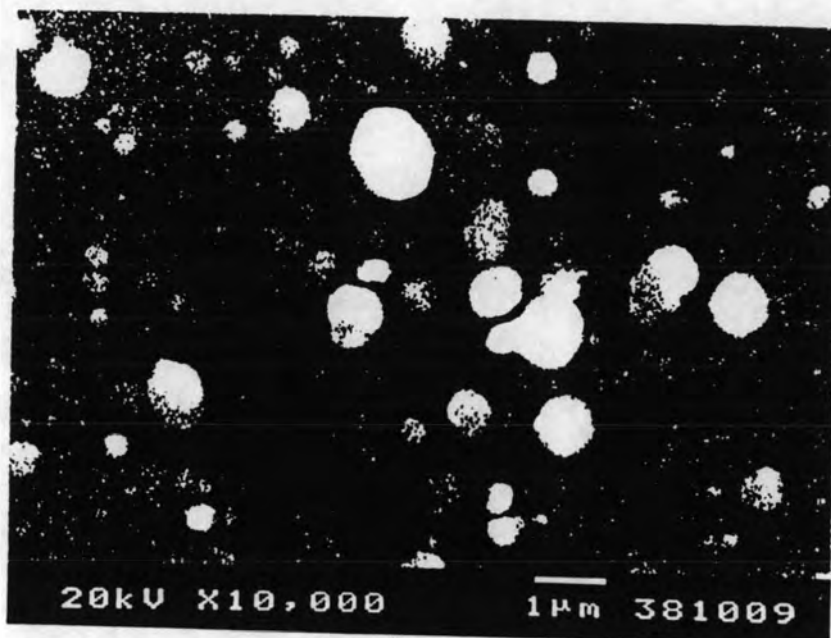
นอกจากการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์แล้วนั้น ยังมีวิธีที่สามารถตรวจสอบโครงสร้างผลึกได้อีก คือ วิธีการวิเคราะห์ด้วย SEM และการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ของธาตุ ด้วยวิธี EDXS (energy dispersive x-ray analysis) หลักการของ SEM ก็คือใช้สำหรับศึกษาโครงสร้างเล็กๆ ตลอดจนความบกพร่องชนิดต่างๆที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างเล็กๆนั้น โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ซึ่งเป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ลำอิเล็กตรอนแทนลำแสง ดังแสดงในรูปที่ 6.7 หลักการคืออิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยจากต้นกำเนิดจะถูกเร่งด้วยศักย์ไฟฟ้าสูง (บริเวณ electron gun) และเคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กในสุญญากาศ จากการที่อิเล็กตรอนมีประจุไฟฟ้าลบ อิเล็กตรอนจึงถูกบังคับจากอำนาจสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก (บริเวณ Electron optical column) ให้เบี่ยงเบนไปบนผิวของสารตัวอย่างตำแหน่งใดก็ได้ ซึ่งก็จะมีผลปลดปล่อยพลังงานแสงจากสารตัวอย่างเนื่องจากการบอมบ์บัต (bombardment) ของอิเล็กตรอน จากนั้นพลังงานแสงจะถูกตรวจสอบและเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าผ่านกระบวนการขยายและแสดงผลบนจอโทรทัศน์ ซึ่งสามารถบันทึกรูปถ่ายไมโครกราฟได้



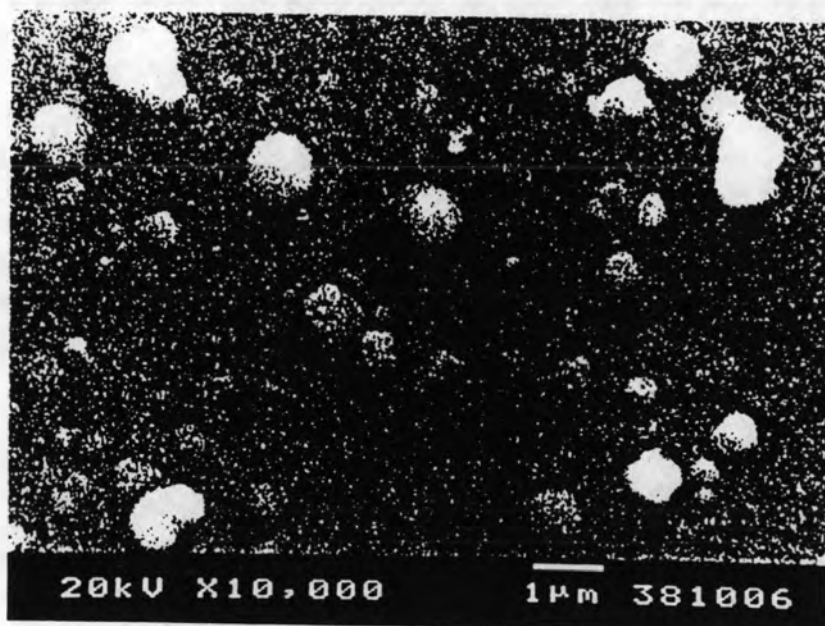
รูปที่ 6.7 แสดงเทคนิคการวิเคราะห์ด้วย SEM

เมื่อนำฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์ด้วยวิธี SEM พบว่าพื้นผิวของฟิล์มประกอบด้วยผลึกขนาดเล็กมากมายรวมตัวกันอย่างหนาแน่น มีขนาดของเกรนใกล้เคียงกันไม่แตกต่างกันมากนักมีขนาดประมาณ $1\ \mu\text{m}$ ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 6.8, 6.12, 6.15 แสดงขนาดของเกรนผลึก CdS ที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิ 65, 75, 80 °C ตามลำดับ เมื่อนำฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ไปแอนนัลในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 200, 300, 400 °C เป็นเวลา 20 นาที ตามลำดับสังเกตได้ว่าขนาดของเกรนผลึกไม่แตกต่างกันมากนักแต่มีแนวโน้มว่าแอนนัลที่อุณหภูมิสูงกว่าเกรนผลึกจะมีขนาดใหญ่ขึ้น ตามที่แสดงในรูปที่ 6.9, 6.10, 6.11 ส่วน ฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C นำไปแอนนัลที่อุณหภูมิ 200 และ 400 °C ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที ผลที่ได้เหมือนกันกับเตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ดังที่แสดงในรูปที่ 6.13, 6.14 และเช่นเดียวกันเมื่อนำฟิล์มที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิ 80 °C แล้วนำไปแอนนัลที่อุณหภูมิ 400 °C ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที ผลที่ได้เหมือนกันกับฟิล์มที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิ 65 และ 75 °C ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.16

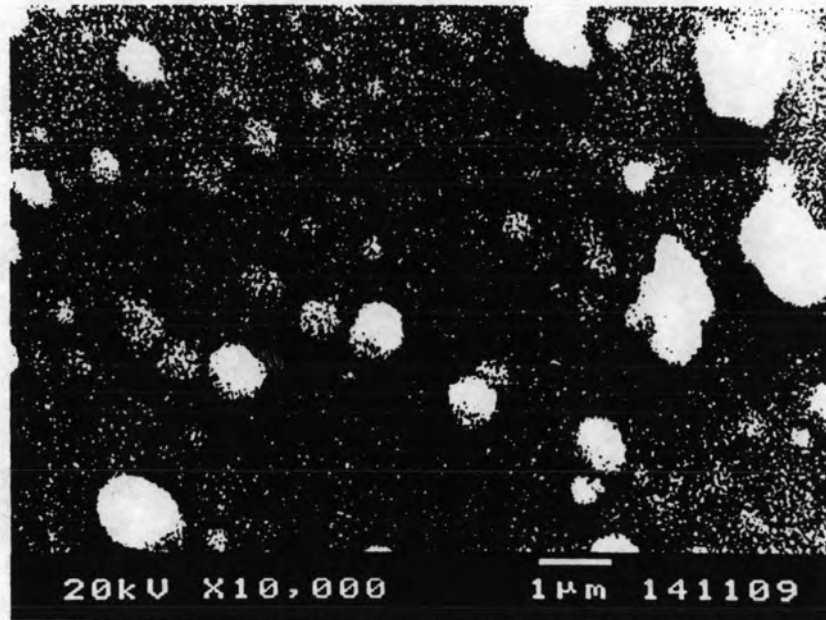
เมื่อตรวจสอบหาปริมาณธาตุโดยการวิเคราะห์ EDXS พบว่าฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารเจือจะมีสารเจือปนได้แก่ Na, Mg, Ca, Si, Al ปนอยู่จากการสังเกตพบว่าสารเจือปนเหล่านี้จะมีเฉพาะในฟิล์มที่มีความบางมาก ส่วนฟิล์มที่มีความหนาไม่พบสารเหล่านี้ แสดงว่าสารเจือปนนี้ได้มาจากแผ่นรองรับกระจก ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากฟิล์มที่มีความหนาฟิล์มที่ได้จะมีความบริสุทธิ์มากไม่มีสารอื่นเจือปน โดยมีสัดส่วนเปอร์เซ็นต์อะตอมธาตุระหว่าง Cd และ S เป็นไปตามสัดส่วนเปอร์เซ็นต์อะตอมธาตุ CdS คือ 1:1 ส่วนฟิล์มที่เติมสารเจือ HgCl_2 แล้วแอนนัลที่อุณหภูมิ 200, 300, 400 °C ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที ผลที่ได้คือจำนวนเปอร์เซ็นต์ของสารเจือ Cl มีมากกว่า Hg ซึ่งผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าสารเจือ Cl จะมีอิทธิพลต่อการโดปในฟิล์มบาง CdS และทำให้ความต้านทานแผ่นมีค่าลดลงซึ่งจะกล่าวถึงในตอนหน้า ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุแสดงในรูปที่ 6.17 - 6.27



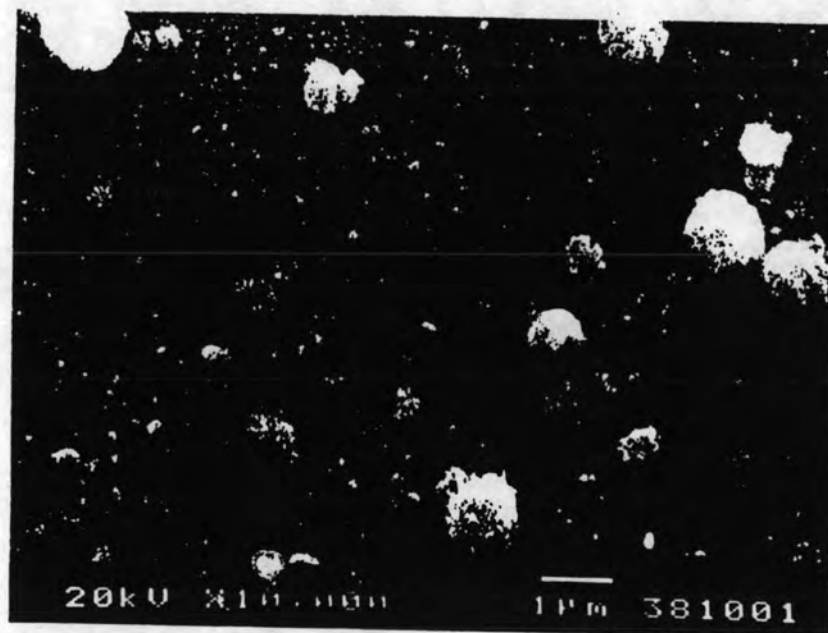
รูปที่ 6.8 แสดงการวิเคราะห์ด้วย SEM ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที



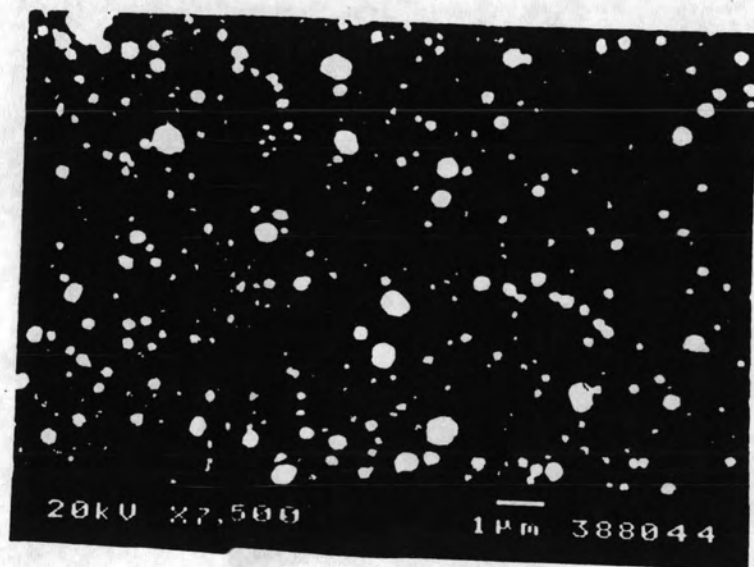
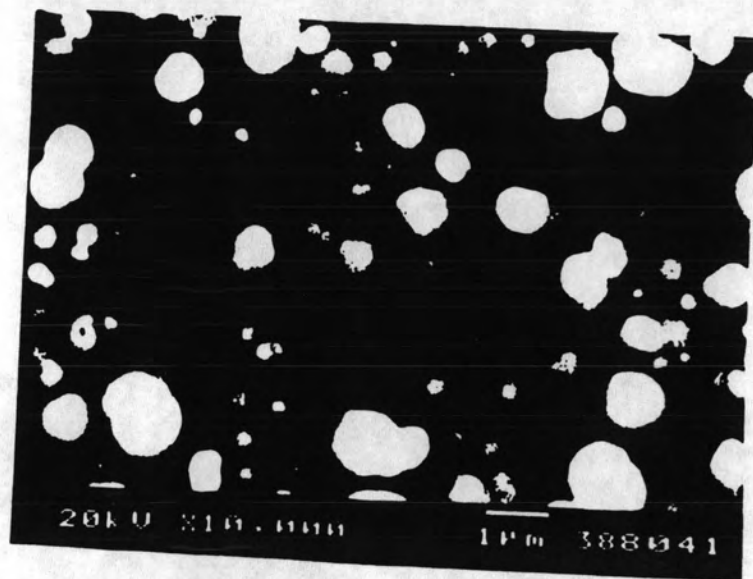
รูปที่ 6.9 แสดงการวิเคราะห์ด้วย SEM ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที แล้วแอนนัลที่อุณหภูมิ 200 °C ในบรรยากาศของ ก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที



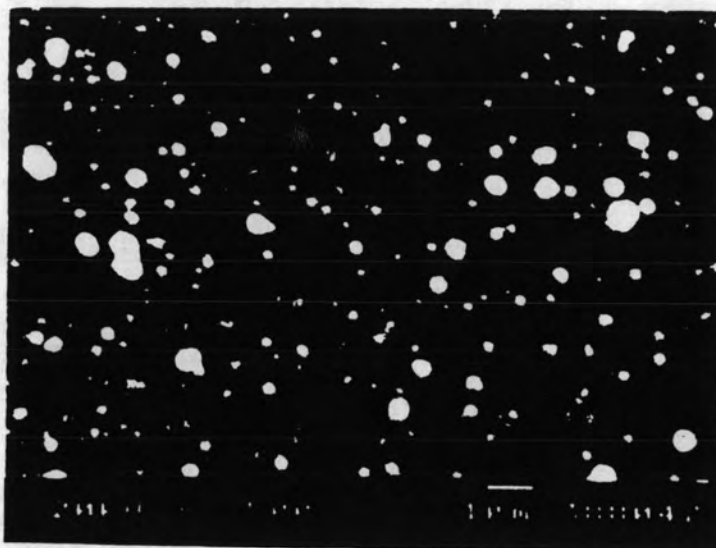
รูปที่ 6.10 แสดงการวิเคราะห์ด้วย SEM ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 65°C แล้วแอนนัลที่อุณหภูมิ 300°C ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน



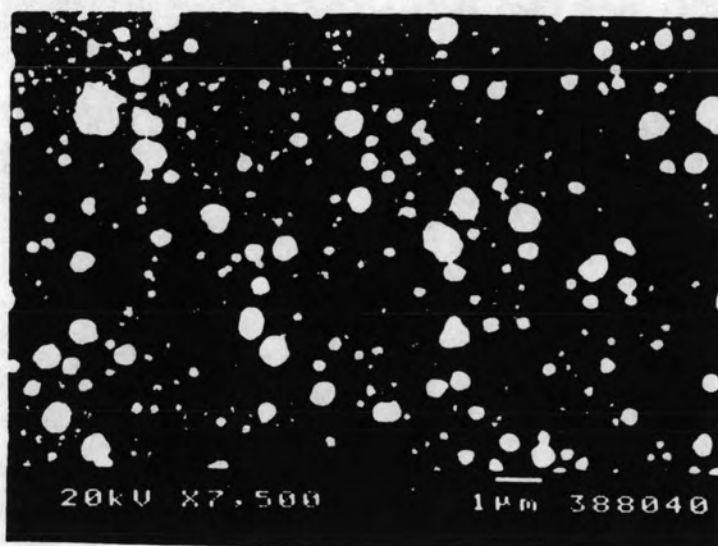
รูปที่ 6.11 แสดงการวิเคราะห์ด้วย SEM ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 65°C ใช้เวลาเตรียม 120 นาทีแล้วแอนนัลที่อุณหภูมิ 400°C ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที



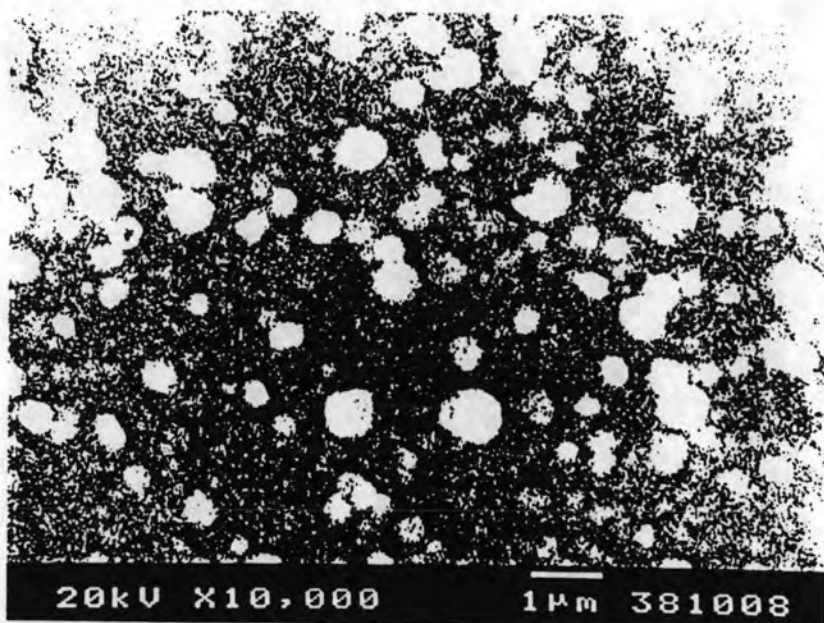
รูปที่ 6.12 แสดงการวิเคราะห์ด้วย SEM ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 75°C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที



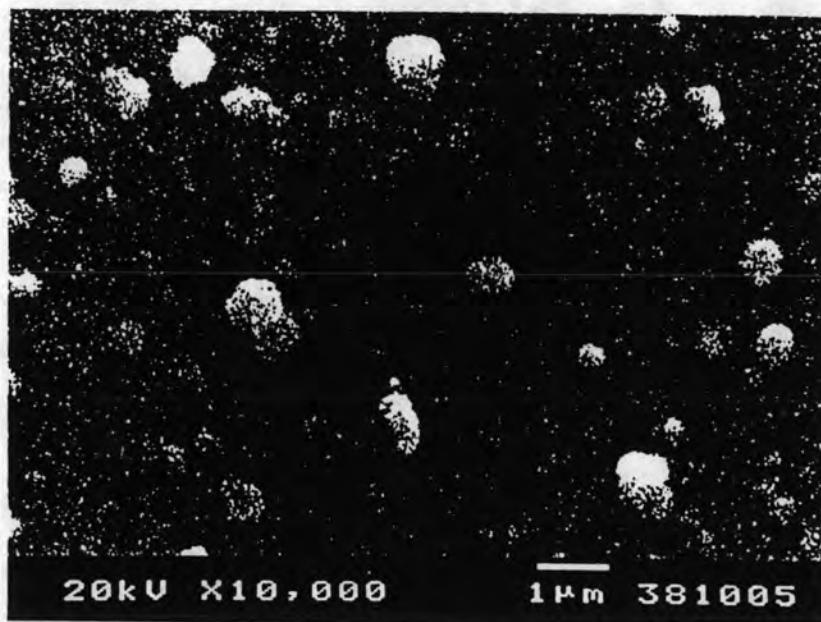
รูปที่ 6.13 แสดงการวิเคราะห์ด้วย SEM ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที แล้วแอนนัลที่อุณหภูมิ 200 °C ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที



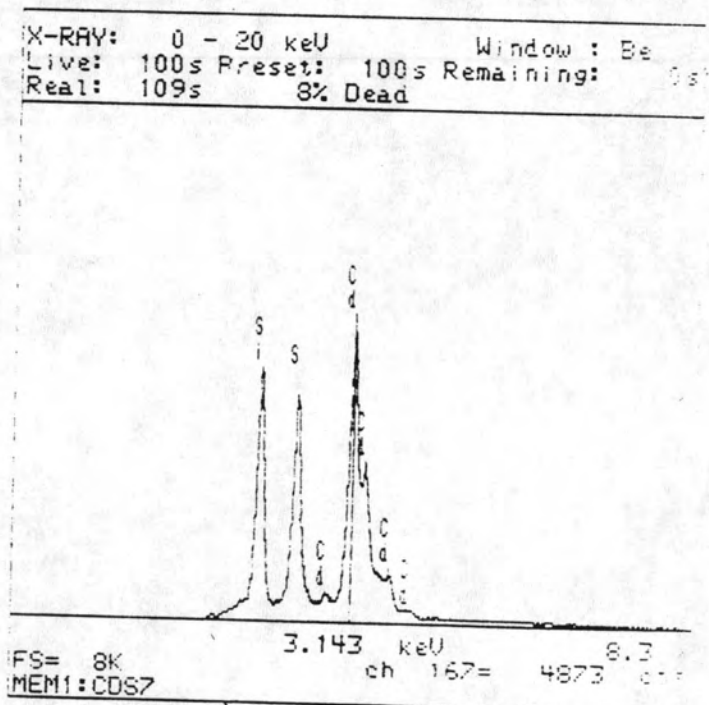
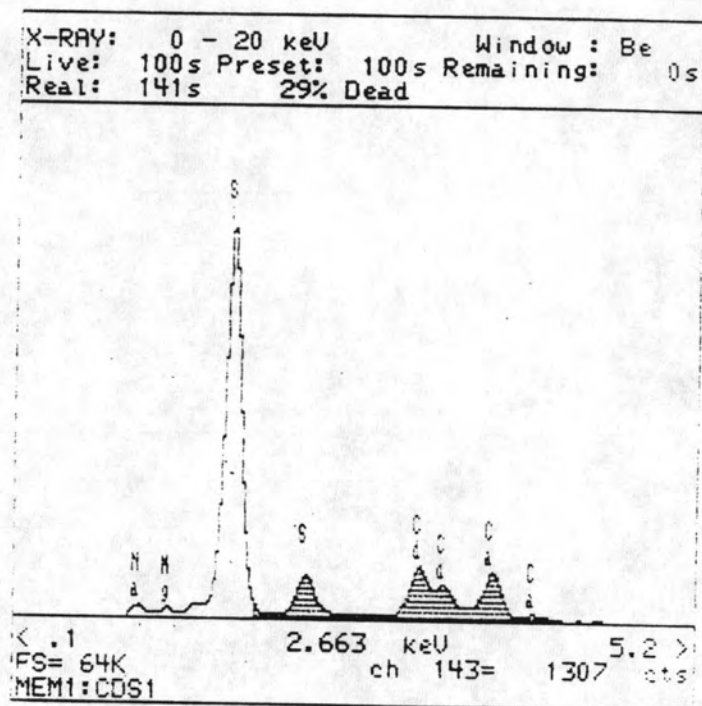
รูปที่ 6.14 แสดงการวิเคราะห์ด้วย SEM ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที แล้วแอนนัลที่อุณหภูมิ 400 °C ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที



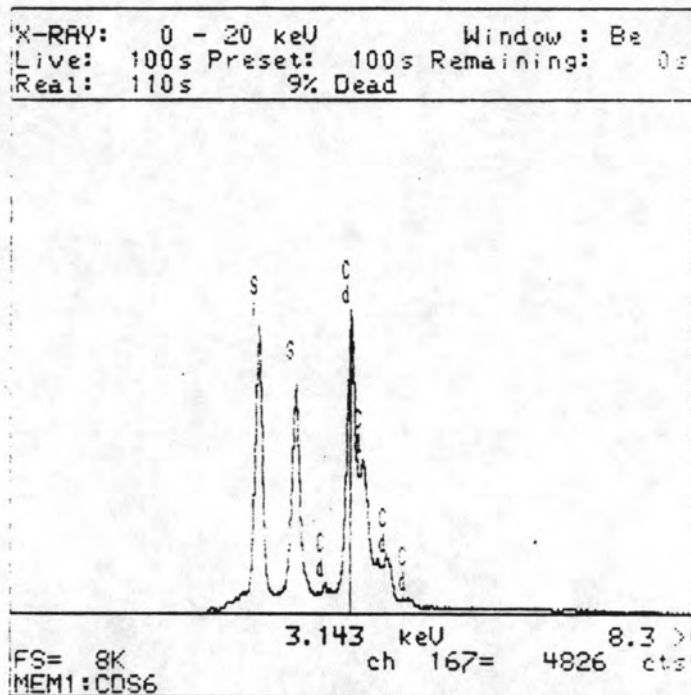
รูปที่ 6.15 แสดงการวิเคราะห์ด้วย SEM ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C เตรียมซ้ำ 3 ครั้ง ครั้งละ 120 นาที



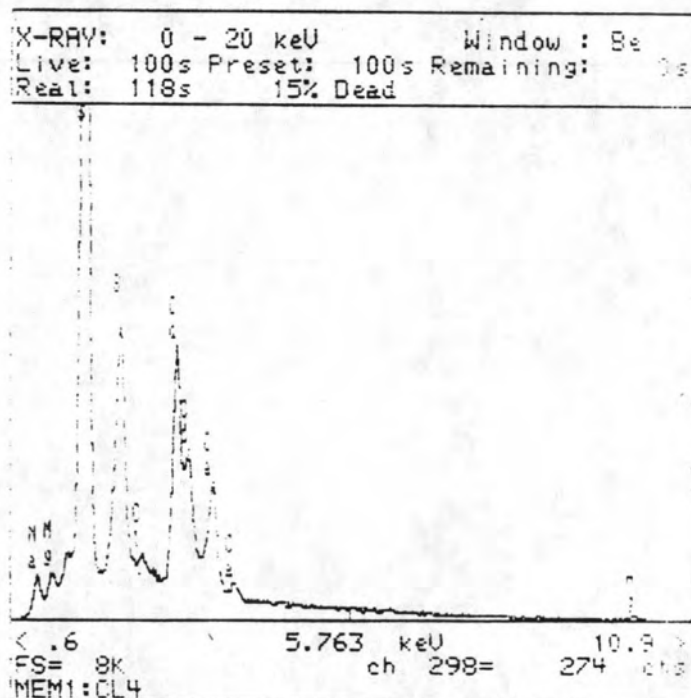
รูปที่ 6.16 แสดงการวิเคราะห์ด้วย SEM ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C เตรียมซ้ำ 3 ครั้ง ครั้งละ 120 นาที แล้วแอนนัลที่อุณหภูมิ 400 °C ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที



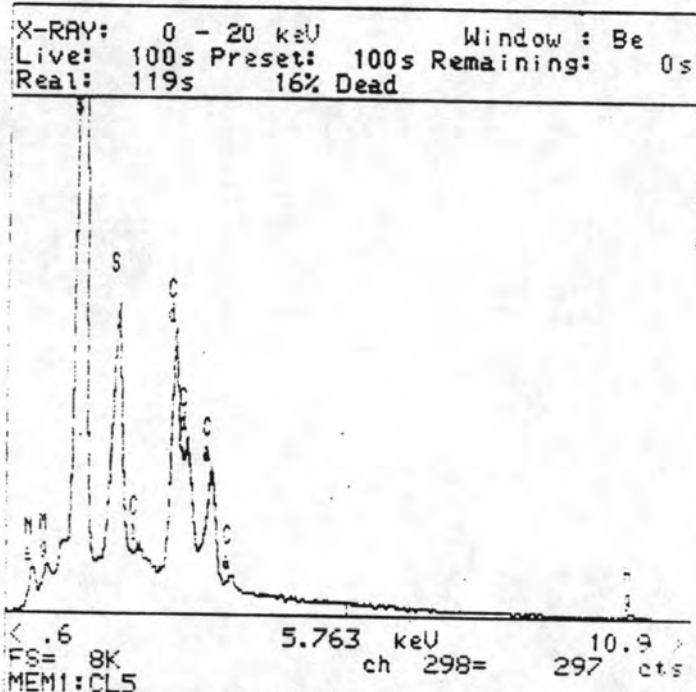
รูปที่ 6.17 แสดงการวิเคราะห์ EDXS ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C
 เตรียมซ้ำ 3 ครั้ง ครั้งละ 120 นาที



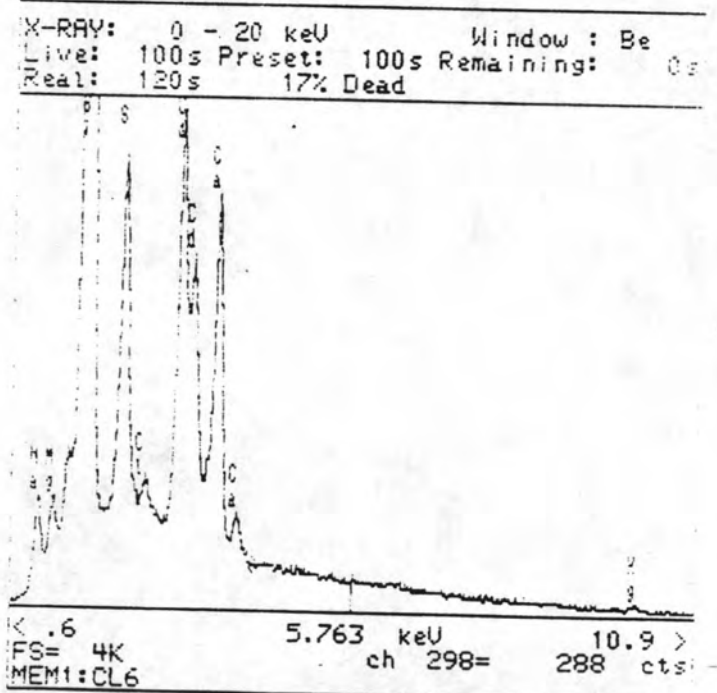
รูปที่ 6.18 แสดงการวิเคราะห์ EDXS ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C เตรียมซ้ำ 3 ครั้ง ครั้งละ 120 นาที แล้วแอนนัลที่อุณหภูมิ 400 °C ในบรรยากาศของกาซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที



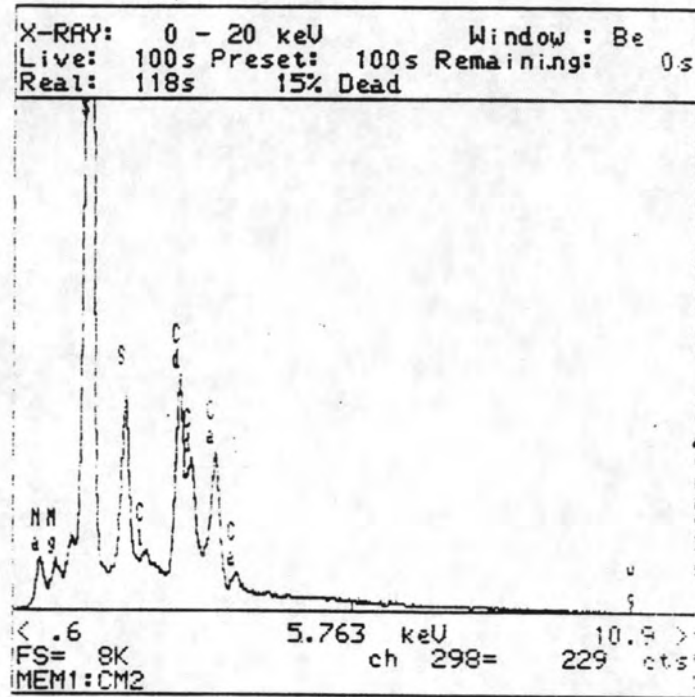
รูปที่ 6.19 แสดงการวิเคราะห์ EDXS ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที แล้วจุ่มลงในสารละลาย HgCl₂ molar เป็นเวลา เป็นเวลา 10 นาที



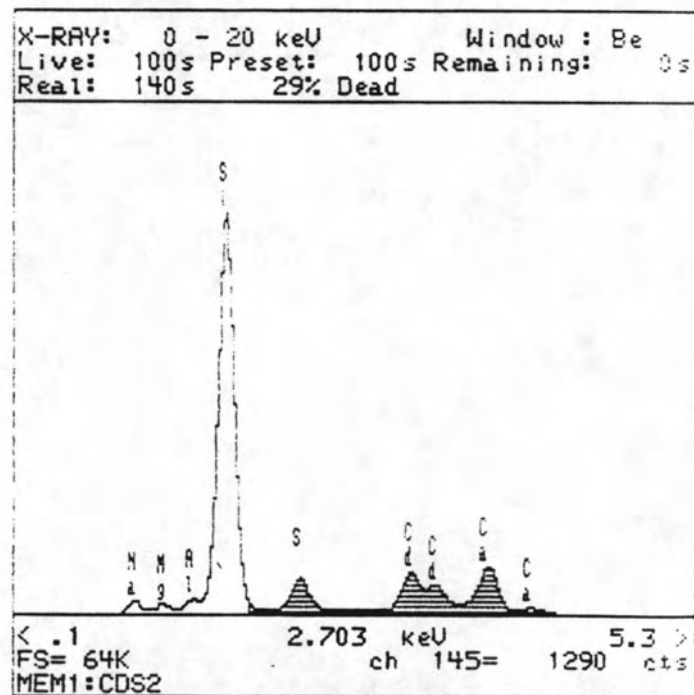
รูปที่ 6.20 แสดงการวิเคราะห์ EDXS ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที แล้วจุ่มลงในสารละลาย HgCl_2 0.01 molar เป็นเวลา 10 นาที และแอนนัลที่อุณหภูมิ 200 °C ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที



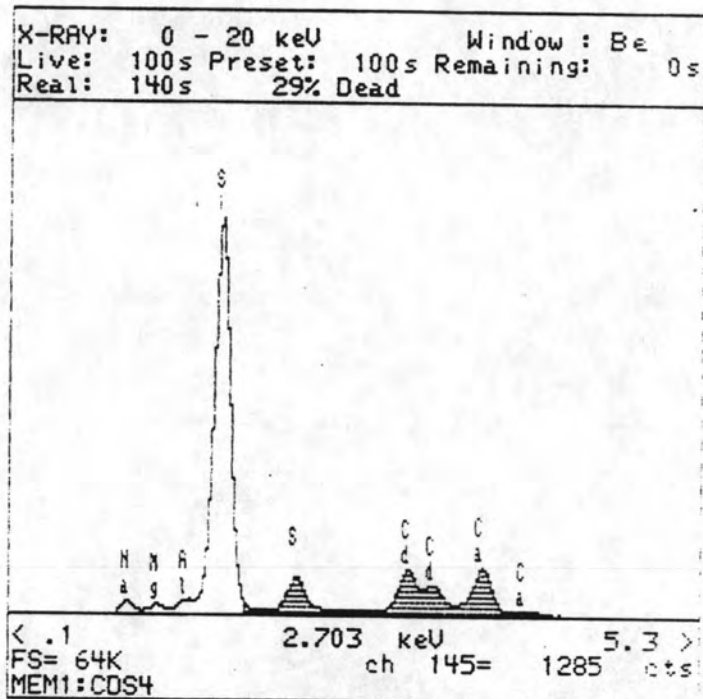
รูปที่ 6.21 แสดงการวิเคราะห์ EDXS ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที แล้วจุ่มลงในสารละลาย HgCl_2 0.01 molar เป็นเวลา 10 นาที และแอนนัลที่อุณหภูมิ 300 °C ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที



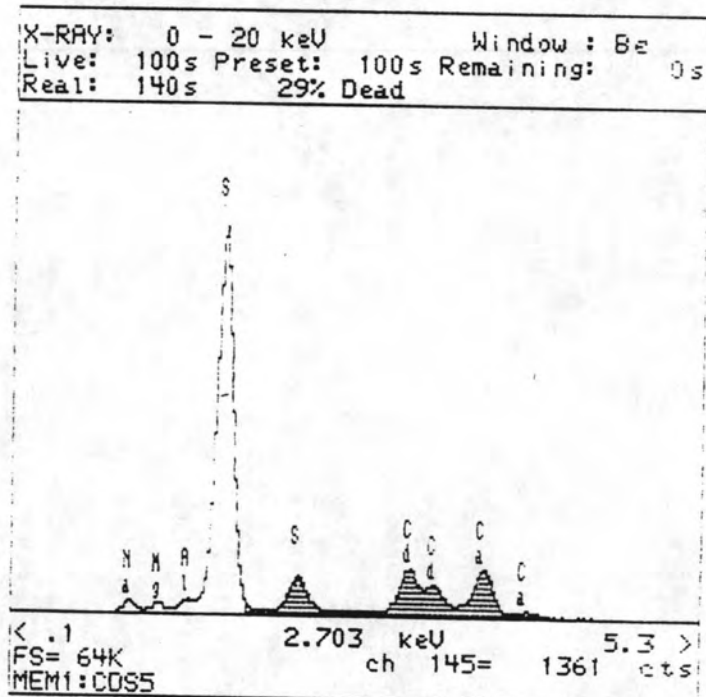
รูปที่ 6.22 แสดงการวิเคราะห์ EDXS ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที แล้วจุ่มลงในสารละลาย HgCl_2 0.01 molar เป็นเวลา 10 นาที และแอนนیلที่อุณหภูมิ 400 °C ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที



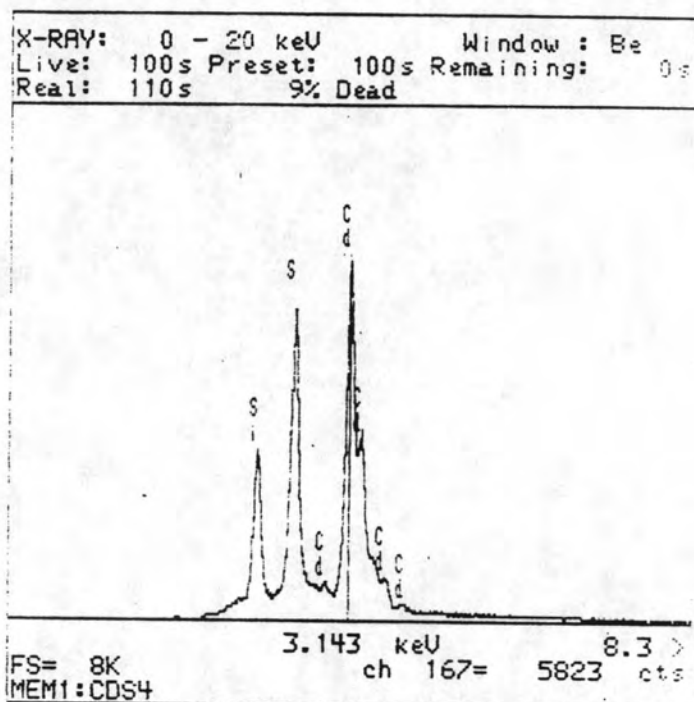
รูปที่ 6.23 แสดงการวิเคราะห์ EDXS ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที



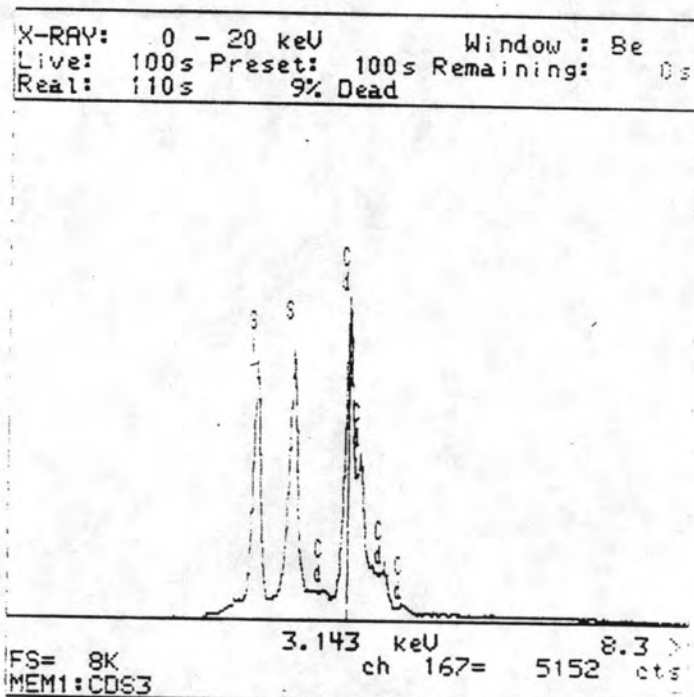
รูปที่ 6.24 แสดงการวิเคราะห์ EDXS ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที แล้วแอนนัลที่อุณหภูมิ 200 °C ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที



รูปที่ 6.25 แสดงการวิเคราะห์ EDXS ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที แล้วแอนนัลที่อุณหภูมิ 400 °C ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที



รูปที่ 6.26 แสดงการวิเคราะห์ EDXS ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C เตรียมซ้ำ 3 ครั้ง ครั้งละ 120 นาที



รูปที่ 6.27 แสดงการวิเคราะห์ EDXS ของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C เตรียมซ้ำ 3 ครั้ง ครั้งละ 120 นาที แล้วแอนนัลที่อุณหภูมิ 400 °C ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 20 นาที

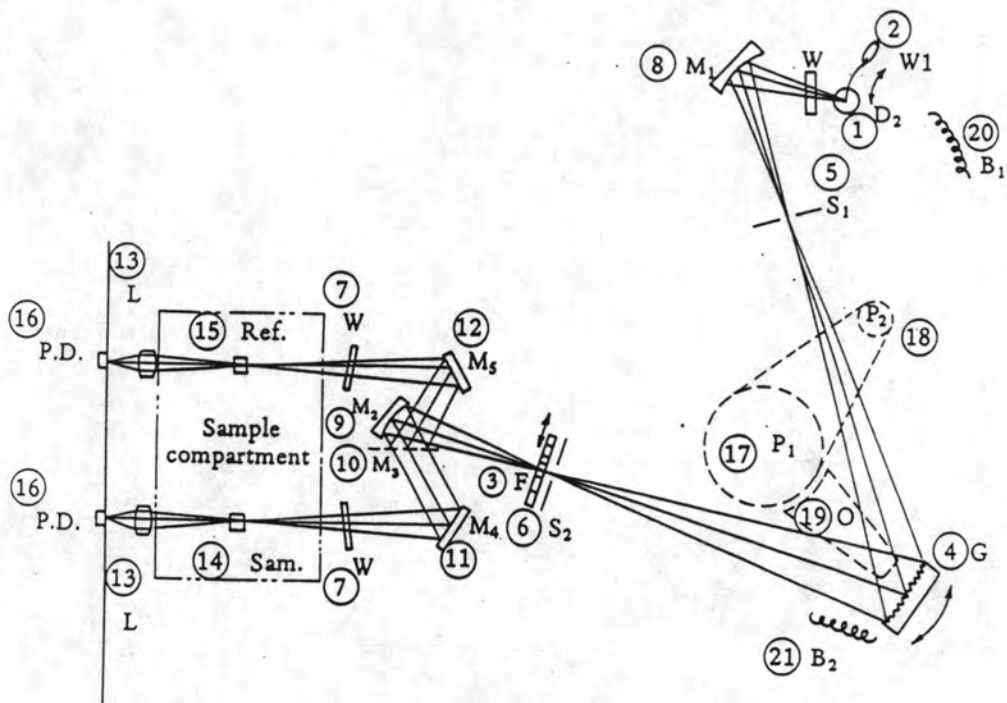
การวิเคราะห์สมบัติเชิงแสง

ในการวิเคราะห์สมบัติเชิงแสงเราจะพิจารณาจากการส่งผ่านแสง (transmission) การดูดกลืนแสง (absorption) และนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ได้จากการวัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ UV-160A (spectrophotometer) โดยเครื่องมือจะวัดข้อมูลการส่งผ่านแสง การดูดกลืนแสง ออกมาให้โดยอัตโนมัติ โดยไดอะแกรมแสดงวิธีการวัดแสดงในรูปที่ 6.28 และเนื่องจากฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์มีการดูดกลืนแสงเป็นแบบตรง ดังนั้นการหาช่องว่างแถบพลังงานจะใช้สมการที่ (3.9) ในบทที่ 3 แต่ในสมการสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงจะต้องลบกับสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงพื้นหลังก่อน ทั้งนี้เนื่องจากภายในผลึกมีความบกพร่อง ดังนั้นจากสมการที่ (3.9) จะเขียนได้ใหม่เป็น

$$h\nu - E_g \propto [h\nu(\alpha - \alpha_0)]^2$$

$$((\alpha - \alpha_0)h\nu)^2 = A^2(h\nu - E_g) \quad (6.1)$$

เมื่อใช้สมการที่ (6.1) มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $((\alpha - \alpha_0)h\nu)^2$ กับ $h\nu$ ในช่วงการย้ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบนำจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงตัดแกน $h\nu$ ที่จุด E_g จากผลการวัดการส่งผ่านของแสงในฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 65°C ที่ความหนาต่างๆในช่วงเวลาการเคลือบฟิล์ม 30 - 180 นาที พบว่าฟิล์มที่เตรียมได้มีการส่งผ่านของแสงสูงมากกว่า 80% ที่ความยาวคลื่นของโฟตอนมากกว่าช่องว่างแถบพลังงาน และฟิล์มที่มีความหนามากจะมีการดูดกลืนแสงมาก ที่ความยาวคลื่นของโฟตอนน้อยกว่าช่องว่างแถบพลังงาน และการส่งผ่านของแสงมากที่ความยาวคลื่นมากกว่าช่องว่างแถบพลังงานเมื่อเทียบกับฟิล์มที่มีความหนาน้อยดังแสดงในรูปที่ 6.29 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่อความหนาเพิ่มขึ้นโครงสร้างผลึกของฟิล์มจะสมบูรณ์ขึ้น ดังนั้นขอบการดูดกลืนจึงเลื่อนไปทางความยาวคลื่นของโฟตอนที่สูงกว่า เมื่อใช้สมการที่ (6.1) คำนวณหาช่องว่างแถบพลังงานมีค่าอยู่ในช่วง 2.5 - 2.6 eV โดยฟิล์มที่มีความหนามากกว่าช่องว่างแถบพลังงานจะลดลงดังแสดงในรูปที่ 6.30 และเช่นเดียวกันฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 75°C ที่ความหนาต่างๆใช้เวลาในการเคลือบ 30 - 120 นาที ผลที่ได้จะเหมือนกับเตรียมที่อุณหภูมิ 65°C กล่าวคือเมื่อความหนาเพิ่มขอบการดูดกลืนจะเลื่อนไปทางความยาวคลื่นของโฟตอนที่มากขึ้นตามที่แสดงในรูปที่ 6.31 โดยคำนวณหาค่าช่องว่างของ



- | | |
|--|---|
| ① D ₂ : Deuterium lamp | ⑫ M ₅ : Mirror |
| ② W ₁ : Halogen lamp | ⑬ L : Lens |
| ③ F : Filter | ⑭ Sam. : Sample cell |
| ④ G : Grating | ⑮ Ref. : Reference cell |
| ⑤ S ₁ : Entrance slit | ⑯ P.D. : Photo diode |
| ⑥ S ₂ : Exit slit | ⑰ P ₁ : Drive pulley (larger) |
| ⑦ W : Window plate | ⑱ P ₂ : Drive pulley (smaller) |
| ⑧ M ₁ : Toroidal mirror (smaller) | ⑲ O : Sector gear |
| ⑨ M ₂ : Toroidal mirror (larger) | ⑳ B ₁ : Lamp tension spring |
| ⑩ M ₃ : Beam splitter | ㉑ B ₂ : Grating tension spring |
| ⑪ M ₄ : Mirror | |

รูปที่ 6.28 ไดอะแกรมแสดงวิธีการวัดการส่งผ่านแสงด้วยเครื่อง
สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ UV-160A

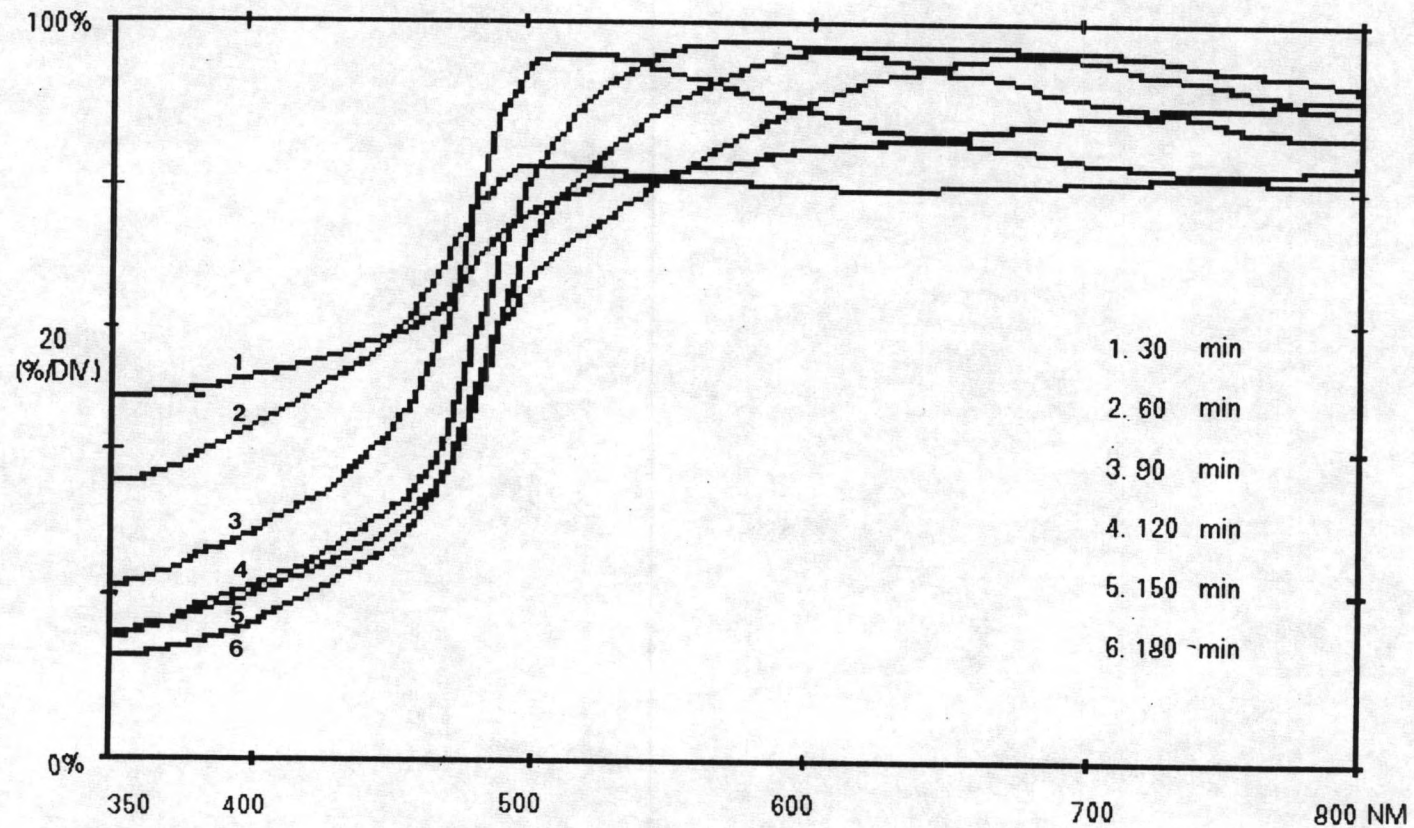
แถบพลังงานอยู่ในช่วง 2.48 - 2.62 eV ตามที่แสดงในรูปที่ 6.32 ส่วนฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C ก็ได้ผลเช่นเดียวกันกับเตรียมที่อุณหภูมิ 65 และ 75 °C แต่ค่าส่งผ่านแสงจะต่ำกว่าดังที่แสดงในรูปที่ 6.33 และคำนวณช่องว่างแถบพลังงานมีค่าอยู่ในช่วง 2.56 - 2.6 eV แสดงในรูปที่ 6.34

และเมื่อนำฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาการเคลือบ 90 นาที มาแอนนัลในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 200, 300 และ 400 °C เป็นเวลา 20 นาที พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ขอบของการดูดกลืนเลื่อนไปทางความยาวคลื่นของโฟตอนที่สูงขึ้น ตามที่แสดงในรูปที่ 6.35 นั่นคือช่องว่างแถบพลังงานจะมีค่าลดลงเมื่อแอนนัลที่อุณหภูมิสูงขึ้น และคำนวณหาช่องว่างแถบพลังงานมีค่าอยู่ในช่วง 2.43 - 2.57 eV ดังแสดงในรูปที่ 6.36 ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องจากการแอนนัลทำให้โครงสร้างผลึกสมบูรณ์ขึ้น ดังนั้นฟิล์มที่แอนนัลจึงมีสมบัติใกล้เคียงกับผลึกเดี่ยว ส่วนการแอนนัลฟิล์มในอากาศก็จะให้ผลเช่นเดียวกันกับการแอนนัลในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนดังแสดงในรูปที่ 6.37 และคำนวณหาช่องว่างแถบพลังงานมีค่าอยู่ในช่วง 2.40 - 2.53 eV แสดงในรูปที่ 6.38 ส่วนฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ใช้เวลาในการเคลือบ 60 นาที นำมาแอนนัลในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน และอากาศก็ให้ผลเหมือนกันกับฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิการแอนนัลสูงขึ้นขอบการดูดกลืนจะเลื่อนไปยังความยาวคลื่นโฟตอนที่สูงขึ้นกว่าเดิมโดยแสดงในรูปที่ 6.39 และ 6.41 คำนวณหาช่องว่างแถบพลังงานจะมีค่าอยู่ในช่วง 2.42 - 2.59 eV และ 2.46 - 2.59 eV ดังที่แสดงในรูปที่ 6.40 และ 6.42 ส่วนฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C เมื่อนำมาแอนนัลก็จะให้ผลเช่นเดียวกันกับเตรียมที่อุณหภูมิ 65 และ 75 °C แสดงในรูปที่ 6.43 และ 6.45 ช่องว่างแถบพลังงานอยู่ในช่วง 2.40 - 2.60 eV และ 2.40 - 2.60 eV แสดงในรูปที่ 6.44 และ 6.46 สำหรับการแอนนัลในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนและอากาศ

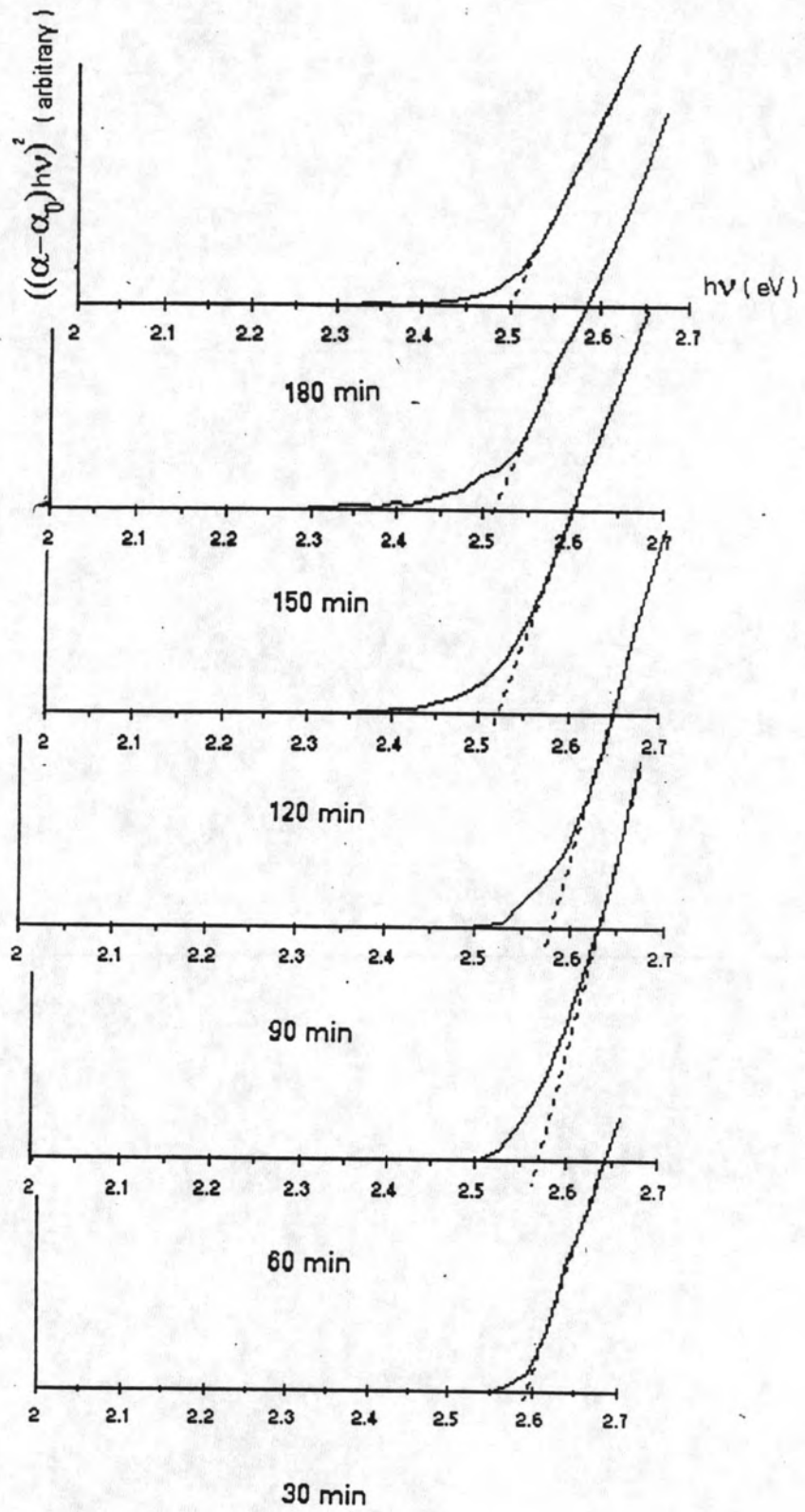
เมื่อเติมสารเจือ HgCl_2 0.01 molar โดยการจุ่มฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ที่ความหนาต่างๆกันเป็นเวลา 10 นาที ผลที่ได้คือ ค่าการส่งผ่านแสงไม่แตกต่างจากฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารเจือของรูปที่ 6.29 กล่าวคือเมื่อความหนาเพิ่มขึ้นขอบการดูดกลืนจะเลื่อนไปทางความยาวคลื่นของโฟตอนที่สูงกว่าซึ่งแสดงในรูปที่ 6.47 และคำนวณหาช่องว่างแถบพลังงานจะอยู่ในช่วง 2.50 - 2.60 eV แสดงในรูปที่ 6.48 ส่วนฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C และเติมสารเจือ HgCl_2 ผลที่ได้ก็ไม่แตกต่างจากเตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ซึ่งผลที่ได้แสดงในรูปที่ 6.49 คำนวณหาช่องว่างแถบพลังงานอยู่ในช่วง 2.53 - 2.60 eV แสดงในรูปที่ 6.50 และฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C ก็เช่นกันผลที่ได้ไม่แตกต่างจากฟิล์มเตรียมที่ 65 และ 75 °C แต่ค่าการส่งผ่านแสงจะต่ำ

กว่าแสดงในรูปที่ 6.51 ค่าช่องว่างแถบพลังงานอยู่ในช่วง 2.48 - 2.57 eV แสดงในรูปที่ 6.52 นำฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาการเคลือบฟิล์ม 90 นาที เติมสารเจือ HgCl_2 แล้วแอนนัลในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 200, 300, 400 °C เป็นเวลา 20 นาที พบว่าค่าการส่งผ่านแสงไม่แตกต่างจากฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารเจือแต่แอนนัลในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนของรูปที่ 6.53 เมื่อคำนวณหาช่องว่างแถบพลังงานจะมีค่าอยู่ในช่วง 2.46 - 2.58 eV แสดงในรูปที่ 6.54 และการแอนนัลในอากาศก็ให้ผลเช่นเดียวกันกับแอนนัลในก๊าซไนโตรเจน แสดงในรูปที่ 6.55 ส่วนค่าช่องว่างแถบพลังงาน แสดงในรูปที่ 6.56 และเช่นเดียวกันฟิล์มที่เตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C และ 80 °C เติมสารเจือ HgCl_2 แล้วแอนนัลในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนและในอากาศ ผลก็เหมือนกันกับเตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 6.57 - 6.64

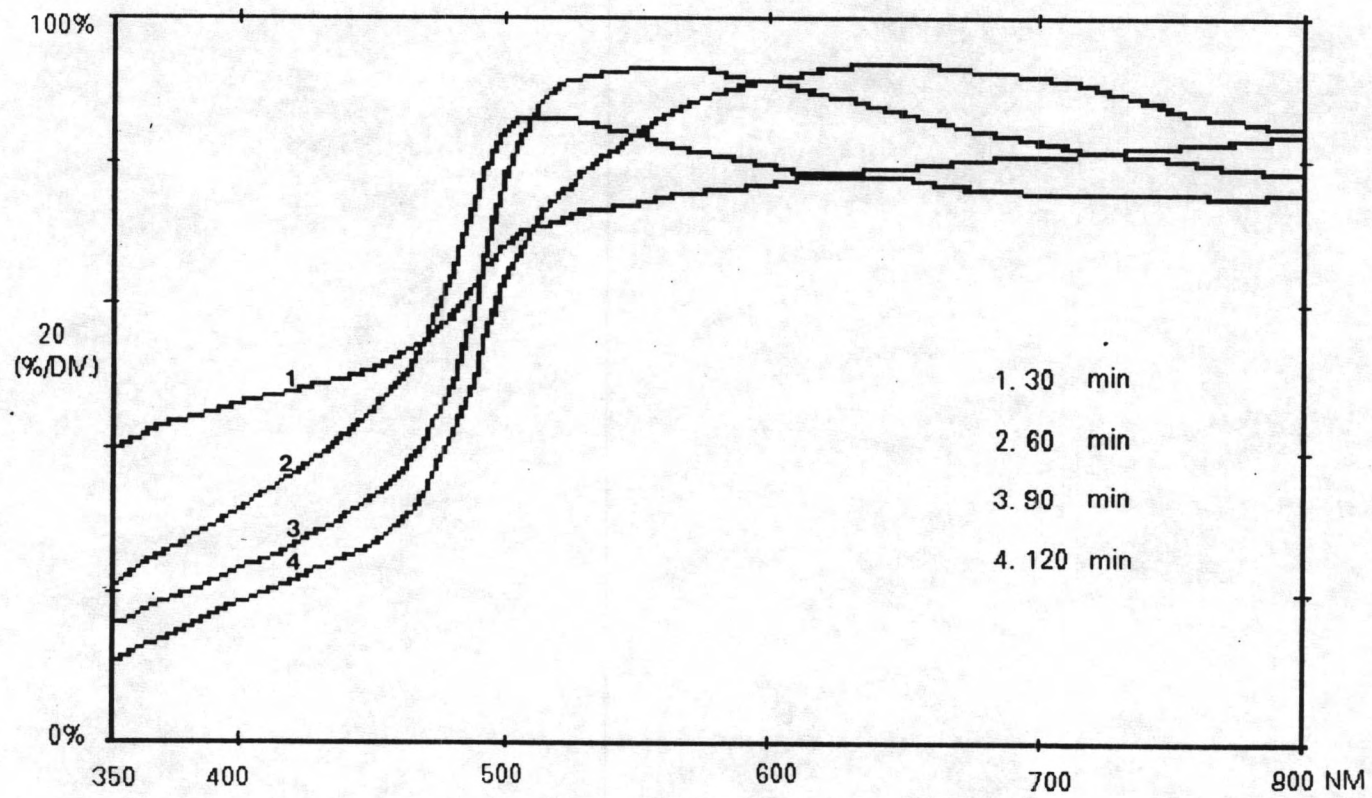
จากที่กล่าวมาสรุปได้ว่าค่าการส่งผ่านแสงในช่วงความยาวคลื่นของโฟตอนมากกว่าช่องว่างแถบพลังงานจะมากขึ้นเมื่อความหนาแน่น และเมื่ออุณหภูมิของการแอนนัลสูงขึ้น ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 80 % ส่วนช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมได้ทั้งที่แอนนัลและไม่แอนนัลจะอยู่ในช่วงประมาณ 2.40 - 2.60 eV โดยที่เมื่อความหนาแน่นของฟิล์มเพิ่มขึ้นขอบของการดูดกลืนจะเลื่อนไปทางความยาวคลื่นของโฟตอนที่สูงขึ้น ทำให้ค่าช่องว่างแถบพลังงานมีค่าลดลงและเช่นเดียวกันเมื่อแอนนัลที่อุณหภูมิสูงขึ้น ค่าช่องว่างแถบพลังงานก็จะลดลงเข้าใกล้ค่าช่องว่างแถบพลังงานของผลึกเดี่ยว CdS ซึ่งมีค่า 2.42 eV ทั้งนี้ก็เนื่องจากว่าเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้นอะตอมของ CdS จะเรียงตัวหนาแน่นมากความสมบูรณ์ของผลึกจึงมีมากขึ้นจึงทำให้มีสมบัติใกล้เคียงกับผลึกเดี่ยว และจากการศึกษาของนักวิจัยท่านอื่น [24] ความร้อนจะทำให้ขนาดของเกรนใหญ่ขึ้น และโครงสร้างผลึกสมบูรณ์มากขึ้น จึงทำให้ฟิล์มบาง CdS มีสมบัติใกล้เคียงกับผลึกเดี่ยว ดังนั้นค่าช่องว่างแถบพลังงานจึงใกล้เคียงกับผลึกเดี่ยว



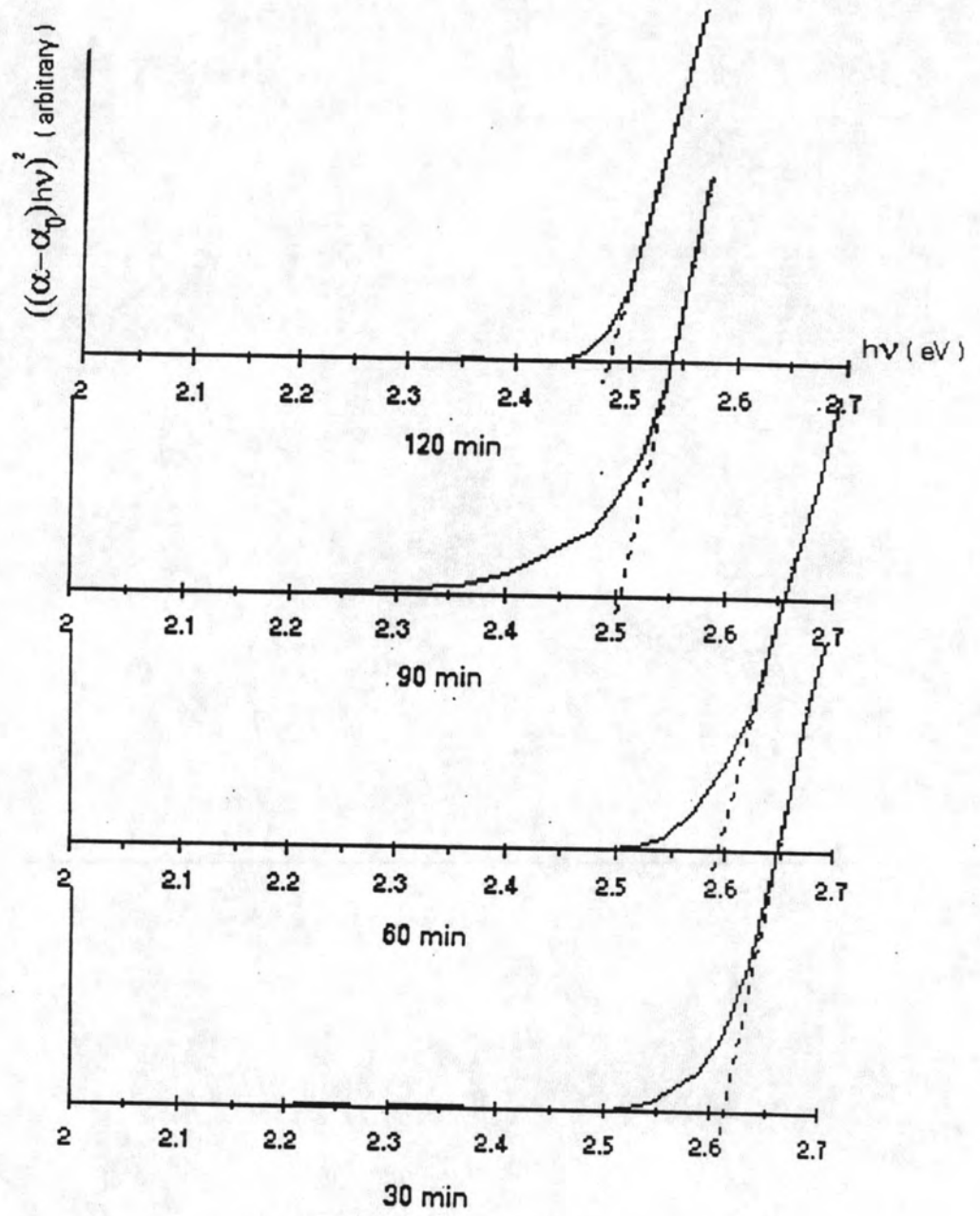
รูปที่ 6.29 แสดงการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ที่ความหนาต่างๆกันใช้เวลาการเตรียม 30 - 180 นาที



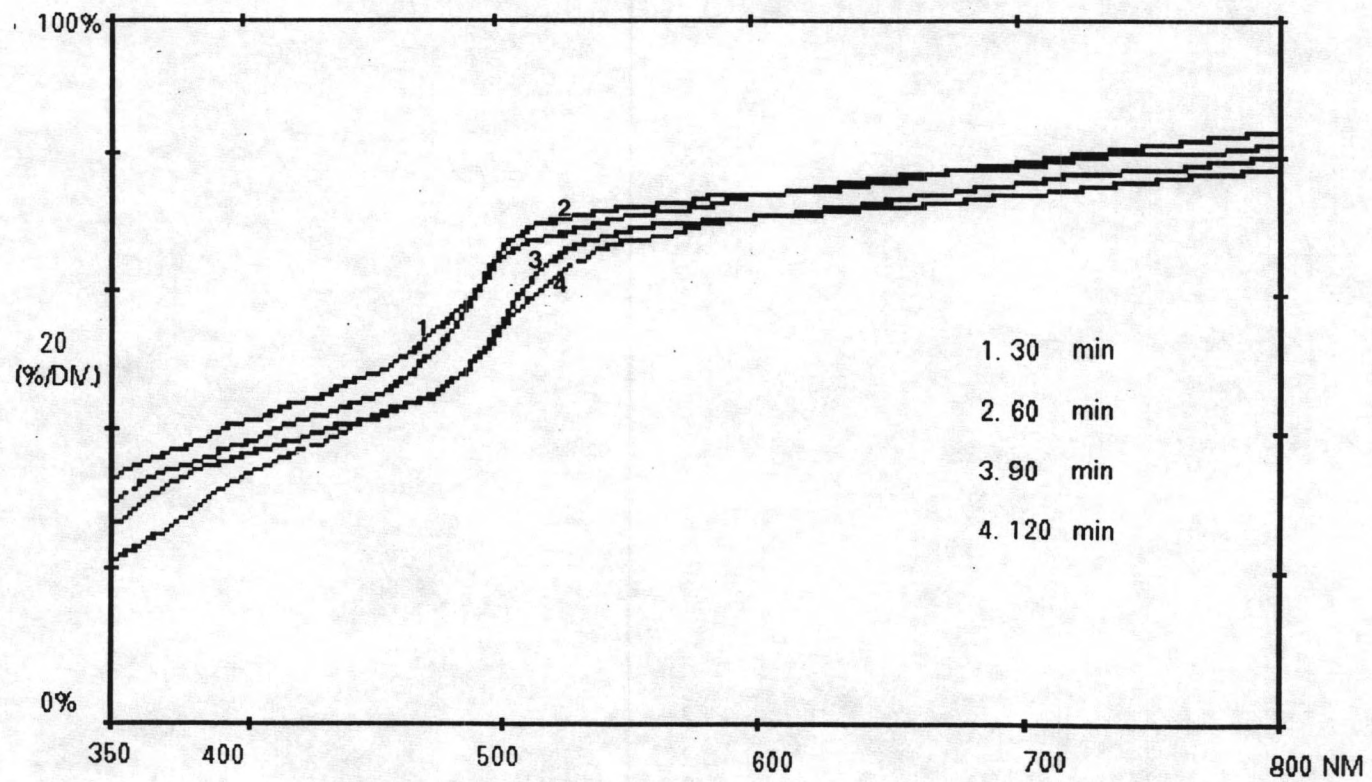
รูปที่ 6.30 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.29



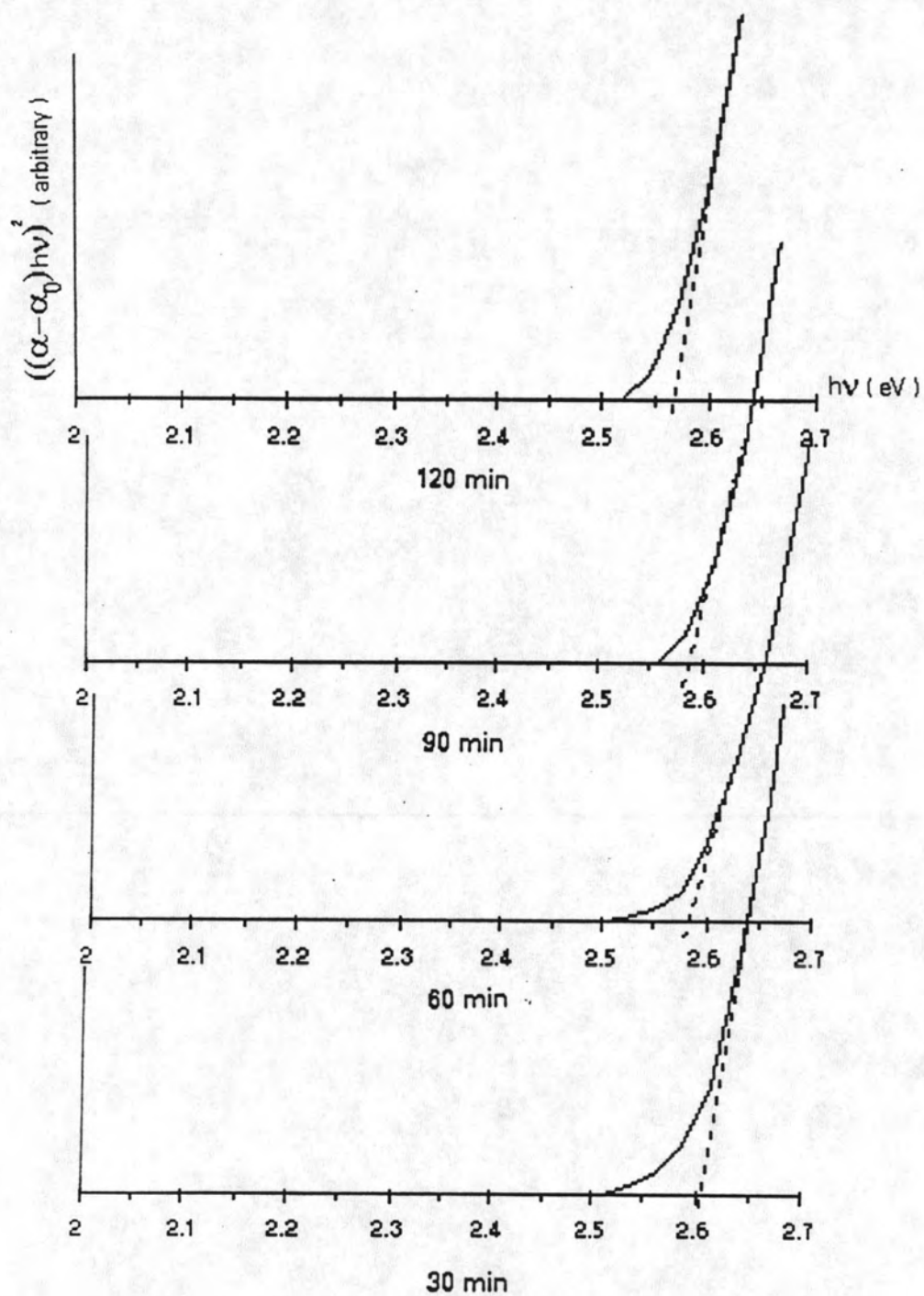
รูปที่ 6.31 แสดงการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ที่ความหนาต่างๆกันใช้เวลาการเตรียม 30 - 120 นาที



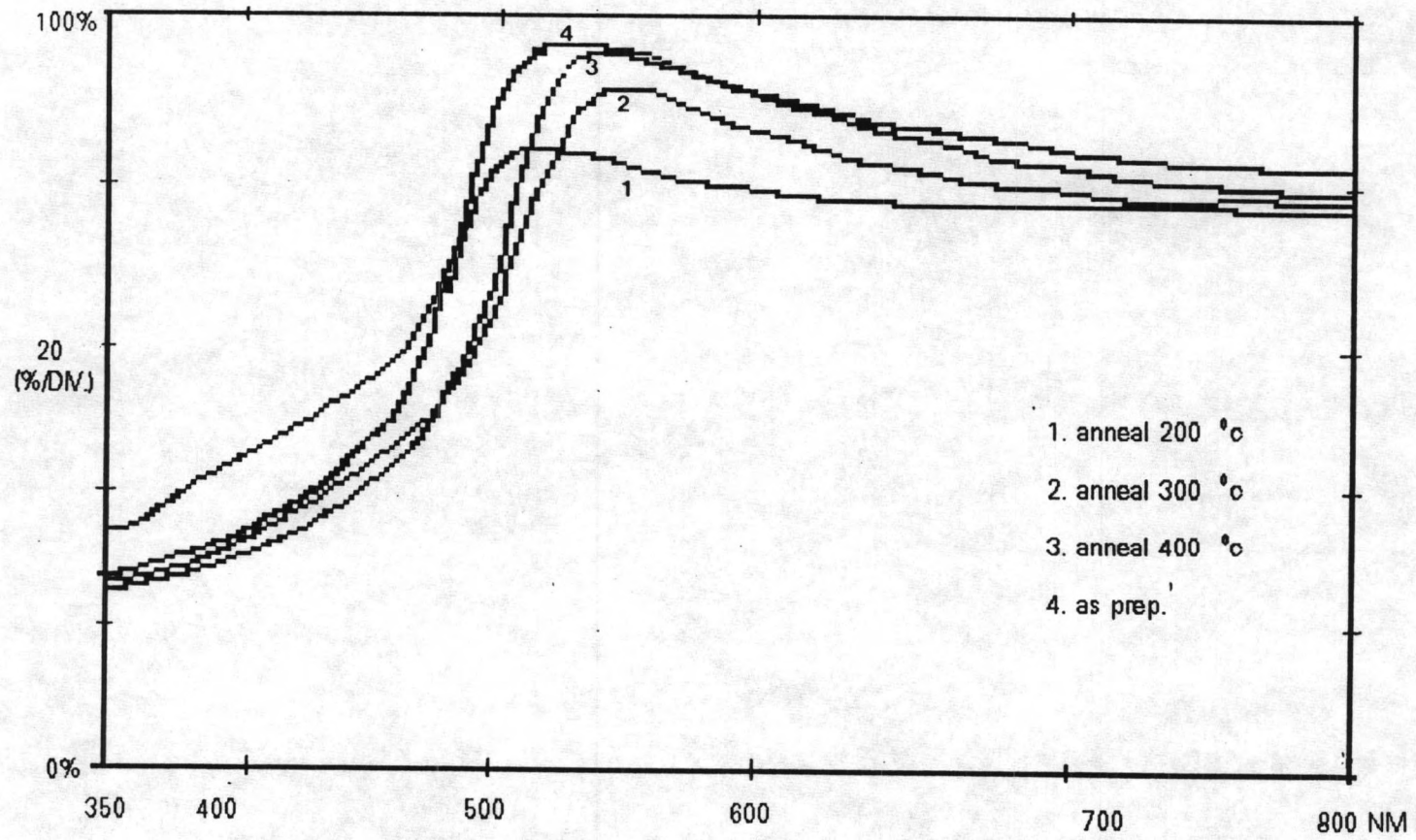
รูปที่ 6.32 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.31



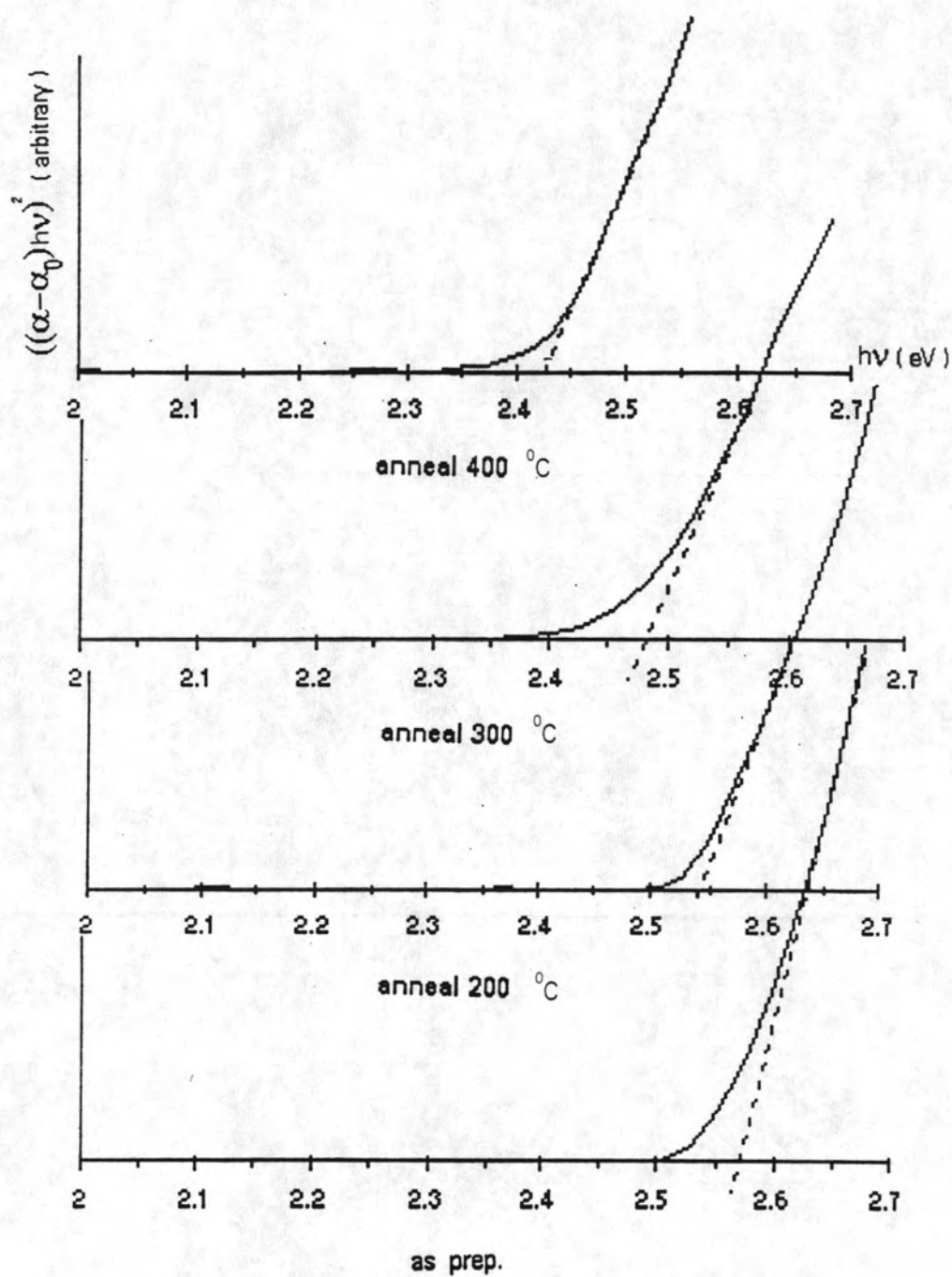
รูปที่ 6.33 แสดงการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C ที่ความหนาต่างๆกันใช้เวลาการเตรียม 30 - 120 นาที



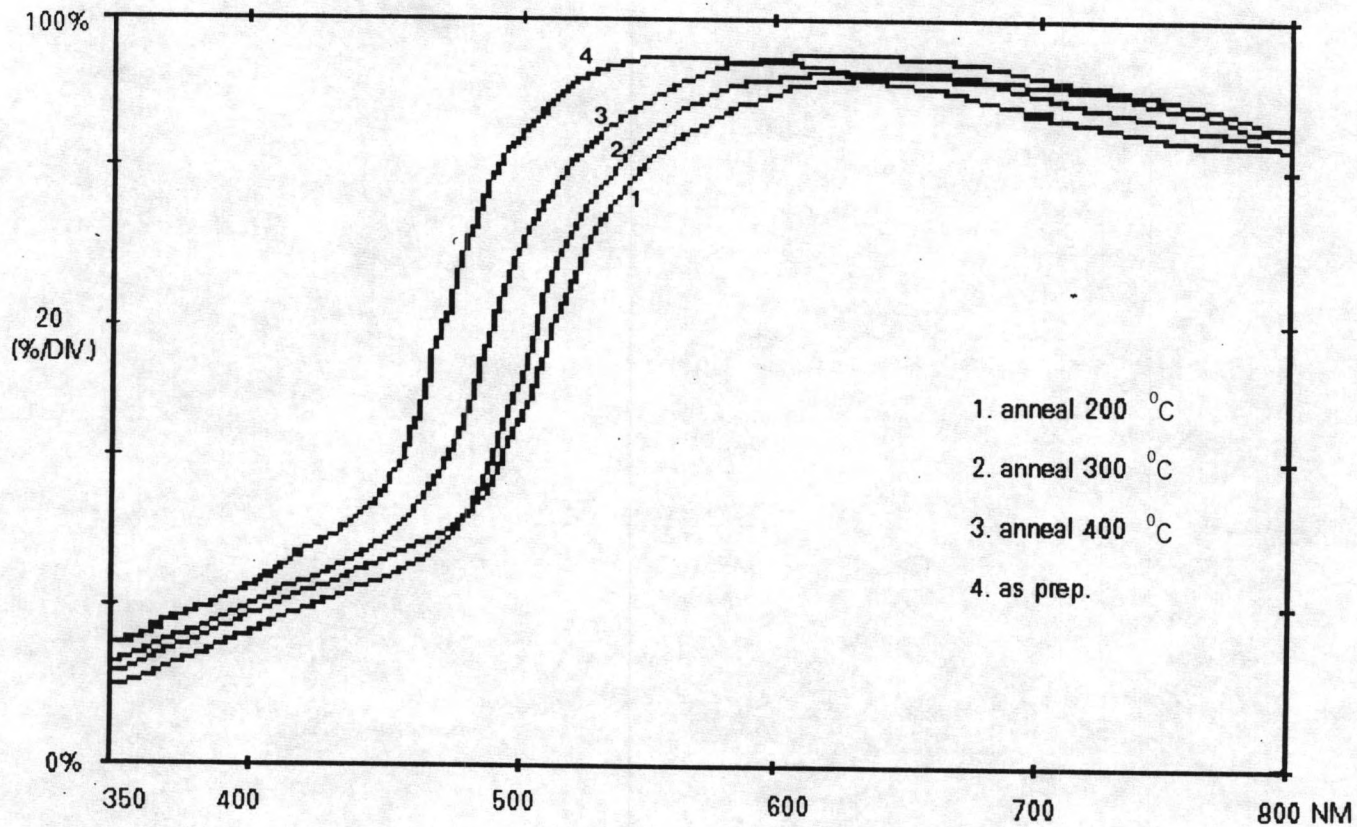
รูปที่ 6.34 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.33



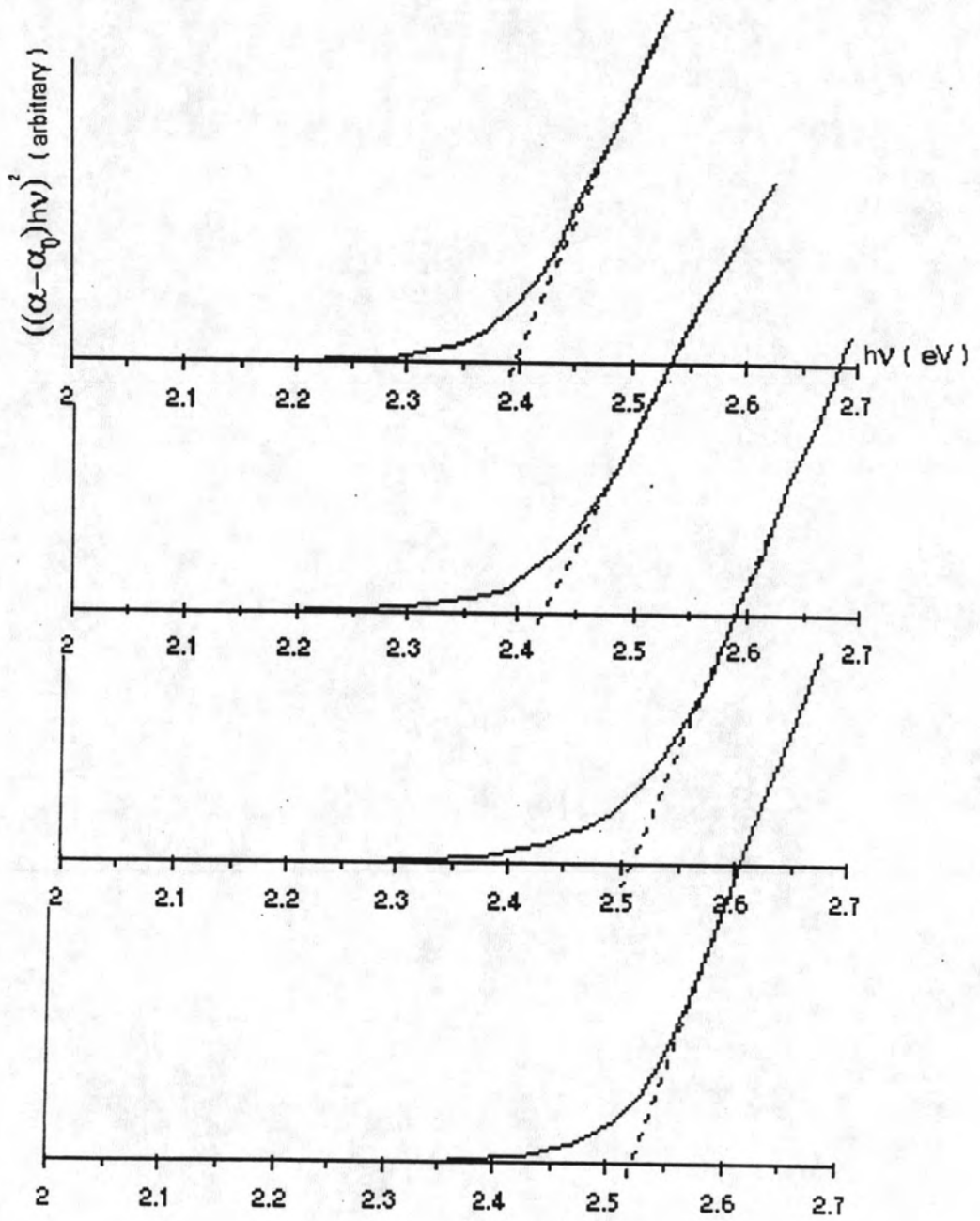
รูปที่ 6.35 แสดงการเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาเตรียม 90 นาที ระหว่างฟิล์มที่ไม่แอนนีกกับฟิล์มที่แอนนีกในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 200 , 300 , 400 °C เป็นเวลา 20 นาที



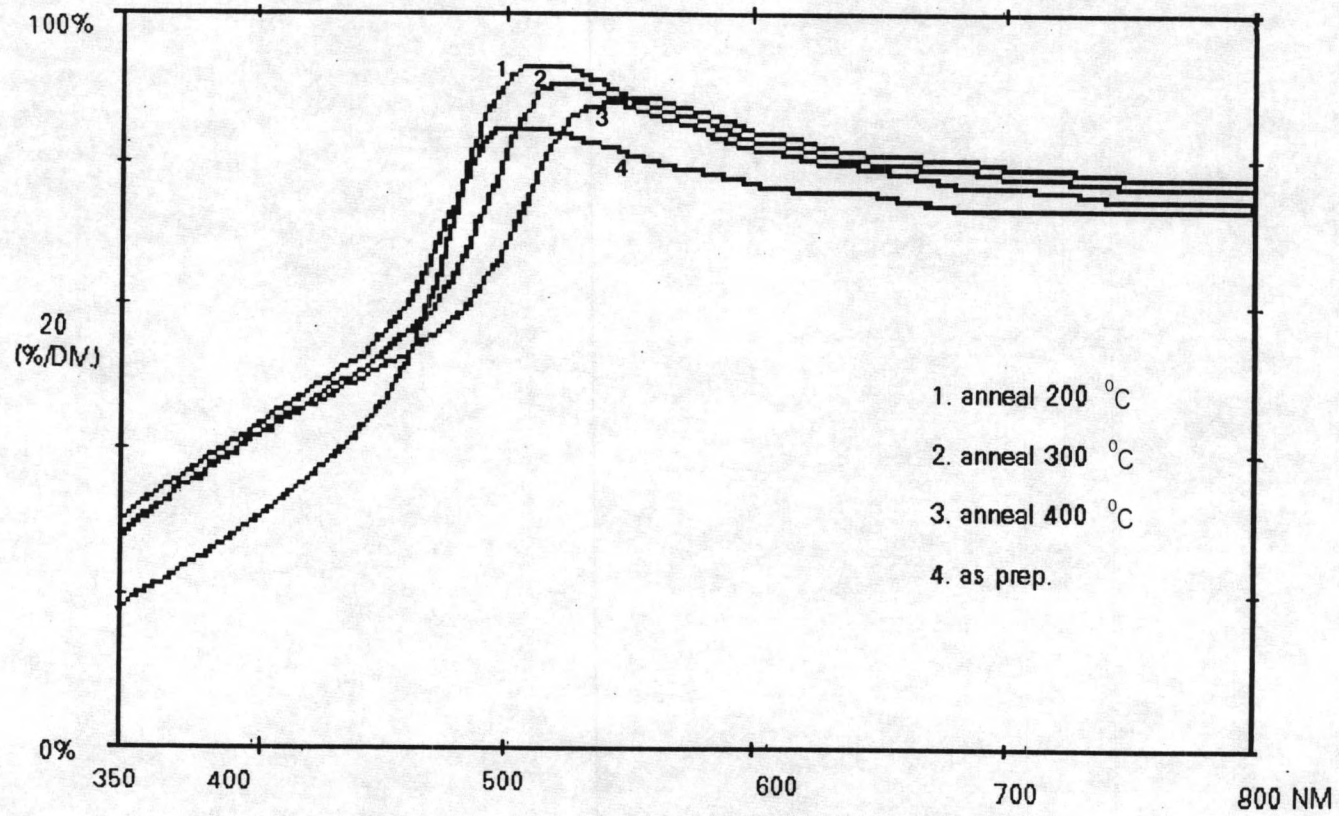
รูปที่ 6.36 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.35



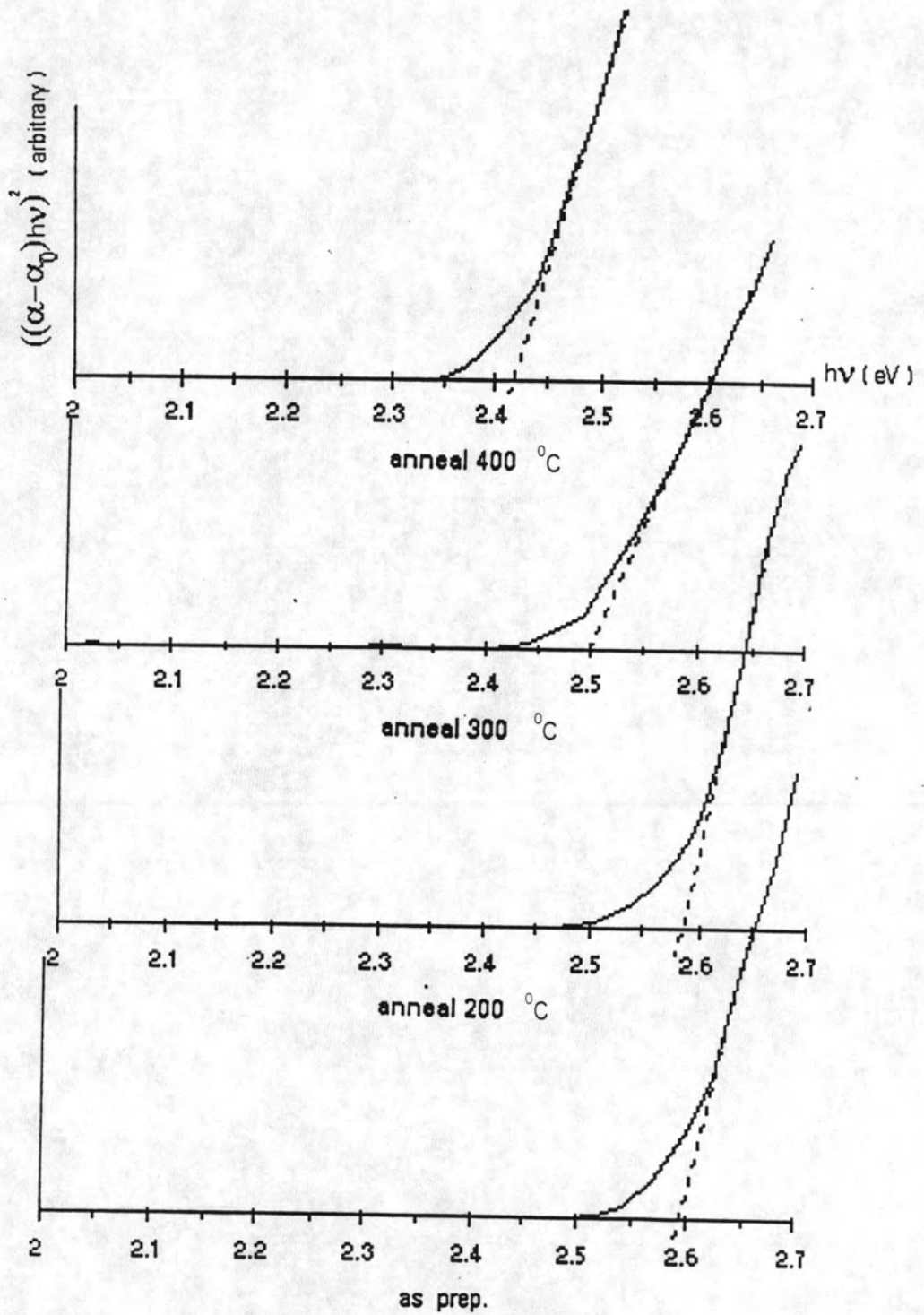
รูปที่ 6.37 แสดงการเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที ระหว่างฟิล์มที่ไม่แอนนีย์ลกับฟิล์มที่แอนนีย์ล ในอากาศที่อุณหภูมิ 200 , 300 , 400 °C เป็นเวลา 20 นาที



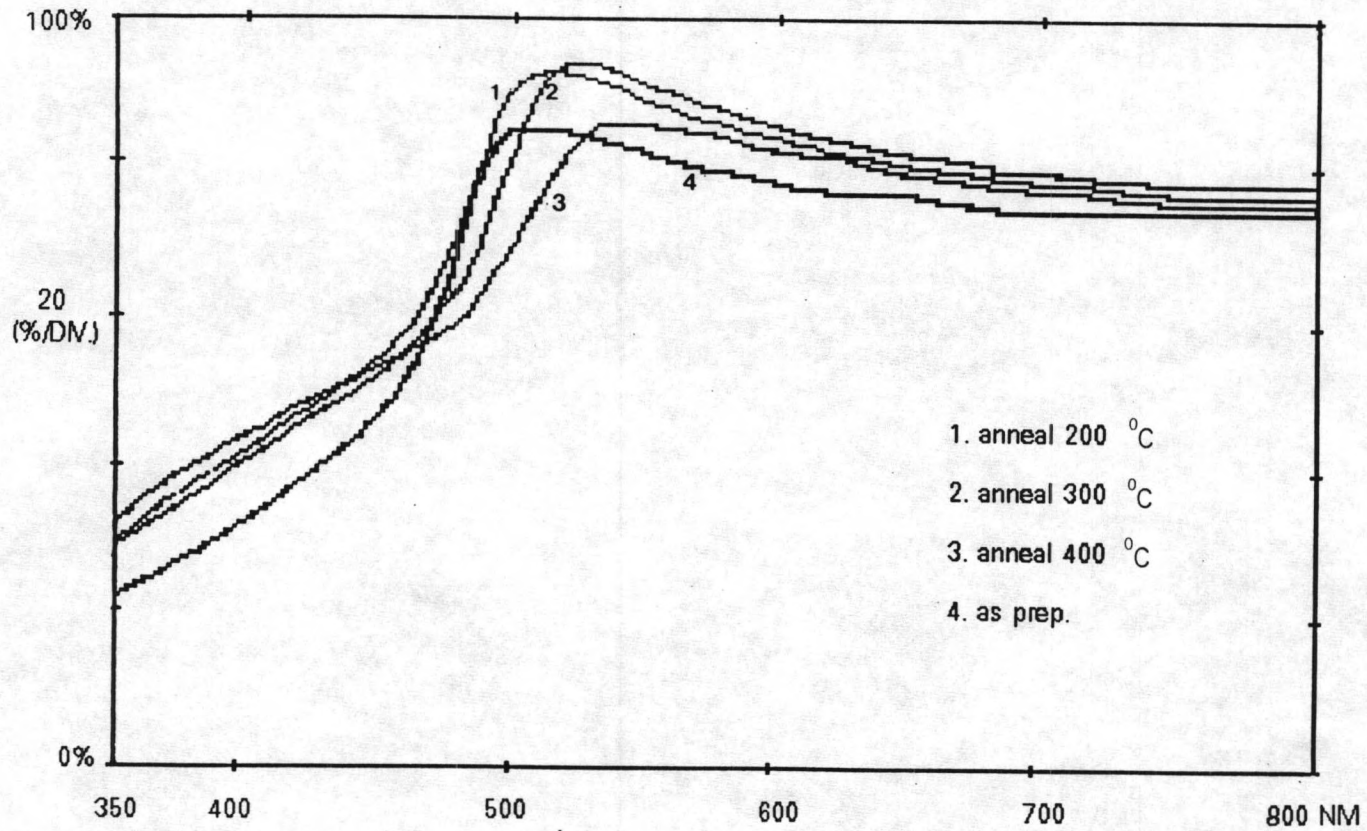
รูปที่ 6.38 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.37



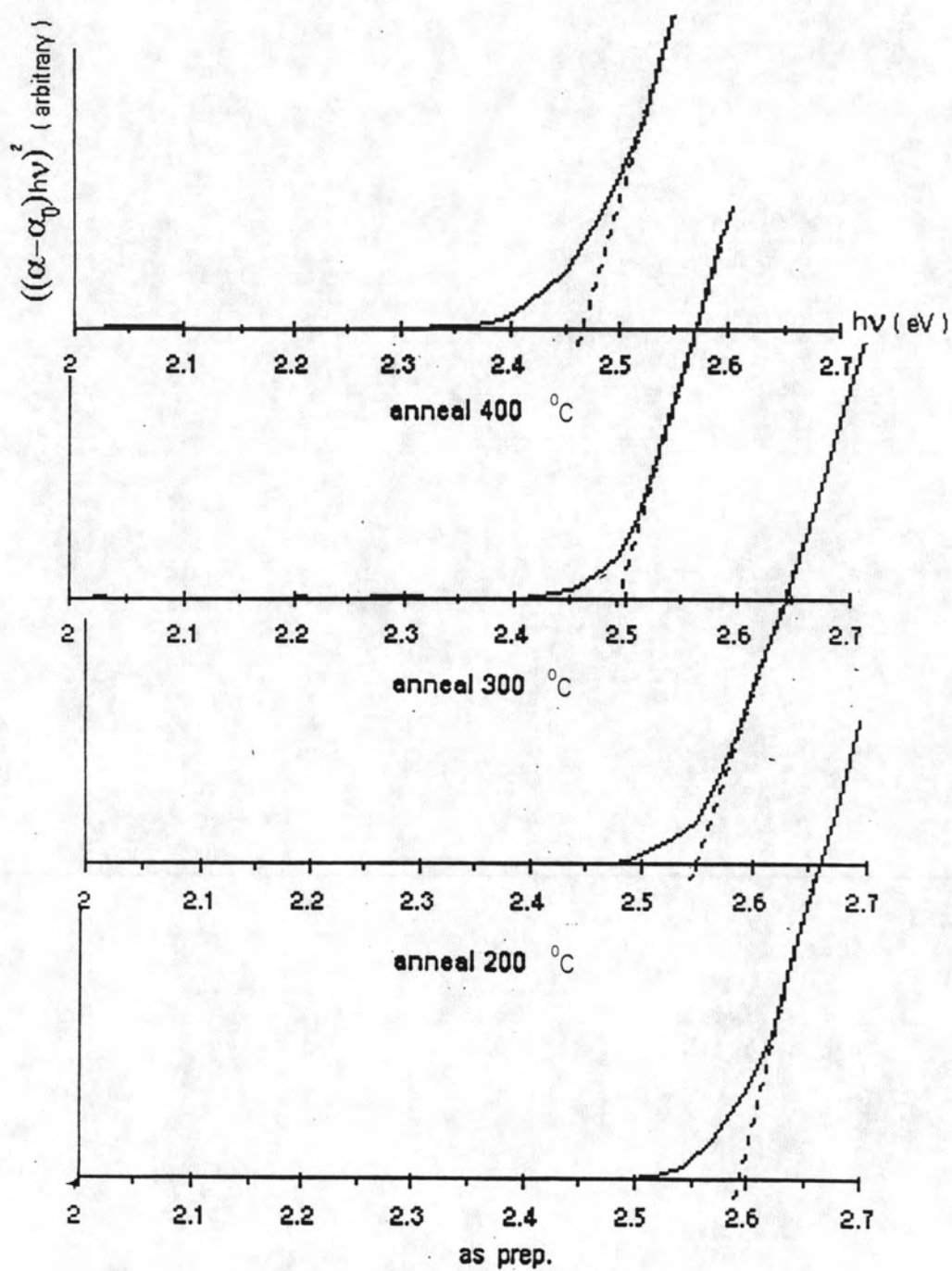
รูปที่ 6.39 แสดงการเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ใช้เวลาเตรียม 60 นาที ระหว่างฟิล์มที่ไม่แอนนัลกับฟิล์มที่แอนนัลในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 200 , 300 , 400 °C เป็นเวลา 20 นาที



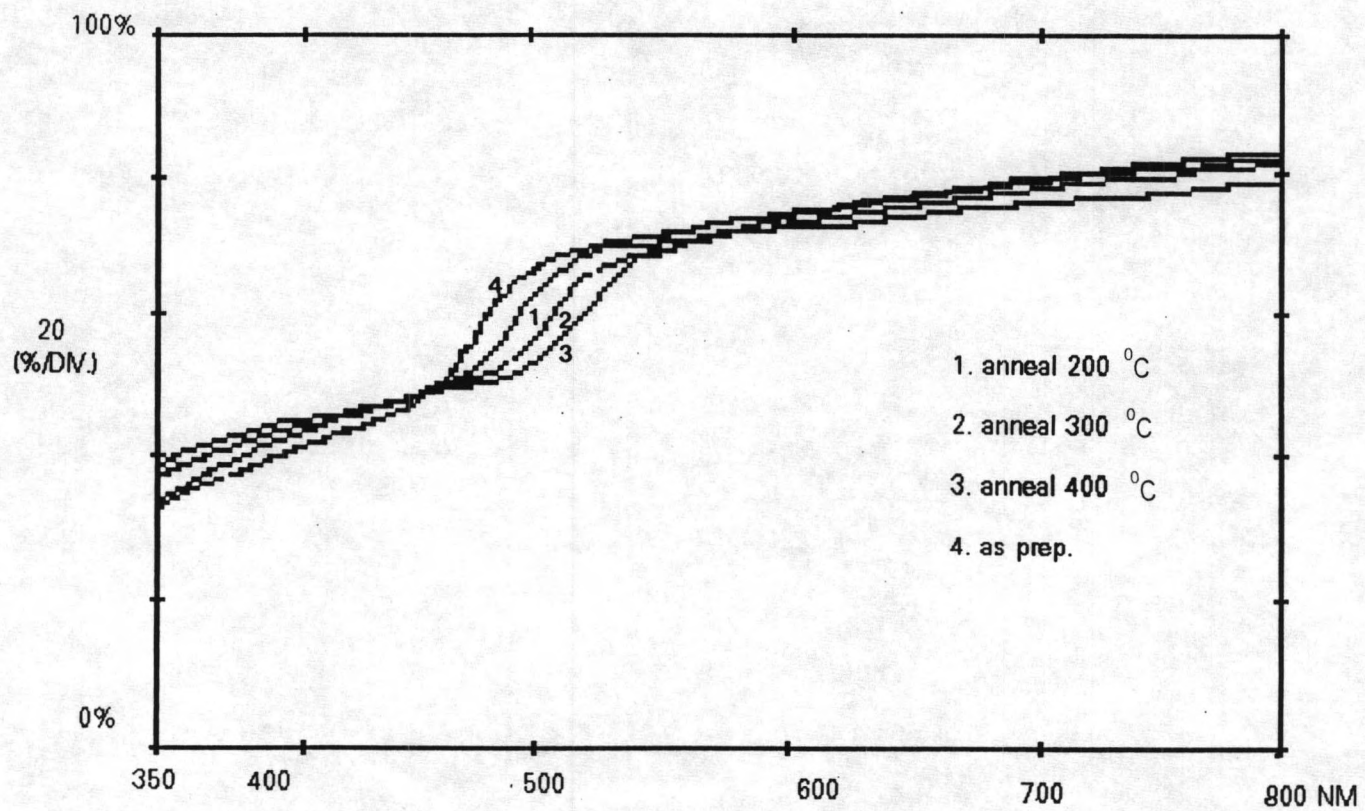
รูปที่ 6.40 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.39



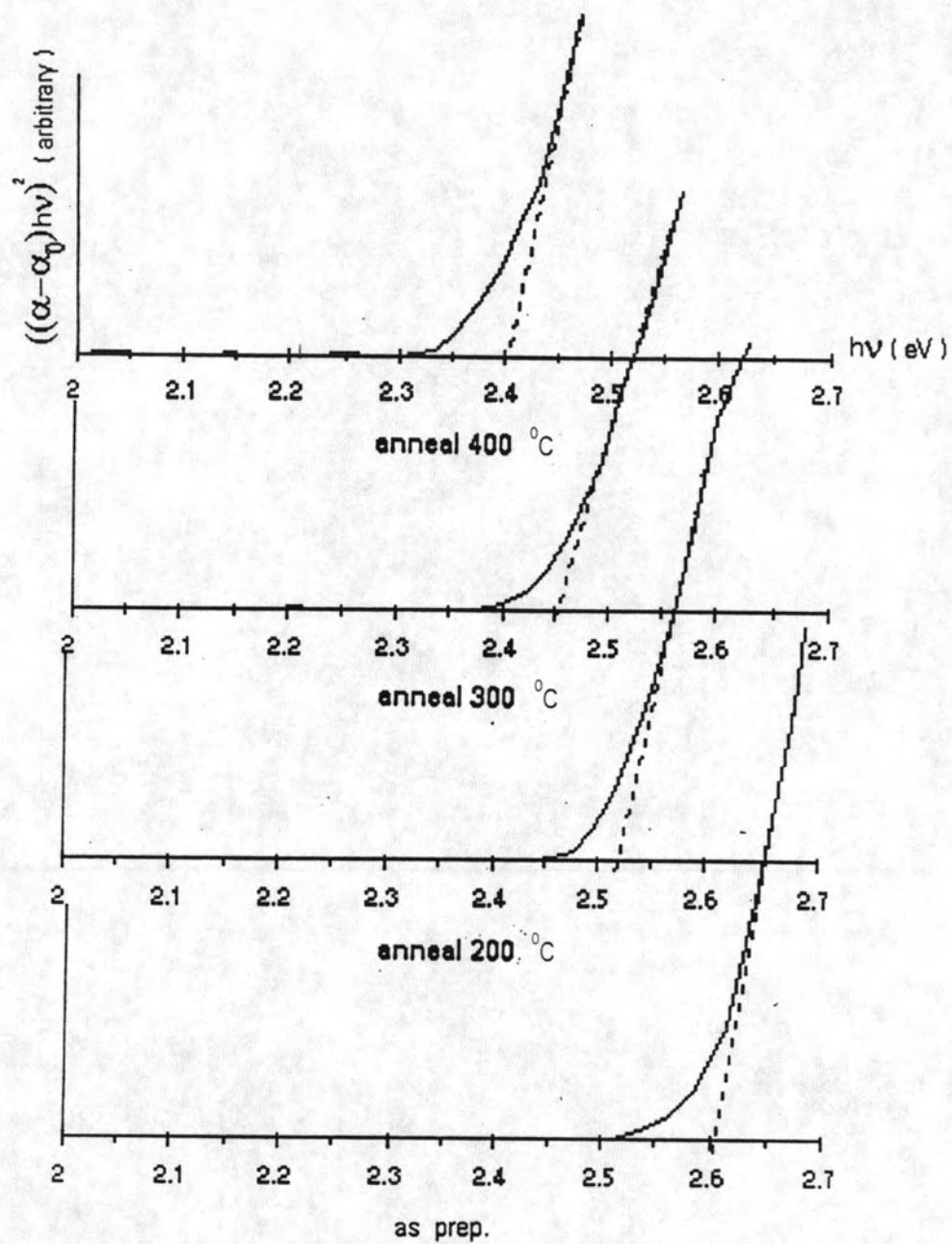
รูปที่ 6.41 แสดงการเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ใช้เวลาเตรียม 60 นาที ระหว่างฟิล์มที่ไม่แอนนัลกับฟิล์มที่แอนนัลในอากาศ ที่อุณหภูมิ 200 , 300 , 400 °C เป็นเวลา 20 นาที



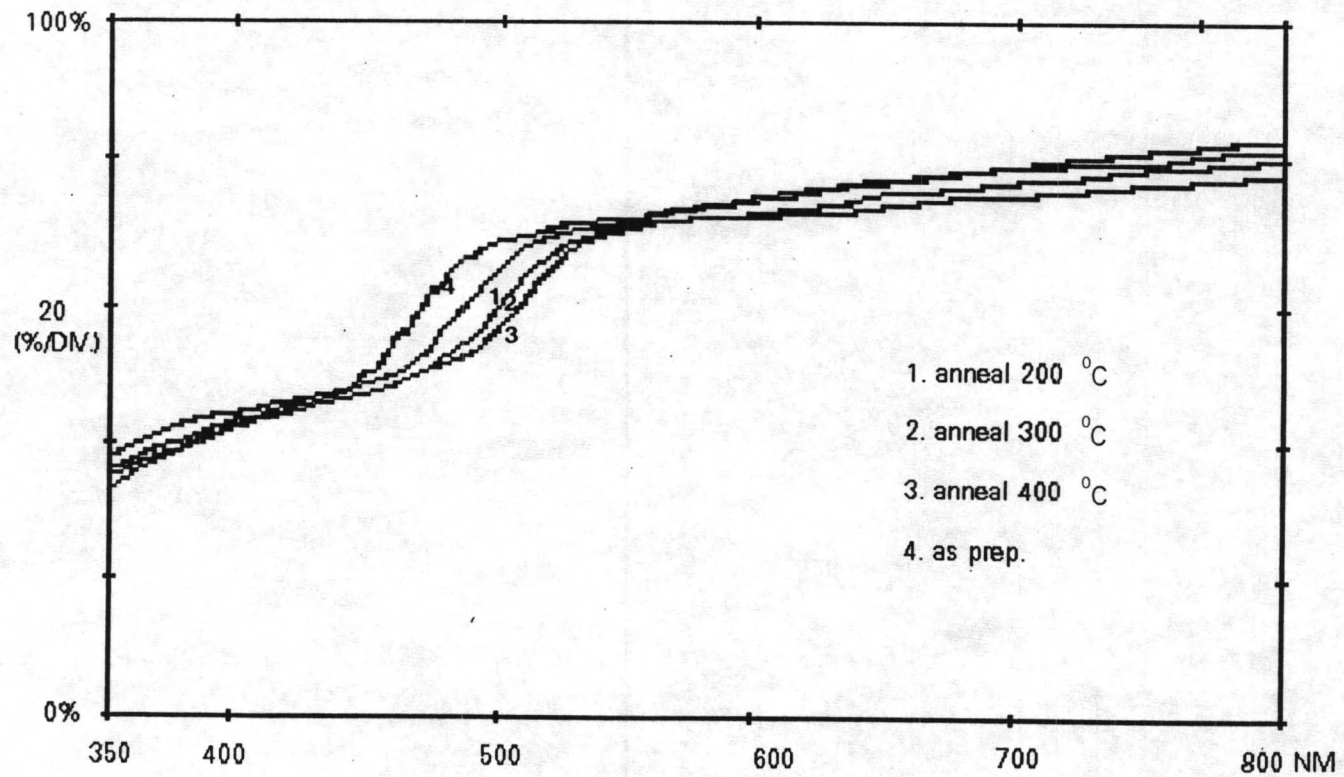
รูปที่ 6.42 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.41



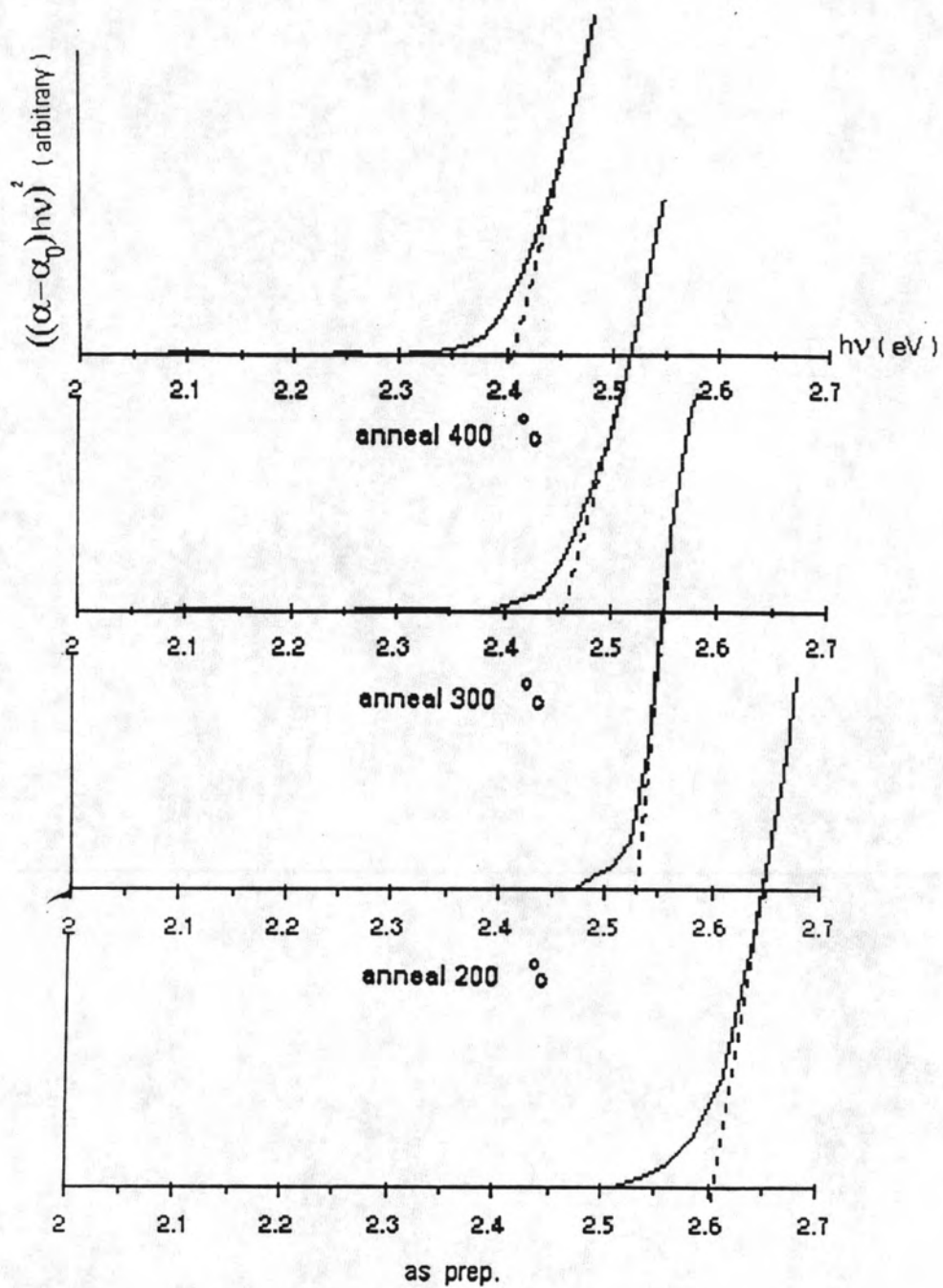
รูปที่ 6.43 แสดงการเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C ใช้เวลาเตรียม 30 นาที ระหว่างฟิล์มที่ไม่แอนนีย์ลกับฟิล์มที่แอนนีย์ลในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 200 , 300 , 400 °C เป็นเวลา 20 นาที



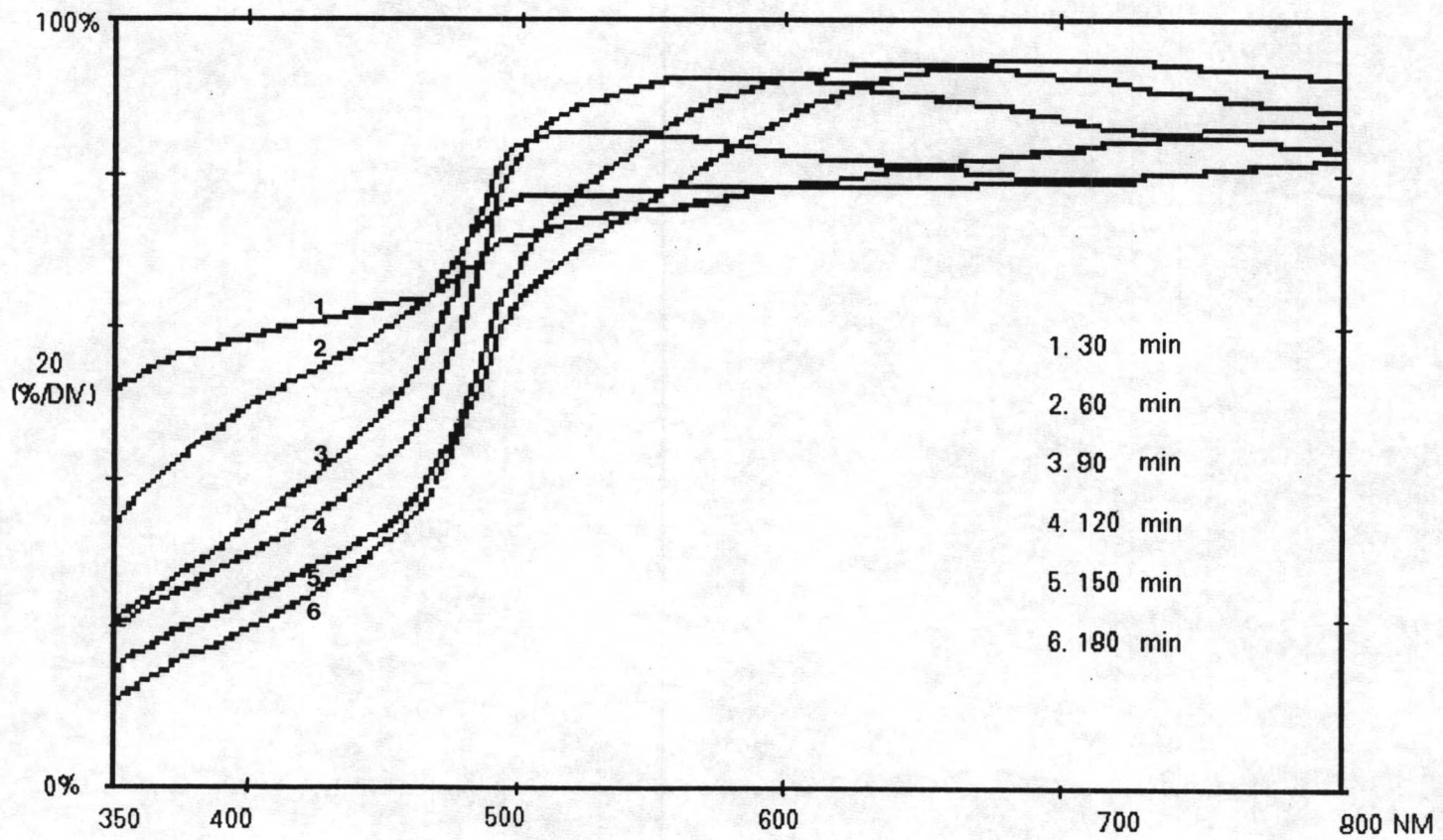
รูปที่ 6.44 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.43



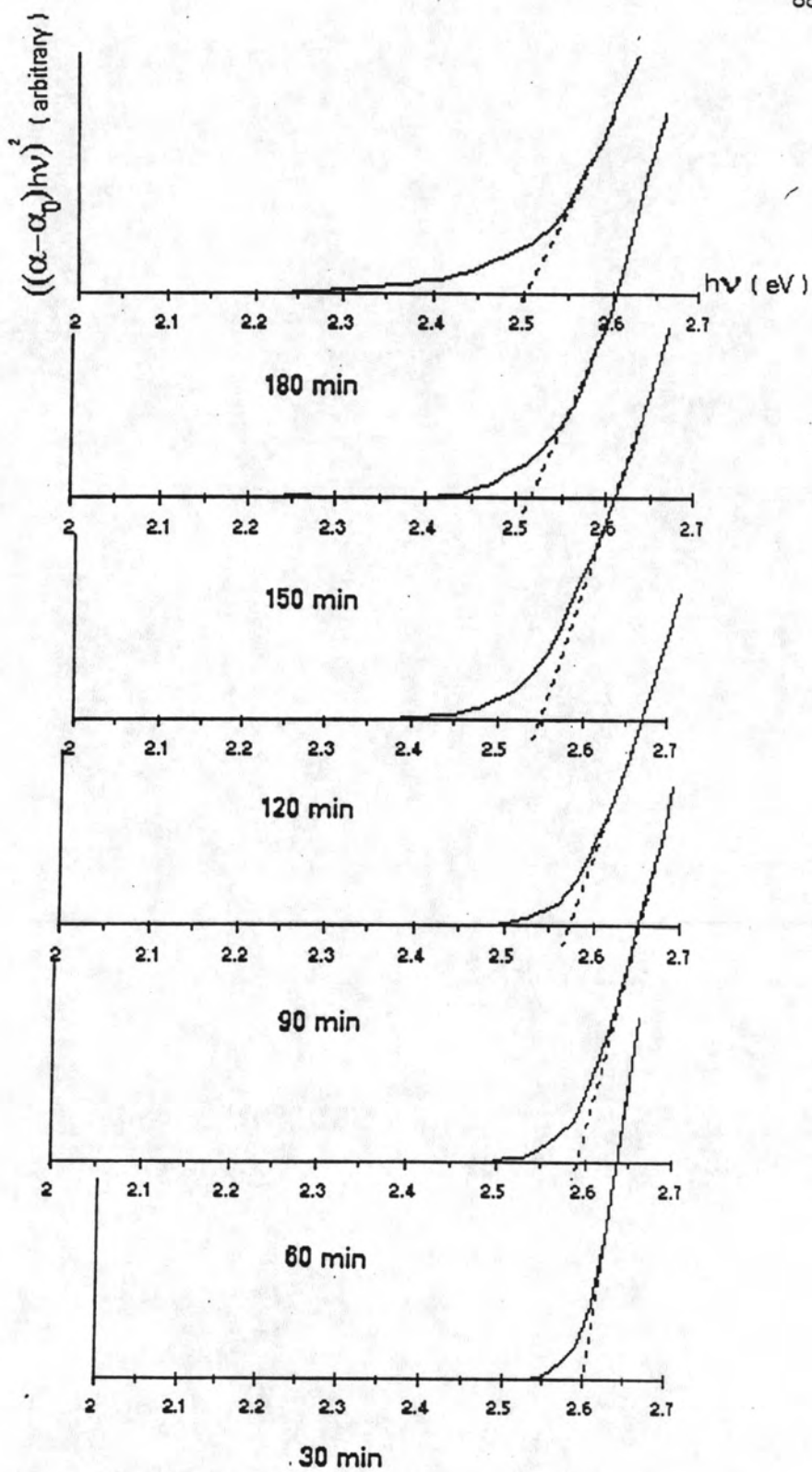
รูปที่ 6.45 แสดงการเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C ใช้เวลาเตรียม 30 นาทีระหว่างฟิล์มที่ไม่แอนนัลกับฟิล์มที่แอนนัล ในอากาศที่อุณหภูมิ 200 , 300 , 400 °C เป็นเวลา 20 นาที



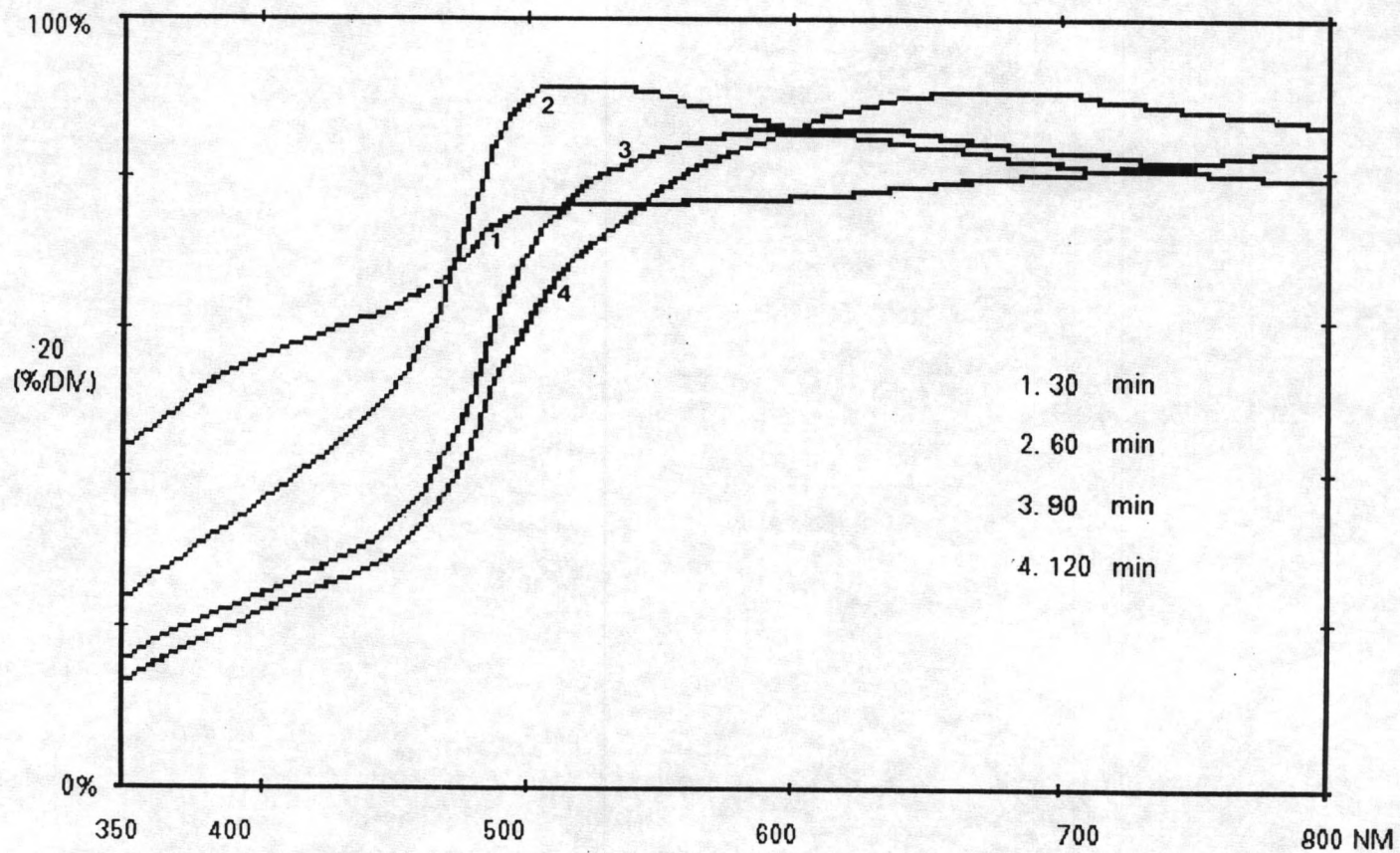
รูปที่ 6.46 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.45



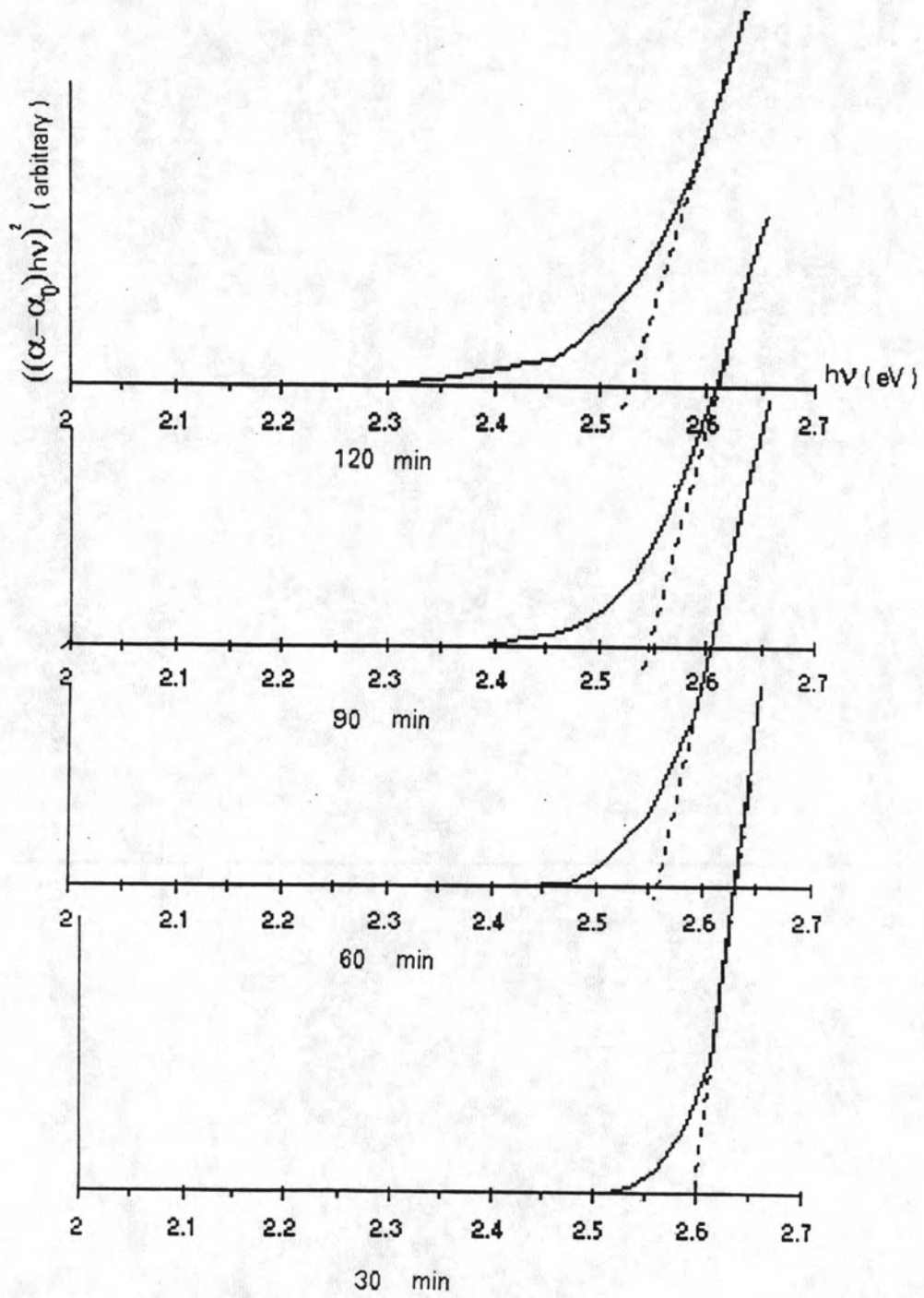
รูปที่ 6.47 แสดงการเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C แล้วเติมสารเจือ HgCl₂ ที่ความหนาต่างๆกันใช้เวลาเตรียม 30 - 180 นาที



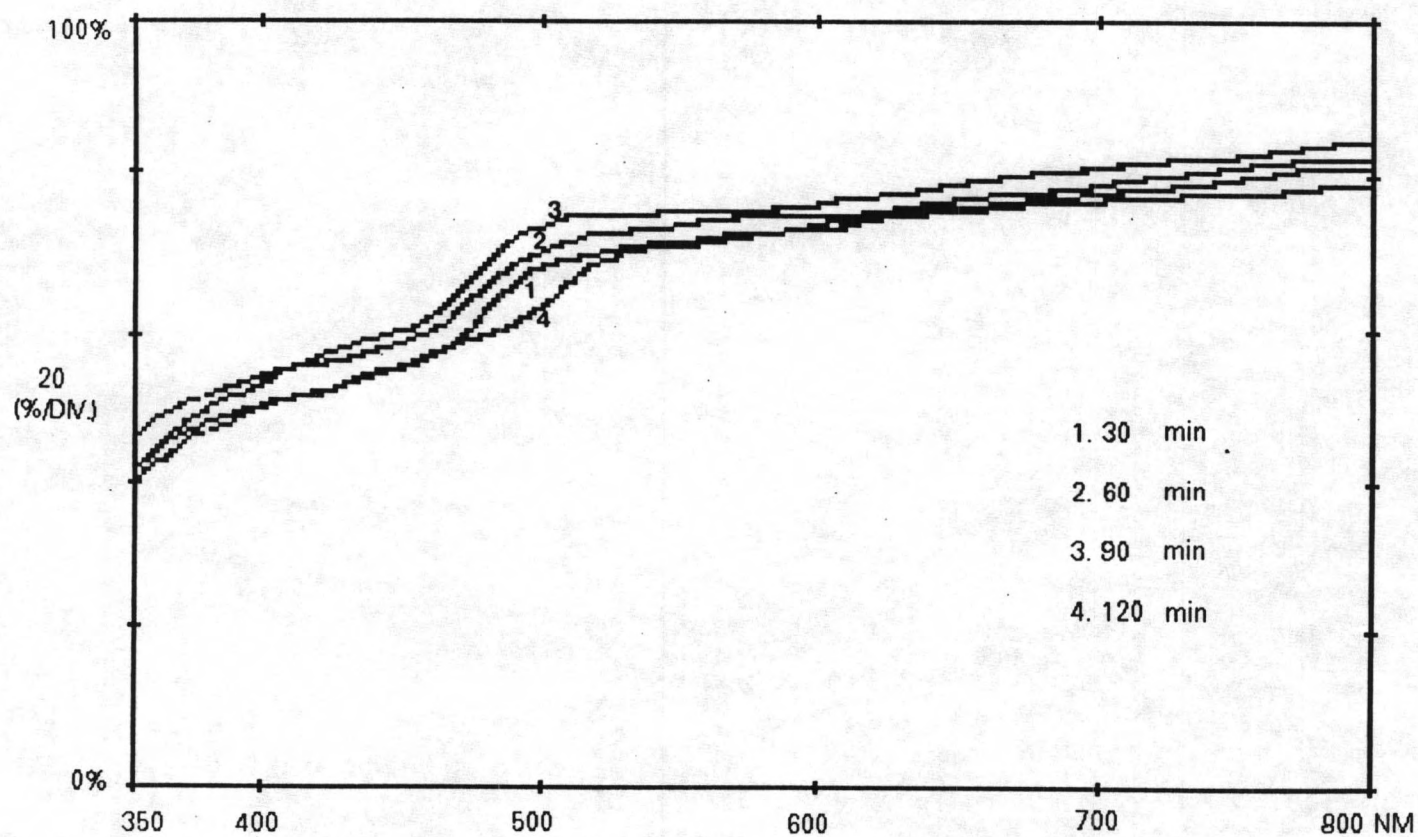
รูปที่ 6.48 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.47



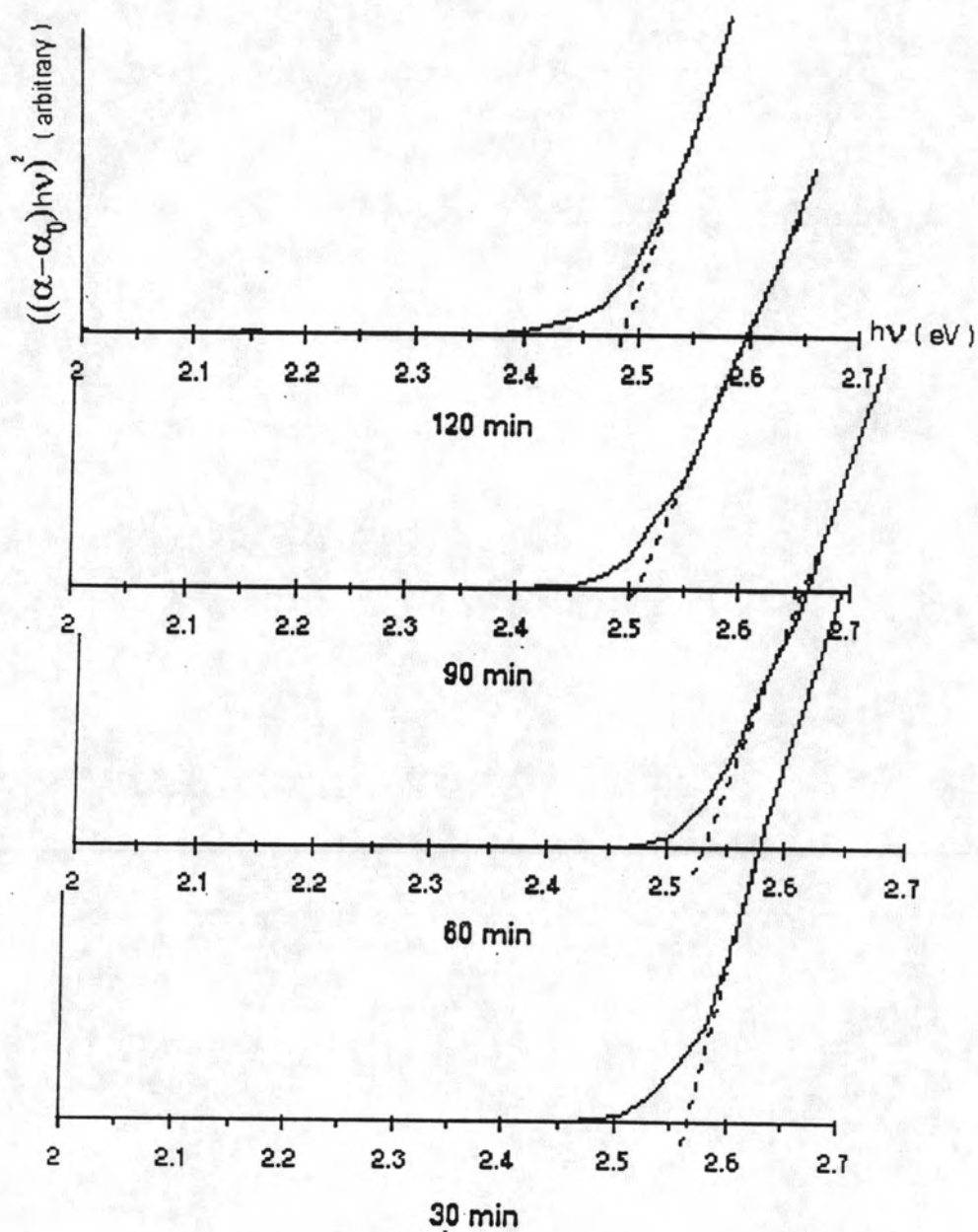
รูปที่ 6.49 แสดงการเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C แล้วเติมสารเจือ HgCl₂ ที่ความหนาต่างๆกันใช้เวลาเตรียม 30 - 120 นาที



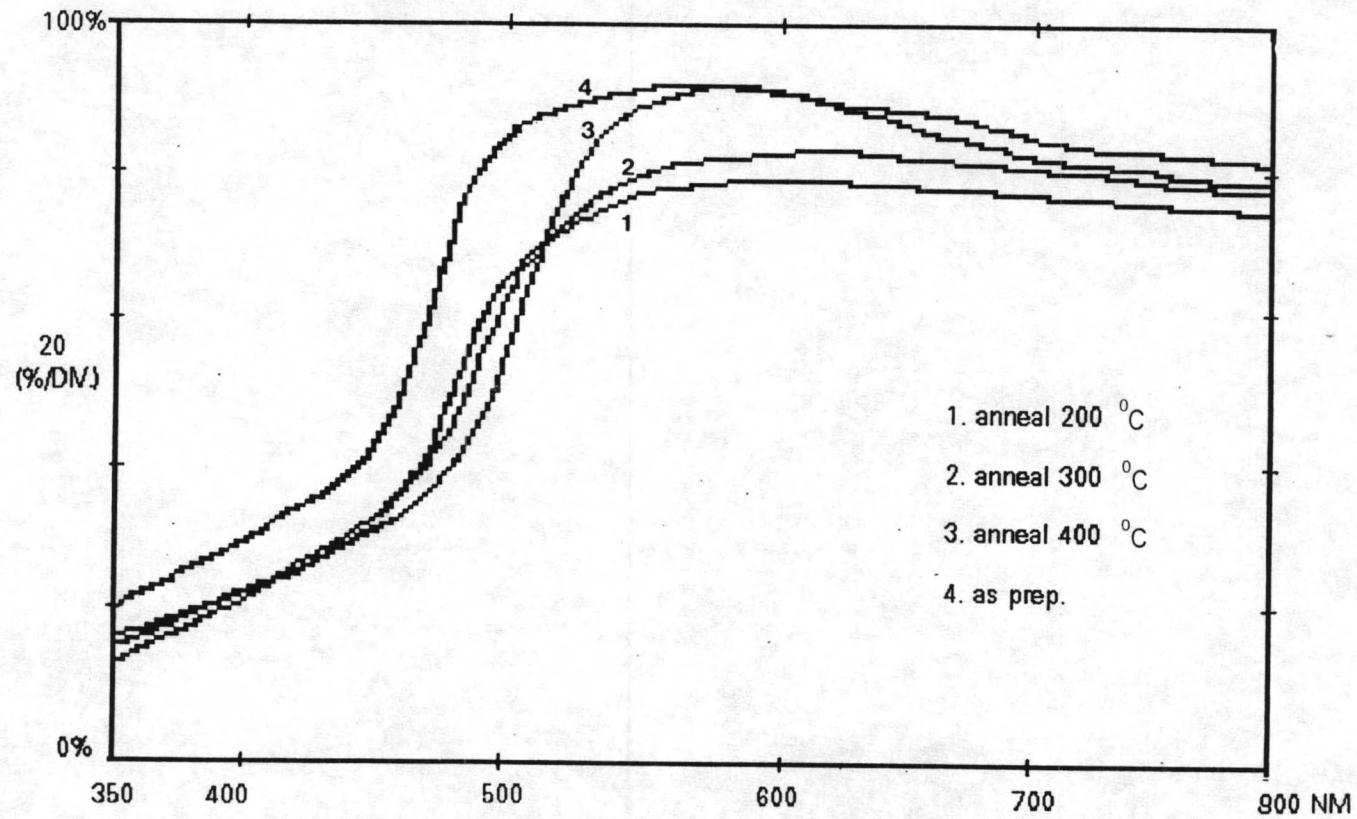
รูปที่ 6.50 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.48



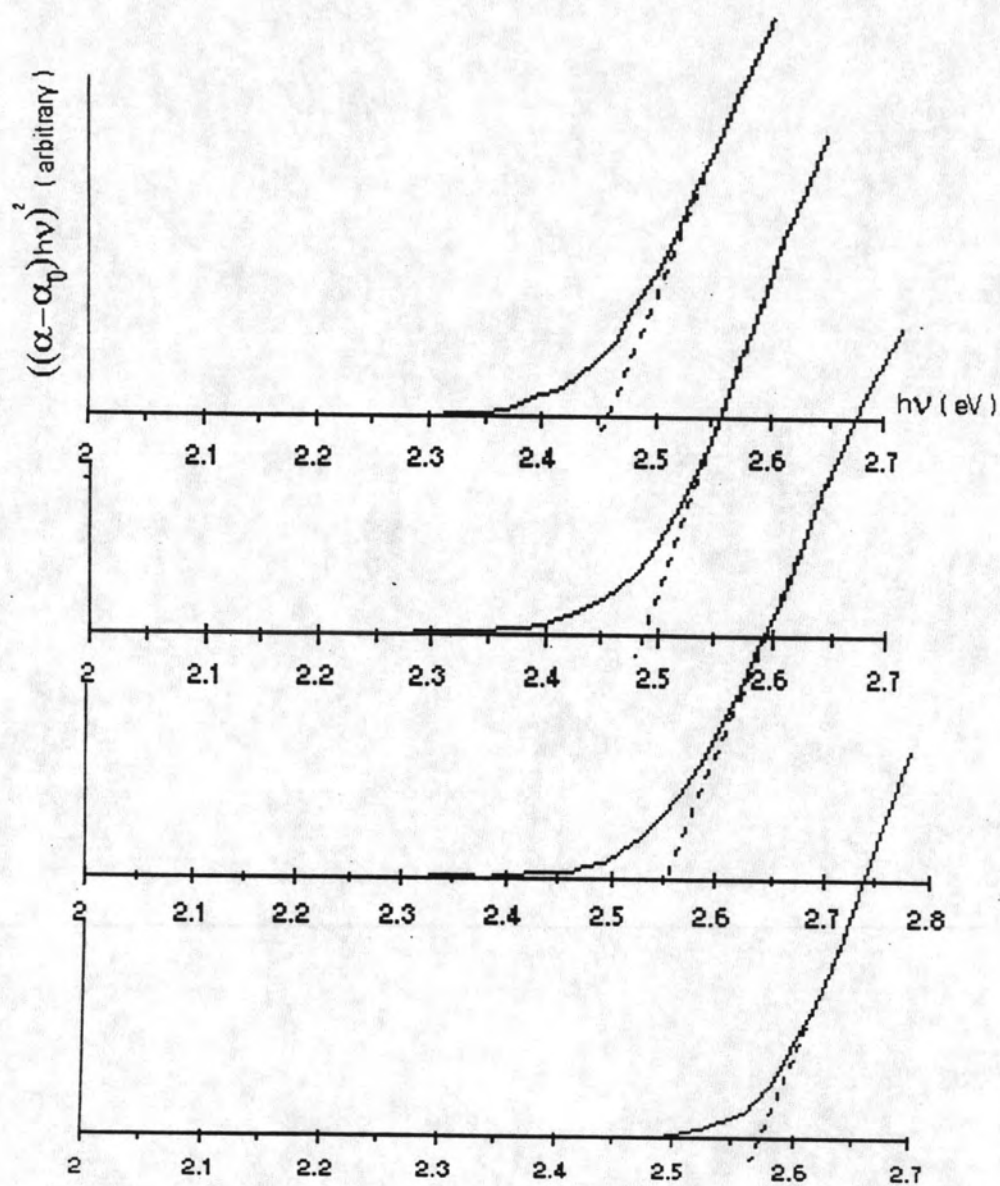
รูปที่ 6.51 แสดงการเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C และเติมสารเจือ HgCl₂ ที่ความหนาต่างๆกันใช้เวลาเตรียม 30 - 120 นาที



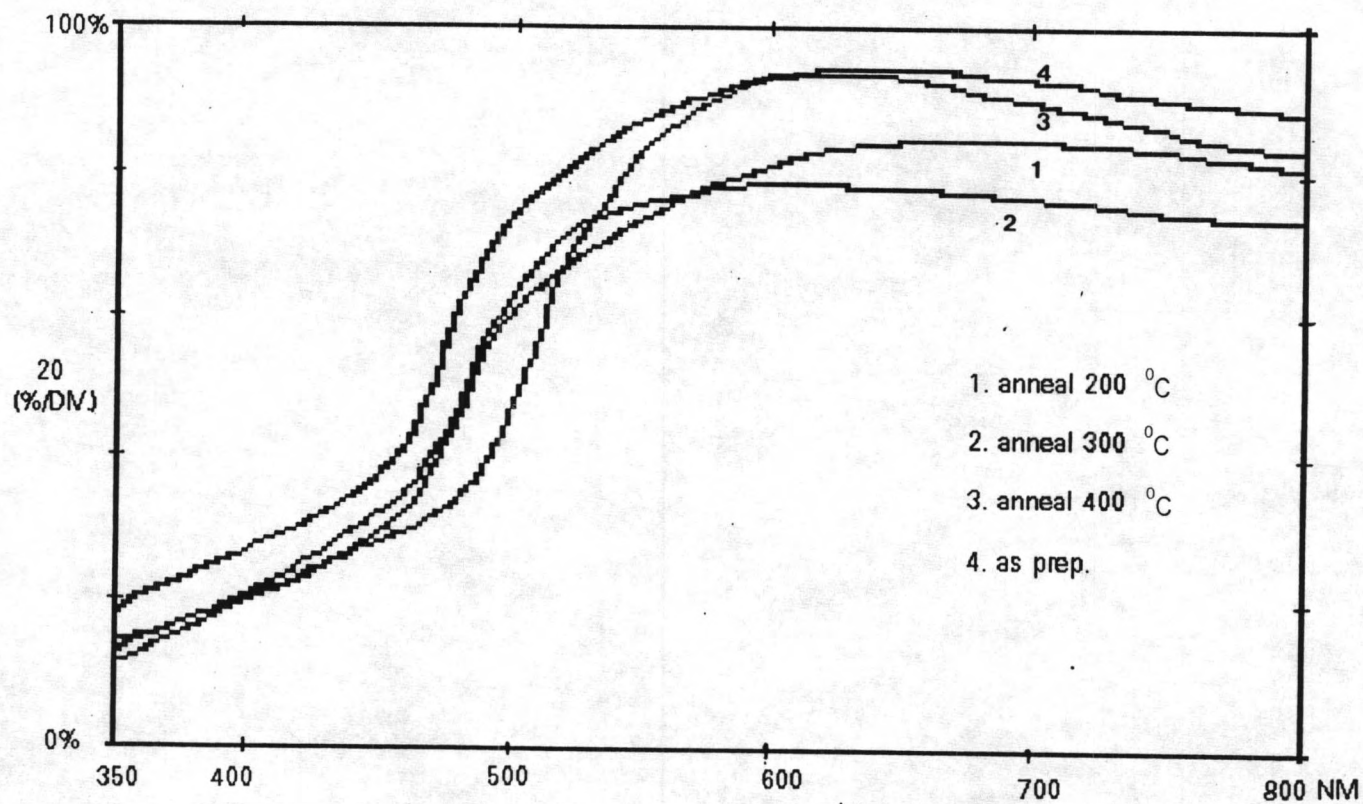
รูปที่ 6.52 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.51



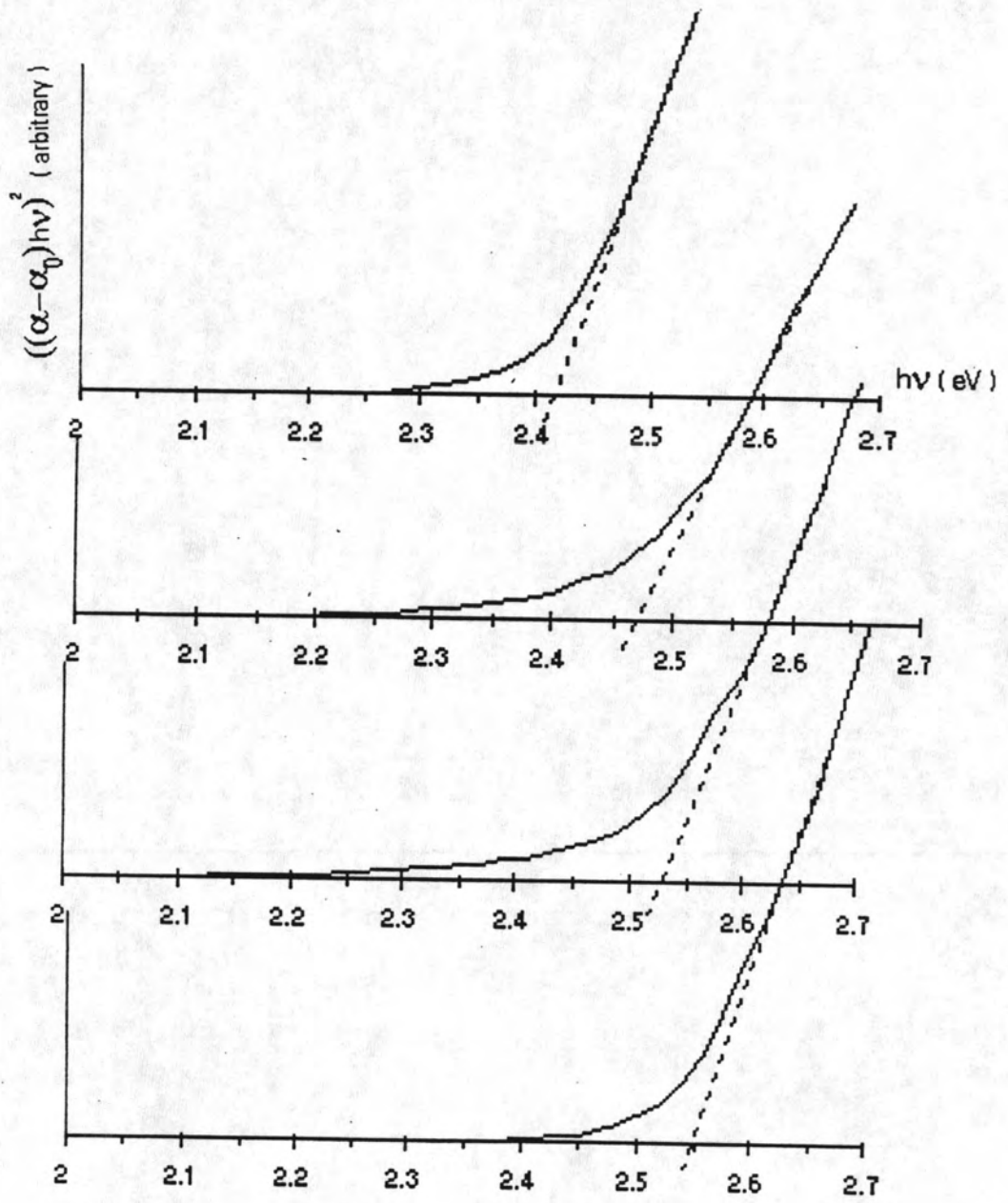
รูปที่ 6.53 แสดงการเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาเตรียม 90 นาที ระหว่างฟิล์มที่เติมสารเจือ HgCl₂ กับฟิล์มที่เติมสารเจือ HgCl₂ แล้วแอนนัลในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 200 , 300 , 400 °C เป็นเวลา 20 นาที



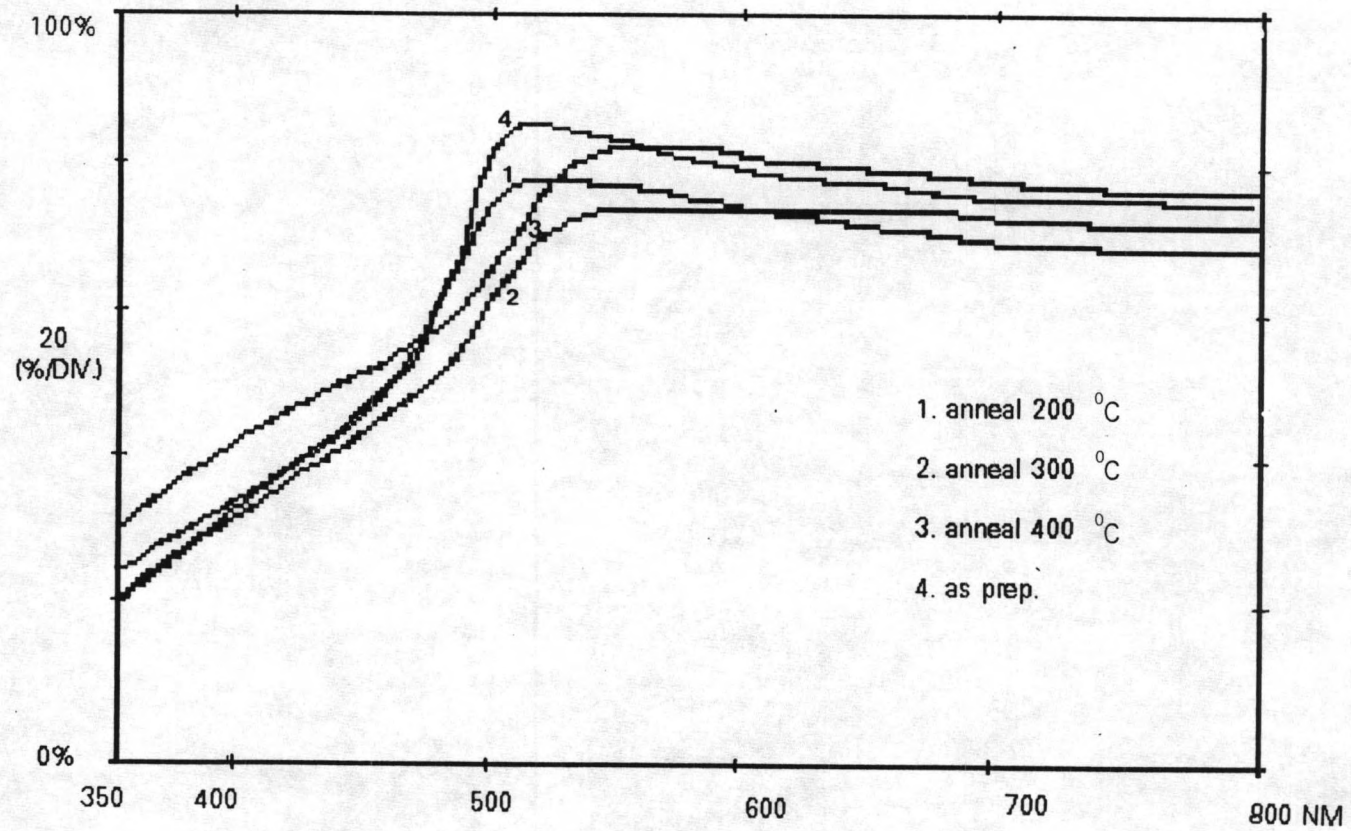
รูปที่ 6.54 แสดงการเปรียบเทียบของว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.53



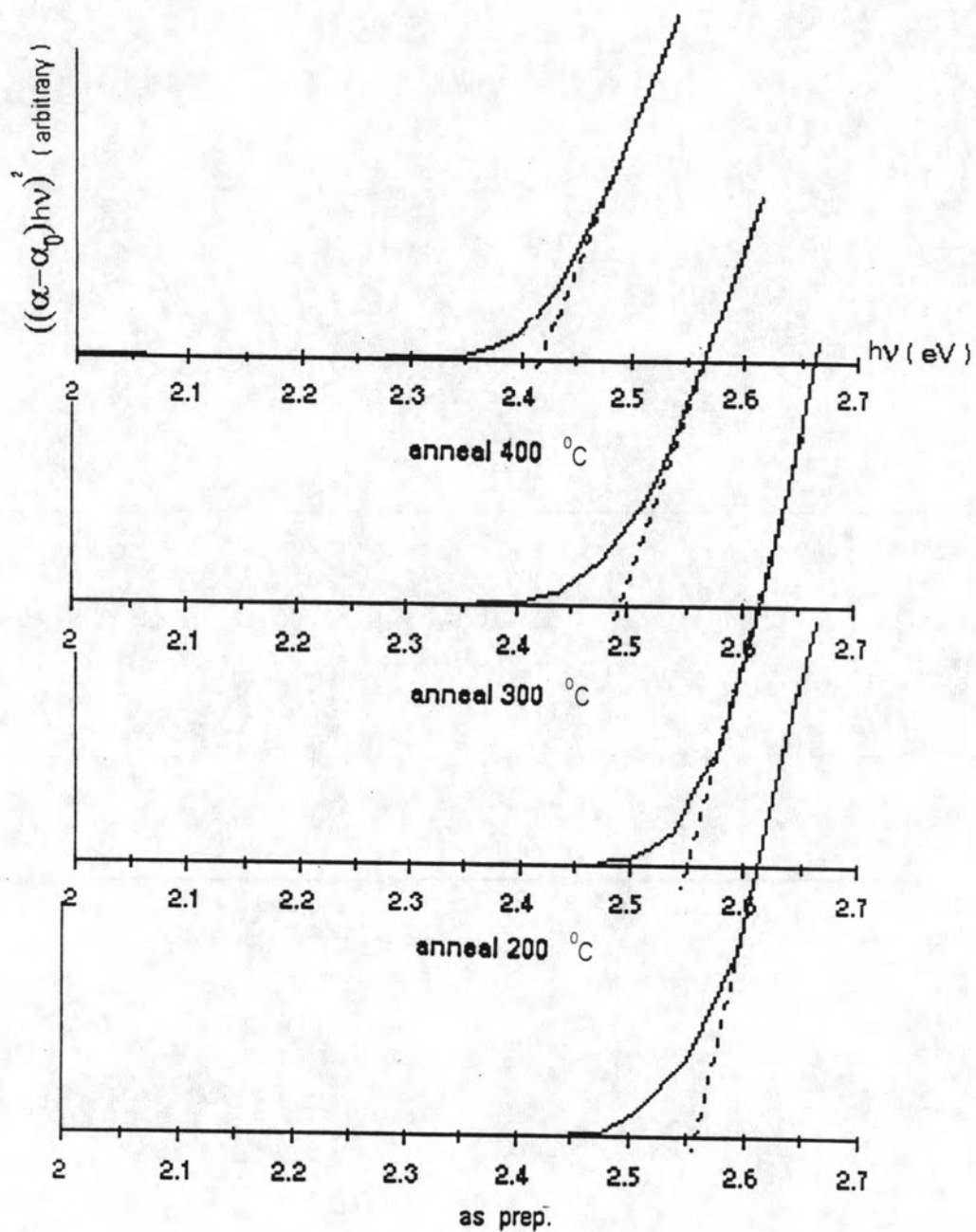
รูปที่ 6.55 แสดงการเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ใ้เวลาเตรียม 120 นาที ระหว่างฟิล์มที่เติมสารเจือ HgCl_2 กับฟิล์มที่เติมสารเจือ HgCl_2 แล้วแอนนีสในอากาศที่อุณหภูมิ 200 , 300 , 400 °C เป็นเวลา 20 นาที



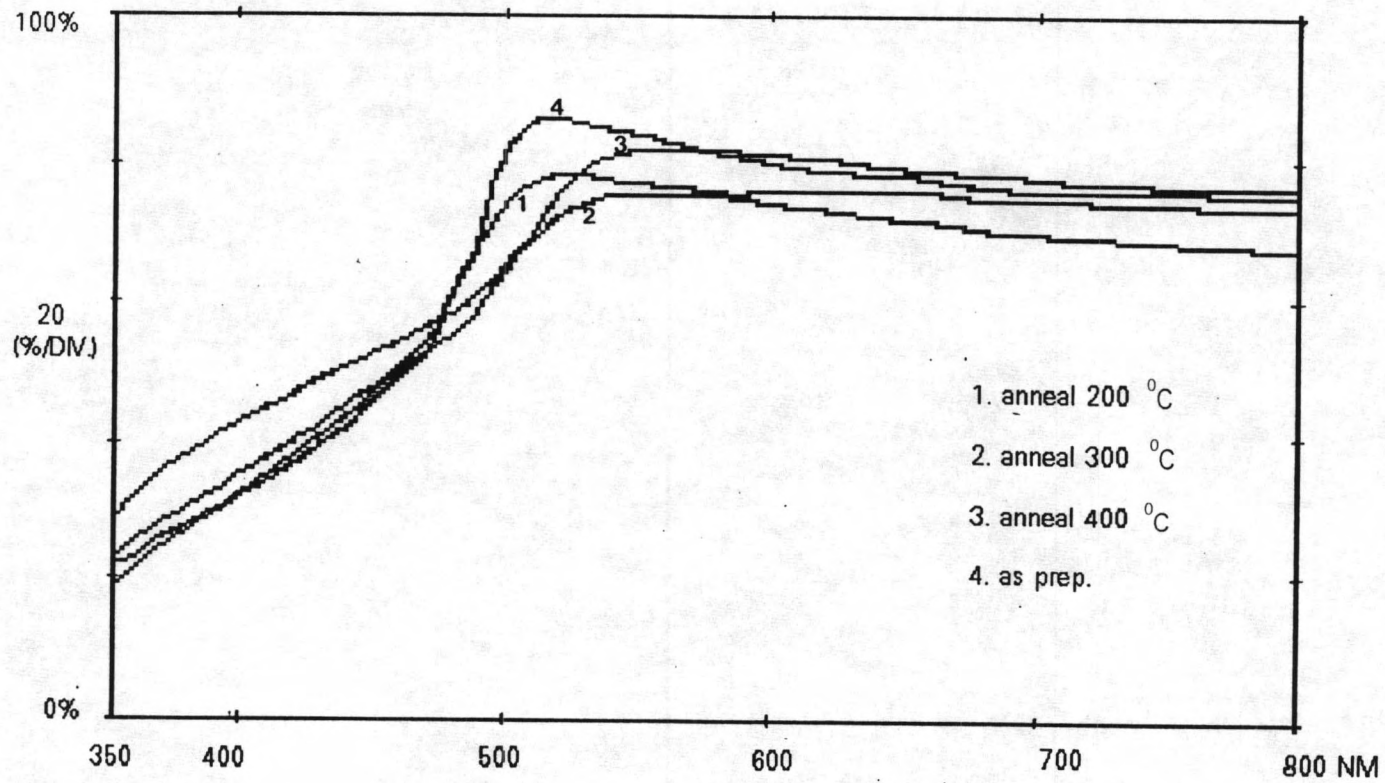
รูปที่ 6.56 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูป ที่ 6.55



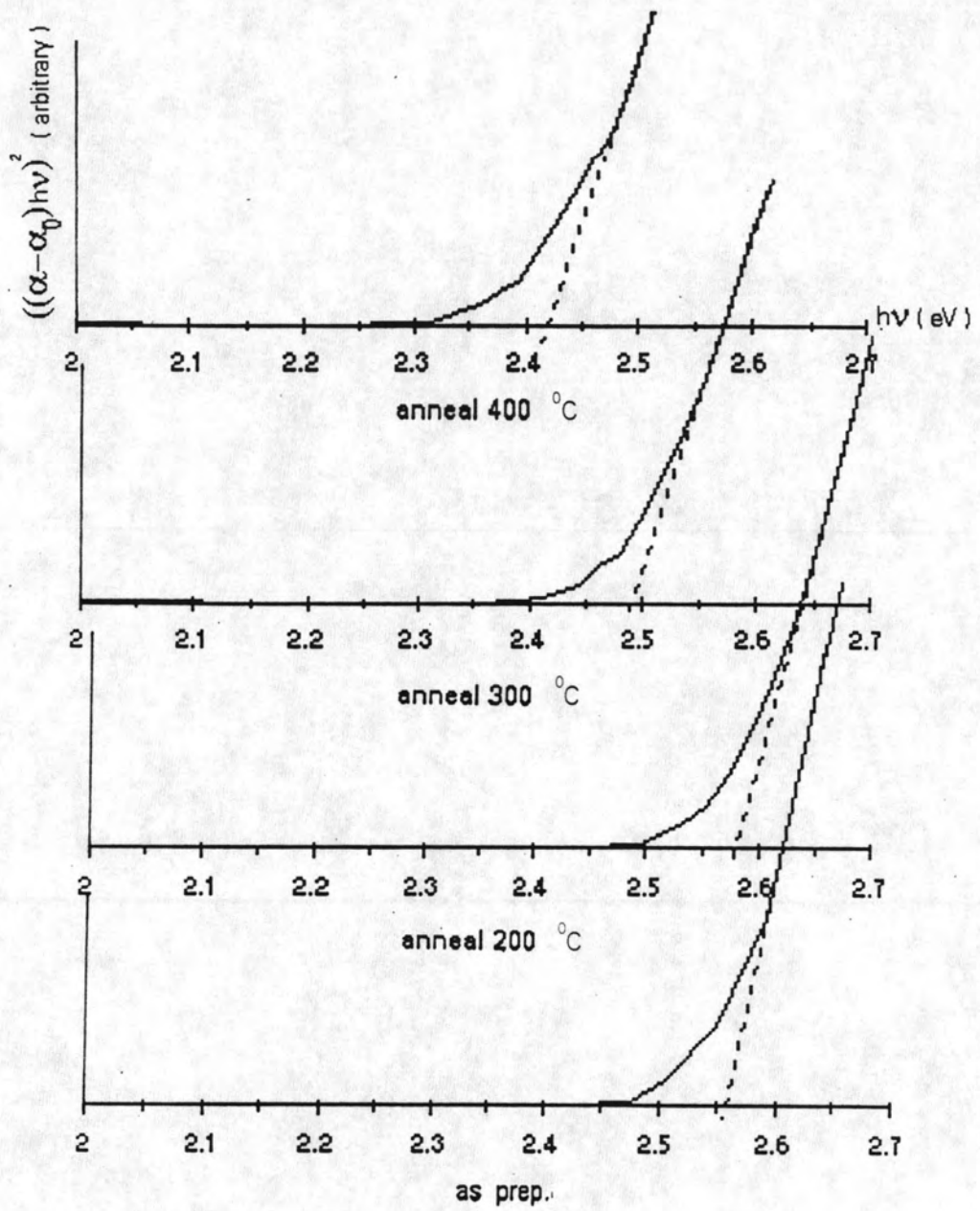
รูปที่ 6.57 แสดงการเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ใช้เวลาเตรียม 60 นาที ระหว่างฟิล์มที่เติมสารเจือ HgCl₂ กับฟิล์มที่เติมสารเจือ HgCl₂ แล้วแอนนिलในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 200 , 300 , 400 °C เป็นเวลา 20 นาที



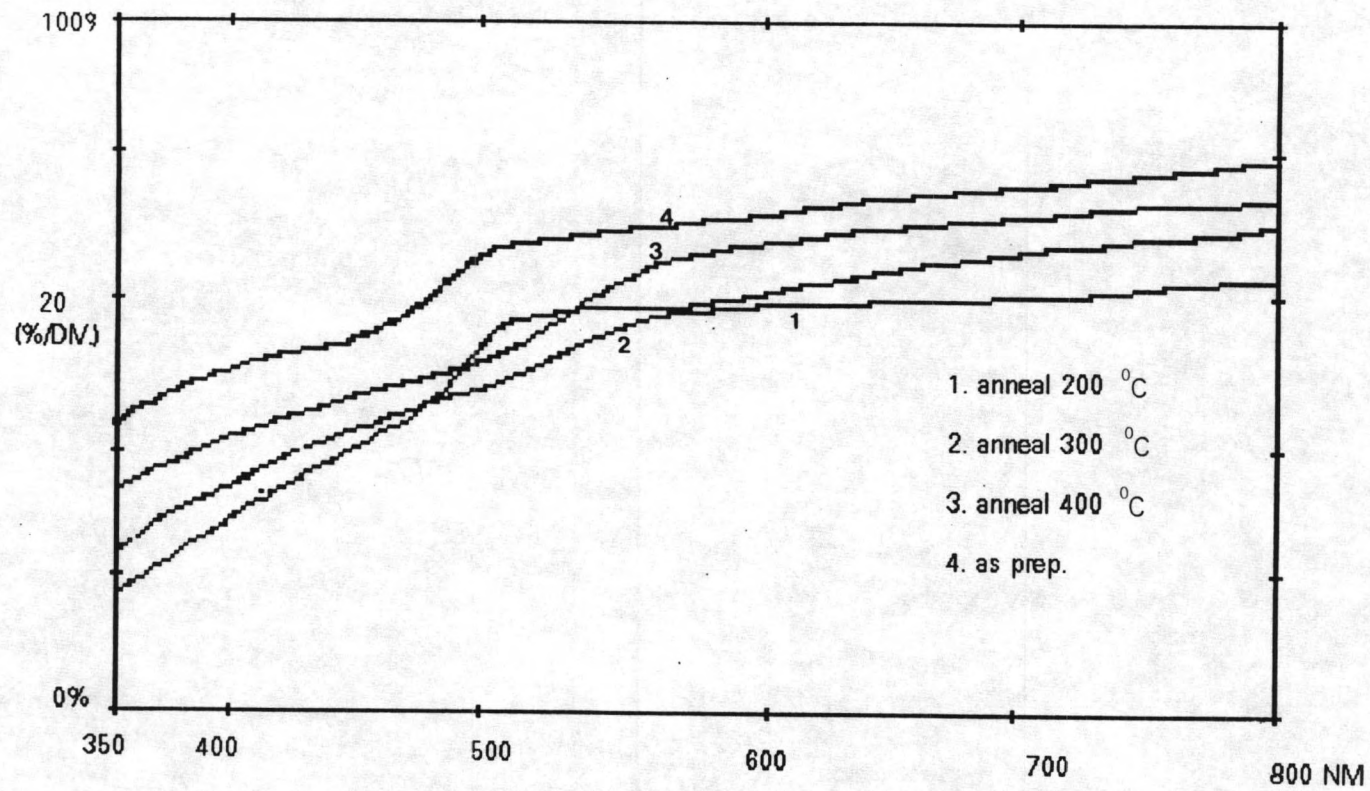
รูปที่ 6.58 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS รูปที่ 6.57



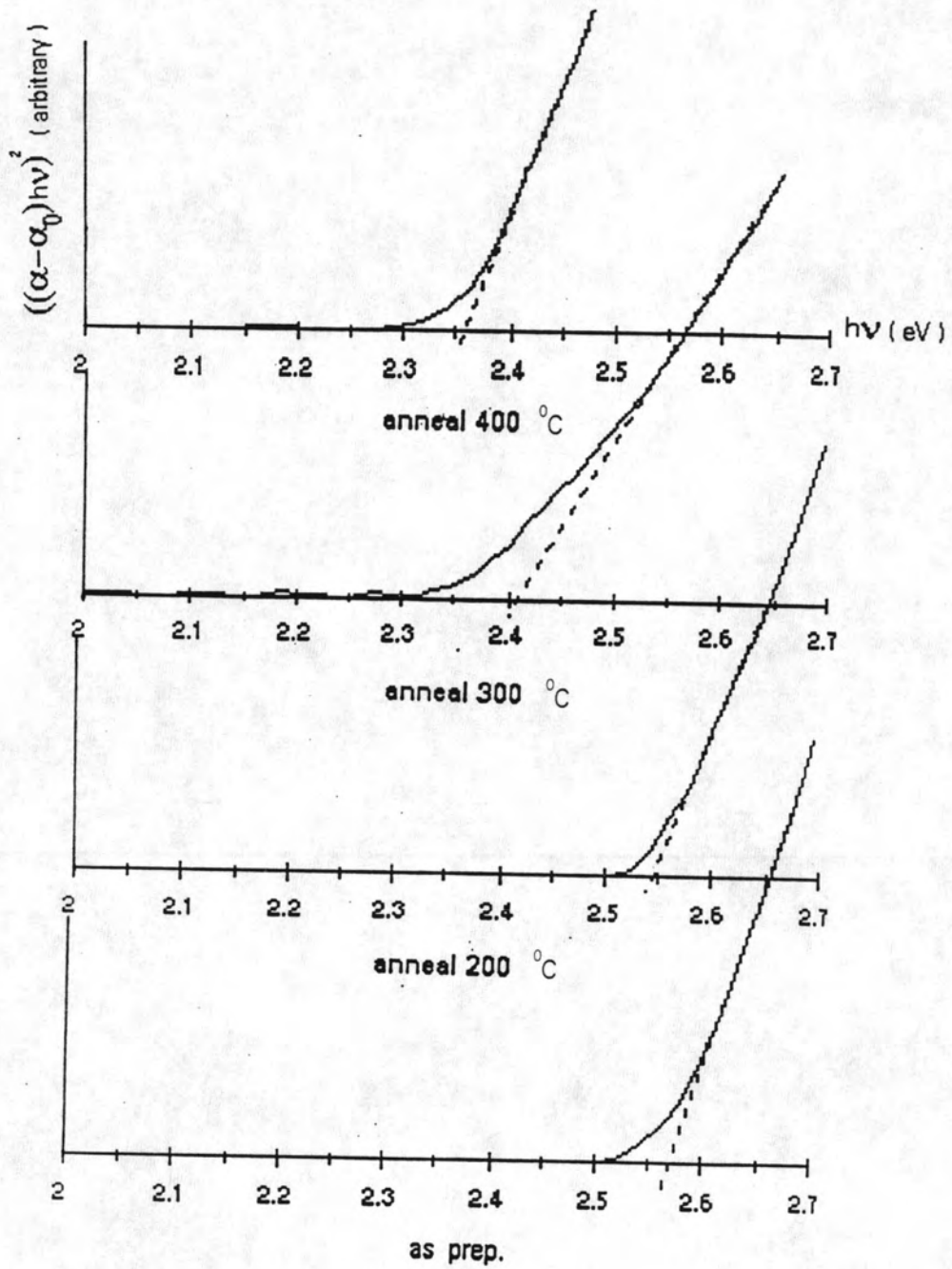
รูปที่ 6.59 แสดงการเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ใช้เวลาเตรียม 60 นาที ระหว่างฟิล์มที่เติมสารเจือ HgCl₂ กับฟิล์มที่เติมสารเจือ HgCl₂ แล้วแอนนัลในอากาศที่อุณหภูมิ 200 , 300 , 400 °C เป็นเวลา 20 นาที



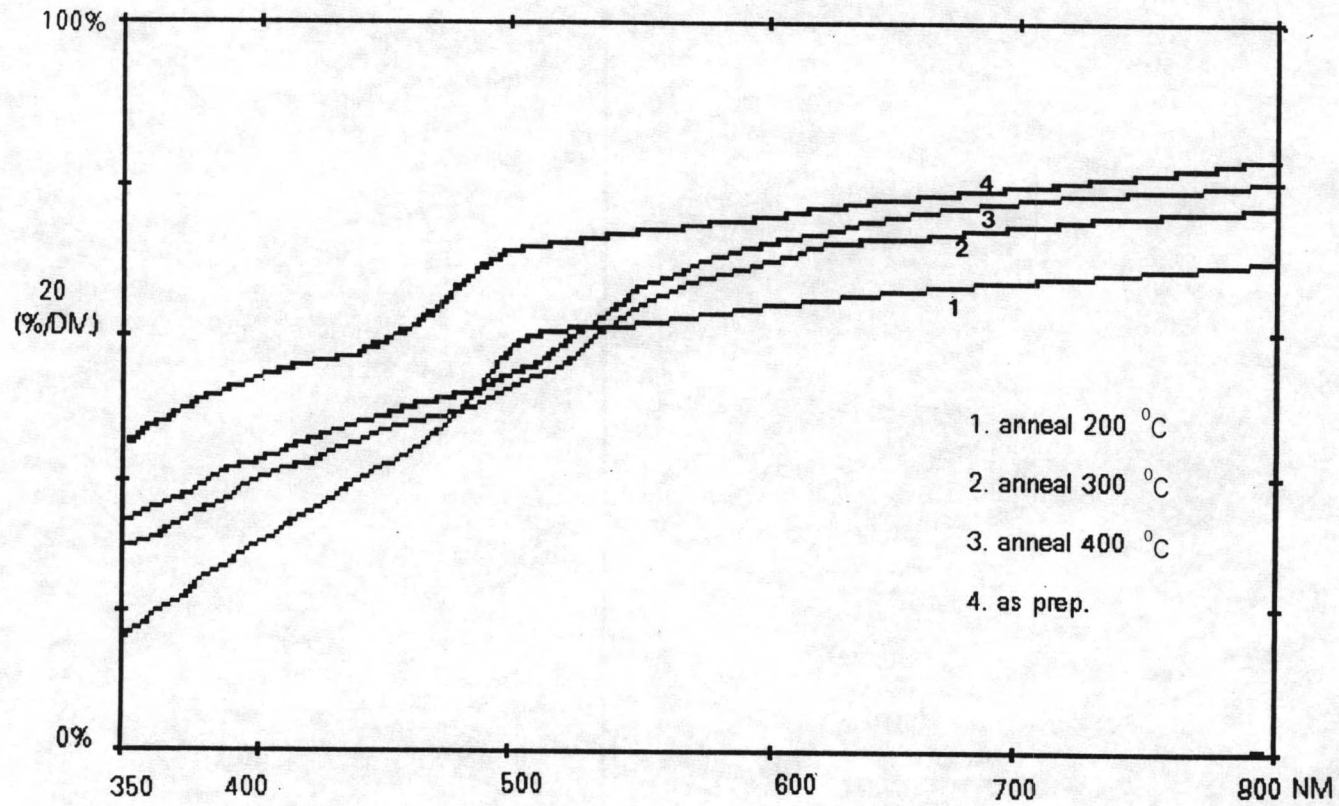
รูปที่ 6.60 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.59



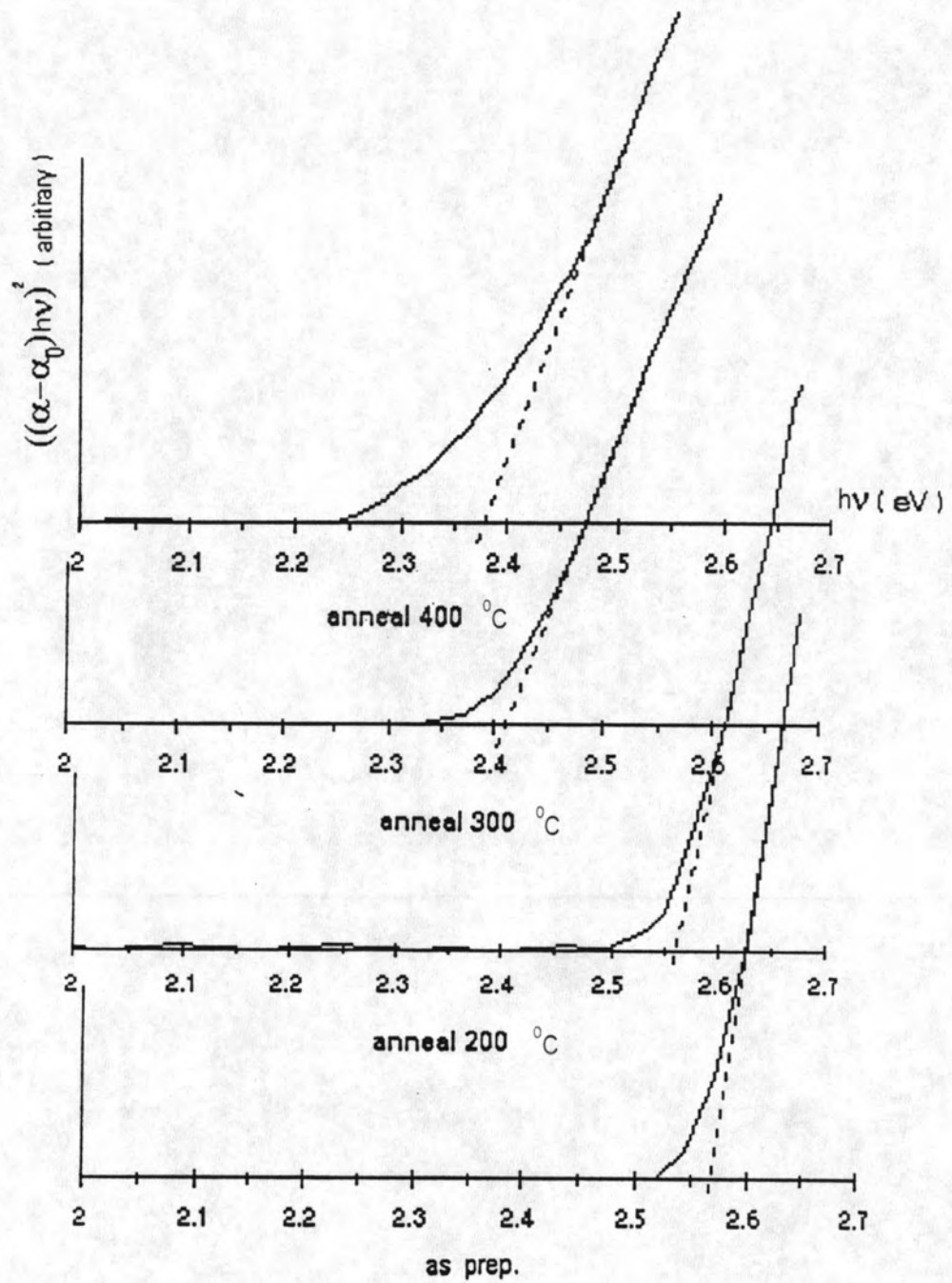
รูปที่ 6.61 แสดงการเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C ใช้เวลาเตรียม 30 นาที ระหว่างฟิล์มที่เติมสารเจือ HgCl₂ กับฟิล์มที่เติมสารเจือ HgCl₂ แล้วแอนนัลในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน 200 , 300 , 400 °C เป็นเวลา 20 นาที



รูปที่ 6.62 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.61



รูปที่ 6.63 แสดงการเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C ใช้เวลาเตรียม 30 นาที ระหว่างฟิล์มที่เติมสารเจือ HgCl₂ กับฟิล์มที่เติมสารเจือ HgCl₂ แล้วแอนนัลในอากาศที่อุณหภูมิ 200 , 300 , 400 °C เป็นเวลา 20 นาที



รูปที่ 6.64 แสดงการเปรียบเทียบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง CdS ของรูปที่ 6.63

การวิเคราะห์สมบัติเชิงไฟฟ้า

ในการวิเคราะห์สมบัติเชิงไฟฟ้าของฟิล์มบาง CdS เราจะวัดจากค่าความต้านทานแผ่น (sheet resistance) และใช้วิธีการวัด 2 วิธีด้วยกัน คือ four probes และ two probes เครื่องมือวัดใช้ electrometer Keithley 617 ดังที่กล่าวไว้แล้วในบทที่ 5

จากการวัดความต้านทานแผ่นของฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์ที่เตรียมได้ พบว่ามีความต้านทานแผ่นสูงมากเมื่อไม่ได้รับแสง แต่เมื่อนำไปรับแสงความต้านทานแผ่นจะลดลงต่ำมาก นั่นคือฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์มีความไวต่อแสง (photosensitive) มาก และสภาพการนำไฟฟ้าสูง ซึ่งสมบัตินี้เหมาะที่จะนำไปใช้ทำเป็นชั้นหน้าต่างในเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางที่มีรอยต่อแบบวิวิธพันธุ์ การหาค่าความไวแสงของฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์จะหาได้จากสมการดังนี้ [24]

$$\text{ความไวแสง} = \frac{(R_{\text{dark}} - R_{\text{photo}})}{R_{\text{photo}}} \quad (6.2)$$

R_{dark} คือความต้านทานแผ่นเมื่อยังไม่ได้รับแสง

R_{photo} คือความต้านทานแผ่นเมื่อรับแสง

และจากบทที่ 4 สมการที่ (4.37) สามารถหาสภาพการนำไฟฟ้าได้ดังนี้

$$\rho = \frac{1}{Rd} \quad (6.3)$$

d คือความหนาของฟิล์มบาง

จากผลการทดลอง พบว่าค่าความต้านทานแผ่นของฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 65 , 75 , 80 °C มีความต้านทานแผ่นสูงมากโดยไม่ขึ้นกับความหนาของฟิล์ม และที่ทุกๆความหนา จะมีความต้านทานแผ่นเท่ากันมีค่าประมาณ $10^{11} \Omega/\square$ เมื่อไม่ได้รับแสง แต่เมื่อนำไปรับแสงจากหลอด ELH $\sim 600 \text{ W/m}^2$ ประมาณ 1 นาที แล้ววัดความต้านทานแผ่นพบว่าฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิสูงกว่ามีค่าความต้านทานแผ่นลดลงต่ำกว่าฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งลดลงมาประมาณ $10^7 \Omega/\square$ สำหรับฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C และ $10^6 \Omega/\square$ สำหรับฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 75 และ 80 °C และเมื่อใช้สมการที่ 6.2 คำนวณหาค่าความไวต่อแสงจะได้ว่าเตรียมที่อุณหภูมิสูงจะมีความไวต่อแสงสูงกว่าเตรียมที่อุณหภูมิต่ำ ทุกๆความหนาของฟิล์ม

โดยมีค่าประมาณประมาณ 10^4 สำหรับฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 65°C และประมาณ 10^5 สำหรับฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 75 และ 80°C คำนวณหาสภาพการนำไฟฟ้าที่ความหนาประมาณ $0.1\ \mu\text{m}$ จะได้นี้ เมื่อไม่ได้รับแสงฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ $65, 75, 80^\circ\text{C}$ จะมีสภาพการนำไฟฟ้าเท่ากันมีค่าประมาณ $10^{-5}\ \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ และเมื่อรับแสงพบว่าฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิสูงกว่าจะมีสภาพการนำไฟฟ้าสูงกว่าฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิต่ำกว่ามีค่าประมาณ $10^3, 10^2, 10^2\ \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองที่ได้กล่าวมาข้างต้นแสดงได้ตามรูปที่ 6.65 และสามารถที่จะสรุปผลการทดลองได้ดังนี้ เป็นเพราะว่าการเตรียมฟิล์มที่อุณหภูมิสูงมีผลทำให้ขนาดของเกรนโตกว่า ดังนั้นกำแพงศักย์ ระหว่างเกรนจึงน้อยลงมีผลทำให้ความต้านทานแผ่นลดลง จึงมีการนำไฟฟ้า และความไวแสงดีขึ้น หรือเนื่องจากการที่อะตอมของ CdS ดูดกลืนพลังงานที่เหนือกว่าช่องว่างพลังงานจึงทำให้กำแพงศักย์ที่ขอบของเกรนลดต่ำลง จึงมีพาหะเพิ่มขึ้นในเกรนทำให้สามารถนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น [22]

นำฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 65°C เติมสารเจือ HgCl_2 โดยการจุ่มในสายละลาย HgCl_2 0.01molar เป็นเวลา 10 นาที แล้ววัดค่าความต้านทานแผ่นสภาพการนำไฟฟ้า และความไวแสงพบว่าปริมาณเหล่านี้มีค่าน้อยกว่าฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 65°C แต่ไม่ได้เติมสารเจือ ซึ่งมีค่าสภาพการนำไฟฟ้าเมื่อรับแสง $10^4\ \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ ค่าความไวแสงประมาณ 10^3 ในขณะที่ฟิล์มไม่ได้เติมสารเจือมีสภาพการนำไฟฟ้าประมาณ $10^3\ \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ และมีความไวต่อแสงประมาณ 10^4 ตามที่แสดงในรูปที่ 6.66 ส่วนฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 75°C และ 80°C แล้วเติมสารเจือ HgCl_2 พบว่าได้ค่าสภาพการนำไฟฟ้า และความไวแสงสูงกว่าฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 65°C แล้วเติมสารเจือ HgCl_2 แต่จะมีค่าต่ำกว่าฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารเจือดังต่อไปนี้ เมื่อไม่ได้รับแสง สำหรับฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารเจือกับฟิล์มที่เติมสารเจือได้ค่าเท่ากัน มีค่าประมาณ $10^5\ \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ เมื่อรับแสงฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารเจือมีค่าประมาณ $10^2\ \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ และฟิล์มที่เติมสารเจือประมาณ $10^3\ \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ ส่วนความไวแสงมีค่าประมาณ $10^5, 10^4$ สำหรับฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารเจือและฟิล์มที่เติมสารเจือตามลำดับ ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 6.74 และ 6.80

ฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 65°C ที่ความหนาต่างๆกัน นำมาแอนนัลในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ $150, 200, 300, 350, 400^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 20 นาที พบว่าค่าความต้านทานแผ่นยังมีค่าสูงไม่เปลี่ยนแปลงจากตอนที่ไมแอนนัลในทุกๆความหนา และทุกๆอุณหภูมิของการแอนนัล มีค่าประมาณ $10^{11}\ \Omega/\square$ ส่วนค่าสภาพการนำไฟฟ้าและค่าความไวแสงในช่วงอุณหภูมิ $150 - 250^\circ\text{C}$ ไม่เปลี่ยนแปลงยังคงเหมือนกับที่ไม่แอนนัล แต่ในช่วงอุณหภูมิ $300 - 400^\circ\text{C}$ จะลดลงไปจากเดิมโดยมีค่าประมาณ $10^5\ \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}, 10^2$ ของทุกๆความหนา

ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องจากการแอนนูลในช่วงอุณหภูมิสูงทำให้มีการแตกตัวของอะตอม CdS และมีการระเหิดออกไปบางส่วนจึงทำให้มีรูพรุนเกิดขึ้น ดังนั้นค่าความต้านทานแผ่นในขณะที่รับแสงจึงมีค่าสูงกว่าค่าความต้านทานแผ่นที่แอนนูลที่อุณหภูมิต่ำ ในขณะที่รับแสงแบบเดียวกัน ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 6.67 และเมื่อนำฟิล์มมาแอนนูลในอากาศผลที่ได้ก็จะเหมือนกันกับที่แอนนูลในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน ดังที่แสดงในรูปที่ 6.68 และเช่นเดียวกันเมื่อนำฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 75 และ 80°C ที่ความหนาต่างๆกัน มาแอนนูลในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนและในอากาศพบว่าค่าสภาพการนำไฟฟ้าและค่าความไวแสงไม่แตกต่างจากเตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C มากนักโดยที่เตรียมที่อุณหภูมิสูงกว่าจะมีค่ามากกว่าเล็กน้อย ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 6.74 , 6.75 , 6.81 , 6.82

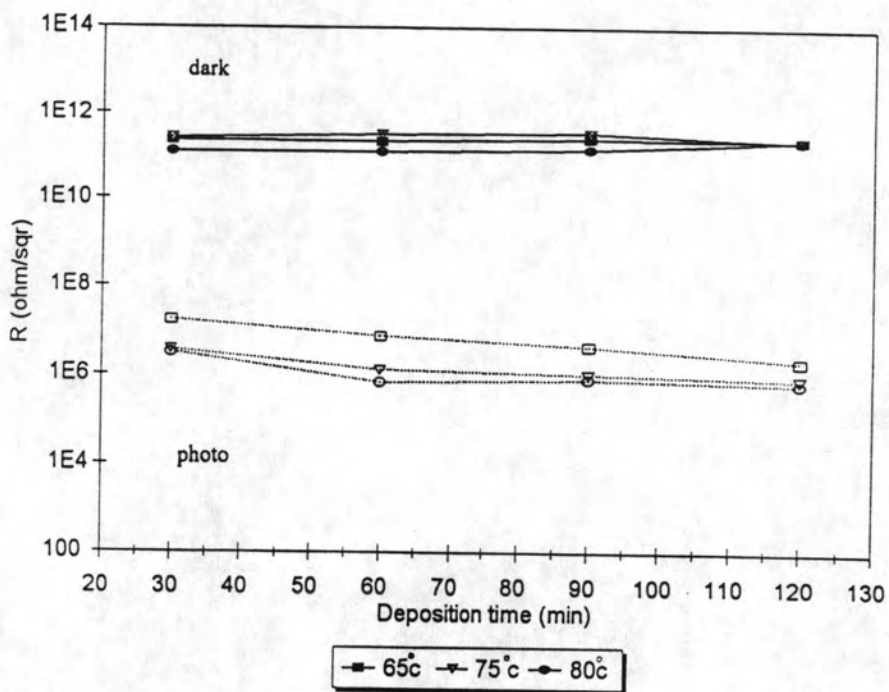
เมื่อนำฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ที่ความหนาต่างๆเติมสารเจือ HgCl_2 โดยการจุ่มในสายละลาย HgCl_2 0.01molar เป็นเวลา 10 นาที แล้วแอนนูลในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 150 , 200 , 250 , 300 , 350 , 400 °C เป็นเวลา 20 นาที พบว่าค่าความต้านทานแผ่นของทุกๆความหนาในขณะที่ไม่ได้รับแสงจะลดต่ำลงอย่างมาก เมื่อแอนนูลที่อุณหภูมิ 200 °C มีค่าประมาณ $10^5 \Omega/\square$ และค่าสภาพการนำไฟฟ้าสูงมากในขณะที่ไม่รับแสงประมาณ $0.1 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ ส่วนที่อุณหภูมิอื่นๆค่าความต้านทานแผ่นยังสูงเหมือนเดิม ตามที่แสดงในรูปที่ 6.69 และเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารเจือจะเห็นความแตกต่างของการลดลงของความต้านทานแผ่นที่อุณหภูมิแอนนูลที่ 200 °C ได้อย่างชัดเจนดังแสดงในรูปที่ 6.71 ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องจากการแอนนูลทำให้อะตอม CdS มีการแตกตัว และตำแหน่งของ S^{2-} บางส่วนระเหิดไปทำให้มีที่ว่างเกิดขึ้น ในขณะที่เดียวกันสารเจือ HgCl_2 ที่อยู่บนผิวของฟิล์มบาง CdS ก็มีการแตกตัวและ Cl ที่เกิดจากการแตกตัวของ HgCl_2 ก็จะไปแทนตรงตำแหน่งของ S^{2-} ที่หายไป จึงทำให้มีอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นที่ตำแหน่งของ Cd^{2+} ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนจึงเพิ่มขึ้น ดังนั้นการนำไฟฟ้าดีขึ้น และทำให้ความต้านทานแผ่นลดลงอย่างมาก จึงสรุปได้ว่าการลดลงของความต้านทานแผ่นก็เนื่องมาจากอิทธิพลการโด๊ปของ Cl นั้นเอง ซึ่งจะเห็นได้จากการวิเคราะห์ EDXS ที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ และนอกจากนี้ในตอนท้ายได้ทำการทดสอบอิทธิพลของการโด๊ประหว่าง Hg กับ Cl ไว้อีกด้วยแล้ว ส่วนการแอนนูลในอากาศของฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C และเติมสารเจือ HgCl_2 ที่ความหนาต่างๆกัน พบว่าค่าความต้านทานแผ่นจะลดลงต่ำสุด และค่าสภาพการนำไฟฟ้าสูงในขณะที่ไม่ได้รับแสงเมื่อแอนนูลที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นเช่นเดียวกันกับแอนนูลในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน ดังแสดงผลที่ได้ในรูปที่ 6.70 และเมื่อเปรียบเทียบการลดลงของความต้านทานแผ่นเนื่องจากการโด๊ปด้วย HgCl_2

จะเห็นได้อย่างชัดเจนในรูปที่ 6.72 ส่วนฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 75 และ 80 °C ที่ความหนาต่างๆกันแล้วเติมสารเจือ HgCl_2 และแอนนिलในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน และในอากาศ ซึ่งก็ให้ผลเช่นเดียวกันกับฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C กล่าวคือความต้านทานแผ่นจะลดลงอย่างมากเมื่อแอนนिलที่อุณหภูมิ 200 °C ทั้งในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน และในอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 6.76 , 6.77 , 6.83 , 6.84 และนอกจากนั้นยังได้แสดงการเปรียบเทียบการลดลงค่าความต้านทานแผ่นระหว่างฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารเจือ กับฟิล์มที่เติมสารเจือ HgCl_2 แล้วแอนนिलในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน และในอากาศของฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 75 , 80 °C ซึ่งจะแสดงให้เห็นการลดลงของความต้านทานแผ่นของฟิล์มที่เติมสารเจือจะลดลงที่อุณหภูมิแอนนिल 200 °C ได้อย่างชัดเจนในขณะที่ฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารเจือความต้านทานแผ่นจะไม่ลดลงเลย ทุกๆอุณหภูมิของการแอนนिलโดยผลที่ได้นี้จะแสดงในรูปที่ 6.85 , 6.86

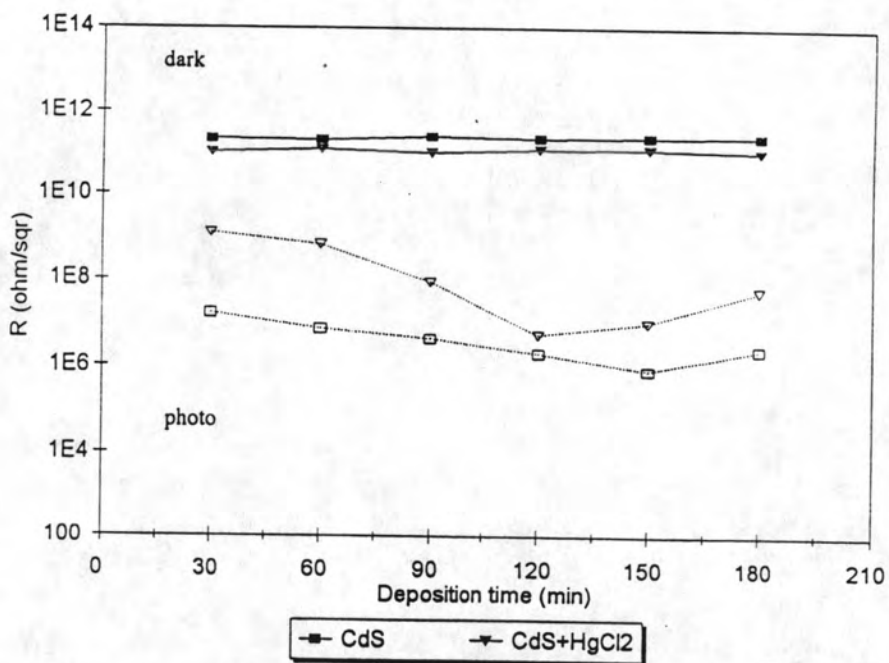
ส่วนการทดสอบอิทธิพลการเป็นตัวโด๊ปที่ได้จากสารเจือ HgCl_2 ระหว่าง Hg กับ Cl โดยใช้สารเจือ $\text{Hg}_2(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 0.01 molar ซึ่งจะให้ Hg และสารเจือ NH_4Cl 0.01 molar จะให้ Cl การทดสอบทำโดยการจุ่มฟิล์มบาง CdS ที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิ 65 , 75 , 80 °C ลงในสารเจือที่ทดสอบเป็นเวลานาน 10 นาที ที่อุณหภูมิห้องจากนั้นนำไปแอนนिलในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน และในอากาศ ที่อุณหภูมิการแอนนिल 150 , 200 , 250 , 300 , 350 , 400 °C เป็นเวลา 20 นาที

จากผลการทดสอบพบว่าเมื่อนำฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที , 75 °C ใช้เวลาเตรียม 60 นาที และ 80 °C ใช้เวลาเตรียม 60 นาที มาทดสอบด้วยสารเจือ NH_4Cl แล้วแอนนिलในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน และในอากาศ จะได้ว่าความต้านทานแผ่นจะลดลงเมื่อแอนนिलที่อุณหภูมิ 300 °C ทั้งที่เตรียมในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน และอากาศ ได้ค่าประมาณ $10^7 \Omega/\square$ ส่วนที่อุณหภูมิอื่น ๆ มีค่าสูงมากไม่ลดลงมีค่าประมาณ $10^{11} \Omega/\square$ และเมื่อทดสอบด้วยสารเจือ $\text{Hg}_2(\text{CH}_3\text{COO})_2$ แล้วแอนนिलในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน และในอากาศ พบว่าความต้านทานแผ่นที่แอนนिलอุณหภูมิต่างๆไม่แตกต่างกันมีค่าสูงมากประมาณ $10^{11} \Omega/\square$ ดังแสดงในรูปที่ 6.87 - 6.92 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบผลการโด๊ประหว่างสารเจือทั้งสองโดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแผ่นกับอุณหภูมิของการแอนนिल ดังนั้นจากผลการทดลองที่ได้ทำให้สรุปได้ว่า Cl มีอิทธิพลในการโด๊ปในฟิล์มบาง CdS มากกว่า Hg และสอดคล้องกับผลของการวัด EDXS การที่ค่าความต้านทานแผ่นลดลงนั้นสามารถสรุปได้ว่าในขณะที่แอนนिलที่อุณหภูมิ 300 °C อะตอมของ S^{2-} บางส่วนจะระเหิดไปทิ้งที่ว่างไว้ และขณะเดียวกัน Cl ที่อยู่บนผิวของฟิล์มบาง CdS ก็จะไป

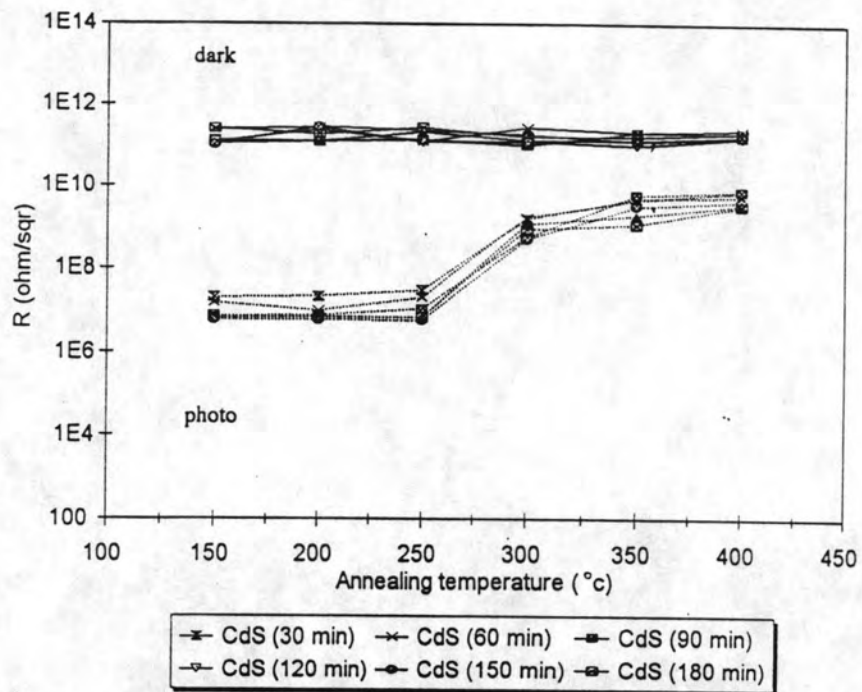
มีจำนวนอิเล็กตรอนส่วนเกินเกิดขึ้น ดังนั้นความหนาแน่นของอิเล็กตรอนจึงเพิ่มขึ้นทำให้มี
การนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น และค่าความต้านทานแผ่นของฟิล์มจึงลดลง



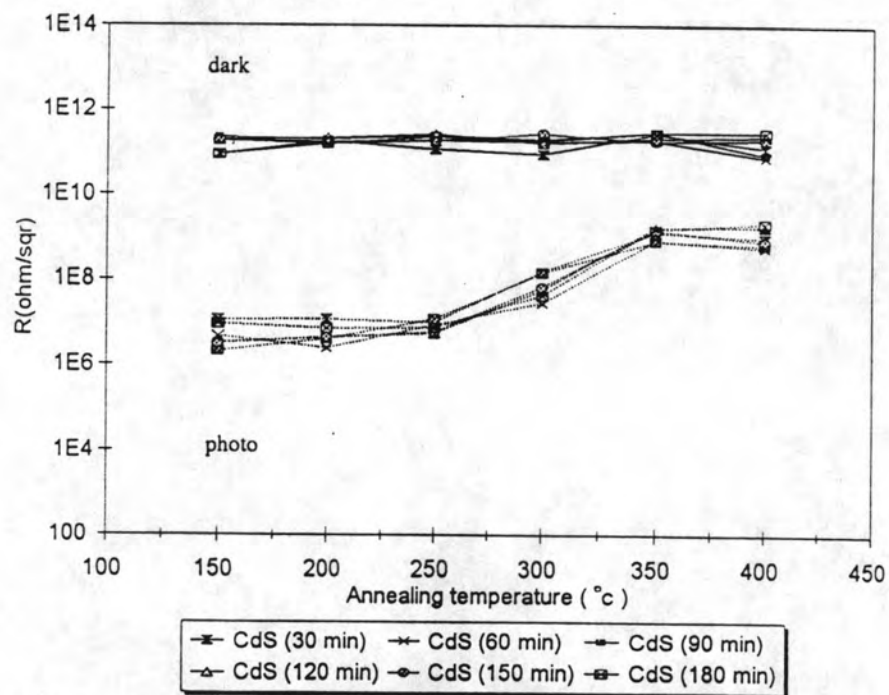
รูปที่ 6.65 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมพัทธ์กับเวลาของการเคลือบฟิล์มของฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 65 , 75 , 80 °C



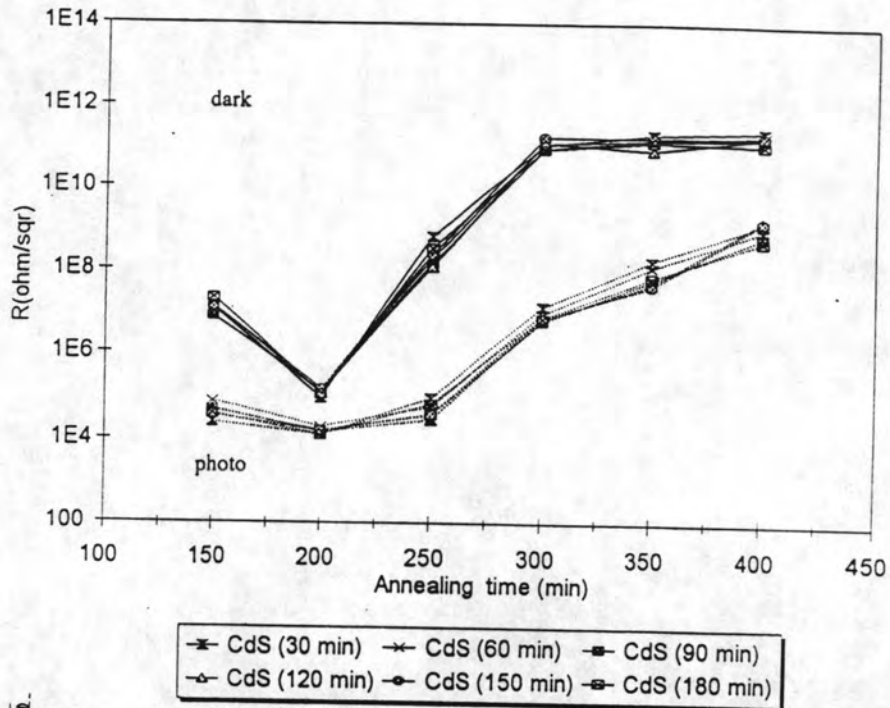
รูปที่ 6.66 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมพัทธ์กับเวลาของการเคลือบฟิล์มบาง CdS เตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ระหว่างฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารเจือกับฟิล์มที่เติมสารเจือ



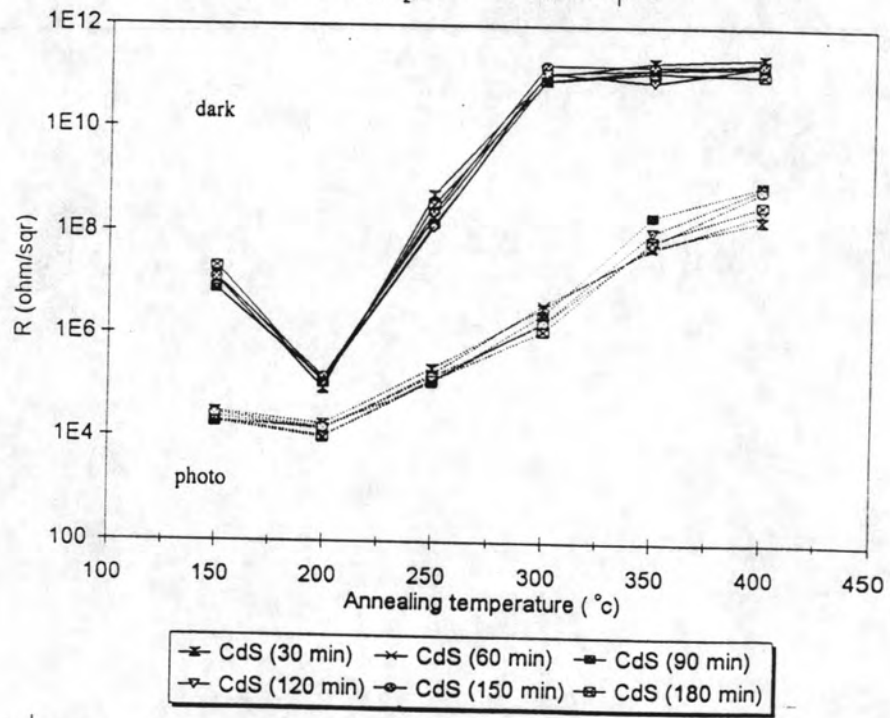
รูปที่ 6.67 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมผัสกับอุณหภูมิของการแอนนัลในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนของฟิล์มเตรียมที่ อุณหภูมิ 65 °C ที่ความหนาต่างๆกัน



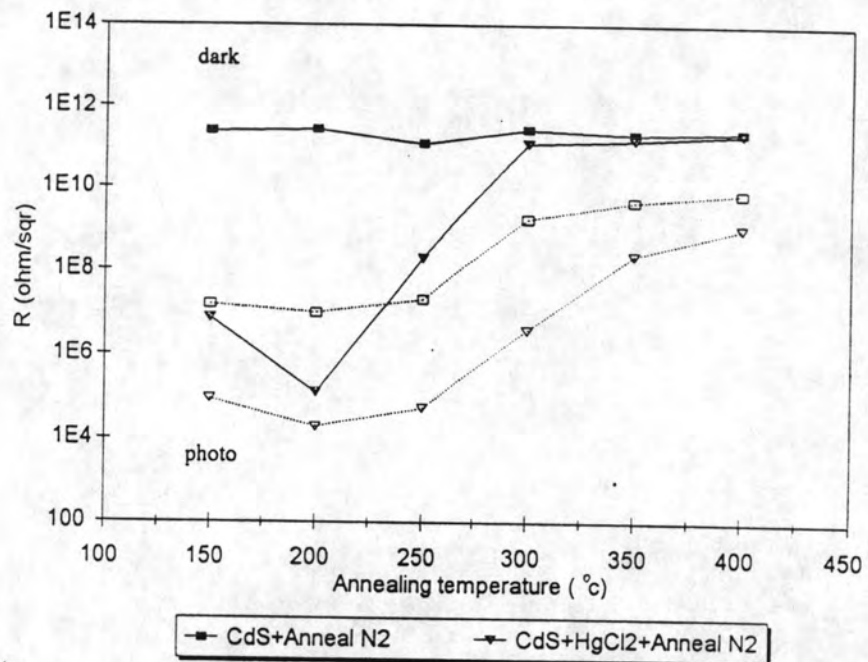
รูปที่ 6.68 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมผัสกับอุณหภูมิของการแอนนัลในอากาศของฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ที่ความหนาต่างๆกัน



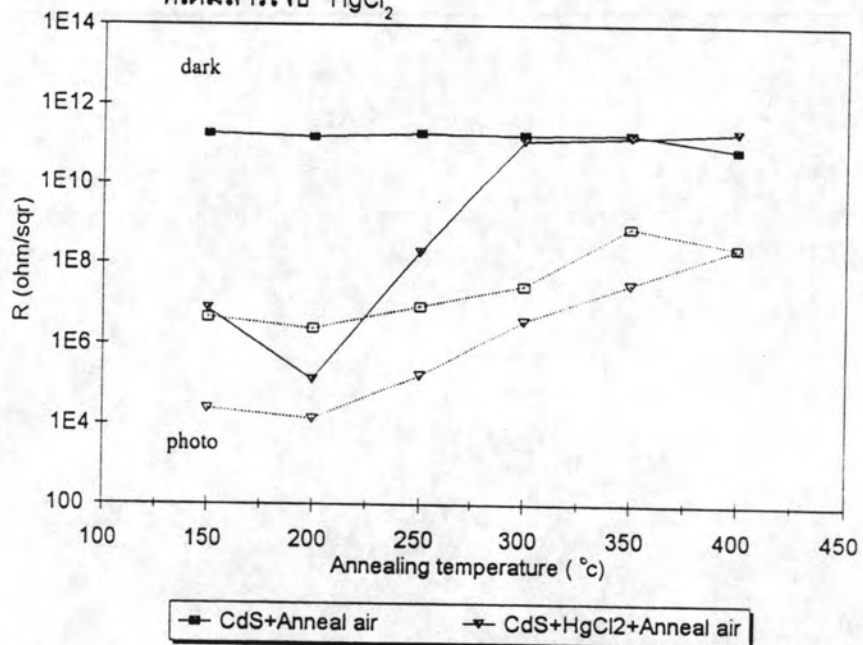
รูปที่ 6.69 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมผัสกับอุณหภูมิของการแอนนिलในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนของฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C และเติมสารเจือ HgCl₂ ที่ความหนาต่างๆกัน



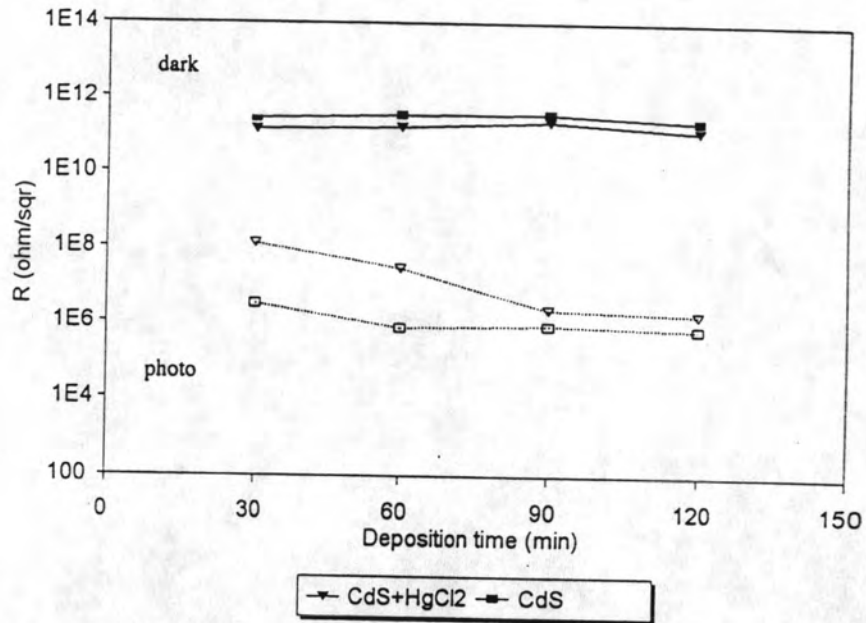
รูปที่ 6.70 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมผัสกับอุณหภูมิของการแอนนिलในอากาศของฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C และเติมสารเจือ HgCl₂ ที่ความหนาต่างๆกัน



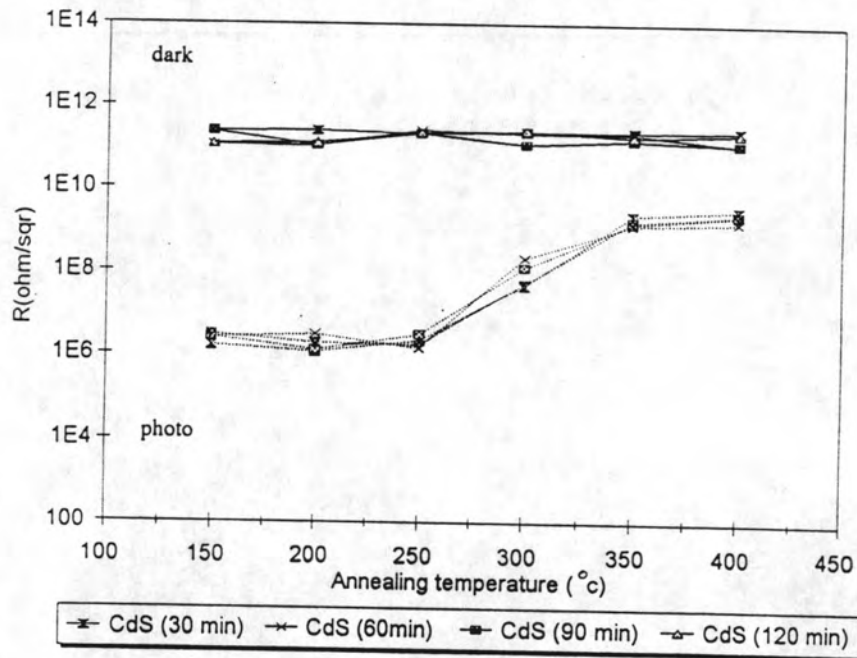
รูปที่ 6.71 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นที่สัมผัสกับอุณหภูมิของการแอนนัลในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนของฟิล์มซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 65°C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที ระหว่างฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารเจือกับฟิล์มที่เติมสารเจือ HgCl_2



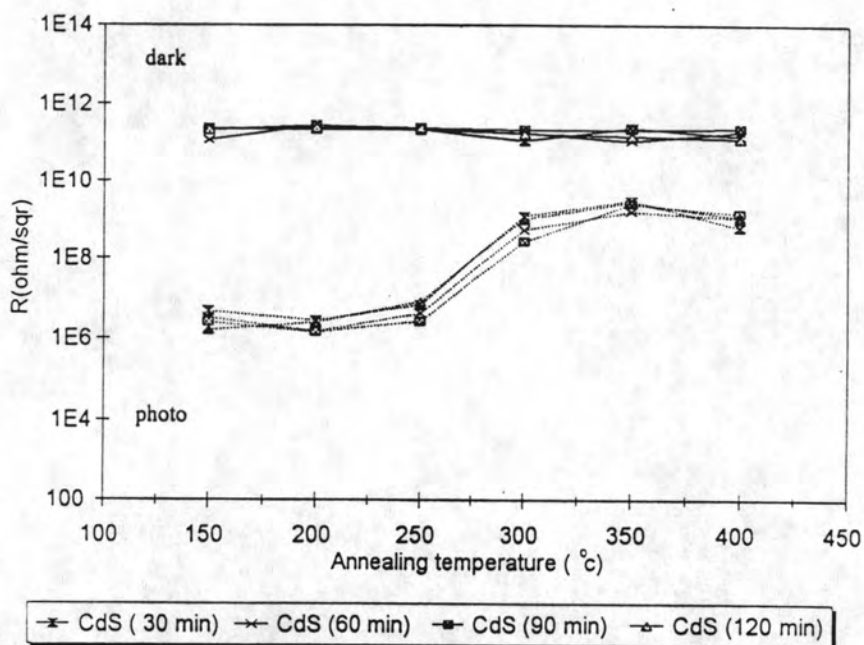
รูปที่ 6.72 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นที่สัมผัสกับอุณหภูมิของการแอนนัลในอากาศของฟิล์มซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 65°C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที ระหว่างฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารเจือกับฟิล์มที่เติมสารเจือ HgCl_2



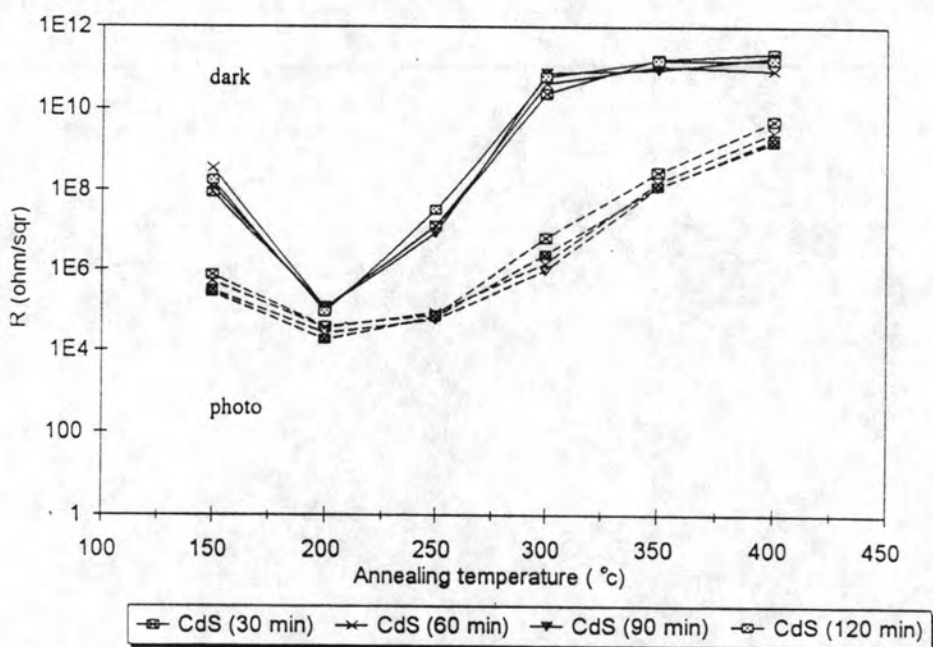
รูปที่ 6.73 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมผัสกับเวลาของการเคลือบฟิล์ม เตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ระหว่างฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารเจือกับฟิล์มที่เติมสารเจือ HgCl₂



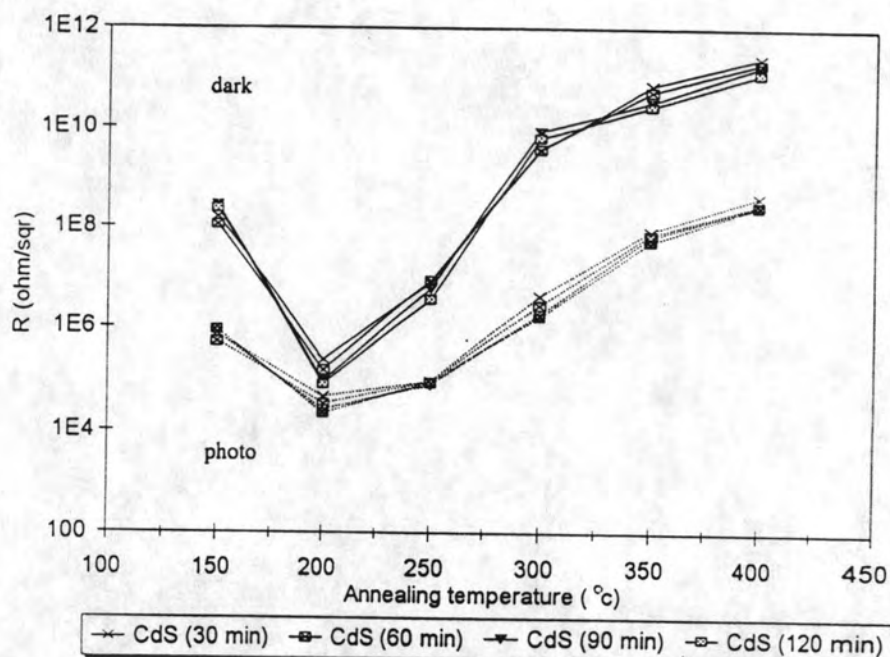
รูปที่ 6.74 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมผัสกับอุณหภูมิของการแอนนัลในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนของฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ที่ความหนาต่างๆกัน



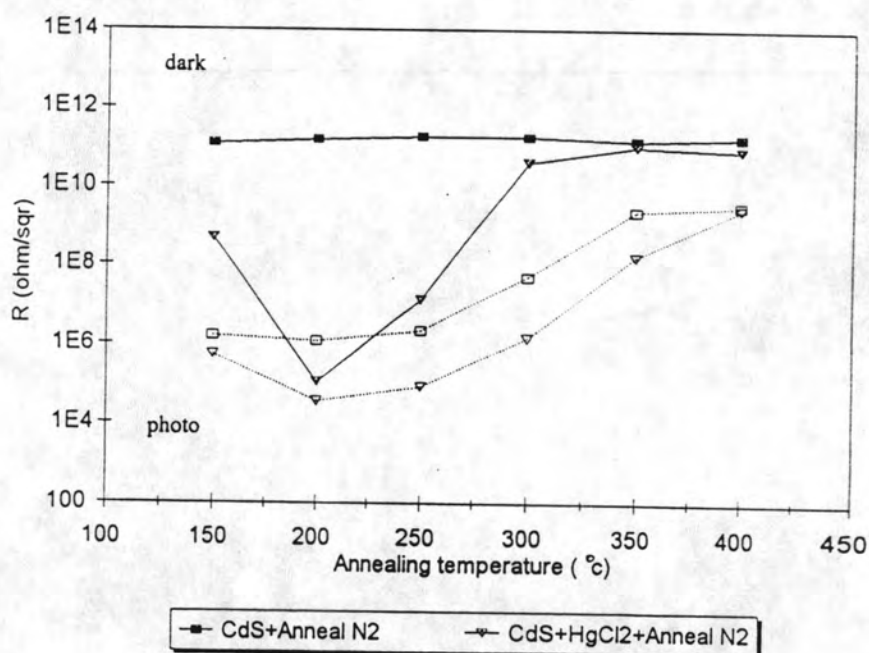
รูปที่ 6.75 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมผัสกับอุณหภูมิของการแอนนัลในอากาศของฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ที่ความหนาต่างๆกัน



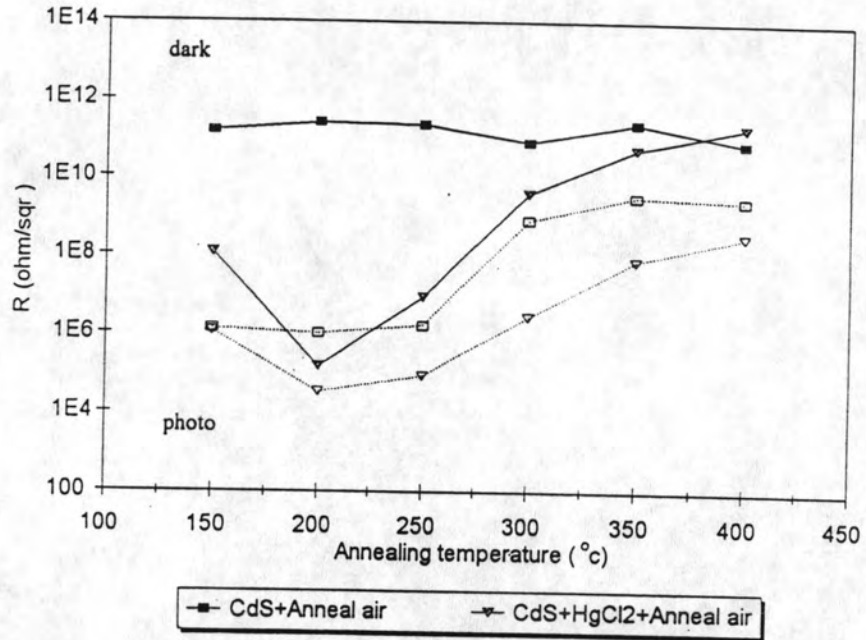
รูปที่ 6.76 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมผัสกับอุณหภูมิของการแอนนัลในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนของฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C และเติมสารเจือ HgCl_2 ที่ความหนาต่างๆกัน



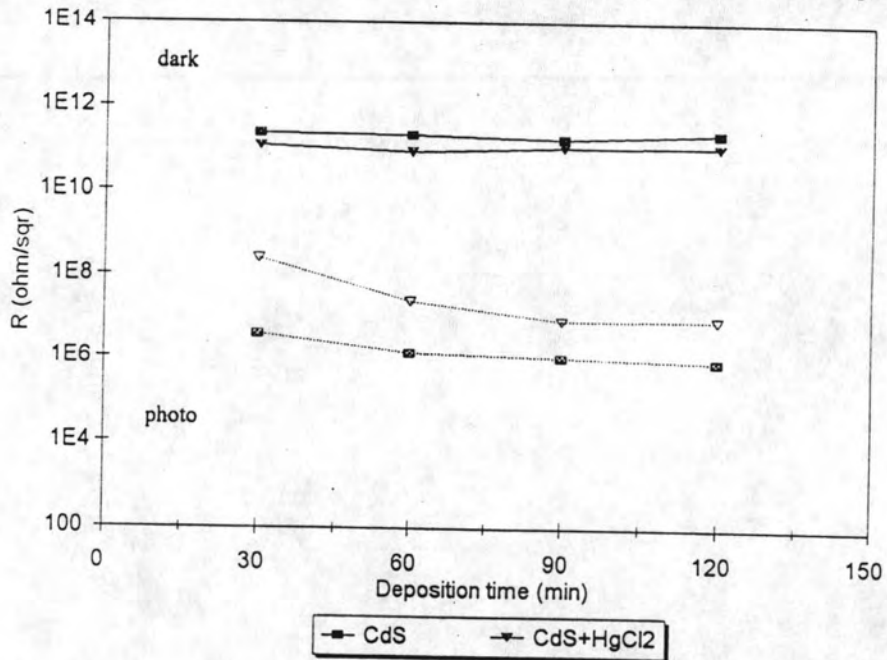
รูปที่ 6.77 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมผัสกับอุณหภูมิของการแอนนัลในอากาศของฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C และเติมสารเจือ HgCl_2 ที่ความหนาต่างๆกัน



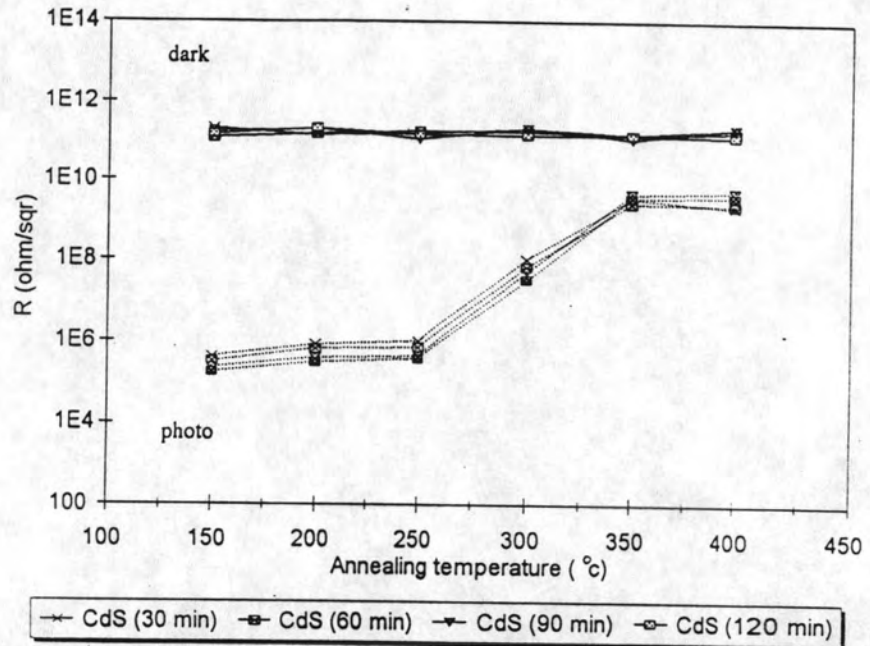
รูปที่ 6.78 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นที่สัมผัสกับอุณหภูมิของการแอนนัลในบรรยากาศของกาซไนโตรเจนของฟิล์มซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ใช้เวลาเตรียม 60 นาที ระหว่างฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารเจือกับฟิล์มที่เติมสารเจือ HgCl_2



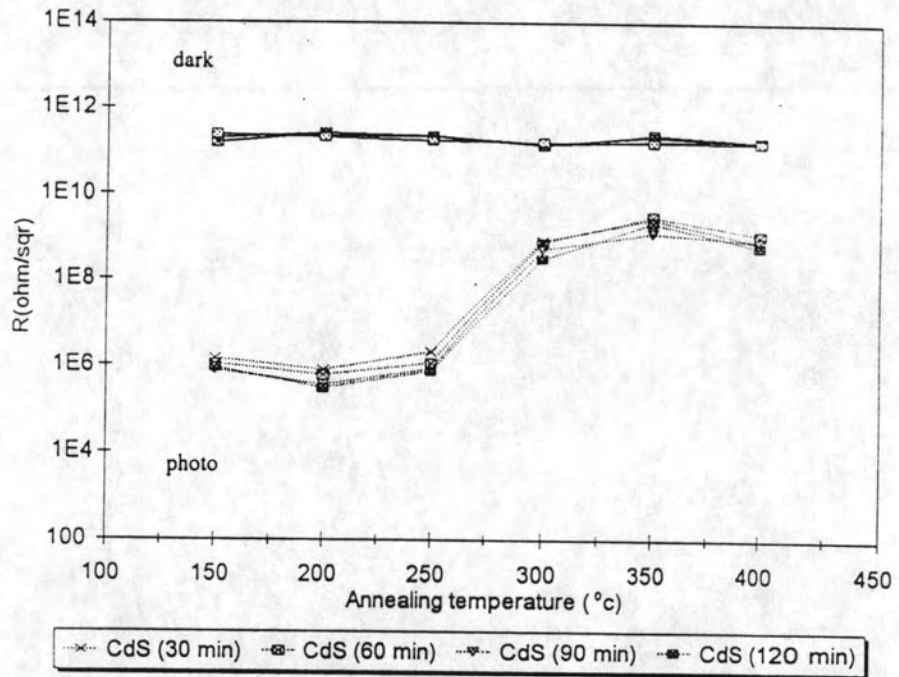
รูปที่ 6.79 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของการแอนนिलในอากาศของฟิล์มซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ใช้เวลาเตรียม 30 นาที ระหว่างฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารเจือกับฟิล์มที่เติมสารเจือ HgCl₂



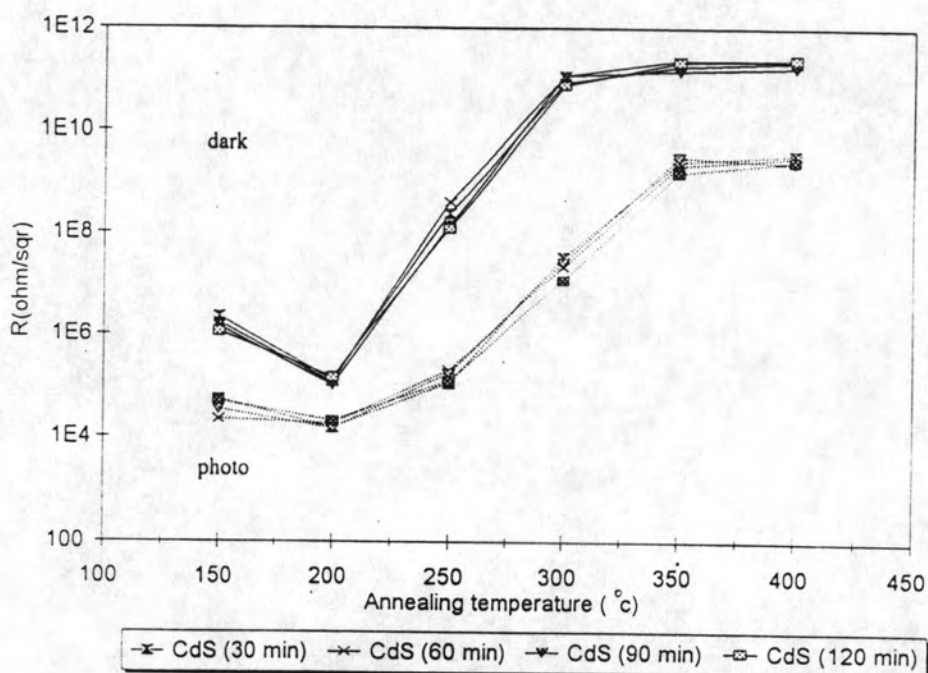
รูปที่ 6.80 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมพันธ์กับเวลาของการเคลือบฟิล์ม เตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C ระหว่างฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารเจือกับฟิล์มที่เติมสารเจือ HgCl₂



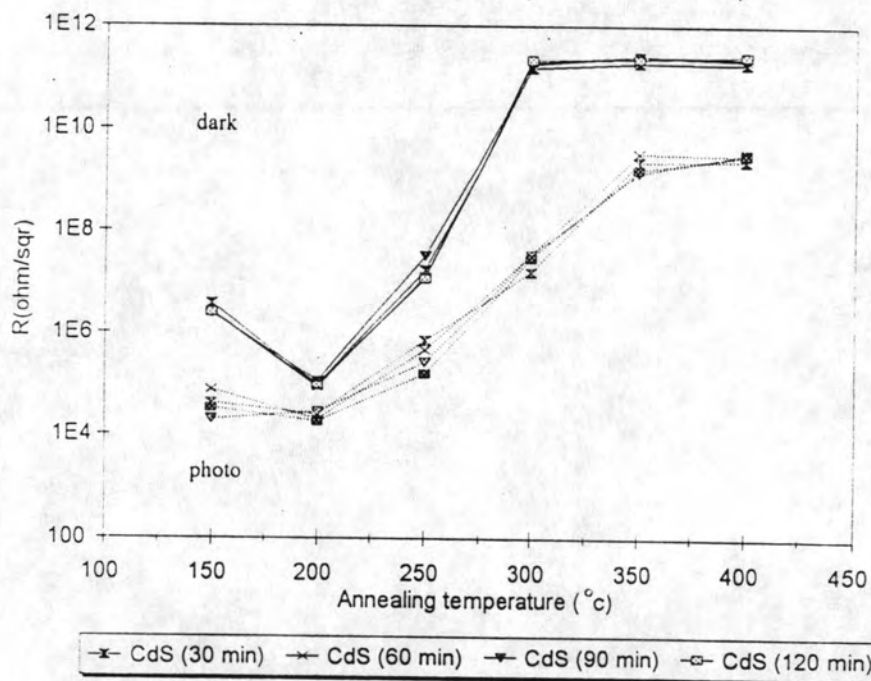
รูปที่ 6.81 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมผัสกับอุณหภูมิของการแอนนัลในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนของฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C ที่ความหนาต่างๆกัน



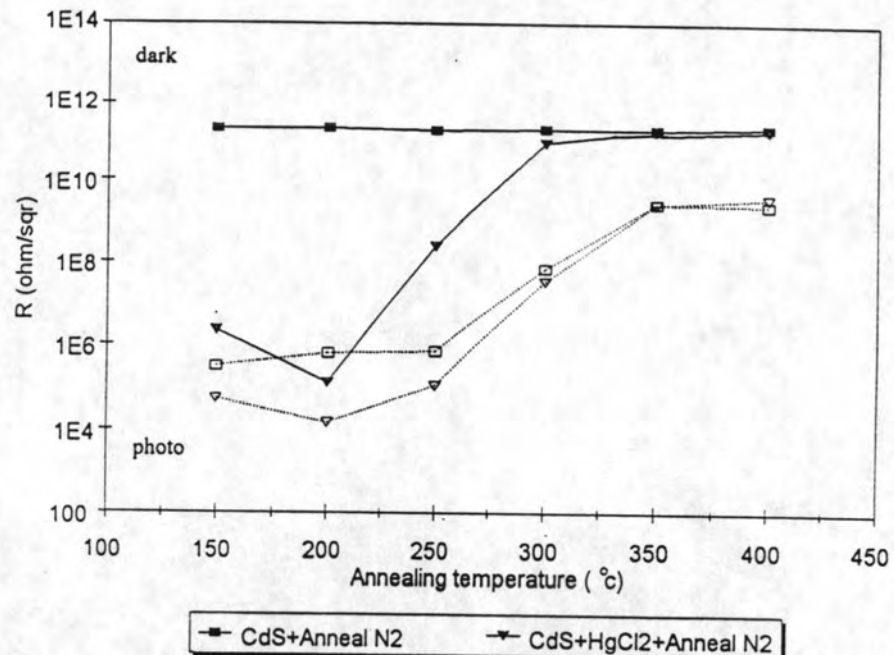
รูปที่ 6.82 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมผัสกับอุณหภูมิของการแอนนัลในอากาศของฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C ที่ความหนาต่างๆกัน



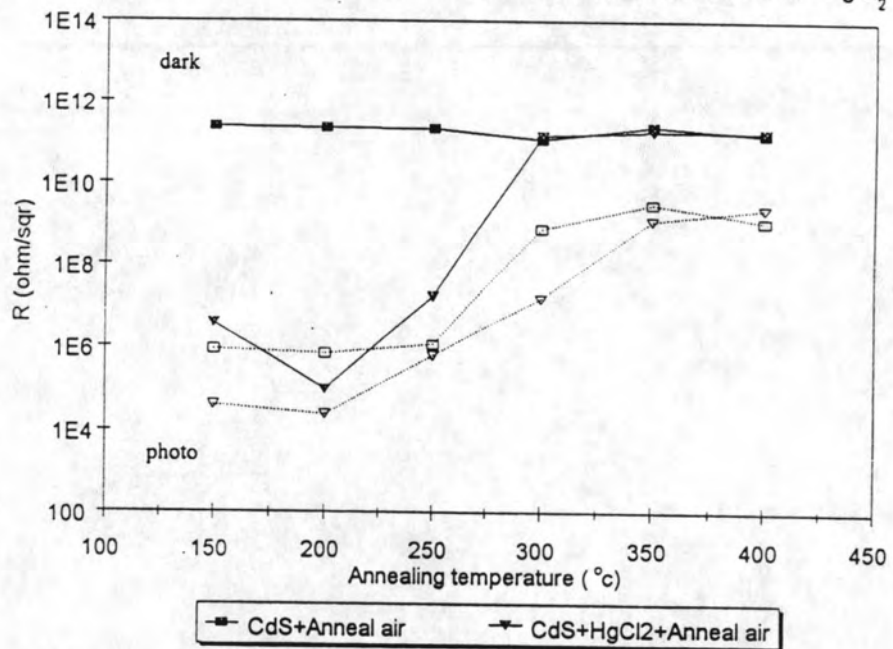
รูปที่ 6.83 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมผัสกับอุณหภูมิของการแอนนिलในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนของฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C และเติมสารเจือ HgCl₂ ที่ความหนาต่างๆกัน



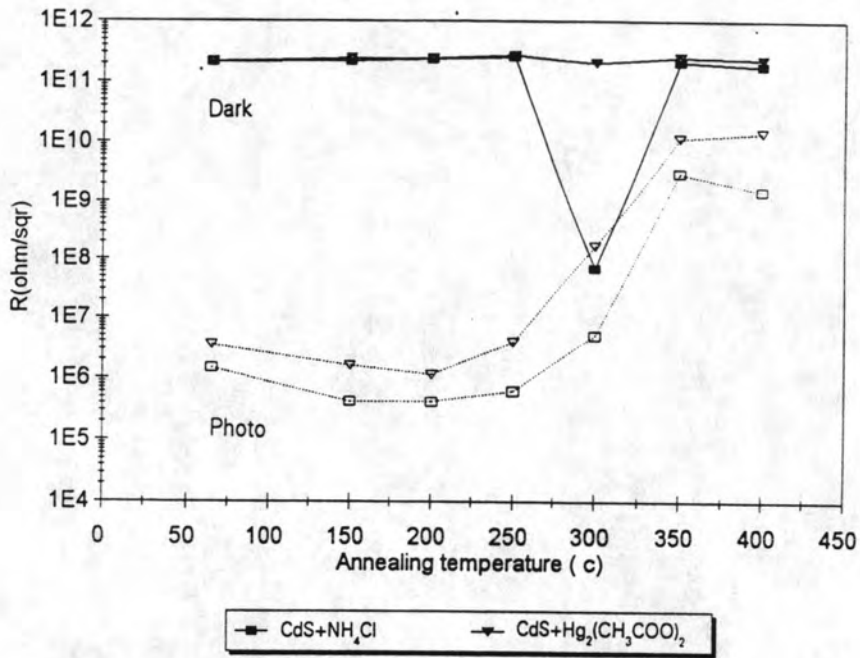
รูปที่ 6.84 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นสัมผัสกับอุณหภูมิของการแอนนिलในอากาศของฟิล์มเตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C และเติมสารเจือ HgCl₂ ที่ความหนาต่างๆกัน



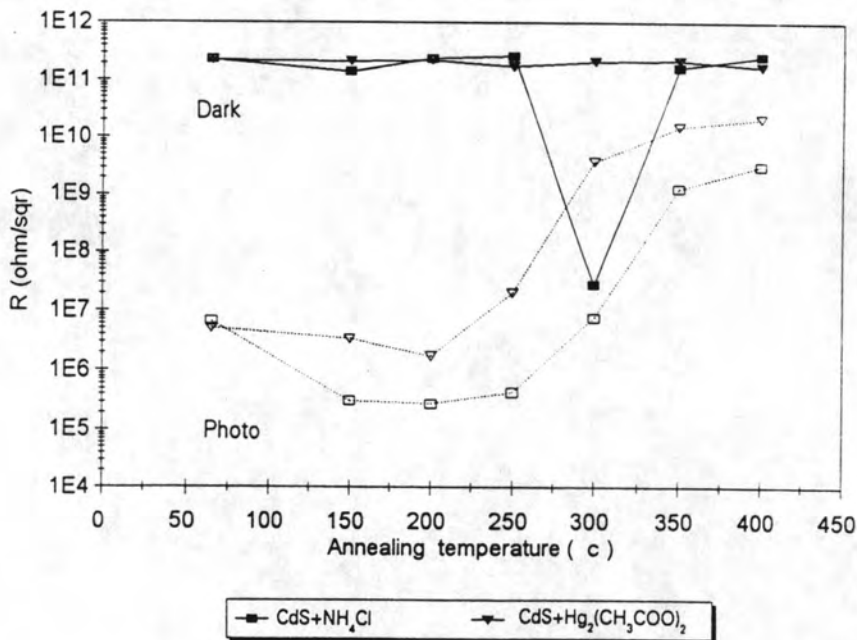
รูปที่ 6.85 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของการแอนนिलในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนของฟิล์มซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C ระหว่างฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารเจือกับฟิล์มที่เติมสารเจือ HgCl_2



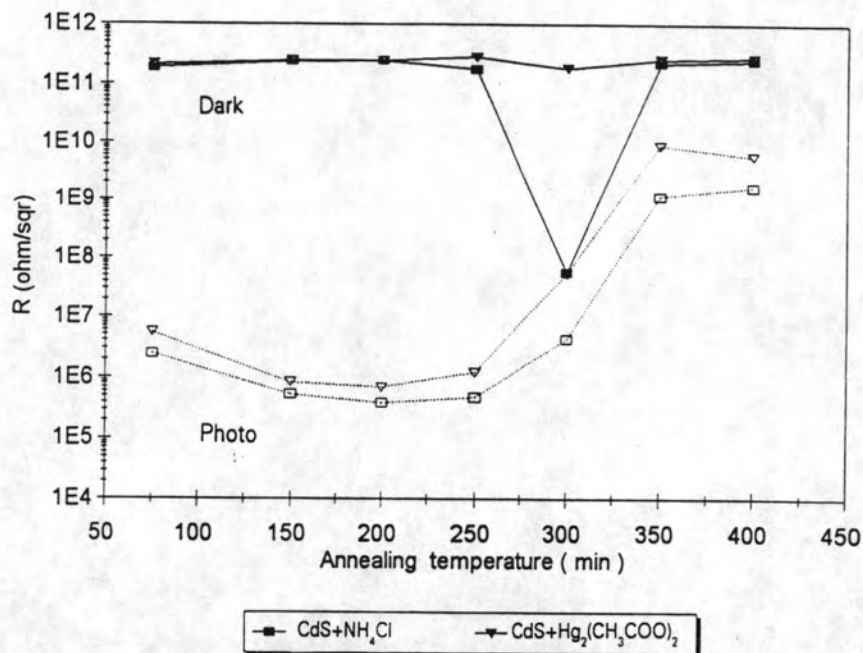
รูปที่ 6.86 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของการแอนนिलในอากาศของฟิล์มซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C ใช้เวลาเตรียม 30 นาที ระหว่างฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารเจือกับฟิล์มที่เติมสารเจือ HgCl_2



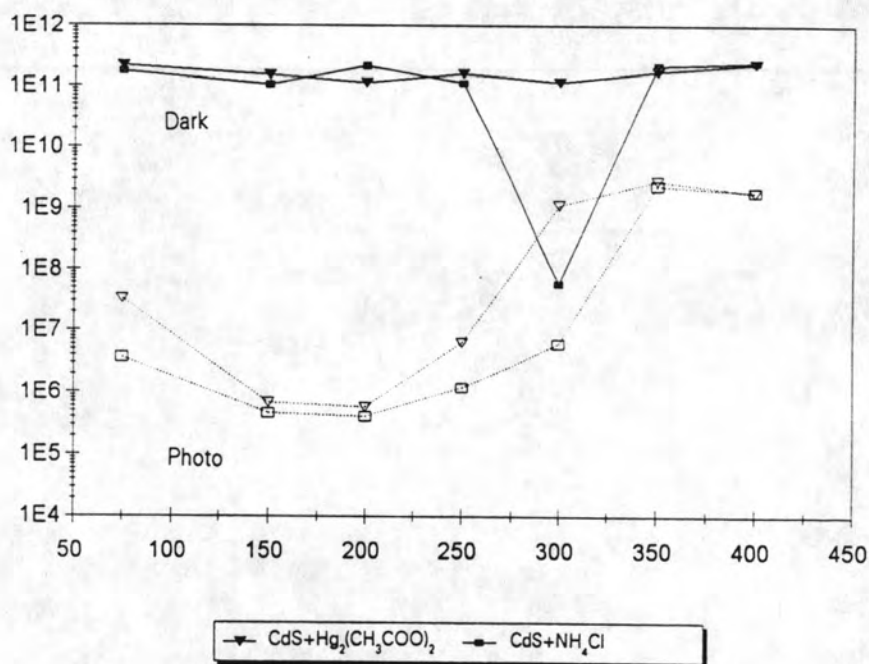
รูปที่ 6.87 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของการ แอนนัลในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนของฟิล์มซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที ระหว่างฟิล์มที่เติมสารเจือ NH₄Cl กับฟิล์มที่เติมสารเจือ Hg₂(CH₃COO)₂



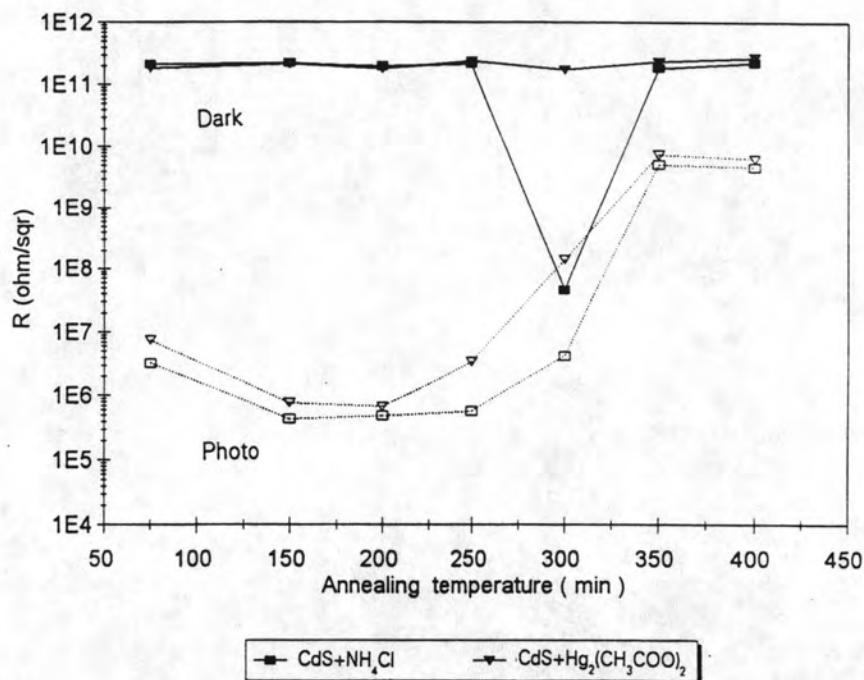
รูปที่ 6.88 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของการ แอนนัลในอากาศของฟิล์มซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลาเตรียม 120 นาที ระหว่างฟิล์มที่เติมสารเจือ NH₄Cl กับฟิล์มที่เติมสารเจือ Hg₂(CH₃COO)₂



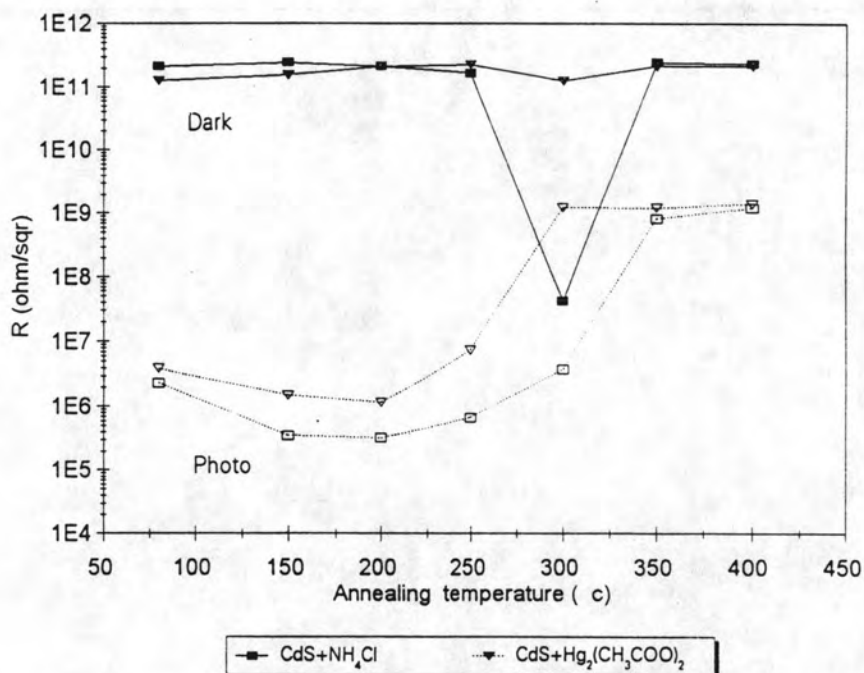
รูปที่ 6.89 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของการ แอนนัลในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนของฟิล์มซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ใช้เวลาเตรียม 60 นาที ระหว่างฟิล์มที่เติมสารเจือ NH₄Cl กับฟิล์มที่เติมสารเจือ Hg₂(CH₃COO)₂



รูปที่ 6.90 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของการ แอนนัลในอากาศของฟิล์มซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 75 °C ใช้เวลาเตรียม 60 นาที ระหว่างฟิล์มที่เติมสารเจือ NH₄Cl กับฟิล์มที่เติมสารเจือ Hg₂(CH₃COO)₂



รูปที่ 6.91 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของการ แอนนัลในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนของฟิล์มซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C ใช้เวลาเตรียม 60 นาที ระหว่างฟิล์มที่เติมสารเจือ NH₄Cl กับฟิล์มที่เติมสารเจือ Hg₂(CH₃COO)₂



รูปที่ 6.92 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแผ่นที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของการ แอนนัลในอากาศของฟิล์มซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 80 °C ใช้เวลาเตรียม 60 นาที ระหว่างฟิล์มที่เติมสารเจือ NH₄Cl กับฟิล์มที่เติมสารเจือ Hg₂(CH₃COO)₂