หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

การวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสงและผลการทดลอง

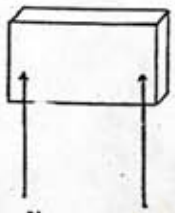
วิธีการวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสง มีขั้นตอนที่สำคัญ 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการเตรียมอุปกรณ์การทดลอง สำหรับขั้นตอนหลังเป็นการวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสง แล้วเป็นผลตอบสนองต่อแสงของ $AgGaTe_2$ ในการทดลองนั้นได้อาศัยทฤษฎีจากบทที่ 3 และ 4 เป็นแนวทางของการทดลอง

5.1 การเตรียมอุปกรณ์การทดลอง

การเตรียมอุปกรณ์เริ่มจากการเตรียมชิ้นสารและแผ่นรองชิ้นสาร จากนั้นทำให้เกิดรอยต่อแบบโอห์มิกระหว่างชิ้นสารและแผ่นรองชิ้นสาร แล้วนำไปประกอบเข้ากับโคลด์ฟิงเกอร์ (cold finger) ของไครโอสตัท (cryostat) ซึ่งไครโอสตัทนี้ทำให้สามารถทำการทดลองได้ทั้งที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อได้ชิ้นสารติดกับโคลด์ฟิงเกอร์ของไครโอสตัทแล้วก็นำไปติดตั้งเข้ากับชุดทดลองวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสง ก็จะได้อุปกรณ์การทดลองซึ่งพร้อมที่จะทำการทดลองได้

5.1.1 การเตรียมชิ้นสาร

ตัด $AgGaTe_2$ ด้วยเครื่องตัดอัตโนมัติให้ได้ความหนาประมาณ 1 mm นำมาขัดด้วยกระดาษทรายละเอียดให้ได้ความกว้างประมาณ 3 mm ยาวประมาณ 5 mm ดังรูป 5.1 ก็จะได้ชิ้นสารที่จะนำไปขัดด้วยผงขัดอลูมินา (alumina) ต่อไป



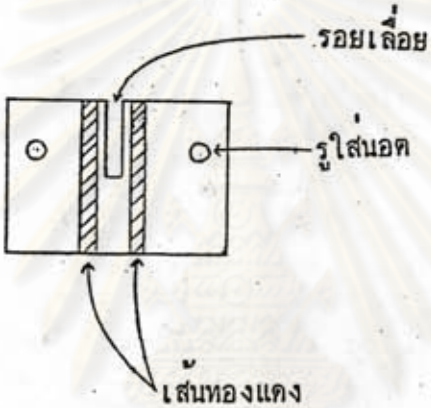
รูปที่ 5.1 แสดงชิ้นสารที่ตัดและขัดแล้ว

โรยผงขัดอลูมินาขนาด 0.3 μm ลงบนกระดาษสำหรับขัดสาร ฉีดเมธานอล (methanol) ลงบนผงขัดเล็กน้อยให้ผงขัดเปียกชื้นซึ่งจะทำให้ขัดได้ดีขึ้น วางชิ้นสารที่เตรียมไว้ลงบนผงขัดแล้วขัดชิ้นสารไปมาด้วยมือ ระหว่างขัดถ้าเห็นผงขัดแห้งเกินไปก็ฉีดเมธานอลลงไปอีก และถ้ากระดาษสกปรกเกินไปก็ต้องเปลี่ยนกระดาษใหม่ เพราะรอยสกปรกจะขูดขีดผิวของชิ้นสารทำให้ขัดได้ไม่เรียบ หลังจากขัดด้วยผงขัดขนาด 0.3 μm หลาย ๆ ครั้งแล้ว เปลี่ยนมาใช้ผงขัดขนาด 0.05 μm เพื่อให้ขัดได้เรียบยิ่งขึ้น เมื่อขัดเสร็จล้างชิ้นสารด้วยอะซีโตน แล้วนำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ว่าผิวของชิ้นสารเรียบจริงหรือเปล่า หรือยังมีรอยขูดขีดอยู่ ถ้ายังไม่เรียบก็ขัดด้วยผงขัดใหม่อีก

จุดประสงค์ของการขัดผิวชิ้นสารให้เรียบก็เพื่อทำให้เป็นมาตรฐาน โดยการทดลองครั้งต่อไปก็ขัดผิวชิ้นสารนั้นให้เรียบเหมือนเดิมอีก ซึ่งทำให้การทดลองแต่ละครั้งมีเงื่อนไขคล้ายคลึงกัน จุดประสงค์อีกอย่างหนึ่งคือต้องการลดสถานะผิวให้เหลือน้อยที่สุด

5.1.2 การเตรียมแผ่นรองชิ้นสาร

ตัดแผ่นเบเคไลท์ (bakelite) ที่มีทองแดงฉาบหนึ่งหน้าให้ได้ขนาดกว้างประมาณ 2 cm ยาวประมาณ 3 cm ใช้เลื่อย ๆ ตรงกลางแผ่นให้เป็นรูกว้างประมาณ 2 mm ยาวประมาณ 1 cm เจาะรูข้าง ๆ แผ่น 2 รูสำหรับใส่นอตยึดแผ่นนี้ให้ติดกับโคลด์ฟิงเกอร์ของไครโอสตัท ใช้เทปเหนียวติดทองแดงของแผ่นเบเคไลท์นี้ โดยติดให้เป็นเส้น 2 เส้น แต่ละเส้นอยู่ระหว่างรอยเลื่อยตรงกลางกับรูสำหรับใส่นอต นำแผ่นนี้ไปจุ่มในกรด HNO_3 ทองแดงบริเวณอื่นจะถูกกรดกัดออกหมด เหลือแต่ทองแดงที่ติดเทปเหนียวไว้ ดังรูป 5.2



รูปที่ 5.2 แสดงแผ่นรองชิ้นสาร

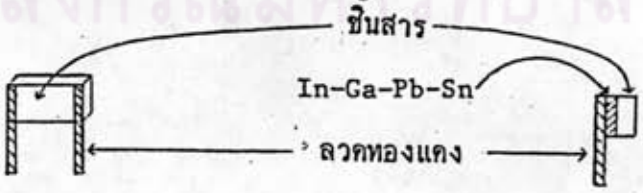
5.1.3 การทำรอยต่อแบบโอห์มิค

โดยทั่วไปในการทำรอยต่อแบบโอห์มิคสำหรับสารกึ่งตัวนำชนิดพีนั้น นิยมใช้ In – Ga เป็นตัวทำรอยต่อ ทั้ง In และ Ga เป็นธาตุกรุป III ที่มีค่าเวิร์คฟังก์ชันสูงมาก โดยเวิร์คฟังก์ชันของ In มีค่า 4.2 eV และของ Ga มีค่า 4.12 eV ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อใช้ In – Ga ทำรอยต่อสำหรับสารกึ่งตัวนำชนิดพี แนวโน้มที่จะได้รอยต่อแบบโอห์มิคจึงมีมาก ดังเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 4

สำหรับการทดลองที่อุณหภูมิห้อง รอยต่อแบบโอห์มิคของสารกึ่งตัวนำชนิดพี อาจทำได้ง่าย ๆ โดยใช้ In – Ga สัมผัสติดกับชิ้นสารโดยตรง แล้วนำไปให้ความร้อน (heat) เพื่อให้ In และ Ga แหร่เข้าไปในชิ้นสาร

แต่สำหรับการทดลองที่อุณหภูมิต่ำประมาณ $80^{\circ}K$ ถ้าใช้ In – Ga สัมผัสติดกับชิ้นสารโดยตรง เมื่อทำการวัดจะมีสัญญาณกวนอย่างมาก หรืออาจจะไม่มีสัญญาณที่จะวัดออกมาเลย ซึ่งเป็นเพราะเกิดมีรอยแยก (cracks) ขึ้นที่รอยต่อของ In – Ga กับผิวของชิ้นสาร ในการทดลองครั้งนี้ได้แก้ปัญหาการเกิดรอยแยกโดยใช้ตะกั่วบัดกรีซึ่งประกอบด้วยตะกั่ว (Pb) กับดีบุก (Sn) ซึ่งเป็นธาตุกรุป IV ทั้งคู่และมีเวิร์คฟังก์ชัน 4.25 eV และ 4.42 eV ตามลำดับ บัดกรีเข้าไปในรอยต่อที่ใช้ In – Ga เพื่อให้ In – Ga – Pb – Sn เกาะติดกับชิ้นสารอย่างแข็งแรง จะได้ไม่เกิดรอยแยกที่อุณหภูมิต่ำ รายละเอียดในการทำมีดังนี้

อุ่น In – Ga ให้ In ละลายใน Ga มากที่สุด เมื่อทิ้งไว้ให้เย็นจะได้สารละลายอิ่มตัวของ In ใน Ga ทาสารละลายนี้ที่ขอบซ้ายและขอบขวาของชิ้นสารที่เตรียมไว้แล้วในหัวข้อ 5.1.1 จุดประสงค์เพื่อต้องการให้ผิวของชิ้นสารเปียก (wet) เวลาบัดกรีจะทำให้บัดกรีติดง่าย เมื่อเห็นผิวของชิ้นสารเปียกดีแล้วก็บัดกรีด้วยตะกั่วบัดกรีให้ In – Ga – Pb –Sn ติดแน่นกับขอบของชิ้นสาร ในการบัดกรีอย่าใช้หัวแร้งจี้ชิ้นสารนานเกินไปเพราะความร้อนจากหัวแร้งจะทำให้ชิ้นสารแตก และอย่าให้ In – Ga – Pb – Sn เป็นฝ้าขุ่น (คือเป็นออกไซด์) จะทำให้รอยบัดกรีไม่ติดแน่นกับชิ้นสาร ถ้าเกิดฝ้าขุ่นขึ้นก็ให้เขี่ยทิ้งเสีย แล้วบัดกรีใหม่ให้ได้รอยบัดกรีที่ติดแน่นกับขอบของชิ้นสาร จากนั้นตัดลวดทองแดง 2 เส้นยาวเส้นละประมาณ 1 cm บัดกรีด้วยตะกั่วบัดกรีให้ติดกับรอยบัดกรีเก่า (In – Ga – Pb-Sn)บนขอบของชิ้นสารดังรูป 5.3



ก มองด้านตรง ข. มองด้านข้าง

รูปที่ 5.3 แสดงชิ้นสารติดกับลวดทองแดง

นำชิ้นสารในรูป 5.3 ไปตรวจรอยต่อ In – Ga– Pb – Sn โดยตรวจด้วยเครื่องตรวจทรานซิสเตอร์ (transistor curve tracer) ซึ่งเครื่องนี้จะแสดงกราฟของกระแสไฟฟ้า Ie กับความต่างศักย์ Ve ออกมาบนจอ พบว่ากราฟของ Ie กับ Ve ไม่เป็นกราฟเชิงเส้น (linear) แสดงว่ารอยต่อที่ได้นี้ยังไม่เป็นรอยต่อแบบโอห์มิค

ฉายไฟสปอร์ตไลท์ลงบนรอยต่อเพื่อให้รอยต่อร้อน In – Ga – Pb – Sn จะได้แหร่เข้าไปในเนื้อสาร โดยให้อุณหภูมิของรอยต่อประมาณ 100°C เป็นเวลาประมาณ 15 ชั่วโมง แล้วนำไปตรวจรอยต่อ พบว่ากราฟของ Ie กับ Ve เป็นกราฟเชิงเส้น นั่นคือรอยต่อที่ได้เป็นรอยต่อแบบโอห์มิคแล้ว

5.1.4 <u>การติดชิ้นสารเข้ากับแผ่นรองชิ้นสาร</u>

นำชิ้นสารในรูป 5.3 ซึ่งขณะนี้ได้รอยต่อแบบโอห์มิคแล้ว ไปบัดกรีกับแผ่นรองชิ้นสารที่เตรียมไว้ในหัวข้อ 5.1.2 (รูป 5.2) โดยบัดกรีด้วยตะกั่วให้ลวดทองแดงของชิ้นสารติดกับเส้นทองแดงของแผ่นรองชิ้นสาร ระวังอย่าให้ความร้อนจากการบัดกรีคราวนี้ไปหลอมละลายรอยบัดกรีอันเก่า เมื่อบัดกรีเสร็จก็จะได้ชิ้นสารและแผ่นรองชิ้นสารซึ่งพร้อมที่จะนำไปติดตั้งเข้ากับโคลด์ฟิงเกอร์ของไครโอสตัท โดยจะบัดกรีสายไฟในไครโอสตัทเข้ากับเส้นทองแดงของแผ่นรองชิ้นสาร ดังรูป 5.4

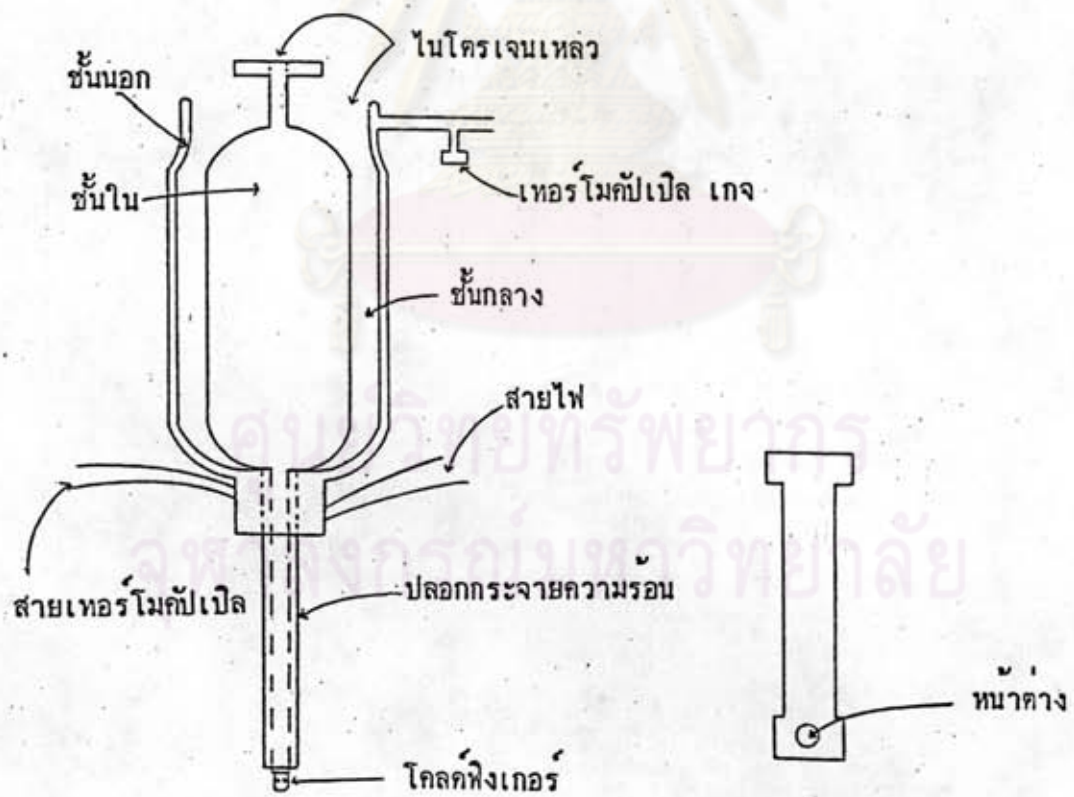
รูปที่ 5.4 แสดงชิ้นสารที่ติดกับแผ่นรองชิ้นสาร

สาเหตุที่ไม่ต่อลวดทองแดงที่ติดกับชิ้นสารในรูป 5.3 เข้ากับสายไฟในไครโอสตัท โดยตรงเพราะว่ารอยบัดกรีของลวดทองแดงกับ In – Ga – Pb–Sn ในรูป 5.3 นั้น เป็นรอยบัดกรีที่ไม่แข็งแรง ถ้าต่อสายไฟเข้ากับลวดทองแดงโดยตรง เมื่อนำไปติดตั้งเข้ากับโคลด์ฟิงเกอร์อาจทำให้เกิดรอยร้าวขึ้นที่รอยบัดกรีนี้ได้

5.1.5 ไครโอสตัท

ไครโอสตัทคืออุปกรณ์ที่ทำให้ชิ้นสารเย็นเมื่อต้องการทดลองที่อุณหภูมิต่ำ หลักการทำงานง่ายๆ ของไครโอสตัทก็คือถ่ายเทความร้อนจากชิ้นสารด้วยกระบวนการนำความร้อนออกมาสู่ไนโตรเจนเหลว เนื่องจากไนโตรเจนเหลวมีอุณหภูมิประมาณ 77 K ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำมาก ดังนั้นชิ้นสารก็จะเย็นตามไปด้วย

ไครโอสตัทประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือส่วนตัวและส่วนหัว ซึ่งถอดออกจากกันได้ ดังรูปที่ 5.5



ก. ส่วนตัว ข. ส่วนหัว

รูปที่ 5.5 แสดงไครโอสตัทที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เมื่อถอดส่วนหัวและส่วนตัวออกจากกัน

ส่วนหัวของไครโอสตัทมีหน้าต่าง (window) ซึ่งทำจากควอทซ์ (quartz) ที่ยอมให้แสงความยาวคลื่นต่าง ๆ กันผ่านได้เท่ากัน

ไครโอสตัทที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ เป็นเครื่องมือซึ่งสามารถทดลองได้ถึงอุณหภูมิต่ำประมาณ 10 K ซึ่งเป็นอุณหภูมิของฮีเลียมเหลว ส่วนตัวของไครโอสตัทเครื่องนี้จึงมี 3 ชั้น ชั้นในสุดสำหรับเติมฮีเลียมเหลว (ในประเทศไทยไม่มีฮีเลี่ยมเหลว จึงใช้ไนโตรเจนเหลวแทนในชั้นในนี้ อุณหภูมิที่ทำการทดลองได้จึงเป็น 80 K แทนที่จะเป็น 10 K) ปลายล่างสุดของชั้นในจะมีโคลด์ฟิงเกอร์ซึ่งทำจากแผ่นทองแดงติดอยู่ ชั้นกลางซึ่งอยู่รอบ ๆ ชั้นในทำไว้สำหรับเติมไนโตรเจนเหลวเพื่อให้ชั้นในเก็บฮีเลียมเหลวไว้ได้นาน ๆ และชั้นนอกซึ่งอยู่รอบ ๆ ชั้นกลางจะถูกปั๊มให้เป็นสุญญากาศเพื่อให้ชั้นกลางเก็บไนโตรเจนเหลวไว้ได้นาน ๆ อีกต่อหนึ่ง เหตุผลสำคัญอีกข้อหนึ่งที่ทำให้ต้องปั๊มชั้นนอกให้เป็นสุญญากาศก็คือ บรรยากาศของชั้นนอกและโคลด์ฟิงเกอร์นั้นทะลุถึงกัน โดยที่โคลด์ฟิงเกอร์นั้นจะมีชิ้นสารกับแผ่นรองชิ้นสารติดอยู่ ดังนั้นเมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิต่ำถ้าบรรยากาศของชั้นนอกไม่เป็นสุญญากาศพอ ก็จะมีละอองน้ำเกาะที่ชิ้นสาร ซึ่งจะทำให้ผลของการทดลองผิดพลาด จึงจำเป็นต้องปั๊มชั้นนอกให้เป็นสุญญากาศโดยจะมีท่อทองแดงต่อจากชั้นนอกไปยังเครื่องปั๊มโรตารี (rotary pump) ที่ท่อทองแดงนี้จะมีเทอร์โมคัปเปิลเกจ (thermocouple guage) สำหรับวัดความดันติดอยู่

จากภายนอกไครโอสตัทมีสายเทอร์โมคัปเปิลชนิดโครเมล-อลูเมล (Chromel-Alumel) และสายไฟต่อเข้าไปในไครโอสตัท สายเทอร์โมคัปเปิลถูกต่อไปยังโคลด์ฟิงเกอร์เพื่ออ่านอุณหภูมิของโคลด์ฟิงเกอร์ ซึ่งเป็นอุณหภูมิเดียวกับอุณหภูมิของชิ้นสาร สายไฟ 2 สายจะบัดกรีเข้ากับเส้นทองแดงของแผ่นรองชิ้นสาร ตำแหน่งที่จะบัดกรีนั้นจะดูได้จากรูป 5.4

ที่ช่วงล่างของชั้นในก่อนจะถึงโคลด์ฟิงเกอร์ มีปลอกกระจายความร้อนหุ้มอยู่โดยหุ้มห่าง ๆ ไม่ติดกับชั้นใน ปลอกนี้ทำหน้าที่กระจายอุณหภูมิของช่วงล่าง(รวมทั้งโคลด์ฟิงเกอร์ด้วย) ให้เป็นอุณหภูมิเดียวกัน (homogeneous) มากที่สุด และยังทำหน้าที่เป็นเปลือกป้องกันความร้อนจากภายนอกอีกด้วย

5.1.6 การเตรียมไครโอสตัทให้พร้อม

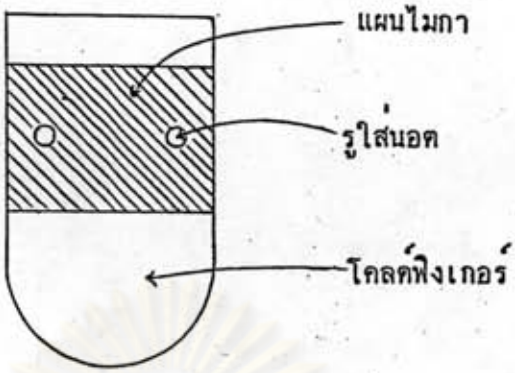
ไครโอสตัทเครื่องที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นไครโอสตัทเก่าซึ่งถูกทิ้งไว้นานหลายปี จึงดูดซับกาซไว้มาก ทำให้ปั๊มไม่ได้สุญญากาศเท่าที่ต้องการ เพราะเวลาปั๊ม

โมเลกุลของกาซที่ถูกดูดซับไว้จะหลุดออกมาจากผนังของไครโอสตัทด้านที่สัมผัสกับสุญญากาศ จึงต้องล้างผนังส่วนที่สัมผัสกับสุญญากาศด้วยอะซีโตนหลาย ๆ ครั้ง แล้วเป่าด้วยเครื่องเป่าผมให้แห้ง ระวังอย่าใช้มือเปล่าจับชิ้นส่วนที่สัมผัสกับสุญญากาศ เพราะเหงื่อจากมือจะติดที่ชิ้นส่วนนั้น และเหงื่อจะระเหยออกมาเรื่อย ๆ ในขณะปั๊ม ทำให้ปั๊มไม่ได้สุญญากาศเท่าที่ต้องการ ดังนั้น ควรใส่ถุงมือแทนการใช้มือเปล่า

หลังจากล้างด้วยอะซีโตนและเป่าด้วยเครื่องเป่าผมให้แห้งแล้ว ก็ทำการปั๊มไครโอสตัท โดยในระหว่างปั๊มนั้นก็เป่าไครโอสตัทให้ร้อนด้วยเครื่องเป่าผมเป็นระยะ ๆ เมื่อไครโอสตัทร้อนโมเลกุลของกาซซึ่งถูกดูดซับไว้จะหลุดออกมาจากผนังของไครโอสตัท จะสังเกตเห็นว่าระยะที่เป่าให้ไครโอสตัทร้อนนั้น ความดันในไครโอสตัทจะเพิ่มขึ้น เมื่อหยุดเป่าและทิ้งไว้ให้เย็นความดันจะลดลงต่ำกว่าเมื่อก่อนเป่าให้ร้อน พอเป่าให้ร้อนใหม่ ความดันก็จะเพิ่มขึ้น ทิ้งไว้ให้เย็นความดันก็จะลดต่ำกว่าเดิมอีก ทำอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ ใช้เวลาประมาณ 1 อาทิตย์ก็ได้ความดันประมาณ 10^{-3} Torr (1 Torr = 1 mm ของปรอท) ซึ่งเป็นความดันที่ไม่มีละอองน้ำเกาะชิ้นสารเมื่ออุณหภูมิ 80 K แต่อาจมีละอองน้ำเกาะที่ผิวนอกของหน้าต่างด้านที่สัมผัสกับอากาศในห้อง ละอองน้ำนี้จะกั้นแสงที่ส่องจากภายนอกเข้าไปที่ชิ้นสาร ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้มีละอองน้ำเกาะที่หน้าต่าง จึงใช้ลมเป่าหน้าต่างตลอดเวลาที่ทดลองที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อให้อุณหภูมิของหน้าต่างใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง จะได้ไม่มีละอองน้ำเกาะ

5.1.7 <u>การติดตั้งแผ่นรองชิ้นสารเข้ากับโคลด์ฟิงเกอร์</u>

หลังจากที่สามารถปั๊มไครโอสตัทได้ถึง 10^{-3} Torr แล้ว ถอดส่วนหัวและส่วนตัวของไครโอสตัทออกจากกัน บัดกรีสายไฟในไครโอสตัทเข้ากับแผ่นรองชิ้นสารที่เตรียมไว้ในหัวข้อ 5.1.4 แล้วใช้แผ่นไมกา (mica) บาง ๆ ทากรีส (grease) ปิดกั้นระหว่างโคลด์ฟิงเกอร์กับชิ้นสาร ดังรูป 5.6 โดยทั้งไมกาและกรีสนั้นเป็นตัวนำความร้อนที่ดี แต่เป็นฉนวนไฟฟ้า ดังนั้น เมื่อติดตั้งให้ผิวของชิ้นสารแนบสนิทกับกรีสและไมกา ความร้อนจากชิ้นสารก็จะถูกถ่ายเทได้โดยสะดวก หลังจากติดแผ่นรองชิ้นสารพร้อมชิ้นสารเข้าที่ดี แล้วก็ประกอบส่วนหัวและส่วนตัวของไครโอสตัทเข้าด้วยกัน

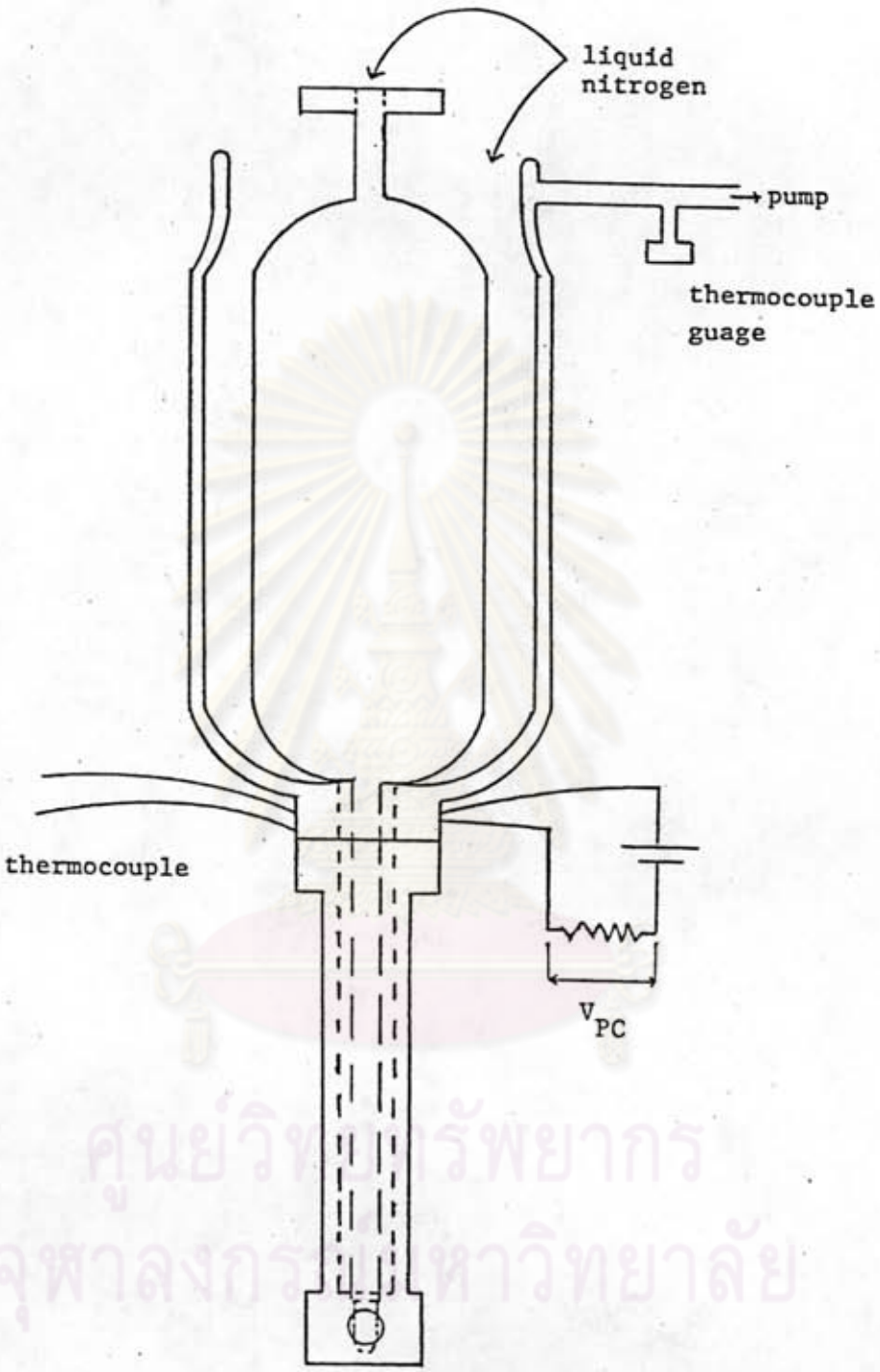


รูปที่ 5.6 แสดงแผ่นไมกาบาง ๆ หากรีสติดอยู่กับโคลด์ฟิงเกอร์

5.1.8 การติดตั้งแบตเตอรีและความต้านทานเข้ากับไครโอสตัท

ใช้ความต้านทาน 200×10^3 Ω และแบตเตอรีขนาด 3 V ต่ออนุกรมกันกับสายไฟ 2 สายที่อยู่ภายนอกของไครโอสตัท สายไฟนี้ถูกต่อมาจากชิ้นสารในไครโอสตัท ดังรูป 5.7 จากหัวท้ายของความต้านทาน 200×10^3 Ω ต่อสายไฟเพื่อวัด V_{PC} ไปเข้าปรีแอมปลิไฟเออร์ (preamplifier)PA แล้วไปยังลอกอินแอมปลิไฟเออร์ (lock-in amplifier)LA ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป (เพื่อความเข้าใจดูวงจรในขณะนี้เปรียบเทียบกับรูป 3.1 ในบทที่ 3)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.7 แสดงไครโอสตัทที่ติดตั้งอุปกรณ์ไว้พร้อมแล้ว

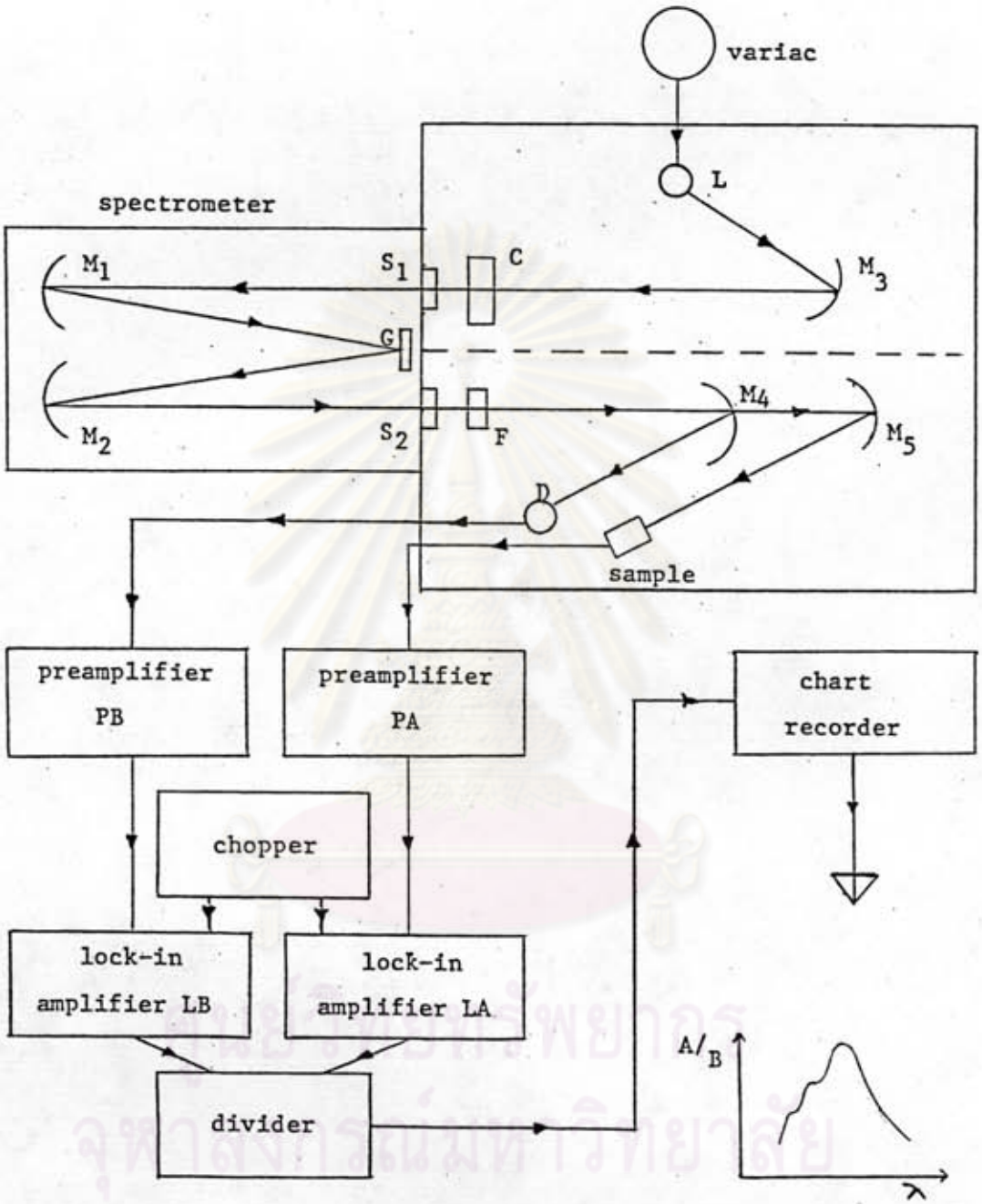
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1.9 อุปกรณ์วัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสง

แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์วัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสงได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.8 โดยแสงที่มาจากต้นกำเนิดแสง L ซึ่งสามารถปรับความเข้มของแสงได้ด้วยการปรับแวริแอค (variac) จะสะท้อนที่กระจกเว้า M_3 ไปยังตัวตัดแสง (chopper) C เพื่อทำให้แสงมีลักษณะเป็นสัญญาณพัลส์ (pulse) จากนั้นผ่านช่องแคบ (slit) S_1 ของสเปกโตรมิเตอร์ (spectrometer) และสะท้อนที่กระจกเว้า M_1 ไปยังเกรตติง (grating)G ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวคัดเลือกแสงเอกรงค์ (monochromatic light) ความยาวคลื่นต่าง ๆ ออกมา แสงเอกรงค์จะสะท้อนที่กระจกเว้า M_2 ผ่านช่องแคบ S_2 ออกมา และถูกกรองด้วยตัวกรองแสง (filter) F เพื่อกรองแสงอันดับที่สอง (second order) ออก จากนั้นแสงจะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่สะท้อนด้วยกระจกเว้า M_4 และส่วนที่สะท้อนด้วยกระจกเว้า M_5

แสงส่วนแรกจะสะท้อนด้วยกระจกเว้า M_4 ไปยังเทอร์โมคัปเปิลดีเทคเตอร์ (thermocouple detector)D ซึ่งจะวัดพลังงานแสงและจะเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าเข้าสู่ปรีแอมปลิไฟเออร์ (preamplifier)PB เพื่อขยายสัญญาณให้โตขึ้นแล้วส่งให้ลอกอินแอมปลิไฟเออร์ LB ซึ่งจะขยายสัญญาณเฉพาะที่มีความถี่เดียวกันกับความถี่ของตัวตัดแสงเท่านั้น เพื่อกำจัดสัญญาณกวน สัญญาณที่ออกมาจากลอกอินแอมปลิไฟเออร์ LB เราเรียกว่าสัญญาณ B จะส่งไปยังเครื่องหารสัญญาณ

แสงส่วนที่สองจะสะท้อนด้วยกระจกเว้า M_5 ไปยังชิ้นสาร $AgGaTe_2$ ที่อยู่ในไครโอสตัท (ที่เตรียมไว้แล้วในหัวข้อ 5.1.8) สัญญาณ V_{PC} ที่เกิดขึ้นจะเข้าสู่ปรีแอมปลิไฟเออร์ PA แล้วเข้าสู่ลอกอินแอมปลิไฟเออร์ LA ซึ่งจะขยายสัญญาณเฉพาะที่มีความถี่เท่ากับตัวตัดแสงเท่านั้น สัญญาณที่มาจากลอกอินแอมปลิไฟเออร์ LA เราเรียกว่าสัญญาณ A จะถูกส่งไปยังเครื่องหารสัญญาณซึ่งจะส่งสัญญาณ A/B ไปยังเครื่องบันทึกกราฟ โดยเครื่องบันทึกกราฟจะเขียนกราฟของ A/B กับความยาวคลื่นของแสง λ ออกมา



รูปที่ 5.8 แสดงแผนผังอุปกรณ์วัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 การวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสงและผลตอบสนองต่อแสงของ $AgGaTe_2$

ในหัวข้อนี้จะแสดงวิธีคำนวณผลตอบสนองต่อแสงโดยใช้ข้อมูลจากการวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสงเสียก่อน แล้วจึงจะกล่าวถึงการวัดและผลตอบสนองต่อแสงที่คำนวณได้จากการวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสง ทั้งการวัดตามแบบฉบับและการวัดตามแบบกระแสคงที่ โดยการวัดทั้ง 2 แบบนั้นได้วัดทั้งที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิต่ำ จากนั้นจะแสดงผลของการวัดในแบบกระแสคงที่ เมื่อเควนช์ (quench) ด้วยแสงความยาวคลื่นมากกว่า 1,050 nm และสุดท้ายจะแสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณ A กับความเข้ม I ของแสงที่ตกกระทบบนชิ้นสาร $AgGaTe_2$

5.2.1 การคำนวณผลตอบสนองต่อแสง

ในหัวข้อ 5.1.9 ได้กล่าวมาแล้วว่าเทอร์โมคัปเปิลดีเทคเตอร์ นั้นจะวัดพลังงานแสงออกมา คือจะวัด $jh\nu$ ออกมาโดย j และ ν คือจำนวนและความถี่ของโฟตอนที่ตกลงบนดีเทคเตอร์ D แล้วเครื่องบันทึกกราฟจะเขียนกราฟของ $\frac{A}{B}$ เป็นฟังก์ชันของ $h\nu$

ดังนั้นจะได้ว่า $\frac{A}{B} \propto \frac{\Delta\delta}{jh\nu}$ 5.2.1.1

ซึ่งผลตอบสนองต่อแสงไม่ว่าจะเป็นของการวัดตามแบบฉบับหรือการวัดตามแบบกระแสคงที่ คำนวณได้จากสภาพนำไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปหารด้วยจำนวนโฟตอน ดังนั้นจาก 5.2.1.1 จะได้

ผลตอบสนองต่อแสงเท่ากับ $\frac{A}{B} \cdot h\nu$ 5.2.1.2

โดยขนาดของหน่วยของผลตอบสนองต่อแสงซึ่งคำนวณจาก $\frac{A.h\nu}{B}$ นี้เป็นขนาดอะไรก็ได้ (arbitrary unit)

และแม้ว่าผลตอบสนองต่อแสงของการวัดทั้งตามแบบฉบับและการวัดตามแบบกระแสคงที่จะคำนวณจาก $\frac{A}{B} \cdot h\nu$ แต่ความหมายที่แฝงอยู่ไม่เหมือนกัน ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 เพื่อเป็นการเน้นถึงความแตกต่างนี้จะเรียกผลตอบสนองต่อแสงของการวัดตาม

แบบฉบับว่าโฟโตเรสพอนส์ต่อโฟตอน (photoresponse/photon) และจะเรียกผลตอบสนองต่อแสงของการวัดแบบกระแสคงที่ว่าโฟโตครอสเซกชัน (photo-cross section)

5.2.2 การวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสงตามแบบฉบับ

การวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสงตามแบบฉบับทำได้โดยให้ความเข้มของแสงจากต้นกำเนิดแสง L ในรูป 5.8 คงที่โดยไม่สนใจว่าขนาดของสัญญาณ A จะเป็นเท่าไร เมื่อความยาวคลื่นของแสงเปลี่ยนไป การวัดที่อุณหภูมิ 82 K ทำได้ด้วยการเติมไนโตรเจนเหลวที่ชั้นกลางและชั้นในของไครโอสตัท การวัดที่อุณหภูมิ 164 K ทำได้ด้วยการเติมไนโตรเจนเหลวเฉพาะที่ชั้นกลางของไครโอสตัท ส่วนการวัดที่อุณหภูมิห้องนั้นไม่ต้องใช้ไนโตรเจนเหลวเลย รูปที่ 5.9 แสดงผลตอบสนองต่อแสงของ $AgGaTe_2$ เมื่อวัดตามแบบฉบับที่อุณหภูมิห้องที่ 164 K และที่ 82 K ตามลำดับ

5.2.3 การวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสงตามแบบกระแสคงที่

การวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสงตามแบบกระแสคงที่ทำได้ด้วยการปรับแวริแอคให้ขนาดของสัญญาณ A คงที่เมื่อความยาวคลื่นของแสงเปลี่ยนไป แต่ค่าคงที่ของ A ค่าหนึ่งจะใช้ได้สำหรับความยาวคลื่นของแสงช่วงหนึ่งเท่านั้น ที่ช่วงอื่น ๆ สัญญาณจะอ่อนจนวัดไม่ได้ ดังนั้นเมื่อวัดไปได้ช่วงหนึ่งจึงต้องเปลี่ยนค่าคงที่ A ใหม่ แล้วจึงนำกราฟที่ได้จากการใช้ค่า A ต่าง ๆ มาต่อกัน รูปที่ 5.10 แสดงผลตอบสนองต่อแสงของ $AgGaTe_2$ เมื่อวัดตามแบบกระแสคงที่ ที่อุณหภูมิห้องและที่ 87 K

5.2.4 การเควนช์ด้วยแสงความยาวคลื่นมากกว่า 1,050 nm

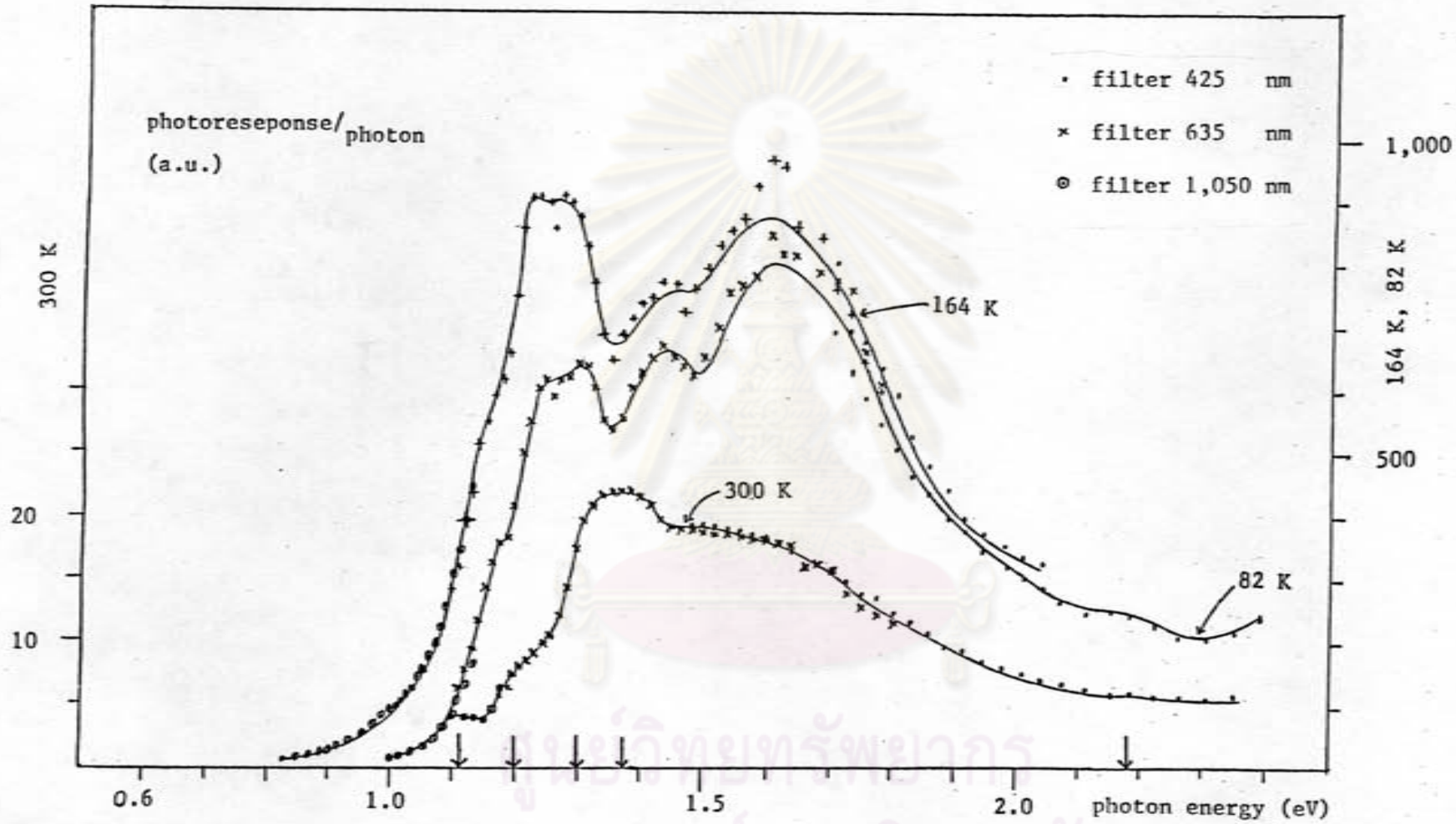
ในหัวข้อสุดท้ายของบทที่ 3 ซึ่งกล่าวถึงความไม่สามารถทำซ้ำได้ในการวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสงนั้น ได้แสดงให้เห็นแล้วว่าถ้าต้องการให้ทำซ้ำได้ ก็ต้องพยายามให้เงื่อนไขของการจับพาหะเมื่อเวลาต่าง ๆ กันคล้ายกัน ซึ่งทำได้โดยการฉายแสงจากอีกแหล่งหนึ่ง (ในที่นี้ไม่ใช่จากสเปกโตรมิเตอร์) ไปไอออไนซ์ (ionized) แทรปปิงและรีคอมบิเนชันเซนเตอร์

เราเรียกการฉายแสงให้ไปไอออไนซ์เซนเตอร์นี้ว่า การเควนช์ด้วยแสง รูปที่ 5.11 แสดงสัญญาณ $\frac{A}{B}$ เมื่อเควนช์และไม่เควนช์ด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 1,050 nm โดยปล่อยให้เครื่องบันทึกกราฟเขียนกราฟ $\frac{A}{B}$ เป็นเวลา 5 นาทีที่ความยาวคลื่นของแสงที่ออกจากสเปกโตรมิเตอร์คงที่ที่ 800 nm ส่วนรูปที่ 5.12 เป็นผลตอบสนองต่อแสงของ $AgGaTe_2$ เมื่อวัดตามแบบกระแสคงที่และเควนช์ด้วยแสงความยาวคลื่นมากกว่า 1,050 nm โดยทั้งรูป 5.11 และรูป 5.12 นี้วัดที่อุณหภูมิห้อง

5.2.5 ความสัมพันธ์ของสัญญาณ A กับความเข้มของแสง

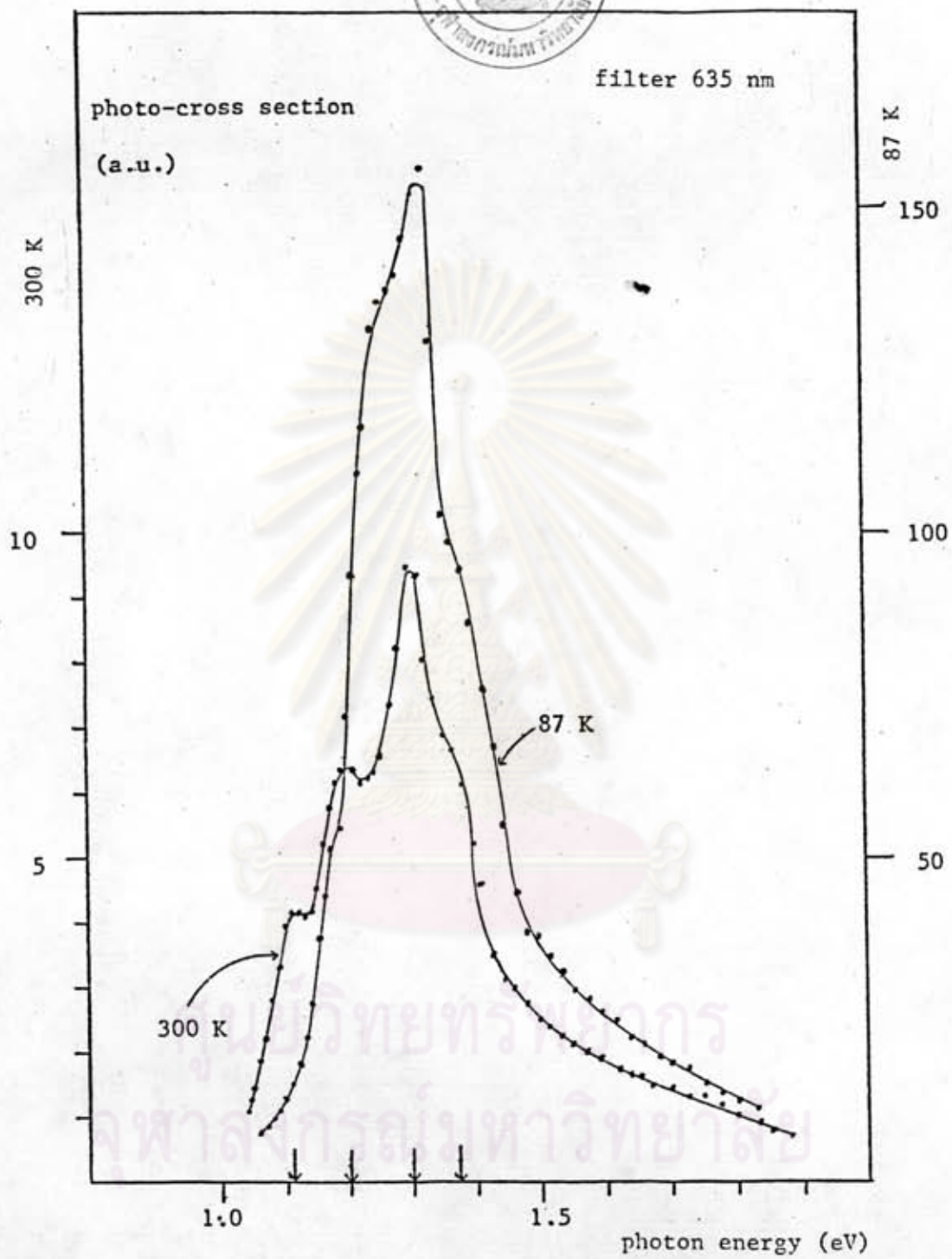
ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ว่าที่ความเข้มของแสงต่างกัน เงื่อนไขในการจับพาหะอิสระจะไม่เหมือนกัน ซึ่งก็คือที่ความเข้มของแสงต่างกันกราฟของ $\frac{A}{B}$ จะไม่เท่ากันนั่นเอง รูปที่ 5.13 เป็นกราฟของสัญญาณ A กับความเข้มของแสงจากสเปกโตรมิเตอร์ที่มีความยาวคลื่น 850 nm และรูปที่ 5.14 เป็นกราฟของสัญญาณ A กับความเข้มของแสงจากสเปกโตรมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 800 nm เมื่อเควนช์ด้วยแสงความยาวคลื่นมากกว่า 1,050 nm ทั้งรูปที่ 5.13 และ 5.14 นี้วัดที่อุณหภูมิห้อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

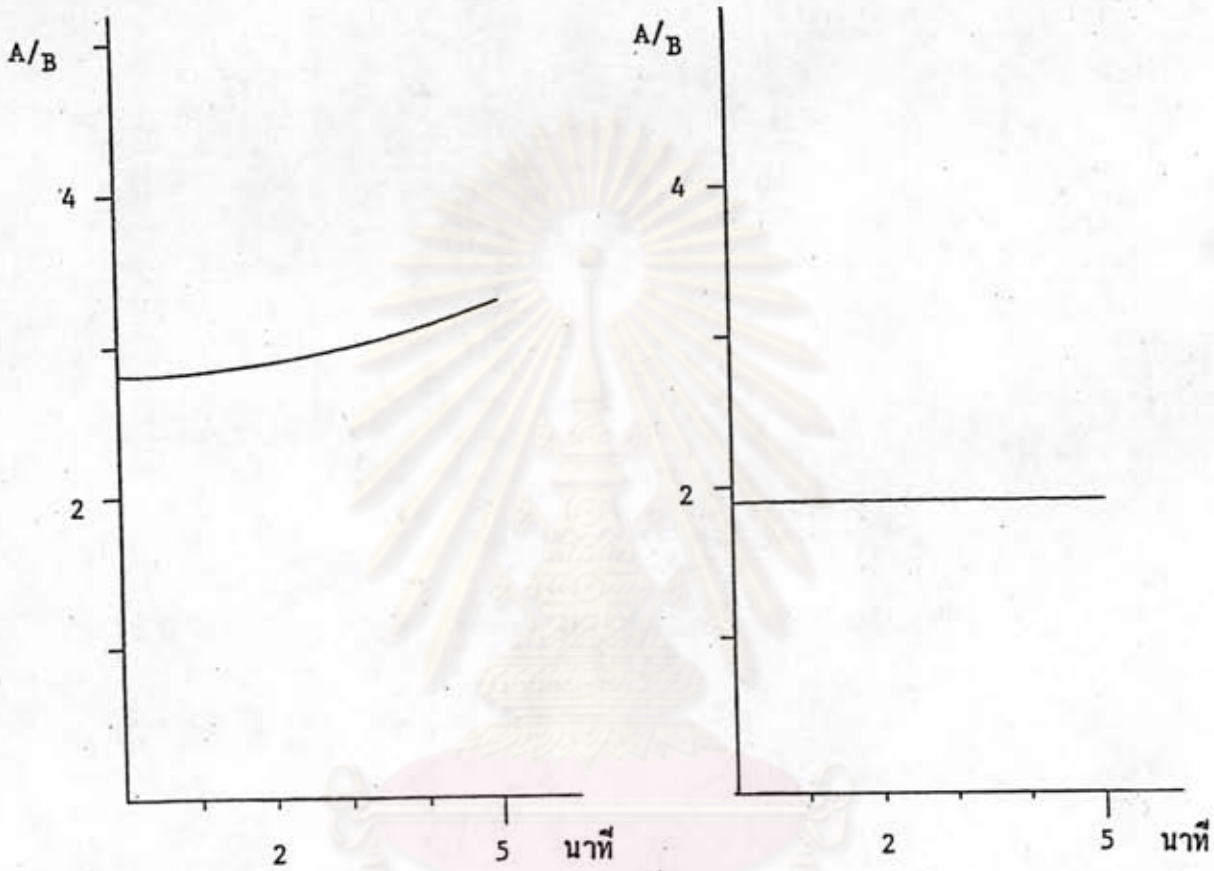


รูปที่ 5.9 แสดงผลตอบสนองต่อแสงของ $AgGaTe_2$ เมื่อวัดความแบบฉบับที่อุณหภูมิห้อง 164 K และ 82 K

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.10 แสดงผลตอบสนองต่อแสงของ $AgGaTe_2$ เมื่อวัดตามแบบกระแสคงที่ที่อุณหภูมิห้องและ 87 K



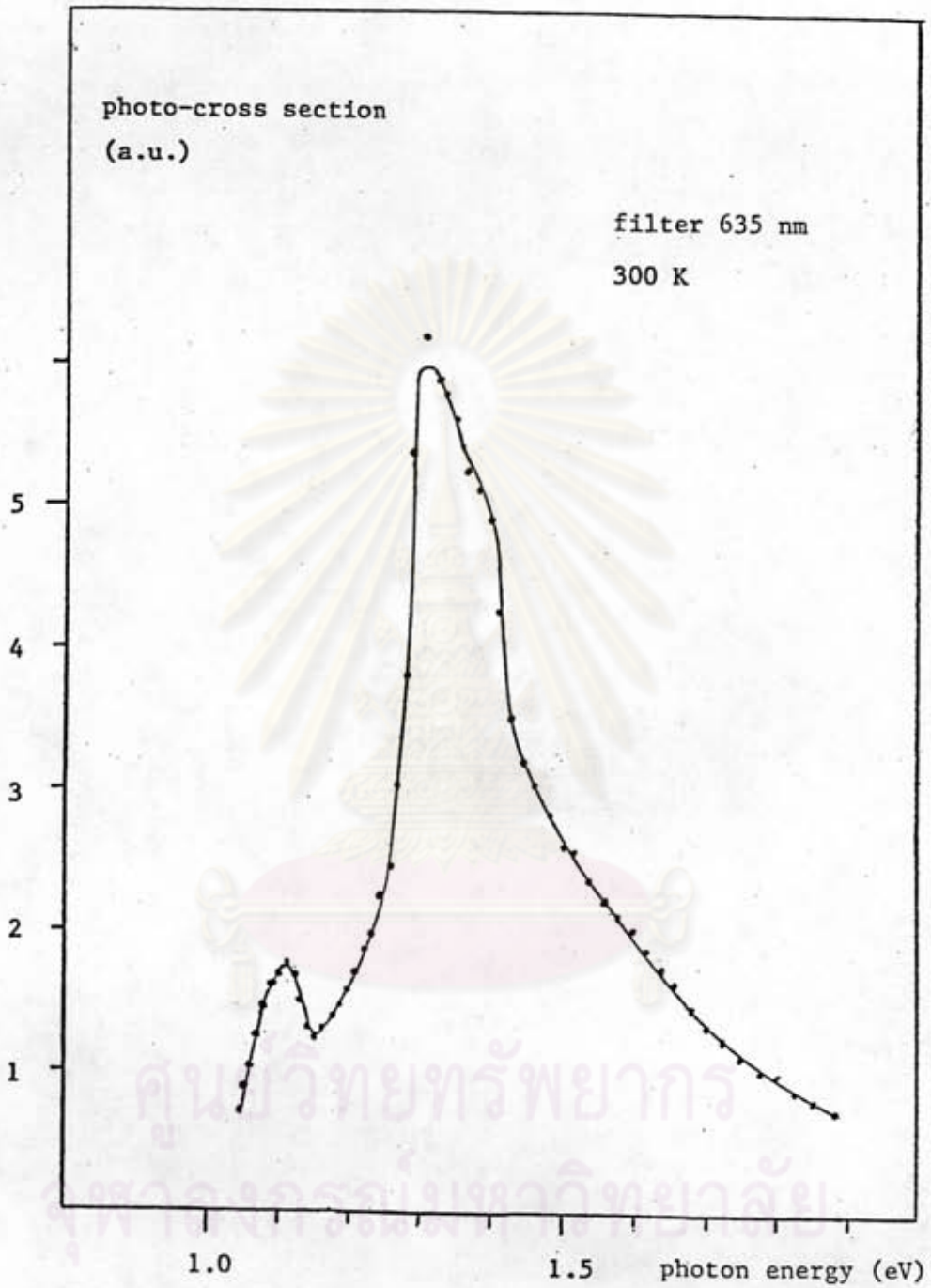
ก ข

รูปที่ 5.11 แสดงสัญญาณ $\frac{A}{B}$ ที่ความยาวคลื่นของแสงจากสเปกโตรมิเตอร์ 800 nm โดยให้เครื่องบันทึกกราฟบันทึกกราฟของ $\frac{A}{B}$ เป็นเวลาครั้งละ 5 นาที

ก. เมื่อไม่เควนช์

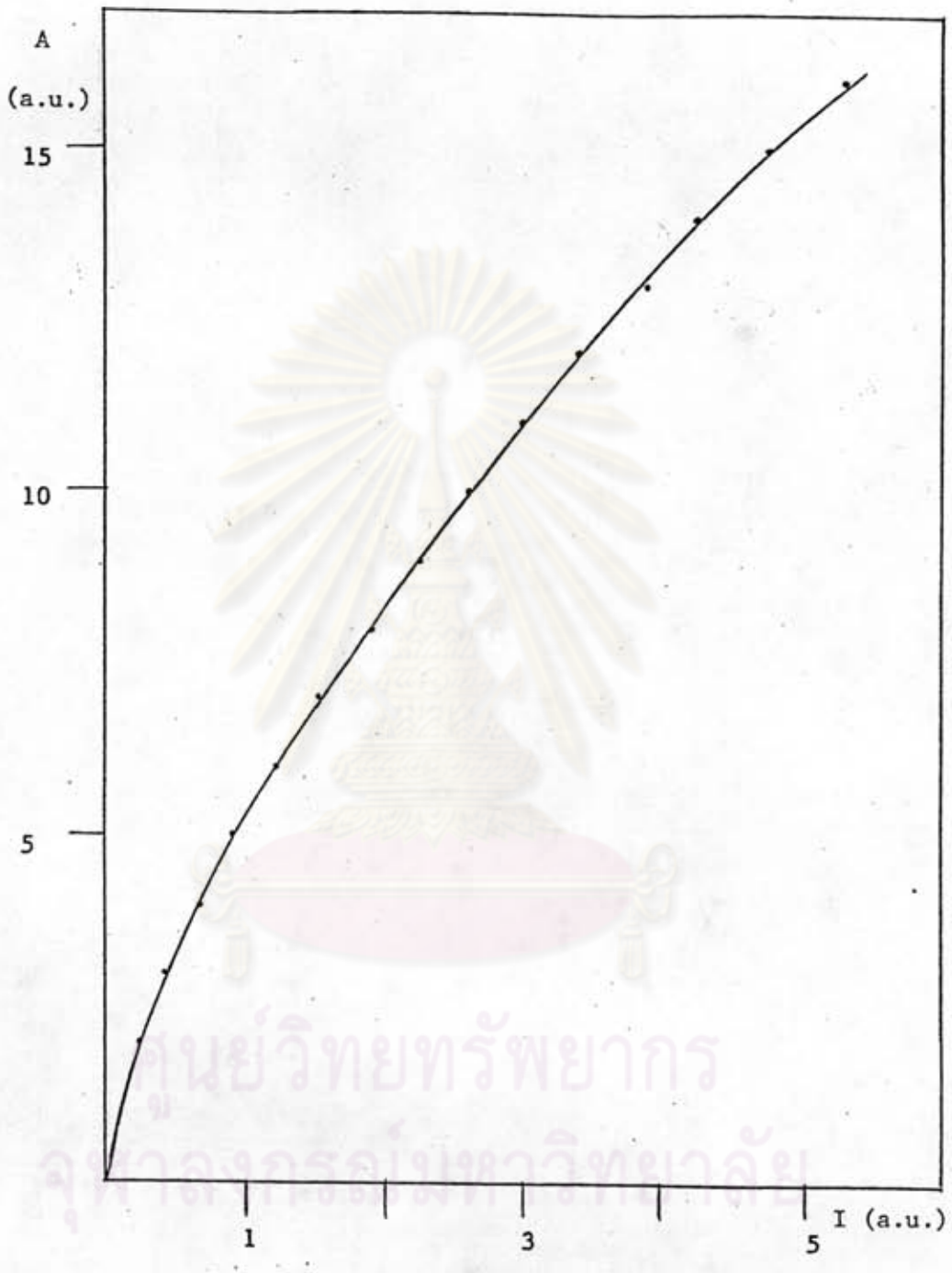
ข. เมื่อเควนช์ด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 1,050 nm

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



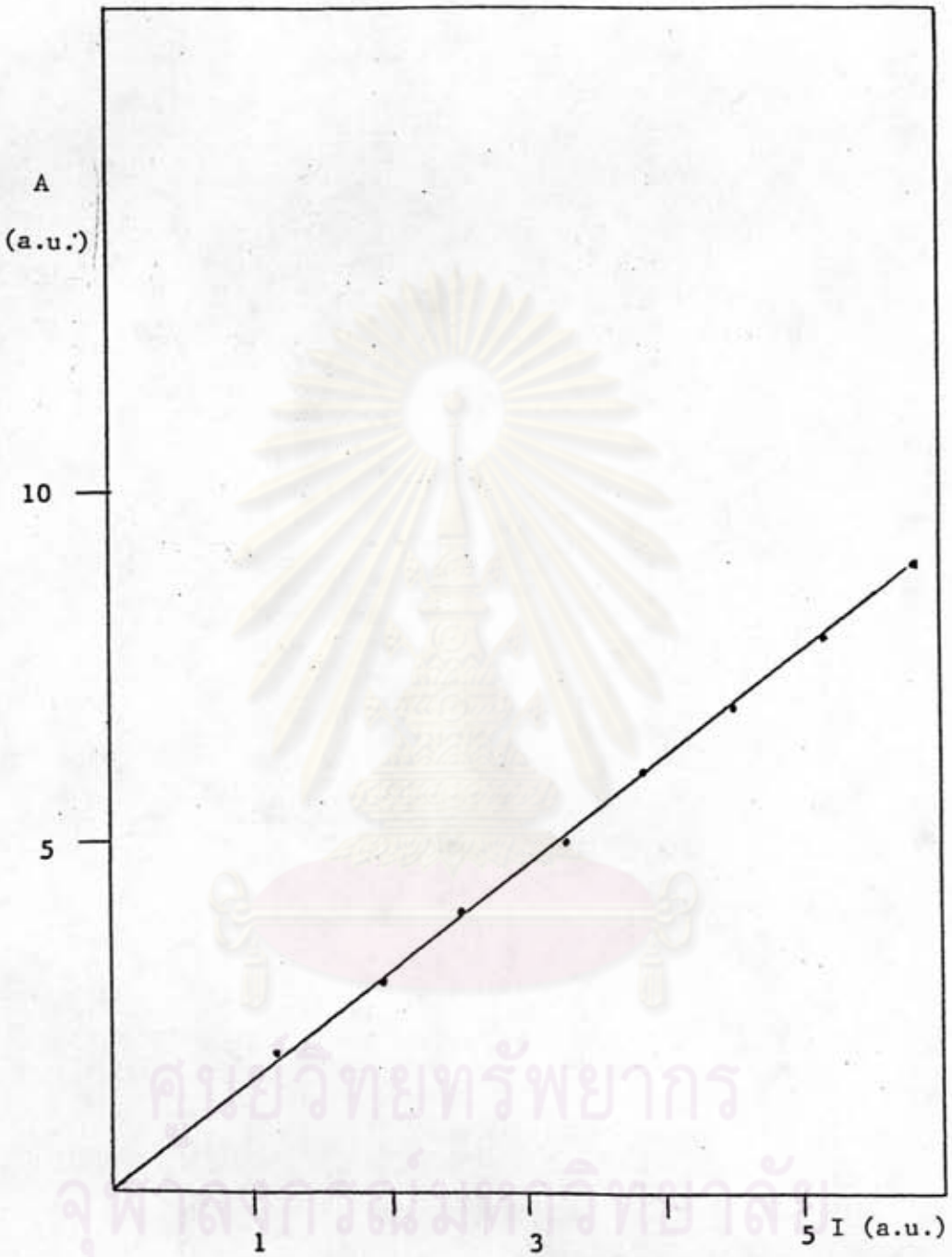
รูปที่ 5.12 แสดงผลตอบสนองต่อแสงของ $AgGaTe_2$ เมื่อวัดตามแบบกระแสคงที่ที่อุณหภูมิห้อง โดยเคลือบด้วยแสงความยาวคลื่นมากกว่า 1,050 nm

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.13 แสดงกราฟของสัญญาณ A กับความเข้มของแสง I จากสเปกโตรมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นของแสงจากสเปกโตรมิเตอร์ 850 nm วัดที่อุณหภูมิห้อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.14 แสดงกราฟของสัญญาณ A กับความเข้มของแสง I จากสเปกโตรมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นของแสงจากสเปกโตรมิเตอร์ 800 nm และเควนช์ด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 1,050 nm วัดที่อุณหภูมิห้อง