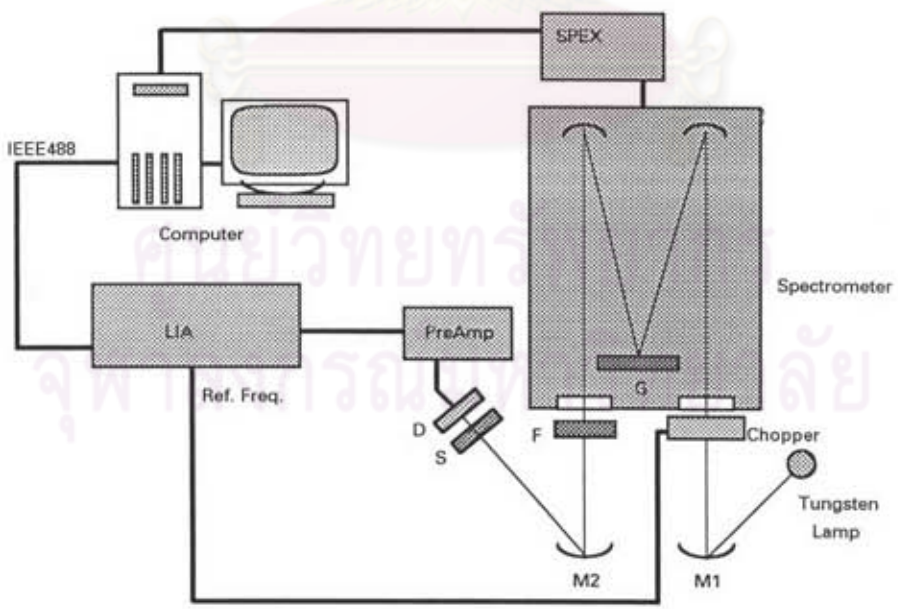
บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

1.การทดลองวัดสมบัติการดูดกลืนแสงของฟิลม์บาง

ในการทดลองนี้เราจะวัดค่าสัมประสิทธ์การดูดกลืนแสงของฟิลม์บางคอปเปอร์อินเดียมไดซีลีไนด์จัดเครื่องมือดังรูปที่ 4.1 แหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดทังสเทนถูกสะท้อนโดยกระจกเว้า M1 ผ่านตัวตัดแสง (chopper) เข้าไปในเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ สะท้อนกระจกเว้าภายในมายังเกรทติง แสงที่ออกจากเกรทติงจะเป็นแถบของสเปกตรัมแล้วสะท้อนกระจกเว้าภายในอีกบานหนึ่งออกมาที่ช่องทางออก ผ่านแผ่นกรองแสงมายังกระจกเว้า M2 ทะลุฟิลม์บางที่ต้องการศึกษาออกมาที่หัววัด (detector) สัญญาณจากหัววัดจะถูกขยายด้วย Pre-Amp. ซึ่งเป็นแบบขยายกระแส (current amplifier) แล้วส่งเข้าลอกอินแอมปลิฟลาย (lock-in amplifier) ซึ่งจะขยายสัญญาณ โดยเลือกเฉพาะที่ตรงกับความถี่ของสัญญาณอ้างอิงเท่านั้น แล้วสัญญาณจะถูกบันทึกโดยคอมพิวเตอร์โดยอัตโนมัติผ่านทางพอร์ทขนาน IEEE488



รูปที่ 4.1 แสดงการจัดระบบเครื่องมือวัดสำหรับการทดลองวัดสมบัติการดูดกลืนแสง

LIA ลอกอินแอมปลิฟลาย(Lock-In Amplifier)

G เกรทติง (grating)

S สารตัวอย่าง

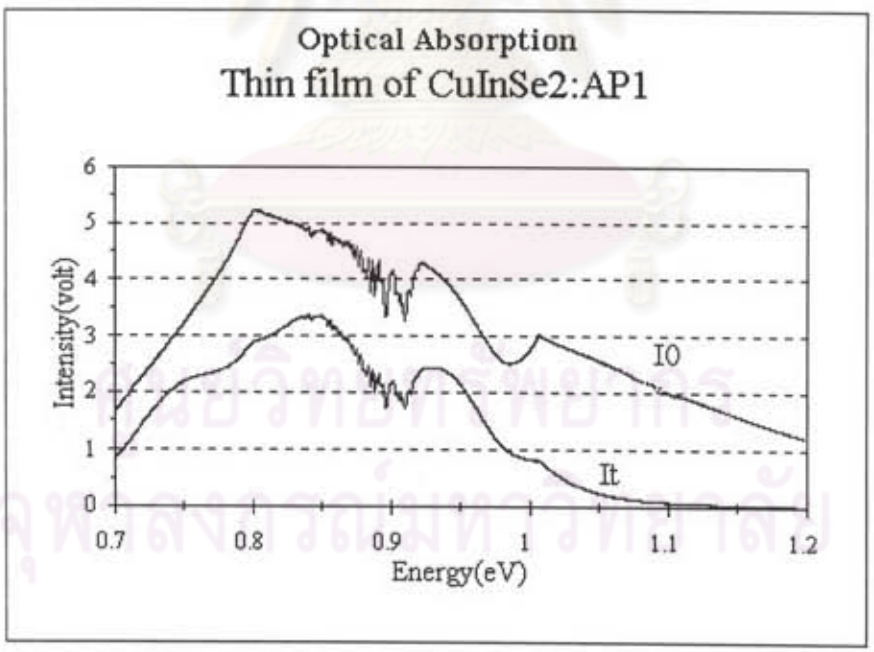
D หัววัด

F แผ่นกรองแสง

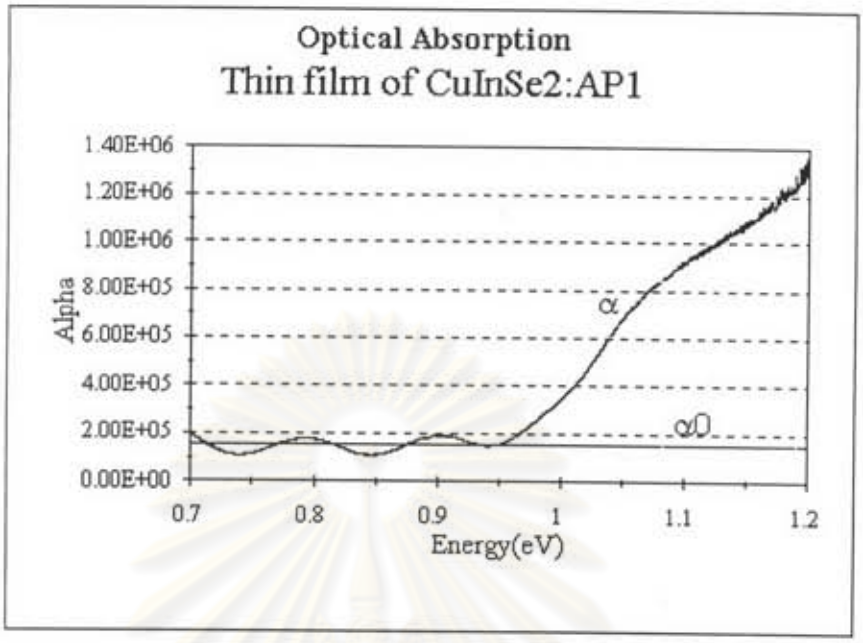
M1,M2,M3 กระจกเว้า

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

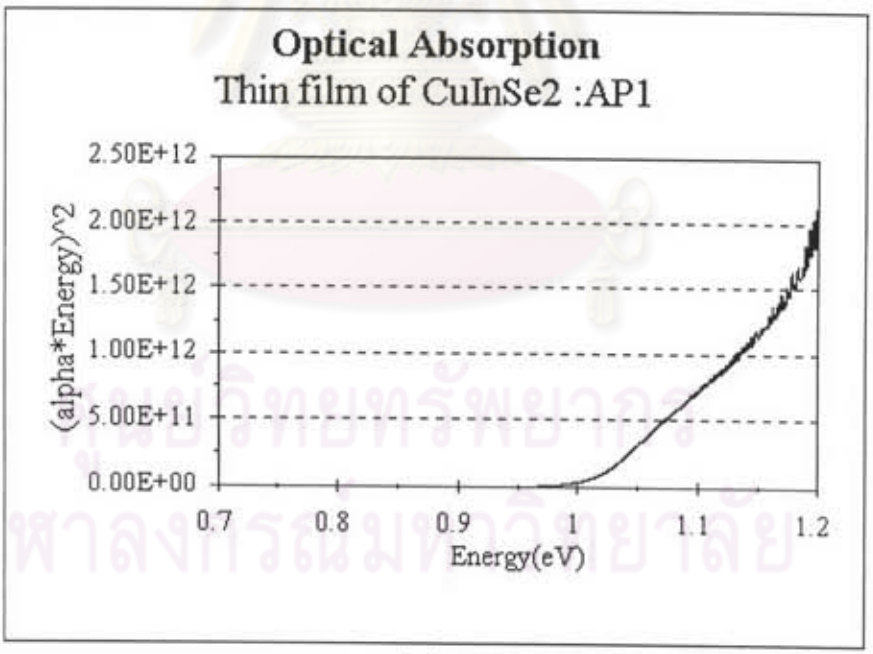
ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสำหรับฟิลม์บางคอปเปอร์อินเดียมไดซีลีไนด์แสดงในรูปที่ 4.2 (a) จะมีสเปกตรัม I_0 ซึ่งเป็นสเปกตรัมของชั้นฐานรอง และสเปกตรัม I_t ซึ่งเป็นสเปกตรัมของเนื้อสารที่ฉาบ ลงบนชั้นฐานรอง เรานำสเปกตรัมทั้ง 2 มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธ์การดูดกลืนแสงได้ดังรูปที่ 4.2 (b) และ (c) จะแสดงการคำนวณหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 4.2 (a) สเปกตรัมของ I_0 และ I_t (b) สเปกตรัมที่คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง และ(c)แสดงสเปกตรัมการคำนวณหาค่าช่องว่างแถบพลังงาน

สเปกตรัมที่ได้จากการวัดได้แก่ค่า I_t และ I_0 เราสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงแบบตรง(direct band gap)ตามสมการ

$$\alpha = \frac{1}{d}\ln\left(\frac{I_0}{I_t}\right)$$

และสามารถคำนวณหาค่าช่องว่างแถบพลังงานได้จากสมการ

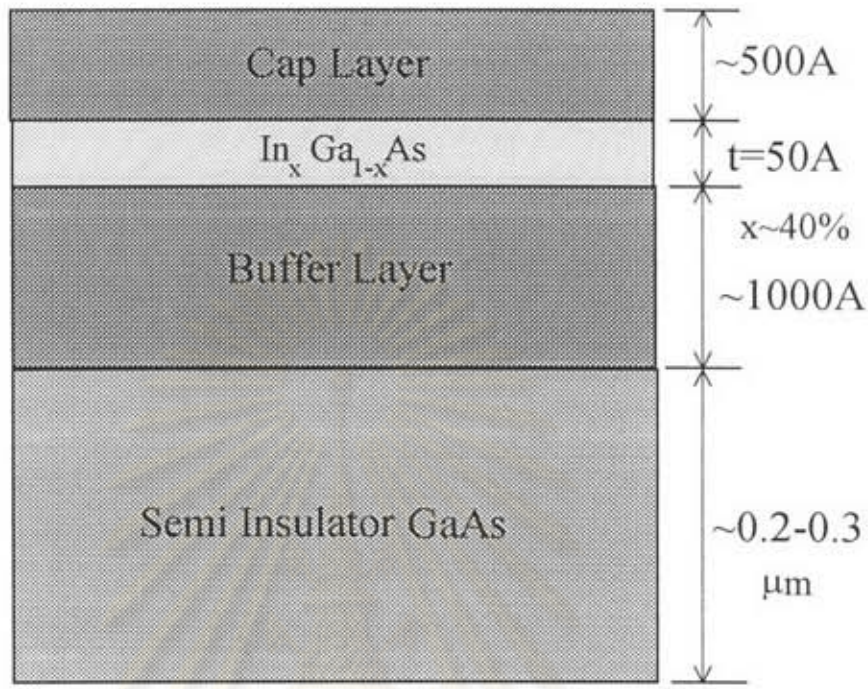
$$[(\alpha - \alpha_0)h\upsilon]^2 = A^2(h\nu - E_g)$$

จากผลการวัดฟิลม์บางของคอปเปอร์อินเดียมไดซีลีไนด์ที่มีความหนา 1.5 μm เราได้ค่าช่องว่างแถบพลังงานเท่ากับ 1 eV ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (c)

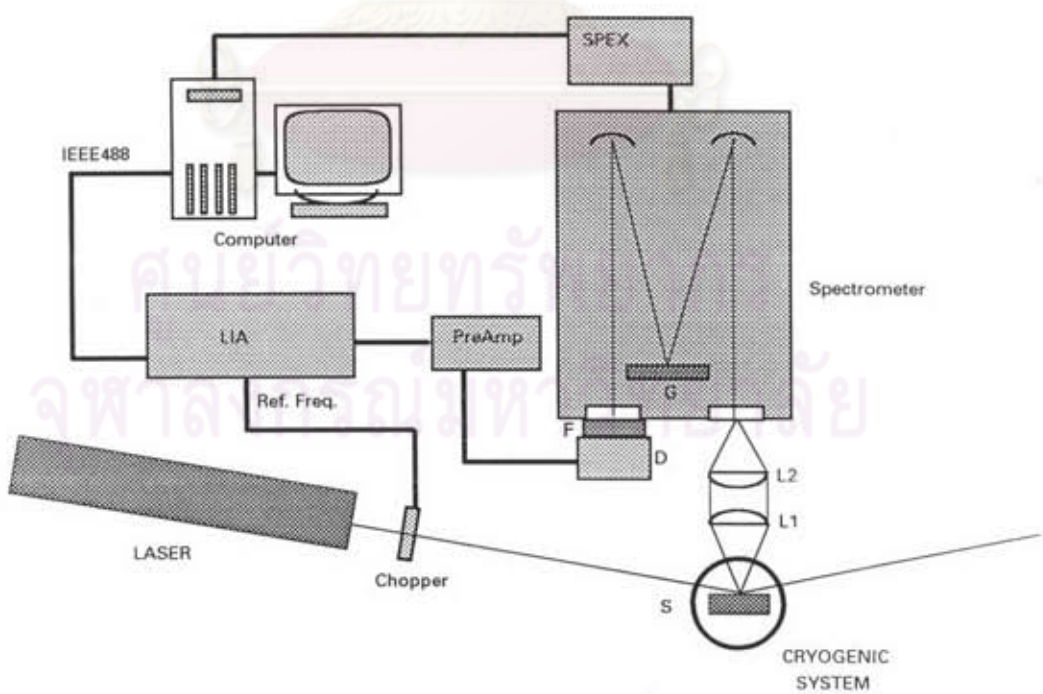
2.การทดลองวัดสมบัติการเรืองแสงของสารกึ่งตัวนำ

ในการทดลองโฟโตลูมิเนสเซนซ์นี้ใช้สารตัวอย่างที่เป็นควอนตัมเวล จัดการทดลองดังรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าในส่วนของเครื่องมือวัดยังใช้เหมือนเดิม แต่เปลี่ยนในส่วนของการจัดการทดลองทางแสง ในการทดลองนี้เราใช้เลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ไปกระตุ้นอิเล็กตรอนในควอนตัมเวลล์ ดังนั้นเราจึงต้องวาง chopper ไว้หน้าแสงเลเซอร์ จากทฤษฎีเราทราบว่าปรากฏการณ์โฟโตลูมิเนสเซนซ์จะเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิต่ำมากๆ เราจำเป็นต้องทำการทดลองที่อุณหภูมิต่ำและอยู่ในสุญญากาศ (cryogenic system)

ลักษณะของควอนตัมเวลล์ที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นดังรูปที่ 4.3 ซึ่งเตรียมโดยวิธี MBE (Molecular Beam Epitaxial) จากสวีเดน(รหัส QW1366) เป็น $In_xGa_{1-x}As$ มีจำนวนของ In เป็น 40% และ Ga 60% มีความหนาเท่ากับ 50 อังสตรอม ปลูกอยู่บนชั้นบัฟเฟอร์ (buffer layer)ซึ่งวางอยู่บนสารชั้นฐานของ SemiInsulator GaAs และปิดทับหน้าด้วยชั้นของแคป (cap layer)



รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะโครงสร้างของควอนตัมเวลล์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.4 แสดงการจัดระบบเครื่องมือวัดสำหรับการทดลองโฟโตลูมิเนสเซนส์

LIA ลอกอินแอมปลิฟลาย(LockIn Amplifier)

G เกรทติง (grating)

S สารตัวอย่าง

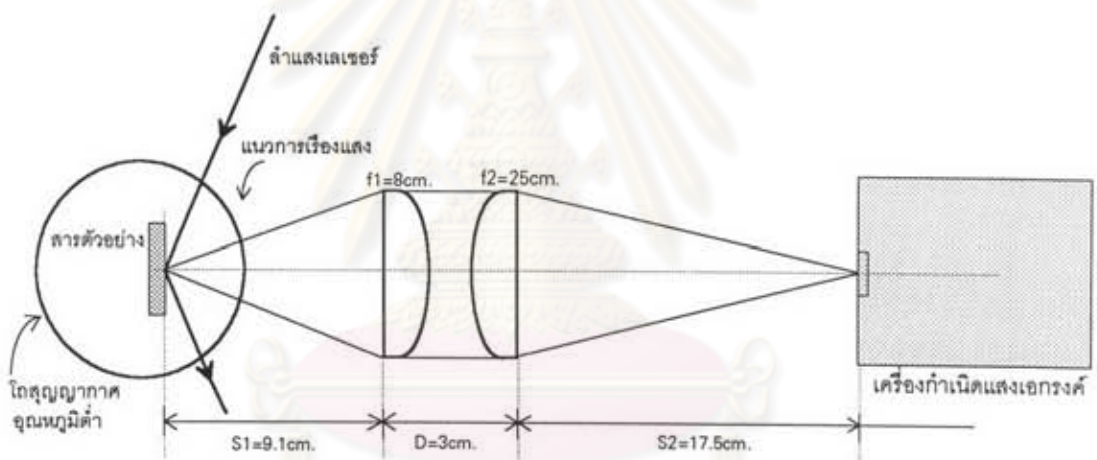
D หัววัด

F แผ่นกรองแสง

L1,L2 เลนส์รวมแสง

Cryogenic System ระบบควบคุมอุณหภูมิต่ำภายในสุญญากาศ

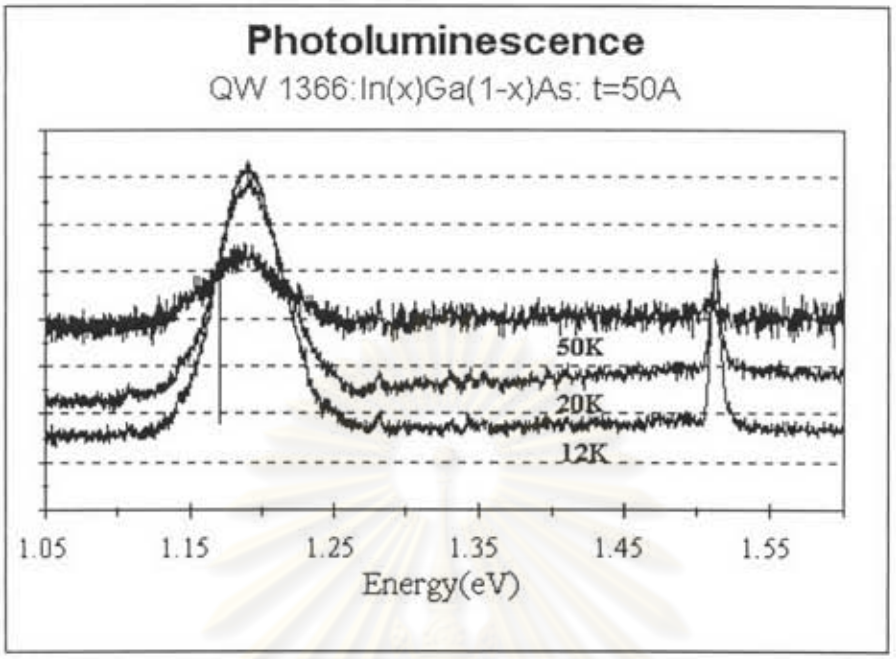
รายละเอียดของการจัดแนวลำแสงในส่วนของลำเลเซอร์และแนวของการเรืองแสงที่เกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงการจัดแนวลำแสงสำหรับการทดลองโฟโตลูมิเนสเซนส์

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ลักษณะสเปกตรัมของควอนตัมเวลล์ที่อุณหภูมิ 12 เคลวิน 20 เคลวิน และที่ 50 เคลวิน แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงผลการทดลองโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของควอนตัมเวลล์ที่อุณหภูมิต่างๆ

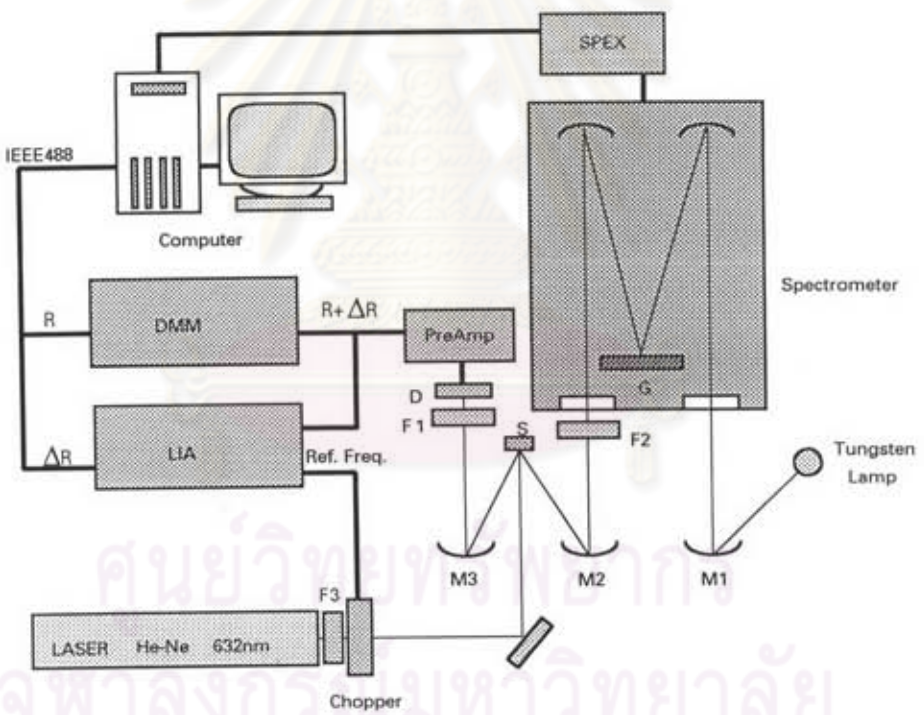
จากรูปที่ 4.6 ปรากฏยอดแหลม(peak) ที่ 1.156 eV ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าช่องว่างพลังงานของ $In_xGa_{1-x}As$ และที่ 1.52 eV มีค่าใกล้เคียงกับช่องว่างพลังงานของ GaAs เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นขนาดของยอดแหลมลดลง ตำแหน่งของยอดแหลมเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ที่น่าสังเกตคือความกว้างของยอดแหลม(bandwidth)ของ $In_xGa_{1-x}As$ มีค่ามากกว่าของ GaAs แสดงว่าโครงสร้างของ GaAs มีความเสถียรมากกว่า $In_xGa_{1-x}As$

3.การทดลองโฟโตรีเฟลกแทนซ์

สำหรับการทดลองโฟโตรีเฟลกแทนซ์จะมีแหล่งกำเนิดแสง 2 แหล่งได้แก่ แสงขาว (หลอดไส้ทังสเทน) เป็น probe light และแสงเลเซอร์เป็น pump light ดังนั้นในส่วนของเครื่องมือวัดจะมีดิจิตอลมัลติมิเตอร์เพิ่มขึ้นอีกเครื่องหนึ่งโดยจะวัดกระแสจากแสงสะท้อนจากสารตัวอย่างที่เกิดจากแสงขาว(R) ส่วนลอกอินแอมปลิฟลายจะวัดสัญญาณที่เกิดจากการกระตุ้นด้วยแสงเลเซอร์(ΔR) จากรูปการทดลองจะเห็นว่า chopper วางไว้ที่หน้าลำแสงเลเซอร์ เนื่องจากสัญญาณที่เกิดจากการกระตุ้นด้วยเลเซอร์จะมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับสัญญาณจากแสงขาว

ก่อนการทดลองเพื่อให้ได้สัญญาณที่วัดได้ง่ายเราจำเป็นต้องเตรียมผิวหน้าของสารตัวอย่างโดยขัดผิวหน้าด้วยกระดาษทรายละเอียด หลังจากนั้นขัดด้วยผงขัดชนิด C มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเม็ด 1 μm ผงขัดชนิด A มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเม็ด 0.3 μmและสุดท้ายชนิด B มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเม็ด 0.05 μm (ดูรายละเอียดวิธีการเตรียมผิวหน้าจากงานของคุณคำเผย [8])

แสงเลเซอร์ฉายตั้งฉากกับผิวของสารที่ต้องการวัดโดยให้ขนาดภาพของแสงเลเซอร์ที่ตกกระทบบนผิวของสารตัวอย่างเท่ากันพอดีกับภาพของแสงเอกรงค์ที่ออกมาจากเครื่องสเปกโทรมิเตอร์แล้วตกกระทบบนผิวสารตัวอย่าง ในกรณีที่ต้องการดูพฤติกรรมของสารตัวอย่างที่อุณหภูมิต่าง ๆ เราก็นำชิ้นสารมาติดตั้งในระบบ Cryogenic เช่นเดียวกับกรณีของการวัดสมบัติการเรืองแสง



รูปที่ 4.7 แสดงการจัดเครื่องมือสำหรับการทดลองโฟโตรีเฟลกแทนซ์

LIA ลอกอินแอมปลิฟลาย (LockIn Amplifier)

DMM โวลต์มิเตอร์ (Digital multimeter)

SPEX เครื่องควมคุมสเปกโตรมิเตอร์

G เกรทติง

S สารตัวอย่าง

D หัววัด

F1,F2,F3 แผนกรองแสง

M1,M2,M3 กระจกเว้า

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ลักษณะของสเปกตรัมโฟโตรีเฟลกแทนซ์แสดงในรูปที่ 4.8 สัญญาณที่ได้จากเครื่องมือวัดได้แก่ I_R จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ และ $I_{\Delta R}$จากเครื่องลอกอินแอมปลิฟลายเราจะนำข้อมูลสัญญาณที่ได้มาคำนวณหาค่า $\frac{\Delta R}{R}$ แล้วทำฟิตติง (curve fitting) กับสมการ

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta R}{R}(\phi_1) + \frac{\Delta R}{R}(\phi_2)$$

โดยที่ $$\frac{\Delta R}{R}(\phi_i) = \frac{C_i \sin^{5/2}\phi_i}{\Gamma_i^{5/2}} \cos\left(\frac{5}{2}\phi_i - \theta_i\right)$$

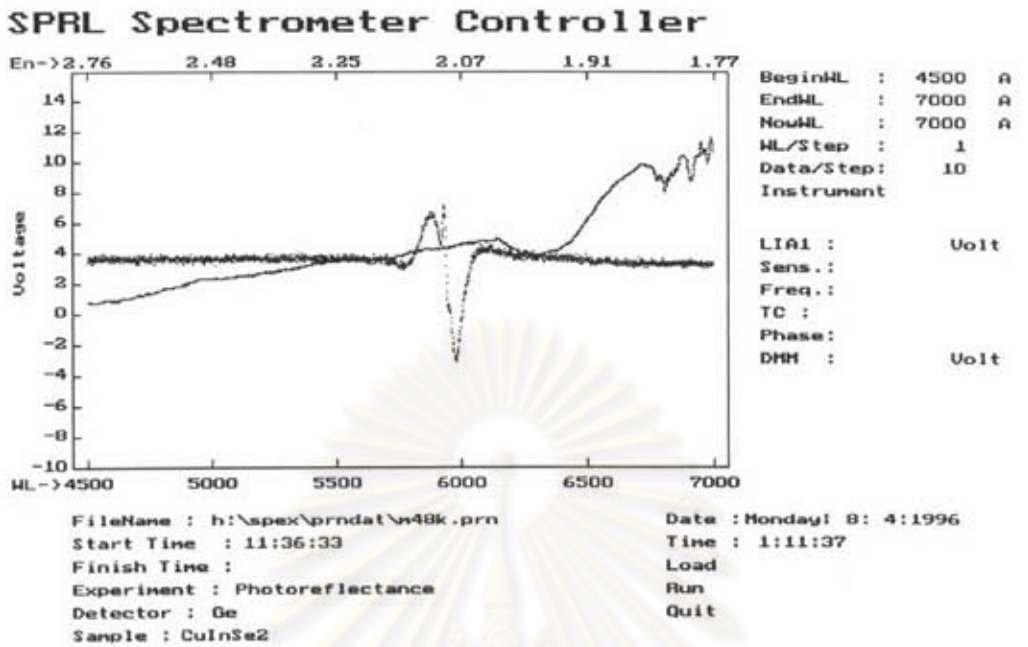
θ phase factor

Γ พารามิเตอร์บรอเดนนิ่ง (brodening parameter)

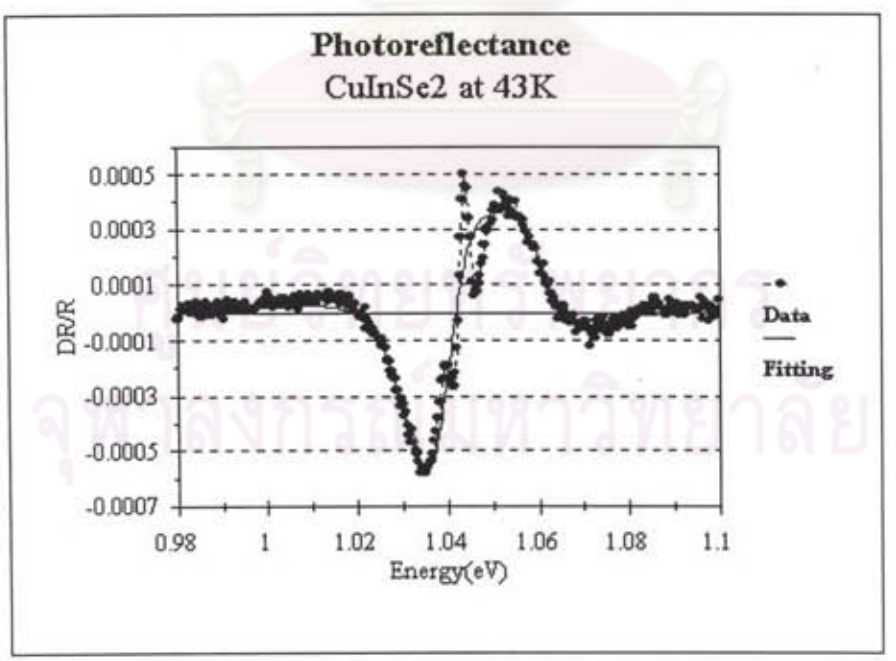
E_g ช่องว่างแถบพลังงาน (energy gap)

และ $$\phi_i = \arctan\left[\frac{\Gamma_i}{E - E_{gi}}\right] \quad ; i = 1,2$$

เพื่อที่จะได้พารามิเตอร์ C , θ , Γ และ E_g ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้จะบอกถึงลักษณะโครงสร้างของสารที่เรานำมาทดสอบ



รูปที่ 4.8 ภาพแสดงสเปกตรัมโฟโตรีเฟลกแทนซ์ของคอปเปอร์อินเดียมไดซีลีไนด์ที่อุณหภูมิ 43 K บนจอคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.9 แสดงสเปกตัมของ $\frac{\Delta R}{R}$ ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของคอปเปอร์อินเดียมไดซีลีไนด์ที่อุณหภูมิ 43 เคลวิน

ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณมีดังนี้

$C_1 = 1.2 \times 10^{-8}$, $C_2 = 3 \times 10^{-9}$

$E_{g1} = 1.038262219$, $E_{g2} = 1.058578207$

$\Gamma_1 = 0.012891721$, $\Gamma_2 = 0.011884$

$\theta_1 = 1.636418322$, $\theta_2 = 4.768544$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย