

### บทที่ 3

#### สารตัวอย่างและเครื่องมือ

##### 3.1 สารตัวอย่าง GaAs:Be และ GaAs:C

ในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการทดลองการกระเจิงแบบรามานและการเปล่งแสงของ GaAs:Be และทำการวิเคราะห์ผลการเปล่งแสงของ GaAs:C โดยสารตัวอย่าง GaAs:Be และ GaAs:C ได้รับความอนุเคราะห์จาก Dr. W. K. Liu บริษัท ไอควีอี คอร์ปอเรชั่น ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยสารตัวอย่างที่ได้รับมีการปลูกชั้นที่มีการเจือด้วยวิธีโมเลกุลาร์ บีม เอพิแทกซี (Molecular Beam Epitaxy, MBE)

ตารางที่ 3.1 และ 3.2 แสดงสมบัติของสารตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดลอง ซึ่งการปลูกชั้นการเจือทั้งหมดจะทำบนชั้นฐานรอง(substrate) ที่มีอุณหภูมิ 600 °C โดยทั้งหมดเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี ค่าความเข้มข้นพาหะของโฮลและสภาพเคลื่อนที่ได้วัดโดยวิธีฮอลล์ ความเข้มข้นพาหะของ GaAs:Be มีค่าระหว่าง  $2.81 \times 10^{18} - 7.44 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  และมีค่าสภาพเคลื่อนที่ได้ตั้งแต่ 143 – 67  $\text{cm}^2/\text{V.s}$  ซึ่งจะมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นพาหะเพิ่มขึ้น GaAs:C มีความเข้มข้นพาหะในช่วง  $1.4 \times 10^{17} - 1.4 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  โดยมีสภาพเคลื่อนที่ได้ในช่วง 140 – 60  $\text{cm}^2/\text{V.s}$

ตารางที่ 3.1 แสดงสมบัติของ GaAs:Be ที่ใช้ในการทดลอง

Sample No.	Hole concentration ( $\text{cm}^{-3}$ )	Mobility ( $\text{cm}^2/\text{V.s}$ )	Thickness ( $\text{\AA}$ )
11433	$2.81 \times 10^{18}$	143	5000
11443	$1.04 \times 10^{19}$	99	5000
11985	$2.83 \times 10^{19}$	83	5000
11989	$7.44 \times 10^{19}$	67	5000

ตารางที่ 3.2 แสดงสมบัติของ GaAs:C ที่ใช้ในการทดลอง

Sample No.	Hole concentration (cm <sup>-3</sup> )	Mobility (cm <sup>2</sup> /V.s)	Thickness (°A)
10981	1.4x10 <sup>17</sup>	140	7500
10983	3.9x10 <sup>18</sup>	131	7500
10514	5.2x10 <sup>18</sup>	127	5000
10985	3.3x10 <sup>19</sup>	81	5000
10977	6.6x10 <sup>19</sup>	71	5000
10986	9.1x10 <sup>19</sup>	67	3500
10511	1.05x10 <sup>20</sup>	64	5000
10512	1.4x10 <sup>20</sup>	57	5000

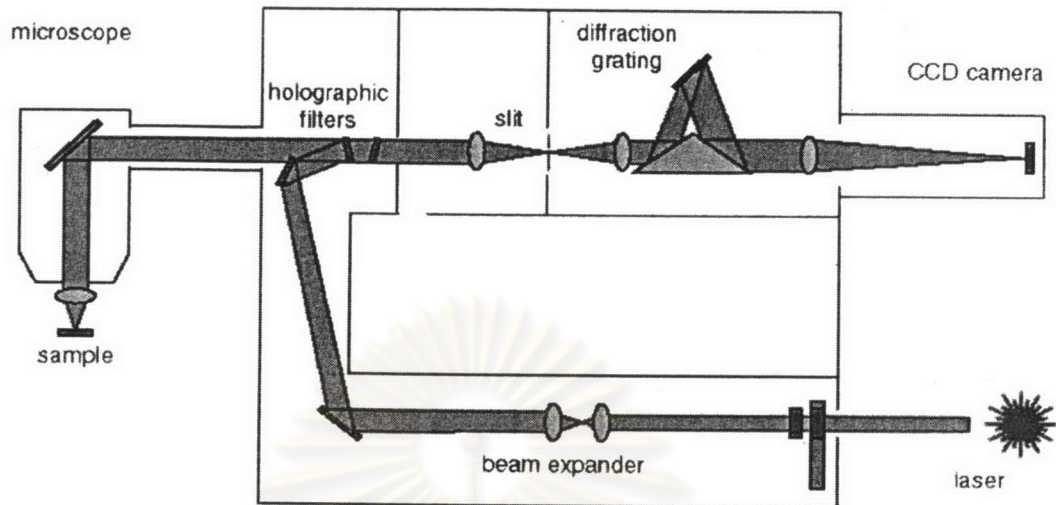
### 3.2 เครื่องมือในการทดลอง

ในการทดลองทั้งการกระเจิงแบบรามานและการเปล่งแสง ได้ทำการทดลองโดยเครื่อง Rm 1000 ของบริษัท Reinshaw ประเทศอังกฤษ โดยได้แยกทำการทดลองดังนี้

GaAs:Be ได้ทำการทดลองการกระเจิงแบบรามานและการเปล่งแสง ณ สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (GIT) โดยให้เลเซอร์อาร์กอนไอออนที่มีความยาวคลื่น 488 nm (2.541 eV) เป็นตัวกระตุ้น

GaAs:C ได้ทำการทดลองการเปล่งแสง ณ บริษัท Reinshaw และ Imperial college ประเทศอังกฤษ สำหรับการทดลองที่บริษัท Reinshaw ใช้เลเซอร์อาร์กอนไอออนที่มีความยาวคลื่น 514.5 nm (2.410 eV) เป็นตัวกระตุ้น ส่วนที่ Imperial college ได้ทำการทดลองโดย M. L. Hsieh ซึ่งใช้เลเซอร์อาร์กอนไอออนที่มีความยาวคลื่น 488 nm (2.541 eV) เป็นตัวกระตุ้น

รูปที่ 3.1 แสดงทางเดินของแสงภายในเครื่อง Rm 1000 ของบริษัท Reinshaw โดยแสงเลเซอร์จะถูกส่งผ่าน beam expander ซึ่งจะทำหน้าที่ขยายลำของแสงเลเซอร์ จากนั้นจะถูกเบี่ยงเบนทิศทางให้แสงตกกระทบสารตัวอย่าง แสงที่กระเจิงออกมาจากสารตัวอย่างซึ่งเป็นการกระเจิงแบบย้อนกลับ (back scattering) ก็จะถูกเบี่ยงเบนให้ผ่านมายัง holographic filters ซึ่งจะทำหน้าที่ตัดความเข้มแสงที่ความถี่ของแสงเลเซอร์ออก ให้เหลือเฉพาะแสงที่เกิดจากการกระเจิงเท่านั้น แสงจะถูกส่งผ่านมายังสลิตและเกรตติงเพื่อเลือกความถี่ของแสงเข้าสู่ระบบการวัดด้วย CCD camera ผลของแผ่นกรองแสงที่ใช้ในเครื่อง Rm 1000 ของสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับชาติมีความสามารถในการทดลองวัดความถี่รามานได้ตั้งแต่ 250 cm<sup>-1</sup> เป็นต้นไป



รูปที่ 3.1 แสดงทางเดินของแสงภายในเครื่อง Rm 1000 ของบริษัท Reinshaw

### 3.3 การวัดฮอลล์ (Hall measurement)

ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall effect) เป็นปรากฏการณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดสภาพด้านทานไฟฟ้า ความเข้มข้นพาหะ ชนิดของพาหะ และสภาพเคลื่อนที่ได้ โดยอาศัยการจ่ายกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กแก่สารตัวอย่างดังรูปที่ 3.2 คือการจ่ายกระแสไฟฟ้าในทิศทาง  $x$  พร้อมกับให้สนามแม่เหล็กในทิศทาง  $z$  จะทำให้เกิดแรงแม่เหล็กขึ้นกับพาหะที่เกี่ยวข้องกับกระแสเช่น อิเล็กตรอน (หรือโฮลในกรณีของสารกึ่งตัวนำชนิดพี) มีค่าเป็น

$$\vec{F} = -e\vec{v} \times \vec{B} \quad (3.1)$$

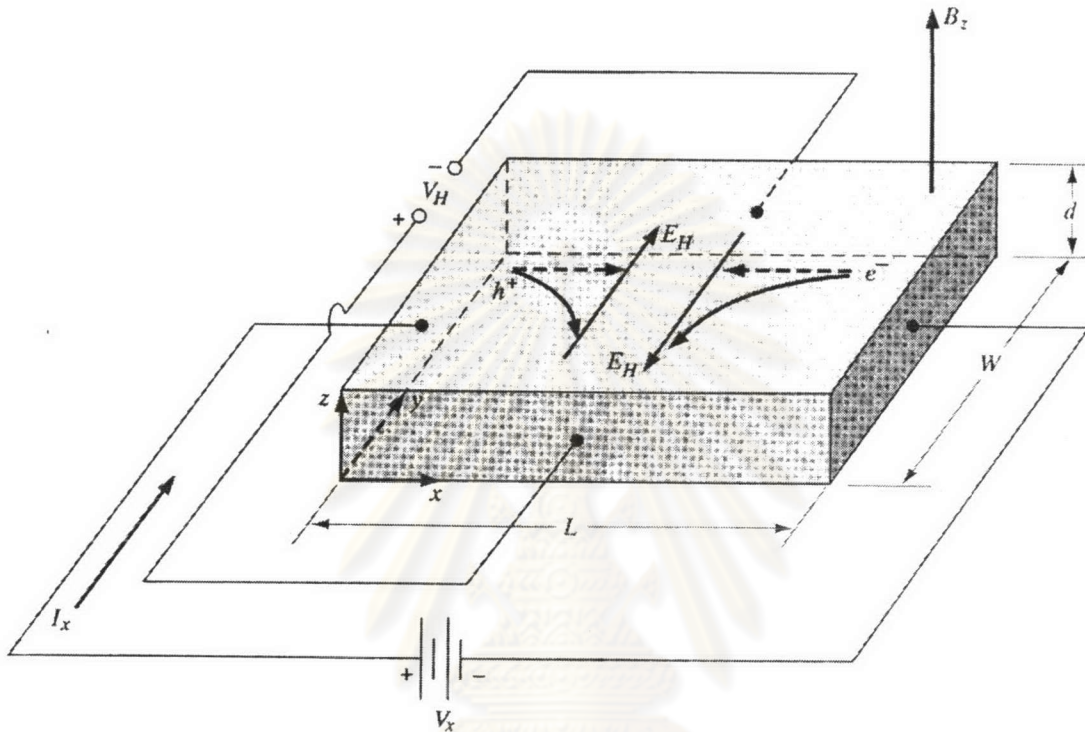
ทำให้อิเล็กตรอนไปอยู่ในทิศ  $-y$  เมื่ออิเล็กตรอนมาออกันมากก็จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นในทิศ  $y$  ซึ่งเป็นสนามไฟฟ้าตามขวางหรือสนามฮอลล์ (Hall field) โดยที่สมมติแรงลอเรนส์จะมีค่าเท่ากับแรงจากสนามตามขวาง ผลของสนามตามขวางทำให้เกิดความต่างศักย์ตามขวางหรือ Hall Voltage ( $V_H$ ) ขึ้น โดยเราสามารถหาความเข้มข้นพาหะได้จากสัมประสิทธิ์ของฮอลล์ (Hall coefficient,  $R_H$ ) ซึ่งมีค่าเป็น

$$R_H = \frac{tV_H}{BI} \quad (3.2)$$

เมื่อ  $t$  คือความหนาของสารตัวอย่าง

$B$  คือความเข้มสนามแม่เหล็ก

$I$  คือกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 3.2 แสดงรูปแบบการวัดความเข้มข้นพาหะด้วยวิธีการวัดปรากฏการณ์ฮอลล์ [10]

และทฤษฎีฮอลล์ได้ทำนายค่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์เป็น[11]

$$R_H = \frac{r(p - b^2 n)}{q(p + bn)^2} \quad (3.3)$$

เมื่อ  $q$ ,  $n$ ,  $p$  และ  $r$  คือประจุไฟฟ้า, ความเข้มข้นอิเล็กตรอน, ความเข้มข้นโฮลและ แฟกเตอร์การกระเจิง (scattering factor) ตามลำดับและ  $b = \mu_n / \mu_p$  โดยแฟกเตอร์การกระเจิงมีค่าอยู่ระหว่าง 1 และ 2 ขึ้นอยู่กับกลไกการกระเจิงในสารกึ่งตัวนำ แฟกเตอร์การกระเจิงยังขึ้นกับสนามแม่เหล็กและอุณหภูมิ ในกรณีที่ความเข้มสนามแม่เหล็กมีค่าสูง  $r$  มีค่าเข้าใกล้ 1 แฟกเตอร์การกระเจิงสามารถหาได้จากการวัด  $R_H$  ในสนามแม่เหล็กสูง โดย  $r = R_H(B) / R_H(B = \infty)$  เมื่อ  $B$  คือความเข้มสนามแม่เหล็ก แฟกเตอร์การกระเจิงที่หาในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นของ GaAs ที่เป็นฟังก์ชันของความ

เข็มสนามแม่เหล็กพบว่ามีค่าเปลี่ยนแปลงจาก  $r = 1.17$  (ที่  $B = 0.1$  kG) ถึง  $r = 1.006$  (ที่  $B = 83$  kG) ถ้าสนามแม่เหล็กมีความเข้มสูงค่าแฟกเตอร์การกระเจิงจะมีค่าเข้าใกล้ 1 แต่โดยปกติสนามแม่เหล็กจะมีค่า 0.5 ถึง 10 kG ซึ่งทำให้  $r > 1$  สำหรับการวัดฮอลล์ทั่วไป

สำหรับสารกึ่งตัวนำชนิดพี เมื่อ  $p \gg n$  สมการ (3.3) จะลดรูปเหลือ

$$R_H = \frac{r}{qp} \quad (3.4)$$

และสำหรับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นจะเป็น

$$R_H = -\frac{r}{qn} \quad (3.5)$$

สมการที่ (3.4) และ (3.5) แสดงให้เห็นว่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์สามารถใช้ในการหาชนิดของพาหะและความเข้มข้นพาหะได้ โดยปกติจะสมมติ  $r$  มีค่าเท่ากับ 1 การสมมตินี้มีผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 30% [11]

พิจารณาสารกึ่งตัวนำชนิดพี ที่มีความเข้มข้นตัวรับ  $N_A$  และความเข้มข้นตัวให้  $N_D$  ความเข้มข้นพาหะของโฮล ( $p$ ) จะเขียนสมการได้เป็น [11]

$$\frac{p(p + N_D) - n_i^2}{(N_A - N_D - p - n_i^2/p)} = \frac{N_V}{g} e^{-E_A/kT} \quad (3.6)$$

เมื่อ  $N_V$  คือความหนาแน่นสถานะยังผลในแถบวาเลนซ์

$g$  คือแฟกเตอร์ดีเจนเนอเรซีของตัวรับ

$E_A$  คือระดับพลังงานของตัวรับเหนือแถบวาเลนซ์โดยมีจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์เป็นจุดอ้างอิง สมการ (3.6) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปที่ง่ายได้ดังนี้

1. ที่อุณหภูมิต่ำเมื่อ  $p \ll N_D$ ,  $p \ll (N_A - N_D)$  และ  $n = n_i^2/p \approx 0$

$$p \approx \frac{(N_A - N_D)N_V}{gN_D} e^{-E_A/kT} \quad (3.7)$$

2. เมื่อ  $N_D$  มีค่าน้อยมากละทิ้งได้

$$p \approx \sqrt{\frac{(N_A - N_D)N_V}{g}} e^{-E_A/2kT} \quad (3.8)$$

3. ที่อุณหภูมิสูงเมื่อ  $p \gg n$

$$p = N_A - N_D \quad (3.9)$$

พิจารณาสมการที่ (3.7) และ (3.8) ความชันของกราฟ  $\log(p)$  และ  $1/T$  จะให้ค่าของ  $E_A$  และ  $E_A/2$  ตามลำดับ



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย