

## บทที่ 2

### สมบัติของสารกึ่งตัวนำแคดเมียมซัลไฟด์ และการประยุกต์เป็นอุปกรณ์เรืองแสงโดยไฟฟ้า

บทนี้จะกล่าวถึงสมบัติของสารกึ่งตัวนำแคดเมียมซัลไฟด์ โดยเริ่มจากโครงสร้างผลึก และสมบัติการดูดกลืนแสง จากนั้นจะกล่าวถึงการนำสารกึ่งตัวนำแคดเมียมซัลไฟด์ไปประยุกต์เป็นอุปกรณ์เรืองแสง ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

#### 2.1 โครงสร้างผลึกของสารกึ่งตัวนำแคดเมียมซัลไฟด์ [1]

สารกึ่งตัวนำแต่ละชนิดจะมีโครงสร้างผลึก และโครงสร้างแถบพลังงานแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับรูปแบบการจัดเรียงตัวของอะตอมในโครงสร้าง การมีโครงสร้างที่แตกต่างกันนี้เองจึงทำให้สารกึ่งตัวนำมีสมบัติแตกต่างกัน เช่น การดูดกลืนแสง และความแข็ง เป็นต้น โดยหัวข้อนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างผลึกของสารกึ่งตัวนำแคดเมียมซัลไฟด์ และการศึกษาโครงสร้างผลึกจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

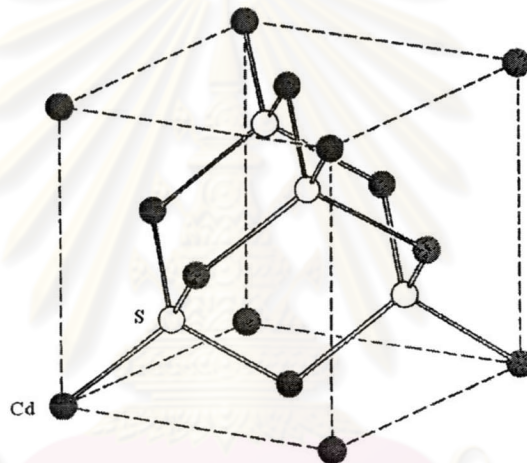
##### 2.1.1 โครงสร้างผลึกของแคดเมียมซัลไฟด์

โครงสร้างผลึกของแคดเมียมซัลไฟด์ เกิดได้ 2 แบบด้วยกัน คือ Zincblende และ Wurtzite ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

##### 2.1.1.1 โครงสร้างผลึกแบบ Zincblende

โครงสร้างผลึกแบบ Zincblende หรือ Cubic zinc sulfide structure มีลักษณะคล้าย โครงสร้างแบบเพชร โดยมีพันธะระหว่างอะตอมเป็นแบบ tetrahedral คือ บริเวณรอบ ๆ อะตอมแต่ละอะตอมจะมีอะตอมเพื่อนบ้านที่อยู่ใกล้ที่สุด (nearest neighbors) และมีระยะห่างเท่ากันจำนวน 4 อะตอม แต่ละแลตทิซมูลฐาน (basis lattice) เกิดจากการนำแลตทิซย่อย (sublattice) แบบกึ่งกลางผิวหน้าลูกบาศก์ (face-centered cubic lattices) ซึ่งมีอะตอม

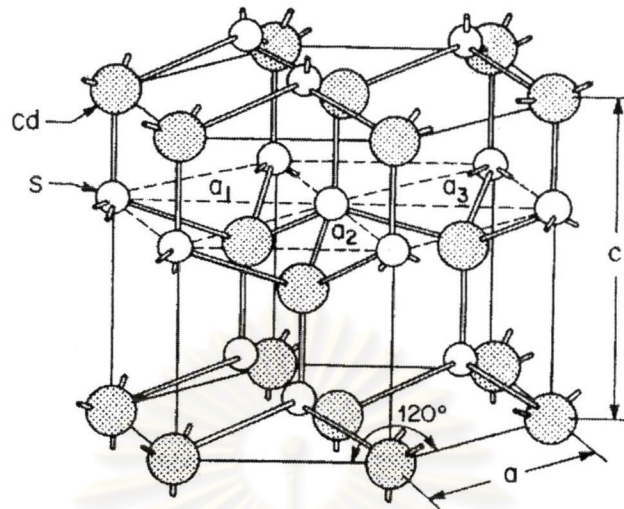
ต่างชนิดกันวางซ้อนเหลื่อมกันเป็นระยะ  $\frac{1}{4}$  ตามแนวเส้นแท่งมุมของลูกบาศก์ โดยที่หนึ่งหน่วยเซลล์จะมี 8 อะตอม ซึ่งประกอบด้วยอะตอมของธาตุ 2 ชนิด แต่ละชนิดมี 4 อะตอม คือถ้าอะตอมของ Cd อยู่ที่  $0\ 0\ 0$ ,  $0\ \frac{1}{2}\ \frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{2}\ 0\ \frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{2}\ \frac{1}{2}\ 0$  ตำแหน่งของอะตอม S อยู่ที่  $\frac{1}{4}\ \frac{1}{4}\ \frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{4}\ \frac{3}{4}\ \frac{3}{4}$ ,  $\frac{3}{4}\ \frac{1}{4}\ \frac{3}{4}$ ,  $\frac{3}{4}\ \frac{3}{4}\ \frac{1}{4}$  ดังรูปที่ 2.1 ผลึกที่มีโครงสร้างแบบนี้ได้แก่ ZnS, CdSe, AlSb, BN, BP, GaSb, GaAs, GaP เป็นต้น ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีความสำคัญสำหรับประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และอุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ (optoelectronics)



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างแบบ Zincblende ของ CdS

### 2.1.1.2 โครงสร้างผลึกแบบ Wurtzite

โครงสร้างผลึกแบบ Wurtzite หรือ Hexagonal zinc sulfide structure มีพันธะของอะตอมในโครงสร้างเหมือนกับ Cubic zinc sulfide structure แต่ต่างกันที่การจัดเรียงตัวระนาบของกลุ่ม tetrahedral bond ของอะตอมในชั้นที่ 2 ขึ้นไป โครงสร้างแบบนี้เกิดจากการนำโครงสร้างผลึกย่อยแบบ hexagonal closed-packed โดยมีอะตอมต่างชนิดกันวางซ้อนเหลื่อมกันเป็นระยะ  $\frac{5}{8}$  ตามแนวแกน c โดยที่หนึ่งหน่วยเซลล์จะมี 8 อะตอม ซึ่งประกอบด้วยอะตอมของธาตุ 2 ชนิด แต่ละชนิดมี 4 อะตอม ดังรูปที่ 2.2 ผลึกที่มีโครงสร้างแบบนี้ได้แก่ GaN, ZnS เป็นต้น



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างแบบ Wurtzite ของ CdS

## 2.1.2 การศึกษาโครงสร้างผลึกจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ [2]

### 2.1.2.1 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานสูง ความยาวคลื่นอยู่ในช่วงระหว่าง 0.05-0.25 nm เมื่อผ่านช่องว่างระหว่างอะตอมในผลึกก็จะเกิดการเลี้ยวเบนเกิดขึ้น และหลังจากผ่านโครงสร้างผลึกออกมา ก็จะมีการแทรกสอดทั้งแบบเสริมและหักล้าง นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษชื่อ แบริก (Bragg) ได้ตั้งกฎการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ไว้ว่า รังสีเอกซ์จะแทรกสอดกันแบบเสริมมากที่สุด เมื่อมีการกระเจิงออกมาจากแต่ละระนาบ ด้วยระยะที่แตกต่างกันเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่นรังสีเอกซ์ และเรียกกฎนี้ว่ากฎของแบรกก์ ดังสมการ

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

- เมื่อ  $\lambda$  คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์  
 $d_{hkl}$  คือ ระยะระหว่างระนาบที่ขนานกัน  
 $\theta$  คือ มุมสะท้อนจากระนาบซึ่งจะเท่ากับมุมตกกระทบ  
 $n$  คือ อันดับการเลี้ยวเบนซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3, ...

จากการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ระนาบต่าง ๆ ในผลึก แล้วเกิดการแทรกสอดแบบเสริม นั่นคือ ความเข้มรังสีเอกซ์ที่เลี้ยวเบนมีค่ามาก สังเกตได้จากยอดในรั้วของการเลี้ยวเบนจะสูง สำหรับธาตุ หรือสารกึ่งตัวนำชนิดเดียวกัน ยอดของการเลี้ยวเบนที่เกิดขึ้นจะเกิดที่มุมเลี้ยวเบนเดิมเสมอ โดย มุมเลี้ยวเบนคือ มุมระหว่างรังสีสะท้อนทำกับระนาบที่ขนานกับรังสีตกกระทบซึ่งมีค่า  $2\theta$  โดย ความเข้มของรังสีเอกซ์ที่เลี้ยวเบนกับมุมเลี้ยวเบนจะหาได้จาก การวัดของเครื่อง Diffractometer

### 2.1.2.2 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึก

ข้อมูลที่ได้จากรีวการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ในโครงสร้างผลึกสามารถนำไป คำนวณหาค่าคงที่ของโครงสร้างได้ โดยพิจารณาดังต่อไปนี้

โครงสร้างผลึกแบบซิงเบลนด์ (zincblende) จัดอยู่ในระบบผลึกแบบลูกบาศก์ (cubic) โดย  $a = b = c$  และ  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่โครงสร้างผลึก ค่าดรรชนีมิลเลอร์ และระยะห่างระหว่างระนาบที่ขนานกันดังสมการ

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

เมื่อแทนสมการที่ (2.2) ลงในสมการที่ (2.1) จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

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

เมื่อ  $a$  คือ ค่าคงที่ของโครงผลึก

โครงสร้างผลึกแบบ Wurtzite จัดอยู่ในระบบผลึกแบบเฮกซะโกนอล โดยมีค่าต่าง ๆ  $a = b \neq c, \alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$  จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

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

เมื่อแทนสมการที่ (2.4) ลงในสมการที่ (2.1) จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

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

จากรีวการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ เราจะได้ค่ามุมแบรกก์ที่ระนาบ  $(hkl)$  ต่าง ๆ และเมื่อนำค่านี้แทนลงในสมการที่ (2.5) แล้วนำผลทั้งหมดมาคำนวณด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (least square method) ก็จะสามารถหาค่าคงที่ของโครงสร้างผลึกได้ ตามสมการดังนี้

$$\frac{1}{a^2} = \frac{\sum_i (l_i^2)^2 \sum_i (h_i^2 + k_i^2) D_i - \sum_i (h_i^2 + k_i^2) l_i^2 \sum_i (l_i^2)}{\sum_i (h_i^2 + k_i^2)^2 \sum_i (l_i^2)^2 - [\sum_i (h_i^2 + k_i^2) l_i^2]^2}$$

$$\frac{1}{c^2} = \frac{\sum_i (h_i^2 + k_i^2)^2 \sum_i (l_i^2) D_i - \sum_i (h_i^2 + k_i^2) l_i^2 \sum_i (h_i^2 + k_i^2) D_i}{\sum_i (h_i^2 + k_i^2)^2 \sum_i (l_i^2)^2 - [\sum_i (h_i^2 + k_i^2) l_i^2]^2} \quad (2.6)$$

## 2.2 สมบัติการดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำแคดเมียมซัลไฟด์ [3]

การศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำ จะทำให้รู้เกี่ยวกับแถบช่องว่างพลังงาน นั่นคือ การดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำเกิดจากการที่อิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์ชั้นบนเปลี่ยนสถานะพลังงานไปอยู่ในระดับแถบนำ ความพอดีของพลังงานแสงและช่องว่างพลังงานต้องสมกัน หรือมากกว่าจึงจะเกิดการดูดกลืนแสงขึ้น เมื่อพิจารณาค่าพลังงานที่เปลี่ยนแปลงจากการที่เปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอน ก็จะทำให้รู้ค่าช่องว่างแถบพลังงานได้ การดูดกลืนแสงสามารถวิเคราะห์ได้โดย สมการคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์ เมื่อพิจารณาให้แสงเป็นคลื่นระนาบเคลื่อนที่ในตัวกลางที่มีค่าสภาพซึมได้ของแม่เหล็ก  $\mu = 1$  จะได้สมการคลื่นแสงเป็น

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \exp[i(\vec{K} \cdot \vec{r} - \omega t)] \quad (2.7)$$

$$\vec{H} = \vec{H}_0 \exp[i(\vec{K} \cdot \vec{r} - \omega t)] \quad (2.8)$$

เมื่อ  $\vec{E}$  คือ สนามไฟฟ้าที่มีแอมพลิจูด  $\vec{E}_0$

$\vec{H}$  คือ สนามแม่เหล็กที่มีแอมพลิจูด  $\vec{H}_0$

$\vec{K} = \vec{K}_1 + i\vec{K}_2$  คือ เวกเตอร์คลื่น โดย  $K_1$  คือ เวกเตอร์จริง ส่วน  $K_2$  คือ เวกเตอร์จินต

ภาพ หรือ  $\vec{K} \cdot \vec{K} = \mu_0 \epsilon_0 \epsilon \omega^2 = \frac{\epsilon \omega^2}{c^2}$  โดยที่  $\epsilon$  คือค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและ  $c$  คือ ค่า

อัตราเร็วแสง

$\omega$  คือ ความถี่เชิงมุม

$t$  คือ เวลา

แต่การเคลื่อนที่ของแสงในตัวกลางจะแตกต่างจากในอากาศ เนื่องจากแสงจะได้รับอิทธิพลของประจุไฟฟ้า ในตัวกลางเป็นผลทำให้ ความเร็วคลื่น ความเข้มของการแผ่รังสีเปลี่ยนไป โดยพิจารณา จากดรรชนีหักเหเชิงซ้อนดังนี้

$$N = n + ik \quad (2.9)$$

เมื่อ  $n$  คือ ดรรชนีหักเห

$k$  คือ extinction coefficient

สำหรับระนาบคลื่นเอกพันธ์จะได้ว่า

$$|K_1| = \frac{n\omega}{c}$$

และ

$$|K_2| = \frac{k\omega}{c} \quad (2.10)$$

แทนสมการ (2.10) ลงในสมการ (2.7) จะได้สนามไฟฟ้าในทิศทาง  $x$  เป็น

$$E_x = E_{0x} \exp \left[ i\omega \left( \frac{n\pi}{c} - t \right) \right] \exp \left( -\frac{\omega kx}{c} \right) \quad (2.11)$$

เมื่อ  $E_x$  คือ สนามไฟฟ้าในทิศ  $x$   
 $E_0$  คือ สนามไฟฟ้าค่าสูงสุด

จากสมการที่ (2.11) แสดงถึงคลื่นแสงเดินทางผ่านตัวกลางในทิศทาง  $x$  ด้วยความเร็ว  $n/c$  ซึ่ง  $E$  จะลดลงด้วยปริมาณ  $\exp\left(-\frac{\omega kx}{c}\right)$  และความเข้มของการแผ่รังสีจะมีค่าเปลี่ยนแปลง ดังสมการ

$$I \propto EE^* \quad (2.12)$$

ดังนั้นจะได้

$$I \propto E_0^2 \exp\left(\frac{-2\pi kx}{\lambda}\right)$$

$$I \propto I_0 \exp\left(\frac{-4\pi kx}{\lambda}\right)$$

$$I \propto I_0 \exp(-\alpha x) \quad (2.13)$$

เมื่อ  $\alpha = \frac{4\pi k}{\lambda}$  คือ สัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสง หน่วยเป็น ( $\text{cm}^{-1}$ )

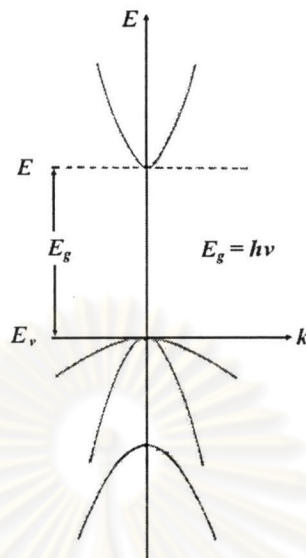
$I$  คือ ความเข้มแสงที่ตำแหน่ง  $x$

$I_0$  คือ ความเข้มแสงตกกระทบ หน่วยเป็น ( $\text{W}/\text{cm}^2$ )

$\lambda$  คือ ความยาวคลื่นแสงในสุญญากาศ

จากสมการที่ (2.13) เขียนได้ใหม่เป็น

$$\alpha = -\frac{1}{I} \left( \frac{dI}{dx} \right) \quad (2.14)$$



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนสถานะแบบตรงของโครงสร้างแถบพลังงานของโครงสร้างผลึกแบบ cubic

### 2.2.1 การดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำแคดเมียมซัลไฟด์

การดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำแคดเมียมซัลไฟด์ชนิด intrinsic เกิดจากการที่อิเล็กตรอนเปลี่ยนสถานะจากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบนำ เนื่องจากอิเล็กตรอนดูดกลืนพลังงานโฟตอนที่มีความมากกว่าช่องว่างแถบพลังงาน การเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอนมีหลายชนิดด้วยกัน โดยแคดเมียมซัลไฟด์มีการเปลี่ยนสถานะแบบตรง คือ อิเล็กตรอนเปลี่ยนสถานะจากยอดสูงสุดของแถบพลังงานวาเลนซ์ไปยังแนวตั้งตรงกับตำแหน่งต่ำสุดของแถบนำ ดังรูปที่ 2.3 เราประมาณได้ว่าแถบพลังงานมีรูปร่างเป็นพาราโบลา และสามารถหาสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงเนื่องจากการเปลี่ยนสถานะแบบเป็นไปได้อันได้ (allowed) ดังนี้คือ

การเปลี่ยนสถานะชนิดเป็นไปได้อันได้

$$(\alpha h\nu) = \frac{2c\bar{h}}{n} \left( \frac{2\mu}{\bar{h}^2} \right)^{\frac{3}{2}} |H_{cv}(0)|^2 (h\nu - E_g)^{\frac{1}{2}}$$

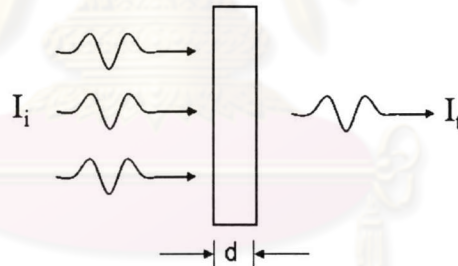


$$(\alpha h\nu) \equiv A + (h\nu - E_g)^2 \quad (2.15)$$

- เมื่อ  $A$  คือ ค่าคงที่  
 $\mu$  คือ The reduced electron - hole mass  
 $H_{cv}$  คือ The optical matrix element ระหว่างแถบวาเลนซ์ และแถบการนำ  
 $E_g$  คือ ช่องว่างแถบพลังงาน  
 $h\nu$  คือ พลังงานโฟตอน

## 2.2.2 การวัดสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำ

สำหรับการทดลองเราสามารถหาสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำได้จากการวัดการส่งผ่านของแสง (Transmission) ผ่านสารตัวอย่างโดยพิจารณาจากแสงที่ตกกระทบบนสารตัวอย่าง และแสงที่ทะลุผ่านซึ่งเป็นฟังก์ชันกับความยาวคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงแผนภาพการส่งผ่านแสงในสารตัวอย่าง

ค่าการสะท้อนและการส่งผ่าน ของแสงจะหาได้จากสมการดังนี้

$$T = \frac{I_t}{I_i} = \frac{(1-R)^2 e^{-\alpha d}}{1 + R^2 e^{-2\alpha d}} \quad (2.16)$$

$$R = \frac{I_r}{I_i} = \frac{(n-1)^2 + k^2}{(n+1)^2 + k^2} \quad (2.17)$$

- เมื่อ  $T$  คือ สัมประสิทธิ์ของการส่งผ่าน  
 $R$  คือ สัมประสิทธิ์ของการสะท้อน  
 $\alpha$  คือ สัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสง  
 $I_t$  คือ ความเข้มของแสงที่ส่งผ่าน  
 $I_i$  คือ ความเข้มของแสงที่ตกกระทบ  
 $d$  คือ ความหนาของสารตัวอย่าง  
 $I_R$  คือ ความเข้มของแสงที่สะท้อน

ถ้าสารตัวอย่างมีความหนามากพอที่  $R^2 e^{-2\alpha d}$  มีค่าน้อยกว่า 1 มาก ดังสมการที่ (2.16) จะเขียนได้ใหม่เป็น

$$T = \frac{I_t}{I_i} = (1 - R)^2 e^{-\alpha d} \quad (2.18)$$

ในการทดลองการดูดกลืนแสงนั้น การเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์การสะท้อนนั้นจะเปลี่ยนแปลงไปน้อยมากในช่วงความยาวคลื่นที่สนใจ ดังนั้นจะประมาณได้ว่าเทอม  $(1 - R)^2$  มีค่าคงที่ และสมการที่ (2.19) สามารถเขียนได้ใหม่เป็น

$$\alpha = \frac{1}{d} \ln \left( \frac{I_i}{I_t} \right) \quad (2.19)$$

### 2.3 การเรืองแสงโดยไฟฟ้าของฟิล์มบางแคดเมียมซัลไฟด์ในโครงสร้าง

Si/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CdS/ITO

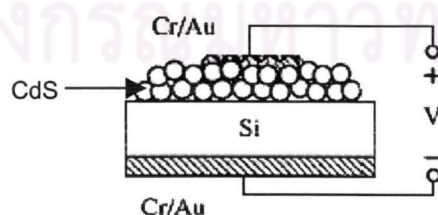
การเรืองแสง (luminescence) หมายถึง ปรากฏการณ์เปล่งแสงของวัสดุเกิดจากการดูดกลืนพลังงานของสสารในรูปอื่น แต่คายพลังงานบางส่วนในรูปของโฟตอน ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการเรืองแสง (luminescence) การเรืองแสงประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ การกระตุ้นให้อิเล็กตรอนในสถานะพลังงานสูงขึ้นไป และต่อมาอิเล็กตรอนในสถานะโลดปลดปล่อยพลังงานในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (photon) แล้วตกสู่สถานะก่อนโลด การเรืองแสงขณะมีพลังงานกระตุ้นเรียก ฟลูออเรสเซนซ์ (fluorescence) การเรืองแสงหลังจากหยุดกระตุ้นเรียก โฟสโฟเรสเซนซ์

(phosphorescence) การเรืองแสงนั้นจะเรียกตามรูปพลังงานที่มากระตุ้น โดยมีแบบหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

1. โฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence) คือ การเรืองแสงของวัสดุอันเนื่องมาจากการถูกกระตุ้นด้วยแสง
2. แคโทดลูมิเนสเซนซ์ (cathodoluminescence) คือ การเรืองแสงของวัสดุอันเนื่องมาจากการถูกกระตุ้นด้วยลำอิเล็กตรอน
3. เรดิโอลูมิเนสเซนซ์ (radioluminescence) คือ การเรืองแสงของวัสดุอันเนื่องมาจากการถูกกระตุ้นด้วยอนุภาค (ยกเว้นอิเล็กตรอน) ความเร็วสูง (สารรังสี)
4. อิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ (electroluminescence, EL) คือ การเรืองแสงของวัสดุอันเนื่องมาจากการถูกกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า

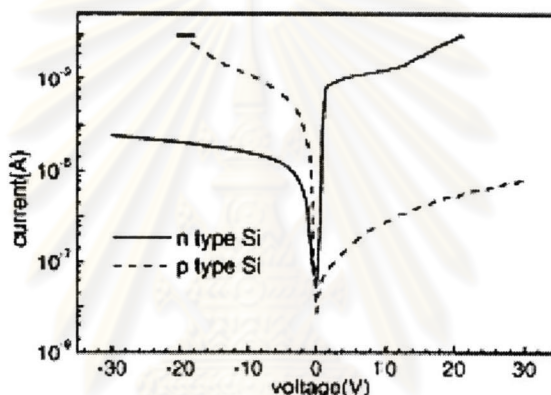
สำหรับงานวิทยานิพนธ์นี้สนใจงานวิจัยที่เกี่ยวกับการเรืองแสงโดยไฟฟ้าของผลึกแคดเมียมซัลไฟด์ที่มีขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตร ซึ่งฝังตัวอยู่ในสารไดอิเล็กทริก เนื่องจากในปัจจุบันได้มีการนำอุปกรณ์เรืองแสงโดยไฟฟ้าไปใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น จอภาพ ป้ายโฆษณา ป้ายบอกทาง หน้าปัดอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ล้วนเป็นจอแสดงผลชนิดบางและเบา สามารถผลิตเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ได้

Liang และ Lin [4] ได้ประดิษฐ์อุปกรณ์เรืองแสงโดยไฟฟ้าของผลึกแคดเมียมซัลไฟด์ขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตร ฝังตัวอยู่ใน p-hydroxyl thiophenol ซึ่งเคลือบฟิล์มบนซิลิกอนโดยวิธี spin coating และทำขั้วไฟฟ้าโดยการสัปดาห์เตอร์ทองลงบนฟิล์มแคดเมียมซัลไฟด์และซิลิกอน โครงสร้างของอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 2.5

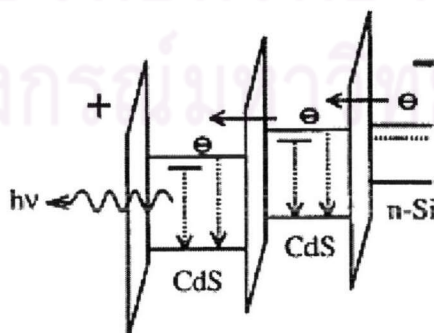


รูปที่ 2.5 โครงสร้างของอุปกรณ์เรืองแสงโดยไฟฟ้าของ Liang และ Lin [4]

เมื่อให้แรงดันไฟฟ้าทั้งไบแอสแบบตรงและไบแอสย้อน กระแสสามารถไหลผ่านโครงสร้างได้ ดังรูปที่ 2.6 โดยเมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าลบที่แผ่นซิลิกอน (n-type) ดังรูปที่ 2.5 เป็นผลให้ซิลิกอนมีพลังงานเฟอร์มีสูงขึ้น อิเล็กตรอนจึงสามารถทะลุผ่าน (tunnel) กำแพงศักย์ของ p-hydroxyl thiophenol ซึ่งมีผลึกแคดเมียมซัลไฟด์ฝังอยู่ โดยอิเล็กตรอนที่ฉีดจากแผ่นซิลิกอน และไหลจากโลหะทองทะลุผ่านไปยังพลังงานแถบนำและพลังงานแถบวาเลนซ์ของผลึกแคดเมียมซัลไฟด์ตามลำดับ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของอิเล็กตรอนมีการรวมตัวกันและเกิดการเรืองแสงในที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 กราฟแสดงลักษณะส่อกระแส-ความต่างศักย์ ของอุปกรณ์เรืองแสงบนแผ่นซิลิกอนชนิดเอ็นแสดงด้วยเส้นทึบ และแผ่นซิลิกอนชนิดพีแสดงด้วยเส้นประ [4]



รูปที่ 2.7 แสดงการเคลื่อนที่และการเปลี่ยนแปลงสถานะของอิเล็กตรอนของผลึกแคดเมียมซัลไฟด์ [4]

Valenta และคณะ [5] ได้ศึกษาการเรืองแสงโดยไฟฟ้าของผลึกนาโนแคดเมียมซัลไฟด์ที่ฝังตัวอยู่ในอลูมินาเมทริกซ์ ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CdS}$ ) เตรียมโดยกระบวนการโซล-เจล ซึ่งเป็นกระบวนการที่สามารถเตรียมฟิล์มได้ง่าย และสามารถจุ่มเคลือบฟิล์มได้ทันทีหลังจากเตรียมสารละลาย ดีกว่าวิธีเตรียมฟิล์มของ Liang และ Lin ที่ต้องมีการบ่มสารละลายถึง 18 ชั่วโมง และกระบวนการโซล-เจล ยังมีข้อดีอื่น ๆ อีกเช่น สามารถควบคุมส่วนผสมและโครงสร้างระดับนาโนสเกลได้ง่าย โดยการเติมสารเจือลงไปในสารประกอบประเภท organometallic ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของกระบวนการโซล-เจล ฟิล์มที่ได้มีความสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น และไม่จำกัดขนาดของฟิล์ม วัสดุที่เตรียมโดยเทคนิคโซล-เจล มีหลายรูปแบบเช่น ผง ฟิล์มบาง ก้อน และเส้นใย ระบบที่เตรียมโดยเทคนิคโซล-เจลนั้น ไม่ต้องใช้ระบบสุญญากาศ ซึ่งมีต้นทุนสูงกว่า ดังนั้นในงานวิทยานิพนธ์นี้ได้เตรียมผลึกแคดเมียมซัลไฟด์ที่ฝังตัวในฟิล์มบางอลูมินา ตามวิธีการของ Valenta และคณะ แล้ววิเคราะห์สมบัติของฟิล์มที่ได้ จากนั้นทำการสับเตอร์ฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ด้านบนของฟิล์ม  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CdS}$  ที่เตรียมบนแผ่นซิลิกอนชนิดเอ็น (highly doped n-type) เพื่อศึกษาลักษณะส่อกระแส-ความต่างศักย์ ของโครงสร้าง  $\text{Si/Al}_2\text{O}_3\text{-CdS/ITO}$



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย