บทที่ 3

แคดเมียมซัลไฟด์

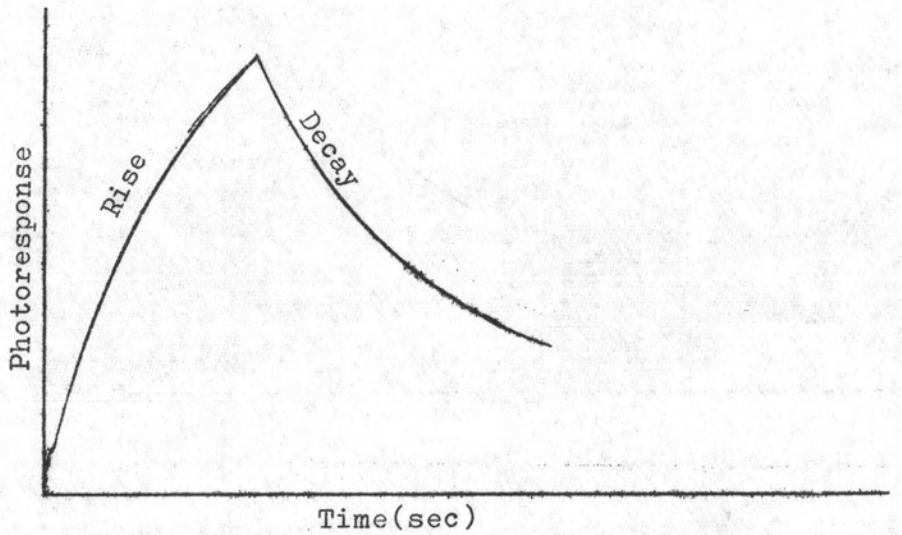
แคดเมียมซัลไฟด์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ไม่ใช่สารประกอบทางเคมีธรรมดา แต่เป็นชิ้นส่วนที่ใช้ทางอิเลคโทรนิคหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Light Dependent Resistor (L.D.R.) เป็น Photoconductive cell ใช้เป็นตัวควบคุมการทำงานของ Relays เช่น เพื่อการปิด–เปิดประตู หรือทำสัญญาณสำหรับเครื่องมือกันขะโมยเป็นต้น ซึ่งมีขายตามท้องตลาดทั่วไป สำหรับบทนี้จะได้กล่าวถึงคุณสมบัติของแคดเมียมซัลไฟด์โดยสังเขป

3.1 คุณสมบัติของแคดเมียมซัลไฟด์ที่ใช้ในการทดลอง

แคดเมียมซัลไฟด์เป็นสารกึ่งตัวนำ มีคุณสมบัติเป็นฉนวนที่อุณหภูมิปกติ แคดเมียมซัลไฟด์ทำด้วยผลึกและมักจะเป็นแบบ Single crystal วิธีเตรียมผลึกนั้นอาจทำได้จากปฏิกิริยาระหว่างแคดเมียมกับกำมะถันในเตาหลอม แล้วนำผลึกนี้ใส่ไว้ในที่ครอบ (holder) อาจเป็นพวกพลาสติคหรือแก้ว โดยมีขั้วไฟฟ้าทำด้วยโลหะเคลือบเงินหรืออลูมิเนียมยื่นออกมา แคดเมียมซัลไฟด์เซลมีความไวต่อแสงสว่างหรือรังสี กล่าวคือเมื่อไม่ถูกแสงสว่างหรือรังสีจะมีความต้านทานเป็นร้อย ๆ เมกกะโอห์ม แต่เมื่อถูกแสงสว่างหรือรังสีความต้านทานจะลดลงเหลือประมาณ 10^4 โอห์ม มี band gap กว้างประมาณ 2.4 อิเลคตรอนโวลท์ ความไวของแคดเมียมซัลไฟด์ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมากนัก และสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิเกิน 100°ซ โดยไม่ทำให้ความไวเปลี่ยนแปลงไปมากนัก ความไวของแคดเมียมซัลไฟด์จะลดลงมากถ้าถูกแสงที่มีความยาวคลื่นเกิน 5200 อังสโตรม

คุณสมบัติที่สำคัญอีกประการของแคดเมียมซัลไฟด์ ดังรูป (3–1) คือเมื่อเวลาถูกแสง สภาพนำไฟฟ้าจะค่อย ๆ สูงขึ้น ๆ จนถึงจุดอิ่มตัว คือมีความต้านทานในตัวน้อยที่สุด ซึ่งใช้เวลาเป็นวินาทีหรืออาจเป็นนาที ในทำนองเดียวกันเมื่อเลิกอาบรังสีหรือแสง การกลับสู่สภาพเดิม (Dark Current) ก็ใช้เวลานานอาจเป็นนาทีหรือชั่วโมง แล้วแต่คุณสมบัติ

ของแคดเมียมซัลไฟด์แต่ละอัน และความเข้มของแสงที่ใช้ ถ้าแสงมีความเข้มมากเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงจะน้อยลง



รูป (3–1) แสดง time response ของสารแคดเมียมซัลไฟด์

แคดเมียมซัลไฟด์เป็นสารพวก photoconductive ชนิดที่มีอิเลคตรอนเป็นตัวเคลื่อนที่เมื่อได้รับสนามไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่าเป็น n-type ความสามารถในการเป็นตัวนำไฟฟ้านั้นขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงหรือรังสีที่ตกกระทบ และสาเหตุอื่น ๆ อีก ซึ่งพอจะเขียนแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

ถ้า σ เป็นค่าสภาพนำไฟฟ้าแล้วจะได้

$$\sigma = ne\mu$$

เมื่อ n = ความหนาแน่นของอิเลคตรอน

e = ประจุของอิเลคตรอน

μ = mobility (drift velocity/unit apply electric field)

เมื่อฉายแสงหรือรังสีลงไปบนแคดเมียมซัลไฟด์ ค่าสภาพนำจะเพิ่มขึ้น $\Delta\sigma$

$$\Delta\sigma = \Delta ne\mu + \Delta\mu en$$

แต่ Δn = ความหนาแน่นของอิเลคตรอนที่เปลี่ยนไป ซึ่งจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มของแสง (f) และ electron life time (τ)

$$n = f\tau$$

$$\Delta n = \Delta f\tau + \Delta\tau f$$

$$\Delta\sigma = e\mu\tau\Delta f + e\mu f\Delta\tau + ne\Delta\mu$$

จากสูตรจะเห็นว่า life time มีความสำคัญในการเพิ่มสภาพนำของแคดเมียมซัล-ไฟด์มาก

3.2 <u>ขบวนการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในของแคดเมียมซัลไฟด์เมื่อถูกแสงหรือรังสี</u>

เมื่อต่อแบตเตอรี่เข้ากับอิเลคโตรดของแคดเมียมซัลไฟด์แบบอนุกรมแล้วนำแคดเมียมซัลไฟด์ไปอาบแสงหรือรังสี จะเกิดการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในตัวแคดเมียมซัลไฟด์ ซึ่งพอจะอธิบายหลักการเปลี่ยนแปลงย่อ ๆ ได้ดังนี้

1) เมื่อแสงหรือรังสีตกกระทบแคดเมียมซัลไฟด์ จะทำให้เกิด electron-hole pair ขึ้น

2) เมื่อผ่านสนามไฟฟ้า (จากแบตเตอรี่) เข้าไปในแคดเมียมซัลไฟด์ อิเลคตรอนที่เกิดขึ้นจะวิ่งไปที่ขั้วบวก

3) ในขณะเดียวกับ hole ที่เกิดขึ้นก็จะวิ่งไปที่ขั้วลบ

4) ในระหว่างที่ hole วิ่งไปที่ขั้วลบนั้น จะถูกจับก่อนถึงขั้วลบที่ Imperfection centre

5) เมื่ออิเลคตรอนที่เกิดจากรังสีตัวแรกหลุดจากแคดเมียมซัลไฟด์ไปสู่ขั้วบวกจะเป็นผลให้สารมีสภาพขาดอิเลคตรอน จึงทำให้อิเลคตรอนอีกตัวจากขั้วลบวิ่งเข้าไปในแคดเมียม - ซัลไฟด์ ทำให้เกิดกระแสไหลตลอดเวลาจนกว่าอิเลคตรอนอิสระจะรวมกับ hole ที่ถูกจับ

เนื่องจากผลึกแคดเมียมซัลไฟด์มีคุณสมบัติไวต่อแสงหรือรังสี และ R.H. Bube[1,2]

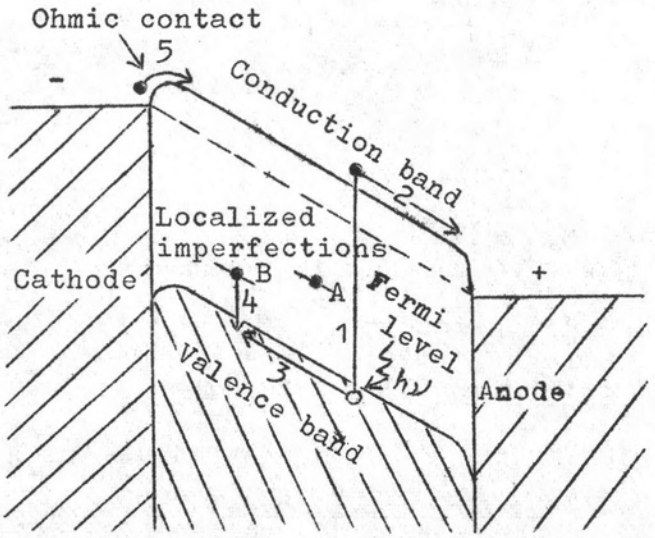
---

[1] Bube, R.H. Proc, 1836(1955). IRE 43.

[2] Bube, R.H. 1957. J. Phys. Chem. Solids 1, 234.

ได้แสดงให้เห็นแล้วว่าพวก imperfection ที่ปรากฏอยู่ในผลึกจะมีผลเป็นประจุลบ เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อของผลึกส่วนอื่น พวก imperfection ที่เกิดขึ้นเช่น Cu^{+} center จะไปแทนที่ Cd^{+2} หรือเกิดมีที่ว่างเป็นประจุลบ (a cation vacancy) ซึ่ง center เช่นนี้จะสามารถจับ hole ได้มากกว่าอิเลคตรอน จากผลการทดลองปรากฏว่าสามารถจับ hole ได้มากกว่าอิเลคตรอนถึง 10^{4}-10^{8} เท่า

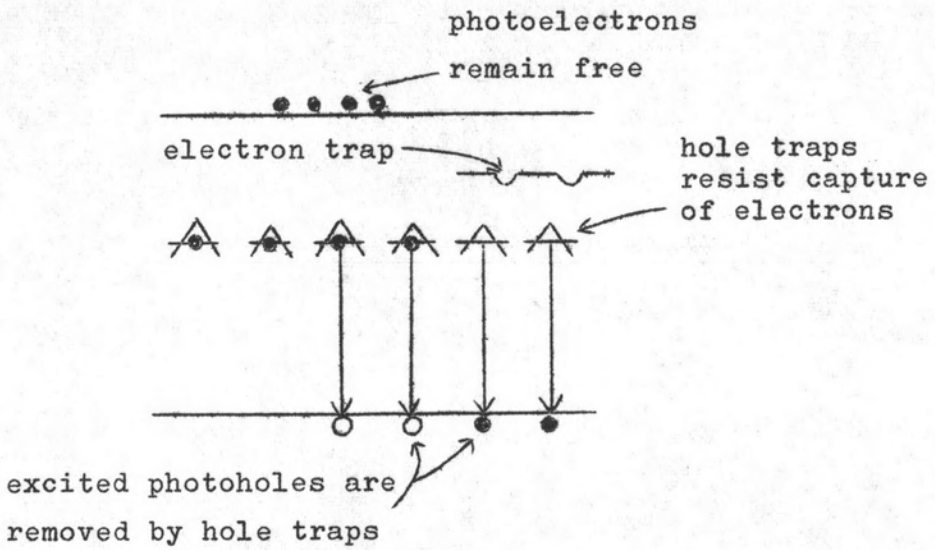
centre A และ B ที่ปรากฏในรูป (3-2) centre A มีความสามารถจับอิเลคตรอนอิสระหลังจากจับ hole แล้วได้มาก ซึ่ง centre A นี้ถ้ามีมากในผลึกจะทำให้ความไวต่อรังสีของผลึกลดลง ส่วน centre B มีความสามารถจับอิเลคตรอนอิสระหลังจากจับ hole แล้วได้น้อย ดังนั้นถ้าเราใส่ centre B ลงไปในการเตรียมแคดเมียมซัลไฟด์จะทำให้ความไวต่อรังสีของแคดเมียมซัลไฟด์เพิ่มมากขึ้น



รูป 3-2 แสดงการเปลี่ยนแปลงภายในแคดเมียมซัลไฟด์เซลเมื่อถูกแสงหรือรังสี

ตามรูป (3-3) แสดงถึงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในผลึกแคดเมียมซัลไฟด์ ในรูปแสดงแถบของพลังงานของแคดเมียมซัลไฟด์ว่าทำให้แคดเมียมซัลไฟด์เป็นสารที่มีความไวต่อแสงหรือรังสีมาก จะเห็นว่าแถบของพลังงานของแคดเมียมซัลไฟด์อาจมีชั้นของ impurity เล็กน้อย และที่ตรงกลางใกล้ ๆ กับ Forbidden band เป็นตำแหน่งของ Trapping level ซึ่ง

อิเลคตรอนสามารถลงไปอยู่ใน filled band ได้สะดวก แต่ Trapping level นั้จับอิเลคตรอนไม่สดวกซึ่งเราเรียกว่า hole trap ซึ่ง hole จะยังคงอยู่ใน trap และจะไม่เคลื่อนที่ ถ้า trap นั้ลึกพอ จะทำให้ hole ถูกจับอยู่เป็นเวลานาน หมายความว่าอิเลคตรอนจะอยู่ใน Conduction band นาน และไม่สามารถรวมกับ centre ใด ๆ ได้โดยง่าย ทำให้ life time มีค่ามากขึ้น ดังนั้นในการจับโฟตอนแต่ละตัว อิเลคตรอนสามารถผ่านผลึกเป็นจำนวนมากมายเป็นหมื่น ๆ ตัว กล่าวคือ gain มีค่าถึง 10^4



รูปที่ 3–3 แสดงถึงแถบของพลังงานและปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดในผลึกแคดเมียมซัลไฟด์ หมวกที่คร่อมอยู่บน hole traps แสดงว่า centre นั้จับอิเลคตรอนยาก ถึงแม้ว่าจะได้ปล่อยอิเลคตรอนลงไปใน filled band แล้วก็ตาม.