

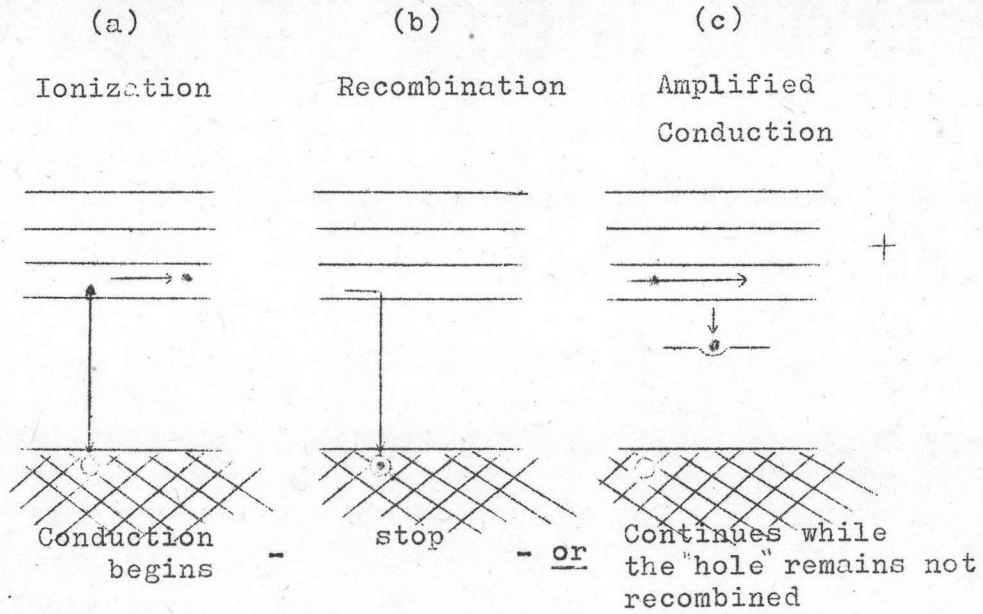


แคดเมียมซัลไฟด์

แคดเมียมซัลไฟด์เป็นสารประกอบกึ่งตัวนำ ในสภาวะปกติแคดเมียมซัลไฟด์จะมีคุณสมบัติเป็นฉนวน แต่เมื่อถูกแสงสว่างหรือรังสี แคดเมียมซัลไฟด์จะมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าได้ กระแส ที่ไหลผ่านในแคดเมียมซัลไฟด์จะมีค่ามากกว่าที่เกิดในอ็อกอนในเซชันแชมเบอร์ (ionization chamber) ต่อหน่วยปริมาตร เนื่องจาก 1. แคดเมียมซัลไฟด์มีความหนาแน่นมากกว่าอากาศ 2. พลังงานที่ใช้ในการทำให้เกิดอ็อกอน-แพร์ (ion-pair) ในแคดเมียมซัลไฟด์น้อยกว่าในอากาศ เนื่องจากได้มีหลายท่าน^{1,2,3,4} ทำการศึกษาถึงคุณสมบัติของแคดเมียมซัลไฟด์และได้เขียนถึงทฤษฎีของแคดเมียมซัลไฟด์ไว้อย่างละเอียด ดังนั้นสำหรับบทนี้จะได้กล่าวถึงคุณสมบัติของแคดเมียมซัลไฟด์โดยสังเขป

ปกติอิเล็กตรอนจะปรากฏอยู่ในแถบพลังงานต่าง ๆ ซึ่งถูกแยกโดยแถบพลังงานที่เรียกว่า ฟออบิดเดินแบนด์ (forbidden band) แถบพลังงานที่มีพลังงานสูงสุดคือ เวเลนซ์แบนด์ (valence band) และตามปกติอิเล็กตรอนจะปรากฏอยู่ในแถบพลังงานนี้ เมื่อแคดเมียมซัลไฟด์ถูกแสงสว่างหรือรังสี หรืออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า อนุภาคโฟตอนหรืออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าจะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนในเวเลนซ์แบนด์ จะทำให้อิเล็กตรอนกระโดดจากเวเลนซ์แบนด์ ผ่านฟออบิดเดินแบนด์ขึ้นไปอยู่ในคอนดักชันแบนด์ (conduction band) เมื่ออิเล็กตรอนกระโดดไปจะทำให้เกิดช่องว่างขึ้นเรียกว่า โฮล (hole) การกระโดดของอิเล็กตรอนไปยังคอนดักชันแบนด์เปรียบเสมือนการเกิดอ็อกอนในเซชันในแก๊ส และอิเล็กตรอน-โฮลเปรียบได้กับอ็อกอน-แพร์ อิเล็กตรอนและโฮลจะอยู่อย่างอิสระซึ่งกันและกัน

-
- | | | | |
|----------------------|-------------------|------|-------|
| 1. มุกดา จันทราพรชัย | ดูจากแหล่งที่แล้ว | หน้า | 10-20 |
| 2. ศิวลี อะมริต | ดูจากแหล่งที่แล้ว | หน้า | 3-20 |
| 3. สมคิด นิมนวล | ดูจากแหล่งที่แล้ว | หน้า | 8-9 |
| 4. สุพัฒน์ ราชณรงค์ | ดูจากแหล่งที่แล้ว | หน้า | 15-19 |



รูปที่ 4-1 แสดงการเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าในแคดเมียมซัลไฟด์

และเมื่ออยู่ใกล้กันจะเกิดการคู่กันได้ในขณะที่อิเล็กตรอนกระโดดไปยังคอนดักชันแบนด์ ถ้าใส่สนามไฟฟ้าเข้าไปอิเล็กตรอนจะวิ่งไปข้างขวา ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจากข้างขวาไปยังข้างซ้ายได้ การนำกระแสไฟฟ้าจะหยุดลงต่อเมื่ออิเล็กตรอนรวมกับโฮล หรือถ้าอิเล็กตรอนกระโดดขึ้นไปยังคอนดักชันแบนด์ แล้วถูกจับโดยแตรพ (traps) ซึ่งอยู่ในชั้นฟอโบริคเคินแบนด์ จะทำให้ยังคงเกิดโฮลขึ้นภายในเวเลนซ์แบนด์ ดังนั้นกระแสไฟฟ้าจะไหลจากข้างขวาไปยังข้างซ้ายได้ทราบเท่าที่โฮลยังว่างอยู่ในเวเลนซ์แบนด์ ดังแสดงในรูปที่ 4-1

4.1 ทฤษฎีการนำไฟฟ้า

ถ้ามีปริมาณรังสีตกลงบนผลึกแคดเมียมซัลไฟด์ ทำให้เกิด f อิออนแพร์ต่อวินาทีต่อหน่วยปริมาตร ทำให้ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนอิสระ (n) เพิ่มขึ้น ที่จุดสมดุลย์ จะได้ว่า

$$n = f \tau \quad (4-1)$$

เมื่อ τ คือค่าเวลาเฉลี่ยของอิเล็กตรอนอิสระที่มีชีวิตอยู่ระหว่างการเกิดและการรวมตัวกับโฮล

การเพิ่มของ n จะทำให้สภาพการนำไฟฟ้า (σ) เพิ่มขึ้นดังสมการ

$$\sigma = ne\mu \quad (4-2)$$

เมื่อ σ = สภาพการนำไฟฟ้าของแคดเมียมซัลไฟด์

e = ประจุของอิเล็กตรอน

μ = ค่า electronic mobility

แทนค่าสมการที่ (4-1) ลงในสมการที่ (4-2) จะได้ว่า

$$\sigma = fze\mu \quad (4-3)$$

สำหรับผลึกบริสุทธิ์ที่ไม่มีอิเล็กตรอนแทรกปนอยู่ การรวมตัวกันของอิเล็กตรอนอิสระกับโฮลจะเกิดขึ้นโดยตรง ซึ่งจำนวนโฮลจะเท่ากับจำนวนของอิเล็กตรอนอิสระ และจะได้ว่า

$$\tau = 1/vsn \quad (4-4)$$

เมื่อ v = ค่าความเร็วเฉลี่ยของอิเล็กตรอน⁵

s = พื้นที่ภาคตัดขวางของการจับอิเล็กตรอนสำหรับโฮลใด ๆ⁵

ปกติ s มีค่าประมาณ 10^{-18} ตารางเซนติเมตร และ v มีค่าประมาณ 10^7 เซนติเมตรต่อวินาที แทนค่าลงในสมการที่ (4-3) และ (4-4) จะได้

$$\tau = 10^{11}/n \quad \text{และ} \quad \sigma = e\mu(10^{11}/n)$$

จากสมการที่ (4-1) จะได้ว่า $n^2 \approx 10^{11}f$ ดังนั้น

$$\sigma = e\mu\sqrt{10^{11}f} \quad (4-5)$$

สมการที่ (4-5) แสดงให้เห็นว่าผลึกที่ไม่มีแทรกปนอยู่ สภาพการนำไฟฟ้า

5. Frank H. Attix, William C. Roech, Eugene Tochilin. 1966.

ของผลึกจะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับรากที่สองของความเข้มของรังสีที่ตกลงบนผลึก

ถ้าในผลึกมีอิเล็กตรอนแทรก m ซึ่งมีค่ามากกว่าจำนวนอิเล็กตรอนอิสระ ดังนั้นจะมีช่องว่าง $m+n \approx m$ ช่อง นั่นคือค่าแคริเออร์ไลฟไทม์ (carrier lifetime) จะเป็นค่าเวลาเฉลี่ยระหว่างการเกิดอิเล็กตรอนอิสระกับการจับอิเล็กตรอนโดยแทรก หรือการรวมตัวของอิเล็กตรอนอิสระกับโฮล ดังนั้นสมการที่ (4-4) จะได้ว่า

$$\tau = 1/vs(m+n) \approx 1/vsm \quad (4-6)$$

แทนค่า v และ s ลงในสมการบน จะได้ว่า

$$\tau \approx 10^{11}/m \quad (4-7)$$

ค่า τ จะถูกลดลงโดยอัตราส่วน m/n ของแทรกต่ออิเล็กตรอนอิสระและจากสมการที่ (4-1) ความไวต่อรังสีจะถูกลดลงในอัตราส่วนเดียวกัน จากสมการที่ (4-2) และ (4-7) จะได้ว่า

$$\sigma \approx fe\mu(10^{11}/m) \quad (4-8)$$

จะเห็นได้ว่าสภาพการนำไฟฟ้าเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับปริมาณความเข้มของรังสีที่ตกลงบนแคดเมียมซัลไฟด์ หากว่า m เปลี่ยนไปอย่างช้า ๆ เมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของ n

ถ้าใส่สนามไฟฟ้าซึ่งมีความต่างศักย์ V โวลต์เข้าไปในแคดเมียมซัลไฟด์ที่มีความยาว L หน่วย และมีพื้นที่หน้าตัด A ตารางหน่วยจะได้กระแส i ดังสมการ

$$i = AV\sigma/L = AVne\mu/L$$

และจากสมการที่ (4-1)

$$i = AVe\mu f\tau/L \quad (4-9)$$

ถ้าอัตราการเกิดอิเล็กตรอน-โฮลในผลึกมีค่า $F (=fAL)$ คู่ต่อวินาที จะได้ว่า

$$i = Ve\mu\tau F/L^2 \quad (4-10)$$

4.2 ความเร็วของการตอบสนอง

ในกรณีที่ผลึกไม่มีแตรพ โดยมีแต่เพียงเรคคอมไบเนชัน เซ็นเตอร์ (recombination center) เวลา t ที่กระแสใช้สำหรับลดลงเหลือครึ่งหนึ่งจากค่าเริ่มต้น จะมีค่าเท่ากับค่า แคริเออร์ไลฟ์ไทม์, τ

ในกรณีที่ผลึกมีแตรพอยู่ด้วย เวลา t จะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่อิเล็กตรอนจะกระโดดจากแตรพไปรวมกับโฮลอย่างช้า ๆ ภายหลังจากที่รังสีหมดแล้ว อัตราการกระโดดของอิเล็กตรอนจากแตรพขึ้นกับความลึกของแตรพ และอุณหภูมิของแคดเมียมซัลไฟด์

ที่โลสเรทค่า ๆ จะได้ว่า $m \gg n$ เวลาที่ใช้ระหว่างการเกิดไอออนไนเซชัน กับการรวมตัวกันของอิเล็กตรอนกับโฮล จะมีค่าเพิ่มขึ้นโดยตัวประกอบ m/n และจะทำให้ t มากขึ้นด้วย

$$t \approx \tau m/n \quad (4-11)$$

ที่โลสเรทสูง ๆ ($> 10^8$ แรดต่อ ซม.ม.) ค่า $m \gg n$ เวลาในการตอบสนองจะมีค่าเกือบเท่ากับค่า แคริเออร์ไลฟ์ไทม์, τ

จากสมการที่ (4-5), (4-8), ค่า τ และเวลาของการตอบสนองพอจะเห็นได้ว่า การที่แคดเมียมซัลไฟด์มีแตรพอยู่ด้วย ทำให้มีข้อเสียคือ 1. การนำไฟฟ้าลดลง 2. เวลาที่กระแสใช้สำหรับลดลงเหลือครึ่งหนึ่งจากค่าเริ่มต้น จะมากกว่าแคดเมียมซัลไฟด์ที่ไม่มีแตรพ 3. ค่า τ จะมีค่าน้อยกว่า จึงทำให้ความไวต่อรังสีลดลงด้วย แต่แคดเมียมซัลไฟด์ที่มีแตรพอยู่จะมีข้อดีคือ การนำไฟฟ้าจะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับความเข้มของรังสีที่ตกลงบนแคดเมียมซัลไฟด์ ซึ่งแคดเมียมซัลไฟด์ที่ไม่มีแตรพ การนำไฟฟ้าจะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับรากที่สองของความเข้มที่ตกลงบนแคดเมียมซัลไฟด์

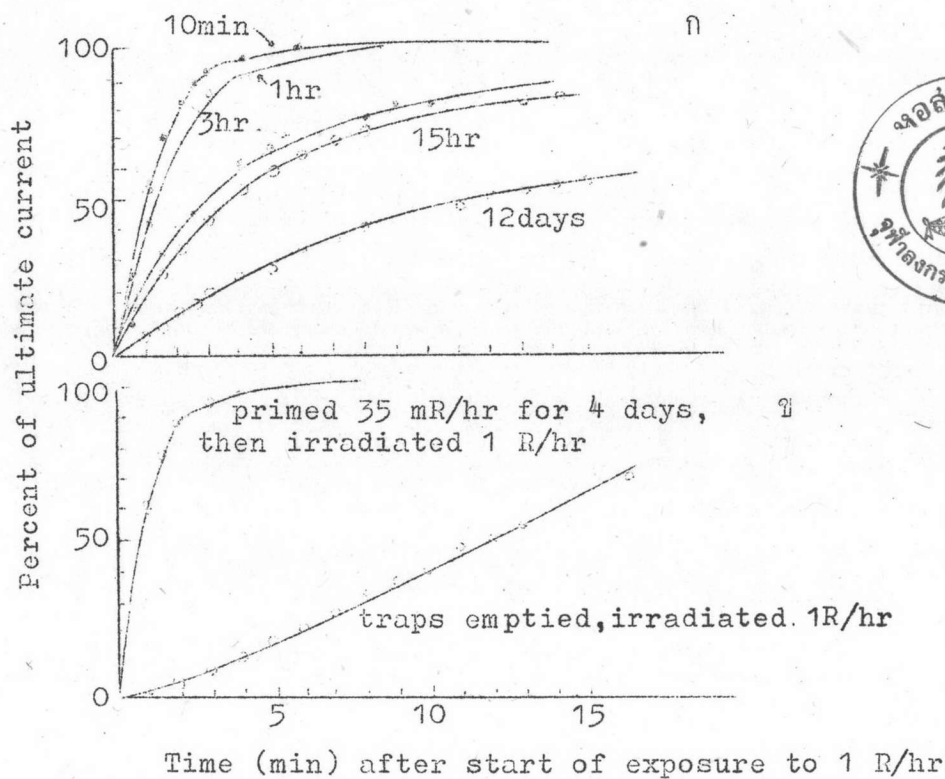
ถ้าแคดเมียมซัลไฟด์ไม่ได้อบรังสีเป็นเวลานาน ๆ แตรพที่อยู่ลึกจะว่าง ผลของแคดเมียมซัลไฟด์ที่มีต่อรังสีครั้งแรก คือการให้อิเล็กตรอนไปใส่ในแตรพมากกว่าที่จะเพิ่มการนำไฟฟ้าอย่างทันทีทันใด ซึ่งผลอันนี้จะทำให้ไวด์ไทม์ (rise time) เพิ่มขึ้น

ในทำนองเดียวกันถ้าแคคเมียมซัลไฟด์ไปอาบรังสีจนแพร่ถูกใส่ด้วยอิเล็กตรอนจนเต็ม การเกิดของอิเล็กตรอนจะเข้าไปในการนำไฟฟ้าและค่าโรสใหม่จะลดลง

4.3 ไพรมิ่ง (Priming)

ถ้านำแคคเมียมซัลไฟด์ไปอาบรังสี ภายหลังจากที่ไม่ได้อาบรังสีเป็นเวลานาน ๆ ค่าโรสใหม่จะมีความสูง เนื่องจากแพร่ผลึก ๆ จะค่อย ๆ วาง ในความมืด เมื่อนำไปอาบรังสีจะทำให้ใช้เวลามากในการที่จะใส่อิเล็กตรอนลงในแพร่เหล่านั้น ดังรูปที่ 6 (4-2 ก)

ถ้านำแคคเมียมซัลไฟด์ไปอาบรังสีโดสเรทต่ำ ๆ ที่คงที่เป็นเวลานาน ๆ จะทำให้แพร่ที่อยู่ลึก ๆ ถูกใส่ด้วยอิเล็กตรอน การที่นำแคคเมียมซัลไฟด์ไปอาบรังสีที่โคสเรทของรังสีที่ต้องการวัด เรียกว่า ไพรมิ่ง ผลของการไพรมิ่งจะทำให้โรสใหม่ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 6 (4-2 ข)



รูปที่ 4-2

กราฟแสดงการเหนี่ยวนำกระแสในแคดเมียมซัลไฟด์เซดกับเวลา ภายหลังจากการฉายรังสี- γ โดสเรท 1 R/hr (ดูจากแหล่งที่แล้วหน้า 315).

ก. ภายหลังจากที่เก็บไว้ในที่มีคเป็นระยะเวลาต่าง ๆ โดยไม่ได้ฉายรังสี, ช่วงเวลาจาก 10 นาที ถึง 12 วัน ข. แสดงถึงการไพรมิ่ง กระแสที่เหนี่ยวนำในแคดเมียมซัลไฟด์เซดโดยเก็บไว้ไม่ได้ฉายรังสีเป็นเวลานาน (เส้นกราฟล่าง) และในผลึกเดียวกันนำไปไพรมิ่งด้วยรังสี- γ โดสเรท 35 mR/hr เป็นเวลา 4 วัน