บทที่ 3

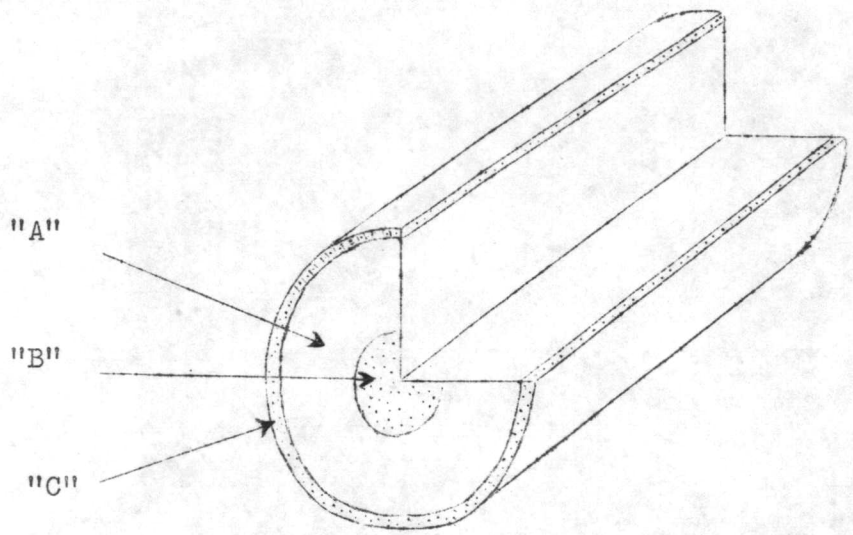
เครื่องวัดรังสี

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

3.1 หัววัดรังสีชนิดเซมิคอนดัคเตอร์ (Semiconductor Detector)

หัววัดรังสีแกมม่าชนิดเซมิคอนดัคเตอร์ที่มีคุณภาพดีและนิยมใช้กันมากคือ หัววัด Ge(Li) หรือ Lithium Drifted Germanium Detector ซึ่งเป็นแบบ p-i-n junction โดยทำด้วยผลึกเจอรเมเนียมรูปทรงกระบอกตัน ซึ่งมีวาเลนซ์อิเลคตรอน 4 ตัว แล้วเติม (dope) สิ่งเจือปนลงไป เช่น โบรอน ซึ่งมีวาเลนซ์อิเลคตรอน 3 ตัว โบรอนจะจับกับเจอรมันเนียมแบบ covalent bond ได้เพียง 3 bond ดังนั้นจึงขาดอิเลคตรอนอีก 1 ตัว นั่นคือทำให้เกิด hole เจอรเมเนียมส่วนนี้จึงเป็น positive charged carrying material หรือ p-type material จากนั้นก็ให้ลิเธียมซึม (drift) ผ่านเข้าไปจากส่วนนอกของผลึกและเข้าไปหาแกนกลางของผลึกโดยการใช้สนามไฟฟ้าสูง ๆ ลิเธียมจะเข้าถึงศูนย์กลางได้น้อยมาก แต่ระหว่างแกนกลางกับด้านนอกลิเธียมจะซึมเข้าไปได้บ้าง ทำให้ส่วนนี้เป็นกลาง เพราะลิเธียมมีวาเลนอิเลคตรอน 1 ตัว จะไปรวมกับ hole ใน p-type material พอดี จึงเรียกส่วนนี้ว่า lithium-compensated region หรือ intrinsic region ซึ่งจะมีความต้านทานสูงและจะเป็น active volume ส่วนด้านนอกจะมีลิเธียมซึมเข้าได้มาก และลิเธียมมีวาเลนซ์อิเลคตรอน 1 ตัว ส่วนนี้จึงเป็น negative charged carrying material หรือ n-type material เมื่อให้สนามไฟฟ้าชนิดตรงข้าม เช่น reverse bias voltage แล้วทั้ง hole และ electron จะถูกผลักออกจากกัน และไม่มีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น แต่เมื่อ photon เข้าไปชนหัววัด Ge(Li) นี้ ซึ่งจะเป็นไปตามปรากฏการณ์ 3 อย่าง คือ photoelectric effect, compton scattering และ pair production ทำให้มีอิเลคตรอนเกิดขึ้น อิเลคตรอนจะวิ่งไปยังขั้วที่มีศักดาไฟฟ้าเป็นบวก และถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นสัญญาณไฟฟ้าโดยปรีแอมป์

สัญญาณไฟฟ้านี้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ photon ดังนั้นหัววัดชนิดเซมิคอนดัคเตอร์จึงใช้เป็นหัววัดรังสีได้และเพื่อที่จะรักษาอะตอมของลิเธียมให้หยุดนิ่ง เพื่อรักษาคุณสมบัติ intrinsic ของเจอรเมเนียม จึงต้องให้หัววัดนี้อยู่ที่อุณหภูมิต่ำมาก ในระดับอุณหภูมิของไนโตรเจนเหลวคือ -196° C (77° K) โดยมีระบบนำความเย็น (cryostat) และถังเก็บไนโตรเจนเหลว (Price,1964, Johnson,1975, Singru,1972)



รูปที่ 3-1 แสดงภาพตัดขวางของหัววัด Ge(Li)

"A" คือส่วนที่เรียกว่า intrinsic region (lithium compensated region)

"B" คือ p-type core ซึ่งเป็นเจอรเมเนียม

"C" คือ n-type layer ซึ่งเป็นลิเธียมที่ซึมเข้าไป

3.2 Energy Resolution ของหัววัด Ge(Li)

ขีดจำกัดของ Energy Resolution ของหัววัด Ge(Li) ขึ้นอยู่กับจำนวนของคู่ไอออนส์ซึ่งเกิดจากพลังงาน E ของรังสีแกมมาที่ให้จำนวนคู่ไอออนส์ที่เกิดจะมีค่าไม่แน่นอนทั้งนี้เพราะพลังงานของแกมมาที่สูญเสียไปนั้น บางส่วนจะไปทำให้เกิดคู่ไอออนส์ขึ้น และพลังงานอีก ส่วนจะไปทำให้โครงสร้างของผลึกมีอุณหภูมิสูงขึ้น

ให้ ϵ เป็นพลังงานเฉลี่ยในหน่วย eV ซึ่งทำให้เกิดคู่ไอออนส์ได้ 1 คู่ และ Yield, Y เป็นจำนวนคู่ไอออนส์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นเมื่อ intrinsic region นั้นได้รับพลังงาน E

$$\therefore \quad Y = \frac{E}{\epsilon}$$

Fano Factor คือค่าของ variance ต่อ Yield

$$\therefore \text{ Fano Factor, } F = \frac{\sigma^2}{Y} = \frac{\sigma^2}{E/\epsilon} \quad \ldots.(3\text{-}1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{E}{\epsilon} F}$$

$$\epsilon \sigma = \epsilon \sqrt{\frac{E}{\epsilon} F}$$

$$\epsilon \sigma = \sqrt{\epsilon EF}$$

ค่า Energy Resolution ของหัววัด Ge(Li) นิยมบวกเป็น full width at half maximum (FWHM) ของ energy spectrum และจะมีค่าดังนี้

$$\therefore \quad FWHM = 2.35 \sqrt{\epsilon EF}$$

แต่ ϵ มีค่า 2.98×10^{-3} keV/ion-pair

(Antman, Landvis and Pehl, 1966)

$$\therefore \quad FWHM = 2.35 \sqrt{0.00298 EF}$$

$$= 0.1286 \sqrt{EF} \quad \ldots.(3\text{-}2)$$

สำหรับเจอรเมเนียมที่ 77° K

Fano Factor = 0.13