หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

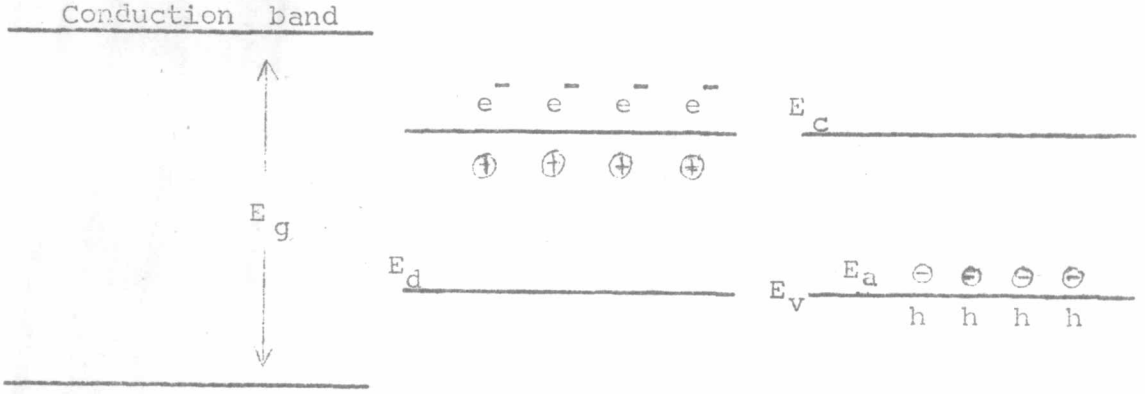
บทที่ 3

เครื่องวัดรังสี

3.1 หัววัดรังสีชนิด เซมิคอนดัคเตอร์ (Semiconductor Detector)

โครงสร้างของผลึกพวก Semiconductor แสดงได้โดยแถบของพลังงาน 2 แถบ แถบแรกที่เรียกว่า Valence band, E_v และแถบที่สอง ซึ่งมีพลังงานสูงกว่าเรียกว่า Conductior band E_c แสดงดังภาพในรูปที่ 3.1 (ก) แถบทั้งสองนี้แยกจากกันด้วยช่วงของพลังงาน E_g (Energy gap) สำหรับซิลิคอน แถบช่วงของพลังงานมีค่า 1.1 eV ของเจอร์มาเนียม มีค่าเท่ากับ 0.66 eV

รูปที่ 3.1 แสดงแถบของพลังงาน ตัวจ่ายอิเลคตรอน (donor) และตัวรับอิเลคตรอน (acceptor) ของแถบที่มีสิ่งเจือปน



การไหลของกระแสไฟฟ้าใน Semiconductor มีได้ 2 วิธี คือ วิธีแรก อิเลคตรอนใด ๆ ใน Conduction bandจะเคลื่อนที่ได้โดยเสรี เมื่อได้รับสนามไฟฟ้า วิธีที่ 2 อิเลคตรอนบางตัวถูกดึงจาก Valence band ทำให้เกิดมีช่องว่างที่เรียกว่า Hole

Hole ใน Valence band จะเคลื่อนที่ได้โดยอิสระโดยการกระทำของสนามไฟฟ้า เช่นเดียวกับอิเลคตรอนใน Conduction band ในผลึก electron และ hole ทำให้เกิดขึ้นได้โดยการเจือสารไม่บริสุทธิ์ลงไป การเติมสิ่งเจือปนลงในผลึกนี้เรียกว่า Doping พวกธาตุที่มีวาเลนซี 5 เช่น ฟอสฟอรัส อาเซนิค และแอนติโมนี เมื่อเติมเข้าไปแล้วจะไปแทนที่อะตอมของซิลิคอน หรือ เจอร์มาเนียม ทำให้มีอิเลคตรอนเกินพอที่จะจับกับอะตอมอื่น 1 ตัว ในโครงสร้างของผลึกอะตอมของสิ่งที่เจือไปในผลึกจะให้อิเลคตรอน 1 ตัว จาก Valence electron แก่ Conduction band จึงเรียกพวกนี้ว่าเป็นพวกที่ให้อิเลคตรอน (donor) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.1 (ข) เป็นผลทำให้มีประจุบวกของกลุ่มอะตอมที่เจือเข้าไปอยู่ในระดับอันหนึ่งของพลังงาน E_d ซึ่งอยู่ต่ำลงมาจาก E_c E_d จะมีค่าน้อยกว่า E_g ถ้าเป็นซิลิคอนมีค่าประมาณ 0.04 eV และสำหรับเจอร์มาเนียมมีค่าประมาณ 0.01 eV

สำหรับธาตุที่มีวาเลนซี 3 เช่น โบรอน และ แกลเลียม ถ้า dope เข้าไปในผลึกจะทำให้เกิดอิเลคตรอนหายไป 1 ตัว พลังงานเพียงจำนวนเล็กน้อย สามารถที่จะกระตุ้นให้อิเลคตรอนใน Valence electron ขึ้นไปอยู่ที่ระดับของพลังงานอีกขั้นหนึ่ง E_a ซึ่งอยู่เหนือแถบ Valence band ขึ้นมาเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 3.1 (ค) พวกนี้เรียกว่าเป็นพวกรับอิเลคตรอน (Acceptor) เช่นเดียวกับ E_a มีค่าต่ำกว่า E_g สำหรับพวกซิลิคอนมีค่า 0.055 eV และพวกเจอร์มาเนียม มีค่าเท่ากับ 0.01 eV

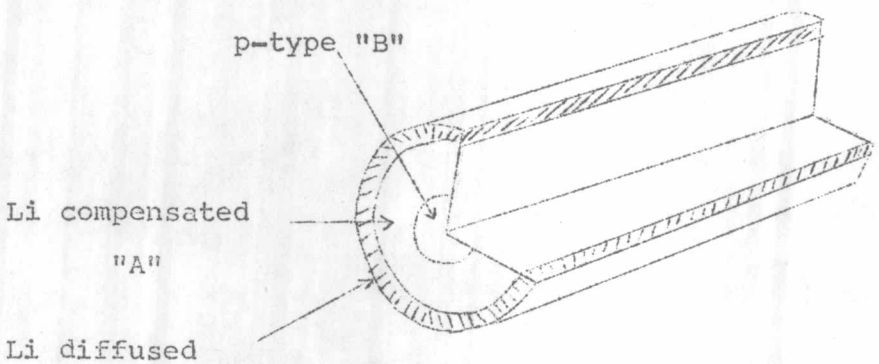
Semiconductor ที่มีกลุ่ม donor มากกว่า Acceptor เรียกว่าเป็นชนิด n (n-type) ประจุที่เป็นตัวที่เคลื่อนที่ คือ อิเลคตรอน Semiconductor ที่มี Acceptor มากกว่า donor เรียกว่าเป็นชนิด p (p-type) ประจุที่เคลื่อนที่คือ Hole เซมิคอนดัคเตอร์ ชนิดทำงานเป็นหัววัดรังสี เป็นแบบ p-i-n junction และใช้ไฟฟ้าแบบ Reverse bias voltage

3.2 หัววัด Ge(Li)

Photon ที่เข้าไปในหัววัด Ge(Li) (Lithium Drifted Germanium Detector) จะเกิดปรากฏการณ์ 3 อย่าง คือ Photoelectric effect, Compton

Scattering และ Pair Production หัววัดรังสีแกมมาที่ใช้เป็นแบบ p-i-n junction ทำจาก p-type ของ เจอร์มาเนียม ซึ่งมีความบริสุทธิ์สูงมาก และมี n-type เป็นลิเธียม ซึมผ่านเข้าไปจากส่วนนอกของผลึกและเข้าไปหาแกนกลางของผลึกโดยการใช้สนามไฟฟ้าสูง ๆ และควบคุมด้วยความระมัดระวัง

หัววัด Ge(Li) แสดงให้เห็นส่วนข้างใน แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงภาพผ่าซีกของหัววัด Ge(Li)

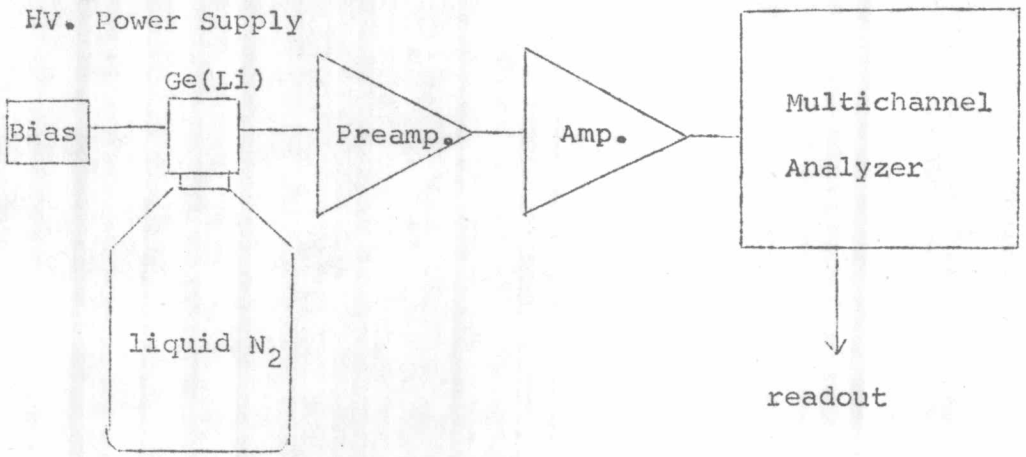
ซึ่ง "A" แสดงถึงส่วนที่เรียกว่า intrinsic region

"B" แสดงถึง สารชนิด p-type ซึ่งเป็น เจอร์มาเนียมอยู่ที่แกนกลาง

"C" เป็นส่วนผิวนอก เป็นสารพวก n-type ซึ่งเป็นส่วนที่ลิเธียมจะซึมเข้าไป

โครงสร้างอะตอมของ intrinsic germanium ต้องการอุณหภูมิต่ำ ๆ เพื่อที่จะรักษาให้อะตอมของลิเธียมอยู่ที่ ซึ่งสภาวะเช่นนี้ต้องอยู่ที่อุณหภูมิของไนโตรเจนเหลว คือ -196° C โดยมีระบบนำความเย็น (Cryostat) และถังเก็บไนโตรเจนเหลว รูปที่แสดงในรูปที่ 3.2 นี้เป็นแบบหนึ่งของ Ge(Li) สร้างโดยบริษัท Ortec เรียกว่าชนิด True Right Circular Cylinder (TRCC) Coaxial detector

การต่อวงจรอิเลคตรอนเข้ากับ หัววัด Ge(Li) แสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงผังวงจรของระบบหัววัดรังสี

3.3 Energy Resolution ของ Ge(Li) Detector

ค่า Energy Resolution ของหัววัด Ge(Li) จะมีขีดจำกัดอันหนึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของ electron-hole pairs ที่เกิดขึ้นจากพลังงาน E ของรังสีแกมมาที่เข้าไป ขีดจำกัดนี้ยังรวมถึง Fano Factor ด้วย จากการพิจารณาถึงพลังงานของรังสีแกมมา E ซึ่งถูกดูดไว้ใน intrinsic region ของ Ge(Li) หมดส่วนหนึ่งของพลังงานจะไปทำให้เกิด electron-hole pairs ขึ้นและพลังงานอีกส่วนหนึ่งจะไปทำให้โครงสร้างของผลึกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่ง Fano Factor หมายความว่าเป็นสัดส่วนของ variance ของ Yield ซึ่ง Yield, Y นี้เป็นจำนวนคู่ของ electron-Hole ที่เกิดขึ้นจากการรับพลังงานของรังสีแกมมา E และ C เป็นจำนวน ev ที่ทำให้เกิด electron-hole pairs 1 คู่ ในเจอร์มาเนียม

$$Y = \frac{E}{C}$$

และ Fano Factor $F = \dfrac{\sigma^2}{E/C}$ ..... (3.1)

ถ้าพลังงานทั้งหมดของรังสีแกมมานี้เข้าไปทำให้เกิดเฉพาะ eletron-hole pairs เท่านั้น F จะมีค่าเท่ากับ C และ F = 1 ถ้าหากว่าโอกาสในการที่ทำให้เกิด electron-hole pairs น้อยมาก

$$C = C\sqrt{\frac{E}{C} \cdot F} = \sqrt{CEF}$$

$$^{*}C = (2.98 \pm 0.01) \times 10^{-3} \text{ KeV/ion pair}$$

ค่าของการแยกพลังงานของหัววัด Ge(Li) นิยมบอกกันเป็นค่า Full Width Half Maximum, FWHM ซึ่งคือ 2.355 σ

FWHM in KeV สำหรับรังสีแกมมาที่มีพลังงาน E

$$FWHM = 2.355\sqrt{CEF} \quad \text{.....(3.2)}$$

$$2.355\sqrt{0.00298\ EF}$$

$$0.1286\sqrt{EF} \quad \text{.....(3.3)}$$

สำหรับเจอร์มาเนียม ที่อุณหภูมิของไนโตรเจนเหลว -196° C

Fano Fuctor F = 0.13

3.4 ข้อดีของหัววัดแบบเซมิคอนดัคเตอร์

หัววัดแบบเซมิคอนดัคเตอร์นี้มีข้อดีกว่าหัววัดแบบอื่น ๆ หลายประการ คือ

1. วัดได้ละเอียด ในการทำให้เกิดคู่อิเลคตรอน-โฮล นั้น ปรากฏว่าใช้พลังงานเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อเทียบกับแกสซึ่งต้องใช้พลังงานที่สูงกว่ามาก และเครื่องวัดแบบนี้สามารถใช้วัดพลังงานได้ละเอียดมาก

2. ความไวในการวัดสูง การเคลื่อนที่ของอิเลคตรอนในหัววัด (Mobility)

---

* S.O.W. Antman, Nuclear Instrument and Methods, 40(1966), 272.

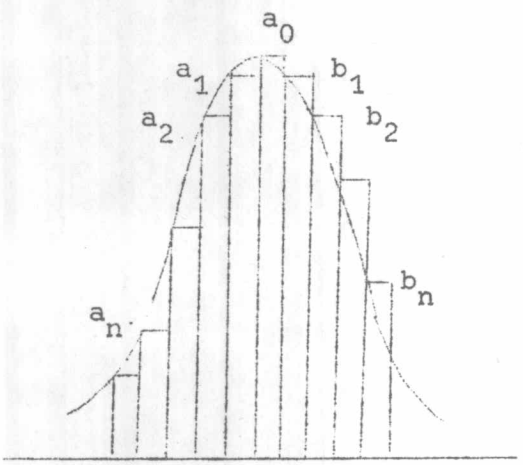
ประมาณ 1500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อโวลท์ต่อวินาที และของโซล มีความไว 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อโวลท์ต่อวินาที เวลาที่วิ่งในหัววัดจะใช้เวลาเพียง 10^{-8} วินาที ต่อการวัดครั้งหนึ่ง ๆ ซึ่งนับว่ามีความไวสูงมาก

3. กำลังแยกช่วงพลังงาน (Energy Resolution) สูงสามารถแยกพลังงานรังสีแกมมาได้ละเอียดมาก

4. หัววัดมีขนาดเล็ก

3.5 การคำนวณหาพื้นที่ใต้ Peak ของแกมมาสเปคตรัม

การหาความแรงของรังสีแกมมาก็คือหรือการหาปริมาณของธาตุโดยการเปรียบเทียบ Peak จากแกมมาสเปคตรัม ถ้าในสารนั้นมีอยู่หลาย ๆ ธาตุด้วยกัน Peak ของรังสีแกมมาที่มีพลังงานน้อยกว่าจะถูกรบกวนด้วย Peak ของ รังสีแกมมาที่มีพลังงานสูงกว่า เพื่อแก้การรบกวนนี้ จึงต้องหาพื้นที่ใต้ของ Peak ที่เรียกว่า base area และหักออกจากพื้นที่ Peak ทั้งหมด การคำนวณใช้วิธีของ Covell ดังแสดงในรูป 3.4



รูปที่ 3.4 แสดง Pulse height Analysis ของแกมมาสเปคตรัม

a_0 เป็นจำนวนที่นับมากที่สุดของ Peak

$a_1, a_2 \ldots\ldots\ldots a_n$ เป็นจำนวนที่นับได้ที่จำนวน Channel น้อยกว่า a_0

และ $b_1, b_2 \ldots\ldots\ldots b_n$ เป็นจำนวนที่นับได้ที่ Channel ต่าง ๆ ที่มีค่ามากกว่า Channel ของ a_0

P เป็นจำนวนที่นับได้ทั้งหมดตั้งแต่ a_n ถึง b_n

Q เป็นจำนวนที่นับได้ของ base area

N เป็นจำนวนสุทธิ

ซึ่งพื้นที่ของ Peak นี้ที่ base area เส้นเชื่อมระหว่าง a_n กับ b_n มีค่าเท่ากับ $N = P-Q$

ซึ่ง $$P = a_0 + \sum_{i=1}^{n} a_i + \sum_{i=1}^{n} b_i$$

และ $$Q = \frac{(2n-1)(a_n+b_n)}{2} + (a_n + b_n)$$

$$= \frac{(2n+1)(a_n+b_n)}{2}$$

$$= (n + \tfrac{1}{2})(a_n + b_n)$$

$$N = P - Q$$

$$= a_0 + \sum_{i=1}^{n} a_i + \sum_{i=1}^{n} b_i - (n+\tfrac{1}{2})(a_n+b_n) \quad \text{.....} \quad (3.4)$$

3.6 การสร้าง Calibration Data

Calibration Data เป็นตารางที่เทียบระหว่าง channel ที่เกิด peak ต่าง ๆ กับพลังงานรังสีแกมมานั้น ดำเนินการหาได้ดังนี้

- ตั้ง High Voltage Power Supply ให้ถูกต้องเฉพาะสำหรับหัววัด Ge(Li) นั้น

- ตั้ง Gain ของการวัด ที่ต้องการทำ Calibration Data

- ใช้สารกัมมันตรังสีที่ทราบค่าพลังงานแน่นอนจากแหล่งกำเนิดรังสี เช่น Cs^{137} Mn^{54}, Co^{60}, Na^{22} เป็นต้นกำเนิดรังสี โดยใช้วัดด้วย Ge(Li) Detector แต่ละครั้งด้วยเวลาเท่า ๆ กัน

- จาก channel ที่ได้จากพลังงานที่ทราบของต้นกำเนิดรังสีต่าง ๆ นำไป plot บนกราฟ แบบ linearระหว่าง channel กับ พลังงานจะได้ Calibration Curve ของ Ge(Li) Detector ที่ Gain นั้น

- จาก Calibration Curveนำไปทำตารางเทียบระหว่าง channel และพลังงานต่อไป