บทที่ 3

เครื่องวัดรังสี

3.1 หัววัดรังสีชนิดกึ่งตัวนำ (Semiconductor Detector)

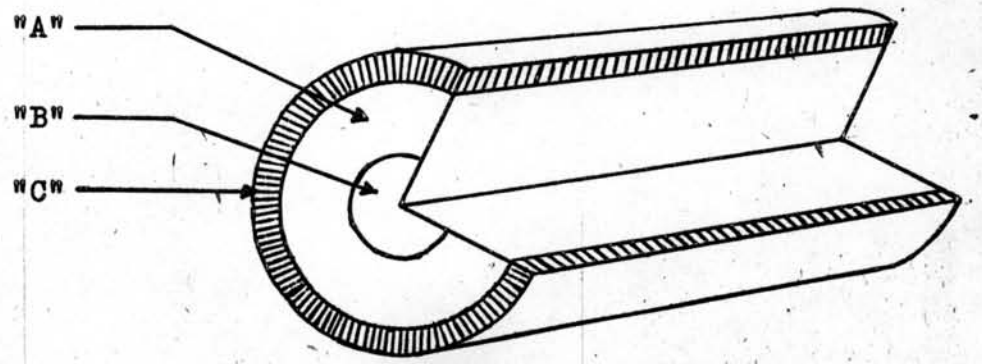
ปัจจุบันหัววัดรังสีที่ใช้กันอยู่ส่วนใหญ่เป็นชนิดกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เพราะหัววัดรังสีชนิดนี้ มีความสามารถในการแยกPeak ที่มีพลังงานใกล้เคียงกันออกจากกันได้ดีกว่าแบบอื่นๆมาก หัววัดรังสีชนิดกึ่งตัวนำนี้มีโครงสร้างของผลึกที่สำคัญ 2 ส่วน ส่วนที่เป็นตัวให้ อิเลคตรอน (Electron Donor) เรียกว่า n-region และส่วนที่เป็นตัวรับ อิเลคตรอน (Electron Acceptor) เรียกว่า p-region เมื่อต่อวงจรไฟฟ้าเข้ากับทั้งสองส่วนของผลึกนี้ โดยให้ n-region เป็นขั้วบวก และ p-region เป็นขั้วลบ แบบที่เรียกว่า reverse bias voltage จะทำให้บริเวณของผลึกที่ทั้งสองส่วนมาเชื่อมต่อกัน หรือที่เรียกว่า p-n junction ทำหน้าที่เป็นหัววัดรังสีได้

เพื่อให้หัววัดรังสีชนิดกึ่งตัวนำ วัดรังสีปริมาณน้อยๆได้โดยไม่ต้องใช้ความต่างศักย์สูง นิยมให้ลิเธียมซึม(diffuse) เข้าสู่ผลึกของเจอร์มาเนียม หรือซิลิกอน แล้วลิเธียมทำหน้าที่เป็น n-region ของผลึก เรียกหัววัดแบบนี้ว่า Lithium Drifted Germanium Detector หรือ Lithium Drifted Silicon Detector

006529

รูปที่ 3-1

ภาพผ่าตามยาวของหัววัดรังสี Ge(Li)



118295576

ซึ่ง "A" เป็นส่วนที่เรียกว่า Lithium compensated region

"B" เป็นส่วนที่เรียกว่า Uncompensated conducting p-region

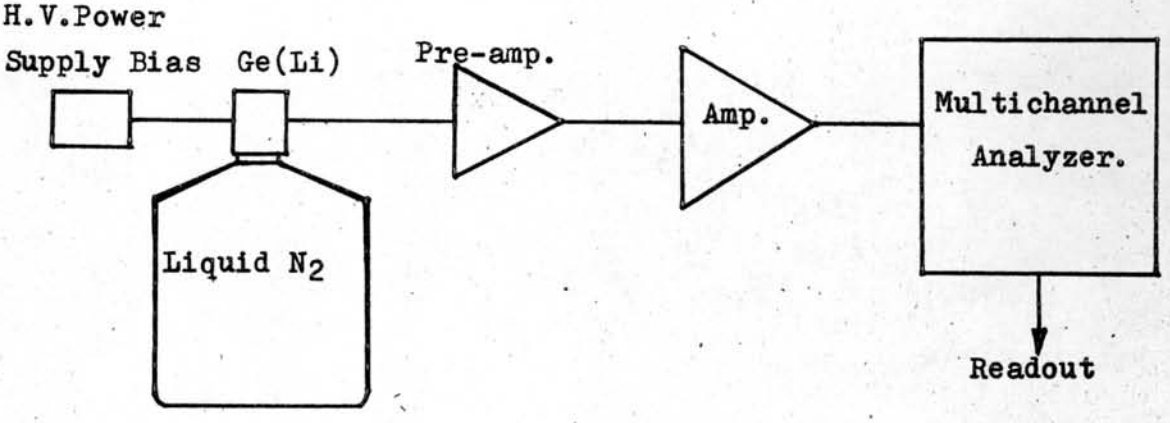
"C" เป็นส่วนที่เรียกว่า Lithium diffused region

รูปที่ 3-1 แสดงให้เห็นส่วนข้างในของหัววัดรังสี Ge(Li) แบบหนึ่ง ซึ่งผลิตโดยบริษัท Ortec เรียกว่าแบบ True Right Circular Cylinder (TRCC) Coaxial Detector

โครงสร้างอะตอมของ Lithium compensated region ต้องการอุณหภูมิต่ำๆ เพื่อที่จะรักษาให้อะตอมของลิเธียมอยู่กับที่ ซึ่งสภาวะเช่นนี้ต้องอยู่ที่อุณหภูมิของไนโตรเจนเหลว คือ -196°C โดยมีระบบนำความเย็น (Cryostat) ซึ่งประกอบด้วย ถังเก็บไนโตรเจนเหลว และห้องสูญญากาศ (Vacuum Chamber)ซึ่งใช้บรรจุหัววัด หัววัด Ge(Li) นี้ต่อเข้ากับวงจรอิเลคทรอนิค ของเครื่องวัดรังสีตามผังวงจรในรูปที่ 3-2

รูปที่ 3-2

ผังวงจรของหัววัดรังสี Ge(Li)



3.2 Energy Resolution ของ Ge(Li) Detector

เมื่อรังสีแกมม่าพลังงาน E กระทบหัววัด พลังงานจะสูญเสียไปได้สองทางคือ ทำให้เกิดคู่ไอออนส์(Ion pair) และทำให้ผลึกมีความร้อนสูงขึ้น ปกติพลังงานที่ใช้เพื่อให้เกิด 1 คู่ไอออนส์

จะมีค่าคงที่ เช่น ในผลึกเจอร์มาเนียมจะมีค่าเท่ากับ 2.98 ev ต่อหนึ่งคู่ไอออนส์ ที่อุณหภูมิ -196°C แต่พลังงานที่สูญเสียไป โดยทำให้ผลึกมีความร้อนสูงขึ้นนั้น มีค่าไม่คงที่ จึงเป็นเหตุให้รังสีแกมม่าที่มีพลังงาน E เหมือนกัน ให้จำนวนครั้งของการไอออนไนส์ (Ionization) แตกต่างกัน อัตราส่วนของค่าเบี่ยงเบนมัชฌิมที่ได้จากผลต่างของจำนวนครั้งที่เกิดไอออนไนส์จริงๆ กับที่ควรเกิด ถ้ารังสีไม่สูญเสียพลังงานโดยทำให้ผลึกมีความร้อนสูงขึ้น เมื่อยกกำลังสองแล้วหารด้วยจำนวนครั้งที่ควรจะเกิดการไอออนไนส์ เรียกว่า ฟาโนแฟคเตอร์ (Fano Factor)

นั่นคือ $$F = \frac{\bar{n}_0^2}{n} = \frac{\bar{n}_0^2 . \epsilon}{E} \qquad (3.1)$$

เมื่อ F = Fano Factor

$\bar{n}_0^2$ = ค่าเบี่ยงเบนมัชฌิมยกกำลังสอง หรือ Variance

n = จำนวนครั้งที่ควรจะเกิดไอออนไนส์ ถ้ารังสีแกมม่าไม่สูญเสียพลังงานโดยการทำให้ผลึกร้อน

E = พลังงานของรังสีแกมม่าที่ตกกระทบหัววัด

= พลังงานเฉลี่ยที่ทำให้เกิด 1 คู่ ไอออนส์

สมการ (3.1) อาจเขียนในรูป

$$\epsilon n_0 = \sqrt{\epsilon . E . F}$$

ความสามารถของ Ge(Li) ในการแยก Peak (Energy Resolution) ขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีแกมม่า พลังงานเฉลี่ยที่ทำให้เกิด 1 คู่ ไอออนส์ และค่า Fano Factor ปกติให้นิยาม Resolution เท่ากับค่าความกว้างของ Peak ที่จุดกึ่งกลางของความสูง (Full Width at Half Maximum, FWHM) และ

$$FWHM = 2.355\sqrt{\epsilon . E . F} = 4.06\sqrt{E . F} \text{ ev} \qquad (3.2)$$

ค่า Fano Factor ของเจอร์มาเนียม ที่อุณหภูมิในโตรเจนเหลว ปกติจะต่ำกว่า 0.15

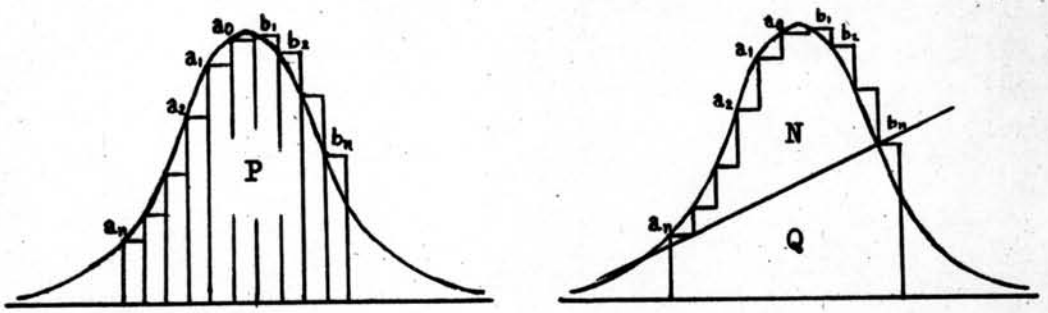
3.3 การคำนวณหาพื้นที่ใต้ Peak ของแกมม่าสเปคตรัม

การหาความแรงของรังสีแกมม่า หรือการหาปริมาณของธาตุโดยการเปรียบเทียบ Peak

จากแกมม่าสเปคตรัมนั้น ถ้าในสารนั้นมีอยู่หลายๆธาตุด้วยกัน Peak ของรังสีแกมม่าที่มีพลังงานน้อยกว่าจะถูกรบกวนด้วย Peak ของรังสีแกมม่าที่มีพลังงานสูงกว่า เพื่อแก้การรบกวนนี้จึงนิยมใช้การคำนวณหาพื้นที่ภายใต้ Peak ที่เรียกว่า base area การคำนวณในที่นี้ใช้วิธีของ Covell[14] ที่อธิบายอย่างย่อไว้ข้างล่าง รูปที่ 3-3 ก). และ ข). เป็นรูปประกอบคำอธิบาย

รูปที่ 3-3

Pulse Height Analysis ของแกมม่าสเปคตรัม



(ก) (ข)

a_0 เป็นจำนวนนับที่มากที่สุดของ

$a_1, a_2, \ldots\ldots, a_n$ เป็นจำนวนที่นับได้ที่ channel น้อยกว่า a_0 และ

$b_1, b_2, \ldots\ldots, b_n$ เป็นจำนวนที่นับได้ที่ channel ต่างๆ ที่มีค่ามากกว่า channel a_0

ซึ่งพื้นที่ของ Peak นี้ ที่ 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 $$Q = \frac{(2n-1)(a_n + b_n)}{2} + (a_n + b_n) = (n + \tfrac{1}{2})(a_n + b_n)$$

$$N = a_0 + \sum_{i=1}^{n} a_i + \sum_{i=1}^{n} b_i - (n + \tfrac{1}{2})(a_n + b_n) \qquad (3.3)$$

---

[14] D.F. Covell, "Determination of Gamma-ray Abundance Directly from the Total Absorption Peak" Analytical Chemistry, Vol.31 No.11, (Nov.1959) 1785-1787.