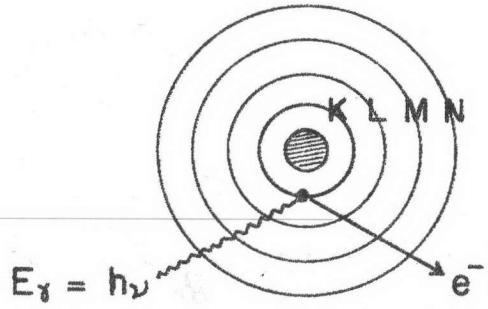
บทที่ 3
เครื่องวัดรังสี

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

3.1 การวัดพลังงานรังสีแกมม่า

รังสีแกมม่าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง การวัดพลังงานรังสีแกมม่าอาศัยการเกิดปฏิกริยาของรังสีแกมม่าต่อวัตถุ โดยนำผลของปฏิกริยาเหล่านี้มาคำนวณพลังงานของรังสีแกมม่าได้ปฏิกริยาที่นำมาใช้เกี่ยวกับการวัดรังสีได้แก่

3.1.1 The Photoelectric Effect. เกิดขึ้นเมื่อรังสีแกมม่าเข้าไปในวัตถุแล้วถ่ายทอดพลังงานทั้งหมดของรังสีแกมม่าให้แก่อีเลคตรอนที่วนรอบนิวเคลียส โดยเฉพาะอย่างยิ่งอีเลคตรอนในวง K และ L ซึ่งเป็นวงในและมีพลังงานต่ำ อีเลคตรอนเมื่อได้รับพลังงานก็จะหลุดจากวงโคจรออกไปภายนอกอะตอม เรียกว่าโฟโตอีเลคตรอน (Photoelectron) โฟโตอีเลคตรอนนี้จะทำให้เกิด secondary ionization อีกต่อหนึ่ง



รูปที่ 3–1 The Photoelectric Effect.

พลังงานของรังสีแกมม่า = พลังงานจลน์ของโฟโตอีเลคตรอนรวมกับพลังงานของอีเลคตรอนขณะที่อยู่ในวงรอบนิวเคลียส

โฟโตอีเลคตริคเอฟเฟคมักทำให้เกิดรังสีเอกซ์ เนื่องจากอีเลคตรอนที่อยู่วงนอกอะตอม

เข้ามาแทนที่โฟโตอีเลคตรอนแล้วถ่ายทอดพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปรังสีเอกซ์

โอกาสของการเกิดโฟโตอีเลคตริคเอฟเฟคแปรผันตามค่าอะตอมมิคนัมเบอร์ (Atomic number) ยกกำลังสี่ และแปรผกผันกับพลังงานรังสีแกมม่ายกกำลังสาม นั่นคือ โฟโตอีเลคตริคเอฟเฟคจะเกิดได้ง่าย ถ้ารังสีแกมม่ามีพลังงานต่ำไปชนกับธาตุหนัก ๆ

3.1.2 The Compton Effect. เกิดขึ้นเมื่อรังสีแกมม่าถ่ายทอดพลังงานให้กับอีเลคตรอนวงรอบอะตอมแล้วยังมีพลังงานเหลืออยู่ ทำให้รังสีแกมม่าออกมาจากอะตอมโดยมีพลังงานน้อยลง ดังสมการ

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + (h\nu / m_o c^2)(1-\cos\theta)}$$

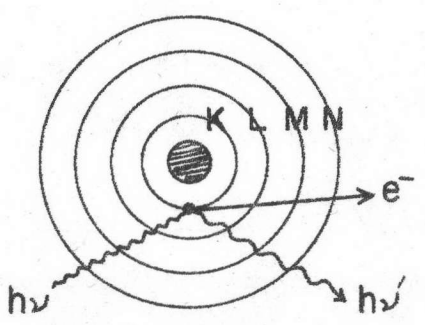
$h\nu$ = พลังงานเดิมของรังสีแกมม่า

$h\nu'$ = พลังงานของรังสีแกมม่าที่กลับออกมา

θ = มุมที่รังสีแกมม่าเบี่ยงเบนไปจากเดิม

m_o = มวลของอีเลคตรอนในสภาพปกติ

c = ความเร็วของแสง



รูปที่ 3-2 The Compton Effect.

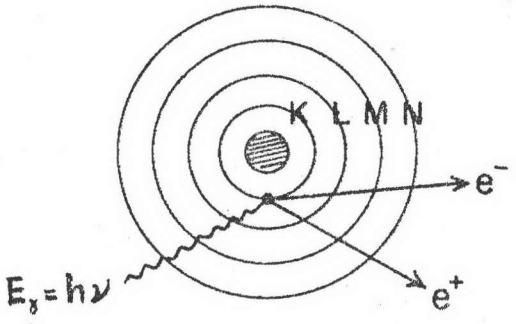
กรณีของคอมป์ตันเอฟเฟค อีเลคตรอนวงรอบอะตอมที่ได้รับพลังงานจากรังสีแกมม่าจะหลุดออกมาด้วยโดยมีพลังงาน ดังสมการ

$$E = \frac{h\nu}{1 + m.c^2/2h\nu}$$

โอกาสของการเกิดคอมป์ตันเอฟเฟคแปรผกผันกับพลังงานของรังสีแกมม่า และจะเกิดขึ้นได้ดี เมื่อรังสีแกมม่ามีพลังงานมากกว่า 1 MeV.

3.1.3 Pair Production เกิดขึ้นเมื่อรังสีแกมม่ามีพลังงานขนาด 1.02 MeV. หายเข้าไปในอะตอมของธาตุ แล้วเกิดมีอีเลคตรอน (electron) และโพซิตรอน (positron) ซึ่งต่างก็มีพลังงานขนาด 0.51 MeV. ทั้งคู่ โพซิตรอนที่เกิดขึ้นนี้จะอยู่ได้ไม่นาน โดยจะรวมกับอีเลคตรอนกลายเป็นรังสีแกมม่าตามขบวนการที่เรียกว่าแอนนิฮิเลชั่น (Annihilation)

โอกาสของการเกิดแพร์โปรดัคชั่นแปรผันตามอะตอมมิคนัมเบอร์ยกกำลังสองนั่นคือจะเกิดได้มากถ้ารังสีแกมม่าชนกับอะตอมของธาตุหนัก ๆ



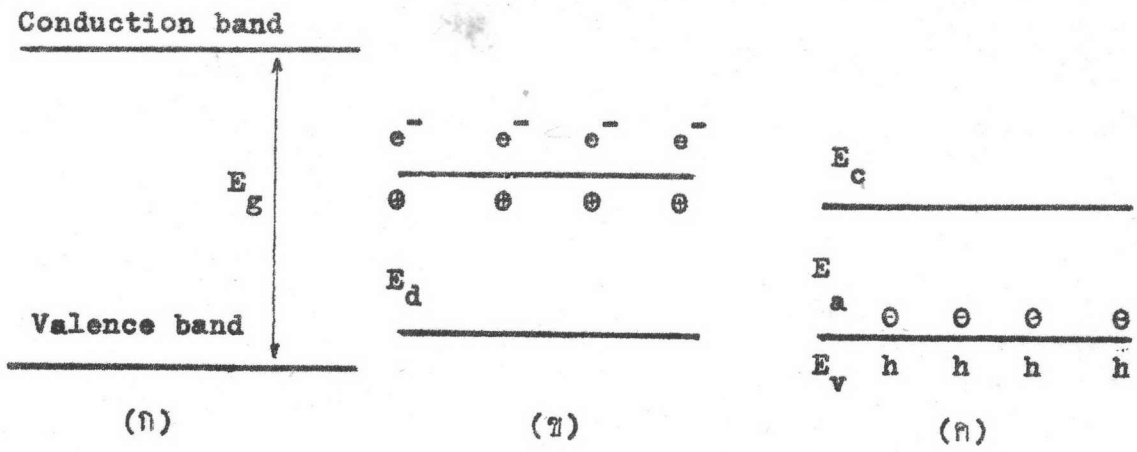
รูปที่ 3–3 Pair Production

เนื่องจากรังสีแกมม่ามีผลต่อวัตถุได้หลายแบบดังกล่าวแล้ว ทำให้นักรังสีสามารถเลือกใช้หัววัดรังสี (Detector) แบบต่าง ๆ ได้หลายแบบ คือ

3.2 <u>หัววัดรังสีชนิด เซมิคอนดักเตอร์</u> (Semiconductor Detector)

โครงสร้างของผลึกพวก Semiconductor แสดงได้โดยแถบของพลังงาน 2 แถบ แถบแรกเรียกว่า Valence band, E_v และแถบที่สองซึ่งมีพลังงานสูงกว่าเรียกว่า Conduction band, E_c แสดงโดยรูปที่ 3-4 (ก) แถบทั้งสองนี้แยกจากกันด้วยช่วงของพลังงาน E_g (Energy Gap) สำหรับ ซิลิคอน แถบช่วงพลังงาน = 1.1 eV.

เจอร์มาเนียม แถบช่วงพลังงาน = 0.66 eV.



<u>รูปที่ 3-4</u> (ก) แสดงแถบของพลังงาน

(ข) และ (ค) แสดงตัวจ่ายอีเลคตรอน (donor) และตัวรับอีเลคตรอน (accepter) ของแถบที่มีสิ่งเจือปน

การไหลของกระแสไฟฟ้าใน Semiconductor มีได้ 2 วิธี คือ

วิธีแรก อีเลคตรอนใด ๆ ใน Conduction band จะเคลื่อนที่ได้โดยเสรีเมื่อได้รับสนามไฟฟ้า

วิธีที่สอง อีเลคตรอนบางตัวถูกดึงจาก Valence band ทำให้เกิดมีช่องว่างที่เรียกว่า Hole ซึ่งจะทำหน้าที่คล้ายประจุไฟฟ้าบวก

Hole ใน Valence band จะเคลื่อนได้โดยอิสระโดยการกระทำของสนามไฟฟ้าเช่นเดียวกับอีเลคตรอนใน Conduction band

ในผลึกของ Semiconductor สามารถทำให้เกิด electron และ hole โดยการเจือสารไม่บริสุทธิ์ลงไป การเติมสิ่งเจือปนลงไปในผลึกนี้เรียกว่า Doping พวกธาตุที่มีวาเลนซี่ 5 เช่น ฟอสฟอรัส อาเซนิค และ แอนติโมนี่ เมื่อเติมเข้าไปแล้วจะไปแทนที่อะตอมของซิลิคอน หรือเจอร์มาเนียม ทำให้มีอีเลคตรอนเกินพอที่จะจับกับอะตอมอื่นหนึ่งตัว ในโครงสร้างของผลึกอะตอมของสิ่งเจือปนลงไป จะให้อีเลคตรอนหนึ่งตัวจาก Valence electron แก่ Conduction band จึงเรียกพวกนี้ว่าเป็นพวกที่ให้อีเลคตรอน (donor) ซึ่งแสดงในรูป 3-4 (ข) การให้อีเลคตรอนทำให้ประจุบวกของกลุ่มอะตอมที่เจือเข้าไปอยู่ในระดับหนึ่งของพลังงาน E_d ซึ่งอยู่ต่ำลงมาจาก E_c, E_d จะมีค่าน้อยกว่า E_g ถ้าเป็นซิลิคอนมีค่าประมาณ 0.04 eV. และสำหรับเจอร์มาเนียมมีค่าประมาณ 0.01 eV.

สำหรับธาตุที่มีวาเลนซี่ 3 เช่น โบรอน และ แกลเลียม ถ้า dope เข้าไปในผลึกจะทำให้อีเลคตรอนหายไปหนึ่งตัว และพลังงานเพียงจำนวนเล็กน้อย สามารถที่จะกระตุ้นให้อีเลคตรอนใน Valence electron ขึ้นไปอยู่ที่ระดับของพลังงานอีกชั้นหนึ่ง E_a ซึ่งอยู่เหนือแถบ Valence band ขึ้นมาเล็กน้อย ดังแสดงโดยรูปที่ 3-4 (ค) พวกนี้เรียกว่าพวกรับอีเลคตรอน (Acceptor) ค่า E_a มีค่าต่ำกว่า E_g สำหรับพวกซิลิคอนมีค่า 0.055 eV. และพวกเจอร์มาเนียมมีค่าเท่ากับ 0.01 eV.

Semiconductor ที่มีกลุ่ม donor มากกว่า Acceptor เรียกว่าเป็นชนิด n (n-type) ประจุที่เป็นตัวเคลื่อนที่คือ อีเลคตรอน

Semiconductor ที่มี Acceptor มากกว่า donor เรียกว่าเป็นชนิด p (p-type) ประจุเคลื่อนที่คือ hole

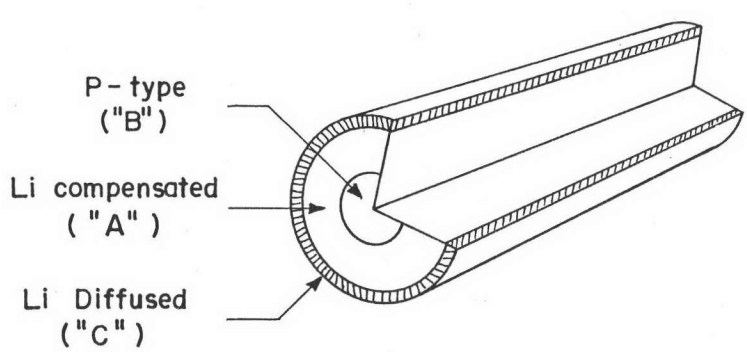
ภายในผลึกอาจจะมีการเปลี่ยนจาก p-type ไปเป็น n-type ซึ่งเรียกว่า p-n junction เมื่อมีการใช้สนามไฟฟ้าชนิดตรงกันข้าม การใช้สนามไฟฟ้าแบบนี้ เรียกว่า Reverse bias voltage ซึ่งจะทำให้ p-n junction ทำหน้าที่เป็นหัววัดรังสีได้

3.3 หัววัด Lithium Drifted Germanium Detector, Ge (Li)

Photon ที่เข้าไปในหัววัด Ge (Li) จะทำให้เกิด electron hole ซึ่งเป็นผลจากรังสีถ่ายเทพลังงานให้กับวัตถุ และเกิดปรากฏการณ์ 3 อย่างดังกล่าวข้างต้น คือ Photoelectric effect, Compton Scattering และ Pair Production

หัววัด Ge (Li) แสดงดังรูปที่ 3-5 เป็นแบบ p-i-n junction ทำจาก p-type ของเจอร์มาเนียมซึ่งมีคุณภาพสูงมาก และมี n-type เป็นลิเธี่ยม ซึมผ่านเข้าไปจากส่วนนอกของผลึกและเข้าไปหาแกนกลางของผลึกโดยใช้สนามไฟฟ้าสูง ๆ และควบคุมด้วยความระมัดระวัง

โครงสร้างอะตอมของ intrinsic germanium ต้องการอุณหภูมิต่ำ ๆ เพื่อที่จะรักษาให้อะตอมของลิเธี่ยมอยู่ที่ ซึ่งสภาวะเช่นนี้ต้องใช้อุณหภูมิของไนโตรเจนเหลว คือ −196° ซ. หัววัด Ge (Li) ตามรูปที่ 3-5 นี้ เป็นชนิด True Right Circular Cylinder Coaxial detector (TRCC) สร้างโดยบริษัท ORTEC



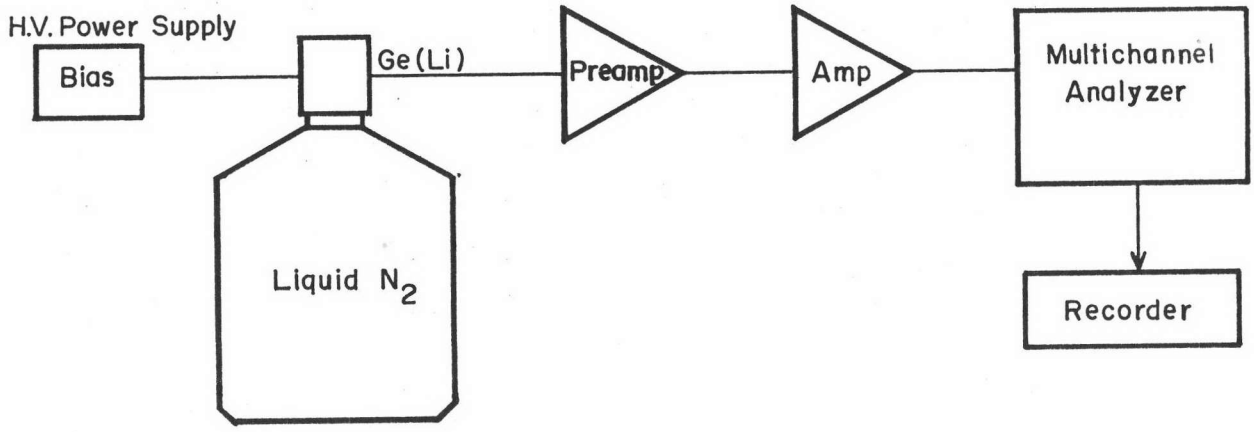
รูปที่ 3-5 แสดงภาพหน้าตัดของหัววัด Ge (Li)

"A" = แสดงถึง intrinsic region (บริเวณที่มีสิ่งเจือปนในเนื้อแท้ของผลึก)

"B" = แสดงถึง p-type ทำจากเจอร์มาเนียม

"C" = แสดงถึง n-type เป็นลิเธียมซึ่งจะซึมเข้าไป

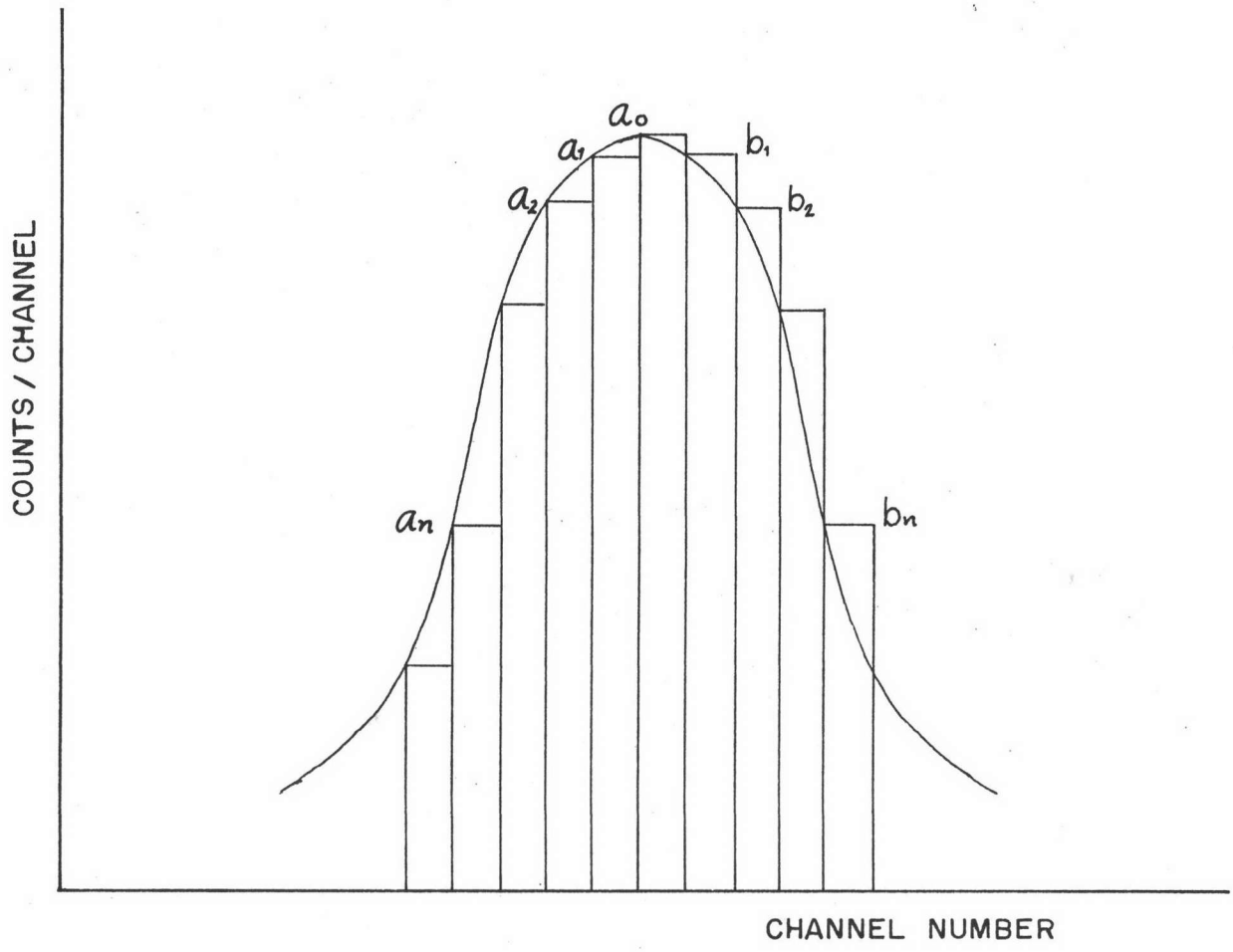
การต่อหัววัด Ge (Li) กับวงจรอีเลคทรอนิคส์ แสดงโดยรูปที่ 3–6



รูปที่ 3–6 แสดงผังวงจรของเครื่องวัดรังสีโดยใช้หัววัด Ge (Li)

3.4 การคำนวณหาพื้นที่ใต้ Peak ของแกมม่าสเปคตรัม

การหาความแรงของรังสีแกมม่า หรือการหาปริมาณของธาตุโดยการเปรียบเทียบ Peak จากแกมม่าสเปคตรัมนั้น ถ้าในสารตัวอย่างนั้นมีอยู่หลาย ๆ ธาตุด้วยกัน Peak ของรังสีแกมม่าที่มีพลังงานต่ำจะถูกรบกวนด้วย Peak ของรังสีแกมม่าที่มีพลังงานสูงกว่า เพื่อแก้การรบกวนนี้ จึงนิยมใช้การคำนวณหาพื้นที่ภายใต้ Peak ที่เรียกว่า base area ซึ่งในการคำนวณใช้วิธีของ Covell ดังแสดงในรูป 3–7



รูปที่ 3-7 แสดง Pulse height Analysis ของ แกมม่าสเปคตรัม

a_o เป็นจำนวนนับที่มากที่สุดของ Peak

$a_1, a_2 \ldots\ldots a_n$ เป็นจำนวนนับที่ Channel number น้อยกว่าที่นับได้ a_o

$b_1, b_2 \ldots\ldots b_n$ เป็นจำนวนนับที่ Channel number มากกว่าที่นับได้ a_o

ถ้า N = พื้นที่ของ Peak ที่ base area คือเส้นเชื่อมระหว่าง a_n b_n

$$P = a_o + \sum_{i=1}^{n} a_i + \sum_{i=1}^{n} b_1$$

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

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

$$N = P - Q$$

$$= a_o + \sum_{i=1}^{n} a_i + \sum_{i=1}^{n} b_i - (n + \tfrac{1}{2})(a_n + b_n) \qquad (3\text{-}1)$$