



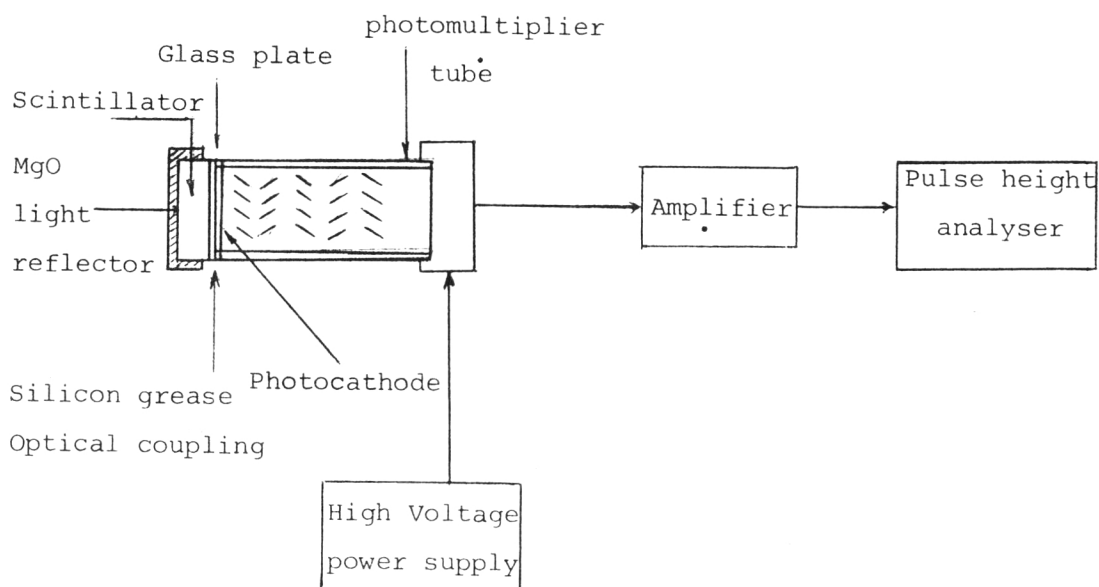
บทที่ 2

หัววัดรังสีแอลฟา

หัววัดรังสีเป็นส่วนที่มีความสำคัญที่สุดในระบบวัดทางด้านนิวเคลียร์ เป็นตัวกลางที่เปลี่ยนพลังงานนิวเคลียร์ให้อยู่ในรูปของพลังงานอื่นที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ขั้นต่อไป

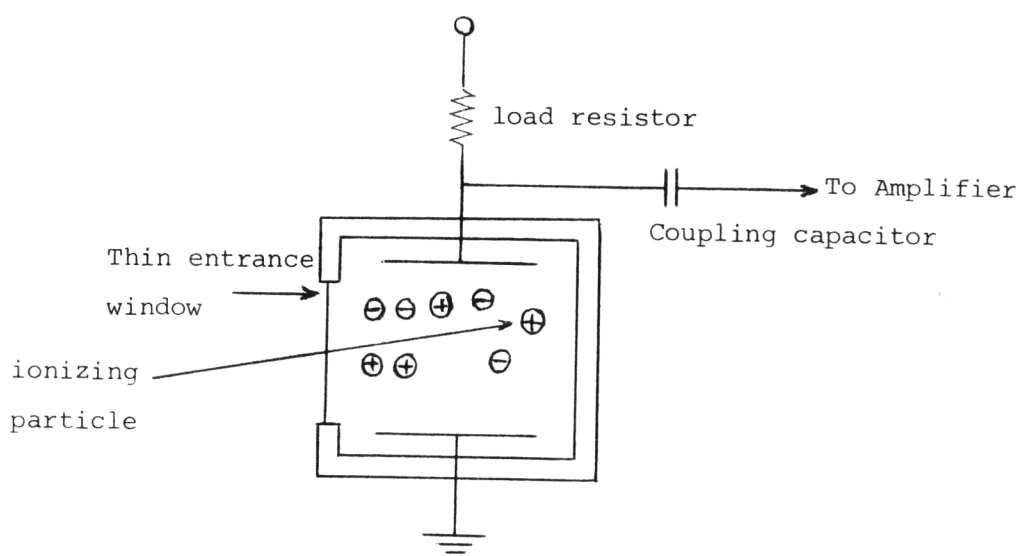
2.1 ชนิดของหัววัดรังสี

หัววัดรังสีแบบซินทิลเลเตอร์ (Scintillation Detector) ตัวกลางที่ใช้เป็นพวกผลึกของ Zinc Sulphide (ZnS) ซึ่งอะตอมของมันมีคุณสมบัติในการดูดกลืนพลังงานรังสีได้ดี และจะเปล่งแสงออกมาในช่วงที่มีการคายพลังงานกลับสู่สภาพพลังงานเดิม ข้อมูลที่ตรวจวัดได้เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่แปลงจากสัญญาณแสงโดย โฟโตมัลติพลายเออร์ (Photomultiplier)



รูป 2.1 หัววัดรังสีแบบซินทิลเลเตอร์ (3)

หัววัดรังสีแบบบรรจุก๊าซ (Gas filled detector) หัววัดรังสีแบบนี้อาศัยการแตกตัวของก๊าซในแชมเบอร์ (Chamber) เมื่อมีการดูดกลืนพลังงานรังสีจะเกิดการแตกตัวให้อิออนบวกและอิเล็กตรอนขึ้นเคลื่อนเข้าสู่บริเวณขั้วโลหะทั้งสองที่ป้อนแรงดันไฟฟ้าไว้ ทำให้สามารถวัดการไหลของกระแสไฟฟ้าได้



รูป 2.2 หัววัดรังสีแบบบรรจุก๊าซ

หัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor detector) ในหัววัดรังสีชนิดนี้การดูดกลืนพลังงานของสารกึ่งตัวนำจะทำให้เกิดคู่ของอิเล็กตรอนและโฮลเคลื่อนที่ในสารกึ่งตัวนำ เกิดพัลส์ของกระแสไฟฟ้าขึ้นที่ขั้วภายนอก หัววัดรังสีแบบนี้มีข้อดีตรงที่มีขนาดกระทัดรัด ราคาถูกเมื่อเทียบกับหัววัดรังสีชนิดอื่น ในด้านการใช้งานการวัดรังสีก็ยังสามารถถึงขั้นวิเคราะห์ทางด้านพลังงานของรังสี เพราะสารกึ่งตัวนำจะมีการตอบสนองกับรังสีได้ไวกว่า

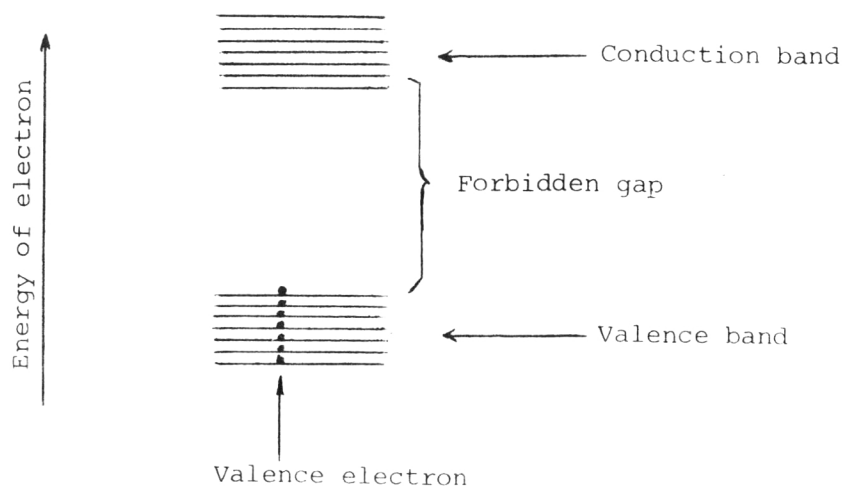
หัววัดรังสีแต่ละชนิดข้างต้นมีความเหมาะสมสำหรับประยุกต์ใช้งานที่แตกต่างกัน หัววัดรังสีซินทิลเลเตอร์ส่วนใหญ่ใช้สำหรับตรวจวัดพลังงานของรังสีเบตาและแกมมา⁽⁴⁾ เพราะตัวกลางของหัววัดจะดูดกลืนพลังงานของโฟตอน และคายพลังงานแสงออกมาในช่วงที่อะตอมกลับคืนสู่ระดับพลังงานเดิม สำหรับการตรวจวัดอนุภาคช่วงสั้น เช่น อนุภาคแอลฟา หรืออนุภาคเบตาที่มีพลังงานต่ำ ส่วนใหญ่จะหันมาใช้หัววัดรังสีแบบบรรจุก๊าซ หรือ หัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ⁽³⁾ อย่างไรก็ตามหัววัดรังสีชนิดสารกึ่งตัวนำก็ยังมีข้อได้เปรียบมากกว่า เพราะตัวกลางของหัววัดรังสีสารกึ่งตัวนำ เป็นตัวกลางของแข็งซึ่งมีความหนาแน่นสูงมากเมื่อเทียบกับสถานะก๊าซ ดังนั้นขนาดของหัววัดรังสีไม่จำเป็นต้องโตเหมือนกับหัววัดรังสีแบบบรรจุก๊าซ ส่วนหัววัดรังสีซินทิลเลเตอร์ถึงแม้จะเป็นของแข็งก็ตาม แต่กระบวนการกำเนิดสัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดรังสีจะมีความซับซ้อนกว่ามากคือต้องกำเนิดเป็นแสงก่อนแล้วจึงถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าด้วยโฟโตมัลติพลายเออร์ และพลังงานที่ทำให้เกิดการคายพลังงานแสงต้องสูงกว่า 1000 eV.⁽⁵⁾ ดังนั้นความสามารถใน

การแยกพลังงานรังสีจะให้ผลไม่ดี เมื่อเทียบกับหลอดรังสีสารกึ่งตัวนำ เพราะพลังงานในการกำเนิดพาหะอิเล็กตรอนและโฮลมีค่าต่ำ นอกจากนี้หลอดรังสีสารกึ่งตัวนำมีความสะดวกในการใช้งานมากกว่า เนื่องจากไม่ต้องเกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าแรงสูงในการไบอัสหลอด

2.2 คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ

2.2.1 แถบพลังงาน (Energy band)

เมื่อพิจารณาอะตอมเดี่ยวของสารใดๆ พลังงานอิเล็กตรอนแต่ละตัวจะถูกกำหนดด้วยค่า Quantum number ที่แตกต่างกัน ดังนั้นอิเล็กตรอนแต่ละตัวจะไม่สามารถมีพลังงานเท่ากันได้ตามกฎ Pauli Exclusion Principle แต่จะมีระดับพลังงานเป็นค่ากระโดด เมื่อนำอะตอมเดี่ยวเหล่านี้มาเรียงตัวเป็นผลึกที่มีโครงสร้างแน่นอน อะตอมแต่ละตัวจะมีอันตรกิริยาต่อกัน (Interaction) ทำให้ชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนที่เป็นค่ากระโดดนั้นเกิดการแยก (Splitting) เป็นชั้นพลังงานย่อยตามจำนวนของอะตอม ทั้งนี้เพื่อมิให้ขัดกับกฎของ Pauli ลักษณะการแยกของชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนในผลึกจะทำให้เกิดเป็นแถบของชั้นพลังงานขึ้น และจะมีรูปร่างที่แตกต่างกันไปตามระยะห่างของแต่ละอะตอมในผลึก นอกจากนี้รูปร่างและขนาดของแถบพลังงานในผลึกจะเป็นองค์ประกอบสำคัญในการกำหนดคุณสมบัติทางไฟฟ้า แถบพลังงานที่เกิดขึ้นที่สำคัญมีอยู่ 2 แถบ คือ แถบวาเลนซ์ (Valence band) และแถบการนำ (Conduction band) โดยมีแถบพลังงานต้องห้าม (Forbidden band) ขึ้นอยู่ แถบพลังงานต้องห้ามเป็นแถบพลังงานที่อิเล็กตรอนจะมีอยู่ไม่ได้ ดังนั้นวาเลนซ์อิเล็กตรอนจะเป็นอิเล็กตรอนในแถบการนำได้นั้นจะต้องได้รับพลังงาน จนมีพลังงานอย่างน้อย $= E_g$



(1)

รูป 2.3 แผนภาพแสดงแถบพลังงาน

ในสารกึ่งตัวนำ จำนวนของอิเล็กตรอนจะขึ้นกับความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในช่วงพลังงานหนึ่ง ซึ่งเกี่ยวข้องกับโครงสร้างของผลึก นอกจากนั้นลักษณะการกระจายพลังงาน (Energy Distribution) ในช่วงพลังงานดังกล่าวของอิเล็กตรอนจะเป็นไปตามกฎของ Fermi Dirac Distribution ดังนั้นจำนวนอิเล็กตรอนที่พบในช่วงระดับพลังงานหนึ่งจะเป็นไปตามสมการ

$$dn = g(E) dE \cdot f(E) \quad (2.1)$$

ในที่นี้ dn เป็นจำนวนอิเล็กตรอนที่พบได้ในช่วงระดับพลังงาน E ถึง $E + dE$
 $g(E)$ คือ ฟังก์ชันของสถานะความหนาแน่น (Density of state)

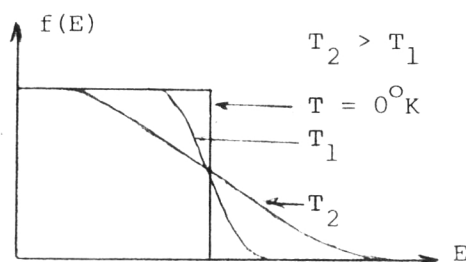
$$f(E) = \frac{1}{1 + \exp\{(E - E_F)/kT\}} \quad (2.2)$$

โดยที่ E_F เป็นระดับพลังงานเฟอร์มิซึ่งเป็นระดับพลังงานที่มีโอกาสพบอิเล็กตรอน 50 %
 kT เป็นพลังงานเนื่องจากผลของอุณหภูมิต T โดย k เป็นค่า Boltzmann Constant
 $f(E)$ Fermi Dirac distribution function เป็นฟังก์ชันที่แสดงถึงความน่าจะเป็นที่จะพบอิเล็กตรอนในช่วงระดับพลังงาน E ถึง $E + dE$

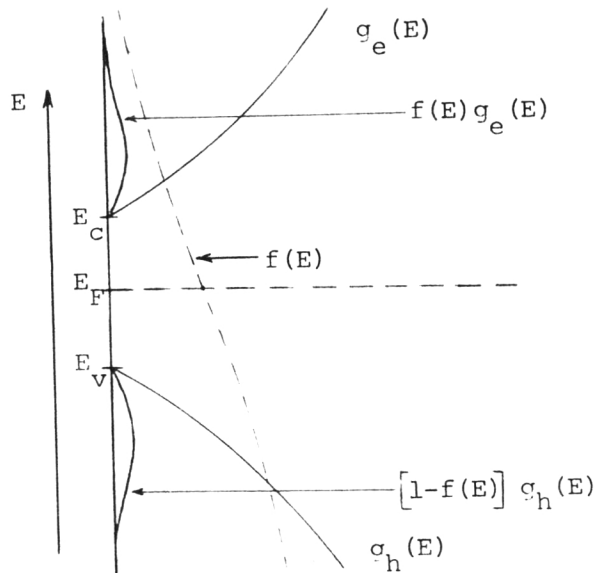
นั่นคือ จำนวนของอิเล็กตรอนในแถบการนำ (Conduction electron) หาได้จากสมการ (2)

$$n = \int_{E_C}^{\infty} g(E) f(E) dE \quad (2.3)$$

จะเห็นได้ว่าในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิต 0°K อิเล็กตรอนทั้งหมดจะอยู่ใน Valence band ที่อุณหภูมินี้จะไม่มีอิเล็กตรอนในแถบการนำเลย เนื่องจากสมการ (2.2) ให้ค่า $f(E) = 0$ ดังนั้นสารกึ่งตัวนำจึงมีคุณสมบัติเป็นฉนวน แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้อิเล็กตรอนบางส่วนมีพลังงานเพียงพอที่จะกระโดดข้ามช่องว่างของแถบพลังงานต้องห้ามไปอยู่บนแถบการนำ สารกึ่งตัวนำจะเริ่มมีคุณสมบัตินำไฟฟ้า



ก).



รูป 2.4 ก) การกระจายฟังก์ชันเฟอร์มีกับอุณหภูมิต่ำ

ข) การหาจำนวนอิเล็กตรอนและโฮลในแถบการนำ และแถบวาเลนซ์

2.2.2 การเคลื่อนที่ของประจุ (Charge Transportation)

ที่อุณหภูมิห้อง สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์จะมีอิเล็กตรอนบางส่วนเป็นอิเล็กตรอนการนำ และขณะเดียวกันจะมีโฮลจำนวนเท่ากันที่เหลื่ออยู่ที่แถบวาเลนซ์ เมื่อมีสนามไฟฟ้า อิเล็กตรอนและโฮลจะถูกสนามไฟฟ้าเหนี่ยวนำไปในทิศทางตรงข้ามกัน ความคล่องตัวในการเคลื่อนที่นั้นจะขึ้นกับโครงสร้างผลึกของสารกึ่งตัวนำและอุณหภูมิต่ำ ผลการเคลื่อนที่ของพาหะประจุทั้งสองทำให้เกิดการไหลของกระแสขึ้น ค่าความหนาแน่นของกระแสที่ไหลจะเป็น

$$J = e(n\mu_n + p\mu_p)E \quad (2.4)$$

μ_n, μ_p คือ ค่าความคล่องตัวของอิเล็กตรอนและโฮล

n, p คือ จำนวนอิเล็กตรอนและโฮลในแถบการนำ และแถบวาเลนซ์ ตามลำดับ

e คือ ค่าประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน = 1.6×10^{-19} คูลอมป์

2.2.3 สารเจือปนและความบกพร่องของโครงสร้างของผลึก (Impurities and lattice defects)

เมื่อมีการโด๊ป (doped) สารกึ่งตัวนำด้วยอะตอมที่ให้อิเล็กตรอนหรือโฮล สารกึ่งตัวนำ

จะเป็นแบบเอกซ์ทรินซิก (extrinsic) อะตอมของสารเจือปนจะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่าง หรือแทนที่อะตอมของสารกึ่งตัวนำ ทำให้โครงสร้างของผลึกเปลี่ยนไป มีผลทำให้เกิด Localize energy level ขึ้นในแถบพลังงานต้องห้ามที่ตำแหน่งของโครงสร้างที่เสียรูปไป ตำแหน่งดังกล่าวจะทำให้การเคลื่อนที่ของพาหะประจุเกิดการตกค้างในระหว่างเคลื่อนที่เข้าหาอิเล็กโทรด (Electrode) ทำให้ประสิทธิภาพของการรวบรวมพาหะลดลง ดังนั้นการเลือกสารกึ่งตัวนำที่ใช้ทำหัววัดรังสี ควรใช้สารกึ่งตัวนำที่มีสารเจือปนอยู่น้อยที่สุด เพื่อให้โครงสร้างของผลึกเสียรูปน้อยที่สุด นอกจากนั้นกระบวนการสร้างประดิษฐ์หัววัดรังสีก็จำเป็นต้องมีการควบคุมไม่ให้เกิดสิ่งสกปรกขึ้นในสารกึ่งตัวนำ

2.2.4 การปรับตัวเข้าสู่สภาวะสมดุล

เมื่อมีแสงหรืออนุภาคที่มีประจุตกกระทบสารกึ่งตัวนำ การดูดกลืนพลังงานทำให้เกิดพาหะส่วนเกิน (Excess carrier) ขึ้น ทำให้สภาวะสมดุลต้องเสียไป เมื่อพลังงานแสงหรืออนุภาคที่มีประจุนั้นหมดไป จำนวนพาหะส่วนเกินที่เพิ่มขึ้นก็จะรวมตัวกับพาหะชนิดตรงข้ามในสารกึ่งตัวนำหมดไป เพื่อให้เกิดภาวะสมดุลขึ้นมาอีก ถ้าให้ Δn เป็นจำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้น เนื่องจากการดูดกลืนพลังงานที่เวลา $t = 0$ จำนวนอิเล็กตรอนที่เวลา t ใดๆ หลังจากแสงหรืออนุภาคที่มีประจุมอดไปแล้ว สามารถหาได้โดยสมการ

$$\Delta n = \Delta n_0 \exp(-t/\tau_r) \quad (2.5)$$

โดย τ_r คือ เวลาของการรวมตัว (Recombination time) ของอิเล็กตรอนซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของสารกึ่งตัวนำ

การปรับตัวเข้าสู่สภาวะสมดุลอีกกระบวนการหนึ่ง ก็คือ การปรับค่าพลังงานของอิเล็กตรอนที่มีความเร็วสูงกว่าปกติให้มีพลังงานปกติ นั่นคือ อิเล็กตรอนจะกระเจิง (Scattering) เมื่อชนกับอะตอมของตัวกลางจนกระทั่งพลังงานลดลงมาอยู่ในระดับสมดุล เวลาที่ใช้ในการลดพลังงานแบบนี้สั้นมาก คือ ประมาณ 10^{-13} วินาที (9)

ที่กล่าวมานี้เป็นเพียงการปรับตัวของพาหะในสารกึ่งตัวนำในสภาวะธรรมชาติ การปรับตัวของพาหะสู่สภาวะสมดุลภายใต้สนามไฟฟ้าจะมีลักษณะต่างออกไป กล่าวคือ เมื่อมีพาหะส่วนเกินเกิดขึ้นในสารกึ่งตัวนำที่อยู่ใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้า พาหะนั้นจะเคลื่อนเข้าสู่อิเล็กโทรด เพื่อให้สารกึ่งตัวนำอยู่ในสภาวะสมดุลอีก การลดจำนวนพาหะจะเป็นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลเหมือนกัน

ส่วนเวลาที่ใช้เรียกว่าเวลาไดอิเล็กตริก (dielectric time τ_0) ซึ่งมีค่าเป็น

$$\tau_0 = \rho \epsilon$$

โดยที่ค่า ρ เป็นค่าความต้านทานจำเพาะ

และ ϵ เป็นค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant) ของสารกึ่งตัวนำ

2.2.5 การเกิดไอออนซ์เซชันและการรวบรวมประจุ

เมื่อมีรังสีตกกระทบบสารกึ่งตัวนำ อนุภาครังสีจะมีการถ่ายเทพลังงานให้กับอะตอมของสารกึ่งตัวนำ ถ้าพลังงานที่อะตอมได้รับสูงพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม เป็นอิเล็กตรอนอิสระ การเกิดไอออนซ์เซชันในลักษณะนี้เรียกว่า การแตกตัวปฐมภูมิ (Primary Ionization) เมื่ออิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจรของอะตอม อาจจะมีพลังงานมากพอที่จะปลดปล่อยพลังงานออกมาให้แก่ อิเล็กตรอนตัวอื่นๆ ทำให้อิเล็กตรอนที่ได้รับพลังงานนี้เคลื่อนที่ออกจากอะตอม

คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพในการตรวจวัดรังสีตกกระทบบจะต้องพิจารณาถึงการเคลื่อนที่ของพาหะประจุและการรวบรวมประจุ สมมุติว่ามีรังสีตกกระทบบที่สารกึ่งตัวนำในขณะที่มีการป้อนสนามไฟฟ้า E ดังรูป 2.5 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะเป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ (2)

$$m_e \frac{d\vec{v}}{dt} + e\vec{E} + \frac{m_e \vec{v}}{\tau} = 0 \quad (2.6)$$

โดยที่ τ จะเป็นค่าเวลาชีวิตของอิเล็กตรอน

ดังนั้น $m_e \frac{d\vec{v}}{dt}$ จะแสดงถึงแรงหน่วงการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน

ถ้าสมมุติว่าแรงภายนอกที่กระทำกับอิเล็กตรอนมีเพียงแรงจากสนามไฟฟ้า และแรงหน่วงจากตัวกลางเท่านั้น สมการ (2.6) จะเป็น

$$m_e \frac{d\vec{v}}{dt} = -e\tau_e \vec{E} \quad (2.7)$$

จะเห็นได้ว่า $\frac{e\tau_e}{m_e}$ จะเป็นลักษณะเฉพาะของตัวกลาง ที่แสดงถึงความคล่องตัวในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้า จะนิยามให้

$$\mu_e = \frac{e\tau_e}{m_e} \quad (2.8)$$

ระยะทางที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ก่อนที่จะถูกดักจับ หาได้จาก

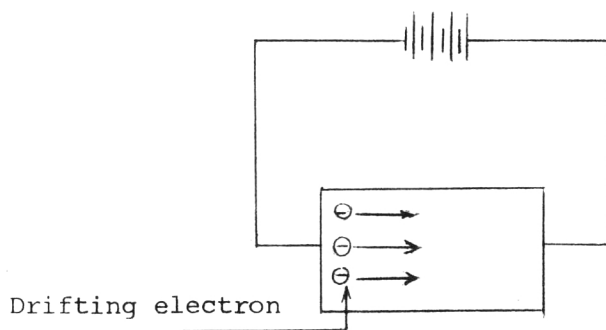
$$S_e = vt = \mu_e E \tau_e \quad (2.9)$$

ในทำนองเดียวกัน ระยะทางที่โฮลเคลื่อนที่ไปได้ก่อนที่จะถูกดักจับ

$$S_h = \mu_h E \tau_h \quad (2.10)$$

ถ้าหากระยะทางนี้มีค่ามากกว่าระยะห่างระหว่างตำแหน่งที่รังสีตกกระทบกับขั้วโลหะที่รวบรวมประจุแล้ว การรวบรวมประจุจะมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ดังนั้นสำหรับสารกึ่งตัวนำที่ใช้สร้างตัววัดรังสีควรมีลักษณะที่ว่า พลังงานที่ต้องการที่ทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล มีค่าน้อย การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน-โฮลที่เกิดขึ้นจะต้องมีความคล่องตัวในการเคลื่อนที่และสารกึ่งตัวนำต้องมีโครงสร้างที่สมบูรณ์เพียงพอ นั่นคือ ค่าผลคูณระหว่าง μ และ τ ต้องมีค่าสูง นอกจากนี้สารกึ่งตัวนำที่ใช้ต้องมีค่าความต้านทานจำเพาะสูง มิฉะนั้นโครงสร้างจะมีพาหะอิสระอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้จำนวนโฮลและอิเล็กตรอนที่เกิดจากอนุภาคมาตกกระทบ ดูเหมือนว่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ไม่สามารถสังเกตได้เลย



รูป 2.5 แสดงการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้า⁽²⁾

2.3 ชนิดของหัววัดรังสีสารกึ่งตัวนำ

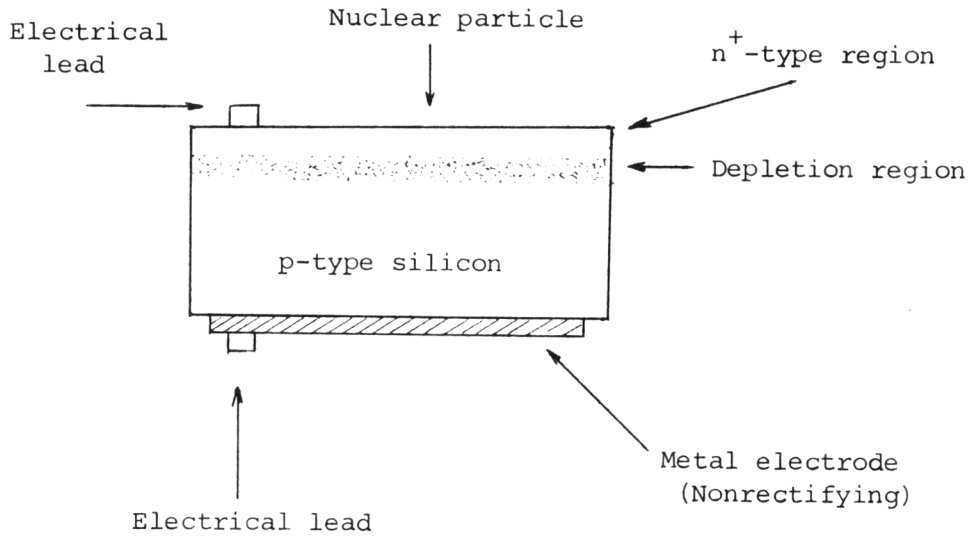
2.3.1 หัววัดรังสีโฮโมจีเนียสคอนดักชัน (Homogeneous conduction detectors)

เป็นหัววัดรังสีที่ได้รับการพัฒนาขึ้นในช่วงแรก โครงสร้างของหัววัดประกอบด้วย ผลึกของสารกึ่งตัวนำเนื้อเดียวกันตลอด เช่น เยอรมาเนียม ซิลิกอน แคดเมียมซัลไฟด์ แกลเลียมอาเซไนด์ เป็นต้น หลักการของหัววัดรังสีชนิดนี้จะเหมือนกับการเกิดไอออนไนเซชันในแชนเนลเบอร์ของหัววัดแบบบรรจุภาซ คือ เมื่อรังสีตกกระทบเนื้อสารกึ่งตัวนำ จะมีการดูดกลืนพลังงานทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอนและโฮลเคลื่อนที่ไปยังขั้วโลหะทั้งสอง แต่การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลในหัววัดรังสีโฮโมจีเนียสจะมีความคล่องตัวน้อยกว่า เพราะมีตำแหน่งที่คอยดักจับอิเล็กตรอนหรือโฮลอยู่ ดังนั้นผลึกที่ใช้ทำหัววัดรังสีชนิดนี้ต้องมีความบริสุทธิ์มาก นอกจากนี้การใช้งานต้องใช้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง เพราะสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิห้องจะมีอิเล็กตรอนอยู่ในแถบพลังงานคอนดักชันค่อนข้างมาก ซึ่งทำให้หัววัดรังสีทำงานผิดพลาดได้

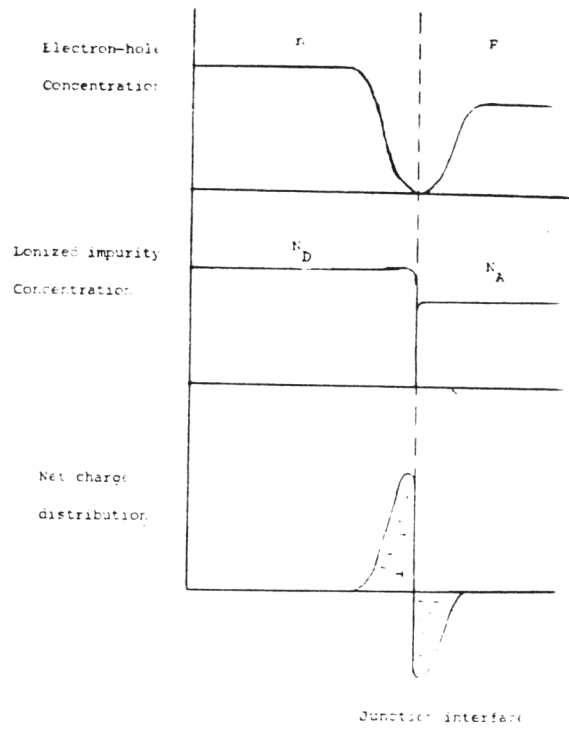
2.3.2 หัววัดรังสีแบบเรียงกระแส (Rectifying junction detector)

หัววัดรังสีชนิดนี้อาศัยการเกิดรอยต่อชั้นระหว่างสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกัน หรือระหว่างสารกึ่งตัวนำกับโลหะที่เหมาะสมกัน ในสภาวะสมดุลย์บริเวณรอยต่องกล่าวจะเป็นบริเวณปลอดพาหะ (Depletion region) ซึ่งจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้น การดูดกลืนพลังงานของอนุภาคที่มากตกกระทบจะเกิดที่บริเวณปลอดพาหะนี้ หัววัดรังสีแบบเรียงกระแสสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบคือ

1) หัววัดรังสีรอยต่อพีเอ็น (p-n junction detector) รอยต่อของหัววัดรังสีชนิดนี้สามารถสร้างขึ้นโดยการแพร่ซึม (Diffusion) อะตอมของฟอสฟอรัสลงบนแว่นผลึกซิลิกอนชนิดพีหรือโดยการแพร่ซึม อะตอมของโบรอนลงบนแว่นผลึกชนิดเอ็น รูป 2.6 เป็นรูปหัววัดรังสีรอยต่อพีเอ็น ได้จากการแพร่ซึม ให้เกิดชั้น n^+ บางๆ บนแว่นผลึกซิลิกอนชนิดพีที่มีความบริสุทธิ์สูง ทำให้ในเนื้อสารกึ่งตัวนำ n^+ จะมีความเข้มข้นของอิเล็กตรอนสูง ส่วนในเนื้อสารกึ่งตัวนำ p จะมีความเข้มข้นของโฮลสูง ดังนั้นโฮลในชั้น p และอิเล็กตรอนในชั้น n^+ จะแพร่ซึมข้ามรอยต่อจนทำให้ที่บริเวณรอยต่อเหลือเพียงอะตอมผู้ให้ (Donor atom) และอะตอมผู้รับ (Acceptor atom) ไม่มีอิเล็กตรอนและโฮลอิสระ เกิดเป็นบริเวณปลอดพาหะ และมีสนามไฟฟ้าในทิศทางจากสารเอ็นไปพี ดังแสดงในรูป 2.7 ซึ่งประจุสุทธิที่บริเวณรอยต่อจะเท่ากับศูนย์



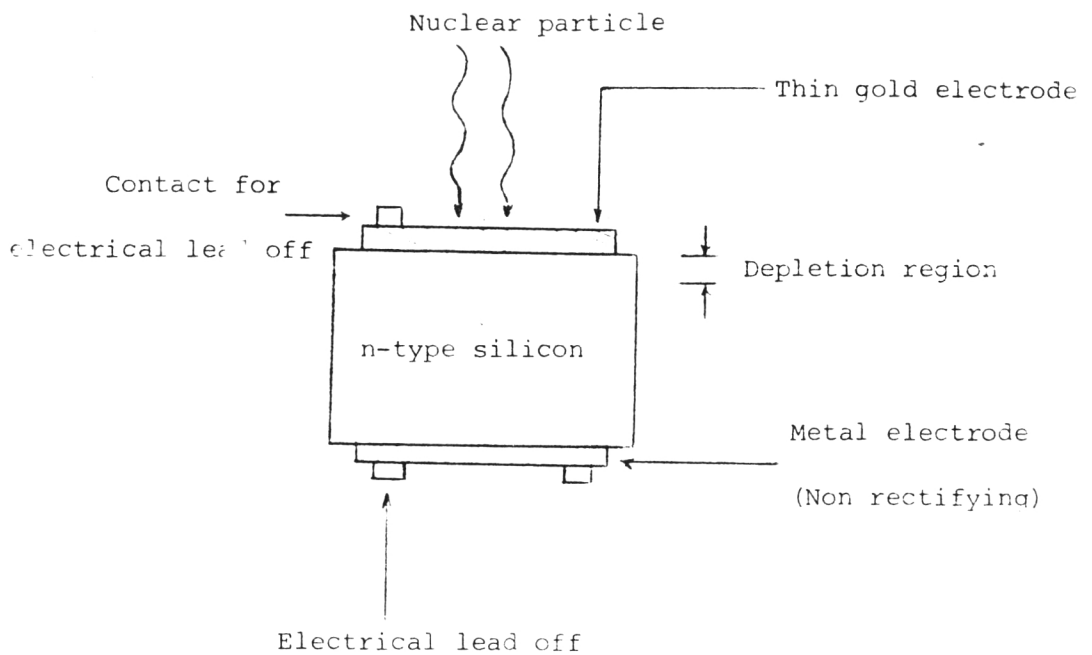
รูป 2.6 หัวตรวจจับรอยต่อพีเอ็น(4)



รูป 2.7 การกระจายของประจุที่รอยต่อพีเอ็น

2) หวัตรังสีช็อคกี้แบเรียร์ (Schottky barrier junction detector)

รอยต่อที่เป็นบริเวณปลอดพาหะของหวัตรังสีชนิดนี้ เกิดจากผิวสัมผัสระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำที่เหมาะสมกัน รูป 2.8 เป็นโครงสร้างของหวัตรังสีช็อคกี้แบเรียร์ ซึ่งได้จากการฉาบไอโลหะของทองเป็นชั้นบางๆ ลงบนแผ่นผลึกซิลิกอนชนิดเอ็นที่มีความต้านทานจำเพาะสูง ความแตกต่างระหว่าง work function ของทองแดงและซิลิกอนจะเหนี่ยวนำให้เกิดย่านปลอดพาหะขึ้นที่ผิวของซิลิกอนด้านติดกับชั้นทอง และเกิดเป็นรอยต่อชนิดเรียงกระแสได้ในทำนองเดียวกับรอยต่อพีเอ็น บริเวณปลอดพาหะที่เกิดขึ้นจะเป็นบริเวณที่ไวต่อการรับอนุภาคที่ตกกระทบกับหวัตรังสี ซึ่งรายละเอียดต่างๆ จะกล่าวในบทที่ 3



รูป 2.8 โครงสร้างหวัตรังสีแบบช็อคกี้แบเรียร์ (4)

3) หวัตรังสีลิเทียมไดรฟต์จังก์ชัน (Lithium ion drifted junction detector)

หวัตรังสีชนิดนี้สร้างขึ้นโดยการแพร่ซึมอะตอมของ ลิเทียมลงบนสารกึ่งตัวนำชนิดพีซึ่งโด๊ปด้วยอะตอมของโบรอน หลักการของหวัตรังสีชนิดนี้ คือ การทำให้สารกึ่งตัวนำชนิดพีกลายเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดบริสุทธิ์ (Intrinsic) โดยทำการขจัดผลของอะตอมผู้รับด้วยอะตอมลิเทียมซึ่งเป็นอะตอมผู้ให้ การทำงานของหวัตรังสีชนิดนี้เหมือนกับของหวัตรังสีรอยต่อพีเอ็น แต่ขนาดของย่านปลอดพาหะจะกว้างกว่า และการใช้งานต้องกระทำที่อุณหภูมิต่ำ

ห้ววัดรังสีที่นิยมสร้างขึ้นใช้งานส่วนใหญ่จะเป็นห้ววัดรังสีรอยต่อพีเอ็น และซีดทีแบเรียร์ ส่วนห้ววัดรังสีโฮโมจีเนียสคอนดักชัน และห้ววัดรังสีลิเทียมไอออนคริฟท์มีเทคนิคในการสร้างซับซ้อนกว่ามาก จะต้องมีการแพร่ซึมอะตอมของสารเจือปนให้พอดี เพื่อชดเชยอะตอมของสารเจือปนเดิมจนได้เนื้อสารกึ่งตัวนำชนิดบริสุทธิ์ขึ้น⁽³⁾ สำหรับการสร้างห้ววัดรอยต่อพีเอ็นให้มีคุณภาพดีนั้นทำได้ยากมาก เพราะต้องใช้อุณหภูมิสูงในกระบวนการแพร่ซึมสารเจือปน ซึ่งมีผลทำให้ค่าชีวิตของพาหะประจุในเนื้อสารกึ่งตัวนำต่ำลง นอกจากนั้นการควบคุมให้เกิดชั้นแพร่ซึมบางๆ โดยมีความเข้มข้นของอะตอมสารเจือปนสม่ำเสมอ นั้นกระทำได้ยากมาก⁽⁹⁾ แต่ห้ววัดรังสีซีดทีแบเรียร์มีขั้นตอนการสร้างไม่ยุ่งยาก ไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการอุณหภูมิสูง เพราะฉะนั้นการสร้างห้ววัดรังสีซีดทีแบเรียร์ให้มีคุณภาพดีนั้นกระทำได้ไม่ยากนัก ชั้นของทองที่ฉาบลงบนแผ่นผลึกซิลิกอนชนิดเอ็นต้องมีความหนาที่เหมาะสม คือต้องบางพอให้รังสีทะลุผ่านไปได้ แต่ต้องมีความหนาพอที่จะทำให้รอยต่อโลหะ-สารกึ่งตัวนำยังคงมีคุณสมบัติของรอยต่อเรียงกระแสที่ดี ชั้นของทองส่วนใหญ่จะเป็นชั้นบางๆ ยากแก่การบำรุงรักษา สิ่งสกปรกอาจจะทำให้คุณภาพและอายุการใช้งานต่ำลง