

บทที่ 5

วิธีการทดสอบ

ตัววัดฯ ที่สร้างขึ้นถูกนำมาทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ตามเงื่อนไขที่เหมาะสม ทั้งนี้เพื่อที่ว่าตัววัดฯ ทำงานได้ผลดีเพียงใด และผลการทดสอบถือเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จะนำไปปรับปรุงแก้ไขสำหรับสร้างตัววัดฯ ในครั้งต่อไปให้ได้ผลดียิ่งขึ้น ในที่นี้จะกล่าว เฉพาะวิธีการทดสอบคุณสมบัติของตัววัดฯ เท่านั้น ส่วนผลการทดสอบจะเสนอพร้อมทั้งการวิจารณ์ผลในบทต่อไป

ในการทดลองได้ทำการทดสอบคุณสมบัติที่สำคัญ ๆ ของตัววัดฯ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

- ทดสอบทางกายภาพ
- ทดสอบทางไฟฟ้า
- ทดสอบทางรังสี

5.1 ทดสอบทางกายภาพ

เป็นการทดสอบเกี่ยวกับโครงสร้างภายในของตัววัดฯ ได้แก่

- ความต้านทานจำเพาะ (resistivity)
- ชนิดของพาหะ (type of carrier)
- ความลึกของหัวต่อพี-เอ็น (junction depth)

5.1.1 ความต้านทานจำเพาะ

จุดประสงค์เพื่อหาความเข้มข้นของพาหะของตัวแพร่ซึม ในที่นี้คือฟอสฟอรัสซึ่งเป็นพาหะชนิดเอ็น โดยใช้ Four-Point Probe model FPP-100 วัดค่าความต้านทานจำเพาะ (ρ) (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก.) ต่อจากนั้นเปิดรูปกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของพาหะที่บริเวณผิว (N_g) กับความนำจำเพาะ ($1/\rho$) ของชั้นพาหะชนิดเอ็น (รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ข.)

จากกราฟทำให้ทราบว่าฟอสฟอรัสสามารถแพร่ซึมเข้าไปในแว่นผลึกได้เข้มข้นมากน้อยเพียงใด ซึ่งเป็นประโยชน์ในการพิจารณาถึงความเหมาะสม เนื่องจากการสร้างตัววัดฯ นี้ต้องการให้ความเข้มข้นของพาหะที่บริเวณผิวมีค่าสูงมาก ๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

5.1.2 ชนิดของพาหะ

เพื่อให้แน่ใจว่าสารเจือปนที่แพร่ซึมเข้าไปในแว่นผลึกเป็นตัวที่เราต้องการจริง ๆ ไม่ใช่สิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ จึงต้องมีการทดสอบหาชนิดของพาหะ ในการทดลองนี้เราให้ฟอสฟอรัสเป็นตัวแพร่ซึม ดังนั้นชนิดของพาหะจึงต้องเป็นชนิดเอ็นอย่างแน่นอน เครื่องมือที่ใช้วัดคือ Four-Point Probe model FPP-100 เช่นเดียวกัน

5.1.3 ความลึกของหัวต่อพี-เอ็น

เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติบางประการ ได้แก่ dead layer และความกว้างของเขตปลอดพาหะ ความลึกของหัวต่อต้องมีค่าที่เหมาะสม เพราะถ้าหากว่ารอยต่ออยู่ลึกเกินไปจะทำให้ dead layer หนาขึ้น อนุภาคที่ตกกระทบต้องสูญเสียพลังงานไปมากก่อนที่จะเข้ามาถึงเขตปลอดพาหะ ทำให้การแตกตัวของอิออนมีปริมาณน้อยกว่าที่ควรจะเป็น แต่ถ้าความลึกของหัวต่ออยู่ตื้นเกินไปย่อมมีผลกับความกว้างของเขตปลอดพาหะในขณะที่ไบแอสย้อนเพื่อใช้งาน กล่าวคือ ความกว้างของเขตปลอดพาหะจะมีขีดจำกัดอยู่ค่าหนึ่งซึ่งยังไม่หนาเพียงพอ ทำให้บริเวณตอบสนองต่อรังสี (active region) มีขนาดเล็ก ประสิทธิภาพของตัววัดฯ ก็จะลดลงตามไปด้วย

การวัดความลึกของหัวต่ออาศัยหลักการลอกผิวชั้นแพร่ซึมโดยวิธีแอนโนติกออกซิเดชัน (Anodic Oxidation) จึงสามารถทราบตำแหน่งของหัวต่อพี-เอ็นได้ (รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ก.)

นอกจากนี้การวัดความลึกของหัวต่อยังได้ทดลองใช้วิธีเซาะร่อง (grooving) โดยอาศัยหลักการย้อมสีอีกริธีหนึ่งด้วย (รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ก.) แต่วิธีนี้มีความแม่นยำน้อยกว่าวิธีแอนโนติกออกซิเดชัน จึงไม่ขอกล่าวถึงข้อมูลที่ได้จากวิธีนี้

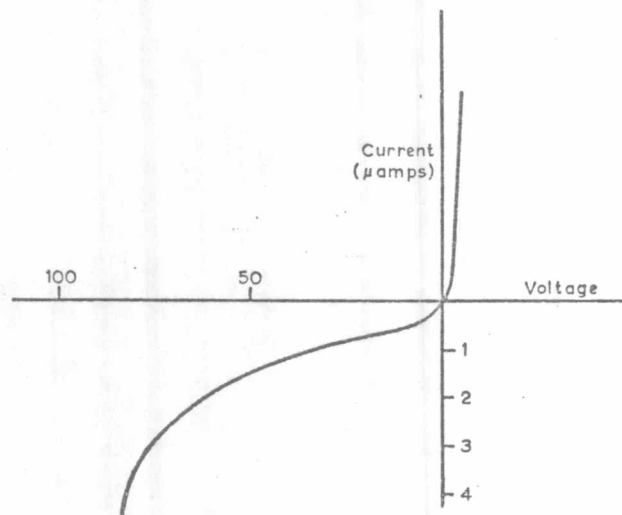
5.2 ทดสอบทางไฟฟ้า

เพื่อดูลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของตัววัดฯ ได้แก่

- ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน (rectification)
- ความจุของหัวต่อพี-เอ็น (junction capacitance)

5.2.1 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน⁽⁸⁾

การวัดลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของตัววัดฯ ทำให้ทราบข้อมูลที่มีประโยชน์อย่างมาก เราสามารถกระทำได้โดยใช้เครื่อง Curve Tracer รูปที่ 5.1 แสดงลักษณะสมบัติกระแสแรงดันที่มุ่งหวังเอาไว้



รูปที่ 5.1 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันแบบมาตรฐานของตัววัดรังสี

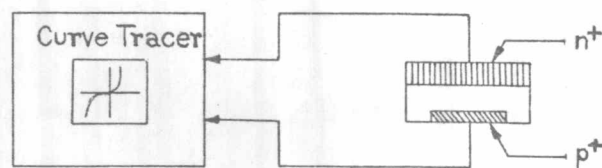
จุดมุ่งหมายที่สำคัญคือต้องการแรงดันพังทลายที่มีค่าสูง ทั้งนี้เพราะเป็นการกำหนดความกว้างของเขตปลอดภัย เมื่อบ่อนแรงดันไบแอสย้อน และเป็นการบ่งบอกถึงความปลอดภัยของตัววัดฯ ด้วย นอกจากนี้ต้องดูด้วยว่าเมื่อบ่อนแรงดันไบแอสตามที่มีค่าน้อย ๆ ให้กับตัววัดฯ แล้วกระแสไบแอสตามควรมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ถ้าไม่เป็นไปตามนี้แล้วแสดงว่ามีค่าความต้านทานอนุกรม (series resistance) สูง ซึ่งอาจเกิดจากผิวสัมผัสหรือภายในแวนผลึก หรือที่บริเวณหัวต่ออันเกิดจากการแพร์ซิม ทั้งหมดนี้เป็นการทดสอบในที่มืดป้องกันไม่ให้แสงเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้อง เนื่องจากหัวต่อแบบนี้มีความไวต่อแสง

สำหรับตัววัดฯ ที่ทีกระแสนย้อนกลับมีค่าประมาณ 2-3 ไมโครแอมป์เมื่อแรงดันเพิ่มถึง 100 หรือ 200 โวลต์ ที่แรงดันต่ำ ๆ diffusion current ซึ่งเป็นสัดส่วนกับ $\tau_r^{-\frac{1}{2}}$ จะมีค่ามาก แต่ที่แรงดัน 2-3 โวลต์ space charge generation current ซึ่งเป็นสัดส่วนกับ $\tau_r^{-1} (\rho V)^{\frac{1}{2}}$ จะมีค่ามาก ในแต่ละกรณีกระแสมีค่าสูงเมื่อเวลาชีวิตของพาหะ (τ_r) มีค่าต่ำ นอกจากนี้กระแสรั่วไหลที่บริเวณผิวก็มีส่วนเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ซึ่งเป็นปริมาณที่มีค่าไม่แน่นอน และมีค่ามากกว่าทั้ง diffusion current และ space charge generation current โดยแปรผันตามแรงดันระหว่าง V กับ $V^{\frac{1}{2}}$ ดังนั้นกระแสที่แปรผันตาม $V^{\frac{1}{2}}$ จึงมี 2 ชนิด คือ surface current และ space charge generation current สามารถแยกจากกันได้เมื่อทราบเวลาชีวิตของพาหะ

สมมติว่าระดับพลังงานที่เกิด space charge generation อยู่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของช่องว่างพลังงาน ค่าความหนาแน่นของ space charge generation current ที่มากที่สุดเป็นไปได้ตามสมการที่ (2.58) ถ้ากระแสมีค่ามากกว่านี้แสดงว่าต้องมี surface current อยู่ด้วย surface current มีขนาดขึ้นอยู่กับ การปฏิบัติต่อผิวแวนผลึกในระหว่างการทดลอง ได้แก่ การกัดด้วยน้ำยาเคมีหรือการใช้ก๊าซต่าง ๆ นอกจากนี้กระแสนย้อนกลับยังเป็นสาเหตุทำให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นในระบบวัดรังสี

เมื่อป้อนแรงดันไบแอสย้อนให้กับตัววัดฯ สูงถึงค่าหนึ่ง จะทำให้เกิด impact ionization ขึ้นบนผิวและภายในตัววัดฯ จนกระทั่งเกิดการพังทลาย แรงดันพังทลายนี้เป็นตัวกำหนดความกว้างสูงสุดของเขตปลอดพาหะ จึงเป็นค่าสำคัญที่ควรจะทราบและต้องมีค่าสูงเพื่อให้เขตปลอดพาหะกว้างพอที่จะทำให้ตัววัดฯ ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

ในการทดสอบได้ใช้เครื่อง Curve Tracer วัดลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน ซึ่งระบบในการวัดได้แสดงไว้ดังรูปที่ 5.2

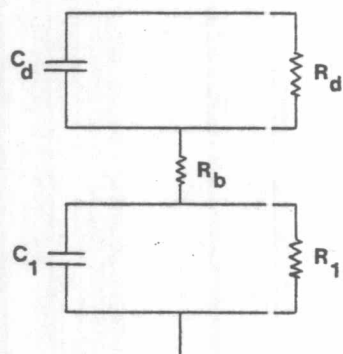


รูปที่ 5.2 ระบบการวัดลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันโดยใช้เครื่อง Curve Tracer

5.2.2 ความจุของหัวต่อพี-เอ็น

ความจุของหัวต่อสัมพันธ์โดยตรงกับความกว้างของ เขตปลอดพาหะและความต้านทานจำเพาะของแวนผลึกซิลิกอน ดังนั้นการวัดค่าความจุสามารถแสดงถึงความต้านทานของซิลิกอนหลังผ่านกรรมวิธีการแพร่เข้ามาแล้ว และสามารถกำหนดพลังงานสูงสุดของอนุภาคที่มีประจุที่ทำให้เกิดการดุดกคลื่นอย่างสมบูรณ์

การวัดความจุมิโอกาสผิดพลาดได้ถ้าหากไม่ทราบวงจรที่แท้จริง (effective circuit) ของตัววัดฯ รูปแบบที่สมบูรณ์ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 5.3 C_d และ R_d คือค่าความจุและค่าความต้านทานของเขตปลอดพาหะ R_b คือ ค่าความต้านทานภายในของแวนผลึกไม่รวมเขตปลอดพาหะ C_1 และ R_1 คือค่าความจุ และค่าความต้านทานของผิวสัมผัสส่วนหลัง

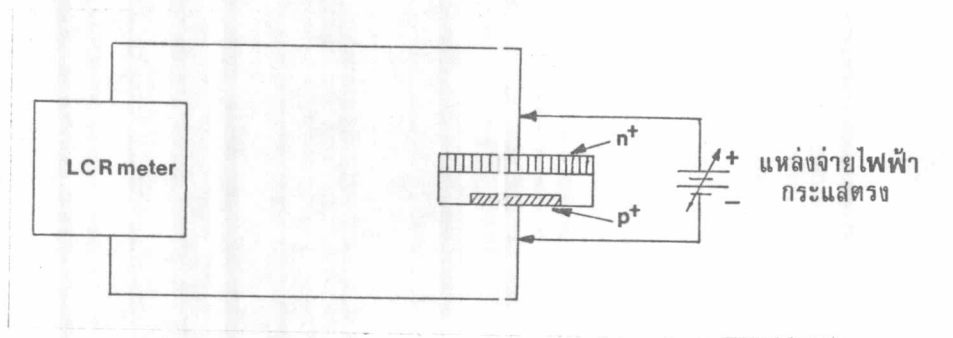


รูปที่ 5.3 วงจรที่แท้จริงของตัววัดรังสีชนิดหัวต่อพี-เอ็น

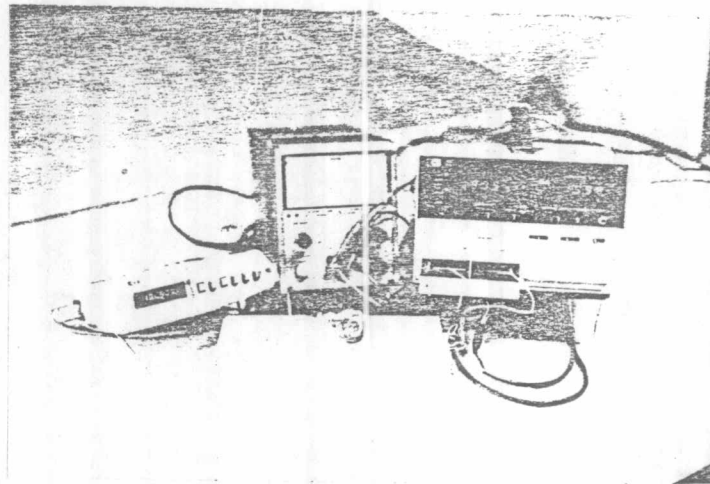
ในตัววัดฯ ที่มีคุณภาพดี R_b และ R_1 จะมีค่าน้อยมาก แต่ค่า R_1 จะไม่ถูกละทิ้งเสมอไป ดังนั้นค่าความจุที่แท้จริงจึงสัมพันธ์กับ C_d, C_1, R_d และ R_1 และความถี่ที่ใช้ในการวัด ถ้าสมมติว่ามีเพียง C_d และ R_d เท่านั้นที่มีความสำคัญค่าอื่น ๆ ก็สามารถละทิ้งไปได้

สำหรับการทดสอบค่าความจุของหัวต่อในการทดลองนี้ได้ใช้ LCR meter model HP 4261 A เป็นเครื่องมือวัด โดยการป้อนแรงดันไบแอสย้อนให้กับตัววัดฯ ที่ค่าต่าง ๆ กัน แล้ววัดค่าความจุแบบจุดต่อจุดดังรูปที่ 5.4 และ 5.5 นำข้อมูลที่ได้ไปวาดกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความจุของหัวต่อ

พี-เอ็นต่อพื้นที่หนึ่งตร.ซม. (junction capacitance/cm²) กับแรงดันไบแอสย้อน (reverse bias voltage) แล้วเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณซึ่งเป็นไปตามสมการที่ (2.38)



รูปที่ 5.4 ระบบการวัดค่าความจุของหัวต่อพี-เอ็น



รูปที่ 5.5 การวัดค่าความจุของหัวต่อพี-เอ็นโดยใช้ LCR meter

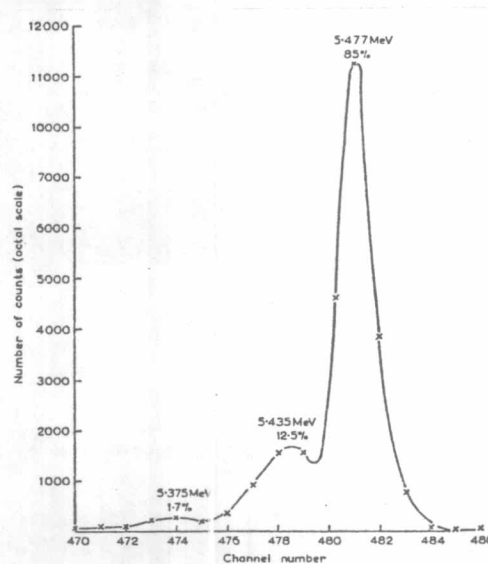
5.3 ทดสอบทางรังสี

จุดมุ่งหมายหลักในการสร้างตัววัดฯ ก็คือสามารถนำไปตรวจวัดรังสีอัลฟาให้ได้ผลดีที่สุดเท่าที่จะทำได้ ดังนั้นการทดสอบตัววัดฯ ด้วยรังสีจึงมีความสำคัญมาก แหล่งกำเนิดรังสีที่ใช้ทดสอบคือ อเมอริเซียม (Am-241) และ เรเดียม (Ra-226) ซึ่งเป็นรังสีอัลฟาที่มีพลังงานอยู่ในช่วง 4-8 MeV (รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ค.) การทดสอบ เบื้องต้นนี้ได้กระทำเพื่อหาคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- ความสามารถในการแยกพลังงาน (energy resolution)
- ความกว้างของเขตปลอดพาหะ (depletion layer thickness)

5.3.1 ความสามารถในการแยกพลังงาน

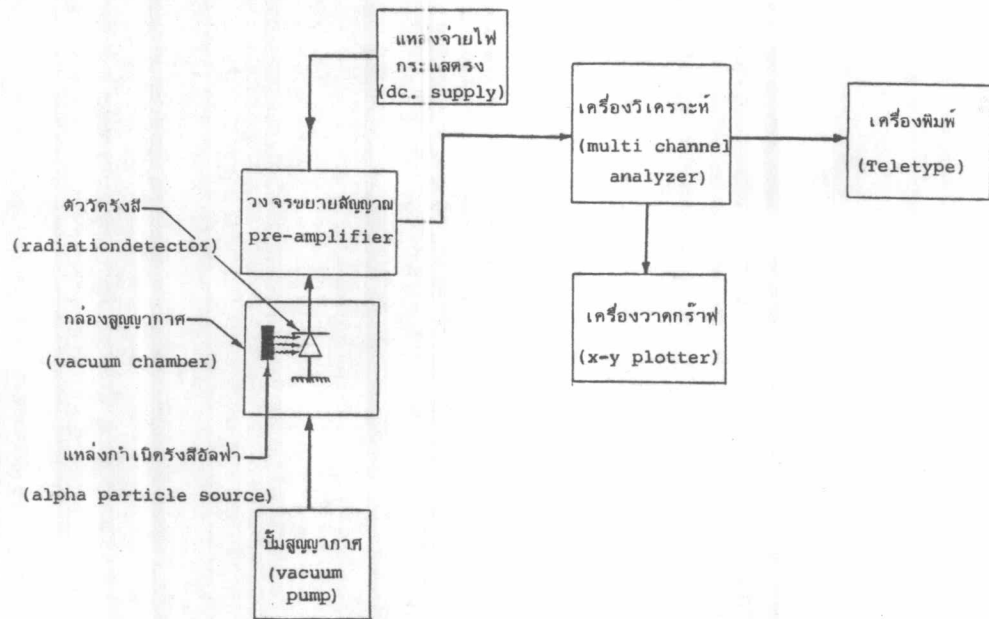
ในการทดสอบคุณสมบัติของตัววัดฯ ด้วยวิธีตรงและง่ายที่สุดก็คือการวัดค่าความสามารถในการแยกพลังงาน โดยใช้แหล่งกำเนิดอนุภาคอัลฟาที่มีปริมาณรังสีน้อย ๆ (low activity) พร้อมด้วยเครื่องมือวัด ได้แก่ low noise amplifier และ pulse height analyzer การใช้แหล่งกำเนิดที่มีปริมาณรังสีน้อยและบางทำให้สเปกตรัมของอนุภาคอัลฟาไม่ถูกขยายออกไป เนื่องจากผลของการดูดกลืน และการที่ช่องว่างระหว่างตัววัดฯ และแหล่งกำเนิดต้องทำให้เป็นสูญญากาศก็อาศัยเหตุผลอันเดียวกันนี้



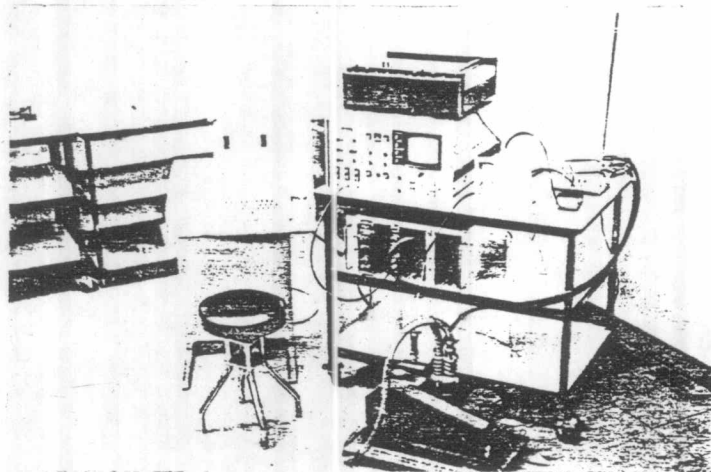
รูปที่ 5.6 ความสามารถในการแยกพลังงานของตัววัดรังสีมาตรฐานชนิดหัวต่อพี-เอ็น ที่มีต่อรังสีอัลฟา

ตัวอย่างผลการทดสอบตัววัดฯ โดยทั่วไปที่มีพื้นที่หนึ่ง ตร.ซม. โดยใช้แหล่งกำเนิดอเมอริเซียม ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.6 จะเห็นว่าอนุภาคส่วนใหญ่มีพลังงาน 5.477 MeV และค่า resolution ที่พลังงาน 5.477 MeV วัดเป็น full width at half maximum (FWHM) ได้ประมาณ 15 keV

ในการทดสอบผลตอบสนองทางรังสีของตัววัดรังสีอัลฟา นี้ ระบบที่ใช้ทดสอบได้แสดงไว้ดังแผนผังในรูปที่ 5.7 และเครื่องมือทั้งระบบแสดงไว้ในรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.7 แผนผังของระบบที่ใช้ทดสอบผลตอบสนองทางรังสีของตัววัดรังสีอัลฟา



รูปที่ 5.8 เครื่องมือทดสอบผลตอบสนองทางรังสีของตัววัดรังสีอัลฟา

รายละเอียดขั้นตอนการทดสอบมีดังต่อไปนี้

- ก. นำตัววัดฯ เข้าสู่ห้องสุญญากาศ โดยยึดติดกับแท่นซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า ภายในห้องสุญญากาศบรรจุแหล่งกำเนิดรังสีอัลฟาเอาไว้ รังสีที่ใช้ทดสอบคืออเมอริเซียมและเรเดียม
- ข. เปิดปั๊มสุญญากาศเพื่อทำให้ภายในห้องเป็นสุญญากาศจริง ๆ ทั้งนี้เพื่อกันไม่ให้อนุภาคอัลฟาเกิดการชนกับอะตอมต่าง ๆ ที่มีอยู่ในอากาศ
- ค. บ่อนแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงให้กับตัววัดฯ ด้วยค่าแรงดันไบแอสย้อนที่เหมาะสมเพื่อกำหนดความกว้างของเขตปลอดพาหะ แต่ต้องมีค่าไม่เกินแรงดันพังทลาย
- ง. ใช้เครื่องวิเคราะห์ตรวจรอบตุสเปคตรัมซึ่งเป็นผลตอบสนองทางรังสีของตัววัดฯ
- จ. บันทึกรูปลักษณะของสเปกตรัมด้วยเครื่องวาดกราฟซึ่งต่อวงจรอยู่กับเครื่องวิเคราะห์
- ฉ. บันทึกข้อมูลต่าง ๆ ด้วยเครื่องพิมพ์ ซึ่งต่อวงจรอยู่กับเครื่องวิเคราะห์เช่นกัน

จากนั้นนำรูปสเปกตรัมและข้อมูลเหล่านี้ไปวิเคราะห์หาค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับผลตอบสนองทางรังสีของตัววัดฯ

5.3.2 ความกว้างของเขตปลอดพาหะ

ความกว้างของเขตปลอดพาหะไม่สามารถที่จะวัดได้โดยตรง จำเป็นต้องอาศัยคุณสมบัติทางไฟฟ้าเข้ามาช่วยในการคำนวณ กล่าวคือต้องอาศัยค่าความจุของหัวต่อที่ทดสอบได้ในหัวข้อที่ 5.1 และใช้สมการที่ (2.37) คำนวณหาค่าความกว้างของเขตปลอดพาหะ

ในการทดสอบคุณสมบัติของตัววัดรังสีอัลฟาที่สร้างขึ้นนี้ ได้เลือกตัววัดฯ ขึ้นมา 3 ตัวอย่าง ดังนี้

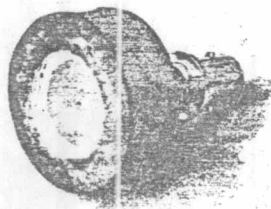
1. ตัววัดฯ ที่สร้างขึ้นจากแวนแมลิกซิลิกอนชนิดพีที่มีความต้านทานจำเพาะ 147 โอห์ม-ซม. และติดตั้งบนฐาน TO-5 มีลักษณะดังรูปที่ 5.9
2. ตัววัดฯ ที่สร้างขึ้นจากแวนแมลิกซิลิกอนชนิดพีที่มีความต้านทานจำเพาะ 7500 โอห์ม-ซม. และติดตั้งบนฐาน TO-5 มีลักษณะดังรูปที่ 5.9

3. ตัววัดฯ ที่สร้างขึ้นจากแก้วผลึกซิลิกอนชนิดที่มีความต้านทานจำเพาะ 7500 โอห์ม-ซม. และถูกห่อหุ้มด้วย package ที่เป็นโลหะทองแดงมีลักษณะดังรูปที่ 5.10

ผลการทดสอบได้แสดงไว้ในบทถัดไป และได้เปรียบเทียบกับตัววัดฯ แบบ surface barrier ที่สั่งซื้อจากต่างประเทศ



รูปที่ 5.9 ตัววัดรังสีอัลฟาที่มี package แบบฐาน TO-5



รูปที่ 5.10 ตัววัดรังสีอัลฟาที่มี package แบบรูปทรงกระบอก