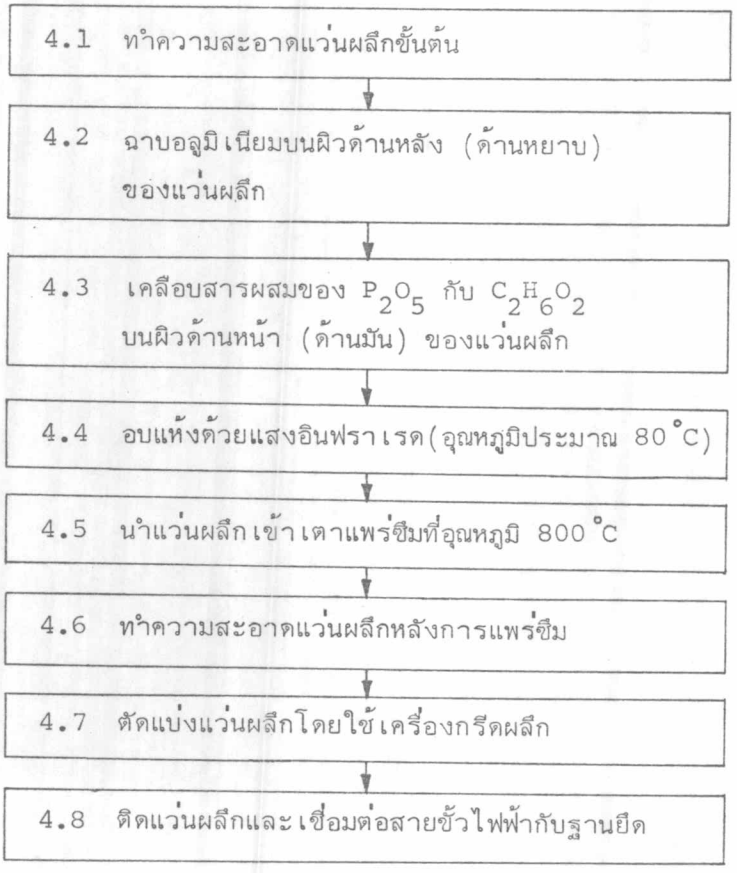
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การสร้างตัววัดรังสีอัลฟ่าแบบสารกึ่งตัวนำชนิดหัวต่อพี-เอ็น

จากการออกแบบเพื่อกำหนดวัสดุสารกึ่งตัวนำและกรรมวิธีในการสร้างตัววัดรังสีที่เหมาะสม แล้วเตรียมการก่อนการทดลองเพื่อให้เครื่องมือเครื่องใช้ วัสดุและเคมีภัณฑ์ต่าง ๆ อยู่ในสภาพที่พร้อมจะนำไปใช้งานได้ ขั้นต่อไปก็เป็นการทดลอง รายละเอียดแสดงไว้ดังแผนภูมิข้างล่างนี้



4.1 การทำความสะอาดแว่นผลึกขั้นต้น

ขั้นตอนนี้เป็นการทำความสะอาดแรกเริ่มกับแว่นผลึกที่เลือกเอาไว้แล้ว ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับแว่นผลึกที่จะนำไปสร้างเป็นตัววัดฯ เนื่องจากการแพร่ซึมกระทำที่อุณหภูมิสูงประมาณ 800 °C ดังนั้นการมีสิ่งแปลกปลอมที่ไม่พึงประสงค์ติดอยู่บนผิวของแว่นผลึก ย่อมทำให้สามารถแพร่ซึมเข้าไปในเนื้อผลึกได้ ผลที่เกิดตามมาก็คือ คุณสมบัติของตัววัดฯที่สร้างขึ้นจะไม่ดีเท่าที่ควร เพราะเกิดตัวดักจับหรือเซนเตอร์ของการรวมตัวขึ้นมาได้

ขั้นตอนการทำความสะอาดมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก. ต้มใน Trichloroethylene ที่ร้อนเดือดเป็นเวลา 5 นาที
ข. ต้มใน Acetone ที่ร้อนเดือดเป็นเวลา 10 นาที
ค. ล้างแว่นผลึกในน้ำ D.I. ที่ร้อนเดือดเป็นเวลา 5 นาที
ง. เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์
จ. ต้มในกรด HNO_3 ที่ร้อนเดือดเป็นเวลา 10 นาที
ฉ. ล้างแว่นผลึกในน้ำ D.I. ที่ร้อนเดือดเป็นเวลา 5 นาที
ช. เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์
ซ. Etch แว่นผลึกในกรด HF ที่มีความเข้มข้น 48% เป็นเวลา 2 นาที
ฌ. ล้างแว่นผลึกในน้ำ D.I. ที่ร้อนเดือดเป็นเวลา 10 นาที
ญ. เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์

เมื่อผ่านขั้นตอนเหล่านี้แล้ว แว่นผลึกก็พร้อมที่จะถูกนำไปสร้างเป็นตัววัดฯ ต่อไป

4.2 การฉาบอลูมิเนียมบนผิวด้านหลัง (ด้านหยาบ) ของแว่นผลึก

จุดประสงค์ที่ทำเช่นนี้ก็เพื่อให้เป็นผิวสัมผัสด้านหลัง เนื่องจากอลูมิเนียมเป็นอัลลอย (alloy) กับซิลิกอนที่อุณหภูมิ 577 °C ดังนั้นการแพร่ซึมสารเจือปนที่อุณหภูมิ 800 °C ก็จะทำให้อลูมิเนียมเป็นอัลลอยและแพร่ซึมเข้าไปในเนื้อแว่นผลึกซิลิกอน

การฉาบโลหะอลูมิเนียมนี้อาศัยหลักการระเหยไอโลหะในสภาวะสูญญากาศประมาณ 5×10^{-6} ทอร์ (torr) ก่อนที่จะทำการระเหยไอโลหะต้องให้ความร้อนแก่แว่นผลึกประมาณ 100 ถึง 200 °C เป็นเวลา 30 นาที เพื่อกำจัดชั้นอินเตอร์เฟเชียล (interfacial layer) อันได้แก่ไอน้ำและสิ่งแปลกปลอมบริเวณผิว แล้วจึงทำการระเหยไอโลหะอลูมิเนียมลงบนผิวแว่นผลึกให้มีความหนาประมาณ 5000 อังสตรอม การวัดความหนาของอลูมิเนียมใช้ผลึกควอตซ์เป็นตัวตรวจวัดโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงความถี่ของผลึกควอตซ์ ตัวตรวจวัดนี้เป็นส่วนประกอบอยู่ในเครื่องระเหยไอโลหะ

4.3 การเคลือบสารผสมของ P_2O_5 กับ $C_2H_6O_2$ บนผิวด้านหน้า (ด้านมัน) ของแว่นผลึก

นำแว่นผลึกที่ผ่านการฉาบอลูมิเนียมบนผิวด้านหลังมาเคลือบด้วยสารผสมของ P_2O_5 กับ $C_2H_6O_2$ ซึ่งได้เตรียมไว้แล้ว ก่อนที่จะนำมาใช้ต้องผสมทิ้งไว้เป็นเวลา 2 วันในบริเวณที่ปราศจากความชื้น เนื่องจากใช้เทคนิคแบบทา ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงความเรียบสม่ำเสมอของสารผสมทั่วพื้นที่ผิวของแว่นผลึกด้วย เพราะถ้าความหนาบางไม่เท่ากันแล้ว ขณะแพร่ซึมสารเจือปนลงไปในเนื้อซิลิกอนย่อมเกิดความไม่สม่ำเสมอของชั้นแพร่ซึมขึ้นได้ ซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติของตัววัดฯ อย่างแน่นอน เพื่อให้การทาเป็นไปอย่างสม่ำเสมอที่สุดเท่าที่จะทำได้ จึงควรทาให้บาง ๆ และทาซ้ำ จนแน่ใจว่าความเข้มข้นของตัวแพร่ซึมที่เคลือบอยู่บนผิวของแว่นผลึกมีปริมาณมากพอ ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 แล้วว่าโครงสร้างของตัววัดฯ นั้นชั้นแพร่ซึมควรจะบางมาก ๆ เพื่อให้ dead layer บางที่สุด และความเข้มข้นของพาหะที่แพร่ซึมก็ต้องสูงมาก ๆ ด้วยทั้งนี้เพื่อให้เขตปลอดพาหะกว้างมาก ๆ เมื่อเวลาใช้งานที่ไบแอสย้อน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเคลือบสารผสมให้มีปริมาณของตัวแพร่ซึมเข้มข้นมากเพียงพอ สำหรับขั้นตอนการทามีดังนี้

ก. ทาสารผสมลงบนแว่นผลึกด้านหน้าให้บาง ๆ โดยใช้ก้อนสำลีติดด้ามไม้ (cotton bud)

ข. อบแห้งด้วยแสงอินฟราเรด (ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 4.4)

ค. ทาซ้ำอีกครั้ง

ง. อบแห้งด้วยแสงอินฟราเรด

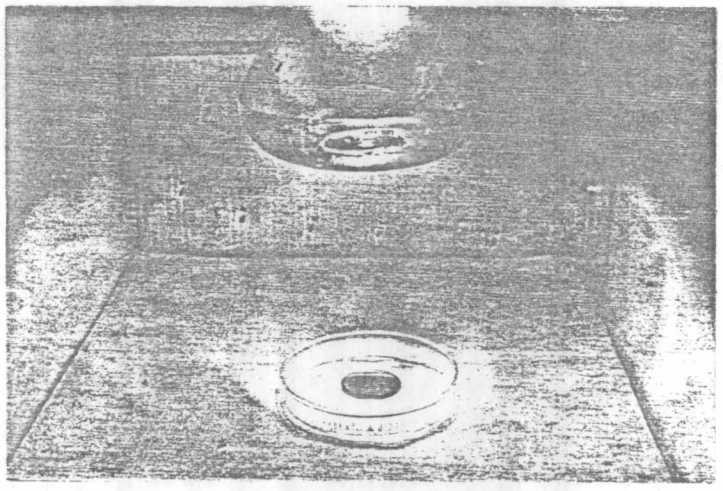
ข้อควรระวัง

1. ต้องระวังสิ่งแปลกปลอมต่าง ๆแพร่ซึมเข้าไปในเนื้อซิลิกอน แปรงที่ใช้ทาจึงควรหลีกเลี่ยงพวกโลหะชนิดต่าง ๆ รวมทั้งระวังการแตะต้องด้วยมือเปล่า

2. การทาต้องไม่ให้สารผสมซึมเข้าทางด้านหลังซึ่งมีโลหะอลูมิเนียมฉาบอยู่ มิฉะนั้นแล้วจะเกิดการแพร่ซึมของฟอสฟอรัสซึ่งเป็นพาหะชนิดเอ็นเข้าไปในเนื้ออลูมิเนียมซึ่งเป็นพาหะชนิดพี มีผลทำให้คุณสมบัติของตัววัดฯ เสียหายได้

4.4 การอบแห้งด้วยแสงอินฟราเรด

เนื่องจากการเคลือบสารผสมที่เป็นของเหลวมีโอกาสทำให้เกิดความสม่ำเสมอได้ยาก ยกตัวอย่างเช่น ถ้าวางแว่นผลึกในลักษณะที่ไม่ขนานกับพื้นระนาบ ซึ่งเหตุการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นได้ง่ายในกรณีที่นำแว่นผลึกเข้าเตาแพร่ซึม เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาอันนี้ ดังนั้นก่อนที่จะนำเข้าเตาแพร่ซึมต้องอบให้แห้งเสียก่อน เพื่อให้สารผสมแนบสนิทกับผิวซิลิกอนโดยไม่มีการไหลไปมาจึงจะสามารถนำเข้าเตาแพร่ซึมได้โดยสะดวก อุณหภูมิที่ใช้ในการอบประมาณ 80 °C ลักษณะการอบด้วยแสงอินฟราเรดจะเห็นได้จากรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การอบแว่นผลึกด้วยแสงอินฟราเรด

สาเหตุที่เลือกใช้แสงอินฟราเรดแทนเตาอบก็เพราะว่าในย่านอินฟราเรดแสงมีความยาวคลื่นยาว ดังนั้นจึงสามารถเจาะเข้าไปได้ลึก ทำให้สารผสมถูกอบแห้งอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งแตกต่างจากเตาอบที่ทำให้สารผสมแห้งเฉพาะผิวบนเท่านั้น ที่ลึกลงไปต้องใช้เวลาในการอบนานขึ้น การอบแห้งจึงไม่สม่ำเสมอ

4.5 การนำแว่นผลึกเข้าเตาแพร่ซึม

หลังจากที่อบแว่นผลึกเป็นที่เรียบร้อยแล้วก็เริ่มต้นกรรมวิธีการแพร่ซึม ในการสร้างตัววัดรังสีอัลฟ่าแบบสาร กึ่งตัวนำชนิดหัวต่อพี-เอ็นโดยใช้เทคนิคการแพร่ซึมแบบทาสารเจือปนนี้ใช้อุณหภูมิในการสร้างต่ำที่ประมาณ 800 °C โดยใช้เตาแพร่ซึมที่สร้างขึ้นเองในห้องปฏิบัติการ รายละเอียดขั้นตอนการแพร่ซึมมีดังนี้

ก. นำแว่นผลึกเข้าเตาแพร่ซึม เพิ่มอุณหภูมิของเตาแพร่ซึมเป็นลำดับจากอุณหภูมิห้องถึง 800 °C โดยใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง

ข. แพร่ซึมสารเจือปนที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง

ค. ลดอุณหภูมิของการแพร่ซึมเป็นลำดับจาก 800 °C ลงมาถึง 500 °C โดยใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง

ง. ดับเตาแล้วทิ้งไว้จนถึงอุณหภูมิห้องเป็นเวลาประมาณ 4 ชั่วโมง

จ. ดึงแว่นผลึกออกจากเตา เป็นอันเสร็จสิ้นขบวนการแพร่ซึม

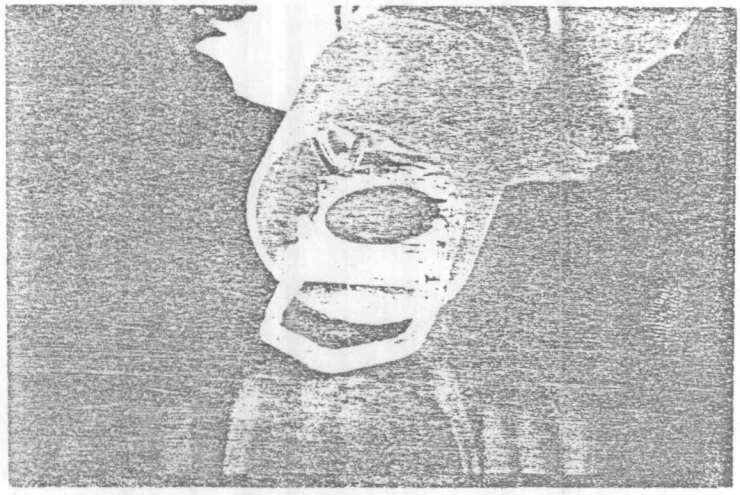
จากขั้นตอนการแพร่ซึมทั้งหมดนี้จะเห็นว่า เวลาที่ใช้ในขบวนการแพร่ซึมรวมทั้งสิ้นประมาณ 8 ชั่วโมง ใช้เวลาส่วนใหญ่กับการค่อย ๆ เพิ่มและลดอุณหภูมิเตา เหตุผลที่ต้องค่อย ๆ เพิ่มจากอุณหภูมิห้องขึ้นไปจนถึง 800 °C นั้น เป็นเพราะต้องการให้การแพร่ซึมจากผิวบนเข้าสู่แว่นผลึกเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ และการที่ต้องค่อย ๆ ลดอุณหภูมิจาก 800 °C ลงมาจนถึงอุณหภูมิห้อง ก็เพื่อเป็นการลดความเค้น (strain) ภายในแว่นผลึก ทำให้เวลาชีวิตของพาหะข้างน้อยมีค่าสูงขึ้น แล้วมีผลให้ประสิทธิภาพของตัววัดฯ มีค่าสูงขึ้นด้วย

ในขบวนการแพร่ซึมนี้ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 577 °C จะทำให้โลหะอลูมิเนียมที่ฉาบอยู่บนผิวด้านหลังของแว่นผลึกทำปฏิกิริยากับซิลิกอนเกิดเป็นอัลลอยขึ้น และแพร่ซึมเข้าไปเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในที่สุดจะได้ชั้นพีที่มีความเข้มข้นสูงอยู่ทางด้านหลังของแว่นผลึกและทำหน้าที่เป็นผิวสัมผัส

สำหรับภายในเตาแพร่ซึมต้องให้มีบรรยากาศของก๊าซเฉื่อยอยู่ด้วย เพื่อป้องกันไม่ให้สิ่งเจือปนต่าง ๆ ในอากาศเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบ ในที่นี้เลือกใช้ก๊าซไนโตรเจน โดยให้อัตราการไหลมีค่าประมาณ 1 ลิตรต่อนาที ทั้งนี้เพื่อช่วยขับไล่ควันสีขาวของก๊าซ CO_2 ในสารผสมที่เกิดขึ้นในระหว่าง

ที่เพิ่มอุณหภูมิของการแพร่ซึมในระยะเริ่มต้น

ลักษณะการวางแว่นผลึกลงบนภาชนะที่ทำด้วยควอตซ์ก่อนที่จะใส่เข้าไปในเตาแพร่ซึมนั้นสามารถวางได้ 2 แนวคือ ให้ผิวหน้าขนานกับพื้นระนาบหรือผิวหน้าตั้งฉากกับพื้นระนาบก็ได้ เพราะสารผสมติดแนบสนิทกับผิวซิลิกอนอยู่แล้ว เมื่อตอนอบด้วยแสงอินฟราเรด การวางแว่นผลึกภายในเตาแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การวางแว่นผลึกภายในเตาแพร่ซึม

4.6 <u>การทำความสะอาดแว่นผลึกหลังการแพร่ซึม</u>

หลังจากที่ผ่านขบวนการแพร่ซึมแล้ว จะสังเกตเห็นคราบสกปรกปรากฏอยู่บนผิวของแว่นผลึก อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาระหว่างธาตุหรือสารประกอบในสารผสมกับซิลิกอน และเกิดจากสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่ในสารผสม จึงต้องนำแว่นผลึกมาทำความสะอาดเพื่อกำจัดคราบสกปรกเหล่านี้ ขั้นตอนการทำความสะอาดมีดังนี้

ก. Etch แว่นผลึกในกรด HF เข้มข้น 48% เป็นเวลา 5 นาที เพื่อกำจัดพวกวัสดุที่ถูกเผาไหม้และชั้นบาง ๆ ของฟอสฟอรัส

ข. ล้างแว่นผลึกในน้ำ D.I.

ค. ชะล้างด้วย Ethyl Alcohol

ง. อบแห้งด้วยแสงอินฟราเรด (การอบแห้งมีลักษณะเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 4.4)

เมื่อผ่านกรรมวิธีนี้แล้วปรากฏว่าคราบสกปรกบางส่วนยังคงเหลืออยู่ มีลักษณะเป็นอัลลอยของสารประกอบบางชนิดอยู่ลึกลงไปในเนื้อซิลิกอน

4.7 การตัดแบ่งแว่นผลึกโดยใช้เครื่องกรีดผลึก

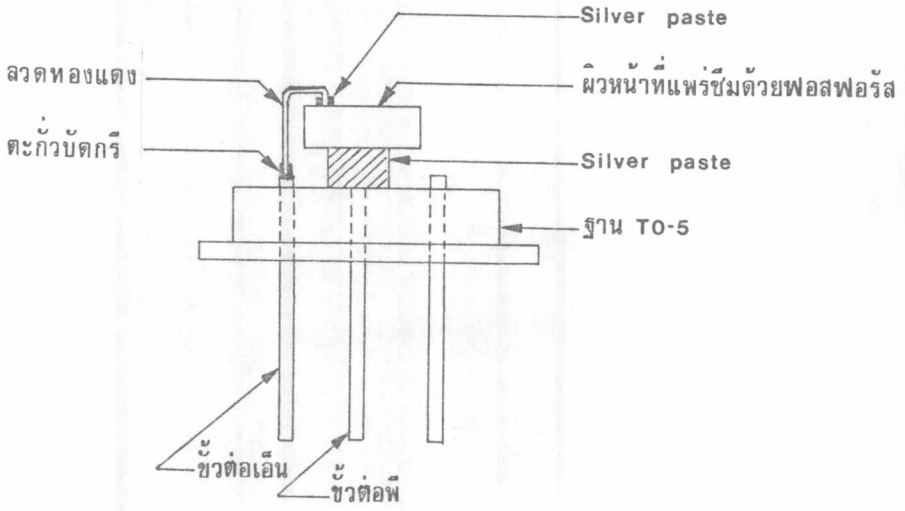
แว่นผลึกที่ผ่านการแพร่ซึมมีขนาดโต จึงต้องตัดให้มีขนาดเล็กลงเพื่อนำไปใช้งานตามความเหมาะสม เครื่องมือที่ใช้ตัดแว่นผลึกเป็นเครื่องกรีดหัวเพชร

4.8 การติดแว่นผลึกและเชื่อมต่อสายขั้วไฟฟ้ากับฐานยึด

เป็นขั้นตอนสุดท้ายสำหรับการสร้างตัววัดฯ และพร้อมที่จะนำไปทดสอบได้ การติดแว่นผลึกเข้ากับฐานยึดแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะดังนี้

4.8.1 การใช้ฐาน TO-5

การใช้ฐานยึดแบบ TO-5 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การเชื่อมต่อตัววัดรังสีเข้ากับฐาน TO-5

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีสร้าง

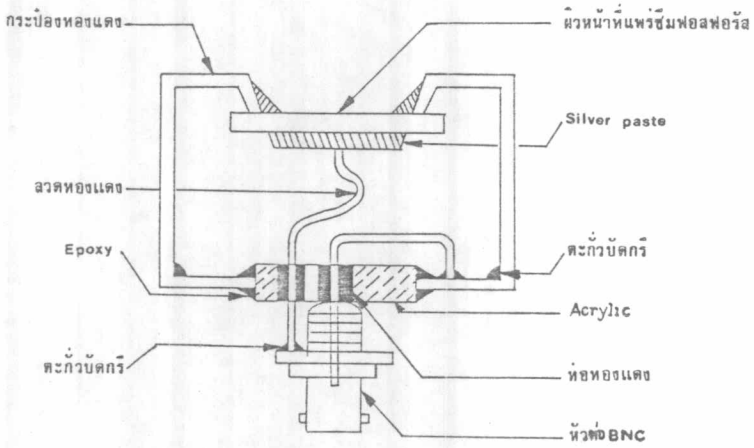
ก. เตรียมฐาน TO-5 ซึ่งปกติใช้สำหรับทำฐานทรานซิสเตอร์

ข. ติดแว่นผลึกกับฐาน TO-5 โดยให้ผิวด้านที่แพร่ซึมด้วยฟอสฟอรัสอยู่ด้านบน แล้วเชื่อมต่อด้วย silver paste (P-255) สำหรับขาของฐาน TO-5 ที่เชื่อมต่ออยู่กับ silver paste ทำหน้าที่เป็นขั้วต่อด้านพี

ค. ใช้ลวดทองแดงเชื่อมต่อระหว่างผิวด้านบนของแว่นผลึกกับฐาน TO-5 เพื่อทำหน้าที่เป็นขั้วต่อด้านเอ็น ระหว่างลวดทองแดงกับแว่นผลึก เชื่อมต่อด้วย silver paste ระหว่างลวดทองแดงกับขาของ TO-5 บัดกรีด้วยตะกั่ว

4.8.2 การสร้าง package รูปทรงกระบอก

ในกรณีที่ฐาน TO-5 มีขนาดเล็กไป การสร้างฐานยึดขึ้นมาโดยเฉพาะจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การเชื่อมต่อตัววัดรังสีเข้ากับ packageรูปทรงกระบอก

วิธีสร้าง

ก. เตรียมกระป๋องทองแดงทรงกระบอกเปิดฝาด้านล่าง เจาะด้านบนเป็นรูกลม

ข. นำแผ่นทองแดงที่เตรียมไว้สำหรับปิดด้านล่างของกระป๋องทองแดงมาเจาะรูเป็นวงกลม

ค. ตัดแผ่น Acrylic ให้มีขนาดพอดีกับรูที่เจาะเอาไว้ แล้วเจาะรูบนแผ่น Acrylic 2 รู เพื่อยึดลวดทองแดงซึ่งเป็นขั้วต่อด้านพีและเอ็น แผ่น Acrylic มีคุณสมบัติเป็นฉนวน จึงป้องกันสัญญาณต่าง ๆ ไม่ให้รบกวนกัน

ง. กดแผ่น Acrylic ให้แนบพอดีกับแผ่นทองแดง แล้วเชื่อมต่ออย่างถาวรด้วย Epoxy

จ. บัดกรีหัวต่อ BNC กับขั้วต่อด้านเอ็น (กระป๋องทองแดง) ด้วยตะกั่ว

ฉ. แนบแว่นผลึกซิลิกอนที่ผ่านการแพร่ซึมเข้ากับกระป๋องทองแดง โดยให้ผิวด้านที่แพร่ซึมด้วยฟอสฟอรัสอยู่ด้านบน

ช. ใช้ลวดทองแดงดันด้านหลังของแว่นผลึก เชื่อมด้วย silver paste ลวดทองแดงนี้ทำหน้าที่เป็นทั้งขั้วต่อด้านพีและเป็นสปริงกดแว่นผลึกเข้ากับกระป๋องทองแดงด้วย

ซ. ประกบกระป๋องทองแดงเข้ากับฝาด้านล่างและบัดกรีด้วยตะกั่ว

ฌ. บัดกรีหัวต่อ BNC เข้ากับขั้วต่อด้านพีด้วยตะกั่ว

ญ. ใช้ silver paste ทาเชื่อมต่อระหว่างแว่นผลึกกับฝาด้านบนของกระป๋องทองแดง

หลังจากผ่านขบวนการเหล่านี้แล้วจะได้ตัววัดฯ ที่ถูกห่อหุ้มด้วย package และพร้อมที่จะนำไปทดสอบคุณสมบัติต่อไป