หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

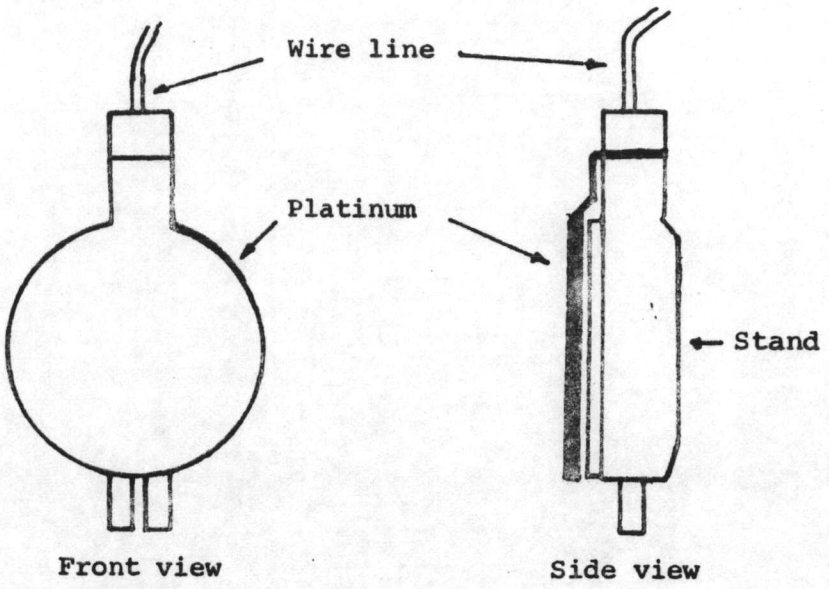
การสร้างเครื่องมือและการทดลอง

การสร้างเครื่องมือทำการวิจัย

ในการสร้างเครื่องมือทำการวิจัยนั้นจะประกอบด้วยการเลือกใช้ภาชนะ เพื่อทำแอนโนดิคเซล การเลือกชนิดขั้วอิเลคโตรด และการสร้างแหล่งจ่ายกำลังไฟกระแสตรงแบบผสม ซึ่งมีรายละเอียดของแต่ละส่วนดังนี้

1. การเลือกใช้ภาชนะเพื่อทำแอนโนดิคเซล การเลือกใช้ภาชนะเพื่อทำแอนโนดิคเซลจะต้องคำนึงถึงสารละลาย ที่ใช้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกับภาชนะหรือไม่ ซึ่งจะทำให้คุณสมบัติทางเคมีของสารละลายเปลี่ยนไปได้ นอกจากนั้นตัวภาชนะจะต้องเป็นฉนวนและมีขนาดโตพอสมควร ภาชนะที่ใช้ควรจะเป็นตัวถ่ายเทความร้อนได้ดีด้วย เพราะว่าเมื่อใช้กระแสไฟฟ้าจำนวนมากไหลผ่านสารละลายอิเลคโตรไลท์ ทำให้อุณหภูมิของสารละลายอิเลคโตรไลท์เพิ่มขึ้น มีผลให้จุดวิกฤตแรงดันไฟฟ้าลดลง ดังนั้นจึงมีผลต่อการเพิ่มความหนาของชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ และในบางโอกาสการสร้างชั้นอ๊อกไซด์บนแว่นผลึกซิลิกอนที่เป็นชนิดเอ็น จะต้องใช้แสงเข้าช่วยในขณะสร้างชั้นอ๊อกไซด์ ภาชนะที่ใช้จึงควรจะมีขนาดพอเหมาะที่จะใช้แสงส่องเข้าไปยังขั้วแอนโนดได้ ซึ่งในที่นี้ได้เลือกใช้ภาชนะทรงกระบอกทำจากเทฟลอนขนาด 350 ลูกบาศก์เซ็นติเมตร ซึ่งมีข้อดีคือไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับอิเลคโตรไลท์ ถ่ายเทความร้อนได้ดี ทนความร้อนได้สูง ทำความสะอาดได้ง่าย นอกจากนั้นยังอาจสามารถที่จะใช้ภาชนะอย่างอื่น เช่น ภาชนะทรงกระบอกทำจากแก้ว Pyrex ซึ่งมีความสะดวกในการให้แสงแก่ขั้วแอนโนดมากกว่า

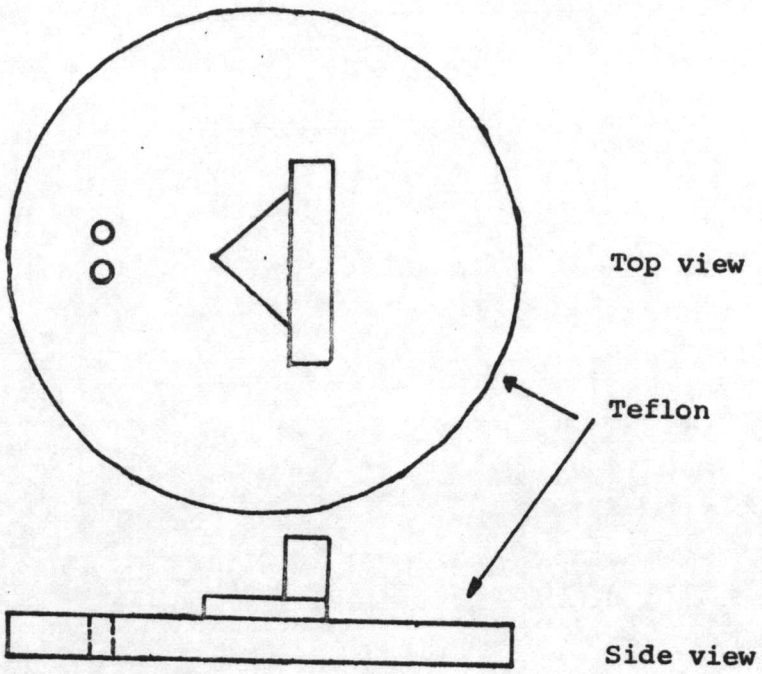
2. ขั้วอิเลคโตรด ในการเลือกใช้ขั้วอิเลคโตรดจะต้องคำนึงถึงว่า ขั้วคาโทดไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลายมีเพียงขั้วแอนโนดเท่านั้นที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายอิเลคโตรไลท์ และเป็นขั้นงานที่ต้องทำการสร้างชั้นอ๊อกไซด์ ขั้วคาโทดยึดติดกับฐานอย่างถาวร ส่วนขั้วแอนโนดจะต้องเปลี่ยนเข้าออกจากตัวเซลเมื่อสร้างชั้นอ๊อกไซด์เสร็จในแต่ละครั้ง และผิวหน้าของขั้วทั้งสองจะต้องขนานกัน



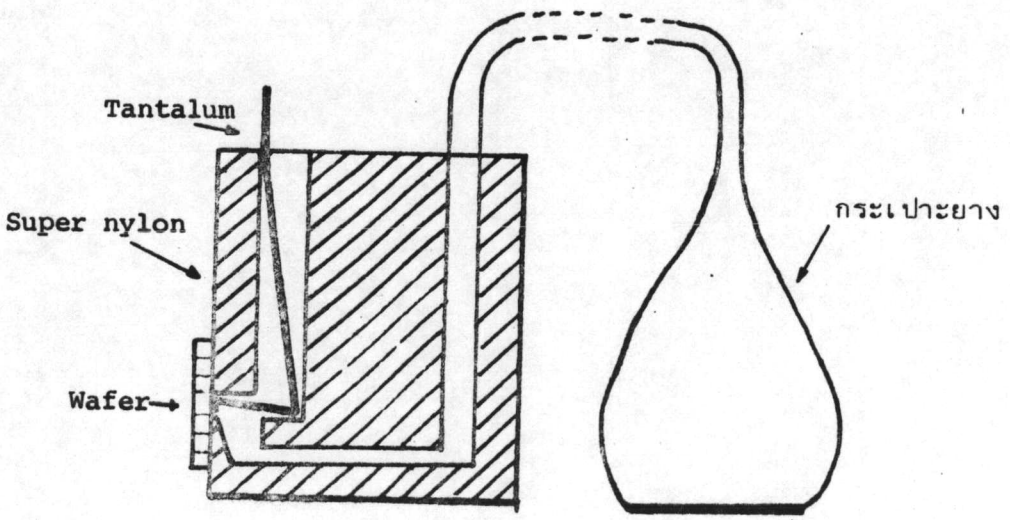
รูปที่ 4.1 ลักษณะของขั้วคาโทด

เพื่อให้ความหนาแน่นของกระแสที่ไหลผ่านชั้นอ๊อกไซด์มีค่าสม่ำเสมอจึงจะได้อ๊อกไซด์ที่เรียบสม่ำเสมอ ขั้วคาโทดที่ใช้เป็นโลหะเฉื่อยพวกปลาตินัม มีลักษณะเป็นวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว มีหูยึดอยู่กับหลักซึ่งทำจากเทฟลอน ขั้วคาโทดนี้เชื่อมต่อไปยังแหล่งจ่ายกำลังไฟกระแสตรงทางด้านลบ นอกจากนี้หลักเทฟลอนยังเป็นตัวยึดให้ขั้วคาโทดวางตั้งฉากและยึดแน่นกับฐานรองด้วย สำหรับหูยึดควรมีความสูงจากฐานมากๆ เพื่อไม่ให้สารละลายในภาชนะสัมผัสกับสายโลหะที่เชื่อมต่อระหว่างขั้วลบกับคาโทด หากสัมผัสกันจะทำให้กระแสที่ไหลผ่านขั้วคาโทดรั่วไหลไปยังสายโลหะแทนได้ รูปร่างลักษณะของขั้วคาโทดแสดงไว้ ดังรูปที่ 4.1 สำหรับตัวฉากที่ทำด้วยเทฟลอนนั้นจะมีเดือยยึดอยู่กับฐานรองวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางส่วนในของภาชนะ และมีฉากเล็กๆ ติดอยู่บนฐานด้วย เพื่อเป็นตัวยึดให้ขั้วแอนโนดขนานกับขั้วคาโทด โดยตัวฉากจะวางขนานกับขั้วคาโทด ดังรูปที่ 4.2 ส่วนขั้วแอนโนดนั้นได้มีการออกแบบเป็น 2 ลักษณะ คือ

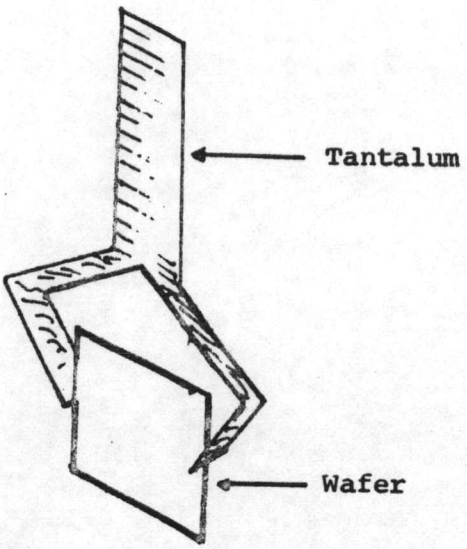
ก. ใช้ซุปเปอร์ไนลอนเป็นตัวยึดแว่นผลึกซิลิกอนให้วางตั้งได้ฉากกับขั้วคาโทด ดังรูปที่ 4.3 โดยยึดแว่นผลึกด้วยซุปเปอร์ไนลอนที่มีผิวหน้าเรียบมาก ผิวของซุปเปอร์ไนลอนนี้ ตัดให้



รูปที่ 4.2 ฐานรองขั้วคาโทด



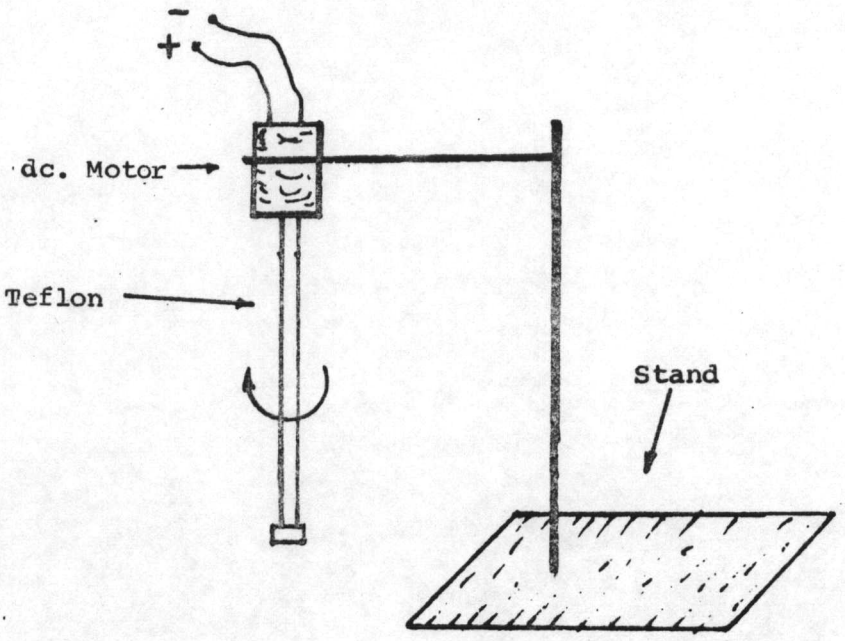
รูปที่ 4.3 ขั้วแอนโนดที่ออกแบบให้เกิดชั้นอ๊อกไซด์ด้านเดียว



รูปที่ 4.4 ขั้วแอนโนดแบบใช้คีมจับ

เรียบด้วยเครื่องมือกลแล้วขัดบนกระจกด้วยผงขัดอลูมินาจนเรียบ สำหรับแรงยึดแว่นผลึกซิลิกอนกับซุปเปอร์ไนลอนนั้น อาศัยแรงสูญญากาศจากกระเปาะยางที่ต่อกับแท่งซุปเปอร์ไนลอนด้วยสายยาง โดยที่แท่งซุปเปอร์ไนลอนจะถูกเจาะเป็นรูมายังผิวหน้าส่วนที่ให้แว่นผลึกเกาะติด เมื่อเกิดสูญญากาศในกระเปาะจะเกิดแรงดูดให้แว่นผลึกติดผิวหน้าแท่งซุปเปอร์ไนลอน นอกจากนั้นยังจะต้องเชื่อมต่อจากแว่นผลึกไปยังแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่ขั้วบวก โดยการเจาะรูแท่งซุปเปอร์ไนลอนเพิ่มขึ้นอีกรู แล้วใช้โลหะแทนทาลัม ซึ่งมีความอยู่ตัวพอสมควรใส่ตามรูที่เจาะใหม่ให้แตะกับแว่นผลึก และมีแรงกดพอดีกับแรงดูดของสูญญากาศในกระเปาะ ซึ่งขั้วแอนโนดแบบนี้มีข้อดีที่ชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ที่ได้เกิดขึ้นเพียงด้านเดียวคือด้านที่หันออก แต่มีข้อเสียที่การสัมผัสระหว่างแว่นผลึกกับซุปเปอร์ไนลอนยังไม่ดีพอมีสารละลายต่างๆ เข้าไปได้เล็กน้อย

ข. ใช้คีมจับทำด้วยโลหะแทนทาลัม รูปร่างลักษณะของขั้วแอนโนดแสดงไว้ดังรูปที่ 4.4 การออกแบบวิธีนี้ง่ายมาก มีความสะดวกรวดเร็วในการใช้งาน แต่มีข้อเสียหากใช้ที่แรงดันสูงจะเกิดการกระเทาะออกของชั้นแทนทาลัมอ๊อกไซด์และเกิดชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ทั้งสองด้านของแว่น



รูปที่ 4.5 เครื่องกวนสารละลาย

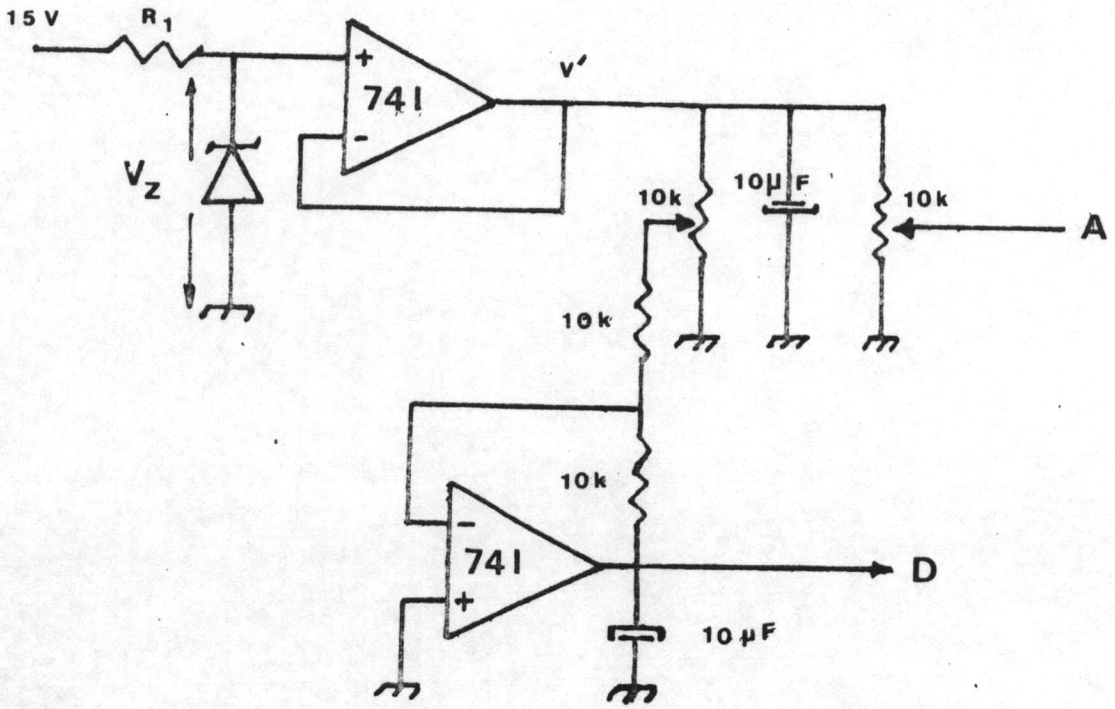
ผลึก ขนาดของแผ่นโลหะแทนทาลัมที่ใช้มีความกว้าง 1 cm.ยาว 20 cm.ตัดด้วยกรรไกรแบบตาม ยาวประมาณครึ่งหนึ่งของความยาวแล้วงอเป็นรูปตีม

นอกจากนั้นยังได้ปรับปรุงการใช้งานของแอนโนดิคเซล ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยเพิ่ม การกวนสารละลายเพื่อไล่ฟองก๊าซที่เกิดขึ้นที่ขั้วคาโทดและแอนโนด เครื่องกวนประกอบด้วยแท่ง เทฟลอนและมอเตอร์กระแสตรงขนาดเล็ก สำหรับหมุนแท่งเทฟลอน ดังรูปที่ 4.5 เพื่อกระตุ้นให้ ฟองอากาศที่เกาะติดผิวแว่นผลึกหลุดลอยออกไปได้ง่าย

3. <u>แหล่งจ่ายกำลังไฟกระแสตรง</u> วงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟกระแสตรงแบบพิเศษ นี้ ผู้คิดค้นคือ Mr. Prost[17] มีหลักการทำงานดังนี้คือ แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงจะจ่ายกระแสคงที่ ให้แก่โหลด และค่าแรงดันที่จ่ายให้แก่โหลดจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลา จนถึงค่า Limiting Voltage วงจรจะเปลี่ยนจากการจ่ายกระแสคงที่เป็นแรงดันคงที่ แล้วค่ากระแสที่จ่ายให้แก่โหลดจะมีค่าลดลง ซึ่งลักษณะการทำงานแบบนี้สามารถแบ่งวงจรออกเป็น 4 ภาค ดังนี้

-ภาคต้นกำเนิดอ้างอิง

-ภาคจ่ายกำลังไฟแรงดันคงที่



รูปที่ 4.6 วงจรภาคต้นกำเนิดอ้างอิง

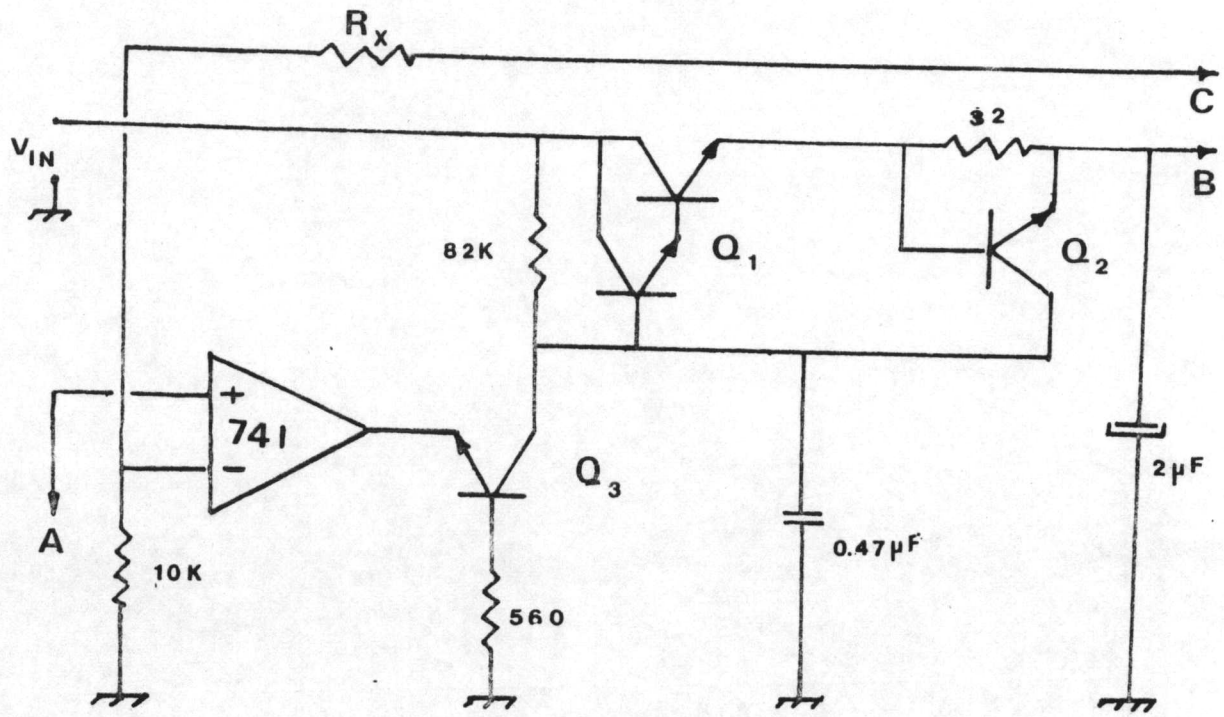
-ภาคจ่ายกำลังไฟกระแสคงที่

-ภาคการวัดแรงดันและกระแส

โดยมีรายละเอียดการทำงานของแต่ละส่วนดังนี้คือ

ก. ภาคต้นกำเนิดอ้างอิง ภาคนี้มีหน้าที่สร้าง Reference Source ขึ้น 2 หน่วย สำหรับควบคุมการเปลี่ยนแปลงขอบเขตของการจ่ายแรงดันและกระแส โดยใช้วงจร D.C. Voltage Follower ดังรูปที่ 4.6

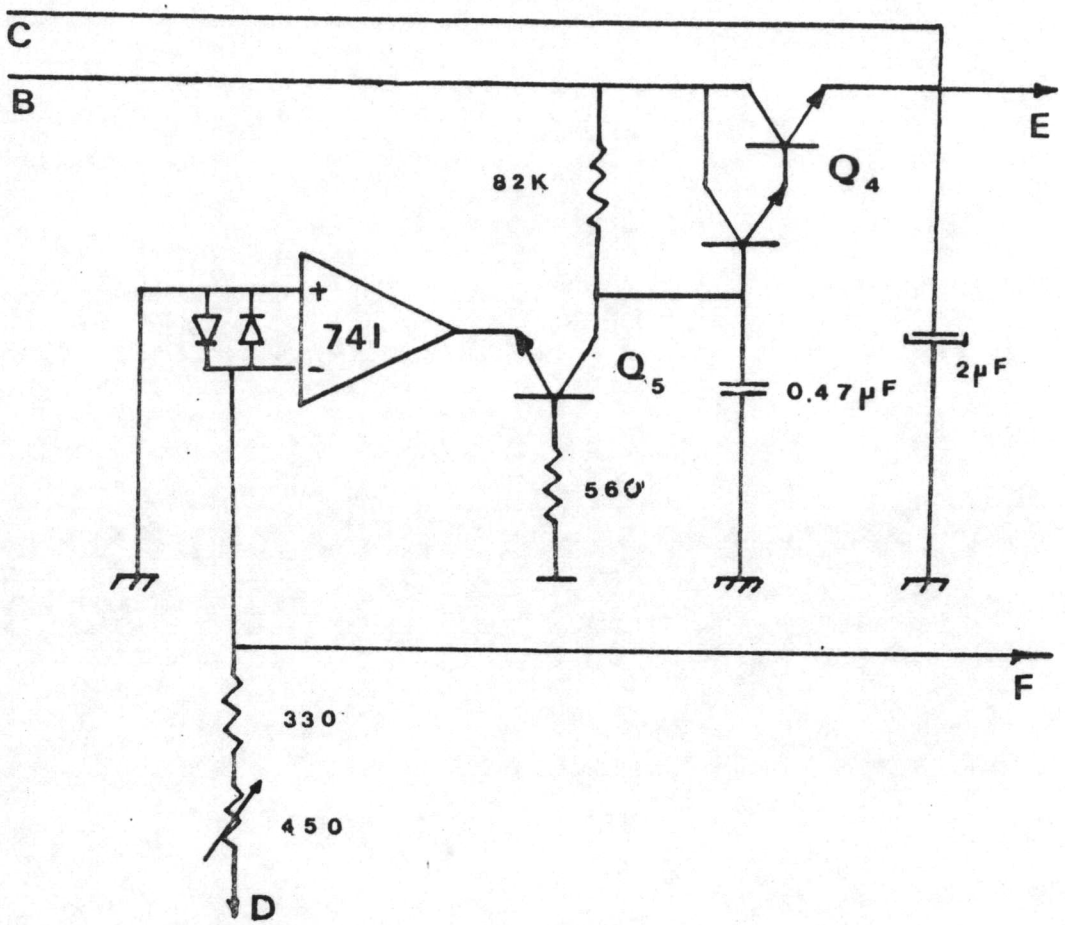
จากแรงดัน 15 Volts ซึ่งมีขนาดเท่ากับแรงดันไฟเลี้ยง Operational Amplifier # 741 มาจากการแยกแรงดันกระแสสลับขนาด ± 12 Volts ของหม้อแปลง ผ่านวงจร Halfwave Rectifier และ Filter หลังจากนั้นผ่านความต้านทาน R_1 และ Zener Diode จะได้ V_z เมื่อ V_z ผ่านเข้าวงจร Noninverting Input ของวงจร D.C. Voltage Follower (มี Inverting Input เชื่อมต่อกับ Output ของวงจร D.C. Voltage Follower)จะถูกขยายด้วยอัตราขยายเท่ากับ 1 ได้ $V' = V_z$ เมื่อ V' ผ่านเข้าความต้านทาน



รูปที่ 4.7 วงจรภาคจ่ายกำลังไฟแรงดันคงที่

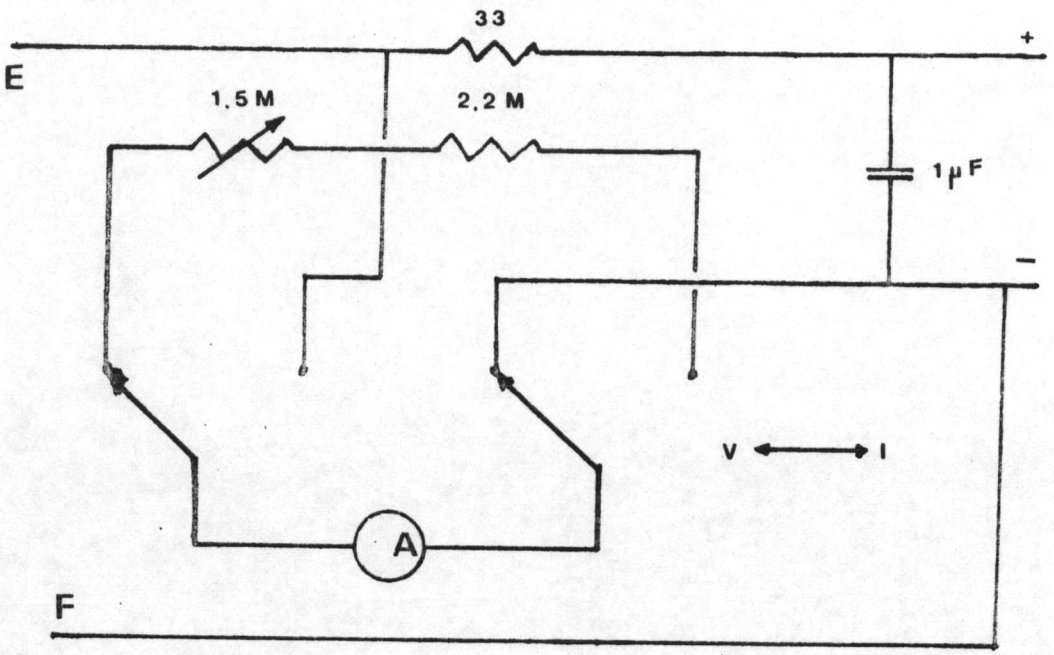
เปลี่ยนค่าได้ 2 ชุด เพื่อแยกเอาไปควบคุมขอบเขตการจ่ายแรงดันของวงจรภาคจ่ายกำลังไฟแรงดันคงที่ และผ่านวงจร Inverting Amplifier เพื่อเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดันไปควบคุมขอบเขตการจ่ายกระแส แรงดันเปลี่ยนค่าได้อยู่ในช่วง 1 ถึง 6 V และ 1 ถึง -6 V ตามลำดับ

ข. ภาคจ่ายกำลังไฟแรงดันคงที่ วงจรแสดงดังรูปที่ 4.7 ประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ Q_1 เป็นวงจร Darlington ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมระดับแรงดันขาเข้าและขาออกให้คงที่ ทรานซิสเตอร์ Q_2 เป็นตัวป้องกันกระแสลัดวงจร ส่วนทรานซิสเตอร์ Q_3 เป็นตัวกำหนดขอบเขตของ Limiting Voltage ไว้ให้จ่ายแก่โหลดตามต้องการ Operational Amplifier ทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดันที่ตกคร่อมโหลดและแรงดันที่กำหนดขอบเขต (Limiting Vollage) ไว้ จากแรงดัน V_{in} เป็นแรงดันค่าสูง จากหม้อแปลงขนาด 300 V ผ่านเข้าวงจร Fullwave Rectifier แบบ Bridge และผ่าน Filter แบบตัวเก็บประจุได้ V_{in} ผ่านเข้าวงจร <u>ในกรณีที่แรงดันตกคร่อมโหลดน้อยกว่าขอบเขตที่กำหนด</u> เมื่อมีกระแสไหลผ่านความต้านทาน 82 k Ω เข้าไปไบแอส ตรงให้ทรานซิสเตอร์ Q_1 ทำงาน ทำให้มีกระแสไหลผ่านทรานซิสเตอร์ไปจ่ายให้แก่วงจรภาค



รูปที่ 4.8 วงจรภาคจ่ายกำลังไฟกระแสคงที่

จ่ายกำลังไฟกระแสคงที่ เพื่อควบคุมปริมาณกระแสที่จ่ายแก่โหลดตามต้องการ หากเกิดการลัดวงจร กระแสจะไหลมากทำให้แรงดันตกคร่อมความต้านทาน 32 Ω มีค่าสูงกว่า 0.6 V ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_2 ทำงาน กระแสที่ไหลไปไบแอสให้ทรานซิสเตอร์ Q_1 กระแสจะไหลผ่านทรานซิสเตอร์ Q_2 แทน ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_1 ไม่ทำงาน ดังนั้นจึงไม่มีกระแสและแรงดันจ่ายแก่โหลด ส่วนทรานซิสเตอร์ Q_3 ที่เป็นตัวกำหนดขอบเขตแรงดันจะยังไม่ทำงาน เนื่องจากแรงดันที่แยกมาจากแรงดันคร่อมโหลดน้อยกว่าแรงดันที่ตั้งขอบเขตไว้ จากส่วนของต้นกำเนิดอ้างอิง A ทำให้แรงดันที่จ่ายออกของ Operational Amplifier # 741 เป็นค่าบวกประมาณ 14 V และวงจรทรานซิสเตอร์เป็นแบบ NPN และ Common Base ด้วย เมื่อแรงดันตกคร่อมโหลดมีค่าเท่ากับขอบเขตที่กำหนด แรงดันที่แบ่งแยกมาเข้าขา Inverting Input ของ Operational Amplifier เท่ากับแรงดัน



รูปที่ 4.9 วงจรภาคการวัดแรงดันและกระแส

ของ Noninverting Input เกิดการเปรียบเทียบและแรงดันจ่ายออกของ Operational Amplifier จะเปลี่ยนกลับไปเป็น -14 V ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_3 ทำงานกระแสส่วนที่ไปไบแอสให้แก่ทรานซิสเตอร์ Q_1 ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ Q_3 แทน ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_1 ไม่ทำงาน มีผลให้แรงดันที่จ่ายมีค่าคงที่ที่แรงดัน Limiting Voltage สำหรับค่า R_x คำนวณได้จากสูตร

$$R_x = \frac{10 \text{ kx} V_{in}}{V_z} \Omega \qquad 4.1$$

ค. ภาคจ่ายกำลังไฟกระแสคงที่ วงจรแสดงรูปที่ 4.8 ประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ Q_4 ซึ่งเป็นแบบ Darlington ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณกระแสขาเข้าและกระแสขาออกไปยังโหลดให้คงที่ ส่วนทรานซิสเตอร์ Q_5 เป็นตัวกำหนดขอบเขตของกระแสที่ต้องการจะจ่ายให้แก่โหลด โดยผ่านทรานซิสเตอร์ Q_4 ซึ่งถูกควบคุมโดย Operational Amplifier

กระแสจากภาคจ่ายกำลังไฟแรงดันที่ผ่านมายังความต้านทาน 82 kΩ บางส่วนผ่านเข้าไปไบแอสให้แก่ทรานซิสเตอร์ Q_4 ที่ขาเบสทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_4 นี้ทำงาน จะมีกระแสไหลจากภาคจ่ายกำลังไฟแรงดันคงที่ผ่านออกไปยังโหลดและไหลไปเข้ายัง Inverting Input ของ Operational Amplifier ซึ่งกระแสจำนวนนี้จะถูกกำหนดขอบเขตโดยการปรับแรงดันจากภาคกำเนิดอ้างอิงให้แรงดันคร่อมความต้านทาน 330 Ω มีศักย์เป็นลบมากหรือน้อย หากน้อยจะให้กระแสแก่โหลดน้อยโดยควบคุมปริมาณกระแสที่ไหลผ่านโหลด และผ่านมายังความต้านทาน 330 Ω ไปหาศักย์ลบ จนทำให้ศักย์ที่ขั้ว Inverting Input และ Noninverting Input เท่ากัน จึงมีความแตกต่างระหว่างขาเข้าเป็นศูนย์ การจ่ายออกของ Operational Amplefier จึงเปลี่ยนจากค่าบวกเป็นลบ ทรานซิสเตอร์ Q_5 เป็นวงจร Common Base จะเริ่มทำงาน กระแสที่ไปไบแอสทรานซิสเตอร์ Q_4 จะไหลผ่านทรานซิสเตอร์ Q_5 แทน ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_4 ไม่ทำงาน กระแสที่ไหลผ่านโหลดลดลง ทำให้แรงดันที่ขา Inverting และ Noninverting ของ Operational Amplefier แตกต่างกัน แรงดันจ่ายออกจะเปลี่ยนกลับไปเป็น 14 V ทรานซิสเตอร์ Q_5 ไม่ทำงาน แต่ทรานซิสเตอร์ Q_4 จะเริ่มทำงานใหม่ การจ่ายกระแสให้แก่โหลดจึงคงที่ตามขอบเขตที่กำหนดไว้ นอกจากนั้นปริมาณกระแสสูงสุดที่ไหลผ่านโหลด ยังสามารถที่จะเลือกใช้ปริมาณมากน้อยเท่าใดก็ได้ โดยการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน 330 Ω หากลดค่าลงจะได้ปริมาณกระแสมากขึ้น

ง. ภาคการวัดแรงดันและกระแส วงจรส่วนนี้เป็นเครื่องวัด จะวัดได้ทั้งแรงดันและกระแสโดยการโยกสวิทช์สองทาง ทางหนึ่งเป็นแรงดันอีกทางหนึ่งเป็นกระแส เครื่องวัดใช้แอมมิเตอร์ขนาด 100 μA วงจรแสดงดังรูปที่ 4.9

แหล่งจ่ายกำลังไฟกระแสตรงที่สร้างขึ้น มีแรงดันเปลี่ยนแปลงค่าได้เรียกว่า "แรงดันที่กำหนดขอบเขต" (Limiting Voltage) อยู่ในช่วง 0 ถึง 400 V และกระแสเปลี่ยนแปลงค่าได้เรียกว่า "กระแสที่กำหนดขอบเขต" (Limiting Current) ได้ในช่วง 0 ถึง 15 mA

<u>วิธีการทดลอง</u>

วิธีการทดลองที่กล่าวถึงนี้เป็นรายละเอียดเกี่ยวกับ การเตรียมแว่นผลึก การทำการทดลองสร้างชั้นอ๊อกไซด์ การวัดค่าความต้านทานจำเพาะของชั้นอ๊อกไซด์และการหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์

ซึ่งพอจะสรุปได้เป็นข้อๆ ดังนี้

การเตรียมแว่นผลึกก่อนการสร้างชั้นอ๊อกไซด์

แว่นผลึกที่ใช้ในการสร้างชั้นอ๊อกไซด์นั้น ต้องมีขนาดเหมาะสม เนื่องจากอุปกรณ์แอนโนดิคเซลที่ประดิษฐ์ขึ้นใช้ได้กับตัวอย่างที่มีหน้าตัดโตไม่เกิน 10 cm^2 และไม่เล็กเกินไปก่อนจะทำการสร้างชั้นอ๊อกไซด์ต้องทำความสะอาดผิวหน้าของแว่นผลึกเสียก่อน เพราะว่าแว่นผลึกอยู่ในบรรยากาศจะเกิดมีชั้นอ๊อกไซด์บางๆ ขนาด 30 Å เคลือบอยู่ นอกจากนั้นอาจจะมีพวกฝุ่นละอองรอยคราบต่างๆร่วมอยู่ด้วย เมื่อนำไปสร้างชั้นอ๊อกไซด์จะเกิดความไม่สม่ำเสมอ และมีรอยตำหนิเกิดขึ้นได้ สำหรับการทำความสะอาดผิวแว่นผลึกนั้น มีลำดับขั้นดังต่อไปนี้

-ล้างใน Trichloroethylene เดือด 5 นาที
-ล้างใน Acetone เดือด 10 นาที
-ล้างใน DI.-Water เดือด 5 นาที
-ล้างใน Nitric Acid เดือด 10 นาที
-ล้างใน DI.-Water เดือด 10 นาที
-ใช้ก๊าซไนโตรเจนเป่าแว่นผลึกให้แห้ง แล้ว
-ล้างใน Hydrofluoric Acid 3 นาที (อุณหภูมิห้อง)
-ล้างใน DI.-Water เดือด 10 นาที

หลังจากนั้นจุ่มใน DI.-Water ที่อุณหภูมิห้องแล้วเป่าให้แห้งเก็บไว้ในภาชนะที่สะอาดและปิดฝามิดชิดไม่ให้อากาศหรือฝุ่นละอองเข้าไปภายในภาชนะ พร้อมที่จะนำไปสร้างชั้นอ๊อกไซด์ได้

ขั้นตอนการใช้แอนโนดิคเซลสร้างชั้นอ๊อกไซด์

ขั้นตอนที่ 1 จัดวางแอนโนดิคเซลให้เรียบร้อย แล้วต่อกับเครื่องบันทึกเพื่อเก็บข้อมูลเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลา

ขั้นตอนที่ 2 นำแว่นผลึกที่ต้องการปลูกชั้นอ๊อกไซด์มาผ่านกระบวนการทำความสะอาดแล้วมาจัดวางที่ขั้วแอนโนด

ขั้นตอนที่ 3 ปรับ Limiting Voltage จากแหล่งจ่ายกำลังไฟกระแสตรง ตามความหนาที่ต้องการสร้างชั้นอ๊อกไซด์ หากใช้เครื่องกวนเป็นตัวกระตุ้นก็เริ่มทำการกวนได้

ขั้นตอนที่ 4 เริ่มจ่ายกำลังไฟกระแสตรงจากแหล่งจ่าย พร้อมทั้งปรับปริมาณ Limiting Current ตามต้องการ (จากแหล่งจ่ายกำลังไฟกระแสตรงมีปุ่มปรับปริมาณกระแสอย่างหยาบๆ อยู่ดังนั้นก่อนจะเริ่มจ่ายแรงดันอาจจะตั้งค่ากระแสอย่างหยาบๆ ไว้ก่อนได้)

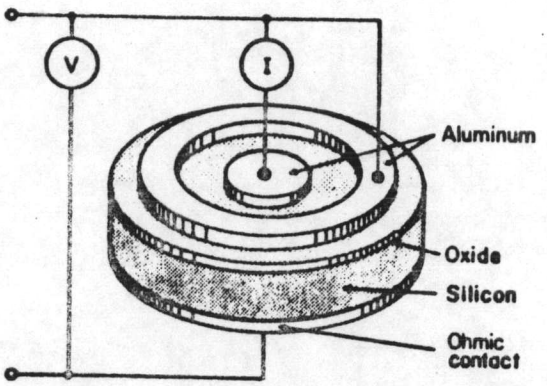
ขั้นตอนที่ 5 เมื่อแรงดันที่ตกคร่อมชั้นอ๊อกไซด์มีค่าถึง Limiting Voltage และกระแสลดลงจากค่า Limiting Current มากที่สุด (ค่ากระแสต่ำสุด) เป็นการเสร็จกระบวนการสร้างชั้นอ๊อกไซด์

หลังจากนั้นนำชั้นอ๊อกไซด์ที่ได้ไปล้างด้วย DI.-Water แล้วเป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน นำไปต้มในกรดไนตริกเดือด และ DI.-Water เดือด เพื่อล้างกรดไนตริกตามลำดับ เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจนอีกครั้งได้ชั้นอ๊อกไซด์ตามความต้องการ สำหรับการต้มในกรดไนตริกเดือด เพื่อกำจัดโมเลกุลของฟองก๊าซ ที่เกาะติดอยู่ภายในโครงสร้างของชั้นอ๊อกไซด์ ซึ่งฟองก๊าซพวกนี้อาจจะสังเกตได้จากหลังการสร้างชั้นอ๊อกไซด์เสร็จใหม่ๆ นำไปกัดกร่อนเอาอ๊อกไซด์ออกทันที ในขณะกัดกร่อนอ๊อกไซด์ออกจะสังเกตุเห็นฟองก๊าซเกิดขึ้น ซึ่งฟองก๊าซเหล่านี้จะแสดงให้เห็นว่าชั้นอ๊อกไซด์มีความเป็นรูพรุน ในโครงสร้างเนื่องจากฟองก๊าซจึงทำให้อ๊อกไซด์จากวิธีการนี้ไม่แข็งแรงเท่ากับอ๊อกไซด์จากวิธี Thermal Oxidation

<u>การวัดความต้านทานจำเพาะของชั้นแอนโนดิคออกไซด์</u>

การศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ จะใช้ตัวอย่างที่มีโครงสร้าง Guard Ring ดังรูปที่ 4.10โดยเฉพาะการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ จะใช้แหล่งจ่ายกำลังไฟกระแสตรงจ่ายกระแสให้กับ Dot Terminal และ Ring Terminal แล้วทำการวัดปริมาณกระแสที่ไหลผ่าน Dot Terminal และแรงดันคร่อมแว่นผลึกเพื่อนำไปหาค่าความต้านทานตามสมการ

$$\text{ความต้านทานจำเพาะ} = \frac{V}{I \times d} \qquad 4.2$$



รูปที่ 4.10 โครงสร้างและวงจรการวัดความต้านจำเพาะของชั้นอ๊อกไซด์

เมื่อ V = แรงดันที่วัดได้

I = ความหนาแน่นของกระแสที่วัดได้

d = ความหนาของชั้นอ๊อกไซด์

ขั้นตอนการสร้างแบบวงแหวนเพื่อต่อขั้ววัดฯ

-จัดเตรียมรูปแบบ Guard Ring ให้เรียบร้อย

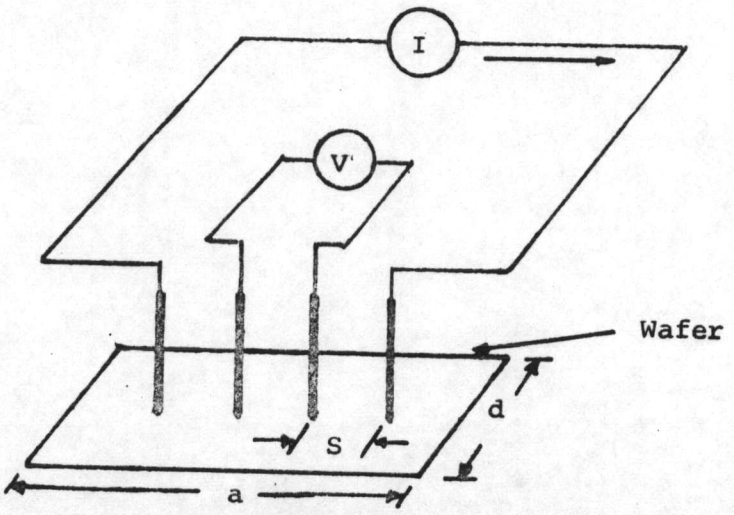
-สร้างชั้นซิลิกอนไดออกไซด์บนแว่นผลึกตามความหนาที่ต้องการ

-สร้างชั้นอลูมิเนียมทั้งด้านหน้าและด้านหลังเพื่อทำผิวสัมผัส

-ทำการถ่ายแบบ Photolithography ให้มีลักษณะ Guard Ring บนผิวด้านหน้าที่เป็นอลูมิเนียม

-กัดกร่อนเอาอลูมิเนียมส่วนที่ไม่ต้องการออก

-ทำการต่อขา (Bonding) บนฐานยึด



รูปที่ 4.11 อุปกรณ์การวัดแบบสี่จุดเรียงกัน

<u>การวัดความต้านทานจำเพาะและความหนาแน่นของสารเจือปนในแว่นผลึก</u>

วิธีทั่วๆไปที่สำคัญซึ่งใช้ในการวัดค่าความต้านทานแผ่น (Sheet Resistance) ได้แก่ การใช้อุปกรณ์การวัดแบบสี่จุด (Four-Point Probe) ดังรูป 4.11 วัดค่าแรงดันและกระแส โดยใช้เข็มโลหะเล็กๆ 4 อัน วางเรียงกัน (Linear Four-Point Probe) ด้วยระยะห่างเท่าๆกัน (ในที่นี้ใช้ S ซึ่งแทนระยะห่างมีค่าประมาณ 0.1 cm) เป็นตัวสัมผัสกับผิวหน้าของแว่นผลึกที่ทำการวัด ให้กระแส I จากต้นกำเนิดคงที่ (Constant Current Source) ไหลผ่านเข็มโลหะคู่นอก และทำการวัดแรงดันที่ตกคร่อมเข็มโลหะคู่ใน จากค่าแรงดันและกระแสไฟที่ได้นำไปคำนวณค่าความต้านทานแผ่นจากสูตร 4.3[7]

$$R_S = \frac{\pi \times V}{\ln 2 \times I} \qquad 4.3\ A$$

$$= 4.532 \times \frac{V}{I} \qquad 4.3\ B$$

เมื่อ R_S = ค่าความต้านทานแผ่น

V = ค่าแรงดันที่วัดได้

d/s	circle diam d/s	a/d = 1	a/d = 2	a/d = 3	a/d ≥ 4
1.0				0.9088	0.9094
1.25				1.2407	1.2418
1.5			1.4788	1.4893	1.4893
1.75			1.7100	1.7238	1.7238
2.0			1.9454	1.9475	1.9475
2.5			2.3532	2.3541	2.3541
3.0	2.2602	2.4575	2.7000	2.7005	2.7005
4.0	2.9289	3.1137	3.2240	3.2218	3.2248
5.0	3.3625	3.5098	3.5749	3.5750	3.5750
7.5	3.9273	4.0095	4.0361	4.0362	4.0362
10.0	4.1716	4.2209	4.2357	4.2357	4.2357
15.0	4.3616	4.3882	4.3947	4.3947	4.3947
20.0	4.4364	4.4516	4.4553	4.4553	4.4553
40.0	4.5076	4.5120	4.5129	4.5129	4.5129
∞	4.5324	4.5324	4.5324	4.5325	4.5321

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า Correction Factor (C)[7]

เมื่อ I = ค่ากระแสที่วัดได้

ซึ่งสูตร 4.3 นี้ใช้ได้กับแว่นผลึกที่มีขนาดโตมากๆ แต่หากแว่นผลึกมีขนาดเล็กจะต้องใช้สูตรการคำนวณเป็นดังสมการ 4.4

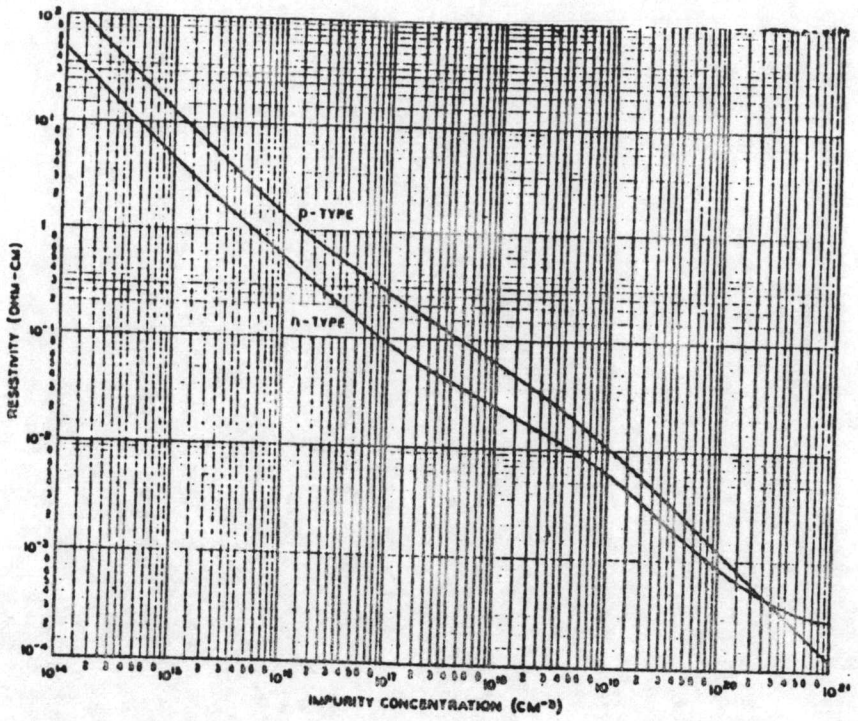
$$R_S = C \frac{V}{I} \qquad 4.4$$

ซึ่งค่า C เรียกว่า Correction Factor หาได้จากตารางที่ 4.1 ใช้ได้ทั้งกรณีแว่นผลึกเป็นรูปเหลี่ยมและวงกลม

ค่าความต้านทานจำเพาะหาได้จากค่าความต้านทานแผ่น คูณกับค่าความหนาของแว่นผลึก ส่วนในการวัดค่าความต้านทานจำเพาะ เพื่อหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์โดยลอกชั้นอ๊อกไซด์บนแว่นผลึกทีละชั้นนั้น ค่าความต้านทานจำเพาะในกรณีนี้จะคำนวณได้จากสมการ 4.5,4.6[10,11]

$$R_S = \frac{R_i \times R_{i+1}}{R_{i+1} - R_i} \qquad 4.5$$

และ $\rho(x) = R_S \times \Delta X$ 4.6



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานจำเพาะกับความหนาแน่นพาหะของแว่นผลึกซิลิกอน[6]

เมื่อ $\rho(x)$ = ค่าความต้านทานจำเพาะของแว่นผลึกที่ความลึก x

R_S = ความต้านทานแผ่น

R_i = ความต้านทานแผ่นของแว่นผลึกถูกลอกไปชั้นที่ i

R_{i+1} = ความต้านทานแผ่นของแว่นผลึกถูกลอกออกไปชั้นที่ $i+1$

ΔX = ความหนาของแว่นผลึกที่ถูกลอกออกแต่ละครั้ง

ซึ่งค่า R_i และ R_{i+1} คำนวณได้จากสมการ 4.4

ค่าความหนาแน่นของสารเจือปน (Impurity Concentration) หาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานจำเพาะกับความหนาแน่นพาหะมีแสดงดังรูปที่ 4.12 ฉะนั้นเมื่อวัดค่าความต้านทานจำเพาะแล้วก็จะสามารถนำมาหาค่าความหนาแน่นพาหะจากเส้นกราฟรูปที่ 4.12 ได้ค่าความต้านทานจำเพาะที่สามารถหาค่าได้อยู่ในช่วง 10^{-4}-10^{2} Ω-cm ก็จะได้ค่าความหนาแน่นพาหะอยู่ในช่วง 10^{21}-10^{14} cm^{-3} ในกรณีชนิดพีและชนิดเอ็น

ขั้นตอนการหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์ของสารเจือปนที่แพร่ซึมบนแว่นผลึก

การวัดปริมาณของสารเจือปน (Impurity) ที่ระดับความลึกต่างๆกัน ภายในเนื้อ (Bulk) ของแว่นผลึกสารกึ่งตัวนำเรียกว่า "อิมเพียวริตีโปรไฟล์ (Impurity Profile) หากปริมาณสารเจือปนที่วัดเป็นค่าความต้านทาน (Resistance) เรียกว่า "รีซิสติวิตีโปรไฟล์" (Risistivity Profile) นอกจากนั้นในบางโอกาสอาจเรียกว่า "โดปปิงโปรไฟล์" (Doping Profile) ก็ได้ สำหรับการโปรไฟล์แบ่งตามลักษณะการวัดที่ระดับต่างๆ จากผิวหน้าแว่นผลึกออกเป็น 2 ลักษณะ

ก. การวัดที่ตำแหน่งระดับความลึกตั้งฉากกับผิวด้านหน้า (Profile Normal to Surface)

ข. การวัดที่ตำแหน่งระดับทอดยาวไปตามผิวด้านหน้า (Profile Laterally Across the Surface)

สำหรับการหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์ในที่นี้เป็นลักษณะ ก. และแบ่งวิธีการวัดออกเป็น 12 วิธี ตามตาราง A ในภาคผนวกและวิธีที่เลือกใช้เป็นวิธีที่ 3 คือ "Four Point Probe Combined with Successive Layer Removal" มีหลักการดังนี้คือ ทำการลอกชั้นบางๆ ที่มีขนาดความหนาสม่ำเสมอของแว่นผลึก โดยการสร้างชั้นอ๊อกไซด์บนผิวด้านที่ต้องการลอกของแว่นผลึก และใช้สารเคมีจำพวกกรดกัดแก้ว (กรดฟลูออริค) กัดกร่อนอ๊อกไซด์ออก หลังจากนั้นนำไปวัดค่าความต้านทานจำเพาะหรือความหนาแน่นพาหะ สำหรับการสร้างชั้นอ๊อกไซด์จะใช้วิธีแอนโนดิคออกซิเดชัน (ตามที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3) ซึ่งข้อดีของวิธีนี้ก็คืออุณหภูมิที่ใช้เป็นอุณหภูมิห้อง จึงไม่เกิดการ Redistribution ของสารเจือปนเนื่องจากอุณหภูมิ นอกจากนี้ยังมีข้อดีอื่นๆอีกคือ [10]

ก. ไม่มี Strain เกิดขึ้น

ข. มีความเรียบสม่ำเสมอมาก (Planar)

ค. กระทำซ้ำๆกันได้ (Reproducible)

ง. การปฏิบัติไม่ขึ้นอยู่กับสารที่เติม (Dopant)

จ. ไม่ขึ้นกับทิศทางของผิวแว่นผลึก (Independent of Crystal Orientation)

ฉ. มีราคาถูก

แต่ข้อเสียของวิธีนี้ก็มีอยู่เช่นกัน[1] กล่าวคือ

ก. เป็นวิธีที่แว่นผลึกถูกทำลาย (Destructive)

ข. ค่าความต้านทานจำเพาะที่มีค่าลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าที่วัดได้ไม่ถูกต้อง

สำหรับแว่นผลึกที่ใช้หาอิมเพียวริตีโปรไฟล์นั้นจะต้องเป็นแว่นผลึกซิลิกอนที่ผ่านกระบวนการเติมสารเจือปน (Imturity Doping) โดยวิธี[10]

ก. การสร้างชั้นผลึกงอก (Epitaxial Deposite)

ข. การแพร่ซึมสารเจือปน (Diffusion Doping)

ค. Ion Implantation

แต่ในที่นี้จะหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์ของแว่นผลึกที่ผ่านกระบวนการแพร่ซึมเท่านั้น

แว่นผลึกที่ใช้ผ่านกระบวนการแพร่ซึมสารเจือปนแล้ว ทำการวัดค่าความหนา (w) ความกว้าง (d) และความยาว (a) พร้อมทั้งกัดกร่อนชั้นอ๊อกไซด์ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นขณะทำการแพร่ซึมออกจนหมด หลังจากนั้นเริ่มทำการหาอิมเพียวริตีโปรไฟล์ตามขั้นตอนดังนี้

1. ทำการวัดค่าความต้านทานจำเพาะโดยใช้การวัดแบบสี่จุดเรียงกัน แล้วบันทึกค่าแรงดันและกระแส (ซึ่งในการวัดจะบันทึกค่ากระแสกับแรงดันมากกว่า 2 ค่าขึ้นไป)

2. ทำการสร้างชั้นอ๊อกไซด์โดยวิธีแอนโนดิคออกซิเดชัน

3. ล้างสารละลายอิเลคโตรไลท์ออกแล้วกัดกร่อนชั้นอ๊อกไซด์ด้วยกรดกัดแก้ว (HF) ล้างด้วย DI.-Water จนสะอาด (ก่อนกัดกร่อนชั้นอ๊อกไซด์ออกควรสังเกตสีของชั้นอ๊อกไซด์ว่าถูกต้องตามความหนาที่ต้องการหรือไม่)

4. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1 ถึงที่ 3 จนกระทั่งชั้นของแว่นผลึกที่ลอกออก มีความหนามากกว่าความลึกรอยต่อ (ซึ่งจะสังเกตุได้จากขณะที่ทำการสร้างชั้นอ๊อกไซด์ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลาของแต่ละชั้นแตกต่างกันมากๆ และค่าความต้านทานจำเพาะเปลี่ยนแปลงอย่างมากหรืออาจตรวจสอบโดยการวัดชนิดของแว่นผลึกว่าเปลี่ยนจากชนิดพีเป็นชนิดเอ็น หรือจากชนิดเอ็นเป็นชนิดพีหรือยัง)

I16390623

5. นำข้อมูลของแรงดันกับกระแสไปหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแส เพื่อหาอัตราส่วนของแรงดันต่อกระแส

6. คำนวณหาค่าความต้านทานแผ่นจากสูตรในสมการ 4.4 โดยใช้ค่า Correction Factor ดังตาราง 4.1

7. คำนวณค่าความต้านทานจำเพาะจากสูตรในสมการ 4.5 และ 4.6

8. นำค่าความต้านทานจำเพาะไปหาค่าความหนาแน่นพาหะโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง ความต้านทานจำเพาะกับความหนาแน่นพาหะ ดังรูปที่ 4.12

หลังจากนั้นนำค่าความหนาแน่นพาหะไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ของความหนาแน่นพาหะกับระดับความลึกจากผิวแว่นผลึก จากกราฟนี้สามารถที่จะคำนวณหาค่าความลึกรอยต่อ ความกว้างของเขตปลอดพาหะเป็นต้น

ขั้นตอนการทดลองและการคำนวณดังกล่าวข้างต้น จะเป็นพื้นฐานในการเก็บข้อมูลการทดลองและสรุปผลการทดลอง ดังจะแสดงไว้ในบทที่ 5