หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

อุปกรณ์ประกอบในการวิจัย

4.1 อุปกรณ์ประกอบในการวิจัย

อุปกรณ์ประกอบในการวิจัยเป็นอุปกรณ์นอกเหนือไปจากอุปกรณ์อิเลกโทรนิคสำหรับวัดมวลของฟิชชันแฟรกเมนต์ อุปกรณ์เหล่านี้นำมาใช้ร่วมกันเพื่อทดสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเลกโทรนิค อุปกรณ์เหล่านี้ได้แก่

4.1.1 ระบบสูญญากาศ (Vacuum system)

4.1.2 แหล่งกำเนิดฟิชชัน (Fission source)

4.1.3 หัววัดฟิชชันแฟรกเมนต์ (Detector)

4.1.4 เครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้าแก่หัววัดฟิชชันแฟรกเมนต์ (Detector bias supply)

4.1.5 เครื่องขยายล่วงหน้า (Preamplifier)

4.1.6 เครื่องขยาย (Amplifier)

4.1.7 เครื่องขยายหน่วงเหนี่ยว (Delay amplifier)

4.1.8 เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal generator)

4.1.9 ออสซิลโลสโคบ (Oscilloscope)

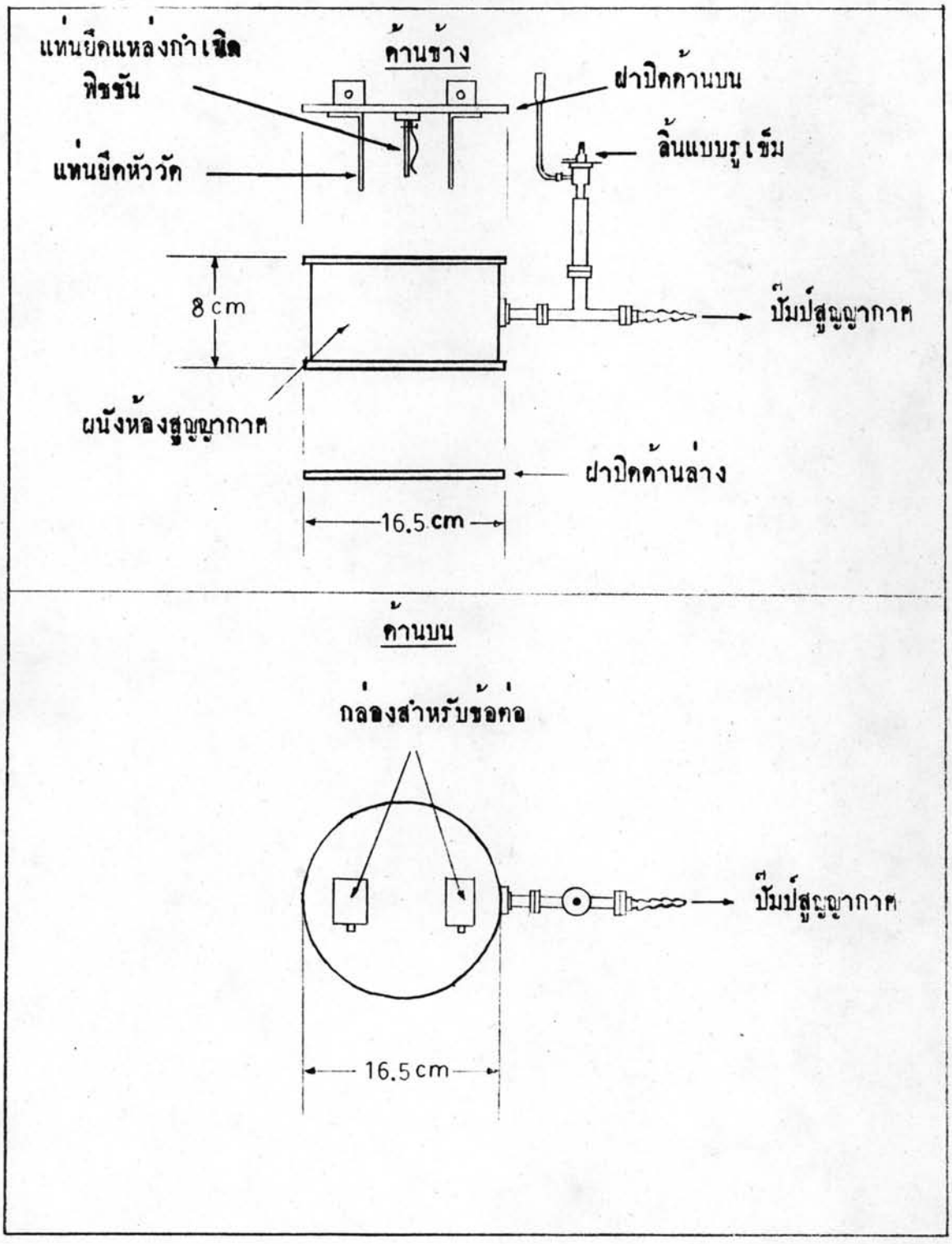
4.1.10 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง (Multichannel analyser)

4.2 ระบบสูญญากาศ

ระบบสูญญากาศประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ ห้องสูญญากาศ (Vacuum chamber) และปั๊มป์สูญญากาศ (Vacuum pump) ซึ่งมีรายละเอียดพอสังเขปดังนี้

4.2.1 ห้องสูญญากาศ เนื่องจากฟิชชันแฟรกเมนต์สูญเสียพลังงานมากเมื่อเคลื่อนที่ในอากาศ ดังนั้นเพื่อป้องกันการสูญเสียพลังงานของฟิชชันแฟรกเมนต์จึงต้องใช้ห้องสูญญากาศ ภายในห้องสูญญากาศจะบรรจุด้วยแหล่งกำเนิดฟิชชันและหัววัดฟิชชันแฟรกเมนต์ 2 อัน โดยหัววัดทั้งสองจะอยู่คนละด้านของแหล่งกำเนิดฟิชชันซึ่งอยู่ตรงกลาง ระยะห่างระหว่างหัววัดทั้งสองกับแหล่งกำเนิดฟิชชันจะเท่ากันเพื่อให้ฟิชชันแฟรกเมนต์ที่เป็นคู่กันวิ่งไปถึงหัววัดในเวลาพร้อมกัน ห้องสูญญากาศมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกกลวง และมีฝาปิดทั้งด้านบนและด้านล่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ผนังด้านข้างของห้องสูญญากาศทำจากโลหะอลูมิเนียมและมีช่องสำหรับดูดอากาศออก 1 ช่อง ภายในช่องนี้มีท่อโลหะทองแดงสั้น ๆ สอดอยู่ ท่อโลหะทองแดงนี้มีลักษณะกลวงและปลายข้างหนึ่งปิด บริเวณด้านข้างของท่อใกล้กับปลายปิดเจาะเป็นรูเล็ก ๆ 8 รู รูเล็ก ๆ ทั้ง 8 รูนี้จะอยู่ชิดกับผนังด้านข้างภายในห้องสูญญากาศ เพื่อบังคับให้การดูดอากาศเกิดขึ้นที่บริเวณผนังรอบ ๆ ช่องนี้เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากแหล่งกำเนิดฟิชชันบอบบางมากและอาจจะฉีกขาดได้ถ้าปล่อยให้การดูดอากาศเกิดขึ้นตรง ๆ ด้านนอกของช่องดูดอากาศต่อกับท่ออลูมิเนียมกลวง ซึ่งจะต่อกับท่อยางไปยังปั๊มป์สูญญากาศ ท่ออลูมิเนียมกลวงนี้มีท่อแยกไปต่อกับลิ้นแบบปลายเข็ม (Needle valve) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมอัตราเร็วของอากาศที่จะเข้าสู่ห้องสูญญากาศ ภายหลังจากการทดลองเสร็จสิ้นแล้ว การปล่อยอากาศเข้าห้องสูญญากาศจะต้องค่อย ๆ ปล่อยเข้าไปเพื่อป้องกันความเสียหายซึ่งอาจจะเกิดแก่แหล่งกำเนิดฟิชชัน

ฝาปิดด้านบนของห้องสูญญากาศมีลักษณะเป็นแผ่นกลม ทำจากโลหะทองเหลือง บริเวณขอบของแผ่นกลมนี้เจาะเป็นรู 3 รู เพื่อใส่สกรูยึดกับผนัง



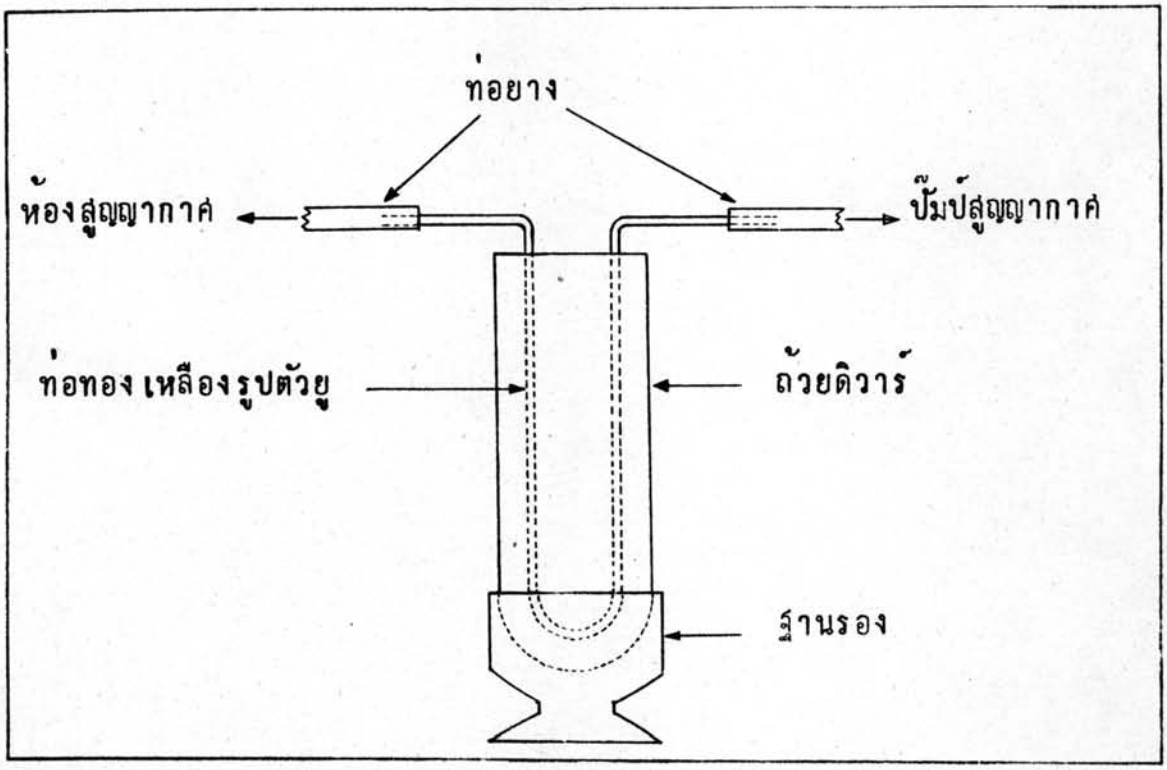
รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะของห้องสูญญากาศ

ด้านข้างของห้องสูญญากาศ ณ จุดศูนย์กลางของแผ่นเป็นแท่นสำหรับยึดแหล่งกำเนิดพิชชันและสามารถปรับให้ทำมุมต่าง ๆ กับแนวระหว่างหัววัดทั้งสองได้ ถัดออกมาทั้งสองข้าง ของแหล่งกำเนิดพิชชันทางด้านขอบของแผ่นเป็นแท่นสำหรับยึดหัววัดและสามารถเลื่อนไปมาเพื่อปรับระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดพิชชันกับหัววัดได้ตั้งแต่ 0 ถึง 2 เซนติเมตร อีกด้านหนึ่งของแผ่นนี้เป็นกล่องโลหะ 2 กล่องทำหน้าที่เป็นที่ยึดข้อต่อ (Connector) สำหรับสายเคเบิลซึ่งจะต่อไปยังเครื่องขยายล่วงหน้า ฝาปิดด้านล่างของห้องสูญญากาศมีลักษณะเป็นแผ่นกลมและทำจากโลหะทองเหลืองเช่นกัน ที่ขอบของแผ่นเจาะเป็นรู 3 รู สำหรับใส่สกรูเพื่อยึดกับผนังด้านข้างของห้องสูญญากาศ ทุก ๆ รอยต่อของส่วนต่าง ๆ ซึ่งประกอบเป็นห้องสูญญากาศจะมียางวงแหวนรูปตัวโอ (O - ring) เชื่อมอยู่เพื่อป้องกันการรั่วซึมของอากาศจากภายนอกเข้าสู่ห้องสูญญากาศในขณะที่กำลังทำการทดลอง

4.2.2 ปั๊มป์สูญญากาศ ปั๊มป์สูญญากาศทำหน้าที่ดูดอากาศภายในห้องสูญญากาศออกมาภายนอก ปั๊มป์สูญญากาศที่นำมาใช้ในการวิจัยมีชื่อว่า อัลคาเทล 2004 (ALCATEL 2004) ซึ่งเป็นแบบโรตารี่ (Rotary) สามารถดูดอากาศได้ด้วยอัตราเร็ว 4 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ณ ความดันบรรยากาศ และ 3.5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ณ ความดันหนึ่งมิลลิเมตรของความสูงของปรอท ความดันของอากาศภายในห้องสูญญากาศสามารถลดลงได้ถึง 1×10^{-4} ทอร์ (Torr)

ในระหว่างห้องสูญญากาศกับปั๊มป์สูญญากาศยังมีส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งซึ่งมีส่วนช่วยให้การดูดอากาศมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ส่วนนี้ประกอบด้วยถ้วยดิวาร์ (Dewar) และท่อทองเหลืองรูปตัวยู ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ปลายข้างหนึ่งของท่อทองเหลืองต่อกับท่อยางไปยังห้องสูญญากาศและปลายอีกข้างหนึ่งต่อกับท่อยางไปยังปั๊มป์สูญญากาศ ส่วนซึ่งเป็นท่อทองเหลืองรูปตัวยูวางอยู่ในถ้วยดิวาร์ซึ่งบรรจุด้วยไนโตรเจนเหลว เนื่องจากไนโตรเจนเหลวมีอุณหภูมิต่ำมาก ดังนั้นจึงทำให้อากาศภายในท่อทองเหลืองหดตัวอย่างรวดเร็วซึ่งช่วยประหยัดเวลาในการดูดอากาศจากห้องสูญญากาศ นอกจากนี้ไนโตรเจนเหลวยังช่วยป้องกันไอน้ำมันจากปั๊มป์สูญญากาศ

ระเหยเข้าสู่ห้องสูญญากาศอีกด้วย



รูปที่ 4.2 แสดงถ้วยดิวาร์และท่อทองเหลืองรูปตัวยู

4.3 <u>แหล่งกำเนิดฟิชชัน</u>

แหล่งกำเนิดฟิชชันที่ใช้ในการวิจัยคือคาลิฟอร์เนียม-252 (Cf - 252) ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาฟิชชันได้เองโดยธรรมชาติและมีช่วงเวลาครึ่งชีวิต 2.65 ปี คาลิฟอร์เนียม-252 สลายตัวโดยการเปล่งอนุภาคอัลฟาและโดยการเกิดปฏิกิริยาฟิชชันเองโดยธรรมชาติ แต่เสถียรต่อการสลายตัวโดยรังสีเบตา อัตราส่วนในการสลายตัวโดยการเปล่งอนุภาคอัลฟาต่อการเกิดปฏิกิริยาฟิชชันเองโดยธรรมชาติเท่ากับ 31.3 ซึ่งถือว่ามีค่าน้อยเมื่อเทียบกับสารชนิดอื่น

นักวิทยาศาสตร์ได้ทำการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาฟิชชันของคาลิฟอร์เนียม-252 กันในหลายลักษณะ เช่น การศึกษาฟิชชันโปรดัก จำนวนอนุภาคนิวตรอนที่เปล่งออกมาจากปฏิกิริยาฟิชชันและลักษณะที่สำคัญอื่น ๆ คาลิฟอเนียม-252 เป็น

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารที่เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับศึกษาการเกิดปฏิกิริยาฟิชชันเองโดยธรรมชาติ เนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาค่อนข้างสูง คาลิฟอร์เนียม-252 จำนวน 1 มิลลิกรัมจะเกิดปฏิกิริยาฟิชชันถึง 5×10^{10} ครั้งต่อนาทีและยังเหมาะสมที่จะเป็นแหล่งกำเนิดอนุภาคนิวตรอนอีกด้วย เนื่องจากสารนี้จำนวน 1 กรัมจะปล่งอนุภาคนิวตรอนถึง 10^{12} อนุภาคต่อวินาที จำนวนอนุภาคนิวตรอนโดยเฉลี่ยจากการเกิดปฏิกิริยาฟิชชันแต่ละครั้งของสารนี้เท่ากับ 3.7 อนุภาค

คาลิฟอร์เนียม-252 ที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดฟิชชันในการวิจัยนี้มีลักษณะเป็นวงกลมซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร และเคลือบอยู่บนฐาน (Backing) ซึ่งทำจากนิเกิลหนา 200 ไมโครกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทางด้านหน้าเคลือบด้วยทองคำหนา 100 ไมโครกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อวันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2521 สารนี้มีกัมมันตภาพ (Activity) เท่ากับ 1,000 ครั้งต่อวินาที

4.4 <u>หัววัดฟิชชันแฟรกเมนต์</u>

หัววัดฟิชชันแฟรกเมนต์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจลน์ของฟิชชันแฟรกเมนต์เป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อส่งไปยังเครื่องขยายล่วงหน้า แรงดันไฟฟ้าของสัญญาณจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับพลังงานจลน์ของฟิชชันแฟรกเมนต์ สำหรับการวิจัยนี้หัววัดเป็นแบบวัตติผิวซิลิกอน ผลิตจากสารซิลิกอนซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำ หัววัดชนิดนี้มีข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับหัววัดชนิดอื่นโดยเฉพาะชนิดที่ภายในบรรจุด้วยกาซ ดังนี้

4.4.1 ประจุไฟฟ้าอิสระที่เกิดขึ้นภายในสารกึ่งตัวนำของหัววัดแบบวัตติผิวมีจำนวนมากกว่าของหัววัดที่ภายในบรรจุด้วยกาซประมาณ 5 ถึง 10 เท่า

4.4.2 การสะสมประจุใช้เวลาน้อยมาก (อยู่ในระดับนาโนวินาที) เนื่องจากอิเลกตรอนและโฮล (Hole) เคลื่อนที่รวดเร็วและเคลื่อนที่ในระยะทางสั้น ๆ

4.4.3 ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการรวมกันใหม่ (Recombination) ของ

ประจุไฟฟ้าอิสระและการจับกลุ่มของอิเลคตรอนในสารกึ่งตัวนำที่บริสุทธิ์มาก ๆ

4.4.4 ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับความบริสุทธิ์ของกาซและเสถียรภาพเมื่อใช้หัววัดเป็นเวลานาน ๆ

4.4.5 หัววัดแบบวัดผิวมีขนาดเล็กและกระทัดรัด

4.4.6 การควบคุมความลึกของชั้นดิเพลทชัน (Depletion) และพื้นที่ของหัววัดกระทำได้ง่าย

4.4.7 หัววัดแบบวัดผิวมีเสถียรภาพยาวนาน

อย่างไรก็ตามหัววัดแบบนี้ก็ยังมีข้อเสียอยู่บ้าง คือ

ก. สัญญาณไฟฟ้าจากหัววัดแบบวัดผิวมีขนาดเล็ก

ข. มีสัญญาณรบกวน (Noise) เกิดขึ้นภายในหัววัด เนื่องจากกระแสไฟฟ้ารั่ว (Leakage current) และความหนาแน่นของประจุไฟฟ้ามีค่าไม่แน่นอน

เมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่เข้าไปในสารกึ่งตัวนำ อนุภาคนี้จะถ่ายเทพลังงานจลน์ให้แก่สารกึ่งตัวนำ ทำให้เกิดอิเลกตรอนและโฮลขึ้น สำหรับซิลิกอนการเกิดอิเลกตรอนและโฮลคู่หนึ่งจะต้องใช้พลังงาน 3.6 อิเลกตรอนโวลท์ อัตราการเกิดประจุไฟฟ้าอิสระนี้ไม่ขึ้นกับชนิดและพลังงานจลน์ของอนุภาคเลย ดังนั้น ชั้นดิเพลทชันจะต้องหนากว่าพิสัย (Range) ของอนุภาคและสนามไฟฟ้าในบริเวณนี้จะต้องแรงพอที่จะแยกประจุไฟฟ้าอิสระออกจากกันก่อนที่มันจะรวมกันอีก

รูปที่ 4.3 แสดงโครงสร้างภายในของหัววัดแบบวัดผิวซิลิกอนประกอบด้วยซิลิกอนแผ่นบาง ๆ ที่ผิวด้านหน้าของแผ่นซิลิกอนนี้ทำเป็นสารชนิดพี (P-type) และตัวแผ่นซิลิกอนเองทำหน้าที่เป็นสารชนิดเอ็น (N-type) สารชนิดพีและเอ็นนี้ทำหน้าที่เป็นไดโอดขนาดใหญ่และผิวด้านหน้ามีความไว (Sensitivity) สูงมาก ผิวด้านหน้าของแผ่นซิลิกอนเคลือบด้วยเยื่อทองคำบาง ๆ (ประมาณ 40 ไมโครกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนด ผิวด้านหลังของแผ่นซิลิกอนสัมผัสกับ

แผ่นอลูมิเนียมซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วคาโทด แผ่นซิลิกอนยึดติดกับวงแหวนเซอรามิค ซึ่งเป็นฉนวนจากรูปที่ 4.3 **D** เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของหัววัด **W** เป็นความลึกของชั้นดิเพลทชัน **L** เป็นความหนาของแผ่นซิลิกอน และ **L-W** เป็นความหนาของแผ่นซิลิกอน ส่วนที่ไม่ใช่ชั้นดิเพลทชัน ภายในชั้นดิเพลทชันของแผ่นซิลิกอนมีสนามไฟฟ้าซึ่งเกิดจากแรงดันไฟฟ้าลำเอียงผันกลับ **(Reverse bias voltage)** สนามไฟฟ้านี้จะทำให้ประจุไฟฟ้าอิสระที่เกิดขึ้นแยกออกจากกัน

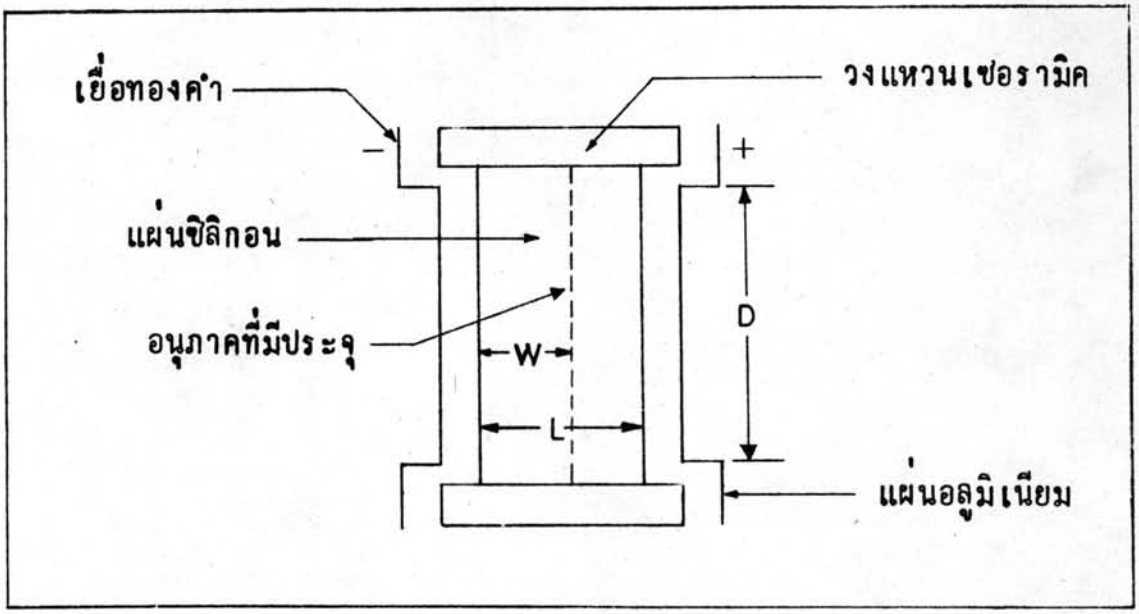
ความลึกของชั้นดิเพลทชันแปรค่าตามรากที่สองของแรงดันไฟฟ้าลำเอียงผันกลับและความต้านทานจำเพาะ (**Specific resistance**) ของซิลิกอน ตามรูปที่ 4.3 ความลึกของชั้นดิเพลทชันเป็นไปตามสมการ

$$W \simeq 0.5\ (P_n\ V_b)^{\frac{1}{2}} \qquad (4.1)$$

โดยที่ P_n เป็นความต้านทานจำเพาะของสารชนิดเอ็นของซิลิกอน ณ อุณหภูมิห้อง มีหน่วยเป็นโอห์ม-เซนติเมตร

V_b เป็นแรงดันไฟฟ้าลำเอียงผันกลับ มีหน่วยเป็นโวลท์

W เป็นความลึกของชั้นดิเพลทชัน มีหน่วยเป็นไมครอน



รูปที่ 4.3 แสดงโครงสร้างภายในหัววัดแบบวัติผิวซิลิกอน

สนามไฟฟ้าที่ผิวสัมผัสระหว่าง เยื่อทองคำกับแผ่นซิลิกอนจะมีค่าสูงสุด และลดลงอย่าง เชิง เส้น (Linear) จนมีค่า เป็นศูนย์ที่ระยะ W จากผิวสัมผัส ค่าสูงสุดของสนามไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$E_s = 4.2 \times 10^4 (V_b)^{\frac{1}{2}} P_n^{\frac{-1}{2}} \qquad (4.2)$$

โดยที่ E_s เป็นค่าสูงสุดของสนามไฟฟ้า มีหน่วย เป็นโวลท์ต่อ เซนติเมตร และความจุไฟฟ้าของหัววัดเป็นไปตามสมการ

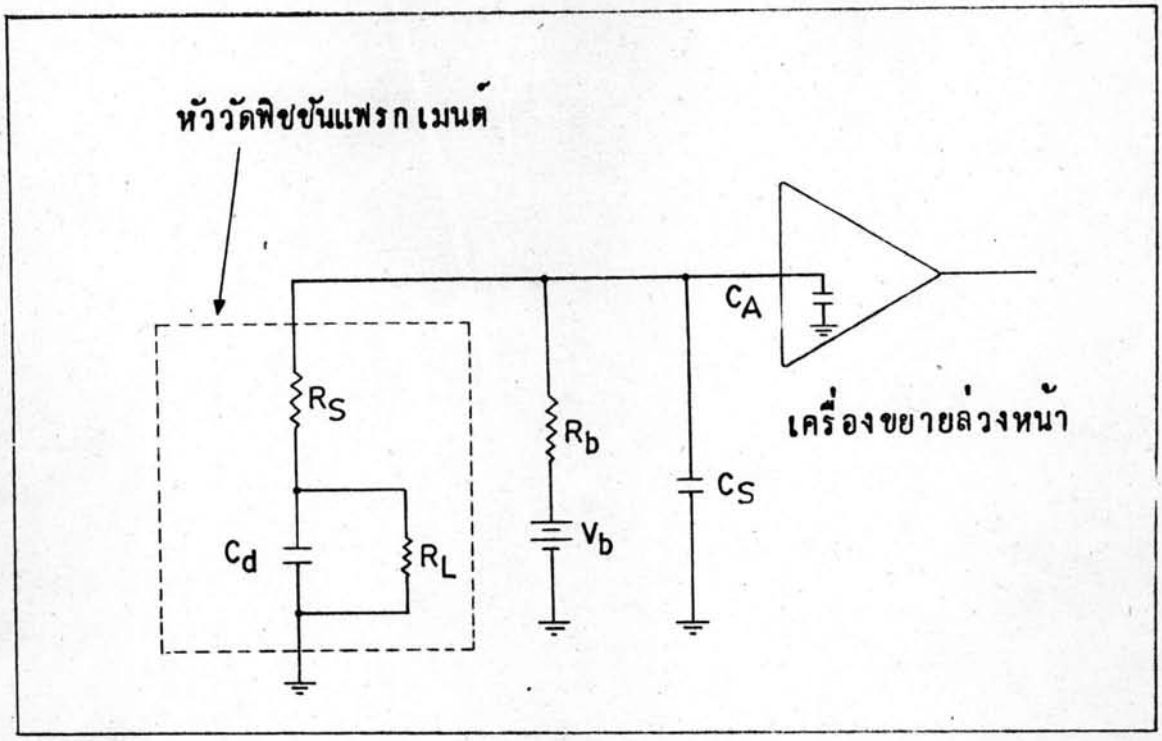
$$C_d \simeq 21 \times 10^3 A (P_n V_b)^{\frac{-1}{2}} \qquad (4.3)$$

โดยที่ C_d เป็นความจุไฟฟ้าของหัววัด มีหน่วยเป็นพิโคฟารัด

A เป็นพื้นที่ของหัววัด มีหน่วย เป็นตาราง เซนติเมตร

หัววัดแบบวัฏิผิวซิลิกอนและภาคแรกของ เครื่องขยายล่วงหน้าสามารถ เขียนเป็นวงจรสมมูล (Equivalent circuit) ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 C_d เป็นความจุไฟฟ้าของหัววัดซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.3) R_L เป็นตัวต้านทานซึ่ง เกิดจากกระแสไฟฟ้ารั่วผันกลับ (Reverse leakage currint) ของหัววัด R_s เป็นตัวต้านทานซึ่งต่ออนุกรมกับตัว เก็บประจุ C_d ความต้านทาน R_s นี้ รวมถึงความต้านทานของส่วนที่ไม่ใช่ชั้นดิเพลทชันและความต้านทานของผิวสัมผัสต่าง ๆ V_b เป็นแรงดันไฟฟ้าผันกลับที่จะจ่ายให้แก่หัววัดโดยผ่านตัวต้านทาน R_b C_s เป็นความจุไฟฟ้า ปลีกย่อย (Stray capacitance) ซึ่ง เกิดจากสาย เคเบิล ข้อต่อ ฯลฯ และ C_A เป็นความจุไฟฟ้าของ เครื่องขยายล่วงหน้า สัญญาณไฟฟ้าซึ่ง เกิดจากกระแสไหลระหว่างแผ่นของตัว เก็บประจุ C_d สามารถ เขียนแทนได้ด้วยแหล่งกำ เนิดกระแสไฟฟ้า โดยที่กระแสไฟฟ้านี้จะต่อขนานกับตัว เก็บประจุ C_d

สำหรับการวิจัยนี้ใช้หัววัดแบบวัฏิผิวซิลิกอน 2 อัน แต่ละอันมีสมบัติ ดังนี้



รูปที่ 4.4 แสดงวงจรสมมูลของหัววัดและภาคแรกของเครื่องขยายล่วงหน้า

ก. หัววัดลำดับหมายเลข (**Serial number**) 17-174 **E** สัญญาณจากหัววัดนี้จะมีค่าคงที่เวลา (**Time constant**) เท่ากับ 0.5 ไมโครวินาที และต้องการแรงดันไฟฟ้าลำเอียงผันกลับ 95 โวลท์

ข. หัววัดลำดับหมายเลข 17-441 **J** สัญญาณจากหัววัดนี้จะมีค่าคงที่เวลาเท่ากับ 0.5 ไมโครวินาที และต้องการแรงดันไฟฟ้าลำเอียงผันกลับ 90 โวลท์

4.5 เครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้าแก่หัววัดพิชชันแฟรกเมนต์

เครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้าแก่หัววัดพิชชันแฟรกเมนต์ทำหน้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าลำเอียงผันกลับแก่หัววัดโดยผ่านเครื่องขยายล่วงหน้า สำหรับการวิจัยนี้ใช้เครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้าแก่หัววัดหมายเลข 428 ของบริษัทออร์เทค (**Ortec**) ซึ่งสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าลำเอียงผันกลับให้แก่หัววัดได้ 2 อัน และเป็นอิสระแก่กันโดยมีวงจร 2 วงจรแยกต่างหาก แรงดันไฟฟ้าลำเอียงผันกลับแปรค่าได้

ตั้งแต่ 0 ถึง 1,000 โวลท์ โดยการปรับโพเทนทิโอมิเตอร์(Potentiometer) ซึ่งสามารถหมุนได้ 10 รอบ ค่าของแรงดันไฟฟ้าอ่านได้จากสเกลบนโพเทนทิโอมิเตอร์ และสามารถเลือกขั้วบวกหรือลบได้โดยการปรับสวิทช์ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ

4.6 <u>เครื่องขยายล่วงหน้า</u>

เนื่องจากสัญญาณจากหัววัดมีขนาดเล็ก ดังนั้นจึงต้องขยายสัญญาณให้มีขนาดใหญ่ขึ้นโดยใช้เครื่องขยายล่วงหน้าแล้วจึงป้อนสัญญาณนี้เข้าสู่เครื่องขยายอีกต่อหนึ่ง นอกจากนี้เครื่องขยายล่วงหน้ายังทำหน้าที่รับแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้าแล้วจ่ายให้แก่หัววัดอีกด้วย สำหรับการวิจัยนี้ใช้เครื่องขยายล่วงหน้า 2 เครื่อง ดังนี้

4.6.1 เครื่องขยายล่วงหน้าหมายเลข 1406 ผลิตโดยบริษัทแคนเบอร์รา (Canberra) ภายในเครื่องขยายล่วงหน้าหมายเลขนี้ประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ซึ่งผลิตจากสารซิลิกอนสามารถรับแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้ถึง 3,000 โวลท์ สัญญาณที่ป้อนเข้าสู่เครื่องขยายล่วงหน้านี้เป็นสัญญาณจากหัววัดแบบวัติผิว ถ้าเป็นสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ สัญญาณที่จะป้อนเข้าจะต้องเป็นสัญญาณแบบหาง (Tail pulse) สัญญาณคายจากเครื่องขยายล่วงหน้ามีลักษณะแบบหางและมีเฟสตรงกันข้ามกับสัญญาณป้อน เวลาขึ้นของสัญญาณขึ้นอยู่กับความจุไฟฟ้า ค่าคงที่เวลาตก (Fall time constant) เท่ากับ 50 ไมโครวินาที แรงดันไฟฟ้าแปรค่าได้ถึง $\pm$ 4 โวลท์ และอิมพีแดนซ์คาย (Output impedance) เท่ากับ 93 โอห์ม

4.6.2 เครื่องขยายล่วงหน้าหมายเลข 109 A ผลิตโดยบริษัทออร์เทค สามารถรับแรงดันไฟฟ้าได้ 1,000 โวลท์ สัญญาณคายจากเครื่องขยายล่วงหน้ามีลักษณะเป็นหาง เวลาขึ้นของสัญญาณขึ้นกับความจุไฟฟ้า ค่าคงที่เวลาตกเท่ากับ 50 ไมโครวินาที แรงดันไฟฟ้าสูงสุดของสัญญาณคายเท่ากับ 7 โวลท์และอิมพีแดนซ์คาย สามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 50 ถึง 150 โอห์ม

4.7 เครื่องขยาย

เครื่องขยายทำหน้าที่ขยายและเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสัญญาณที่มาจากเครื่องขยายล่วงหน้า ในการวิจัยนี้ใช้เครื่องขยายหมายเลข 2010 ของบริษัทแคนเบอร์รา จำนวน 2 เครื่องด้วยกัน โดยเครื่องหนึ่งจะต่ออยู่กับเครื่องขยายล่วงหน้าหมายเลข 1406 และอีกเครื่องหนึ่งจะต่อกับเครื่องขยายล่วงหน้าหมายเลข 109 A สัญญาณจากเครื่องขยายล่วงหน้าซึ่งจะป้อนเข้าเครื่องขยายมีลักษณะแบบหางซึ่งอาจจะเป็นขั้วบวกหรือลบก็ได้ โดยจะมีสวิทช์สำหรับเลือกขั้วของสัญญาณป้อน แรงดันไฟฟ้าของสัญญาณป้อนแปรค่าตั้งแต่ 0 ถึง ± 12 โวลท์ ที่แผงด้านหน้ามีปุ่มเลือกค่าคงที่เวลาสำหรับปรับรูปร่างของสัญญาณคาย (**Shaping time constant**) ซึ่งสามารถเลือกให้มีค่าเท่ากับ 0.25 1 2 4 8 และ 12 ไมโครวินาทีได้ตามความต้องการ เวลาขึ้นของสัญญาณป้อนจะต้องน้อยกว่าค่าคงที่เวลาสำหรับปรับรูปร่างของสัญญาณคาย ค่าคงที่เวลาสลาย (**Decay time constant**) แปรค่าตั้งแต่ 30 ไมโครวินาทีถึงอนันต์เมื่อเลือกค่าคงที่เวลาสำหรับปรับรูปร่างของสัญญาณคายเท่ากับ 0.25 1 2 4 และ 8 ไมโครวินาที สำหรับ 10 ไมโครวินาที ค่าคงที่เวลาในการสลายแปรค่าตั้งแต่ 100 ไมโครวินาทีจนถึงอนันต์ และอิมพีแดนซ์ป้อนมีค่าประมาณ 1 กิโลโอห์ม

สัญญาณคายจากเครื่องขยายมี 2 แบบ คือ แบบขั้วเดี่ยว (**Unipolar**) และแบบขั้วคู่ (**Bipolar**) ซึ่งเราสามารถเลือกได้จากข้อต่อ สำหรับสัญญาณคายแบบขั้วเดี่ยวเป็นได้ทั้งขั้วบวกและลบซึ่งสามารถเลือกได้โดยปรับสวิทช์เลือกขั้วซึ่งอยู่ด้านหน้าของเครื่องขยาย แรงดันไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ ±10 โวลท์ ลักษณะของสัญญาณเป็นแบบเกาว์เซียน (**Gaussian**) สำหรับสัญญาณคายแบบขั้วคู่จะมีขั้วบวกเพียงขั้วเดียวเท่านั้นและมีแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 10 โวลท์ ลักษณะของสัญญาณเป็นแบบเกาว์เซียนเช่นกัน และอิมพีแดนซ์คายเท่ากับ 93 โอห์ม

กำลังขยายของเครื่องขยายสามารถปรับได้ตั้งแต่ 3.2 ถึง 3,000 เท่า

โดยมีโพเทนทิโอมิเตอร์ 2 อัน สำหรับการปรับอย่างหยาบและอย่างละเอียด

4.8 <u>เครื่องขยายหน่วงเหนี่ยว</u>

เครื่องขยายหน่วงเหนี่ยวทำหน้าที่หน่วงเหนี่ยวและขยายสัญญาณซึ่งส่งมาจากเครื่องขยายแล้วส่งเข้าสู่อุปกรณ์อิเลกโทรนิคสำหรับวัดมวลของฟิชชันแฟรกเมนต์ ในการวิจัยนี้ใช้เครื่องขยายหน่วงเหนี่ยวหมายเลข 1457 ของบริษัทแคนเบอร์รา จำนวน 2 เครื่อง โดยแต่ละเครื่องต่อกับเครื่องขยาย 1 เครื่อง สัญญาณที่จะป้อนเข้าสู่เครื่องขยายหน่วงเหนี่ยวอาจจะเป็นขั้วบวกหรือลบก็ได้ แรงดันไฟฟ้าแปรค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง $\pm$ 10 โวลท์ และอิมพีแดนซ์ป้อน (**Input impedance**) มีค่ามากกว่า 1,000 โอห์ม

สัญญาณคายจากเครื่องขยายหน่วงเหนี่ยวจะมีลักษณะเช่นเดียวกับสัญญาณป้อนและอาจจะมีเฟสเดียวกันหรือตรงกันข้ามก็ได้ โดยมีสวิทช์เลือกขั้วอยู่ด้านหน้าของเครื่อง กำลังขยายของเครื่องเท่ากับ 1 1/2 และ 1/3.3 เท่า ซึ่งจะทำให้สัญญาณคายมีแรงดันไฟฟ้าเป็น 10 5 และ 3 โวลท์ ตามลำดับเมื่อสัญญาณป้อนมีแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 10 โวลท์ การเลือกกำลังขยายของเครื่องกระทำได้โดยการปรับสวิทช์ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเครื่อง การหน่วงเหนี่ยวสัญญาณสามารถทำให้สัญญาณคายช้ากว่าสัญญาณป้อนได้ตั้งแต่ 0 ถึง 4.75 ไมโครวินาทีโดยมีปุ่มกดเลือกเวลาการหน่วงเหนี่ยว 5 ปุ่ม อยู่ด้านหน้าของเครื่อง และอิมพีแดนซ์คายมีค่าน้อยกว่า 1 โอห์ม

4.9 <u>เครื่องกำเนิดสัญญาณ</u>

เครื่องกำเนิดสัญญาณทำหน้าที่สร้างสัญญาณซึ่งมีลักษณะคล้ายกับสัญญาณซึ่งเกิดจากหัววัด ในการวิจัยนี้ใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณหมายเลข 419 ของบริษัทออร์เทค ซึ่งจะให้สัญญาณที่มีลักษณะแบบหาง เวลาขึ้นของสัญญาณมีให้เลือกหลายค่า คือ 5 20 50 100 และ 250 นาโนวินาทีโดยมีสวิทช์แบบหมุนอยู่ด้านหน้า

ค่าคงที่เวลาสลายของสัญญาณเท่ากับ 200 ไมโครวินาที แรงดันไฟฟ้าของสัญญาณแปรค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1 โวลท์ และอาจจะเป็นขั้วบวกหรือลบก็ได้ มีสวิทช์สำหรับเลือกขั้วของสัญญาณอยู่ด้านหน้าของเครื่อง ความถี่ของสัญญาณมี 2 ค่า คือ 50 และ 70 เฮิร์ท นอกจากนี้ยังมีสวิทช์สำหรับลดแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณตั้งแต่ 2:1 ถึง 2,000:1 อิมพีแดนซ์คายของเครื่องกำเนิดสัญญาณเท่ากับ 100 โอห์ม

4.10 <u>ออสซิลโลสโคป</u>

ออสซิลโลสโคปที่ใช้ในการทดลองคือหมายเลข T 531 ใช้วัดแรงดันไฟฟ้าและคุณลักษณะของสัญญาณตามตำแหน่งต่าง ๆ ภายในอุปกรณ์อิเลกโทรนิคสำหรับวัดมวลของกิ๊ฟฟันแฟรกเมนต์ นอกจากนี้ยังใช้แทนจอภาพสำหรับดูลักษณะของสเปคตรัมจากเครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่องอีกด้วย

4.11 <u>เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง</u>

เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่องทำหน้าที่วิเคราะห์สัญญาณที่มาจากอุปกรณ์อิเลกโทรนิคสำหรับวัดมวลของกิ๊ฟฟันแฟรกเมนต์ เครื่องวิเคราะห์สัญญาณมีช่องทั้งหมด 1024 ช่อง สัญญาณป้อนเข้าเครื่องวิเคราะห์จะต้องมีขั้วเป็นลบ และมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วงประมาณ 1 ถึง 6 โวลท์.