บทที่ 7

การพัฒนาแผ่นฟิล์ม PVDF

แผ่นฟิล์ม PVDF ที่ได้จากการสังเคราะห์จะมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบอสัณฐาน ในการที่จะทำให้แผ่นฟิล์มนี้มีสมบัติทางพิซโซอิเลคตริกในระดับที่ใช้งานได้จะต้องนำแผ่นฟิล์มไปผ่านกระบวนการทางกายภาพหลายๆอย่างที่เหมาะสม เช่นการยืด อบ และการจัดขั้ว ดังที่กล่าวแล้วในบทที่ 6 กระบวนการดังกล่าวมีหลายแบบ หลายเทคนิคดังจะศึกษาได้จากเอกสารอ้างอิงต่างๆ ในการวิจัยเพื่อเตรียมแผ่นฟิล์มพิซโซอิเลคตริกที่ทำขึ้นนี้ ได้พยายามพัฒนาวิธีการทางกายภาพที่เหมาะสมขึ้น ทั้งนี้เพื่อให้เหมาะกับเครื่องมือต่างๆที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการ วิธีการบางอย่างอาจแตกต่างจากเทคนิคเดิมที่เคยทำมา และพบว่าแผ่นฟิล์มที่พัฒนาขึ้นมีระดับทางพิซโซอิเลคตริกทัดเทียมกับฟิล์มมาตรฐาน สามารถนำไปประยุกต์เป็นเครื่องมือต่างๆ ตามต้องการได้ สำหรับขั้นตอนการพัฒนาแผ่นฟิล์ม PVDF นี้แบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอนคือ การยืด การอบ การจัดขั้ว และการทำขั้วไฟฟ้าซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

<u>ขั้นตอนการยืด</u>

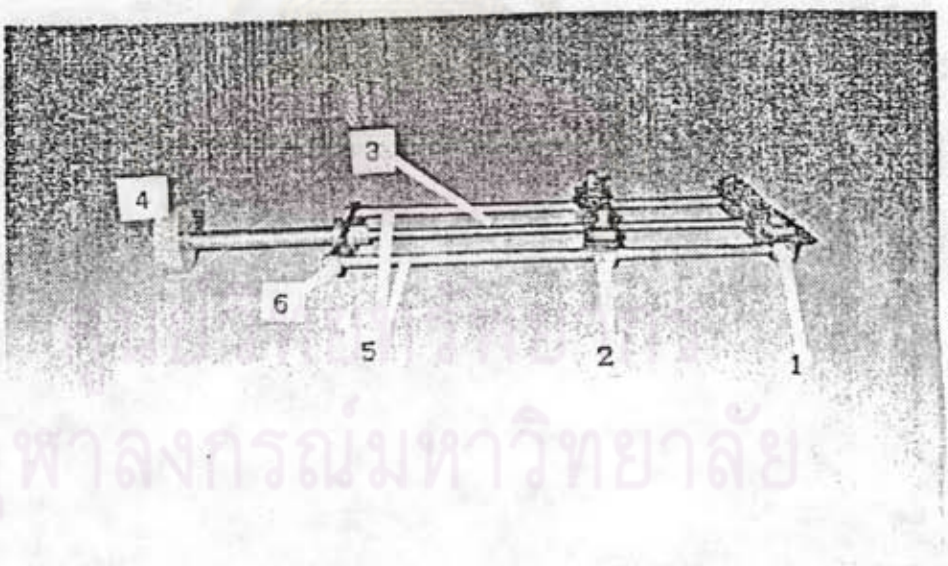
แผ่นฟิล์ม PVDF ก่อนที่จะนำมายืดนี้มีลักษณะเป็นพลาสติกแข็งและยังไม่มีสภาพพิซโซอิเลคตริก เนื่องจากมีส่วนอสัณฐานปนอยู่มาก และโครงผลึกส่วนใหญ่เป็นโครงผลึกแบบแอลฟา ซึ่งไม่มีโมเมนต์ขั้วคู่ถาวร นอกจากนั้นการจัดเรียงของสายโซ่ โมเลกุลเป็นไปอย่างไม่มีระเบียบ การยืดแผ่นฟิล์มนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีการจัดเรียงของสายโซ่โมเลกุลเป็นระเบียบมากขึ้น และเปลี่ยนโครงสร้างผลึกจากแบบแอลฟาเป็นโครงสร้างผลึกแบบเบตา

การยืดแผ่น PVDF มีหลายวิธีเช่น การยืดโดยการใช้ลูกกลิ้งดึง การยืดโดยใช้การอัดด้วยลูกกลิ้ง การยืดโดยการดึงให้ยืดออกในแนวเดียว และการยืดในสองแนว เป็นต้น การยืดแต่ละวิธีนั้นมีข้อดีและข้อเสียต่างกัน เช่น การยืดด้วยลูกกลิ้งทำให้แผ่นฟิล์มมีความสม่ำเสมอ แต่เครื่องมือที่ใช้ยุ่งยาก ส่วนการยืด

เป็นสองแนวทำให้แผ่นฟิล์มนั้นแสดงสถาพพิซโซอิเลคตริกได้ทั้งสองแนวที่ยืด การยืดด้วยวิธีนี้ค่อนข้างทำได้ยาก การยืดโดยวิธีดึงให้ยืดออกในแนวเดียว มีข้อดีคือทำได้ง่าย แต่จะมีผลทำให้รูปร่างของแผ่นฟิล์มเปลี่ยนไป ในการทดลองนี้ได้เลือกใช้วิธีการยืด โดยดึงให้ยืดออกแนวเดียวคือ แนวยาวของแผ่นฟิล์ม ด้วยเครื่องมือยืดที่สร้างขึ้นเอง ลักษณะของเครื่องยืดฟิล์มมีรายละเอียดดังนี้

<u>เครื่องยืดแผ่นฟิล์ม PVDF</u>

วัสดุที่ใช้ทำเครื่องยืดนี้ คือ แท่งทองเหลือง เนื่องจากแท่งทองเหลืองกลึงได้ง่ายกว่าวัสดุอย่างอื่น ขนาดของฟิล์มที่จะยืดด้วยเครื่องยืดนี้ต้องมีความกว้างไม่เกิน 12 cm. และความยาวหลังจากยืดแล้วไม่เกิน 18 cm. และสามารถดึงแผ่นฟิล์มด้วยแรงมากๆได้ เครื่องยืดนี้ต้องออกแบบให้สามารถยืดแผ่นฟิล์มในทิศตั้งฉากกับความกว้างของแผ่นฟิล์มตลอดแนวการยืดเพื่อให้ความหนาของแผ่นฟิล์มสม่ำเสมอ ส่วนประกอบและโครงสร้างของเครื่องยืด ดังแสดงในรูปที่ 7.1 แต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 7.1 แสดงลักษณะของเครื่องยืด

ส่วนที่ 1 เป็นส่วนหนีบปลายแผ่นฟิล์มทำด้วยแท่งทองเหลืองรูปทรงสี่เหลี่ยม 2 ชิ้น ชิ้นล่างขนาด 16x1.2x1.5 cm^3 และเจาะรูเรียบตรงกลางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 cm. ลึก 0.8 cm. และชิ้นบนขนาด 16x0.4x1.5 cm^3 วางประกบกันและสามารถขันให้ยึดติดกันได้ด้วยสกรูที่บริเวณตอนปลายของทั้งสองแท่งดังรูป โดยมีแผ่นยาง 2 แผ่น ขนาด 16x1.2x0.2 cm^3 กั้นระหว่างแผ่นทองเหลืองทั้งสอง

ส่วนที่ 2 เป็นส่วนที่ใช้หนีบแผ่นฟิล์มอีกปลายหนึ่งเพื่อดึงให้ยืดออกตามยาว ประกอบด้วยแท่งทองเหลืองรูปทรงสี่เหลี่ยม 2 ชิ้น มีขนาดเดียวกันกับแท่งทองเหลืองในส่วนที่ 1 แท่งทองเหลืองชิ้นล่างถูกเจาะรูทำเกลียวในเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 cm. ทะลุตลอดความหนาของแท่งทองเหลือง โดยเจาะตรงกลางให้ตรงกันกับรูตรงกลางของแท่งทองเหลืองส่วนที่ 1 ตรงส่วนปลายทั้งสองข้างเจาะรูเรียบเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 cm. เจาะทะลุตลอดความกว้างเช่นกัน

ส่วนที่ 3 เป็นส่วนที่ช่วยการดึงแผ่นฟิล์มให้ยืด ทำด้วยแท่งทองเหลืองกลึงเป็นสกรูยาวตลอดแท่ง เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 cm. ความยาว 25 cm. ระยะเกลียว 3 mm ตรงปลายเป็นแท่งกลมเรียบยาวประมาณ 0.8 cm. แท่งสกรูสอดผ่านเกลียวในของแท่งทองเหลืองส่วนที่ 2 ปลายสกรูที่เป็นแท่งเรียบนั้นสอดเข้าไปในรูเรียบที่เจาะไว้ตรงกลางของแท่งทองเหลืองส่วนที่ 1

ส่วนที่ 4 เป็นส่วนที่ช่วยขันสกรู ทำด้วยพลาสติกแข็งทรงกระบอกตันเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 cm. หนา 2 cm. ติดอยู่ตรงปลายอีกข้างหนึ่งของแท่งสกรูในส่วนที่ 3

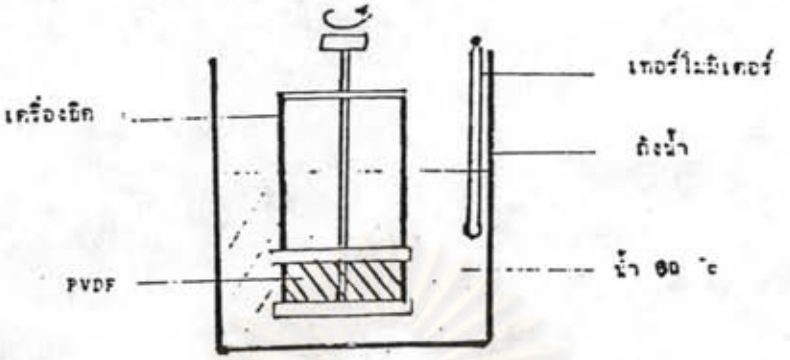
ส่วนที่ 5 เป็นรางควบคุมความสม่ำเสมอของมุมการดึง ทำด้วยแท่งทองเหลืองกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 cm. ความยาว 20 cm. จำนวน 2 แท่ง สอดแท่งนี้ผ่านรูด้านข้างทั้งสองรูของแท่งทองเหลืองส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2

ส่วนที่ 6 เป็นแท่งทองเหลืองรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด 16x0.4x1.5 cm^3 เจาะรูเรียบทะลุตลอดความหนาทั้งหมด 3 รู โดยให้รูทั้งสามตรงกันกับรูที่เจาะไว้แล้วในแท่งทองเหลืองส่วนที่ 2 สอดแท่งทองเหลืองส่วนที่ 5 และแท่งสกรูส่วน

ที่ 3 เข้าไปในรูที่เจาะไว้ในส่วนที่ 6 นี้ และขันน็อตให้แท่งกลมทั้ง 2 ยึดติดกับส่วนที่ 6 นี้

ลักษณะการทำงานของเครื่องยืดนี้ ส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 จะทำหน้าที่เป็นตัวหนีบแผ่นฟิล์ม PVDF โดยการสอดปลายด้านหนึ่งเข้าระหว่างแผ่นยางในส่วนที่ 1 แล้วขันสกรูให้แท่งทองเหลืองทั้งสองให้หนีบยึดแผ่นฟิล์มให้แน่น ปลายอีกด้านหนึ่งของแผ่นฟิล์มให้สอดเข้าไประหว่างแผ่นยางในส่วนที่ 2 หนีบยึดให้แน่นเช่นกัน จากนั้นหมุนส่วนที่ 4 ทำให้ส่วนที่ 2 เลื่อนไปตามเกลียวของสกรูโดยมีแท่งทองเหลืองกลม ส่วนที่ 5 ทำหน้าที่เป็นรางบังคับให้แท่งทองเหลืองส่วนที่ 2 เลื่อนขนานกับรางเสมอ ส่วนแท่งทองเหลืองส่วนที่ 1 นั้น จะถูกตรึงอยู่ไม่สามารถเลื่อนไปตามการหมุนของแท่งสกรูได้

ในการยืดแผ่นฟิล์ม PVDF นี้ไม่สามารถยืดในอุณหภูมิห้องได้ เนื่องจากว่า ที่อุณหภูมิห้องแผ่นฟิล์มมีความแข็ง (Strength) มากจึงต้องออกแรงในการยืดมากจนกระทั่งทำให้เกิดการฉีกขาดในแผ่นฟิล์มนั้นได้ ดังนั้นจึงต้องทำการยืดที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้อง แต่ไม่เกินจุดหลอมเหลวของแผ่น PVDF จากการทดลองพบว่า ต้องยืดในน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 °c ให้ผลดี กล่าวคือแผ่นฟิล์มไม่ฉีกขาดและไม่ร้อนจนกระทั่งแผ่นฟิล์มย่น อัตราส่วนการยืดสำหรับการทดลองนี้ใช้ 3.5 เท่าของความยาวเดิม [10] เนื่องจากถ้ายืดด้วยอัตราส่วนต่ำกว่านี้การจัดเรียงของสายโซ่โมเลกุลเป็นระเบียบน้อย ส่วนการยืดด้วยอัตราส่วนที่มากเกินไป จะทำให้ฟิล์ม PVDF เสียรูปทรงไปและอาจทำให้แผ่นฟิล์มฉีกขาดได้ ลักษณะการจัดวางเครื่องมือขณะยืด ดังแสดงในรูปที่ 7.2 หลังจากยืดแล้ว ความหนาของแผ่นฟิล์มจะลดลงไปเล็กน้อยจากความหนาเดิมประมาณ 1 mm. ลดลงเหลือประมาณ 50 μm. ส่วนด้านกว้างของแผ่นฟิล์มก็ลดลงเล็กน้อยเช่นกัน สำหรับขนาดของแผ่นฟิล์มขึ้นอยู่กับการใช้งานว่าต้องการแผ่นฟิล์มพื้นที่ขนาดเท่าใด อย่างไรก็ดีสำหรับเครื่องยืดนี้สามารถยืดแผ่นฟิล์มได้ขนาดไม่เกิน 18x12 cm^2



รูปที่ 7.2 แสดงการจัดวางเครื่องมือที่ใช้ในการยืด

แผ่นฟิล์ม PVDF ที่ผ่านการยืดแล้วสายโซ่โมเลกุลของ PVDF จะมีแนวโน้มที่จะวางตัวตามแนวการยืด และผลึกเปลี่ยนจากโครงผลึกแบบไม่มีขั้วเป็นผลึกแบบมีขั้ว แต่ก็ยังไม่ปรากฏสภาพพิซโซอิเลคตริก ในแผ่นฟิล์มหลังการยืดเพราะทิศทางของโมเมนต์ขั้วคู่ถาวรในแต่ละผลึกหักล้างกันหมด การยืดในลักษณะเช่นนี้เป็นการยืดในแนวเดียวซึ่งจะทำให้แผ่นฟิล์มมีค่าคงตัวพิซโซอิเลคตริก e_{31} และ e_{33} เท่านั้นที่ไม่เป็นศูนย์ นอกจากนี้การยืดแผ่นฟิล์มนี้ จะทำให้เกิดความเครียดเฉพาะแห่งขึ้นภายในฟิล์ม และเกิดการฉีกขาดในระดับอนุภาค ซึ่งจะมีผลต่อสภาพพิซโซอิเลคตริกด้วย ดังนั้นจึงต้องนำแผ่นฟิล์มมาอบเพื่อลดความบกพร่องที่เกิดแก่แผ่นฟิล์มหลังการยืดนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

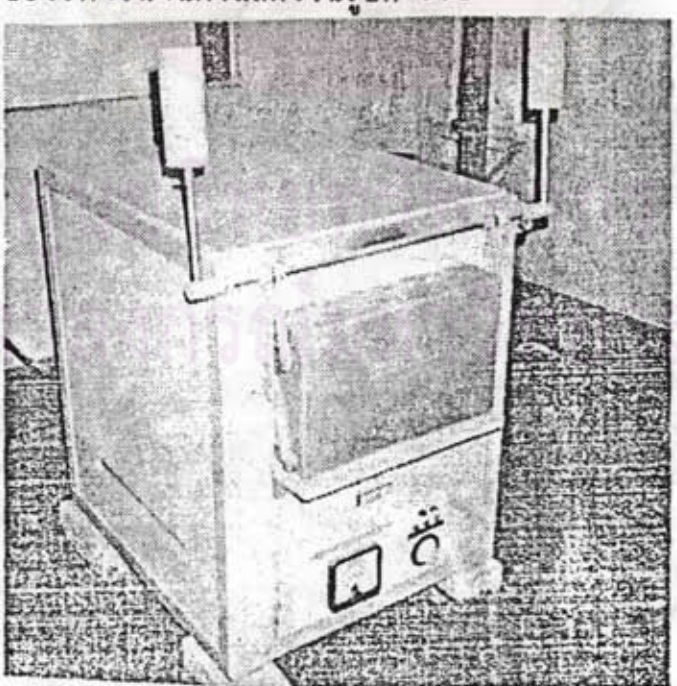
ขั้นตอนการอบ

หลังจากการยืดจะพบว่าสายโซ่โมเลกุล PVDF มีการจัดวางตัวอย่างมีระเบียบมากขึ้น และมีการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกจากแบบแอลฟา เป็นผลึกแบบเบต้า อย่างไรก็ตามแม้ว่าขณะยืดจะได้พยายามยืดให้แผ่นฟิล์มยืดในแนวตั้งฉากกับความกว้างของแผ่นฟิล์มตลอด เพื่อให้แผ่นฟิล์มมีความหนาสม่ำเสมอ แต่ก็ยังมีความไม่สม่ำเสมอเกิดขึ้นอยู่บ้างกล่าวคือ มีผลึกบางส่วนกระจายอยู่อย่างไม่สม่ำเสมอ ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะมีผลทำให้สภาพพิซโซอิเลคตริกของแผ่นฟิล์มเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้นการอบจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อให้การกระจายของผลึกแบบเบตาในแผ่นฟิล์มสม่ำเสมอ ความร้อนเนื่องจากการอบจะมีผลทำให้เกิดการสั่นของผลึกและสายโซ่

โมเลกุลทำให้ผลึกเลื่อนตำแหน่งไป และกระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอมากขึ้น ดังนั้น การที่จะทำให้มีการเลื่อนของผลึกได้นั้นต้องทำการอบในขณะที่แผ่นฟิล์มยังถูกขึงตรึงอยู่ในเครื่องยืด อุณหภูมิที่ใช้ในการอบนั้นจะต้องสูงกว่าอุณหภูมิขณะยืด และไม่สูงกว่าจุดหลอมเหลว และเครื่องมือที่ใช้ในการอบ คือ เตาอบ (ที่มีห้องอบขนาดใหญ่ เพื่อที่จะบรรจุเครื่องยืดไว้ข้างในได้) แท่งเทอร์โมคับเปิ้ล แผ่นฟิล์ม PVDF (ที่ถูกยืดแล้วและยังถูกตรึงอยู่กับเครื่องยืด) และโวลต์มิเตอร์ รายละเอียดของเครื่องมือแต่ละชิ้นมีดังนี้

1. เตาอบ

เตาอบที่ใช้ในการอบฟิล์ม PVDF นี้ มีลักษณะเป็นตู้สี่เหลี่ยม ขนาดที่วัดภายนอก 61.5x69x76.5 cm^3 เป็นเตาไฟฟ้าสำหรับหลอมโลหะ ห้องอบมีขนาด 23x23x25 cm^3 ด้านหลังของห้องอบมีรูสำหรับสอดเทอร์โมมิเตอร์ หรือ เทอร์โมคับเปิ้ล เพื่อวัดอุณหภูมิภายในห้องอบ อุณหภูมิสูงสุดภายในเตาปรับได้สูงถึง 1,200 °c ผนังของห้องอบเป็นอิฐทนไฟ มีลวดความร้อนฝังอยู่ภายใน ฝาปิดห้องอบมีลักษณะเป็นอิฐทนไฟ หุ้มด้านนอกด้วยโลหะ และเปิดปิดได้โดยการโยกคันโยกที่ต่อกับฝาปิดนี้ เตาเผานี้ใช้ไฟกระแสสลับ 200-220 โวลต์ กระแสไฟฟ้า28 แอมแปร์ สามารถปรับอุณหภูมิภายในห้องอบได้ ลักษณะของเตาเผานี้ดังแสดงในรูปที่ 7.3



รูปที่ 7.3 แสดงส่วนประกอบของเตาเผา

เนื่องจากเตาเผานี้ไม่ได้สร้างขึ้นเพื่อการอบแผ่นฟิล์มโพลิเมอร์โดยเฉพาะ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแผ่นฟิล์ม PVDF นี้จะต้องไม่สูงมากเกินไปและต้องควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตลอดเวลาการอบ ดังนั้นจึงต้องมีความละเอียดในเรื่องของอุณหภูมิอย่างมากเพราะอาจทำให้แผ่นฟิล์มเสียหายได้ ในการวัดอุณหภูมิในห้องอบนี้จึงต้องใช้แท่งเทอร์โมคับเบิ้ล เป็นตัววัดอุณหภูมิโดยเสียบแท่งเทอร์โมคับเบิ้ล เข้าไปในห้องอบโดยผ่านรูที่อยู่ด้านหลังของห้องอบ แล้ววัดอุณหภูมิภายในเตาอบ โดยการวัดความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น ที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสองของเทอร์โมคับเบิ้ล และเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้อบไม่สูงนัก และอบเป็นเวลาไม่นานดังนั้นจึงใช้วิธีเปิดเครื่องเตาเผานี้ให้มีอุหภูมิจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ แล้วจึงปิดเครื่องจากนั้นจึงเอาแผ่นฟิล์ม PVDF ที่ถูกตรึงอยู่ในเครื่องยึดเข้าไปอบในห้องอบ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 150 °c อบเป็นเวลานาน 3 นาที อย่างไรก็ดีเนื่องจากเป็นการอบขณะที่ปิดเครื่องแล้ว ดังนั้นอุณหภูมิขณะอบจึงมีการเปลี่ยนแปลงบ้าง ในช่วงเวลา 3 นาทีที่ทำการอบนี้ อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง ± 2°C ซึ่งไม่มีผลเสียหายแต่อย่างไรต่อแผ่นฟิล์ม

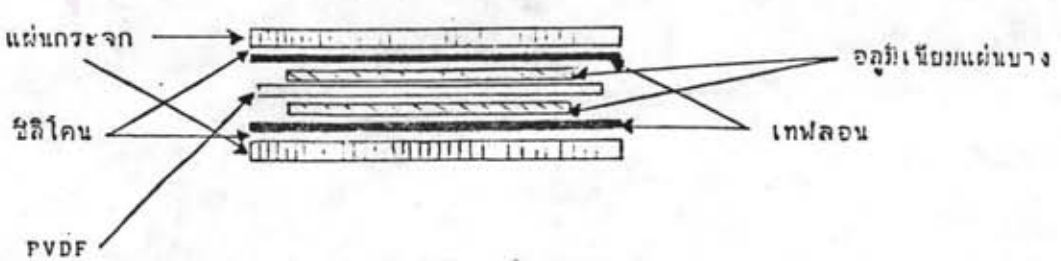
การอบแผ่นฟิล์มขณะที่แผ่นฟิล์มกำลังขึงตรึง กับเครื่องยึดนี้เพื่อให้มีแรงเค้นกระทำต่อแผ่นฟิล์มตลอดเวลา เมื่อให้ความร้อนแก่แผ่นฟิล์มโมเลกุลจะเกิดการสั่นและมีเสถียรภาพลดลง ทำให้มีการกระจายของโมเลกุลดีขึ้น สภาพความเครียดเฉพาะแห่งจะลดลง นอกจากนี้จะทำให้รอยฉีกขาดระดับจุลภาคที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการยืดลดลงด้วย แผ่นฟิล์มที่ผ่านการอบนี้ จะมีการความสม่ำเสมอของเนื้อฟิล์มดีขึ้นและแผ่นฟิล์มมีเสถียรภาพทางความร้อนดีขึ้น แต่ยังไม่มีสภาพพิซโซอิเลคตริกเกิดขึ้น เพราะทิศทางของโมเมนต์ขั้วคู่ในผลึกแต่ละผลึกนั้นมีทิศทางหักล้างกันหมด จึงไม่มีโพลาไรเซชันสุทธิ ดังนั้นการที่จะทำให้แผ่นฟิล์มมีโพลาไรเซชันสุทธิได้ ก็โดยให้สนามไฟฟ้าแก่แผ่นฟิล์ม ทำให้โมเมนต์ขั้วคู่ของแต่ละผลึกชี้ไปทางเดียวกัน ซึ่งมีวิธีการดังจะกล่าวต่อไปนี้

ขั้นตอนการจัดขั้วด้วยสนามไฟฟ้า

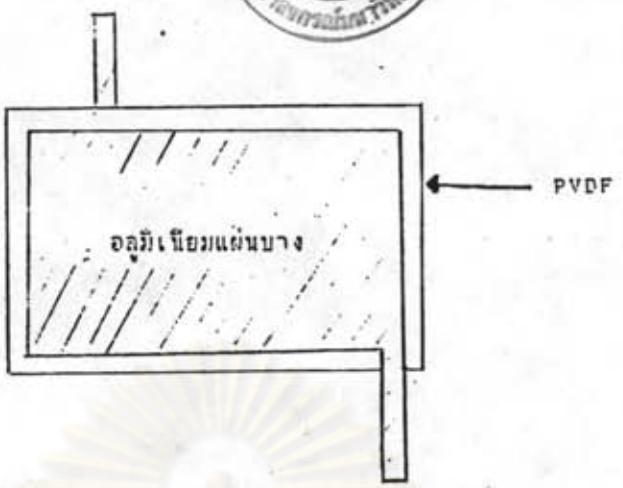
การจัดขั้วแผ่นฟิล์ม PVDF นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้โมเมนต์ขั้วคู่ถาวร ของแต่ละผลึกปรับแนวให้มีทิศทางไปทางเดียวกันมากขึ้น โดยใช้สนามไฟฟ้า การจัดขั้วนี้ทำได้หลายวิธีเช่น การจัดขั้วด้วยสนามไฟฟ้าโดยให้อุณหภูมิขณะจัดขั้วเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ แล้วลดอุณหภูมิลง จนถึงอุณหภูมิห้องการจัดขั้วโดยใช้ประจุโคโรนา การจัดขั้วด้วยสนามไฟฟ้าความเข้มสูง ณ อุณหภูมิห้องเป็นต้น ซึ่งรายละเอียดของวิธีการจัดขั้วเหล่านี้อยู่ในบทที่ 6 อย่างไรก็ดีการจัดขั้วด้วยวิธีที่กล่าวมาแล้วนั้น มีความยุ่งยากอยู่มาก เช่น ต้องมีห้องควบคุมอุณหภูมิ ต้องมีเครื่องประจุแบบโคโรนา และการจัดขั้วด้วยสนามไฟฟ้าความเข้มสูงอาจทำให้แผ่นฟิล์มPVDF ทะลุเสียหายได้ ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงต้องมีการดัดแปลงวิธีการจัดขั้วให้เหมาะสมกับเครื่องมือที่มีอยู่ พยายามให้มีความยุ่งยากน้อยที่สุดและให้แผ่นฟิล์ม PVDF มีสภาพพิซโซอิเลคตริกสูง เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ให้งานได้ ขั้นตอนต่างๆในการจัดขั้วมีดังนี้

ขั้นตอนการเตรียมแผ่นฟิล์ม

ก่อนที่จะนำแผ่นฟิล์มไปจัดขั้วนั้นต้องทำขั้วไฟฟ้าชั่วคราวให้กับแผ่นฟิล์ม และต้องให้ขั้วไฟฟ้าที่ทำขึ้นนั้นแนบติดกับแผ่นฟิล์มตลอด เพื่อให้แผ่นฟิล์มได้รับสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมแผ่นฟิล์มนี้ ประกอบด้วยแผ่นฟิล์ม PVDF ที่ยืดและอบแล้ว , แผ่นกระจกรูปสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่กว่าแผ่นฟิล์มเล็กน้อย 2 แผ่นเท่าๆกัน , แผ่นเทฟล่อน 2 แผ่นเท่าๆกันตัดให้มีขนาดเท่ากับแผ่นกระจก, ซิลิโคน และอลูมิเนียมแผ่นบางๆ 2 แผ่นตัดให้มีรูปร่างเหมือนกับแผ่นฟิล์ม PVDF แต่ขนาดเล็กกว่าเล็กน้อย รายละเอียดการเตรียมมีดังนี้



รูปที่ 7.4 การจัดเตรียมแผ่นฟิล์ม PVDF เพื่อนำไปจัดขั้ว

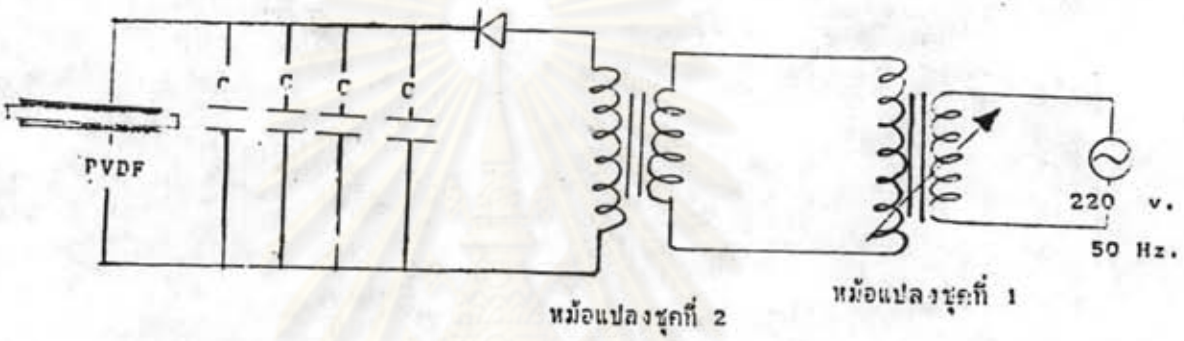


รูปที่ 7.5 ลักษณะของอลูมิเนียมแผ่นบางที่จะใช้เป็นขั้วไฟฟ้าชั่วคราว

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในเรื่องการจัดขั้วนี้ก็คือ สนามไฟฟ้าที่ให้แก่แผ่นฟิล์ม PVDF ต้องสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นฟิล์มมิฉะนั้นอาจเกิดความเสียหายแก่แผ่นฟิล์มได้ ดังนั้นการเตรียมแผ่นฟิล์มนี้จำเป็นต้องคำนึงถึงเรื่องนี้เป็นอย่างมาก การเตรียมแผ่นฟิล์ม PVDF ทำได้ดังนี้

ทาซิลิโคนจนทั่วแผ่นกระจกแล้ว ทาบแผ่นเทปล่อนที่เตรียมไว้แล้วลงไปบนแผ่นกระจกทำลักษณะเช่นเดียวกันนี้ กับกระจกอีกแผ่นหนึ่งจากนั้นวางอลูมิเนียมแผ่นบางที่ตัดไว้แล้ว (ดังแสดงในรูปที่ 7.5) ลงบนแผ่นเทปล่อนที่ติดอยู่กับแผ่นกระจกแผ่นใดแผ่นหนึ่ง วางแผ่นฟิล์ม PVDF ลงบนอลูมิเนียมแผ่นบาง โดยให้ขอบของฟิล์ม PVDF โผล่พ้นออกมาจากขอบของอลูมิเนียมแผ่นบาง แล้ววางอลูมิเนียมแผ่นบางอีกแผ่นหนึ่ง (ที่ตัดในลักษณะเดียวกันกับอลูมิเนียมแผ่นบางแผ่นแรก) ลงบน PVDF จัดแผ่นอลูมิเนียมทั้งสองไม่ให้แตะกันเพราะอาจทำให้เกิดการลัดวงจรได้เมื่อจัดขั้ว แล้ววางแผ่นกระจกอีกแผ่นที่เหลือลงบนอลูเนียมแผ่นบางนั้น โดยให้ด้านที่เป็นเทปล่อนอยู่ติดกับอลูมิเนียมแผ่นบางดังแสดงไว้ในรูปที่ 7.4 การที่ใช้ซิลิโคนทาระหว่างแผ่นกระจกกับเทปลอน เพราะซิลิโคนมีลักษณะเป็นของเหลวที่มีความหนืดสูงทำหน้าที่เป็นเบาะรองเทปลอนได้เป็นอย่างดี ทำให้สามารถอัดทับอลูมิเนียมแผ่นบางให้แนบสนิทกับแผ่นฟิล์ม PVDF ตลอดทั้งแผ่นฟิล์ม แผ่นเทฟลอนทำหน้าที่เป็นฉนวนที่ดีป้องกันการรั่วของกระแสไฟฟ้าจากแผ่นอลูมิเนียมแผ่นบางซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 ด้านของแผ่นฟิล์ม แผ่นกระจกที่ใช้นี้เพื่อทำหน้าที่กดทับให้แผ่นอลูมิเนียมติดกับ PVDF

หลังจากที่ได้เตรียมแผ่นฟิล์มแล้วนำไปจัดขั้วด้วยสนามไฟฟ้า โดยการต่อขั้วไฟฟ้าของวงจรเข้ากับแผ่นอลูมิเนียมแผ่นบางทั้งสองนั้น ลักษณะของวงจรเป็นดังรูปที่ 7.6 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในวงจรมี หม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง, ไดโอด 1 ตัว , ตัวเก็บประจุ , ตัวต้านทาน และหม้อแปลงที่ปรับค่าได้



รูปที่ 7.6 ไดอะแกรมแสดงวงจรไฟฟ้าที่ใช้ในการจัดขั้ว

หม้อแปลงชุดที่ 1 ทำหน้าที่ปรับศักย์ไฟฟ้าที่จะเข้าไปยังหม้อแปลงชุดที่ 2 เพื่อให้ศักย์ไฟฟ้าขาออกมีค่าตามต้องการไดโอดจะทำหน้าที่ แปลงสัญญาณเอซี ให้เป็นดีซี ตัวเก็บประจุจะช่วยกรองให้สัญญาณไฟดีซี ที่ออกมาเรียบขึ้น

ค่อยๆเพิ่มศักย์ไฟฟ้าเรื่อยๆ โดยการปรับหม้อแปลง (1) จนกระทั่งได้สนามไฟฟ้า 30-50 MV/m หรือ 1500-2500 V. สำหรับแผ่นฟิล์มหนา 50 μm. ให้สนามไฟฟ้านาน 3 นาที แล้วลดสนามไฟฟ้าเป็นศูนย์ทันที แล้วลัดวงจรระหว่างขั้วไฟฟ้าอลูมิเนียมแผ่นบาง โดยต่อด้วยตัวต้านทานขนาดประมาณ 10-100 K ทิ้งไว้ 3 นาที แล้วให้สนามไฟฟ้าอีกครั้ง (แต่สลับขั้วกับครั้งแรก) นาน 3 นาที แล้วลดสนามไฟฟ้าเป็นศูนย์ทันที ทิ้งไว้ 3 นาที แล้ว

ลัดวงจรอีกครั้งทำแบบนี้อีกครั้งหนึ่ง แต่ให้กลับขั้วกับครั้งที่ 2 การให้สนามไฟฟ้านี้กระทำ ณ อุณหภูมิห้อง

แผ่นฟิล์ม PVDF ที่จัดขั้วด้วยสนามไฟฟ้าแล้วนี้ จะมีโพลาไรเซชันสุทธิ โดยทิศทางของโพลาไรเซชันที่เกิดขึ้นภายในแผ่นฟิล์มนั้นจะมีทิศเดียวกันกับทิศทางของสนามไฟฟ้าที่ให้แก่แผ่นฟิล์มครั้งสุดท้าย องศาการหันเหทิศทางตามสนามไฟฟ้าของโมเมนต์ขั้วคู่ของผลึกขึ้นอยู่กับขนาดของสนามไฟฟ้า พบว่าถ้าใช้สนามไฟฟ้าในการจัดขั้วสูงจะทำให้โมเมนต์ขั้วคู่ในผลึกมีทิศทางชี้ไปทางเดียวกันมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการให้สนามไฟฟ้าแก่แผ่นฟิล์มสูงเกินไป จะทำให้ประจุไฟฟ้าจากขั้วไฟฟ้าทะลุผ่านแผ่นฟิล์มไปได้ ซึ่งจะทำให้แผ่นฟิล์มทะลุเสียหายได้ แผ่นฟิล์มที่มีความหนาไม่สม่ำเสมอจะเกิดการเสียหายได้ง่าย เนื่องจากสนามไฟฟ้าที่ให้แก่แผ่นฟิล์มจะไม่สม่ำเสมอ บริเวณที่ความหนาของแผ่นฟิล์มน้อยจะมีสนามไฟฟ้าสูงกว่าบริเวณอื่น ทำให้แผ่นฟิล์มบริเวณนั้นทะลุเสียหายได้ จากการทดลองพบว่าขนาดของสนามไฟฟ้าที่ให้แก่แผ่นฟิล์มที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่แผ่นฟิล์มมีค่าประมาณ 2 MV/m และต้องให้ในช่วงเวลาสั้นๆเพียง 3-4 นาที เพราะจะไม่เกิดประจุไฟฟ้าพอกพูนที่ผิวหน้าแผ่นฟิล์มมากเกินไปทำให้เกิดสนามไฟฟ้าภายในแผ่นฟิล์มเพิ่มมากขึ้น จนเกิดความเสียหายได้

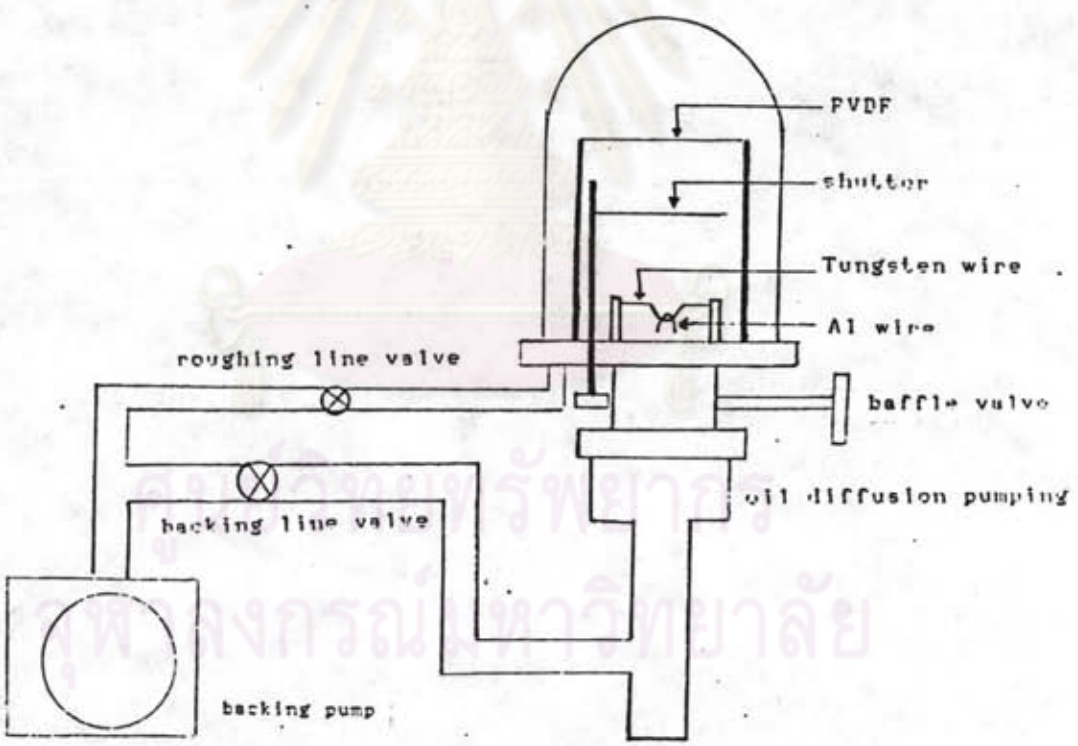
การที่ให้สนามไฟฟ้าแก่แผ่นฟิล์ม 3 ครั้งสลับขั้วกันนั้นเนื่องจากว่าสนามไฟฟ้าขนาด 2 MV/m ที่ให้แก่แผ่นฟิล์มในช่วงเวลาเพียง 3-4 นาทีนี้ ไม่สามารถทำให้โมเมนต์ขั้วคู่ของผลึกในแผ่นฟิล์มหันเหทิศทางไปทางเดียวกันได้ทั้งหมดในทันที ดังนั้นจึงต้องให้สนามไฟฟ้าสลับขั้วกัน เพื่อให้โมเมนต์ขั้วคู่ของผลึกหันเหทิศทางตามสนามไฟฟ้าได้ง่ายขึ้น และชี้ไปทางเดียวกันมากที่สุด ทำให้แผ่นฟิล์มมีสภาพพิซโซอิเลคตริกสูงขึ้น

การจัดขั้วโดยวิธีนี้มีข้อดีคือ วิธีการจัดขั้วง่ายไม่ต้องมีการควบคุมอุณหภูมิขณะจัดขั้วและถึงแม้ว่าการจัดขั้วด้วยวิธีนี้ จะแตกต่างจากวิธีการมาตรฐานที่ได้พัฒนามาแล้ว แต่แผ่นฟิล์มที่ได้ก็มีสภาพพิซโซอิเลคตริกสูงทัดเทียมกับฟิล์มที่ผ่านการจัดขั้วโดยวิธีมาตรฐานเหล่านั้น

อย่างไรก็ดีแผ่นฟิล์มที่จัดขั้วแล้วนี้แม้ว่าจะมีสภาพพิซโซอิเลคตริกสูง แต่ก็ยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้ทันที ต้องผ่านขั้นตอนการทำขั้วไฟฟ้า ในการทดลองนี้ ได้ทำขั้วไฟฟ้าแก่แผ่นฟิล์มโดยการฉาบอลูมิเนียมที่ผิวหน้าทั้งสองของแผ่นฟิล์ม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

<u>การทำขั้วไฟฟ้า</u>

การทำแผ่นขั้วไฟฟ้าสำหรับแผ่นฟิล์ม PVDF มีหลายวิธี ที่นิยมใช้ก็คือ การฉาบด้วยสารละลายตัวนำ และการฉาบโดยการระเหยในสูญญากาศ สำหรับการวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการฉาบขั้วไฟฟ้า โดยการระเหยอลูมิเนียมในสูญญากาศ เครื่องมือที่ใช้ในการฉาบนี้ คือ เครื่องฉาบ (Coating Unit) ในรูปที่ 7.7 แสดงส่วนประกอบของเครื่องฉาบนี้



รูปที่ 7.7 แสดงส่วนประกอบของเครื่องฉาบสูญญากาศ

เครื่องฉาบนี้ใช้หลักการของการระเหยโลหะด้วยความร้อน แล้วไอระเหยของโลหะจะไปฉาบอยู่บนผิวหน้าของแผ่นฟิล์ม โดยการระเหยนี้ต้องทำในสูญญากาศ ส่วนประกอบของเครื่องฉาบนี้แบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ ห้องสูญญากาศซึ่งเป็นห้องที่จะทำการระเหย และส่วนของปั๊มสูญญากาศซึ่งทำหน้าที่สูบอากาศออกจากห้องสูญญากาศ ในห้องสูญญากาศประกอบด้วยลวดอลูมิเนียมซึ่งเป็นโลหะที่จะระเหย คล้องอยู่บนลวดทังสเตนซึ่งเป็นลวดให้ความร้อนแก่ลวดอลูมิเนียม เหนือลวดทังสเตน จะมีแท่นวางแผ่นฟิล์ม PVDF ซึ่งประกอบด้วยแผ่นอลูมิเนียม 2 แผ่นประกบแผ่น PVDF ไว้ตรงกลาง แต่ละแผ่นเจาะช่องว่างให้มีลักษณะและขนาดเท่ากับแผ่นขั้วไฟฟ้าที่ต้องการ ระหว่างลวดทังสเตน และแท่นวางแผ่นฟิล์ม PVDF มีชัตเตอร์ซึ่งปิดเปิดได้ ทำหน้าที่เป็นแผ่นกันความร้อนที่เกิดขึ้นขณะที่ลวดอลูมิเนียมกำลังหลอมละลาย และจะเปิดชัดเตอร์ เมื่อลวดอลูมิเนียมเริ่มระเหยเพื่อให้ระเหยขึ้นไปฉาบแผ่นฟิล์ม PVDF ได้ ลักษณะของชัตเตอร์เป็นแผ่นอลูมิเนียมวงกลมรัศมีประมาณ 3 cm. ยึดติดกับแท่งเหล็กซึ่งสามารถบังคับให้หมุนไปมาได้จากภายนอกห้องสูญญากาศ การที่ต้องสร้างชัตเตอร์ขึ้นนี้เนื่องจากความร้อนจากลวดทังสเตนในขณะทำการละเหยลวดอลูมิเนียมอาจทำให้แผ่นฟิล์ม PVDF ย่นหรือหลอมได้ ชัตเตอร์จึงช่วยกันความร้อนได้บางส่วน สำหรับขั้นตอนของการระเหยในสูญญากาศด้วยเครื่องฉาบนี้มีลำดับดังนี้

1. เปิดโรตารีปั๊ม (ใช้ไฟเอซี 220 V) แล้วสูบอากาศในเครื่องออกโดยการเปิด แบคกิ้งวาล์ว (backing valve) พร้อมกับปั๊มน้ำมันในดิฟฟิวชันวาล์ว (diffusion pump) (โดยใช้ไฟเอซี 230 V) เป็นเวลา 30 นาที

2. ตรวจความดันในเครื่องให้อยู่ในระดับ 10^{-4} mm.Hg. แล้วปิดแบ็คกิ้งวาล์ว จากนั้นเปิดราฟฟิงก์วาล์ว (roughing valve) เพื่อดูดอากาศออกจากห้องสูญญากาศเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นปิดราฟฟิงก์วาล์วแล้วเปิดแบ็คกิ้งวาล์ว

3. เปิด ไฮ-แวคคัม วาล์ว (high vacuum valve) ประมาณ 5 นาที เช็คดูการไอออร์ไนส์ (ionization) ของอากาศภายในห้องสูญญากาศโดยการให้สนามไฟฟ้าภายในสูญญากาศแล้วดูว่ามีแสงเรืองสีม่วงหรือไม่เมื่อไม่ปรากฏแสงสีม่วง แสดงว่าเป็นสูญญากาศเพียงพอแล้ว

4. เมื่อสูบอากาศจากห้องสูญญากาศแล้ว ลำดับต่อไปเป็นขั้นตอนการระเหย โดยให้กระแสไฟฟ้าแก่ลวดทังสเตน เพิ่มกระแสจนกระทั่งลวดอลูมิเนียมที่คล้องอยู่เริ่มหลอมละลาย จึงหยุดเพิ่มกระแสไฟฟ้าเมื่อลวดอลูมิเนียมเริ่มระเหยให้เปิดชัตเตอร์ โดยการหมุนแท่งเหล็กที่ต่อจากชัตเตอร์ออกมาภายนอกห้องสูญญากาศ จนกระทั่งลวดอลูมิเนียมระเหยหมด ให้หยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าแก่ลวดทังสเตน

5. ปิดไอ-แวคคัมวาล์ว แล้วปล่อยให้อากาศเข้าไปในห้องสูญญากาศเพื่อที่จะเปิดถังแก้ว ที่ครอบห้องสูญญากาศได้

6. ฉาบแผ่นฟิล์ม PVDF อีกด้านหนึ่งโดยการกลับแผ่น PVDF ให้ด้านที่ยังไม่ได้ฉาบอยู่ด้านล่างจากนั้นดำเนินวิธีตั้งแต่ข้อ 2 ไปจนกระทั่งฉาบเสร็จก็จะได้แผ่นฟิล์ม PVDF ที่ฉาบด้วยอลูมิเนียมทั้งสองด้าน ตามต้องการ

7. การปิดเครื่องทำได้โดยการ ปิดวาล์วทุกตัวยกเว้น แบคกิงก์วาล์ว แล้วหยุดปั๊มน้ำมันเป็นเวลา 30 นาที (เพื่อให้น้ำมันมีอุณหภูมิลดลง) จากนั้นเปิดวาล์ว เพื่อให้อากาศเข้าไปในเครื่อง ป้องกันการไหลย้อนของน้ำมันแล้วจึงปิดโรตารีปั๊ม

ในการฉาบแผ่นอลูมิเนียมโดยวิธีนี้มีสิ่งที่พึงระวังคือ ขณะที่จ่ายกระแสไฟฟ้าแก่ลวดทังสเตน เพื่อทำการระเหยลวดอลูมิเนียมนั้น จะเกิดความร้อนขึ้นภายในห้องสูญญากาศนั้น ทำให้แผ่นฟิล์ม PVDF บิดงอหรือหลอมเหลวได้ดังนั้นจังหวะในการปิด-เปิด ชัตเตอร์ต้องพอเหมาะ ต้องปิดชัตเตอร์ตลอดเวลา จนกระทั่งเมื่ออลูมิเนียมเริ่มระเหย ให้เปิดชัตเตอร์ทันที และปิดชัตเตอร์ทันทีเมื่ออลูมิเนียมระเหยหมด นอกจากนี้ในการฉาบต้องให้ความหนาของอลูมิเนียมที่ฉาบบนแผ่นฟิล์มนั้นเหมาะสม ถ้าหากอลูมิเนียมฉาบหนาเกินไปจะทำให้แผ่นฟิล์ม PVDF ขาดความยืดหยุ่น และแผ่นฟิล์มแข็ง ทำให้ตอบสนองต่อความถี่ของการสั่นได้ไม่ดี แต่ถ้าฉาบอลูมิเนียมบางเกินไปทำให้การนำไฟฟ้าไม่ดี ในการทดลองนี้เนื่องจากไม่สามารถกำหนดความหนาของอลูมิเนียมที่ฉาบแผ่นฟิล์มได้ ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีประมาณจากความยาวของลวดอลูมิเนียม ที่ใช้ระเหยโดยได้ใช้ลวดอลูมิเนียมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.1 cm. ความยาวประมาณ 1.5 cm. ประกอบกับ จังหวะการปิด-เปิดชัตเตอร์ที่ถูกต้องก็จะได้แผ่นฟิล์ม PVDF ที่ฉาบอลูมิเนียมหนาพอเหมาะ

แผ่นฟิล์ม PVDF ที่ฉาบด้วยอลูมิเนียมทั้งสองด้านนี้ ก่อนที่จะนำไปติดขั้วไฟฟ้าภายนอกต้องนำไปตรวจสอบดูว่ามีสภาพพิซโซอิเลคตริกสูง พอที่จะใช้งานได้หรือไม่ โดยการต่อขั้วไฟฟ้าของแผ่นฟิล์มเข้ากับเครื่องกำเนิดความถี่โดยให้สัญญาณความถี่ในช่วงที่หูได้ยิน ถ้าหากมีเสียงเกิดขึ้นนั้นแสดงว่าแผ่นฟิล์มนั้นมีสภาพพิซโซอิเลคตริกสูงพอที่จะนำไปใช้งานได้ แต่ถ้าหากทดสอบแล้วไม่ปรากฏมีเสียงเกิดขึ้นต้องนำแผ่นฟิล์มนี้ไปผ่านขั้นตอนการจัดขั้วอีกครั้งหนึ่ง จากการทดลองพบว่าหลังจากการจัดขั้วเป็นครั้งที่ 2 นี้แผ่นฟิล์มมีสภาพพิซโซอิเลคตริกสูงขึ้นมาก ถึงแม้จะดำเนินการจัดขั้วเหมือนกับครั้งแรก สรุปได้ว่าการจัดขั้วแผ่นฟิล์ม PVDF ที่มีอลูมิเนียมฉาบติดอยู่นั้น ทำให้โมเมนต์ขั้วคู่ของผลึกในแผ่นฟิล์ม PVDF หันเหทิศทางตามสนามไฟฟ้าได้มากขึ้น การฉาบขั้วไฟฟ้าติดกับแผ่นฟิล์มนี้จะลดปัญหาเกี่ยวกับการเกิดช่องว่างระหว่างรอยต่อของแผ่นฟิล์มกับขั้วไฟฟ้าอลูมิเนียมแผ่นบาง ทำให้สนามไฟฟ้าที่ให้แก่แผ่นฟิล์มสม่ำเสมอขึ้น นอกจากนี้การที่มีอลูมิเนียมฉาบติดที่แผ่นฟิล์มนี้ เมื่อจัดขั้วจะทำให้ประจุไฟฟ้าอิสระถูกฉีดเข้าไปฝังตัวอยู่ภายในแผ่นฟิล์มมากขึ้น ซึ่งจากทฤษฎีพิซโซิเลคตริกของโพลิเมอร์ได้พิสูจน์แล้วว่าการที่แผ่นฟิล์มโพลิเมอร์ มีประจุตกค้างอยู่ภายจะทำให้สารโพลิเมอร์นั้น มีสภาพพิซโซอิเลคตริกเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ดีการจัดขั้วแผ่นฟิล์ม PVDF ที่มีอลูมิเนียมฉาบติดอยู่แล้วนี้โอกาสที่แผ่นฟิล์มจะเกิดการเสียหายมีมาก เนื่องจากประจุไฟฟ้าอาจถูกฉีดจากขั้วไฟฟ้าทะลุผ่านแผ่นฟิล์มไปได้ ซึ่งจะทำให้แผ่นฟิล์ม PVDF นั้นใช้การไม่ได้เลย

เมื่อแผ่นฟิล์ม PVDF ที่ฉาบด้วยอลูมิเนียมและมีสภาพพิซโซอิเลคตริกสูงพอที่จะนำไปใช้งานได้แล้ว ก่อนที่จะนำแผ่นฟิล์มนี้ไปใช้งานต้องนำแผ่นฟิล์มนี้ไปติดขั้วไฟฟ้าภายนอกก่อน โดยปกติแล้วการต่อขั้วไฟฟ้าของอุปกรณ์ อิเลคทรอนิกส์เข้ากับวงจรนั้นทำได้โดยการบัดกรีสายไฟติดกับขั้วไฟฟ้าของอุปกรณ์ แต่สำหรับโพลิเมอร์นี้ไม่สามารถใช้วิธีการบัดกรีได้ ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีติดอลูมิเนียมแผ่นบางเข้ากับอลูมิเนียมที่ฉาบแผ่นฟิล์ม โดยใช้ซิลเวอร์เพส (silver paste) ทำหน้าที่เป็นกาวโลหะตัวนำ อลูมิเนียมแผ่นบางนี้จะทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าที่ต่อออกมาจากขั้วไฟฟ้าของแผ่นฟิล์มอีกที จากนั้นจึงต่อสายไฟฟ้าเข้ากับขั้วไฟฟ้าอลูมิเนียมแผ่นบางนี้ได้ ซึ่งจะได้กล่าวต่อไปในบทการประยุกต์แผ่นฟิล์ม PVDF ลักษณะของแผ่นฟิล์ม PVDF ที่ต่อขั้วไฟฟ้าเรียบร้อยแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 7.9 สำหรับขั้นตอนต่อไปที่จะทำการทดลองก็คือ การนำแผ่นฟิล์ม PVDF มาประยุกต์เป็นอุปกรณ์รับ-ส่งคลื่นเสียงคือลำโพง หูฟัง และไมโครโฟน ซึ่งจะได้กล่าวในบทที่ 8 ต่อไป