

การพัฒนาแผ่นฟิล์มวีดีโอ สำหรับทรานสดิวเซอร์คลื่นเสียง
และการประยุกต์



นางสาว ชุมพร จันทมาศ

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2532

ISBN 974-576-893-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

015861 I16214493

DEVELOPMENT OF PVDF FILM FOR ACOUSTIC TRANSDUCERS
AND APPLICATION



Miss Choomporn Jantamas

ศูนย์วิทยทรัพยากร

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement
for the Degree of Master of Science

Department of Physics

Graduate School

Chulalongkorn University

1989

ISBN 974-576-893-6



หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพัฒนาแผ่นฟิล์มพีวีดีเอฟ สำหรับ
ทรานสดิวเซอร์คลื่นเสียงและการประยุกต์

โดย

นางสาว ชุมพร จันทมาศ


ภาควิชา

ฟิสิกส์

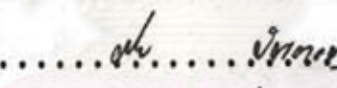
อาจารย์ที่ปรึกษา

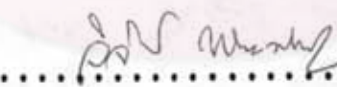
รองศาสตราจารย์ ดร.อนันตสิน เตชะกำพูน
และรองศาสตราจารย์ ยุทธ อัครมาส

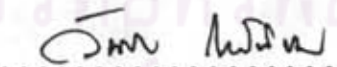
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้แนบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

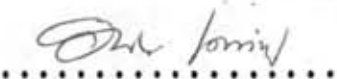
 คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรากิจ)

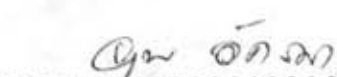
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

 ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ ปันยารชุน)

 กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร เล็งหะพันธ์)

 กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย โพธิ์นิจิตร)

 กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.อนันตสิน เตชะกำพูน)

 กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ยุทธ อัครมาส)



ผู้ประพันธ์ : การพัฒนาแผ่นฟิล์มพีวีดีเอฟ สำหรับทรานสดิวเซอร์คลื่นเสียง และการประยุกต์ (DEVELOPMENT OF PVDF FILM FOR ACOUSTIC TRANSDUCERS AND APPLICATION) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร. อนันตสิน เตชะกำพุช อ. ที่ปรึกษาร่วม รศ. ยุทธ อัครมาส, 2532, 87 หน้า. ISBN 974-576-893-6

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาแผ่นฟิล์มพีวีดีเอฟให้มีสภาพพิชโซอิเล็กทริก โดยผ่านขั้นตอน 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก ยึดแผ่นพีวีดีเอฟในน้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราส่วนการยึด 3.5 เท่าของความยาวเดิม ขั้นตอนที่สอง นำแผ่นฟิล์มไปอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 3 นาทีในขณะที่ยังตั้งอยู่ กับเครื่องยึด ขั้นตอนสุดท้าย จัดชั้นแผ่นฟิล์มด้วยสนามไฟฟ้าขนาด 2 MV/m โดยสลบขั้วของสนามไฟฟ้า 3 ครั้ง แต่ละครั้งใช้เวลา 3 นาที แผ่นฟิล์มที่ได้นี้จะมีสภาพพิชโซอิเล็กทริก ลำดับต่อไป นำแผ่นฟิล์มที่ได้นี้ไปฉาบขั้วไฟฟ้าที่ผิวหน้าทั้งสองด้านของแผ่นฟิล์ม โดยใช้การระเหยอลูมิเนียมในสุญญากาศ และได้สร้างอุปกรณ์รับ-ส่งคลื่นเสียงในช่วงที่หูได้ยิน ได้แก่ ลำโพง หูฟัง และไมโครโฟน จากการทดลองพบว่า อุปกรณ์เหล่านี้จะมีประสิทธิภาพดี เมื่อทำให้แผ่นฟิล์มพีวีดีเอฟ มีลักษณะเป็นแผ่นโค้ง การตอบสนองความถี่ของลำโพงที่ประดิษฐ์ขึ้น อยู่ในช่วง 350 - 20,000 เฮิรตซ์ และให้ระดับความเข้มเสียงสูงสุดที่ความถี่ 5,000 เฮิรตซ์ พบว่าอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ประดิษฐ์จากแผ่นฟิล์มพีวีดีเอฟในงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้งานได้พอสมควร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ศิลปศาสตร์
สาขาวิชา ศิลปศาสตร์
ปีการศึกษา 2532

ลายมือชื่อนิติต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
.....



CHOOMPORN JANTAMAS : DEVELOPMENT OF PVDF FILM FOR ACOUSTIC TRANSDUCERS AND APPLICATION. THESIS ADVISOR : ASSO.PROF. ANUNTASIN TECHAGUMPUGH, Ph.D., AND ASSO.PROF. YUTH AKKARAMAS, 87 PP.

In this work, the PVDF film has been developed to have a piezoelectric activity by using 3 preparation steps. First, the PVDF sheet was drawn in water at 80°C with the drawn ratio 3.5 of its original length. In second step, the clamped drawn film was annealed at 150°C for 3 minutes. The last step, the film was poled by 2 MV/m electric field, at room temperature. It was found that the treated film possesses very strong piezoelectric activity if the direction of the electric field was reversed at least 3 times; the poling time for each direction of electric field was about 3 minutes. After this, aluminium was evaporated on both sides of the films to form electrodes. Some audio-frequency transducers were made from the films such as loudspeaker, headphone and microphone. It has been found that these efficient devices should be made from the PVDF film with curve surface. The audio frequency response of the loudspeaker was 350 - 20,000 Hz. and produced the maximum sound level intensity at 5,000 Hz. These three devices were found to have acceptable performance.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ศาสตร์
สาขาวิชา ฟิสิกส์
ปีการศึกษา 2532

ลายมือชื่อนิติ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
.....



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยความกรุณาจาก
รองศาสตราจารย์ ดร. กิโย โบนยารชุน รองศาสตราจารย์ ดร. อนันตสิน
เตชะกำพุช รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย โนนีพิจิตร และรองศาสตราจารย์
ยุทธ อัครมาส ที่ได้ให้คำปรึกษาและดูแลด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณ พันจ่าอากาศเอก พูน อาจปรุ คุณณรงค์ชัย ศรีบัว
คุณสุนทร บัวเนตร ที่ได้อำนวยความสะดวกเกี่ยวกับอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ
ที่ใช้ในการวิจัย และขอขอบคุณ อ.พงษ์ ทรงพงษ์ และคุณวิศิษฐ์ ลีลาศิริวงศ์ ที่
ได้ให้คำแนะนำและให้ข้อมูลบางประการทำให้เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์
ยิ่งขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	๑
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	๑
กิตติกรรมประกาศ	๒
สารบัญ	๓
สารบัญตาราง	๒
สารบัญรูปและแผนภูมิ	๒
คำอธิบายสัญลักษณ์	๒
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 ทฤษฎีพิซโซอิเล็กตริก	
ทฤษฎีพื้นฐานสำหรับสารพิซโซอิเล็กตริก ...	4
ทฤษฎีทั่วไปของพิซโซอิเล็กตริก	
ในสารโพลีเมอร์.....	12
3 โครงสร้างของ PVDF	22
4 การเก็บประจุ	
เทคนิคการประจุ	28
ผลจากการประจุ	31
5 ทฤษฎีพิซโซอิเล็กตริกในสารโพลีเมอร์กึ่งผลึก	
แบบจำลองขั้วคู่เกร็งของบรอดเฮิร์ท	33
ทฤษฎีของทาคิโร	36
แบบจำลองของวาคะ	37

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
6 การผลิตแผ่นฟิล์มโพลีเมอร์พีซีโซอิลิคทริก	
การอัดรีดฟิล์ม	43
การขึ้นรูปฟิล์ม	44
เทคนิคการจัดเรียงโมเลกุล	44
การจัดเรียงในแนวแกนเดียว	45
วิธีการโพลารไรซ์	47
7 การพัฒนาแผ่นฟิล์ม PVDF	
ขั้นตอนการยัด	51
เครื่องยัดแผ่นฟิล์ม PVDF	52
ขั้นตอนการอบ	55
ขั้นตอนการจัดขั้วด้วยสนามไฟฟ้า	58
ขั้นตอนการเตรียมแผ่นฟิล์ม	58
การทำขั้วไฟฟ้า	62
8 การประดิษฐ์อุปกรณ์รับ-ส่งคลื่นเสียง จากแผ่นฟิล์ม PVDF และการประยุกต์	
ลำโพง	66
การใช้งาน	73
ผลการวัดการตอบสนองความถี่ ของลำโพง PVDF	74
หูฟัง	77
ไมโครโฟน	79
สรุปและข้อเสนอแนะ	82
เอกสารอ้างอิง	85
ประวัติผู้เขียน	87

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ตารางสภาพพหิซโซอิเล็กตริกของสารต่างๆ	2
4.1	ตารางแสดงสมบัติบางอย่างของสารโพลีเมอร์	27
5.1	ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าคงตัวพหิซโซอิเล็กตริก ที่ได้จากการคำนวณและการวัด ที่อุณหภูมิ 20 °c ..	41



ศูนย์วิทยพัทยาคร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปและแผนภูมิ

รูปที่		หน้า
1.1	กราฟแสดงพัฒนาการของสภาพนิซโซอิเล็กตริก ของ PVDF	2
2.1	แสดงทิศทางของปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสภาพนิซโซอิเล็กตริก	5
2.2	แสดงประจุที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้า	6
2.3	แสดงกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อ แผ่นฟิล์มได้รับความเค้น	10
2.4	แสดงแรงเค้นที่ให้แก่สาร	10
2.5	แสดงสารนิซโซอิเล็กตริกที่มีประจุไฟฟ้า ฝังอยู่ภายใน	14
2.6	แสดงการเลื่อนตำแหน่งของประจุไฟฟ้า	14
2.7	แสดงตำแหน่งต่างๆในโพลิเมอร์	15
2.8	แสดงการเปลี่ยนจากสภาวะที่ไม่มี ความเครียด เป็นสภาวะที่มีความเครียด	17
2.9	แสดงลักษณะแผ่นโพลิเมอร์ที่ประกบกัน เป็นชั้นๆ ...	20
3.1	แสดงโครงสร้างของ PVDF I แบบเบตา II แบบแอลฟา III แบบแกมมา IV แบบแอลฟา - เบตา	22
3.2	แบบจำลองโมเลกุลของโครงผลึกแบบแอลฟา	23
3.3	แบบจำลองโมเลกุลของโครงผลึกแบบเบตา 1) สายโซ่แบบพลาแนร์ซิกแซก 2) สายโซ่แบบซิกแซกที่มีการเบนไป	24
3.4	ไดอะแกรมแสดงการเปลี่ยนโครงสร้าง ผลึกแบบต่างๆ ของ PVDF	25

รูปที่	หน้า
4.1	แสดงการจัดเครื่องมือเตรียมการประจุแผ่นฟิล์ม ด้วยวิธีความร้อน 29
4.2	ไดอะแกรมแสดงการจัดเตรียมการประจุโดยวิธี ใช้ขั้วไฟฟ้าแบบเปียก 30
4.3	ไดอะแกรมแสดงวิธีการประจุแบบโคโรนา 30
4.4	กราฟแสดงฮิสเทอโรซิสของค่าคงตัว พีซีไออิเล็กตริกของ PVDF กับสนามไฟฟ้า 32
5.1	แสดงเวกเตอร์ของโพลาริเซชัน 34
5.2	แบบจำลองของวาดะแสดงลักษณะกิ่งผลึก ของ PVDF 38
6.1	แสดงการขึ้นรูปฟิล์มโดยใช้เครื่องอัดรีด แบบสล็อต - คาย 44
6.2	ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของฟิล์ม PVDF ที่เป็น ฟังก์ชันของความถี่ 46
6.3	คิสซีเพชันแฟกเตอร์ของแผ่นฟิล์ม PVDF ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ 47
6.4	ค่าคงตัวพีซีไออิเล็กตริกของ PVDF เป็นฟังก์ชันของเวลาการจัดขั้ว 48
6.5	ค่าคงตัวพีซีไออิเล็กตริกของ PVDF เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิการจัดขั้ว 49
6.6	ค่าคงตัวพีซีไออิเล็กตริกของ PVDF เป็นฟังก์ชันของอัตราส่วนการยึด 49
6.7	ค่าคงตัวพีซีไออิเล็กตริกของ PVDF เป็นฟังก์ชันของความหนาแน่นของฟิล์ม 49
6.8	ค่าคงตัวพีซีไออิเล็กตริกของ PVDF เป็นฟังก์ชันของสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการจัดขั้ว 50
7.1	แสดงลักษณะของเครื่องยึด 52
7.2	แสดงการจัดวางเครื่องมือที่ใช้ในการยึด 55

รูปที่	จม หน้า
7.3	แสดงลักษณะของเตาอบ 56
7.4	แสดงการจัดเตรียมแผ่นฟิล์ม PVDF เพื่อจัดขี้ว ... 58
7.5	แสดงลักษณะของอลูมิเนียมแผ่นบางที่ใช้ เป็นขี้วไฟฟ้าชั่วคราว 59
7.6	ไดอะแกรมแสดงวงจรไฟฟ้าที่ใช้ในการจัดขี้ว 60
7.7	แสดงส่วนประกอบของเครื่องบินสูญญากาศ 62
8.1	แสดงส่วนประกอบของลำโพงแบบ ขดลวดเคลื่อนที่..... 67
8.2	แสดงการยึดหรือหดตัวของแผ่นฟิล์ม PVDF เมื่อได้รับสนามไฟฟ้า 67
8.3	ไดอะแกรมแสดงลักษณะการลั่น ของแผ่นฟิล์ม PVDF โค้ง 68
8.4	แสดงลำโพง PVDF 68
8.5	แสดงลักษณะการโค้งของแผ่นฟิล์ม PVDF 70
8.6	แสดงการต่อสายไฟฟ้าเข้ากับขี้วไฟฟ้า ของแผ่นฟิล์ม PVDF 72
8.7	แสดงการต่ออิมพีแดนซ์แมทชิงเข้ากับ ลำโพง PVDF 73
8.8	แสดงการวัดการตอบสนองความถี่ ของลำโพง PVDF 74
8.9	กราฟแสดงการตอบสนองความถี่ ของลำโพง PVDF 75
8.10	แสดงลักษณะของหูฟัง 78
8.11	แสดงส่วนประกอบภายในกระบอกกรวย 79
8.12	แสดงไมโครโฟน a) แบบคาร์บอน b) แบบไดนามิก 80



คำอธิบายสัญลักษณ์

รายการของตัวอักษร

A	พื้นที่ของแผ่นขั้วไฟฟ้า
C	ความจุไฟฟ้า
D	ค่าการขจัดทางไฟฟ้า (electric displacement)
E	สนามไฟฟ้า
G	โมเมนต์ของความยืดหยุ่น
P	โพลาริเซชัน
P _r	โพลาริเซชันตกค้าง (ที่ $E=0$, $X=0$)
P _s	สปอนเทเนียสโพลาริเซชัน
Q	ประจุบนขั้วไฟฟ้า
S	ความเครียด
S _r	ความเครียดตกค้าง
T	อุณหภูมิ
T _g	อุณหภูมิทรานซิชัน
V	ศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วไฟฟ้า
X	ความเค้น
Y	โมเมนต์ของยัง
d	ค่าคงตัวพีซโซอิเล็กตริกความเครียด
e	ค่าคงตัวพีซโซอิเล็กตริกความเค้น
k	ค่าคงตัวคู่ควบเชิงกลไฟฟ้า (electromechanical Coupling Constant)
q	ประจุอิสระภายในสาร
t	เวลา
V	ปริมาตรของผลึก
x, y, z	พิกัดคาที่เขียน
E	ค่าสภาพยอมของสาร
E ₀	ค่าสภาพยอมของสุญญากาศ
K	ค่าคงตัวอิเล็กโตรสแตติกชัน ($K = \partial E / \partial s$)

รายการสัญลักษณ์ (ต่อ)

μ	โมเมนต์ขั้วคู่
P	ความหนาแน่นประจุ
ϕ	ลำดับส่วนของปริมาตรภายในสาร (Volume fraction) ค่าสภาพรับไว้ได้ทางไฟฟ้า (electric susceptibility)

ดรรชนีบน (Superscript)

D, E, P, X และ S ที่อยู่บนตัวอักษรอื่นหมายถึงค่าเหล่านี้คงที่ เช่น ϵ^S หมายถึงค่าสภาพยอมเมื่อความเครียดคงที่

ดรรชนีล่าง (Subscripts)

a	เฟสอิสระฐาน
c	ผลึก
(1, 2, 3)	(x, y, z)
(1, 2, 3, 4, 5, 6)	(xx, yy, zz, yz, zx, xy)

แฟคเตอร์การเปลี่ยนหน่วย

$$d(\text{C/N}) = d(\text{cgs esu}) / (3 \times 10^9)$$

$$e(\text{C/m}) = e(\text{cgs esu}) / (3 \times 10^9)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย