การพัฒนาแผ่นฟิล์มพีวีดีเอฟ สำหรับทรานสดิวเซอร์คลื่นเสียง และการประยุกต์

นางสาว ชุมพร จันทมาศ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2532

ISBN 974-576-893-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

015861 I16214493

DEVELOPMENT OF PVDF FILM FOR ACOUSTIC TRANSDUCERS AND APPLICATION

Miss Choomporn Jantamas

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 สำหรับทรานสดิวเซอร์คลื่นเสียงและการประยุกต์
โดย	นางสาว ชุมพร จันทมาศ
ภาควิชา	พิสิกส์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.อนันตสิน เตชะกำพุช และรองศาสตราจารย์ ยุทธ อัครมาส

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ภิยโย ปันยารชุน)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร เส็งหะพันธุ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย โพธิ์พิจิตร)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.อนันตสิน เตชะกำพุช)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ยุทธ อัครมาส)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชุมพร จันทมาศ : 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

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาแผ่นฟิล์มพีวีดีเอฟให้มีสภาพพิซโซอิเลคตริก โดยผ่านขั้นตอน 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก ยืดแผ่นพีวีดีเอฟในน้ำอุณหภูมิ 80 องศา เซลเซียส ด้วยอัตราส่วนการยืด 3.5 เท่าของความยาวเดิม ขั้นตอนที่สอง นำแผ่นฟิล์มไปอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 3 นาทีในขณะที่ยังตรึงอยู่กับเครื่องยืด ขั้นตอนสุดท้าย จัดขั้วแผ่นฟิล์มด้วยสนามไฟฟ้าขนาด 2 MV/m โดยสลับขั้วของสนามไฟฟ้า 3 ครั้ง แต่ละครั้งใช้เวลา 3 นาที แผ่นฟิล์มที่ได้นี้จะมีสภาพพิซโซอิเลคตริก 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 ที่ประดิษฐ์จากแผ่นฟิล์มพีวีดีเอฟในงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้งานได้ดีพอสมควร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2532 .....

CHOOMPORN JANTAMAS : DEVELOPMENT OF PVDF FILM FOR ACOUSTIC TRANSDUCERS AND APPLICATION. THESIS ADVISOR : ASSO.PROF. ANUNTASIN TECHAGUMPUCH, 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 posseses 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 ฟิสิกส์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2532 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.ภิยโย ปันยารชุน รองศาสตราจารย์ ดร.อนันตสิน เตชะกำพุช รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย โพธิ์พิจิตร และรองศาสตราจารย์ ยุทธ อัครมาส ที่ได้ให้คำปรึกษาและดูแลด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณ พันจ่าอากาศเอก พูน อาจปรุ คุณแรงค์ชัย ศรีบัว คุณสุนทร บัวเนตร ที่ได้อำนวยความสะดวกเกี่ยวกับอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัย และขอขอบคุณ อ.พงษ์ ทรงพงษ์ และคุณวิศิษฐ์ ลีลาศิริวงศ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและให้ข้อมูลบางประการทำให้เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญรูปและแผนภูมิ ..... ฐ
คำอธิบายสัญญลักษณ์ ..... ณ

บทที่

1 บทนำ..... 1

2 ทฤษฎีพิซโซอิเลคตริก
ทฤษฎีพื้นฐานสำหรับสารพิซโซอิเลคตริก ... 4
ทฤษฎีทั่วไปของพิซโซอิเลคตริก
ในสารโพลิเมอร์..... 12

3 โครงสร้างของ PVDF 22

4 การเก็บประจุ
เทคนิคการประจุ 28
ผลจากการประจุ 31

5 ทฤษฎีพิซโซอิเลคตริกในสารโพลิเมอร์กึ่งผลึก
แบบจำลองขั้วคู่เกร็งของบรอดเฮิร์ท 33
ทฤษฎีของทาชิโร 36
แบบจำลองของวาดช 37

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ตารางสภาพพิชโซอิเลคตริกของสารต่างๆ	2
4.1	ตารางแสดงสมบัติบางอย่างของสารโพลิเมอร์	27
5.1	ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าคงตัวพิชโซอิเลคตริก ที่ได้จากการคำนวณและการวัด ที่อุณหภูมิ 20 °c ..	41

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปและแผนภูมิ

รูปที่		หน้า
1.1	กราฟแสดงพัฒนาการของสภาพพิซโซอิเลคตริก ของ PVDF	2
2.1	แสดงทิศทางของปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสภาพพิซโซอิเลคตริก	5
2.2	แสดงประจุที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้า	6
2.3	แสดงกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อ แผ่นฟิล์มได้รับความเค้น	10
2.4	แสดงแรงเค้นที่ให้แก่สาร	10
2.5	แสดงสารพิซโซอิเลคตริกที่มีประจุไฟฟ้า ฝังอยู่ภายใน	14
2.6	แสดงการเลื่อนตำแหน่งของประจุไฟฟ้า	14
2.7	แสดงตำแหน่งต่างๆในโพลิเมอร์	15
2.8	แสดงการเปลี่ยนจากสภาวะที่ไม่มีความเครียด เป็นสภาวะที่มีความเครียด	17
2.9	แสดงลักษณะแผ่นโพลิเมอร์ที่ประกบกันเป็นชั้นๆ ...	20
3.1	แสดงโครงสร้างของ PVDF I แบบเบตา II แบบแอลฟา III แบบแกมมา II$_\beta$ แบบแอลฟา - เบตา	22
3.2	แบบจำลองโมเลกุลของโครงผลึกแบบแอลฟา	23
3.3	แบบจำลองโมเลกุลของโครงผลึกแบบเบตา 1) สายโซ่แบบพลานาร์ซิกแซก 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 กราฟแสดงฮีสเตอไรซีสของค่าคงตัว พิซโซอิเลคตริกของ PVDF กับสนามไฟฟ้า 32

5.1 แสดงเวคเตอร์ของโพลาไรเซชัน 34

5.2 แบบจำลองของวาดะแสดงลักษณะกึ่งผลึก ของ PVDF 38

6.1 แสดงการขึ้นรูปฟิล์มโดยใช้เครื่องอัดรีด แบบสลอท - ดาย 44

6.2 ค่าคงตัวไดอิเลคตริกของฟิล์ม PVDF ที่เป็น ฟังก์ชันของความถี่ 46

6.3 ดิสซิเพชันแฟคเตอร์ของแผ่นฟิล์ม PVDF ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ 47

6.4 ค่าคงตัวพิซโซอิเลคตริกของ PVDF เป็นฟังก์ชันของเวลาการจัดขั้ว 48

6.5 ค่าคงตัวพิซโซอิเลคตริกของ PVDF เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิการจัดขั้ว 49

6.6 ค่าคงตัวพิซโซอิเลคตริกของ PVDF เป็นฟังก์ชันของอัตราส่วนการยืด 49

6.7 ค่าคงตัวพิซโซอิเลคตริกของ PVDF เป็นฟังก์ชันของความหนาแน่นของฟิล์ม 49

6.8 ค่าคงตัวพิซโซอิเลคตริกของ PVDF เป็นฟังก์ชันของสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการจัดขั้ว 50

7.1 แสดงลักษณะของเครื่องยืด 52

7.2 แสดงการจัดวางเครื่องมือที่ใช้ในการยืด 55

รูปที่ หน้า

7.3 แสดงลักษณะของเตาอบ 56
7.4 แสดงการจัดเตรียมแผ่นฟิล์ม PVDF เพื่อจัดขั้ว ... 58
7.5 แสดงลักษณะของอลูมิเนียมแผ่นบางที่ใช้
เป็นขั้วไฟฟ้าชั่วคราว 59
7.6 ไดอะแกรมแสดงวงจรไฟฟ้าที่ใช้ในการจัดขั้ว 60
7.7 แสดงส่วนประกอบของเครื่องฉาบสูญญากาศ 62

8.1 แสดงส่วนประกอบของลำโพงแบบ
ขดลวดเคลื่อนที่..... 67
8.2 แสดงการยืดหรือหดตัวของแผ่นฟิล์ม PVDF
เมื่อได้รับสนามไฟฟ้า 67
8.3 ไดอะแกรมแสดงลักษณะการสั่น
ของแผ่นฟิล์ม PVDF โค้ง 68
8.4 แสดงลำโพง PVDF 68
8.5 แสดงลักษณะการโค้งของแผ่นฟิล์มPVDF 70
8.6 แสดงการต่อสายไฟฟ้าเข้ากับขั้วไฟฟ้า
ของแผ่นฟิล์ม PVDF 72
8.7 แสดงการต่ออิมพิแดนซ์แมทชิงเข้ากับ
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

คำอธิบายสัญญลักษณ์

รายการของตัวอักษร

A	พื้นที่ของแผ่นข้วไฟฟ้า
C	ความจุไฟฟ้า
D	ค่าการขจัดทางไฟฟ้า (electric displacement)
E	สนามไฟฟ้า
G	โมดูลัสของความยืดหยุ่น
P	โพลาไรเซชัน
P_r	โพลาไรเซชันตกค้าง (ที่ E=0, X=0)
P_s	สปอนเตเนียสโพลาไรเซชัน
Q	ประจุบนข้วไฟฟ้า
S	ความเครียด
S_r	ความเครียดตกค้าง
T	อุณหภูมิ
T_c	อุณหภูมิทรานซิชัน
V	ศักย์ไฟฟ้าที่ข้วไฟฟ้า
X	ความเค้น
Y	โมดูลัสของยัง
d	ค่าคงตัวพิซโซอิเลคตริกความเครียด
e	ค่าคงตัวพิซโซอิเลคตริกความเค้น
k	ค่าคงตัวคู่ควบเชิงกลไฟฟ้า (electromechanical Coupling Constant)
q	ประจุอิสระภายในสาร
t	เวลา
V	ปริมาตรของผลึก
x,y,z	พิกัดคาทีเซียน
ϵ	ค่าสภาพยอมของสาร
ϵ_0	ค่าสภาพยอมของสูญญากาศ
K	ค่าคงตัวอิเลคโตรสตริคชัน ($K = \partial\epsilon / \partial S$)

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

แฟคเตอร์การเปลี่ยนหน่วย

d(C/N) = d(cgs esu) / ($3x10^5$)

e(C/m) = e (cgs esu) / ($3x10^5$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย