# การวัดสัมประสิทธิ์เพียโซอิเล็กตริกของแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์

นายวัฒนา เดชนะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2536

ISBN 974-582-923-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

019621 I1414921

# Measurement of Piezoelectric Coefficients of Polymer Films

Mr.Watana Dechana

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Physics

Graduate School

Chulalongkorn University

1993

ISBN 974-582-923-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวัดสัมประสิทธิ์เนียสโซอิเล็กตริกของแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์

โดย นายวัฒนา เดชนะ

ภาควิชา ฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปริกษา รองศาสตราจารย์ ดร.อนันตสิน เดชะกำพุช

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ภิยโย ปันยารชุน )

.....อาจารย์ที่ปริกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.อนันตสิน เดชะกำพุช)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมพงศ์ ฉัตราภรณ์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย โพธินิจิตร)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

วัฒนา เตชนะ : การวัดสัมประสิทธิ์เพียสโซอิเล็กตริกของแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ (MEASUREMENT OF PIEZOELECTRIC COEFFICIENTS OF POLYMER FILMS) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. อนันตสิน เตชะกำพุช, 70 หน้า. ISBN 974-582-923-4

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะพัฒนาฟิล์มพอลิเมอร์ PVDF ให้มีสภาพเพียสโซอิเล็กตริกที่แรง โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ความเครียดเพียสโซอิเล็กตริก $d_{31}$

ในการวิจัยนี้ ได้เตรียมฟิล์มให้มีสภาพเพียสโซอิเล็กตริกโดยการยืด อบ ทำอิเล็กโทรด และจัดขั้ว ตามลำดับ จากนั้นวัดค่า $d_{31}$ ด้วยการยืดปลายด้านหนึ่งของฟิล์มไว้ให้แน่นและถ่วงน้ำหนักที่ปลายตรงข้ามในแนวของการยืดเดิม วัดค่าประจุไฟฟ้าที่เกิดการถ่ายเทระหว่างอิเล็กโทรด แล้วนำไปคำนวณหาค่า $d_{31}$ พบว่าค่า $d_{31}$ ขึ้นอยู่กับหลายตัวแปรในกรรมวิธีของการเตรียมฟิล์ม ได้ศึกษาบทบาทของตัวแปรต่าง ๆ ทีละตัวโดยควบคุมตัวแปรอื่น ๆ ให้เหมือนกัน พบว่า $d_{31}$ จะมีค่ามาก เมื่อเวลาที่ใช้จัดขั้ว $t_p$ มีค่ามาก เมื่อจัดขั้วด้วยสนามไฟฟ้า $E_p$ สูง ๆ ที่อุณหภูมิ $T_p$ สูง ๆ แต่ค่า $d_{31}$ จะลดลงเมื่ออัตราส่วนของการยืดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ได้ทดลองยืดในอัตราส่วน $1/1_0$ ระหว่าง 4-6 เท่า เท่านั้น ในการเตรียมฟิล์มพบว่าค่าตัวแปร $t_p \approx 20$ นาที, $E_p \geq 80$ MV/m, $T_p \leq 80$ °C และ $1/1_0 = 4$ เป็นชุดที่เหมาะสมที่จะให้ฟิล์ม PVDF ซึ่งมีสภาพเพียสโซอิเล็กตริกแรง สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือทางเสียงได้ดี

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2535 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

##C125368 :MAJOR PHYSICS
KEY WORD: PIEZOELECTIRC COEFFICIENTS / POLYMER FILMS
WATANA DECHANA : MEASUREMENT OF PIEZOELECTRIC COEFFICIENTS OF POLYMER FILMS. THESIS ADVISOR : ASSO.PROF. ANUNTASIN TECHAGUMPUCH, Ph.D. 70 PP. ISBN 974-582-923-4

The aim of this research was to develop strong polyvinylidene fluoride(PVDF) piezoelectric films. The piezoelectric activities were investigated by measurement of $d_{31}$ coefficient.

In this work, piezoelectric films were prepared by stretching PVDF films. After annealing, aluminum was evaporated to both sides of the films to form electrodes. After poling by high electric field piezoelectric films were obtained. In measuring $d_{31}$, stress was applied along the stretched direction of the films and charge transferred between electrodes was measured. It was found that $d_{31}$ of prepared films increase with poling time ($t_p$), poling temperature ($T_p$) and poling electric field ($E_p$), but decrease with stretched ratio ($1/1_0$). The optimum condition for the preparation of high piezoelectric films is : $T_p \leq 80$ °C, $E_p \geq 80$ MV/m, $t_p \approx 20$ minutes and $1/1_0 = 4$. The piezoelectric PVDF films obtained in this work can be used as acoustic transducers for various acoustic instruments.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2535 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือและความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง จากท่านรองศาสตราจารย์ ดร.อนันตสิน เตชะกำพุช ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ท่านได้ให้การแนะนำช่วยเหลือทั้งทางด้านวิชาการและด้านการวิจัยอย่างใกล้ชิดตลอดเวลา อีกทั้งช่วยตรวจแก้ข้อผิดพลาดในการเขียนวิทยานิพนธ์ และในระหว่างการวิจัย ผู้เขียนยังได้รับความกรุณาจากท่านรองศาสตราจารย์ ดร.ภิรโย ปันยารชุน ที่ได้ให้ใช้เครื่องฉาบ (coating unit) พร้อมกับให้คำแนะนำในการใช้อย่างดียิ่ง ดังนั้นผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ทั้งสองเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

พร้อมกันนี้ขอกราบขอบพระคุณ ครูและอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้แก่ผู้เขียนรวมทั้งคุณพ่อ คุณแม่ที่ได้ให้กำลังใจในการศึกษาตลอดมา

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญตาราง.....ฌ

สารบัญรูป.....ญ

บทที่

1. บทนำ.....1

2. ปรากฏการณ์เพียสโซอิเล็กตริก.....3

2.1 ทฤษฎีเพียสโซอิเล็กตริก.....3

2.2 สัมประสิทธิ์เพียสโซอิเล็กตริก(Piezoelectric Coefficients).....5

2.3 พอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์[Polyvinylidene fluoride].....10

2.4 ฟิล์มเพียสโซอิเล็กตริก PVDF.....16

2.5 ขั้นตอนของการวิจัย.....19

3. การพัฒนาเครื่องมือที่ใช้เตรียมแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์เพียสโซอิเล็กตริก PVDF .....20

3.1 เตาอบ.....20

3.1.1 การออกแบบเตาอบ.....20

3.1.2 ตัวให้กำเนิดความร้อน.....24

3.1.3 การทำงานของเตาอบ.....25

3.2 เครื่องกำเนิดความต่างศักย์โวลต์สูง(High Voltage).....29

3.3 เครื่องวัดประจุไฟฟ้า(Charge Amplifier).....35

3.3.1 สมบัติทั่วๆไปของออปแอมป์.....36

สารบัญ(ต่อ)

3.3.2 ลักษณะการทำงานของออปแอมป์.....37

3.3.3 ลักษณะการทำงานของเครื่องวัดประจุอย่างง่าย.....40

4. การเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์เพียสโซอิเล็กตริก.....42

4.1 การยืดพอลิเมอร์ PVDF.....43

4.2 การอบฟิล์มพอลิเมอร์ PVDF.....45

4.3 การทำอิเล็กโทรด.....46

4.4 การจัดขั้ว.....51

4.5 การวัดค่าสัมประสิทธิ์เพียสโซอิเล็กตริกของฟิล์ม PVDF.....56

4.6 สัมประสิทธิ์ $d_{31}$ ของ PVDF เพียสโซอิเล็กตริกพอลิเมอร์.....60

เอกสารอ้างอิง.....68

ประวัติผู้เขียน.....70

# สารบัญตาราง

ตารางที่

1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับกระแสที่จ่าย.....34

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญรูป

รูปที่

2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของโพลาไรเซชันในเนื้อสารเมื่อมีแรงเค้น F มากระทำ...6

2.2 แสดงทิศของเวกเตอร์ทางกลและทางไฟฟ้าเมื่อฟิล์มพอลิเมอร์วางตัวไปตามแนวแกน 1.....7

2.3 แบบจำลองแสดงการจัดเรียงตัวของอะตอมคาร์บอนและอะตอมฟลูออรีน 3 แบบจากการวิเคราะห์โครงผลึกของ PVDF.....11

2.4(ก) แสดงระนาบซิกแซกของสายโซ่ของ PVDF เฟส β หรือรูปแบบ I.....12

(ข) แสดงการบิดของกลุ่ม $-CF_2$ จากระนาบซิกแซก.....12

2.5 แสดงการจัดเรียงอะตอมของคาร์บอนเป็นสายโซ่แบบ TGTG (แบบเฟส α หรือรูปแบบที่ II).....13

2.6 แสดงรูปแบบผลึกของ PVDF .....14

2.7(ก) แสดงประจุโพลาไรเซชันที่ผิวบนและล่างของแผ่นเพียสโซอิเล็กตริก.....17

(ข) แสดงแผ่นเพียสโซอิเล็กตริกที่อิเล็กโทรดทั้งสองถูกลัดวงจร ทำให้มีประจุจริงที่ด้านบนและล่าง และมีโพลาไรเซชัน $P_r$ .....17

(ค) แสดงแผ่นเพียสโซอิเล็กตริกซึ่งมีโพลาไรเซชัน P เนื่องจากสนาม E และความเค้น X ซึ่งเท่ากับแรง F ต่อพื้นที่ที่แรงกระทำ.....17

3.1 แผนภาพแสดงด้านหน้าของเตาอบ.....21

3.2 แผนภาพแสดงให้เห็นส่วนประกอบภายในของเตาอบ.....22

3.3 แผนภาพแสดงส่วนที่ให้ความร้อนแก่เตาอบ.....23

3.4 ภาพแสดงลักษณะภายนอกของเตาอบ.....25

3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเตาอบกับเวลา เมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 33 °C .....26

3.6 แสดงตัวอย่างการควบคุมอุณหภูมิ $T_p = 52 \pm 0.7$ °C และ $T_p = 80 \pm 1$ °C ในช่วงเวลา $t_p = 20$ นาที .....28

สารบัญรูป(ต่อ)

3.7 แสดงวงจรอะสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์ ซึ่งประกอบขึ้นจาก Timer IC 555....30

3.8 แสดงการเปรียบเทียบศักย์ $V_o$ กับ $V_c$ ที่เวลาต่างๆ.....31

3.9 กราฟแสดงค่าความถี่ของ $V_o$ ที่ความจุ C และความต้านทาน ($R_a+2R_b$) ค่าต่างๆ.....32

3.10 แสดงวงจรรวมของเครื่องกำเนิดความต่างศักย์โวลต์สูง.....33

3.11 แสดงภาพของเครื่องกำเนิดความต่างศักย์โวลต์สูง.....35

3.12 แสดงสัญลักษณ์ทั่วไปของออปแอมป์.....36

3.13 แสดงออปแอมป์ขณะเปิดลูป.....37

3.14 แสดงวงจรของเครื่องวัดประจุ (Charge Amplifier).....38

3.15 แสดงวงจรของเครื่องวัดประจุก่อนการทำงาน.....40

4.1 แผนภาพแสดงลักษณะของเครื่องยืด.....43

4.2 แสดงรูปร่างของแผ่นฟิล์มหลังจากผ่านการยืดแล้ว.....45

4.3 ภาพแสดงลักษณะของเครื่องฉาบ (coating unit).....47

4.4 แสดงส่วนประกอบภายในครอบแก้วของเครื่องฉาบ.....48

4.5 แสดงลักษณะแบบพิมพ์ของอิเล็กโทรด.....49

4.6 แสดงลักษณะของฟิล์มที่ทำอิเล็กโทรดและขั้วเสร็จแล้ว.....51

4.7 แสดงการจัดขั้วให้แก่แผ่นฟิล์ม PVDF .....53

4.8 แสดงลักษณะของฉากกั้นที่มีช่องสี่เหลี่ยมหลายๆช่อง.....55

4.9 แสดงการถ่ายเทประจุระหว่างด้านบน-ล่างของฟิล์มขณะมีแรงดึงฟิล์ม.....56

4.10 แสดงการวัดสัมประสิทธิ์ $d_{31}$ .....57

4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $d_{31}$ กับ $t_p$.....60

4.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ $d_{31}$ ไปกับ $E_p$ .....62

4.13 แสดงการเพิ่มของ $d_{31}$ ไปกับอุณหภูมิ $T_p$ ที่ใช้จัดขั้ว.....64

สารบัญรูป(ต่อ)

4.14 แสดงการแปรค่าของ $d_{31}$ ไปกับ $l/l_o$.....65