

การศึกษาและการประดิษฐ์ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มบาง โครงสร้าง
โพลีเมอร์/BaTiO₃

นาย งามอาจ ตั้งเมตตาคิจตกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



4 8 7 0 5 4 3 8 2 1

STUDY AND FABRICATION OF POLYMER/BaTiO₃
THIN FILM CAPACITORS

Mr. Ong-arj Tangmattajittakul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

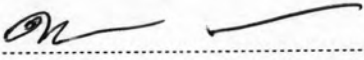
Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

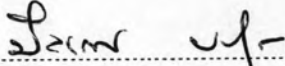
492268

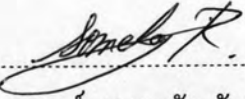
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาและการประดิษฐ์ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มบางโครงสร้าง
โพลีเมอร์/BaTiO₃
โดย นาย งาม งาม ตั้งเมตตาจิตตกุล
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.สมชัย รัตนธรรมพันธ์

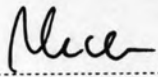
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

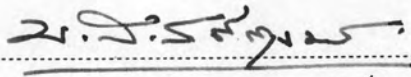

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.คิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการสอบ
(ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชัย รัตนธรรมพันธ์)


..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี สวัสดิ์ศตงามาร)

องอาจ ตั้งเมตตาจิตตกุล : การศึกษาและการประดิษฐ์ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มบางโครงสร้าง
โพลีเมอร์/BaTiO₃ (STUDY AND FABRICATION OF POLYMER/BaTiO₃
THIN FILM CAPACITORS) อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ. ดร. สมชัย รัตนธรรมพันธ์, 69 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอผลการศึกษาการประดิษฐ์ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มบางโครงสร้าง
โพลีเมอร์/BaTiO₃ เพื่อพัฒนาให้ได้ตัวเก็บประจุสำหรับการประยุกต์ในวงจรรวมและแผงวงจรทาง
ไฟฟ้า ที่มีราคาถูกและมีประสิทธิภาพสูง โดยได้ทดลองประดิษฐ์ตัวเก็บประจุบนแผ่นฐานกระจกที่
มีความหนาประมาณ 0.3 มิลลิเมตร ฟิล์มบางของโพลีเมอร์/BaTiO₃ ฝังตัวด้วยวิธีการหยดและเหวี่ยง
ออกด้วยความเร็วในการหมุน 2000 รอบต่อนาที โดยโครงสร้างของโพลีเมอร์ที่ใช้เพื่อเป็นเมตริก
ในการยึดอนุภาคของ BaTiO₃ ที่ใช้ในการทดลองในวิทยานิพนธ์ประกอบด้วยกัน 3 ชนิด ได้แก่ 1)
โพลีอะคิลิกแอซิด 2) โพลีอะคิลิกแอซิดโซเดียมซอลท์ 3) โพลีอิมิด

ในการศึกษาดังกล่าวได้มีการเปลี่ยนตัวแปรในการประดิษฐ์ ได้แก่ ปริมาณของ BaTiO₃
และขนาดของอนุภาคของ BaTiO₃ โดยอนุภาคที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยกัน 3 ขนาด ได้แก่ ขนาด
100 200 และ 400 นาโนเมตร ซึ่งในการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าได้ศึกษาตัวแปรทางไฟฟ้าได้แก่
ความถี่ และ แรงดันที่ใช้ เพื่อหาผลตอบสนองต่อความถี่ของค่าเก็บประจุ และ ผลตอบสนองต่อ
ความถี่ของค่าการสูญเสียในไดอิเล็กทริก

ผลการประดิษฐ์ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มบางโครงสร้างโพลีเมอร์/BaTiO₃ พบว่าโพลีเมอร์ที่ดี
ที่สุดซึ่งให้ผลตอบสนองต่อความถี่ของค่าเก็บประจุ และผลตอบสนองต่อความถี่ของค่าการสูญเสีย
ในไดอิเล็กทริกที่ดีที่สุด คือ โพลีอิมายด์ และ พบว่าอนุภาคที่เหมาะสมในการประดิษฐ์เป็นตัวเก็บ
ประจุแบบฟิล์มบางมากที่สุดคืออนุภาคขนาด 100 นาโนเมตร และปริมาณที่เติมในโพลีเมอร์ที่มีต่อ
คุณสมบัติตัวเก็บประจุ ดังนี้ กรณี ของ โพลีอะคิลิกแอซิดโซเดียมซอลท์ค่าตัวเก็บประจุมีค่าอยู่
ในช่วง 0.39 -6.37 nF/cm² สำหรับความเข้มข้น 1.7-3.3 % ต่อปริมาตร กรณีโพลีอะคิลิกแอซิด
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเก็บประจุและปริมาณ BaTiO₃ มีลักษณะคล้ายกับกรณีของเกลือโซเดียม
ของโพลีอะคิลิกแอซิด และกรณีของโพลีอิมายด์ค่าตัวเก็บประจุมีค่าอยู่ในช่วง 3.2-15.5 nF/cm²
สำหรับ BaTiO₃ 30-45 % ต่อปริมาตร

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อนิสิต.....*อนชว ตั้งเมตตาจิตตกุล*.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....*สมชัย รัตนธรรมพันธ์*.....
ปีการศึกษา.....2549.....

4870543821 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

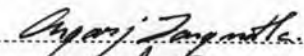

KEY WORD : THIN FILM CAPACITORS/ BaTiO₃/ POLYACRYLIC ACID/ POLYACRYLIC ACID SODIUM SALT/ POLYIMIDE

ONG-ARJ TANGMATTAJITAKUL : STUDY AND FABRICATION ON POLYMER/BaTiO₃ THIN FILM CAPACITORS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SOMCHAI RATANATHAMPAN, D. Eng., 69pp.

This thesis reports the invention of a new thin film capacitor by using polymer/BaTiO₃ for developing a capacitor that can be applied on IC application and print circuit boards. This new model capacitor merits are in low cost and high capability. In this study, the capacitors are fabricated using 0.3 mm glass base . Thin polymer film instrored by dropping and spinning at 2000 rpm. The polymer structure can be used as the matrix for holding BaTiO₃ particles. In this experiment, the polymers are Polyacrirc acid , Polyacrylic acid sodium salt and Polyimide.

In this study, the factors are BaTiO₃ concentration and the BaTiO₃ particle size which are 100, 200 , and 400 nanometers. The electrical measuring is examined with the frequencies and applied voltage factor to characterize the frequencies response of capacitors and the dielectric loss.

The results of the most effective are polyimide and the best particle size is 100 nanometres. Concentration added in polymer which affects the property of the capacitor are described as followed; in case of Polyacrylic acid sodium salt the capacitor status is in the range between 0.39-6.37 for 1.7-3.3% volume . For Polyacrylic acid the relation between capacitor and the concentration of BaTiO₃ is quite similar to the case of Polyacrylic acid sodium salt. For the polyimine the capaciter status is 3.2-15.5 nF/cm² for 30-45 % volume

Department Electrical Engineering Student's signature 
 Field of study Electrical Engineering Advisor's signature 
 Academic year 2006

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร. สมชัยรัตนธรรมพันธ์ ที่คอยสนับสนุนช่วยเหลือให้คำปรึกษาและกำลังใจในเวลาที่ต้องปล่อยให้สู้กับการทำวิทยานิพนธ์ต่อไป

ขอกราบขอบคุณอาจารย์ที่เป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์อันได้แก่ ศ.ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว ศ.ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม และรศ.ดร. มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆารที่เสียสละเวลาอันมีค่ายิ่งในการสอบวิทยานิพนธ์ และช่วยชี้แนะแนวทางที่ควรจะเป็นและข้อบกพร่องของผู้วิจัยเพื่อแก้ไขให้ดีขึ้น

ขอขอบคุณ คุณบัณฑิตา รัฐวิเศษ คุณศุภโชค ไทยน้อย คุณพรชัย ช่างม่วง คุณพัฒนา พันธุวงศ์ คุณขวัญเรือน ไทยน้อย และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านเทคนิคและงานทางด้านธุรการต่างๆ โดยเฉพาะน้ำใจที่มีให้ผู้วิจัยเมื่อมีปัญหาในการทำวิจัย รวมถึงเรื่องอื่นๆ

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ นิสิตปริญญาเอก และโท ในห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำตลอดจนช่วยแก้ปัญหาที่ประสบในการทำงานและเรื่องต่างๆ ด้วยความเต็มใจ

ขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนในห้องประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาแก่ผู้วิจัยจนสามารถสำเร็จการศึกษาและสำเร็จงานวิจัยชิ้นนี้ลง

ขอขอบคุณห้องวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ และบริษัทเม็กเทล ประเทศไทย ที่ช่วยสนับสนุน วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณเสาวลักษณ์ ผลาพิบูลย์ คุณฉัตรมา สุวรรณรัตน์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ช่วยให้อุปกรณ์ในงานวิจัยและเป็นกำลังใจในยามที่ท้อแท้

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณอันสูงสุดของ บิดาผู้ล่วงลับ และมารดาผู้คอยส่งเสริม เป็นกำลังใจ ให้แนวทางในการดำเนินชีวิต สร้างนิสัยในการรักการศึกษา ตลอดจนคุณต่างๆอีกนานัปการที่ไม่สามารถบรรยายได้จนจบ ที่ได้ทำให้ลูกที่เป็นผู้วิจัยได้สำเร็จมาจวบจนถึงวันนี้ คุณประโยชน์ต่างๆที่ได้ในงานวิจัย ขอผลนั้น ได้บังเกิดแก่บุพการี ตลอดจนผู้มีคุณให้ประสบแต่โชคตลอดทุกภพ ทุกชาติจวบจนถึงแก่พระนิพพานในสากลชาติด้วยเทอญ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 ทฤษฎี.....	3
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของสาร ไดอิเล็กทริก.....	3
2.2 การใช้วงจรสมมูลไฟฟ้าที่อธิบายถึงไดอิเล็กทริก.....	6
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับการ โพลาริไรซ์.....	7
2.4 การพังทลายของ ไดอิเล็กทริก(Dielectric breakdown).....	9
2.5 วัสดุเฟอร์โรอิเล็กทริก (Ferroelectric material).....	11
3 การออกแบบและการทดลอง.....	16
3.1 การออกแบบตัวเก็บประจุ.....	16
3.2 การเตรียมวัสดุและขั้นตอนการประดิษฐ์.....	17
3.3 การวัดทดสอบตัวอย่าง.....	23
3.4 แบบจำลองในการวัดคุณสมบัติตัวเก็บประจุ.....	25
4 ผลการทดลอง.....	26
4.1 คุณสมบัติตัวเก็บประจุฟิล์มบาง โครงสร้าง PAAS/BaTiO ₃	26
4.2 คุณสมบัติตัวเก็บประจุฟิล์มบาง โครงสร้าง PAA/BaTiO ₃	40

บทที่	ช หน้า
4.3 คุณสมบัติตัวเก็บประจุฟิล์มบาง โครงสร้าง PI/BaTiO ₃	43
5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	56
5.1 ผลการศึกษาการประดิษฐ์ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มบาง โครงสร้าง โพลีเมอร์/BaTiO ₃	56
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	58
รายการอ้างอิง.....	59
ภาคผนวก.....	60
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	69

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างค่าเปอร์มิตติวิตีสัมพัทธ์และค่าเก็บประจุ.....	4
2.2 ตัวอย่างแรงดันพังทลายสำหรับแก้วและเซรามิก.....	10
2.3 ตัวอย่างวัสดุเฟอร์โรอิเล็กทริกและตัวแปรที่สำคัญ.....	15
3.1 ตัวอย่างหน้าที่ของตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้า.....	17
4.1 ตารางสรุปค่าตัวเก็บประจุของตัวเก็บประจุฟิล์มบางโครงสร้าง PAAS/ BaTiO ₃ โดย เปลี่ยนขนาดของอนุภาค BaTiO ₃ ที่วัดได้ที่ 100 kHz ที่แรงดัน 1 V ในอาทิตยที่ 4	35
4.2 ตารางสรุปค่าตัวเก็บประจุของตัวเก็บประจุฟิล์มบางโครงสร้าง PAAS/ BaTiO ₃ โดย เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นที่วัดได้ที่ 100 kHz ที่แรงดัน 1 V ในอาทิตยที่ 4	36
4.3 ตารางสรุปค่าตัวเก็บประจุของตัวเก็บประจุฟิล์มบางโครงสร้าง PI/ BaTiO ₃ โดย เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นที่วัดได้ที่ 100 kHz ที่แรงดัน 1 V ในอาทิตยที่ 4	48
5.1 ค่าทางไฟฟ้าที่ทำการวัดที่ความถี่ 100 Hz 1V ในสัปดาห์ที่ 1	58

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 กราฟระหว่างความสามารถในการโพลาไรซ์กับความถี่.....	5
2.2 (ก) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและค่าอุณหภูมิของวัสดุเฟอร์โรอิเร็กทริก (ข) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า spontaneous polarization P_s และ ค่าอุณหภูมิของ วัสดุเฟอร์โรอิเร็กทริก.....	15
3.1 รูปโครงสร้างตัวเก็บประจุ.....	16
3.2 รูปกราฟของ Zeta potential เทียบกับค่า pH ของสารละลายที่มีอนุภาค $BaTiO_3$ โดยมี การเปลี่ยนความเข้มข้น.....	18
3.3 รูปกราฟพล็อตระหว่างค่า pH ก่อนกวนกับความเข้มข้นของ Ba^{2+} ในหน่วย ppm.....	19
3.4 รูปเครื่อง Evaporator และ รูปจำลองภายใน Bell jar.....	20
3.5 รูปของโลหะที่ใช้ทำขั้วก่อนและหลังหยดสารละลายเพื่อทดสอบ.....	21
3.6 รูปเครื่อง spin และรูปเวลาต่อความเร็วรอบที่ใช้.....	22
3.7 รูปโครงสร้างตัวเก็บประจุแบบฟิล์มบาง.....	22
3.8 รูปเครื่องวัด LCR meter HP4274 Multi-Frequency LCR meter.....	23
3.9 รูปขั้ววัดที่ใช้วัดในร่วมกับเครื่องวัด LCR ในงานวิจัย.....	24
3.10 รูปเครื่อง Confocal laser microscope.....	24
3.11 รูปของวงจรสมมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	25
4.1 ภาพผิวหน้าผ่าน Confocal microscope ของตัวเก็บประจุฟิล์มบางโครงสร้าง PAAS/ $BaTiO_3$ ขนาดอนุภาค 100 nm ความเข้มข้น 1.7 % ต่อปริมาตร (ก) ผิวหน้าขั้วโลหะด้านบนของตัวอย่าง (ข) ภาพขยายผิวหน้าขั้วโลหะด้านบน (ค) ภาพภาคตัดขวางของตัวอย่าง.....	27
4.2 ภาพผิวหน้าผ่าน Confocal microscope ของตัวเก็บประจุฟิล์มบางโครงสร้าง PAAS/ $BaTiO_3$ ขนาดอนุภาค 200 nm ความเข้มข้น 1.7 % ต่อปริมาตร (ก) ผิวหน้าขั้วโลหะด้านบนของตัวอย่าง (ข) ภาพขยายผิวหน้าขั้วโลหะด้านบน (ค) ภาพภาคตัดขวางของตัวอย่าง.....	28
4.3 ภาพผิวหน้าผ่าน Confocal microscope ของตัวเก็บประจุฟิล์มบางโครงสร้าง PAAS/ $BaTiO_3$ ขนาดอนุภาค 400 nm ความเข้มข้น 1.7 % ต่อปริมาตร (ก) ผิวหน้าขั้วโลหะด้านบนของตัวอย่าง (ข) ภาพขยายผิวหน้าขั้วโลหะด้านบน (ค) ภาพภาคตัดขวางของตัวอย่าง.....	29

4.15 รูปผิวหน้าผ่าน Confocal laser microscope ของตัวเก็บประจุชนิดฟิล์มบางโครงสร้าง PI/ BaTiO₃ ขนาดอนุภาค 100 nm ความเข้มข้น 45 % ต่อปริมาตร(ก) รูปผิวหน้าขั้วโลหะด้านบนของตัวอย่าง (ข) รูปขยายของผิวหน้าขั้วโลหะด้านบน (ค) รูปภาพภาคตัดขวางของตัวอย่าง..... 47

4.16 รูป (ก) ค่าตัวเก็บประจุ (ข) ค่าสูญเสียในไดอิเล็กทริกของตัวเก็บประจุฟิล์มบางโครงสร้าง PI/ BaTiO₃ ที่มี BaTiO₃ ขนาด 100 nm ในปริมาณ 30% ต่อปริมาตร..... 49

4.17 รูป (ก) ค่าตัวเก็บประจุ (ข) ค่าสูญเสียในไดอิเล็กทริกของตัวเก็บประจุฟิล์มบางโครงสร้าง PI/ BaTiO₃ ที่มี BaTiO₃ ขนาด 100 nm ในปริมาณ 35% ต่อปริมาตร..... 50

4.18 รูป (ก) ค่าตัวเก็บประจุ (ข) ค่าสูญเสียในไดอิเล็กทริกของตัวเก็บประจุฟิล์มบางโครงสร้าง PI/ BaTiO₃ ที่มี BaTiO₃ ขนาด 100 nm ในปริมาณ 40% ต่อปริมาตร..... 51

4.19 รูป (ก) ค่าตัวเก็บประจุ (ข) ค่าสูญเสียในไดอิเล็กทริกของตัวเก็บประจุฟิล์มบางโครงสร้าง PI/ BaTiO₃ ที่มี BaTiO₃ ขนาด 100 nm ในปริมาณ 45% ต่อปริมาตร..... 52

4.20 รูป (ก) ค่าตัวเก็บประจุ (ข) ค่าสูญเสียในไดอิเล็กทริกของตัวเก็บประจุฟิล์มบางโครงสร้าง PI/ BaTiO₃ ที่มี BaTiO₃ ขนาด 100 nm ในปริมาณ 30% ต่อปริมาตร ที่ 100 mV..... 53

4.20 รูป (ก) ค่าตัวเก็บประจุ (ข) ค่าสูญเสียในไดอิเล็กทริกของตัวเก็บประจุฟิล์มบางโครงสร้าง PI/ BaTiO₃ ที่มี BaTiO₃ ขนาด 100 nm ในปริมาณ 30% ต่อปริมาตร ที่ 10 mV..... 54