การเตรียมฟิล์มบางเลดไททาเนตที่ดัดแปรด้วยแคลเซียมโดยวิธีโซล-เจลด้วยไทรออล

นางสาวนิตยา แก้วแพรก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิก ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545
ISBN 974-17-1056-9
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FABRICATION OF CALCIUM MODIFIED LEAD TITANATE THIN FILMS USING TRIOL SOL-GEL ROUTE.

Miss Nittaya Keawprak

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Ceramic Technology

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-1056-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมฟิล์มบางเลดไททาเนตที่ดัดแปรด้วยแคลเซียมโดยวิธีโซล-เจลด้วยไทรออล
โดย	นางสาวนิตยา แก้วแพรก
สาขาวิชา	เทคโนโลยีเซรามิก
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. สุพัตรา จินาวัฒน์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร. สุทธิพร ชีวสาธน์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย โพธิ์พิจิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพัตรา จินาวัฒน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร. สุทธิพร ชีวสาธน์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ศิริธันว์ เจียมศิริเลิศ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นิตยา แก้วแพรก : การเตรียมฟิล์มบางเลดไททาเนตที่ดัดแปรด้วยแคลเซียมโดยวิธีโซล-เจลด้วยไทรออล (FABRICATION OF CALCIUM MODIFIED LEAD TITANATE THIN FILMS USING TRIOL SOL-GEL ROUTE) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. สุพัตรา จินาวัฒน์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร. สุทธิพร ชีวสาธน์, 117 หน้า ISBN 974-17-1056-9

ระบบโซล-เจลแบบไทรออลเพื่อผลิตฟิล์มบางดัดแปรเลดแคลเซียมไททาเนต ($Pb_{1-x}Ca_xTiO_3$, x = 0.15, 0.24) สารโซลเตรียมจากรีฟลักซ์ของสารตั้งต้น ได้แก่ เลดอะซีเตต แคลเซียมไนเตรต ไททาเนียม ไดไอโซโพรพอกไซด์ บิสอะซีติลอะซีโตเนต และ 1,1,1 ทริสไฮดรอกซีเมทิลโพรเพน สารโซลถูกเจือจางด้วยเมทานอลและเคลือบบนแผ่นรองชนิดซิลิกอนเคลือบแพลททินัม ($100Si/SiO_2/Ti/Pt_{(111)}$) เพื่อผลิตฟิล์มบางโดยวิธีการ spin-coating ฟิล์มที่มีคุณภาพดีเตรียมได้จากขั้นตอนการอบที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส ตามด้วยการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส จนเกิดเฟสเดียวของโครงสร้างสารประกอบเปอรอฟสไกท์ การวิเคราะห์เบื้องต้นด้วยเครื่อง FTIR แสดงคุณลักษณะของสาร by-product ประกอบด้วย ไอโซโพรพานอล ไอโซโพรพิลอะซีเตต และโซลตั้งต้นประกอบด้วยทั้งอะซิทิลอะซีโตเนต ฟิล์มที่เคลือบ 1 ชั้น หนาถึงประมาณ 1.1 ไมครอน สามารถเตรียมได้จากโซลที่มีความเข้มข้น 0.9 โมลาร์ ความสัมพันธ์ระหว่างโพลาไรเซชันและสนามไฟฟ้าแสดงที่ฟิล์ม 1 ชั้นของ $Pb_{1-x}Ca_xTiO_3$ มีความหนาประมาณ 0.5 ไมครอน ถูกตรวจวัดที่อุณหภูมิห้องด้วยความเข้มสนามไฟฟ้า 300 $kVcm^{-1}$ จะให้ค่า P_r เท่ากับ 6 $\mu C/cm^2$ และค่า E_c เท่ากับ 116 kV/cm สำหรับ x = 0.15 ส่วน P_r เท่ากับ 6 $\mu C/cm^2$ และค่า E_c เท่ากับ 118 kV/cm เมื่อ x = 0.24 และการเคลือบฟิล์ม 2 ชั้นที่ x = 0.15 ให้ความหนาประมาณ 1 ไมครอน จะให้ค่า P_r เท่ากับ 6 $\mu C/cm^2$ และค่า E_c เท่ากับ 71 kV/cm

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วัสดุศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา เทคโนโลยีเซรามิก ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2545 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4272319423 : MAJOR CERAMIC TECHNOLOGY

KEY WORD : SOL-GEL / TRIOL / LEAD CALCIUM TITANATE

NITTAYA KEAWPRAK : FABRICATION OF CALCIUM MODIFIED LEAD TITANATE THIN FILMS USING TRIOL SOL-GEL ROUTE.

THISIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SUPHATRA JINAWATH, Ph.D. THISIS

COADVISOR : SUTHIPORN CHEWASATN, Ph.D. 117 pp. ISBN 974-17-1056-9

A triol-based sol-gel system was modified to fabricate thin films of lead calcium titanate ($Pb_{1-x}Ca_xTiO_3$, x = 0.15, 0.24) . The precursor sols were prepared from the refluxed starting reagents of lead acetate, calcium nitrate, titanium diisopropoxide bisacetylacetonate and 1,1,1-tris(hydroxymethyl)-propane. The sols was diluted with methanol and deposited on platinised silicon substrate ((100)$Si/SiO_2/Ti/Pt_{(111)}$) to produce thin films by spin coating. The best quality films were made by pre-fired at 80°C and then firing at a temperature of 500°C to induce crystallisation to the perovskite phase. Preliminary characterization of by-product and sol precursor by FTIR suggested that the by-product consisted of isopropanol isopropylacetylacetate and acetylacetonate substance were found in sol precursor. Uncracked single-layer films of Ca-PT (x = 0.15) with thickness up to ~ 1.1 μm could be prepared from 0.9 M sols. The polarization-electric field response exhibited that a single layer of $Pb_{1-x}Ca_xTiO_3$ films with ~0.5 μm thick, measured at 300 $kVcm^{-1}$ gave P_r value of 6 μC/cm and E_c value of 116 kV/cm at x = 0.15 and P_r value of 6 $\mu C/cm^2$ and E_c value of 118 kV/cm at x = 0.24. The film coated 2 layers at x = 0.15 with ~1μm thick gave P_r value of 6 $\mu C/cm^2$ and E_c value of 71 kV/cm.

Department Materials Science

Field of study Ceramic Technology

Academic year 2002

Student's signature N. Keawprak

Advisor's signature Suphatra

Co-advisor's signature S. Chewasatn

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รศ.ดร. สุพัตรา จินาวัฒน์ และ ดร. สุทธิพร ชีวสาธน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งกรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆในการวิจัยด้วยดีตลอดมา ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ให้ข้อเสนอแนะ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณท่าน ผวท. ท่านรอง ผวท.บริการ นางลดาวัลย์ โชติมงคล ท่าน รอง ผวท. วิจัย นางนงลักษณ์ ปานเกิดดี ที่ให้การสนับสนุนการศึกษาครั้งนี้ และขอขอบคุณฝ่ายเทคโนโลยีวัสดุ ศูนย์พัฒนาและวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ วท. ที่ให้การสนับสนุนการทำงานในทุก ๆ ด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สารเคมี สถานที่ดำเนินการวิจัย และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือทดลองและวิเคราะห์ทดสอบตลอดโครงการ จนงานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ดร. ชุติมา เอี่ยมโชติชวลิต ดร. ศิริพร ลาภเกียรติถาวร ดร. สุเมธ ภูมิอภิรดี และ ดร.สนอง เอกสิทธิ์ ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะและช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา ขอขอบคุณ คุณเฉลิมชัย จีระพันธ์ คุณชุมพล บุษบก คุณชนินทร์ สุหร่ายนาค คุณสมศรี ทวีถาวร ตลอดจน เพื่อน ๆ พนักงานในฝ่ายเทคโนโลยีวัสดุทุกคนที่คอยให้กำลังใจและคำปรึกษาที่ดีตลอดมา

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ปริญญาโททุกคนที่คอยให้คำแนะนำและช่วยเหลือในด้านข่าวสารและอำนวยความสะดวกในการติดต่อกับมหาวิทยาลัยด้วยดี

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดาและญาติ ๆ ที่ให้ความสนับสนุนและเป็นกำลังใจในการศึกษามาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนด้านการเงินด้วยทุนสนับสนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 เฟอร์โรอิเล็กทริกซิตี	3
2.2 โครงสร้างและสมบัติของเลดไททาเนต ($PbTiO_3$)	7
2.3 เลดไททาเนตกับสารตัวเติม	9
2.4 การใช้ประโยชน์จากฟิล์มบางที่ใช้สารตั้งต้น ($PbTiO_3$)	12
2.5 การผลิตฟิล์มบางเฟอร์โรอิเล็กทริก	15
2.5.1 เทคนิคการเคลือบทางกายภาพ (Physical Techniques)	15
2.5.2 เทคนิคการเคลือบทางเคมี (Chemical Techniques)	16
2.6 กระบวนการโซล-เจล (Sol-gel)	18
2.6.1 สารตั้งต้น (Precursor)	20
2.6.2 การเกิดเจล (Gelation)	23
2.6.3 การขึ้นรูปฟิล์มบาง (Forming)	23
2.6.4 กระบวนการทำเจลให้แห้ง (Drying)	25
2.6.5 การเผาซินเตอร์ (Sintering)	26
2.6.6 กระบวนการโซล-เจลสำหรับฟิล์มบาง $PbTiO_3$	26
บทที่ 3 การทดลอง	32
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	32
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	32
3.3 การเตรียมสารละลายโซล	33
3.3.1 การเตรียมโดยวิธีไดออล (Diol route)	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.2 การเตรียมโดยวิธีไทรออล (Triol route).....	37
3.4 การเตรียมฟิล์มบาง.....	39
3.5 การศึกษาสมบัติทางเคมี ทางกายภาพและทางไฟฟ้าของวัสดุ.....	41
3.5.1 หมู่ฟังก์ชันของสารโดยใช้เทคนิค FTIR.....	41
3.5.2 การศึกษาลักษณะกายภาพทั่วไปของฟิล์ม.....	42
3.5.3 การศึกษาลักษณะของเฟส.....	42
3.5.4 อิทธิพลความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของเจล.....	43
3.5.5 การศึกษาลักษณะของจุลโครงสร้าง.....	43
3.5.6 การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุ.....	43
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	45
4.1 การเตรียมโซล.....	45
4.1.1 ผลการเตรียม Ca-PT โดยกระบวนการไทรออล	45
4.1.2 ผลการเตรียม Ca-PT โดยกระบวนการไดออล.....	51
4.2 ผลการผลิตฟิล์มบางและคุณภาพ.....	59
4.2.1 กระบวนการไทรออล.....	59
4.2.1.1 การผลิตฟิล์มบาง	59
4.2.1.2 พฤติกรรมทางความร้อนของเจล.....	69
4.2.1.3 การวิเคราะห์ด้วย XRD.....	70
4.2.1.4 ลักษณะจุลโครงสร้างของฟิล์ม.....	79
4.2.1.5 สมบัติทางไฟฟ้า.....	84
4.2.2 กระบวนการไดออล.....	92
4.2.2.1 การผลิตฟิล์มบาง	92
4.2.2.2 พฤติกรรมทางความร้อนของเจล.....	98
4.2.2.3 การวิเคราะห์ด้วย XRD.....	98
4.2.2.4 ลักษณะจุลโครงสร้างของฟิล์ม.....	102
4.2.2.5 สมบัติทางไฟฟ้า.....	105
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	107
รายการอ้างอิง.....	109

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก..... 114

ภาคผนวก 115

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 119

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การใช้ประโยชน์ของฟิล์มบางของสารตั้งต้น $PbTiO_3$.....	13
3.1	สัดส่วนทางเคมีของการเตรียมสารตั้งต้น Pb_{1-x} Ca_xTiO_3.....	36
4.1	สรุปผลการวิเคราะห์ FTIR.....	57
4.2	ค่า c/a ratio ของผงเซรามิก $Pb_{1-x}Ca_xTiO_3$ (x = 0.15, 0.24) ที่ อุณหภูมิต่าง ๆ.....	73
4.3	ค่า c/a ratio ที่ได้จากฟิล์มบาง $Pb_{1-x}Ca_xTiO_3$ (x = 0.15, 0.24) ที่ อุณหภูมิต่าง ๆ.....	78
4.4	แผนผังค่า P_r (ก) และ E_c (ข) ที่สามารถตรวจวัดบนฟิล์มของ $Pb_{0.85}Ca_{0.15}TiO_3$.....	87
4.5	แผนผังค่า P_r (ก) และ E_c (ข) ที่สามารถตรวจวัดบนฟิล์มของ $Pb_{0.76}Ca_{0.24}TiO_3$.....	88
4.6	แผนผังค่า P_r (ก) และ E_c (ข) ที่สามารถตรวจวัดบนฟิล์มของ $Pb_{0.85}Ca_{0.15}TiO_3$ จำนวนเคลือบ 2 ชั้น.....	89
4.7	สรุปค่าไฟฟ้าที่ตรวจวัดบนฟิล์มของ $Pb_{1-x}Ca_xTiO_3$	90
4.8	สรุปค่าไฟฟ้าที่ตรวจวัดบนฟิล์มของ $Pb_{1-x}Ca_xTiO_3$ ของ S.Chewasatn.....	91
4.9	ค่า c/a ratio ของผงเซรามิก $Pb_{1-x}Ca_xTiO_3$ (x = 0.15, 0.24) ที่ อุณหภูมิต่าง ๆ.....	101
4.10	แผนผังค่า P_r (ก) และ E_c (ข) ที่สามารถตรวจวัดบนฟิล์มของ $Pb_{0.85}Ca_{0.15}TiO_3$ จำนวนเคลือบ 2 ชั้น.....	105
4.11	เปรียบเทียบสมบัติทางไฟฟ้าของสาร $Pb_{0.85}Ca_{0.15}TiO_3$ ที่เคลือบ ฟิล์มหนา 2 ชั้น.....	106
4.12	จุดด้อยและจุดเด่นของกระบวนการโซล-เจลไทรออลและกระบวนการ โซล-เจลไดออล.....	106

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แผนผังการจำแนกผลึก 32 point groups และความสัมพันธ์ของสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริก.....	4
2.2	ฮีสเทอรีซิสลูปของสารเฟอร์โรอิเล็กทริก และสมบัติ Pr : remanent polarization, Ps : spontaneous polarization, Ec : coercive field.....	5
2.3	หน่วยเซลของ PbTiO3.....	8
2.4	เฟสไดอะแกรมของ $PbO-TiO_2$.....	8
2.5	แลตทิซพารามิเตอร์ของระบบ $PbTiO_3 - CaTiO_3$ ที่อุณหภูมิห้อง.....	10
2.6	แลตทิซพารามิเตอร์ของฟิล์ม $Pb_{1-x}Ca_xTiO_3$ บนแผ่นรองแพลตินัม.....	11
2.7	แผนผังโครงสร้างฟิล์มบาง PCT สำหรับตัวตรวจจับสัญญาณ.....	12
2.8	สเปกตรัมความถี่ของแถบรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า.....	14
2.9	ขั้นตอนกระบวนการเคลือบโดยการเหวี่ยง (spin-coating).....	24
2.10	ขั้นตอนการแห้งของเจล.....	25
2.11	การเตรียมสารละลายตั้งต้นของ PZT โดยวิธีไทรออล (Sriprang).....	31
3.1	การสังเคราะห์สารละลายโซลของเลดแคลเซียมไททาเนตโดยวิธีการโซลเจลด้วยไดออล.....	35
3.2	สังเคราะห์สารละลายโซลของแลดแคลเซียมไททาเนตโดยวิธีการโซลเจลด้วยไทรออล.....	38
3.3	เครื่องสำหรับทำฟิล์มบาง (Spin coater).....	40
3.4	กระบวนการทำฟิล์มบาง.....	41
3.5	ภาพตัดขวางของชิ้นงานที่จะทดสอบค่าทางไฟฟ้า.....	44
3.6	วงจร Sawer – Tower.....	44
4.1	สเปกตรัม FTIR ของ ก. $Pb(OOCCH_3)_2.3H_2O$ ข. $Ca(NO_3)_2.4H_2O$ ค. $Ti(OC_3H_7)_2(CH_3COCHCOCH_3)_2$ ง. $CH_3CH_2C(CH_2OH)_3$ จ.สารที่ได้จากการกลั่น ฉ. โซลตั้งต้น.....	48-49
4.2	สเปกตรัม FTIR ของโซลที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการไทรออล ก. ไม่ให้ความร้อน ข. ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C ค. ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 300°C.....	50

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.3	สเปกตรัม FTIR ของ ก. $Pb(OOCCH_3)_2.3H_2O$ ข. $Ca(NO_3)_2.4H_2O$ ค. $Ti(OC_3H_7)_2(CH_3COCHCOCH_3)_2$ ง. $HO(CH_2)_3OH$ จ.สารที่ได้จากการกลั่น ฉ. โซลตั้งต้น.....	53-54
4.4	สเปกตรัม FTIR ของโซลที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการไทรออล ก. ไม่ให้ความร้อน ข. ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C ค. ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 300°C.....	56
4.5	ภาพถ่าย optical microscope ด้วยกำลังขยาย 100 เท่าของสาร $Pb_{0.85}Ca_{0.15}TiO_3$ ที่ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที preheat นาน 1 นาทีที่อุณหภูมิ ก. 80 องศาเซลเซียส ข. 100 องศาเซลเซียส.....	60
4.6	ภาพถ่าย optical microscope ด้วยกำลังขยาย 100 เท่าของสาร $Pb_{0.85}Ca_{0.15}TiO_3$ ที่ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที preheat 80 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา ก. 5 นาที ข. 30 นาที ค. 60 นาที ง.120 นาที.....	61
4.7	ความสัมพันธ์ความหนาของฟิล์มกับความเข้มข้นของ $Pb_{0.85}Ca_{0.15}TiO_3$.....	62
4.8	ภาพถ่ายจุลโครงสร้างภาคตัดขวางของฟิล์มเผาที่อุณหภูมิ 500 °C ของ $Pb_{0.85}Ca_{0.15}TiO_3$ ที่ความเข้มข้น ก. 0.5 โมลาร์ ข. 0.7 โมลาร์.....	63
4.9	ภาพถ่ายฟิล์มบาง $Pb_{0.85}Ca_{0.15}TiO_3$ ที่ความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ preheat ที่อุณหภูมิ 80°C นาน 30 นาที และเผาที่ 500°C นาน 30 นาที ก. จากกล้อง optical microscope กำลังขยาย 100 เท่า ข. ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 2000 เท่า	65
4.10	ภาพถ่ายฟิล์มบาง $Pb_{0.85}Ca_{0.15}TiO_3$ ที่ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ preheat ที่อุณหภูมิ 80°C นาน 30 นาที และเผาที่ 500°C นาน 30 นาที ก. จากกล้อง optical microscope กำลังขยาย 100 เท่า ข. ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 2000 เท่า.....	66

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.11	ภาพถ่ายฟิล์มบาง $Pb_{0.85}Ca_{0.15}TiO_3$ ที่ความเข้มข้น 0.7 โมลาร์ preheat ที่อุณหภูมิ 80°C นาน 30 นาที และเผาที่ 500°C นาน 30 นาที ค. จากกล้อง optical microscope กำลังขยาย 100 เท่า ง. ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 2000 เท่า	67
4.12	ภาพถ่ายฟิล์มบาง $Pb_{0.85}Ca_{0.15}TiO_3$ ที่ความเข้มข้น 0.9 โมลาร์ preheat ที่อุณหภูมิ 80°C นาน 30 นาที และเผาที่ 500°C นาน 30 นาที จ. จากกล้อง optical microscope กำลังขยาย 100 เท่า ฉ. ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 2000 เท่า	68
4.13	ข้อมูล TGA ของเจลแห้ง $Pb_{0.85}Ca_{0.15}TiO_3$ ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10°C ต่อนาที	69
4.14	แผนผังแสดงขั้นตอนการ Decomposition.....	70
4.15	กราฟ XRD ของผง $Pb_{0.85}Ca_{0.15}TiO_3$ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	71
4.16	กราฟ XRD ของผง $Pb_{0.76}Ca_{0.24}TiO_3$ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	72
4.17	กราฟ XRD ของฟิล์มบาง $Pb_{0.85}Ca_{0.15}TiO_3$ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	74
4.18	กราฟ XRD ของฟิล์มบาง $Pb_{0.76}Ca_{0.24}TiO_3$ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	75
4.19	กราฟ XRD แผ่นรองซนิดซิลิกอนที่อุณหภูมิต่าง ๆ	76
4.20	ภาพถ่ายจุลโครงสร้างฟิล์มบางของ $Pb_{0.85}Ca_{0.15}TiO_3$ ถูกเผาเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ ก. 450°C ข. 500°C ค. 550°C ง. 600°C จ. 650°C ...	80-81
4.21	ภาพถ่ายจุลโครงสร้างฟิล์มบางของ $Pb_{0.76}Ca_{0.24}TiO_3$ ถูกเผาเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ ก. 450°C ข. 500°C ค. 550°C ง. 600°C จ. 650°C ...	82-83
4.22	P-E hysteresis loop ของ $Pb_{0.85}Ca_{0.15}TiO_3$ เผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 500°C 30 นาที วัดที่ 300kV/cm.....	85
4.23	P-E hysteresis loop ของ $Pb_{0.76}Ca_{0.24}TiO_3$ เผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 500°C 30 นาที วัดที่ 300 kV/cm.....	86
4.24	ภาพถ่าย optical microscope ของฟิล์ม $Pb_{0.85}Ca_{0.15}TiO_3$ ที่ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ อุณหภูมิ 300 °C สปินที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ก. 3000 rpm ข. 4000 rpm ค. 5000 rpm.....	93

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.25	ภาพถ่าย optical microscope ของฟิล์ม $Pb_{0.85}Ca_{0.15}TiO_3$ ที่ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ความเร็วรอบ 4000 rpm preheat ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ก. 200°C ข. 300°C ค. 400°C.....	94
4.26	การเปลี่ยนแปลงความหนาของฟิล์มกับความเข้มข้นของ $Pb_{0.85}Ca_{0.15}TiO_3$ สำหรับการเคลือบฟิล์มหนา 1 ชั้น หลังจากการเผาซินเตอร์ที่ 650°C 30 นาที.....	95
4.27	ภาพถ่าย optical microscope ของฟิล์ม $Pb_{0.85}Ca_{0.15}TiO_3$ สำหรับการเคลือบฟิล์มหนา 1 ชั้นหลังจากการเผาซินเตอร์ที่ 650°C 30 นาที ที่ความเข้มข้น ก. 0.3 โมลาร์ ข. 0.5 โมลาร์ ค. 0.7 โมลาร์ ง. 0.9 โมลาร์.....	96
4.28	ภาพถ่าย SEM ของฟิล์ม $Pb_{0.85}Ca_{0.15}TiO_3$ สำหรับการเคลือบฟิล์มหนา 1 ชั้นหลังจากการเผาซินเตอร์ที่ 650°C 30 นาที ที่ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ก. พื้นผิวของฟิล์มที่กำลังขยาย 5,000 เท่า ข. ภาคตัดขวางของฟิล์มที่กำลังขยาย 10,000 เท่า.....	97
4.29	ข้อมูล TGA ของเจลแห้ง $Pb_{0.85}Ca_{0.15}TiO_3$ โดยกระบวนการไดออลที่อัตราการให้ความร้อน 10°C/min.....	98
4.30	กราฟ XRD ของผง $Pb_{0.85}Ca_{0.15}TiO_3$ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	99
4.31	กราฟ XRD ของผง $Pb_{0.76}Ca_{0.24}TiO_3$ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	100
4.32	กราฟ XRD ของฟิล์มบาง $Pb_{0.85}Ca_{0.15}TiO_3$ ที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส.	102
4.33	กราฟ XRD ของฟิล์มบาง $Pb_{0.76}Ca_{0.24}TiO_3$ ที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส.	102
4.34	ภาพถ่าย SEM ของ $Pb_{1-x}Ca_xTiO_3$ ก. x = 0.15 ข. X = 0.24 เผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 650°C 30 นาที.....	104