การศึกษาตัวไดอิเล็กตริกชนิดเซรามิกสที่ใช้ทำตัวเก็บประจุไฟฟ้า

นายสุรินทร์ นาคะวิวัฒน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2529

ISBN 974-566-999-7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ว 013404

i 18069344

A STUDY OF CERAMIC DIELECTRIC FOR MAKING A CAPACITOR

Mr. Surin Nakaviwat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

for the Degree of Master of Engineering

Department of ELectrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1986

ISBN 974-566-999-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาตัวไดอิเล็กตริกชนิดเซรามิกส์ที่ใช้ทำตัวเก็บประจุไฟฟ้า
โดย	นายสุรินทร์ นาคะวิวัฒน์
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. สำรวย สังข์สะอาด
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จรัสศรี ลอประยูร

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. สรชัย พิศาลบุตร)

รักษาการในตำแหน่งรองคณบดีฝ่ายวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนรักษาการในตำแหน่งคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ประโมทย์ อุณห์ไวทยะ)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ณรงค์ อยู่ถนอม)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สำรวย สังข์สะอาด)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จรัสศรี ลอประยูร)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาตัวไดอิเล็กตริกชนิดเซรามิกส์ที่ใช้ทำตัวเก็บประจุไฟฟ้า
ชื่อนิสิต	นายสุรินทร์ นาคะวิวัฒน์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. สำรวย สังข์สะอาด
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จรัสศรี ลอประยูร
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา	2528

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้รายงานผลการศึกษา ค้นคว้าวิจัยหาส่วนประกอบตัวไดอิเล็กตริกของตัวเก็บประจุไฟฟ้าชนิดเซรามิกส์ ที่มีค่าเปอร์มิตติวิตี้สูง โดยทำการวิเคราะห์ไดอิเล็กตริกตัวเก็บประจุไฟฟ้าแรงดันสูงชนิดเซรามิกส์จากประเทศสหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศสและญี่ปุ่น พบว่าส่วนประกอบไดอิเล็กตริกที่ให้ค่าเปอร์มิตติวิตี้สูง ได้แก่สารประกอบประเภทเฟอร์โรอิเล็กตริก เช่น ติตาเนียมไดอ๊อกไซด์ (Tio_2) และแบเรียมติตาเนต ($Ba\ Tio_3$) ซึ่งได้ใช้เป็นส่วนผสมหลักของตัวไดอิเล็กตริกในงานวิจัยนี้การทำตัวไดอิเล็กตริกเซรามิกส์ประกอบด้วย กระบวนการเตรียมเนื้อสาร กระบวนการทำแคลไซน์ กระบวนการอัดขึ้นรูป และกระบวนการเผา พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา เพื่อให้ได้เนื้อไดอิเล็กตริกที่ดี ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ คือ ติตาเนียมไดอ๊อกไซด์ต้องเผาที่อุณหภูมิสูง 1,500 °C - 1,600 °C และแบเรียมติตาเนต ต้องเผาที่อุณหภูมิ 1,350 °C - 1,400 °C ทำการทดสอบคุณสมบัติทั้งทางด้านไฟฟ้าและทางด้านกายภาพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Thèsis Title	A study of Ceramic Dielectrics for Making Capacitor
Name	Mr. Surin Nakaviwat
Thesis Advisors	Associate Professor Samruay Sangkasaad,Dr.Sc. Techn.
	Assistant Professor Charussri Lorprayoon.
Department	Electrical Engineering
Academic year	1985

Abstract

This thesis deals with a study of dielectrics for making capacitors. Constituent materials of dielectrics of ceramic capacitors having high permittivity were investigated. Available high voltage ceramic capacitors manufactured in U S A, France and Japan were analized for their constituents.It was found that dielectrics of ceramic capacitors were ferroelectric materials which have high permittivity, such as Titaniumdioxide (TiO_2) and Bariumtitanate ($Ba\ Tio_3$). Both compounds were used to experimentally make dielectric specimens. Processes used for producing dielectric specimens were powder preparation, calcining, body forming and sintering. It was found that the sintering temperature for good dielectric depends on the kind of materials. The sintering temperature for TiO_2 was 1,500-1,600 °C and that for $Ba\ Tio_3$ was 1,350-1,400 °C. Physical and electrical characteristics of dielectric specimens were tested.

พลอนุเคราะห์ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่องการศึกษาตัวไดอิเล็กตริกเซรามิกส์ที่ใช้ทำเป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้ามี รองศาสตราจารย์ ดร. สำรวย สังข์สะอาด ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรม-ศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้วิจัยขอขอบคุณอย่างยิ่งที่อาจารย์ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือ ทั้งทางด้านวิชาการและการทดลอง และช่วยเหลือแก้ไขตรวจทานวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จรัสศรี รอประยูร ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้กรุณาเป็นอาจารย์-ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม เกี่ยวกับงานเซรามิกส์ยุคใหม่ ช่วยแนะนำให้คำปรึกษาในการวิเคราะห์และทำตัวไดอิเล็กตริก อนุเคราะห์ให้ความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการเซรามิกส์ในการทำเนื้อสารไดอิเล็กตริกเซรามิกส์ และการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ผู้วิจัยขอขอบคุณต่อภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในการเอ็กซเรย์ฟลูออเรสเซนต์ หาส่วนประกอบของตัวไดอิเล็กตริก และผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณต่อภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมเทคโนโลยี วิทยาเขตเทเวศร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องอัดระบบไฮดรอลิค ในการขึ้นรูปและการทดสอบสเปคซิเมน และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องทดลองไฟฟ้าแรงสูง เจ้าหน้าที่ห้องทดลองงานเซรามิกส์ และเจ้าหน้าที่ห้องทดลองเคมีวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และความสะดวกในการใช้เครื่องมือ และห้องทดลองเพื่อการทำวิจัย ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณต่อหน่วยปฏิบัติการวิจัยไฟฟ้าแรงสูง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนอุดหนุนสำหรับงานวิจัยนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ฆ

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ง

กิตติกรรมประกาศ..... จ

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญรูปภาพ..... ญ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ที่มาของปัญหา..... 1

1.2 เซรามิกส์ทั่วไป..... 1

1.2.1 ชนิดต่าง ๆ ของเซรามิกส์..... 2

1.2.2 ฉนวนเซรามิกส์..... 4

1.3 วัตถุประสงค์และขอบข่ายของงานวิจัย..... 5

2 ไดอิเล็กตริกเซรามิกส์..... 6

2.1 คุณสมบัติของไดอิเล็กตริก..... 6

2.1.1 ความต้านทานของไดอิเล็กตริก..... 6

2.1.2 เปอร์มิตติวิตี้ของไดอิเล็กตริก..... 7

2.1.3 แฟคเตอร์พลังงานสูญเสียในไดอิเล็กตริก.. 7

2.1.4 ความคงทนต่อแรงดันของไดอิเล็กตริก.... 10

2.2 กลไกการเกิดการโพลาไรเซชั่นในสารไดอิเล็กตริก. 10

2.3 คุณสมบัติของสารเฟอร์โรอิเล็กตริก..... 14

2.3.1 ติตาเนตเซรามิกส์..... 15

2.3.2 แบเรียมติตาเนต..... 16

2.4 กระบวนการทั่วไปในการผลิตสารไดอิเล็กตริก เซรามิกส์..... 32

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
3	การทำตัวไดอิเล็กตริกเซรามิกส์.....	36
	3.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างไดอิเล็กตริกจากต่างประเทศ.	36
	3.2 การเลือกส่วนผสมของไดอิเล็กตริกเซรามิกส์.....	37
	3.3 การเตรียมเนื้อสารไดอิเล็กตริกเซรามิกส์.....	43
	3.4 การทำปรีฮีทหรือแคลไซน์นิ่ง.....	56
	3.5 กรรมวิธีการอัดขึ้นรูปสเปคซิเมน.....	59
	3.6 การเผาไดอิเล็กตริกเซรามิกส์.....	67
4	การทดสอบตัวไดอิเล็กตริกเซรามิกส์ที่ทำขึ้น.....	71
	4.1 การทดสอบส่วนผสมของเนื้อไดอิเล็กตริก.....	71
	4.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ.....	71
	4.3 การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า.....	79
	4.3.1 การทดสอบค่าเปอร์มิตติวิตี้.....	79
	4.3.2 การทดสอบหาค่าแฟคเตอร์พลังงานสูญเสีย.	82
	4.3.3 การทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของไดอิเล็กตริก.....	82
5	ผลการทดสอบตัวไดอิเล็กตริกเซรามิกส์และการวิเคราะห์ผล	86
	5.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของตัวไดอิเล็กตริก	86
	5.1.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติการหดตัว.....	86
	5.1.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติความหนาแน่น.....	86
	5.1.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติความพรุนตัว.....	87
	5.1.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติการดูดซึมน้ำ.....	87
	5.1.5 ผลการตรวจเฟส.....	95
	5.1.6 ผลการตรวจโครงสร้างตัวไดอิเล็กตริกจากต่างประเทศ.....	100

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.1.7 ผลการตรวจโครงสร้างของตัวไดอิเล็กตริกที่ทำขึ้น..... 100
5.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของตัวไดอิเล็กตริก. 107
6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ..... 110
เอกสารอ้างอิง..... 112
ภาคผนวก..... 115
ประวัติผู้เขียน..... 125

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2.1 คุณสมบัติของสารติตาเนตเซรามิกส์..... 18

2.2 ค่าเปอร์มิตติวิตี้ของสารผสมติตาเนตในช่วงความถี่ 60 เฮิรตซ์ ถึง 1,000 กิโลเฮิรตซ์..... 21

3.1 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างไดอิเล็กตริกเซรามิกส์แบบแผ่นแบนกลม..... 41

3.2 ปริมาณวัตถุดิบทำเนื้อสารไดอิเล็กตริก..... 42

3.3 ตารางแสดงปริมาณวัตถุดิบที่บรรจุต่อหม้อบด..... 49

5.1 คุณสมบัติทางกายภาพของติตาเนียมไดอ็อกไซด์และแบเรี่ยมติตาเนตที่อุณหภูมิต่าง ๆ..... 89

5.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของติตาเนตเซรามิกส์.. 90

5.3 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของแบเรี่ยมติตาเนต... 91

5.4 แสดงการตรวจเฟสของวัตถุ..... 96

5.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า..... 109

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่

2.1 แสดงเวคเตอร์ไดอะแกรม แรงดันและกระแสของตัวไดอิเล็กตริก..... 8

2.2 วงจรสมมูลย์ของไดอิเล็กตริก..... 9

2.3 แสดงการเกิดอิเล็กโทรนิกส์โพลาไรเซชั่น..... 11

2.4 แสดงการเกิดไอออนิกส์โพลาไรเซชั่น..... 11

2.5 แสดงการเกิดออเรียนเตชั่นโพลาไรเซชั่น..... 12

2.6 แสดงการเกิดโพลาไรเซชั่นแบบประจุค้าง..... 12

2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดโพลาไรเซชั่นกับความถี่..... 13

2.8 แสดงอะตอมของสารเฟอร์โรอิเล็กตริก อยู่ในสภาวะเฟอร์อิเล็กตริกสเตท..... 14

2.9 กราฟแสดงผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าเปอร์มิตติวิตี้ของสารแบเรียมติตาเนต..... 17

2.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความกดดันของสารแบเรี่ยมติตาเนตเซรามิกส์..... 19

2.11 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์มิตติวิตี้ของสารแบเรี่ยมติตาเนต หลังจากปลดปล่อยแรงอัดดัน..... 20

2.12 ผลของความถี่ที่มีต่อค่าเปอร์มิตติวิตี้..... 21

2.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแฟคเตอร์ความสูญเสียในตัวไดอิเล็กตริกกับค่าความถี่..... 22

2.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแฟคเตอร์ความสูญเสียในตัวไดอิเล็กตริกแบเรี่ยมติตาเนตกับค่าความถี่..... 23

2.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์มิตติวิตีของสารแบเรี่ยมติตาเนต 69 % สตรอนเทียมติตาเนต 31 % ในเทอมของความเครียดสนามไฟฟ้า..... 24

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

หน้า

2.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณแบเรี่ยมติตาเนต ต่ออุณหภูมิคูรี่ของสารแบเรี่ยมสตรอนเทียมติตาเนต.... 25

2.17 แสดงโครงสร้างของผลึกเพอร์อฟสไกต์ของสารแบเรี่ยม ติตาเนต..... 26

2.18 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์มิตติวิตี้ ต่อค่าอุณหภูมิของ สารแบเรี่ยมติตาเนต..... 27

2.19 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอะตอมสาร เซรามิกส์ขณะทำการเผา..... 35

3.1 แผ่นสเปคซิเมนไดอิเล็กตริกสำหรับทดสอบหาคุณสมบัติทาง ไฟฟ้า..... 40

3.2 แสดงการชั่งน้ำหนักสารวัตถุดิบ..... 43

3.3 a,b) วัตถุดิบที่ใช้ทำสเปคซิเมนไดอิเล็กตริก..... 44

3.4 a,b) เครื่องบดแบบบดเปียก..... 46

3.5 แสดงลูกบดที่ใช้ในหม้อบด..... 47

3.6 แสดงการกรองน้ำสลิปโดยตะแกรงกรอง..... 50

3.7 แสดงการกรองสารโลหะเหล็กออกจากน้ำสลิป..... 52

3.8 แสดงการตกตะกอนน้ำสลิป..... 53

3.9 แสดงกรรมวิธีการกำจัดน้ำออกจากเนื้อวัตถุดิบที่บดแล้ว.. 53

3.10 แสดงการอบน้ำสลิปในเตาอบไฟฟ้า..... 54

3.11 a,b) เนื้อไดอิเล็กตริกหลังอบแห้ง..... 55

3.12 แสดงการบดเนื้อสารไดอิเล็กตริกหลังจากอบแห้ง..... 56

3.13 แสดงการทำแคลไซน์นิ่งเนื้อไดอิเล็กตริก..... 58

3.14 แผ่นเนื้อไดอิเล็กตริกหลังจากการทำแคลไซน์..... 59

3.15 แสดงการกรองขนาดผงเนื้อสารผ่าน 100 เมช..... 60

3.16 แสดงส่วนผสมของสารไบน์เดอร์..... 61

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

3.17 แสดงการผสมสารไบน์เดอร์โดยมีการฉีดพ่นเป็นฝอย... 62

3.18 แสดงแบบอัดสเปคซิเมน..... 64

3.19 แสดงเครื่องอัดไฮโดรสเตติกส์ 100 ตัน..... 65

3.20 แสดงการบรรจุผงเนื้อสารไดอิเล็กตริกเซรามิกส์ลงในแบบอัด..... 65

3.21 แสดงการอัดขึ้นรูปตัวไดอิเล็กตริกด้วยแรง 50 ตัน.... 66

3.22 แสงการจัดวางตัวอย่างสเปคซิเมนก่อนเข้าเตาอบเพื่อ อบแห้งก่อนการเผาจริง..... 66

3.23 แสดงการบรรจุตัวอย่างเข้าไปในเตาอบ..... 67

3.24 แสดงให้เห็นถึงเตาเผ าและตู้ควบคุมอุณหภูมิเผา..... 68

3.25 แสดงไดอะแกรมการควบคุมอุณหภูมิการเผาไดอิเล็กตริกเซรามิกส์..... 70

4.1 แสดงเตาอบสเปคซิเมนที่จะทำการทดสอบ..... 75

4.2 การปล่อยให้เย็นตัวลงของสเปคซิเมน..... 75

4.3 เครื่องชั่งสเปคซิเมน..... 76

4.4 แสดงการต้มสเปคซิเมน..... 76

4.5, 4.6 แสดงการชุ่งน้ำหนักสเปคซิเมนในน้ำ..... 77

4.7, 4.8 แสดงการชั่งน้ำหนักสเปคซิเมนขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ.. 78

4.9 แสดงอุปกรณ์การรัด ริง คะแปซิเตอร์..... 80

4.10 วงจรเซียรริ่งบริดจ์..... 81

4.11 แสดงรูปแบบของการทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของตัวไดอิเล็กตริก..... 83

4.12 แสดงการอบไล่ความชื้นสเปคซิเมน 120 องศา ± 5 องศา นาน 2 ชั่วโมง..... 84

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

		หน้า
4.13	แสดงวงจรการทดสอบความคงทนของไดอิเล็กตริกต่อแรงดันไฟฟ้า.....	85
5.1	แสดงผลการหดตัวของสเปคซิเมนของสารติตาเนียมไดอ๊อกไซด์และสารแบเรี่ยมติตาเนต ที่อุณหภูมิเผาต่าง ๆ	93
5.2	แสดงค่าความหนาแน่นของสเปคซิเมนของสารติตาเนียมไดอ๊อกไซด์ และสารแบเรี่ยนติตาเนต ที่อุณหภูมิเผาต่าง ๆ	93
5.3	แสดงผลความพรุนตัวของสเปคซิเมนของสารติตาเนียมไดอ๊อกไซด์ และแบเรี่ยมติตาเนต ที่อุณหภูมิเผาต่าง ๆ	94
5.4	แสดงผลการดูดซึมน้ำของสเปคซิเมนของสารติตาเนียมไดอ๊อกไซด์ และสารแบเรี่ยมติตาเนต ที่อุณหภูมิเผาต่าง ๆ	94
5.5	แสดงผลดิฟเฟรกโตแกรมของสารติตาเนี่ยมไดอ๊อกไซด์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างจากประเทศสหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่น.....	97
5.6	แสดงผลดิฟแฟรกโตแกรมของสารแบเรี่ยมติตาเนตที่อุณหภูมิเผาต่าง ๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างจากประเทศฝรั่งเศส.....	98
5.7	แสดงจุลโครงสร้างของ TiO_2 (Rutile) ตัวอย่างจากประเทศสหรัฐอเมริกา ถ่ายด้วยเครื่อง SEM กำลังขยาย 3,500 เท่า.....	102
5.8	a,b) แสดงจุลโครงสร้างของ TiO_2 (Rutile) ตัวอย่างจากประเทศญี่ปุ่น ถ่ายด้วยเครื่อง SEM กำลังขยาย 3,500 เท่า.....	103
5.9	แสดงจุลโครงสร้างของ Sr (Fe) TiO_3 ตัวอย่างจากประเทศฝรั่งเศส ถ่ายด้วยเครื่อง SEM กำลังขยาย 3,500 เท่า.....	104

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

5.10 a) แสดงจุลโครงสร้างของ TiO_2 เผาที่อุณหภูมิ 1,400 °C ถ่ายด้วยเครื่อง SEM กำลังขยาย 3,500 เท่า..... 105

b) แสดงจุลโครงสร้างของ TiO_2 เผาที่อุณหภูมิ 1,500 °C ถ่ายด้วยเครื่อง SEM กำลังขยาย 3,500 เท่า..... 105

5.11 a) แสดงจุลโครงสร้างของ $BaTiO_3$ เผาที่อุณหภูมิ 1,250 °C ถ่ายด้วยเครื่อง SEM กำลังขยาย 3,500 เท่า..... 106

b) แสดงจุลโครงสร้างของ $BaTiO_3$ เผาที่อุณหภูมิ 1,300 °C ถ่ายด้วยเครื่อง SEM กำลังขยาย 3,500 เท่า..... 106

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย