การเตรียมสารเฟอร์โรอิเล็กทริกเลดแมกนีเซียมไนโอเบตและผลไดอิเล็กทริกของบิสมัทโซเดียมไททาเนต-เลดแมกนีเซียมไนโอเบต

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นาย ปฎุงคพ เหมพันธุ์พิรุฬห์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิก ภาควิชาวัสดุศาสตร์
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-332-404-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF FERROELECTRIC LEAD MAGNESIUM NIOBATE AND DIELECTRIC PROPERTIES OF BISMUTH SODIUM TITANATE-LEAD MAGNESIUM NIOBATE

Mr. Pringkobh Hempunpirun

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree
of Master of Science in Ceramic Technology
Department of Materials Science
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1998
ISBN 974-332-404-6

I19C19863

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมสารเฟอร์โรอิเล็กทริกเลดแมกนีเซียมไนโอเบตและผลไดอิเล็กทริกของ บิสมัทโซเดียมไททาเนต-เลดแมกนีเซียมไนโอเบต
โดย	นาย ปฤงคพ เหมพันธุ์พิรุฬห์
ภาควิชา	วัสดุศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สุทิน คูหาเรืองรอง

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข)

.... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทิน คูหาเรืองรอง)

.... กรรมการ

(ดร. ชุติมา เอี่ยมโชติชวลิต)

.... กรรมการ

(ดร. ภาวดี อังค์วัฒนะ)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ปฤงคพ เหมพันธุ์พิรุฬห์ : การเตรียมสารเฟอร์โรอิเล็กทริกเลดแมกนีเซียมไนโอเบตและผลไดอิเล็กทริกของบิสมัทโซเดียมไททาเนต-เลดแมกนีเซียมไนโอเบต (PREPARATION OF FERROELECTRIC LEAD MAGNESIUM NIOBATE AND DIELECTRIC PROPERTIES OF BISMUTH SODIUM TITANATE-LEAD MAGNESIUM NIOBATE) อ.ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. สุทิน คูหาเรืองรอง, 111 หน้า, ISBN 974-332-404-6

สารเลดแมกนีเซียมไนโอเบตมีโครงสร้างเพอร์รอฟสไกต์และมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงตัวหนึ่ง แต่เตรียมให้บริสุทธิ์ได้ยาก เพราะมีเฟสไพโรคลอร์เกิดขึ้นเสมอซึ่งทำให้สมบัติไดอิเล็กทริกของวัสดุเสียไป ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมสารแมกนีเซียมไนโอเบตโดยวิธีคอรันดัมและวิธีคอลัมไบท์ โดยทำการศึกษาภาวะที่เหมาะสมของแต่ละวิธี เช่น อัตราส่วนสารตั้งต้นที่ใช้ อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ และเวลาการเผาแช่ นอกจากนี้ได้ทำการตรวจสอบผลของเลดแมกนีเซียมไนโอเบตต่อสมบัติไดอิเล็กทริกของสารประกอบบิสมัทโซเดียมไททาเนต

ผลของทั้ง 2 วิธีพบว่าเกิดเป็นเฟสผสมของ $MgNb_2O_6$ $Mg_4Nb_2O_9$ และ $Mg_5Nb_4O_{15}$ อัตราส่วนแมกนีเซียมออกไซด์ต่อไนโอเบียมออกไซด์ที่ใช้เตรียมโดยวิธีคอรันดัมและคอลัมไบท์ไม่สามารถทำให้ได้เฟสบริสุทธิ์ของแมกนีเซียมไนโอเบตเพียงเฟสเดียวได้เพราะในสารตั้งต้นแมกนีเซียมออกไซด์มักพบแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ผสมอยู่ ผลของงานวิจัยนี้ได้ภาวะที่เหมาะสมที่ได้เฟส $MgNb_2O_6$ ในปริมาณมากที่สุด คือ อุณหภูมิการเผา 1200 องศาเซลเซียสคงที่อุณหภูมินี้เป็นเวลานาน ถ้าเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 1200 องศาเซลเซียสจะได้เฟส $Mg_4Nb_2O_9$ และ $Mg_5Nb_4O_{15}$ มากขึ้น และถ้าเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1200 องศาเซลเซียสก็จะพบเฟสสารตั้งต้นเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์

ผลของสารเลดแมกนีเซียมไนโอเบตต่อสมบัติไดอิเล็กทริกของสารบิสมัทโซเดียมไททาเนต ไม่ได้ทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเปลี่ยนไปมากนัก แต่ทำให้อุณหภูมิคูรีของสารบิสมัทโซเดียมไททาเนตลดลง เมื่อปริมาณเลดแมกนีเซียมไนโอเบตเพิ่มขึ้น

ภาควิชา วัสดุศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต ปฤงคพ เหมพันธุ์พิรุฬห์
สาขาวิชา เทคโนโลยีเซรามิก ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา [signature]
ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

3971796223 : MAJOR CERAMIC TECHNOLOGY

KEY WORD: FERROELECTRICS / LEAD MAGNESIUM NIOBATE / DIELECTRIC PROPERTIES

PRINGKOBH HEMPUNPIRUN : PREPARATION OF FERROELECTRIC LEAD MAGNESIUM NIOBATE AND DIELECTRIC PROPERTIES OF BISMUTH SODIUM TITANATE-LEAD MAGNESIUM NIOBATE. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. SUTIN KHUHARUANGRONG, Ph.D. 111 pp. ISBN 974-332-404-6

Lead magnesium niobate is a perovskite phase and has a high dielectric constant. However, it is difficult to produce since the pyrochlore phase always occurs in this material resulting inferior dielectric properties. In this research the magnesium niobate compound was synthesized by using corundum and columbite techniques. The suitable conditions of each technique such as a ratio of the starting materials, calcining temperature and soaking time were studied in the preparation. In addition, the effect of lead magnesium niobate on the dielectric properties of bismuth sodium titanate was investigated in this thesis.

The results of both techniques showed the mixed phases of $MgNb_2O_6$ $Mg_4Nb_2O_9$ and $Mg_5Nb_4O_{15}$. A ratio of MgO to Nb_2O_5 could not be used to obtain the pure phase of magnesium niobate as applied in corundum and columbite techniques since $Mg(OH)_2$ was present in MgO. In this thesis the optimum condition to achieve a large amount of $MgNb_2O_6$ was 1200 °C firing temperature with a long soaking time. Higher than 1200 °C yielded an increasing amount of $Mg_4Nb_2O_9$ and $Mg_5Nb_4O_{15}$. In contrast, if firing at lower than 1200 °C, the starting materials still remained with the mixed phases of magnesium niobate compound.

The effect of lead magnesium niobate on the dielectric constant of bismuth sodium titanate was insignificant. Nevertheless, it decreased the curie temperature of bismuth sodium titanate as the amount of lead magnesium niobate increased.

ภาควิชา วัสดุศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา เทคโนโลยีเซรามิก ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดีของ ผศ. ดร. สุทิน คูหาเรืองรอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆในการวิจัยมาด้วยดีตลอด คณะกรรมการทุกท่านที่กรุณาร่วมแสดงเหตุผลให้คำปรึกษา และขอขอบพระคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยซึ่งได้มอบทุนบางส่วนในการทำวิจัย

เป็นเกียรติอย่างยิ่งสำหรับ อาจารย์ นฤมล สุวัฒนนนท์ อาจารย์ อุไรวรรณ ลีลาอดิศร อาจารย์ ดุจฤทัย พงษ์เก่า ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และอาจารย์ สุวิทย์ พุทธมนต์ ภาควิชาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความรู้ความสามารถที่ดีเสมอมา

ขอขอบคุณ ดร. บัญชา-อารี ธนบุญสมบัติ และ ดร. ภาวดี อังค์วัฒนะ จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ คุณ วารุณี ฟางทวานิช จากสถาบันโลหะและวัสดุ และคุณ ประเสริฐ เขียวพิมพา ภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความรู้และข้อมูลที่เป็นประโยชน์กับงานวิจัยนี้

ขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องธุรการภาคฯ ทุกท่านได้ให้ความร่วมมือในการเขียนงานวิจัย ขอบคุณเพื่อน และน้องๆ ในภาควิชาวัสดุศาสตร์ และเพื่อนๆจากภาควิชาเคมีเทคนิคที่เป็นกำลังใจให้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา-พี่สาว ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจอย่างสูงส่งแก่ผู้วิจัยจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).. ง

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)... จ

กิตติกรรมประกาศ.. ฉ

สารบัญ.. ช

สารบัญตาราง.. ฌ

สารบัญรูป... ฎ

บทที่

1 บทนำ.. 1

1.1 เลดแมกนีเซียมไนโอเบต (PMN:$PbMg_{1/3}Nb_{2/3}O_3$)..................... 1

1.2 บิสมัทโซเดียมไททาเนต [BNT:$(Bi_{1/2}Na_{1/2})TiO_3$)......................... 16

1.3 วัตถุประสงค์และมูลเหตุจูงใจ... 18

2 การเตรียมแมกนีเซียมไนโอเบต... 20

2.1 การสังเคราะห์แมกนีเซียมไนโอเบตด้วยวิธีคอรันดัม.................... 22

2.2 การสังเคราะห์แมกนีเซียมไนโอเบตด้วยวิธีคอลัมไบท์................. 35

3 การเตรียมเลดแมกนีเซียมไนโอเบต... 55

3.1 ขั้นตอนการเตรียมสาร.. 55

3.2 ผลการวิเคราะห์การเกิดเลดแมกนีเซียมไนโอเบตด้วย X-ray Diffraction... 56

4 สมบัติไดอิเล็กทริกของบิสมัทโซเดียมไททาเนต-เลดแมกนีเซียมไนโอเบต... 68

4.1 สมบัติไดอิเล็กทริกของบิสมัทโซเดียมไททาเนต-เลดแมกนีเซียมไนโอเบตจากการผสมแบบสารละลายของแข็งสองชนิดผสมกัน..... 69

4.2 สมบัติไดอิเล็กทริกของบิสมัทโซเดียมไททาเนต-เลดแมกนีเซียมไนโอเบตจากสารตั้งต้นที่เป็นสารประกอบของออกไซด์และคาร์บอเนต 79

หน้า

5 สรุปผลการทดลอง.. 91
รายการอ้างอิง.. 94
ภาคผนวก.. 98
ประวัติผู้วิจัย.. 111

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 2.1 โครงสร้างเฟสของแมกนีเซียม-ไนโอเบียมออกไซด์ที่อุณหภูมิห้อง... 20

ตาราง 2.2 ผลน้ำหนักที่สูญหายขณะทำการเผาที่ภาวะต่างๆของวิธีคอรันดัม... 24

ตาราง 2.3 ความเข้มสัมพัทธ์ของเฟส $MgNb_2O_6$ $Mg_4Nb_2O_9$ $Mg_5Nb_4O_{15}$ Nb_2O_5 MgO และ $Mg(OH)_2$ 29

ตาราง 2.4 ความสูงสัมพัทธ์ 100% ตามชนิดของเฟสที่เกิดโดยวิธีคอรันดัม ตามภาวะการเผาต่างๆ.. 31

ตาราง 2.5 ปริมาณเฟสของ $MgNb_2O_6$ $Mg_4Nb_2O_9$ และ $Mg_5Nb_4O_{15}$ ที่ได้จาก การคำนวณของวิธีคอรันดัมตามภาวะการเผาต่างๆ........................ 32

ตาราง 2.6 น้ำหนักที่หายไปของสารหลังเผาโดยใช้ภาวะในการเผาที่ต่างกัน ของวิธีการเตรียมแบบคอรันดัม.. 38

ตาราง 2.7 ปริมาณของเฟสต่างๆจากวิธีคอลัมไบท์ของอัตราส่วนแมกนีเซียม ออกไซด์ต่อไนโอเบียมออกไซด์ 3.5:1 ที่ภาวะการเผาต่างๆ............. 41

ตาราง 2.8 ปริมาณของเฟสต่างๆจากวิธีคอลัมไบท์ของอัตราส่วนแมกนีเซียม ออกไซด์ต่อไนโอเบียมออกไซด์ 2:1 ที่ภาวะการเผาต่างๆ................ 46

ตาราง 2.9 ปริมาณของเฟสต่างๆจากวิธีคอลัมไบท์ของอัตราส่วนแมกนีเซียม ออกไซด์ต่อไนโอเบียมออกไซด์ 1:1 ที่ภาวะการเผาต่างๆ................ 49

ตาราง 2.10 เปรียบเทียบผลจากการทดลองกับการเติมซิลิกอนเพื่อเป็นสาร มาตรฐาน.. 52

ตาราง 3.1 ปริมาณเฟสที่เกิด ตามองค์ประกอบแมกนีเซียมไนโอเบตที่ใช้ใน การทำปฏิกิริยากับตะกั่วออกไซด์ ขึ้นกับปริมาณเฟส $Mg_4Nb_2O_9$ หรือ $MgNb_2O_6$ ที่เป็นเฟสหลัก.. 60

ตาราง 3.2 ปริมาณเฟสที่เกิด ตามองค์ประกอบแมกนีเซียมไนโอเบตที่ใช้ใน การทำปฏิกิริยากับตะกั่วออกไซด์ ขึ้นกับปริมาณเฟส $Mg_4Nb_2O_9$ หรือ $MgNb_2O_6$ ทั้งหมด... 63

หน้า

ตาราง 3.3 ปริมาณการใช้ตะกั่วออกไซด์ตามองค์ประกอบแมกนีเซียมไนโอเบตทุกเฟส.......... 66
ตาราง 3.4 เปรียบเทียบปริมาณการใช้สารตะกั่วออกไซด์ทั้ง 3 วิธี.................. 66
ตาราง 4.1 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและอุณหภูมิคูรีของวัสดุบิสมัทโซเดียมไททาเนต-เลดแมกนีเซียมไนโอเบต ด้วยวิธีการสารละลายของแข็งแต่ละชนิดผสมกัน.......... 78
ตาราง 4.2 ความหนาแน่นของชิ้นงานตัวอย่างของวิธีการสารละลายของแข็งแต่ละชนิดผสมกัน.......... 79
ตาราง 4.3 ความหนาแน่นของชิ้นงานตัวอย่าง จากวิธีการผสมจากสารตั้นที่เป็นออกไซด์และคาร์บอเนต.......... 82
ตาราง 4.4 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและอุณหภูมิคูรีของวัสดุบิสมัทโซเดียมไททาเนต-เลดแมกนีเซียมไนโอเบตด้วยวิธีการผสมจากสารตั้งต้นที่เป็นออกไซด์และคาร์บอเนต.......... 83

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูป 1.1 โครงสร้างเพอร์รอฟสไกต์ของสารเลดแมกนีเซียมไนโอเบต.................. 2

รูป 1.2 กราฟค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกกับอุณหภูมิ ของสารเลดแมกนีเซียมไนโอเบต ซินเทอร์ริงที่ 1200 องศาเซลเซียส/2ชั่วโมง.. 2

รูป 2.1 แผนผังเฟสของระบบแมกนีเซียมออกไซด์-ไนโอเบียมออกไซด์............. 21

รูป 2.2 ขั้นตอนการทดลองของวิธีคอรันดัม.. 23

รูป 2.3 กราฟ TGA การวัดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวิธีคอรันดัมที่อัตราส่วน แมกนีเซียมออกไซด์ต่อไนโอเบียมออกไซด์เป็น 4:1.............................. 25

รูป 2.4 ผล XRD ของสารตั้งต้นแมกนีเซียมออกไซด์ 27

รูป 2.5 ผล XRD ของวิธีคอรันดัมที่ภาวะการเผาต่างๆ.................................. 28

รูป 2.6 ผังขั้นตอนการทดลองของวิธีคอลัมไบท์โดยใช้อัตราส่วนของแมกนีเซียม ออกไซด์ต่อไนโอเบียมออกไซด์ต่างๆกัน.. 37

รูป 2.7 กราฟ TGA ของวิธีคอลัมไบท์ที่อัตราส่วนแมกนีเซียมออกไซด์ต่อ ไนโอเบียมออกไซด์เป็น 1:1.. 39

รูป 2.8 ผล XRD ของอัตราส่วนแมกนีเซียมออกไซด์ต่อไนโอเบียมออกไซด์เป็น 3.5:1.. 42

รูป 2.9 ผล XRD ของอัตราส่วนแมกนีเซียมออกไซด์ต่อไนโอเบียมออกไซด์เป็น 2:1.. 45

รูป 2.10 ผล XRD ของอัตราส่วนแมกนีเซียมออกไซด์ต่อไนโอเบียมออกไซด์เป็น 1:1.. 48

รูป 2.11 ผล XRD ของแมกนีเซียมไนโอเบตที่ผ่านการเผาแล้วเติมซิลิกอน 15% เพื่อเป็นสารมาตรฐาน... 51

รูป 3.1 ขั้นตอนวิธีการเตรียมสารเลดแมกนีเซียมไนโอเบต............................ 56

หน้า

รูป 3.2 ผล XRD ของการเตรียมแมกนีเซียมไนโอเบตด้วยการคิดจากเฟส $Mg_4Nb_2O_9$ เพียงอย่างเดียว ($Mg_4Nb_2O_9$ 73% $Mg_5Nb_4O_{15}$ 22% และ $MgNb_2O_6$ 5%)........ 58

รูป 3.3 ผล XRD ของการเตรียมแมกนีเซียมไนโอเบตด้วยการคิดจากเฟส $MgNb_2O_6$ เพียงอย่างเดียว ($Mg_5Nb_4O_{15}$ 9% $MgNb_2O_6$ 88% และ Nb_2O_5 2%)........ 59

รูป 3.4 ผล XRD ของการเตรียมแมกนีเซียมไนโอเบตด้วยการคิดจากเฟส $Mg_4Nb_2O_9$ ทั้งหมด ($Mg_4Nb_2O_9$ 73% $Mg_5Nb_4O_{15}$ 22% และ $MgNb_2O_6$ 5%)........ 61

รูป 3.5 ผล XRD ของการเตรียมแมกนีเซียมไนโอเบตด้วยการคิดจากเฟส $MgNb_2O_6$ ทั้งหมด ($Mg_4Nb_2O_9$ 13% $Mg_5Nb_4O_{15}$ 29% และ $MgNb_2O_6$ 58%)........ 62

รูป 3.6 ผล XRD ของสารเลดแมกนีเซียมไนโอเบตที่เตรียมจากเฟส $Mg_4Nb_2O_9$ 73% $Mg_5Nb_4O_{15}$ 22% และ $MgNb_2O_6$ 5% ด้วยวิธีที่ 3........ 64

รูป 3.7 ผล XRD ของสารเลดแมกนีเซียมไนโอเบตที่เตรียมจากเฟส $Mg_4Nb_2O_9$ 13% $Mg_5Nb_4O_{15}$ 29% และ $MgNb_2O_6$ 58% ด้วยวิธีที่ 3........ 65

รูป 3.8 ผล XRD ของสารเลดแมกนีเซียมไนโอเบตที่เตรียมจากเฟส $Mg_5Nb_4O_{15}$ 9% $MgNb_2O_6$ 88% และ Nb_2O_5 2% ด้วยวิธีที่ 3........ 65

รูป 4.1 ขั้นตอนการเตรียมบิสมัทโซเดียม-เลดแมกนีเซียมไนโอเบต........ 70

รูป 4.2 ผล XRD ของบิสมัทโซเดียมไททาเนต-เลดแมกนีเซียมไนโอเบต........ 72

รูป 4.3 สมบัติไดอิเล็กทริกของบิสมัทโซเดียมไททาเนต 1175 องศาเซลเซียส/1 ชั่วโมง........ 74

หน้า

รูป 4.4 สมบัติไดอิเล็กทริกจากการเตรียมด้วยสารละลายของแข็งของบิสมัทโซเดียมไททาเนต+5%เลดแมกนีเซียมไนโอเบต 1175 องศาเซลเซียส/1 ชั่วโมง.................... 75

รูป 4.5 สมบัติไดอิเล็กทริกจากการเตรียมด้วยสารละลายของแข็งของบิสมัทโซเดียมไททาเนต+5%เลดแมกนีเซียมไนโอเบต 1200 องศาเซลเซียส/1 ชั่วโมง.................... 76

รูป 4.6 สมบัติไดอิเล็กทริกจากการเตรียมด้วยสารละลายของแข็งของบิสมัทโซเดียมไททาเนต+10%เลดแมกนีเซียมไนโอเบต 1175 องศาเซลเซียส/1 ชั่วโมง.................... 77

รูป 4.7 ขั้นตอนการเตรียมบิสมัทโซเดียมไททาเนต-เลดแมกนีเซียมไนโอเบตจากสารตั้งต้นที่เป็นสารประกอบของออกไซด์และคาร์บอเนต.............. 80

รูป 4.8 ผล XRD ของบิสมัทโซเดียมไททาเนต-เลดแมกนีเซียมไนโอเบตที่เตรียมจากสารตั้งต้นเป็นสารประกอบออกไซด์และคาร์บอเนต.................... 81

รูป 4.9 สมบัติไดอิเล็กทริกจากการเตรียมด้วยสารตั้งต้นที่เป็นสารประกอบของออกไซด์และคาร์บอเนตของบิสมัทโซเดียมไททาเนต-5%เลดแมกนีเซียมไนโอเบต 1175 องศาเซลเซียส/1ชั่วโมง.................... 85

รูป 4.10 สมบัติไดอิเล็กทริกจากการเตรียมด้วยสารตั้งต้นที่เป็นสารประกอบของออกไซด์และคาร์บอเนตของบิสมัทโซเดียมไททาเนต-5%เลดแมกนีเซียมไนโอเบต 1200 องศาเซลเซียส/1ชั่วโมง.................... 86

รูป 4.11 สมบัติไดอิเล็กทริกจากการเตรียมด้วยสารตั้งต้นที่เป็นสารประกอบของออกไซด์และคาร์บอเนตของบิสมัทโซเดียมไททาเนต-10%เลดแมกนีเซียมไนโอเบต 1175 องศาเซลเซียส/1ชั่วโมง.................... 87

หน้า

รูป 4.12 สมบัติไดอิเล็กทริกจากการเตรียมด้วยสารตั้งต้นที่เป็นสารประกอบของออกไซด์และคาร์บอเนตของบิสมัทโซเดียมไททาเนต-10%เลดแมกนีเซียมไนโอเบต 1200 องศาเซลเซียส/1ชั่วโมง.............................. 88
รูป 4.13 สมบัติไดอิเล็กทริกจากการเตรียมด้วยสารตั้งต้นที่เป็นสารประกอบของออกไซด์และคาร์บอเนตของบิสมัทโซเดียมไททาเนต-15%เลดแมกนีเซียมไนโอเบต 1175 องศาเซลเซียส/1ชั่วโมง.............................. 89
รูป 4.14 สมบัติไดอิเล็กทริกจากการเตรียมด้วยสารตั้งต้นที่เป็นสารประกอบของออกไซด์และคาร์บอเนตของบิสมัทโซเดียมไททาเนต-15%เลดแมกนีเซียมไนโอเบต 1200 องศาเซลเซียส/1ชั่วโมง.............................. 90