ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
190958

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ ผลของรูปแบบอุณหภูมิเผาแผ่นฟิล์มบางที่มีต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มบางของ PZT ซึ่งเตรียมโดยวิธี Sol-gel

โดย ดร.ศราวุฒิ เถื่อนถ้ำ และคณะ

มิถุนายน 2555

b00256209

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
190958

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ ผลของรูปแบบอุณหภูมิเผาแผ่นฟิล์มบางที่มีต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มบางของ PZT ซึ่งเตรียมโดยวิธี Sol-gel

โดย ดร.ศราวุฒิ เถื่อนถ้ำ และคณะ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

มิถุนายน 2555

สัญญาเลขที่ R2553B019

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ ผลของรูปแบบอุณหภูมิเผาแผ่นฟิล์มบางที่มีต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มบางของ PZT ซึ่งเตรียมโดยวิธี Sol-gel

คณะผู้วิจัย

ดร.ศราวุฒิ เถื่อนถ้ำ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

คำนำ

งานวิจัยนี้ครั้งนี้เป็นการศึกษาการเตรียมแผ่นฟิล์มบางของสาร PZT ด้วยกระบวนการซอลเจล ร่วมกับเทคนิคสปินโคทติง โดยจะศึกษาถึงผลกระทบของรูปแบบของอุณหภูมิการเผาแผ่นฟิล์มบางของ PZT ซึ่งเตรียมแบบ multilayer ต่อสมบัติทางไฟฟ้า สมบัติเฟร์โรอิเล็กทริก โครงสร้างจุลภาค โครงสร้างผลึกของแผ่นฟิล์มบางดังกล่าว ในการนี้ขอขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาต ภาควิชาฟิสิกส์ และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าข้อมูลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ให้แก่ภาคการศึกษา ภาควิศวกรรมและอุตสาหกรรมตลอดจนถูกนำมาประยุกต์ใช้ต่อไป

คณะผู้วิจัย

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดี โดยได้รับความสนับสนุนงบประมาณจากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยลัยนเรศวร

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ให้ความสนับสนุนงบประมาณ สำหรับการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คณะวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความสนับสนุนสิ่งอำนวยความสะดวกทางการวิจัย ตลอดจนห้องปฏิบัติการต่าง ๆ สำหรับการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความสนับสนุน ตลอดจนห้องปฏิบัติการต่าง ๆ สำหรับการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณทีมงานวิจัยทุกท่าน ที่ให้ความรู้ ความช่วยเหลือและความสะดวกในการปฏิบัติงานโครงการวิจัยฯ ในครั้งนี้

คณะผู้วิจัย

มิถุนาย 2555

บทคัดย่อ

190958

เฟร์โรอิเล็กตริกเป็นสารที่มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบอสมมาตร โดยที่สารในกลุ่มนี้จะมีโพลาไรซ์ด้วยตัวเองโดยไม่ต้องผ่านการทำขั้ว อีกทั้งขั้วโพลาไรซ์ยังสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามสนามไฟฟ้าภายนอกที่ป้อนให้แก่สารดังกล่าว เลดเซอร์โคเนตไททาเนตเป็นสารที่มีโครงสร้างแบบเพอร์รอฟสไกต์เป็นหนึ่งในสารที่อยู่ในกลุ่มเฟร์โรอิเล็กตริกที่มีสมบัติที่โดดเด่นหลายประการ เช่น สมบัติไดอิเล็กตริก, สมบัติเฟร์โรอิเล็กตริก, สมบัติไพโรอิเล็กตริก และสมบัติเพียโซอิเล็กทริก ด้วยความโดดเด่นของสมบัติต่างๆเหล่านี้จึงทำมีการนำเอาเลดเซอร์โคเนตไททาเนตไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย อาทิเช่น ทรานส์ดิวเซอร์, เซ็นเซอร์และ แอคทิวเอเตอร์ และด้วยสมบัติโดดเด่นดังที่กล่าวมาแล้วนั้น ได้มีการนำเลดเซอร์โคเนตไททาเนตในรูปของแผ่นฟิล์มบางมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายเช่นกัน โดยทั้งนี้เป็นที่ทราบกันดีว่าสมบัติของเลดเซอร์โคเนตไททาเนตนั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนทางเคมีของธาตุแต่ละชนิดในองค์ประกอบหลัก โดยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการแทนที่อะตอมของธาตุในตำแหน่งต่างๆ อาทิเช่น อะตอมของตะกั่ว (ในตำแหน่ง A) หรือ อะตอมของ ไททาเนียม (ในตำแหน่ง B) โดยที่การแทนที่อะตอมที่ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันจะทำให้สมบัติต่างๆของเลดเซอร์โคเนตไททาเนตมีความแตกต่างกันไป

ในการวิจัยนี้จะทำการศึกษาการเตรียมแผ่นฟิล์มบางของเลดเซอร์โคเนตไททาเนตซึ่งเตรียมโดยวิธีโซลเจล และสร้างแผ่นฟิล์มบางลงบนแผ่นรองรับซึ่งมีส่วนประกอบเป็น $Pt/SiO_2/Ti$ โดยที่สมบัติทางโครงสร้าง ส่วนประกอบเฟสต่างๆและ การจัดเรียงตัวของโครงสร้างผลึกในแผ่นฟิล์มบางจะวิเคราะห์โดย เอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกโทรมิเตอร์, กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด, อะตอมมิกฟอร์ซไมโครสโครปี สำหรับการวิเคราะห์ค่าทางไดอิเล็กตริกและสมบัติเฟร์โรอิเล็กตริกนั้นจะศึกษาโดยให้อุณหภูมิในการ pre-heating เป็นตัวแปร โดยในการศึกษานี้พบว่าขนาดของเกรนของเลดเซอร์โคเนตไททาเนตบนแผ่นฟิล์มบางมีขนาดเล็กมากอยู่ที่ประมาณ 15-20 นาโนเมตร

จากการศึกษาโครงสร้างของแผ่นฟิล์มบางพบว่ามีโครงสร้างทางจุลภาคเป็นแบบเพอร์รอฟสไกต์ซึ่งประกอบไปด้วยอนุภาคของเลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่มีขนาดในระดับนาโนเมตรกระจายอยู่ทั่วเนื้อของแผ่นฟิล์มบาง ทั้งนี้พบว่าแผ่นฟิล์มบางที่ผ่านการ pre-heating ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส มีอัตราส่วนของเฟสเพอร์รอฟสไกต์สูงที่สุดและยังมีขนาดของอนุภาคขนาดเล็กที่สุดซึ่งคาดว่าเกิดจากพลังงานในการเกิดเฟสของเพอร์รอฟสไกต์มีความเหมาะสมกว่าที่อุณหภูมิอื่น ในกรณีของสมบัติเฟร์โรอิเล็กตริกพบว่าแผ่นฟิล์มบางซึ่งผ่านการ pre-heating ที่ 400 องศาเซลเซียส

ABSTRACT

190958

Ferroelectrics belong to the special class of non-centrosymmetric polar dielectrics in which spontaneous polarization of lattice can be switched via the application of an external electric field. In particular, perovskite-type lead titanate-based ferroelectrics became the most prominent candidates for applications in different kinds of modern transducers, sensors and actuators. Particular interest in these materials is driven by their unique dielectric, ferroelectric, pyroelectric and piezoelectric characteristics. The application of these materials in thin film form is even more attractive since it allows direct integration into existent semiconductor technology. The properties of lead-titanate based ferroelectrics are known to strongly depend on the stoichiometry and nature of substituent elements either on Pb (A) or Ti (B) sites. In this respect appropriate doping by different elements offers the possibility to tune materials functional properties.

In the present work, a modified sol-gel method was adopted to fabricate lead titanate thin films on substrate heterostructures Pt/Si/SiO_2/Ti The structural properties, phase composition and preferentially oriented state of the films were analyzed by means of X-ray diffractometer (XRD), scanning electron microscopy (SEM) and atomic force microscopy (AFM).The dielectric and ferroelectric properties were investigated in order to reveal the effects of pre-heating temperature on the main characteristics of the films. Fine grained (grain size was found to be in the range of 15-20 nm) homogeneous microstructures were obtained under the conditions optimised in this work.

The ferroelectric thin films have perovskite structures and consist of nanosized PZT powder uniformly dispersed in a PZT matrix. The films were pre-heated at temperatures of 200, 250, 300, 350 and 400 $^{\circ}C$ for 10 min prior to final heating at 600 $^{\circ}C$. The film pre-heated at 400 $^{\circ}C$ showed the highest perovskite content and the smallest grain size. These results may be explained by the nucleation and the growth of perovskite phase.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
คำนำ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ค
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายของการศึกษา	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ขบวนการโซล-เจล (Sol-Gel Chemistry)	4
2.2 การเกิดโครงสร้างลักษณะต่าง ๆกันตามรูป อธิบายได้ดังนี้	5
2.3 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffractometer)	7
3.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)	10
2.5 หลักการเกิดภาพของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	11
2.6 สมบัติพิโซอิเล็กทริก (Piezoelectric property)	12
2.7 เฟร์โรอิเล็กทริก (Ferroelectric)	14
2.8 เพอรอฟสไกด์เฟร์โรอิเล็กทริก (Perovskite ferroelectric)	18
2.9 การวิเคราะห์เชิงความร้อนด้วยเครื่อง Differential Thermal Analysis (DTA)	20
2.10 DTA	21
2.11 ปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์	21

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.12 การใช้ประโยชน์ของเครื่อง DTA	23
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	24
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	24
3.3 การเตรียมผง PZT โดยกระบวนการ sol-gel	25
3.4 กระบวนการเตรียมผง PZT	26
3.5 กระบวนการสร้างแผ่นฟิล์มบางของเลดเซอร์โคเนตไททาเนต	26
3.6 กระบวนการวิเคราะห์แผ่นฟิล์มบางเลดเซอร์โคเนต	27
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล	
4.1 ผลการวิเคราะห์เชิงความร้อนที่เป็นความร้อนด้วยเทคนิค DTA และ TGA ของผงผลึก เลดเซอร์โคเนตไททาเนต	30
4.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffractromater: XRD) ของผงผลึกเลดเซอร์โคเนตไททาเนต	32
4.3 ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของอนุภาค	33
4.4 ลักษณะเฉพาะของแผ่นฟิล์มบางเลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่ Pre-heat ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสและเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส	35
4.5 ลักษณะเฉพาะของแผ่นฟิล์มบางเลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่ Pre-heat ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียสและเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส	38
4.6 ลักษณะเฉพาะของแผ่นฟิล์มบางเลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่ Pre-heat ที่อุณหภูมิ 300องศาเซลเซียสและเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส	41
4.7 ลักษณะเฉพาะของแผ่นฟิล์มบางเลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่ Pre-heat ที่อุณหภูมิ 350องศาเซลเซียสและเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส	44
4.8 ลักษณะเฉพาะของแผ่นฟิล์มบางเลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่ Pre-heat ที่อุณหภูมิ 400องศาเซลเซียสและเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส	47

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	50
5.1 สรุปผลการตรวจสอบผงผสมของสารตั้งต้น	50
5.2 สรุปการตรวจสอบผงผลึกเลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่เตรียมได้	50
5.3 ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและการกระจายตัวของอนุภาคของผงผลึก PZT	50
5.4 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของรูปแบบการเผาที่มีต่อ ลักษณะเฉพาะของแผ่นฟิล์มบางเลดเซอร์โคเนตไททาเนต	51
บรรณานุกรม	55
ประวัติผู้วิจัย	60
ภาคผนวก	62
เอกสารประกอบการตีพิมพ์และแผยแพร่	

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 แสดงตัวอย่างการใช้ DTA ในการงานต่างๆ	23
4.1 แสดงขนาดของอนุภาคที่และการกระจายตัวของผงผลึก PZT	34
5.1 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของเกรนของแผ่นฟิล์มบางและค่าความขรุขระของพื้นผิวแผ่นฟิล์มบางเลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่ใช้อุณหภูมิในการ Pre-heat ต่างๆ	53

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
ภาพ 1 แบบจำลองสำหรับการพิสูจน์กฎของแบรกก์	8
ภาพ 2 ปรากฏการณ์พิโซอิเล็กทริกในวัสดุ (a) แบบตรง (b) แบบผันกลับ	13
ภาพ 3 แสดงการแบ่งกลุ่มพิโซอิเล็กทริกและกลุ่มย่อย	15
ภาพ 4 ความต่างเฟสระหว่างกระแสสลับ (*I*) และศักย์ไฟฟ้า (*V*) ของวัสดุไดอิเล็กทริก (a) กรณีไม่มีการสูญเสียพลังงาน (b) กรณีมีการสูญเสียพลังงาน	17
ภาพ 5 วงรอบฮิสเทอรีซิสระหว่างโพราไรเซชันกับสนามไฟฟ้าในสารเฟร์โรอิเล็กทริก	18
ภาพ 6 หน่วยเซลล์แบบเพอรอฟสไกต์ (ABO_3) ของแบเรียมไททาเนต	19
ภาพ 7 แสดงวงจรของเครื่อง DTA	20
ภาพ 8 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อกราฟ	21
ภาพ 9 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณของตัวอย่างต่อกราฟ	22
ภาพ 10 แผนภูมิขั้นตอนการเตรียมผง PZT	25
ภาพ 11 แสดงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Jeol รุ่น JSM 6335F	28
ภาพ 12 แสดง Atomic force Microscopy รุ่น Nanoscopellla	28
ภาพ 13 การวิเคราะห์เชิงความร้อนที่เป็นความร้อนด้วยเทคนิค DTA และTGA ของผงผลึกเลดเซอร์โคเนตไททาเนต	30
ภาพ 14 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ของผงผลึก PZT โดยการเผาแคลไซน์ ที่ 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600 และ 650 องศาเซลเซียส	31
ภาพ 15 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ XRD ของผงผลึก PZTโดยการเพิ่มปริมาณตะกั่วส่วนเกินที่ 0, 2, 5, 10 และ 15 %/mol	32
ภาพ 16 กราฟขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของอนุภาคผง PZT เมื่อเติมตะกั่วส่วนเกินa 0 %/mol b 2 %/mol c 5 %/mol d 10 %/mo และที่ 15 %/mol	33
ภาพ 17 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของแผ่นฟิล์มบางเลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่ผ่านการ Pre-heat ที่ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10นาที และเผาที่ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที	35

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
ภาพ 18 แสดงภาพ SEM ของแผ่นฟิล์มบางของเลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่ Pre-heat ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส และเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส	36
ภาพ 19 แสดงภาพ AFM ของแผ่นฟิล์มบางของเลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่ Pre-heat ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส และเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส	37
ภาพ 20 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของแผ่นฟิล์มบางเลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่ผ่านการ Pre-heat ที่ 250 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10นาที และเผาที่ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที	38
ภาพ 21 แสดงภาพ SEM ของแผ่นฟิล์มบางของเลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่ Pre-heatที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส และเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส	39
ภาพ 22 แสดงภาพ AFM ของแผ่นฟิล์มบางของเลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่ Pre-heat ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส และเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส	40
ภาพ 23 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของแผ่นฟิล์มบางเลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่ผ่านการ Pre-heat ที่ 300 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10นาที และเผาที่ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที	41
ภาพ 24 แสดงภาพ SEM ของแผ่นฟิล์มบางของเลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่ Pre-heat ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส และเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส	42
ภาพ 25 แสดงภาพ AFM ของแผ่นฟิล์มบางของเลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่ Pre-heat ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส และเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส	43
ภาพ 26 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของแผ่นฟิล์มบางเลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่ผ่านการ Pre-heat ที่ 350 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10นาที และเผาที่ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที	44
ภาพ 27 แสดงภาพ SEM ของแผ่นฟิล์มบางของเลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่ Pre-heat ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส และเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส	45
ภาพ 28 แสดงภาพ AFM ของแผ่นฟิล์มบางของเลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่ Pre-heat ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส และเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส	46

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ **หน้า**

ภาพ 29 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของแผ่นฟิล์มบางเลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่ผ่านการ Pre-heat ที่ 400 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10นาที และเผาที่ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที 47

ภาพ 30 แสดงภาพ SEM ของแผ่นฟิล์มบางของเลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่ Pre-heat ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส 48

ภาพ 31 แสดงภาพ AFM ของแผ่นฟิล์มบางของเลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่ Pre-heat ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส 49

ภาพ 32 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ของแผ่นฟิล์มบางเลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่ Pre-heat ด้วยอุณหภูมิต่างๆ 51

ภาพ 33 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงความเข้มของพีคหลักในแผ่นฟิล์มบางเลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่ Pre-heat ที่อุณหภูมิต่างๆ 52