

การศึกษาปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรคทีฟ
ในผลึก PMN-PT โดยใช้เทคนิค P-scan

STUDY OF PHOTOREFRACTIVE EFFECT
IN PMN-PT USING P-SCAN TECHNIQUE

สาธิตดาวัลย์ สุทธิรักษ์
SAISUDAWAN SUTTIKAK

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-SC-M-030-018

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาปรากฏการณ์โฟโตรีแฟกทีฟ
ในผลึก PMN-PT โดยใช้เทคนิค P-scan

STUDY OF PHOTOREFRACTIVE EFFECT
IN PMN-PT USING P-SCAN TECHNIQUE



สายสุดาวัลย์ สุตธีร์รักษ์
SAISUDAWAN SUTTIRAK

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....105298
วัน,เดือน,ปี.....1.8.พ.ศ. 2552



วิทยานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-SC-M-030-018

**STUDY OF PHOTOREFRACTIVE EFFECT
IN PMN-PT USING P-SCAN TECHNIQUE**

SAISUDAWAN SUTTIRAK

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS
FAULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2009
KMITL-2009-SC-M-030-018**

COPYRIGHT 2009

FAULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรคทีฟใน PMN-PT โดยใช้เทคนิค P-scan
Study of Photorefractive Effect in PMN-PT Using P-scan Technique
นักศึกษา นางสาวสายสุดาวลัย สุทธิรักษ์
รหัสประจำตัว 47064106
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.ประธาน บุรณศิริ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.วรการ	นียากร	
ดร.ประธาน	บุรณศิริ	
ดร.นราธิป	วิทยากร	
ผศ.ดร.รัชภาคย์	จิตต์อารี	

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 6 พฤษภาคม 2552 เวลา 09.00 – 12.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคารจุฬาภรณ์วลัยลักษณ์ 1 ห้อง 307

คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรวัฒน์ มงคลอัครวัฒน์)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

วันที่... 25...เดือน...พฤษภาคม...พ.ศ. 2552

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรคทีฟในผลึก PMN-PT โดยใช้เทคนิค P-scan
นักศึกษา	นางสาวสายสุดาวลัย สุทธิรักษ์
รหัสประจำตัว	47064106
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
พ.ศ.	2552
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.ประธาน บุรณศิริ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรคทีฟ (photorefractive) ในผลึกเลดแมกนีเซียมไนโอเบต-เลดไททานเทอ $0.64\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3-0.36\text{PbTiO}_3$ (0.64PMN-0.36PT) รีแลกเซอร์เฟอร์โรอิเล็กทริก (relaxor ferroelectric) โดยใช้เทคนิค P-scan สำหรับศึกษาสมบัติของสาร 0.64PMN-0.36PT โดยการใช้แสงเลเซอร์ 1 ลำแสงที่มีความยาวคลื่น 632 นาโนเมตร ตกกระทบและแทรกสอดลงบนระนาบ (001) ซึ่งผลึกที่นำมาทดสอบนี้ได้ทำการโพลที่ระนาบ (001) ที่สนามไฟฟ้า 2.5 kV/nm เป็นเวลา 30 นาทีในน้ำมันซิลิโคน (silicone oil) อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แล้ววัดค่า d_{33} ได้ 1300 pC/N เพื่อให้โครงสร้างการจัดเรียงตัวอยู่ในแนวเดียวกันจึงทำให้การกระจายตัวของแสงน้อย เนื่องจากการมีคุณสมบัติไม่เชิงเส้นทางแสงแบบโฟโตรีแฟรคทีฟพบว่าแสงที่ผ่านผลึกมีรูปร่างเปลี่ยนไปจากเริ่มต้น ซึ่งเป็นวงกลมกลายเป็นวงรีที่จากรับที่ระยะหนึ่งหลังผลึกและความเป็นวงรีจะมากที่สุดเมื่อแสงมีความเข้มเท่ากับ 0.30 มิลลิวัตต์ที่เวลา 1 นาที หลังจากแสงตกกระทบผลึกจากผลการศึกษาในที่นี้พบว่าผลึก 0.64PMN-0.36PT เป็นทางเลือกหนึ่งในการนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านต่าง ๆ เช่น optical correlator optical storage และ optical image processing ในทางอุตสาหกรรมต่อไป

Thesis Title	Study of Photorefractive Effect in PMN-PT Using P-scan Technique
Student	Miss Saisudawan Suttirak
Student ID.	47064106
Degree	Master of Science
Program	Applied Physics
Year	2009
Thesis Advisor	Dr. Pathan Buranasiri

ABSTRACT

In this research , the photo-refractive (PR) effect of relaxor ferroelectric $0.64\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - 0.36PbTiO_3 (0.64PMN-0.36PT) crystal has been investigated, by using the P-scan analysis. In experimental setup, one beam at 632.8 nm of HeNe laser is incident on (001) plain of crystal. The crystal had been poled parallel to this plane with the electric field = 2.5 kV/mm for 30 minutes in silicone oil at 40 °C. Then, the value of d_{33} is 1300 pC/N. The number of typical beam patterns and the experimental and theoretical variation of the beam ellipticity were investigated. By using the intensity equals to 0.30 mW with time observation 60 second the highest value of ellipticity has been observed. The studying in this research is show that 0.64PMN-0.36PT crystal may be a new choice of material for optical correlator ,optic storage and optical image processing for industrial applications in the near future.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีได้นั้นต้องขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ดร.ประธาน บุรณศิริ ดร.นราธิป วิทยากร ดร.วรการ นียากร และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัชภักย์ จิตต์อารี ที่ปรึกษาที่ให้คำปรึกษา เสนอแนะการทำวิทยานิพนธ์ และให้เกียรติมาเป็นคณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ ดร.อารีย์ ธนบุญสมบัติ ที่เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการในการเตรียมผลึก PMN-PT สำหรับใช้ในการทดลอง

ขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร. วราวุฒิ เถาลัดดา อาจารย์สุรชาติ กมลติลล ดร.จิตาภา ทิน้อย ดร. ภัทธรีชา กิตติเคชาชาญ อาจารย์ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง ดร.ปิติพร ถนอมงาม อาจารย์กฤษฎ์ ศรีนวลจันทร์ อาจารย์วิฑูรย์ ยินดีสุข อาจารย์กวางปัญญา สุโข และพีเกศณี เกตุนวม ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจให้แก่ข้าพเจ้า รวมถึงเพื่อน ๆ โดยเฉพาะ นายสมพบ แซ่เจีย นางสาวศลิษา วังทอง นางสาวสุดใจ แก้วหนู นายวิระพันธ์ ทิพพาพงศ์ นายพรประเสริฐ พุทธนรากุล นายสุวรรณ พลายพิชิต น้องแอนนา น้องเหม ที่ ๆ ที่ทำงานทุกคน และสุดท้ายขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจตลอดมา และให้คำปรึกษาในหลาย ๆ เรื่อง ช่วยเหลือและคอยให้กำลังใจ

ขอบคุณสำนักวิชาการสำหรับทุนทำเล่มวิทยานิพนธ์

ท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดานายสถิตย์ สุทธิรักษ์ มารดานางเสาวณี สมการณ์ ญาติ พี่ และน้องของข้าพเจ้าที่คอยให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าให้กำลังใจในยามที่ข้าพเจ้าท้อและยอมแพ้ให้ข้าพเจ้าได้มีกำลังใจในการสู้ในการเรียนครั้งนี้

สายสุดาวัลย์ สุทธิรักษ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI
สารบัญตาราง	VIII
อักษรย่อและสัญลักษณ์	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3. ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้.....	3
1.5. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1. ปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรคทีฟ (The Photorefractive Effect).....	4
2.2. เทคนิคพี-สแกน (P-scan Technique).....	9
2.3. ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Effect).....	13
2.4. The Split-Step Beam Propagation Method	16
2.5. ตัวอย่างงานวิจัยที่ได้มีการศึกษาในสาร PMN-PT	19
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง.....	27
3.1. อุปกรณ์การทดลอง	27
3.2. การเตรียมผลึกตัวอย่าง 0.64PMN-0.36PT	27
3.3. วิธีการทดลอง	29

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอธิบาย	30
4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมเลเซอร์บีมโปรไฟล์	30
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมแมทเล็บ	42
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	53
5.1 สรุปผลการทดลอง	53
5.2 แนวทางในการพัฒนา	53
เอกสารอ้างอิง	54
ภาคผนวก ก.	56
ประวัติผู้เขียน	59

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1-1	แสดงการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในแถบนำ (conduction band) ด้วยวิธีการของปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรคทีฟ (Band Transport Model)	5
2.1-2	แสดงปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรคทีฟ	6
2.3-1	รูปอธิบายลักษณะการเกิดปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กตริก	13
2.3-2	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ (ϵ_r') และค่าตัวประกอบสูญเสียเป็นความร้อน (ϵ_r'') ของ PMN กับอุณหภูมิและความถี่	14
2.3-3	แสดงเฟสไดอะแกรมของสารประกอบในระบบ $PMN_{1-x}PT_x$	15
2.4-1	แสดงกระบวนการทำงานของวิธีการ BPM	19
2.5-1	รูปแสดงพฤติกรรมเฟสการส่งผ่านของเซรามิก (1-x)PMN-xPT	23
2.5-2	รูปแสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่ความถี่ของ 10 kHz ของเซรามิก (1-x)PMN-xPT	23
2.5-3	รูปแสดงรูปฮิสเทอรีซิสของเซรามิก (1-x)PMN-xPT	23
2.5-4	แสดงชุดการทดลองแบบเทคนิคสองคลื่นแสงรวมกัน	25
3.2-1	แสดงการทำขั้วทางไฟฟ้าของผลึก 0.64PMN-0.36PT	28
3.3-1	แสดงการจัดอุปกรณ์การทดลอง P-scan เพื่อใช้สังเกตรูปร่างวงรีที่ได้จากผลึก	29
4.1-1	แสดงภาพถ่ายที่ได้จากลำแสงเลเซอร์ในตอนเริ่มต้นการทดลองซึ่งยังไม่ผ่านผลึก	30
4.1-2	แสดงผลการวิเคราะห์ที่ลำแสงเลเซอร์ที่ได้จากโปรแกรมเลเซอร์บีมโปรไฟล์	31
4.1-3	แสดงตัวอย่างการหาค่าความเป็นวงรีที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมเลเซอร์บีมโปรไฟล์	32
4.1-4	แสดงภาพที่ได้จากการทดลองที่ความเข้มแสงต่าง ๆ ที่เวลา 1 นาที	33
4.1-5	แสดงผลการวิเคราะห์เมื่อลำแสงเลเซอร์ผ่านผลึกที่ตำแหน่งใด ๆ เมื่อเวลา 1 นาทีโดยใช้โปรแกรมเลเซอร์บีมโปรไฟล์	35
4.1-6	แสดงภาพที่ได้จากการทดลองที่ความเข้มแสงต่าง ๆ ที่เวลา 3 นาที	36

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1-7 แสดงผลการวิเคราะห์เมื่อลำแสงเลเซอร์ผ่านผลึกที่ตำแหน่งใด ๆ เมื่อเวลา 3 นาที โดยใช้โปรแกรมเลเซอร์บีมโปรไฟล์	38
4.1-8 แสดงภาพที่ได้จากการทดลองที่ความเข้มแสงต่าง ๆ ที่เวลา 5 นาที	39
4.1-9 แสดงผลการวิเคราะห์เมื่อลำแสงเลเซอร์ผ่านผลึกที่ตำแหน่งใด ๆ เมื่อเวลา 5 นาที โดยใช้โปรแกรมเลเซอร์บีมโปรไฟล์	40
4.1-10 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นวงรีกับตำแหน่งผลึกที่ได้จาก โดยใช้โปรแกรมเลเซอร์บีมโปรไฟล์	41
4.2-1 แสดงการหาค่าความเป็นวงรีของผลึก PMN-PT ที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม MATLAB	43
4.2-2 แสดงภาพถ่ายที่ได้จากลำแสงเลเซอร์ในตอนเริ่มต้นการทดลองซึ่งยังไม่ผ่านผลึก	44
4.2-3 แสดงภาพที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม MATLAB	44
4.2-4 แสดงภาพที่ได้จากการทดลองที่ความเข้มแสงต่าง ๆ ที่เวลา 1 นาที	45
4.2-5 แสดงภาพการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองที่ความเข้มแสงต่าง ๆ ที่เวลา 1 นาที โดยใช้โปรแกรม MATLAB	46
4.2-6 แสดงภาพที่ได้จากการทดลองที่ความเข้มแสงต่าง ๆ ที่เวลา 3 นาที	47
4.2-7 แสดงภาพการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองที่ความเข้มแสงต่าง ๆ ที่เวลา 3 นาที โดยใช้โปรแกรม MATLAB	48
4.2-8 แสดงภาพที่ได้จากการทดลองที่ความเข้มแสงต่าง ๆ ที่เวลา 5 นาที	49
4.2-9 แสดงภาพการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองที่ความเข้มแสงต่าง ๆ ที่เวลา 5 นาที โดยใช้โปรแกรม MATLAB	50
4.2-10 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นวงรีกับตำแหน่งผลึกที่ได้จากโปรแกรม MATLAB	52

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1-1 แสดงการหาค่าความเป็นวงรีของผลึก PMN-PT เมื่อผ่านการวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรมเลเซอร์บีมโปรไฟล์	33
4.2-1 แสดงการหาค่าความเป็นวงรีของผลึก PMN-PT ที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม MATLAB	43

อักษรย่อและสัญลักษณ์

PRE	ปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรคทีฟ
0.64PMN-0.36PT	เลดแมกนีเซียมไนโอเบท-เลดไททานเนท($0.68\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3-0.32\text{PbTiO}_3$)
PMN	เลดแมกนีเซียมไนโอเบท
BPM	The split-step beam propagation method

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรคทีฟ (Photorefractive Nonlinear Effect ; PRE) ในผลึกรีแลกเซอร์เฟอร์โรอิเล็กทริกเลดแมกนีเซียมไนโอเบท-เลดไททานเทต($0.68\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3-0.32\text{PbTiO}_3 : 0.64\text{PMN}-0.36\text{PT}$) โดยใช้เทคนิค P-scan ซึ่งเป็นเทคนิคใหม่ที่มีการค้นพบมาจากเทคนิค Z-scan เป็นเทคนิคที่พัฒนามาเพื่อศึกษาสมบัติความไม่เป็นเชิงเส้นทางแสงของวัสดุใด ๆ โดยบันนาจีและคณะ [1] เทคนิค P-scan เป็นเทคนิคที่ใช้ในการศึกษาลักษณะการเกิดความเป็นวงรีของเกาส์เซียนบีมที่ผ่านออกมาจากผลึกเนื่องจากคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นทางแสงของสารที่ตกกระทบ ซึ่งเทคนิค P-scan นี้จะใช้วิธีการโดยให้ผลึกอยู่ตำแหน่งเดิมแต่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงแล้วสังเกตรูปร่างลักษณะของลำแสงหลังจากผ่านผลึกว่ามีความเป็นวงรี แล้วนำไปการวิเคราะห์ความเป็นวงรีด้วยโปรแกรมเลเซอร์บีมโปรไฟล์และโปรแกรม MATLAB ในผลึก $0.64\text{PMN}-0.36\text{PT}$ นี้ได้ถูกศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์และการนำไปใช้ประโยชน์มาแล้วในหลาย ๆ ด้าน เช่น โพรงสั้นพ้อง (resonator) ซึ่ง H.T.Wong และคณะ ได้มีการศึกษาผลึก PMN-PT สำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในโพรงสั้นพ้อง โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ (Finite Element Method) ได้นำไปใช้ในการคำนวณทางคอมพิวเตอร์ทั้งสเปกตรัมของความต้านทานเชิงซ้อนและการแทนที่ด้วยการสั้นสำหรับหน่วยความจำ PMN-PT [2] สเปกตรัมการส่งผ่านทางแสง (optical transmission spectra) ซึ่ง Xinming Wan และคณะ ได้มีการศึกษาสเปกตรัมการส่งผ่านทางแสงของผลึกเดี่ยว PMN-PT ถูกศึกษาอย่างเป็นระบบที่อุณหภูมิห้องและเปรียบเทียบกับโครงสร้างการจัดเรียงอื่นพบว่าผลที่ออกมาเป็นช่วงกว้างในการนำไปประยุกต์ใช้ทางแสง บางการอธิบายเกี่ยวกับโครงสร้างแปดเหลี่ยมของออกซิเจนนั้นได้คำนวณที่ระดับพลังงานง่าย ๆ ของผลึกที่แสดงสมบัติทางแสงของผลึกเดี่ยว PMN-PT [3] ผลการยืดหยุ่นทางแสง (photoelastic effect) [4] อิเล็กโตรออปติกส์ (electro-optical) ถูกนำไปใช้ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และการนำไปใช้ทางด้านความไม่เป็นเชิงเส้นทางแสง (nonlinear-optical device applications) ได้มีการศึกษาสมบัติความไม่เป็นเชิงเส้นในโครงสร้างแปดเหลี่ยมของออกซิเจนผลึกเฟอร์โรอิเล็กทริกที่ใช้ในเครื่องปรับค่าอิเล็กโตรออปติกส์ การหักเหทางแสงและเครื่องกำเนิดความถี่ลำดับที่สองทางแสง [5] เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การศึกษาทางด้านโฟโตรีแฟรคทีฟเพิ่งเริ่มถูกสนใจที่จะศึกษา จากการศึกษาที่ผลึก PMN-PT อาจเป็นตัวเลือกที่ดีตัวหนึ่งในอุตสาหกรรมได้ในอนาคต[6] Zuyong Feng และคณะ ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับผลของสนามไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำให้เกิดค่าความเครียดของการจัดเรียงอะตอมของ

สารประกอบ PMN-PT ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการศึกษาพฤติกรรมของความเครียดที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามไฟฟ้าของผลึก PMN-PT ซึ่งองค์ประกอบและข้อกำหนดที่แตกต่างกันถูกสนใจสำหรับการใช้ควบคุมสนามไฟฟ้า ความสัมพันธ์ในแต่ละเฟสการเหนี่ยวนำการส่งผ่านของสนามไฟฟ้า ที่สนามไฟฟ้า -2 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร สามารถถูกนำมาประยุกต์ใช้กับสารเฟอร์โรอิเล็กทริก PMN-PT ซึ่งมีอิสระรีซิสต้า ซึ่งจะมีผลดีกับผู้ที่ทดสอบและการใช้ในกระบวนการของโซลิต-ซเตท [9] Seung-Eek Eagle Park และ Wesley Hackenberger ได้มีการศึกษาปัญหาและการนำไปประยุกต์ใช้ของผลึกที่มีค่าเพียโซอิเล็กทริกสูง สนามไฟฟ้าสูงและการใช้วิธีเชิงกลในการทำความเข้าใจ กระบวนการหลังการเจริญเติบโต เช่น การทำซ้ำ การออกแบบจะต้องเหมาะสมเมื่อคำนึงถึงสนามไฟฟ้าที่สูงและก่อนทำความเข้าใจ[12]

1.2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาการใช้เทคนิคพี-สแกน (P-scan)
2. เพื่อศึกษาหลักการเกิดปรากฏการณ์โพโตรีแฟรคทีฟและสถานะที่เหมาะสมสำหรับความเป็นวงรีของลำแสงที่ผ่านผลึก PMN-PT

1.3. ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาโดยใช้เทคนิค P-scan ในการศึกษาสมบัติความไม่เป็นเชิงเส้นของการเกิดลักษณะรูปวงรีของลำแสงโดยเปลี่ยนกำลังของแสงเลเซอร์ที่ 0.10 0.30 0.50 0.75 และ 0.95 มิลลิวัตต์ ที่ความยาวโฟกัสของเลนส์นูน 10 เซนติเมตร
2. ศึกษาโดยการเก็บข้อมูลที่ตำแหน่งของผลึกจาก 8.50-11.50 เซนติเมตร โดยการเก็บข้อมูลครั้งละ 0.05 เซนติเมตร
3. ศึกษาโดยการเก็บข้อมูลแต่ละข้อมูลที่เวลา 1 3 และ 5 นาที
4. ศึกษาปรากฏการณ์โพโตรีแฟรคทีฟโดยใช้ผลึก 0.64PMN-0.36PT
5. ศึกษาโดยการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมเลเซอร์บีเอ็มโปรไฟล์ และใช้ MATLAB

1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้

1. สามารถใช้เทคนิค P-scan ในการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองได้
2. สามารถอธิบายปรากฏการณ์โฟโตรีเฟรคทีฟในผลึก 0.64PMN-0.36PT ได้
3. สามารถใช้โปรแกรม MATLAB ในการวิเคราะห์ข้อมูล
4. สามารถใช้โปรแกรมเลเซอร์บีมโปรไฟล์ ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้
5. สามารถนำความรู้เกี่ยวกับการใช้เทคนิค P-scan ไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาปรากฏการณ์ไม่เป็นเชิงเส้นในสารอื่น ๆ ได้

1.5. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

แผนการดำเนินการแบ่งเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาหลักการใช้เทคนิค P-scan รวมถึงเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในเทคนิค

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาสมบัติความไม่เป็นเชิงเส้นทางแสงของผลึก 0.64PMN-0.36PT

ขั้นตอนที่ 3 ทำการทดลอง

ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์ผลการทดลองเปรียบเทียบกับทฤษฎี

ขั้นตอนที่ 5 สรุปและอภิปรายผลงานวิจัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1. ปปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรคทีฟ (The Photorefractive Effect)

ปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรคทีฟเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากตัวกลางมีการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเห เมื่อยิงลำแสงเลเซอร์ที่เป็นแหล่งกำเนิดอาพันธ์สองลำเข้าไปในตัวกลางซึ่งทำให้เกิดความแปรปรวนของความเข้มแสงในตัวกลาง ปรากฏการณ์นี้ได้ถูกค้นพบครั้งแรกในผลึก LiNbO_3 โดย แอสกิน และคณะ ในปี ค.ศ. 1966 หลังจากนั้นปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรคทีฟนั้นได้มีการสังเกตพบในผลึกต่าง ๆ เช่น BaTiO_3 KNbO_3 LiTaO_3 $\text{Sr}_{1-x}\text{Ba}_x\text{O}_6$ (SBN) KTN BiSiO_2 (BSO) $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ (BGO) GaAs InP และ CdTe เป็นต้น นอกจากนี้ปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรคทีฟนั้นยังถูกค้นพบในสารอินทรีย์ (organic materials) และวัสดุโพลิเมอร์ (polymer) แบบจำลองที่ใช้อธิบายปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรคทีฟเรียกว่าแบบจำลอง BAND TRANSPOST หรือแบบจำลองของ Kukhtarev equation ซึ่งเรียกตามแบบผู้สร้างแบบจำลองขึ้นมา ซึ่งในชั้นของ impurities หรือ imperfections สำหรับการอธิบายให้ง่ายขึ้นเกี่ยวกับความคิดที่ว่า การให้อิเล็กตรอน (donor impurities) สามารถถูกเปลี่ยนไปเป็นไอออนได้โดยการดูดกลืนโฟตอน ซึ่งผลของการดูดกลืนโฟตอนนั้นทำให้อิเล็กตรอนเข้าไปสู่สถานะแถบนำ (conduction band) ดังรูปที่ (2.1-1) แบบจำลอง Kukhtarev equation ที่ใช้ใน PR นี้ประกอบด้วย 4 สมการหลัก ๆ ดังนี้ [7] , [8]

$$\frac{\partial N_D^+}{\partial t} = (c_p I + \beta)(N_D^0 - N_D^+) - \gamma n_e N_D^+ \quad (2.1-1)$$

$$\frac{\partial n_e}{\partial t} = \frac{\partial N_D^+}{\partial t} + \frac{1}{e}(\nabla \cdot \mathbf{j}) \quad (2.1-2)$$

$$\mathbf{j} = n_e e \mu \vec{E} + k_B T \mu \nabla n_e \quad (2.1-3)$$

$$\nabla \cdot \epsilon \mathbf{E} = \rho(r) = -4\pi e (n_e + N_A + N_D^+) \quad (2.1-4)$$

เมื่อ N_D^0 = ความหนาแน่นของการให้อิเล็กตรอน (density of donor impurity)

N_A = ความหนาแน่นของการรับอิเล็กตรอน (the acceptor impurity)

N_D^+ = ความหนาแน่นของการให้อิเล็กตรอนที่ถูกดูดกลืน (density of donor impurity of which are ionized)

I = ความเข้มของแสงเลเซอร์ (mW/cm^2) (the light intensity)

n_e = ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน (electron density)

c_p = the cross section for photoexcitation

β = อัตราการเกิดความร้อนของอิเล็กตรอน (the rate of thermal generation of electrics)

γ = อัตราการรวมตัวใหม่ของการจับ (the electron-ionized trap recombination rate)

J = ความหนาแน่นของกระแส (แอมแปร์ ; A) (the current density)

e = ประจุอิเล็กตรอน ($e = 1.602 \times 10^{-19} \text{C}$) (the electron charge)

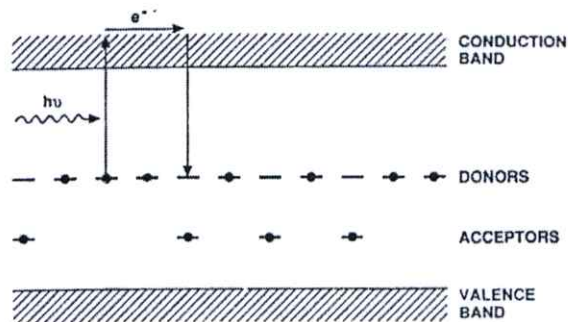
μ = ความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน (the mobility tensor)

$k_B T$ = ค่าคงที่โบลท์ซมานและอุณหภูมิ (ตารางเมตรกิโลกรัมต่อวินาทีกำลังสอง ; $\text{m}^2 \text{kgK}^{-1}$ และเคลวิน ; K) (the product of the Boltzmann constant and temperature)

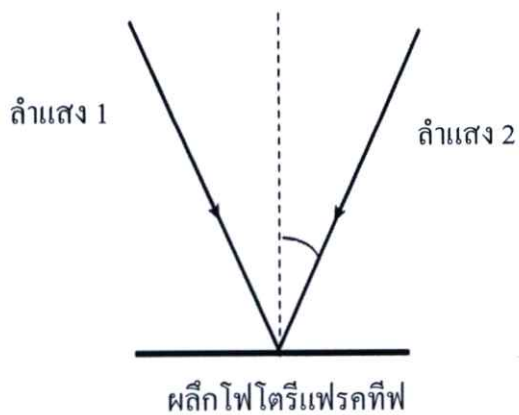
E = สนามไฟฟ้า (จูล; J) (the electric field)

ϵ = ค่าคงไดอิเล็กตริก (the dielectric tensor)

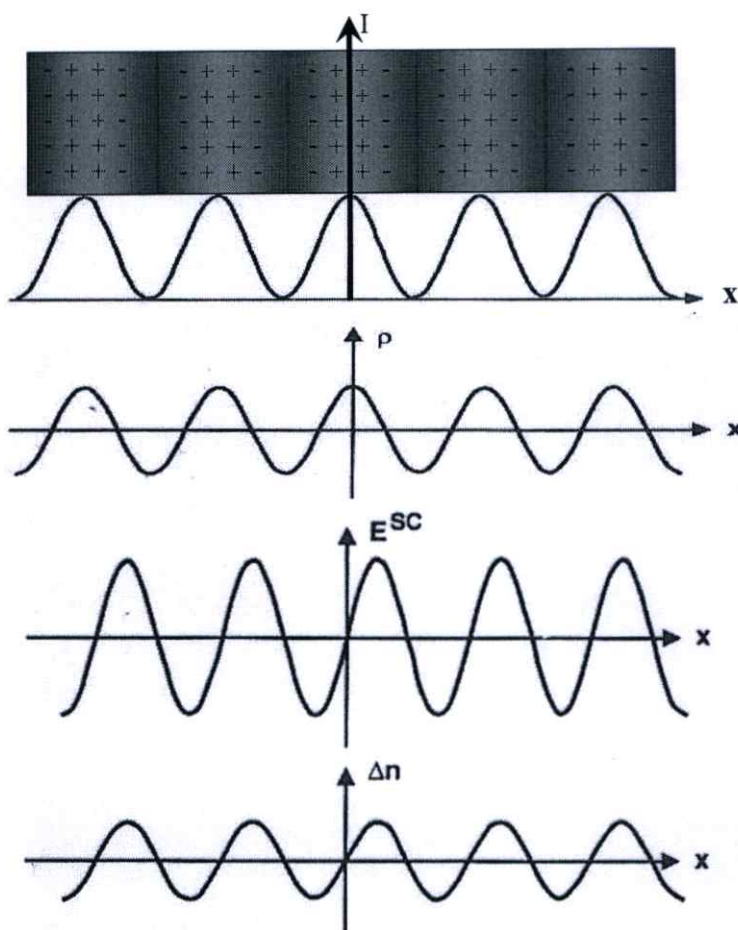
ในรูปที่ (2.1-1) นั้นแสดงถึงการให้อิเล็กตรอนและการรับอิเล็กตรอน ในกรณีที่ไม่มีอิเล็กตรอนในแถบตัวนำและไม่มีโฮลในแถบวาเลนซ์ (valence) ซึ่งความหนาแน่นของการให้อิเล็กตรอนที่ถูกดูดกลืนจะเป็นเช่นเดียวกับการรับอิเล็กตรอน



รูปที่ (2.1-1) แสดงการดูดกลืนอิเล็กตรอนสู่แถบตัวนำ (conduction band) ด้วยวิธีการของปรากฏการณ์โฟโตรีเฟรคทีฟ (Band Transport Model)



ก.



ข.

ค.

ง.

จ.

รูปที่ (2.1-2) แสดงปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรคทีฟ

- (ก.) รูปแสดงการส่องแสงสองแสงบนผิวของสารโฟโตรีแฟรคทีฟ
- (ข.) รูปแสดงภาพความเข้มแสงภายในสารในขณะที่แสงส่องผ่านสารโฟโตรีแฟรคทีฟ
- (ค.) รูปแสดงลักษณะของประจุภายในสารในขณะที่แสงส่องลงบนผิวของสารโฟโตรีแฟรคทีฟ
- (ง.) รูปแสดงสนามไฟฟ้าซึ่งเกิดจากประจุ (space-charge field)
- (จ.) รูปการเปลี่ยนแปลงดัชนีหักเหของแสง

การศึกษาปรากฏการณ์โฟโตรีเฟรคทีฟนั้นสามารถศึกษาได้โดยการยิงลำแสงเลเซอร์สองลำแสงที่สอดคล้องกันซึ่งมีแอมพลิจูดและความถี่เดียวกันยิงเข้าไปในสารโฟโตรีเฟรคทีฟดังรูปที่ (2.1-2ก.) รูปแบบของสนามไฟฟ้าที่ได้จากแสงที่ตกกระทบลงบนสารสามารถเขียนเป็นสมการได้เป็น

$$E = E_1 \exp(i\omega t - ik_1 \cdot r) + E_2 \exp(i\omega t - ik_2 \cdot r) \quad (2.1-5)$$

สมการการแทรกสอดของแสงเมื่อลำแสงสองอันข้างต้นตกกระทบ

$$I(r) = I_0 + \text{Re} \{ I_1 e^{-iK \cdot r} \} \quad (2.1-6)$$

เมื่อ k = เลขคลื่น (the wave vectors)

r = ทิศทางของลำแสง

ω = ความเร็วเชิงมุม (เรเดียน/วินาที)

K = เลขคลื่นของเกรตติง (the grating wave vector) ($K = k_2 - k_1 = 2\pi/\Lambda$)

$$I_0 = |E_1|^2 + |E_2|^2 \quad (2.1-7)$$

$$I_1 = 2E_2 \cdot E_1^* \quad (2.1-8)$$

ก็จะทำให้เกิดการแทรกสอดกันภายในสารโฟโตรีเฟรคทีฟ ผลของการเกิดการแทรกสอดนั้นจะทำให้เกิดแถบมืดและแถบสว่างสลับกันซึ่งแถบมืดและแถบสว่างนั้นจะเกิดการกระจายตัวของประจุ โดยที่แถบมืดจะมีความหนาแน่นของประจุเป็นลบและแถบสว่างนั้นจะมีความหนาแน่นประจุเป็นบวกแสดงให้เห็นดังรูปที่ (2.1-2ข.) ถ้าสมมุติว่าสารโฟโตรีเฟรคทีฟเป็นประเภทที่ให้อิเล็กทรอนิกส์กับแถบคอนดักชันแบน (n-doped) อิเล็กตรอนในแถบสว่างจะเคลื่อนที่เข้าไปในบริเวณแถบมืดซึ่งจะทำให้มีการกระจายของประจุอยู่ในรูปฟังก์ชันไซน์ ในการกระจายตัวของประจุโดยทั่วไป สนามไฟฟ้าจะมีค่าคงที่ ฉะนั้นการเปลี่ยนแปลงดัชนีหักเหของสารจะเป็นไปตามสมการที่ (2.1-1) เป็นสมการที่ใช้ในการอธิบายอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกคลุกกลืน ซึ่งในพจน์แรกของสมการนั้นเป็นการสร้าง อิเล็กตรอนส่วนในพจน์ที่สองจะเป็นอัตราการจัดอิเล็กทรอนิกส์ และสมการที่ (2.1-2) เป็นสมการ

อธิบายอัตราความหนาแน่นของอิเล็กตรอน การเปลี่ยนแปลงของอิเล็กตรอนจะนำไปสู่ space charge field ซึ่งมีผลต่อการหมุนเวียนของอิเล็กตรอนตัวนำ ความหนาแน่นของกระแสประกอบด้วย การให้จากการลอยตัวของประจุตัวนำเนื่องจากสนามไฟฟ้าและความแตกต่างเนื่องจาก the gradient of carrier density สามารถอธิบายได้จากการใช้สมการที่ (2.1-3) ซึ่งสนามไฟฟ้าจะได้จากสมการ Poisson ดังสมการที่ (2.1-4) ในการสร้างสนามไฟฟ้าที่มีประจุว่าง (space-charge field) จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งการกระจายตัวของประจุ(diffusion current)เกิดความสมดุลเนื่องจากประจุที่ลอยตัว (drift current) แสดงดังรูปที่ (2.1-2 ง. และ จ.) สามารถหาได้จากการหาอนุพันธ์จากสมการที่ (2.1-4) สามารถเขียนเป็นสมการ

$$E = \rho_0 \frac{K}{K \cdot \epsilon K} \sin(K \cdot r) \quad (2.1-9)$$

ซึ่งการเปลี่ยนเฟสมีค่าเป็น $\pi/2$ สัมพันธ์รูปแบบความเข้มแสง ในที่นี้สนามไฟฟ้าที่มีประจุว่าง (space-charge field) จะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของดัชนีหักเหของแสงผ่านปรากฏการณ์ Pockels' effect สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการ

$$\Delta \left(\frac{1}{n} \right) = r_{ijk} E_k^{sc} \quad (2.1-10)$$

ขึ้นอยู่กับปรากฏการณ์อิเล็กโตรออปติกส์ (electro-optic effect) ซึ่งในที่นี้จะมีค่าดัชนีของเกรตติง เป็น $\pi/2$ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเฟสจากรูปแบบการแทรกสอดของแสงในตัวกลางสาร

ข้อสรุปในการอธิบายปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรคทีฟประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอนซึ่งต้องเกิดขึ้นในสารที่มีสมบัติอิเล็กโตรออปติกส์

1. การดูดกลืนแสงของสารเจือและการเกิดขึ้นของประจุตัวนำ
2. การเคลื่อนย้ายของประจุตัวนำ
3. อัตราความหนาแน่นในการรวมตัวของประจุตัวนำกับโฮลและการส่งผ่านของที่ว่างของประจุ
4. การส่งผ่านของแสงที่เหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่ว่างของประจุ
5. การเปลี่ยนแปลงของดัชนีหักเหของผลึกซึ่งมีคุณสมบัติอิเล็กโตรออปติกส์ (Pockels effect)

2.2. เทคนิคพี-สแกน (P-scan Technique)

เทคนิคพี-สแกนเป็นเทคนิคใหม่ที่ถูกพัฒนามาจากเทคนิคซี-สแกน เป็นเทคนิคใหม่ที่เริ่มสนใจศึกษาลักษณะรูปแบบที่เปลี่ยนแปลงไปของเกาส์เซียนบีม เมื่อผ่านตัวกลางใด ๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบไม่เชิงเส้น สามารถถูกคำนวณจากการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของสารที่ตำแหน่งต่าง ๆ จากความยาวโฟกัสด้านหลังของภายนอกเลนส์ ความไม่เป็นเชิงเส้นนั้นขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของการให้และการรับอิเล็กตรอน (the acceptor-to-donor ; N_A/N_D) ได้ เมื่อเกาส์เซียนบีมเดินทางในระนาบ Δz เกิดขึ้นในสาร n_2 การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ q สามารถเขียนได้เป็น [1], [9]

$$\Delta q = \Delta z + \frac{q^2}{f_{ind}(\Delta z)} \quad (2.2-1)$$

เมื่อ f_{ind} = ความยาวโฟกัสเลนส์เหนี่ยวนำเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นของสารยาว Δz ดังนั้นรูปแบบของการแพร่กระจายต้องเป็นไปตามรูปแบบของเกาส์เซียนบีมที่เป็นวงรี สมมติว่าเกาส์เซียนบีมที่ตกกระทบคือ

$$E(x, y, z) = a(z) \exp\left(-\frac{x^2}{w_x^2}\right) \exp\left(-\frac{y^2}{w_y^2}\right) \quad (2.2-2)$$

สำหรับเกาส์เซียนบีมที่เป็นวงรี

$$\Delta q_x = \Delta z + \frac{q_x^2}{f_{ind_x}}, \quad \Delta q_y = \Delta z + \frac{q_y^2}{f_{ind_y}}, \quad (2.2-3)$$

ดังนั้น

$$n = n_\ell + n_2 |E|^2 \approx n_\ell - 2n_2 a^2(z) \left(\frac{x^2}{w_x^2} + \frac{y^2}{w_y^2} \right) \quad (2.2-4)$$

ในการคำนวณการเปลี่ยนแปลงเฟสในการส่งผ่านความไม่เป็นเชิงเส้นผ่านส่วนย่อย Δz ของสารและการกำหนดความยาวโฟกัสที่ถูกเหนี่ยวนำ สามารถเขียนได้เป็น

$$f_{\text{ind}_x} = \frac{n \ell w_x^2}{4n_{2_x} a^2(z) \Delta z}$$

$$f_{\text{ind}_y} = \frac{n \ell w_y^2}{4n_{2_y} a^2(z) \Delta z} \quad (2.2-5)$$

แทนสมการที่ (2.2-5) ลงในสมการที่ (2.2-3) ใส่ขอบเขตในการคำนวณเป็น $\Delta z \rightarrow 0$ จะได้เป็น

$$\frac{dq_x}{dz} = 1 + \frac{4n_{2_x} a(z) q_x^2}{n \ell w_x^2}$$

$$\frac{dq_y}{dz} = 1 + \frac{4n_{2_y} a(z) q_y^2}{n \ell w_y^2} \quad (2.2-6)$$

ใช้ความสัมพันธ์ $1/q = 1/R - i(\lambda_0/n\ell\pi w^2)$ R คือรัศมีความโค้งของเกาส์เซียนบีม ซึ่ง $1/R = 1/w \, dw/dz$ ดังนั้น

$$\frac{1}{R_x^2} \frac{dR_x}{dz} = \frac{n \ell \pi^2 w_x^4 - \lambda_0^2 R_x^2}{(n \ell \pi w_x^2 R_x)^2} - \frac{4n_{2_x} a^2}{n \ell w_x^2}$$

$$\frac{1}{R_y^2} \frac{dR_y}{dz} = \frac{n \ell \pi^2 w_y^4 - \lambda_0^2 R_y^2}{(n \ell \pi w_y^2 R_y)^2} - \frac{4n_{2_y} a^2}{n \ell w_y^2} \quad (2.2-7)$$

$$\frac{d^2 w_x}{dz^2} = \frac{\lambda_0^2}{n_\ell^2 \pi^2 w_x^3} - \frac{4n_{2x} a^2}{n_\ell w_x^2}$$

$$\frac{d^2 w_y}{dz^2} = \frac{\lambda_0^2}{n_\ell^2 \pi^2 w_y^3} - \frac{4n_{2y} a^2}{n_\ell w_y^2} \quad (2.2-8)$$

$P = (\pi/2\eta)a^2 w_x w_y$ แทนลงในสมการที่ (2.2-8) จะได้

$$\frac{d^2 w_x}{dz^2} = \frac{\lambda_0^2}{n_\ell^2 \pi^2 w_x^3} - \frac{8n_{2x} P \eta}{\pi n_\ell w_x^2 w_y}$$

$$\frac{d^2 w_y}{dz^2} = \frac{\lambda_0^2}{n_\ell^2 \pi^2 w_y^3} - \frac{8n_{2y} P \eta}{\pi n_\ell w_y^2 w_x} \quad (2.2-9)$$

สมมติว่า $n_{2x} \gg n_{2y}$ และการเปลี่ยนแปลงความกว้างของ w_x และ w_y ของความเป็นวงรีของเกาส์เขียนปิมผ่านสาร ดังนั้น

$$\frac{d^2 w_x}{dz^2} = \frac{\lambda_0^2}{n_\ell^2 \pi w_x^3} - \frac{8n_{2x} \eta P}{\pi n_\ell w_x^2 w_y} \Rightarrow$$

$$w_x^2(z) = w_0^2 \left(1 + \frac{z^2}{z_{R_x}^2} \right), \quad z_{R_x} = \frac{n_\ell \pi w_0^2}{\lambda_0} \left(1 + \frac{4n_\ell n_{2x} \eta \pi P}{\lambda_0^2} \right) \quad (2.2-10)$$

$$\frac{d^2 w_y}{dz^2} = \frac{\lambda_0^2}{n_\ell^2 \pi^2 w_y^3} \Rightarrow$$

$$w_y^2(z) = w_0^2 \left(1 + \frac{z^2}{z_{R_y}^2} \right), \quad z_{R_y} = \frac{n_\ell \pi w_0^2}{\lambda_0} \quad (2.2-11)$$

ในที่นี้ n_2 เป็นค่าสัมประสิทธิ์ดัชนีหักเหเชิงเส้น (the effective nonlinear refractive-index) ซึ่งสามารถหาได้จาก $n = n_\ell + n_2 \vec{E}$ ซึ่ง

n_ℓ = ดัชนีหักเหแสงเชิงเส้นตรง (the linear refractive index)

E = สนามไฟฟ้าทางแสง (the optical field)

λ_0 = ความยาวคลื่นในสุญญากาศ (the free-space wavelength)

η = สมบัติเฉพาะของความต้านทานกระแสไฟฟ้าของสาร (the characteristic impedance of the material)

P = กำลังของแสง (the beam power)

สมการที่ (2.4-10) และ (2.4-11) ได้มาจาก q-transformation เกิดขึ้นกับการใช้ค่าประมาณโดยเฉลี่ยของความกว้างของลำแสงเกาส์เซียนลักษณะวงรี (elliptic Gaussian beam) ในตัวกลางที่ไม่เป็นเชิงเส้น ผลของ n_2 สามารถเขียนเป็น

$$n_2 \cong -\frac{1}{2} n_\ell^3 r_{33} \frac{\varphi \alpha \gamma N_A}{\mu e \beta N_D} \quad (2.2-12)$$

ที่ r_{33} = ค่าสัมประสิทธิ์อิเล็กโตรออปติกส์ (the electro-optic coefficient)

φ = ค่าคงที่โฟโตโวลต์อิกส์ (photovoltaic constant)

γ = ค่าคงที่การรวมตัวใหม่ (the recombination constant)

α = ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน (the absorption coefficient)

μ = ความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน (the mobility)

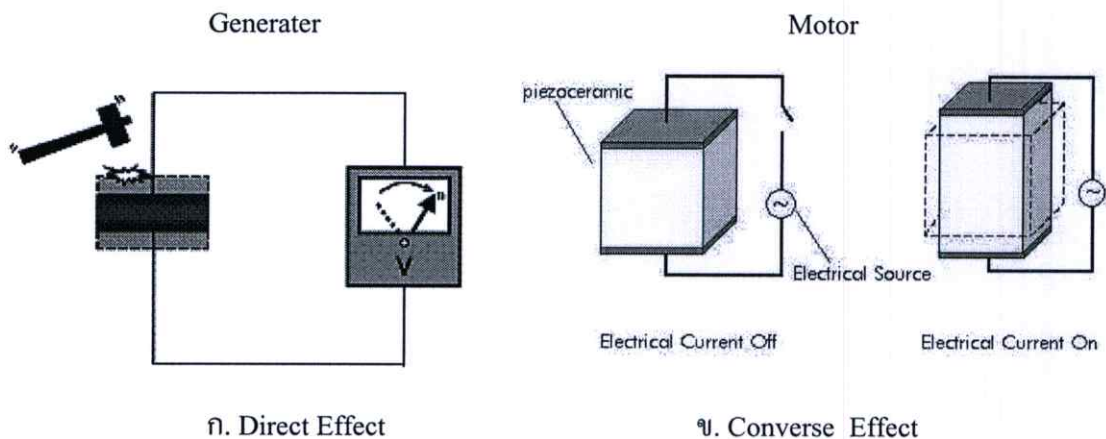
e = ประจุอิเล็กตรอน (the electron charge)

β = อัตราส่วนที่เกิดขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิ (the thermal generation rate)

เป็นที่เข้าใจชัดเจนว่าในทิศทางแกน x การแผ่รังสีของลำแสงมีค่ามากกว่าใน the linear diffraction-limited ในกรณีที่ $n_2 < 0$ และมีค่าเล็กน้อยเมื่อ $n_2 > 0$ จากสมการที่ (2.2-12) ความไม่เป็นเชิงเส้นของแสงไม่มีผลต่อความกว้างของลำแสงตามทิศทางแกน y ซึ่งจะนำไปสู่รูปแบบความเป็นวงรีของลำแสงที่ภายนอกสารและในทั่ว ๆ ไปในการมองโดยระยะไกล

2.3. ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Effect)

ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก คือ ปรากฏการณ์ของสารที่สามารถเกิดขั้วไฟฟ้า (Electrical polarization) จากความเครียด (Strain) ในวัสดุเนื่องจากมีแรงกระทำต่อสารหรือความเค้น (Stress) ที่ให้เข้าไป ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกโดยตรง (Direct piezoelectric effect)” แสดงดังรูปที่ (2.3-1ก.) และในทางตรงกันข้าม วัสดุเพียโซอิเล็กทริกยังสามารถเกิดความเครียดซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสนามไฟฟ้าที่ให้เข้าไป ปรากฏการณ์นี้ เรียกว่า “ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกโดยอ้อม (Converse piezoelectric effect)” แสดงดังรูปที่ (2.3-1ข.) ซึ่งทั้งสองเหตุการณ์นี้สามารถอธิบายได้โดยมองถึงสมบัติของสนามไฟฟ้าและการยืดหยุ่น ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการดังนี้



รูปที่ (2.3-1) รูปอธิบายลักษณะการเกิดปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก

(ก.) Direct Effect (ข.) Converse Effect [10]

$$D = d_{33}E + \epsilon^T E \quad (2.3-1)$$

$$S = s^E T + d_{33}E \quad (2.3-2)$$

เมื่อ

D = ค่าการกระจายตัวของไดอิเล็กทริก (the dielectric displacement)

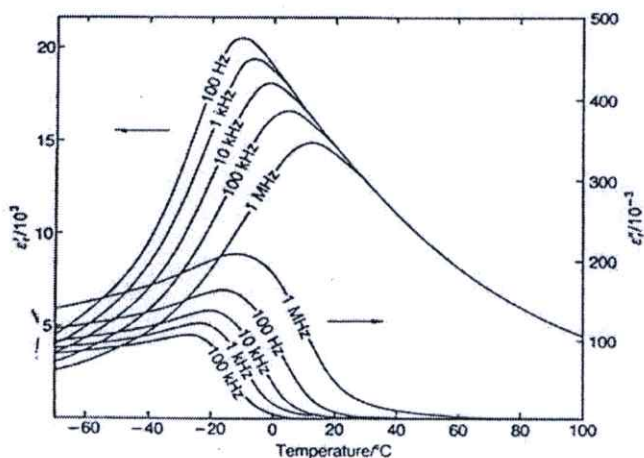
T = ความเค้น (นิวตันต่อตารางเมตร ; N/m^2) (the stress)

S = ความเครียด (the strain)

s = the material compliance
 d_{33} = ค่าสัมประสิทธิ์เพียโซอิเล็กทริก (คู่ออมต่อนิวตัน ; C/N หรือ เมตรต่อโวลต์ ; m/V) (a piezoelectric coefficient)

ϵ = ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (8.85×10^{-12} F/m)(the dielectric constant)

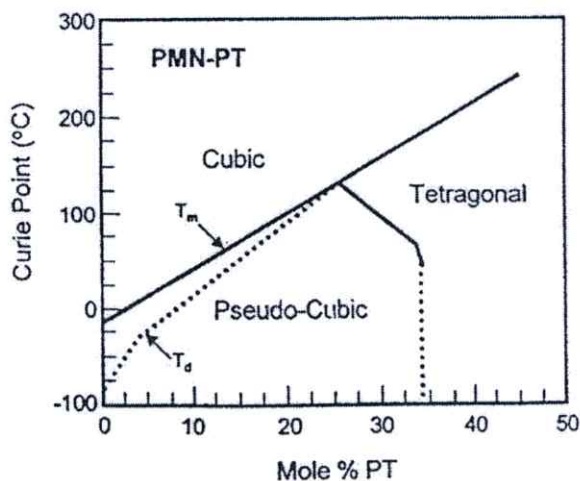
เลดแมกนีเซียมไนโอเบท ($\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$) เป็นสารประเภทเพโรฟสไกต์เชิงซ้อน (complex perovskites หรือ $\text{A}(\text{B}_1\text{B}_2)\text{O}_3$) โดยปกติอุณหภูมิคูรีของ PMN ณ ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตจะอยู่ที่ประมาณ -10 องศาเซลเซียส โดย PMN เป็นสารที่มีค่า $T_C(\epsilon_{r,\max})$ อยู่หลายค่าขึ้นกับความถี่ที่ใช้ โดยปกติจะมีค่าสูงสุดขึ้นเมื่อมีการเพิ่มความถี่ ในขณะที่ค่าตัวประกอบการสูญเสียเป็นความร้อนจะมีค่า $T_C(\tan \delta, \max)$ ที่ไม่ตรงกับค่า $T_C(\epsilon_{r,\max})$ และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ความถี่สูงและที่สำคัญ ณ ความถี่เดียวกันค่า $T_C(\epsilon_{r,\max}) > T_C(\tan \delta, \max)$ เสมอ ดังแสดงในรูปที่ (2.3-2)



รูปที่ (2.3-2) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ (ϵ_r') และค่าตัวประกอบการสูญเสียเป็นความร้อน (ϵ_r'') ของ PMN กับอุณหภูมิและความถี่ [11]

เมื่อพิจารณาที่กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์กับอุณหภูมิของเลดแมกนีเซียมไนโอเบทจะพบว่า มีลักษณะเป็นรูปประฆังคว่ำที่มีฐานกว้างมาก แสดงให้เห็นถึงลักษณะของการเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของเฟสที่แพร่กระจายมีสาเหตุเนื่องมาจากการมีองค์ประกอบทางเคมีที่ไม่สม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกันในระดับจุลภาค จากกราฟที่แสดงในรูป (2.3-2) มีลักษณะฐานกว้างนั้นแสดงถึงการมีช่วงของการแปรค่า ϵ_r' ตามอุณหภูมิในไดอิเล็กทริกกว้าง แต่เนื่องจากค่า T_C ของเลดแมกนีเซียมไนโอเบทที่ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิห้องมาก จึงทำให้สามารถนำ PMN ไปใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิที่จำกัด ต่อมาจึงได้เกิดมีการพัฒนาวิธีการที่จะนำเลด

แมกนีเซียมไนโอเบตมาใช้ที่อุณหภูมิสูง โดยการทำเป็นสารละลายของแข็ง (Solid Solution) กับเลดไททานาต (PbTiO_3) ซึ่งมี T_c อยู่ประมาณ 490 องศาเซลเซียส และนอกจากจะสามารถทำการปรับเลื่อนค่า T_c ของ PMN ให้สูงขึ้นมาได้แล้วยังสามารถเพิ่มค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ได้อีกด้วยโดยสัดส่วนของ PMN:PT ที่ทำให้เกิดค่าสภาพยอมสัมพัทธ์สูงสุดที่สุดเท่าที่รายงานผลวิจัยออกมาคือที่สัดส่วน 0.9PMN-0.1PT ซึ่งเป็นสัดส่วนที่สามารถให้ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์สูงสุดได้สูงถึงประมาณ 25000 โดยมีค่า $T_c \approx 40$ องศาเซลเซียส ดังเฟสไดอะแกรมในรูปที่ (2.3-3)



รูปที่ (2.3-3) แสดงเฟสไดอะแกรมของสารประกอบในระบบ $\text{PMN}_{1-x}\text{-PT}_x$ [11]

ในสารเฟอร์โรอิเล็กตริกนั้นมีการกระเจิงของแสงที่แตกต่างกันมากในแต่ละทิศทางซึ่งแตกต่างกับสารรีเล็กเซอร์เฟอร์โรอิเล็กตริกมีการกระเจิงของแสงในแต่ละทิศทางที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ในสารเฟอร์โรอิเล็กตริกจะพบการแยกออกของสเปกตรัมรังสีเอกซ์เกิดขึ้นเมื่อเกิดการเปลี่ยนเฟสจากพาราอิเล็กตริกไปเป็นเฟอร์โรอิเล็กตริก ส่วนในสารรีแลกเซอร์เฟอร์โรอิเล็กตริกไม่สามารถตรวจพบการแยกออกของสเปกตรัมรังสีเอกซ์เกิดขึ้นเมื่อเกิดการเปลี่ยนเฟสจากพาราอิเล็กตริกไปเป็นเฟอร์โรอิเล็กตริก นอกจากนี้ยังเป็นสารที่ไม่มีสมบัติความเป็นเชิงเส้นและมีสมบัติการส่งผ่านในบริเวณที่สายตามองเห็นจะอยู่ในช่วงแสงยูวีซึ่งสารเหล่านี้มักจะมีสมบัติอิเล็กทรอนิกส์เป็นส่วนใหญ่

นอกจากนี้เลดแมกนีเซียมไนโอเบตยังมีสมบัติที่น่าสนใจอีกหลายประการ เช่น มีค่าสัมประสิทธิ์คูควบเพียโซอิเล็กตริกสูง มีวงฮีสเทอรีซิสขนาดเล็ก ทำให้มีการสูญเสียพลังงานในขณะใช้งานต่ำ มีความสามารถในการยืดหดได้แม่นยำ ยิ่งไปกว่านั้นการเตรียมสารเลดแมกนีเซียมไนโอเบต ยังสามารถทำการเผาซินเตอร์ได้ที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 900 – 1200 องศาเซลเซียสจึงสามารถนำไปใช้งานกับพวกสารทำขั้วไฟฟ้าราคาถูกได้ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการ

เตรียมลงได้มาก เมื่อเทียบกับในกรณีของสารเฟอร์โรอิเล็กทริกทั่ว ๆ ไป จากการที่มีข้อดีต่าง ๆ มากมายดังที่กล่าวมานี้ ทำให้มีการนำสารเลดแมกนีเซียมไนโอเบทมาประยุกต์ใช้ในการทำโซนาร์ทรานสดิวเซอร์ (sonar transducers) ตัวขับเคลื่อนด้วยความเครียด (strain actuator) ตัวขับเคลื่อนด้วยการอัดตัวด้วยไฟฟ้า (electrostrictive actuator) อุปกรณ์ทำความสะอาดทางการแพทย์ด้วยคลื่นความถี่เหนือเสียง (medical ultrasonic cleaning) และตัวเก็บประจุแบบหลายชั้น (multilayer capacitor) เป็นต้น

2.4. The Split-Step Beam Propagation Method

ในความเข้าใจเรื่องวิธีการ The split-step beam propagation method (BPM) โดยริเริ่มจากสมการ

$$\frac{\partial \psi_e}{\partial z} = \frac{1}{2jk_0} \nabla_t^2 \psi_e - j\Delta n k_0 \psi_e \quad (2.4-1)$$

ซึ่งสามารถเขียนได้ใหม่เป็น

$$\frac{\partial \psi_e}{\partial z} = (\hat{D} + \hat{S}) \psi_e \quad (2.4-2)$$

โดยที่

$$\hat{D} = \frac{1}{2jk_0} \nabla_t^2 \quad (2.4-3)$$

$$\hat{S} = -j\Delta n k_0 \quad (2.4-4)$$

$$n(x, y) = n_0 (1 + \Delta n(x, y)) \quad (2.4-5)$$

ในที่นี้ ψ_e เป็นฟังก์ชันคลื่น \hat{D} เป็น differential operator \hat{S} เป็น inhomogeneous operator ซึ่งพารามิเตอร์ทั้งสองนั้นแสดงพร้อมกันในฟังก์ชัน ψ_e และรูปแบบการแก้สมการของสมการ (2.4-2) โดยให้เป็น

$$\psi_e(x, y; z + \Delta z) = \exp[(\hat{D} + \hat{S})\Delta z]\psi(x, y; z) \quad (2.4-6)$$

ถ้าสมมุติว่า \hat{D} และ \hat{S} ไม่ขึ้นกับ z ในกรณีทั่วไปสองพารามิเตอร์นี้ไม่สามารถสับเปลี่ยนกันได้ จะได้เป็น

$$\exp(\hat{D}\Delta z)\exp(\hat{S}\Delta z) = \exp\left[\hat{D}\Delta z + \hat{S}\Delta z + \frac{1}{2}[\hat{D}, \hat{S}](\Delta z)^2 + \dots\right] \quad \dots\dots\dots (2.4-7)$$

ตามรูปแบบ Baker-Hausdorff ที่ $[\hat{D}, \hat{S}] = \hat{D}\hat{S} - \hat{S}\hat{D}$ แสดงถึงการสลับที่ของ \hat{D} และ \hat{S} ดังนั้นสำหรับความถูกต้องแม่นยำในเทอมแรกใน Δz จะได้

$$\exp[(\hat{D} + \hat{S})\Delta z] \cong \exp(\hat{D}\Delta z)\exp(\hat{S}\Delta z) \quad (2.4-8)$$

ซึ่งแสดงว่าในสมการที่ (2.4-3) พารามิเตอร์ \hat{D} และ \hat{S} มีความเป็นอิสระซึ่งกันและกันและกันและสามารถเขียนสมการที่ (2.4-3) ใหม่ได้เป็น

$$\psi_e(x, y; z + \Delta z) = \exp(\hat{S}\Delta z)\exp(\hat{D}\Delta z)\psi(x, y; z) \quad (2.4-9)$$

การแสดงของพารามิเตอร์พจน์แรกในเทอมขวามือของสมการที่ (2.4-9) ภายใต้อรรถเข้าใจที่ดีกว่าในขอบเขต สเปกตรัม ในที่นี้บันทึกได้ว่าพารามิเตอร์ในการแพร่กระจายนั้นกระทำเข้าสู่การรายงานผลกระทบของการกระจายระหว่าง z และ $z + \Delta z$ การแพร่กระจายนั้นถูกจัดการโดยง่ายภายในขอบเขตของสเปกตรัมหรือที่มีติของความถี่ในการใช้ฟังก์ชันส่งผ่านสำหรับการแพร่กระจายโดยให้สมการ

$$H_e(k_x, k_y; z) = \frac{\Psi_e(k_x, k_y; z)}{\Psi_e(k_x, k_y; 0)} = \exp\left[\frac{j(k_x^2, k_y^2)z}{2k_0}\right] \quad (2.4-10)$$

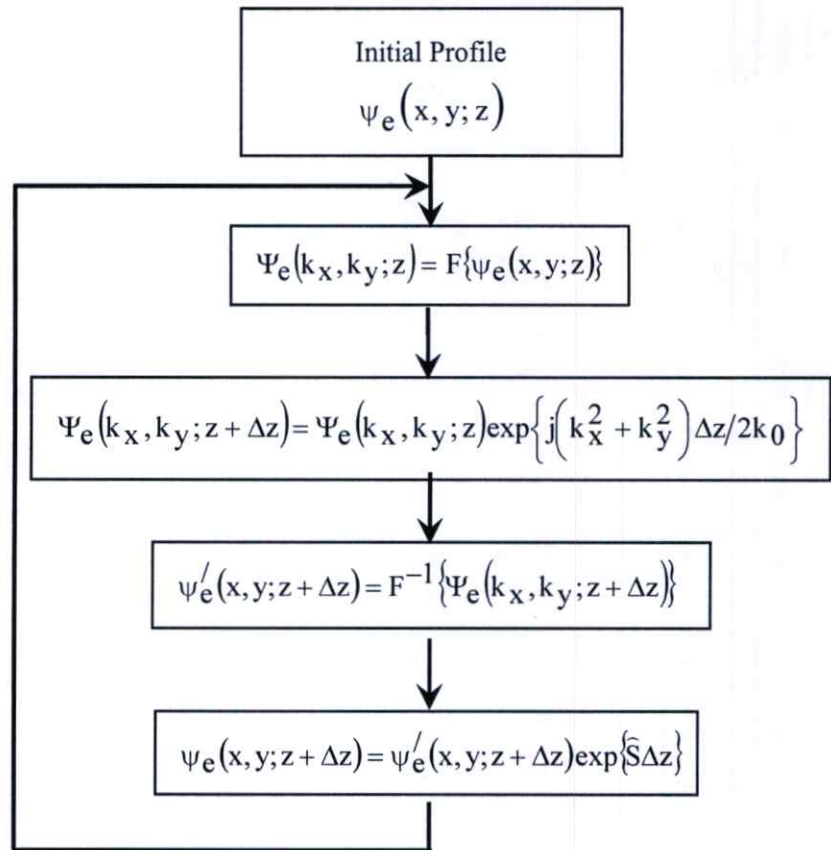
ซึ่ง z แทนด้วย Δz ส่วนพารามิเตอร์ในเทอมที่สองอธิบายผลกระทบในการแพร่กระจายในการขาดของการกระจายและในการเพิ่มของตัวกลาง inhomogenities ในแต่ละสมบัติที่จำเป็นหรือที่เกี่ยวข้องในขอบเขตของมิติ นั่นคือการปฏิบัติของพารามิเตอร์ของเอ็กโปเนนเชียล $\exp(\hat{D}\Delta z)$ ถูกนำเข้าไปในขอบเขตของ Fourier โดยกำหนดเป็น

$$\exp(\hat{D}\Delta z)\psi_e = F^{-1} \left\{ \exp \left[\frac{j(k_x^2 + k_y^2)\Delta z}{2k_0} \right] F\{\psi_e\} \right\} \quad (2.4-11)$$

และ algorithm สำหรับลำดับเดียวใน Δz สามารถเขียนได้เป็น

$$\begin{aligned} \psi_e(x, y; z + \Delta z) &= \exp(\hat{S}\Delta z)\exp(\hat{D}\Delta z)\psi(x, y; z) \\ &= \exp(-j\Delta n_0 k_0 \Delta z) F^{-1} \left\{ \exp \left[\frac{j(k_x^2 + k_y^2)\Delta z}{2k_0} \right] F\{\psi_e(x, y; z)\} \right\} \\ &\dots\dots\dots (2.4-12) \end{aligned}$$

กระบวนการทำที่ซ้ำ ๆ จนกระทั่งสนามไฟฟ้าถูกนำไปสู่ทิศทางที่ต้องการซึ่งสามารถเขียนแผนภาพของ BPM ได้ดังรูปที่ (2.4-1) ซึ่งแสดงรูปที่ติดต่อกันนั้นจนกระทั่งเข้าสู่สุดท้ายระยะทางที่ถูกต้อง ส่วนระดับที่สูงขึ้นแสดงให้เห็นในรูป (2.4-2) ซึ่งแสดงส่วนที่ไม่สมบูรณ์ของแสงเข้าไปสู่ระดับอนันต์ ในที่นี้แสดง the down-arrows และ the up-arrows ของการสร้าง Fourier และการสร้างในทางตรงกันข้ามตามลำดับ ลูกศรที่ชี้ตรง ๆ แสดงการกระจายสำหรับทิศทางของ Δz ส่วนข้างล่างของภาพกระบวนการบรรยายโดยใช้ภาพทางฟิสิกส์ของการแสดง BPM ในระนาบของคลื่นอยู่ที่ลำแสงที่ส่องลงบนสไลด์ $t(x, y) = \psi_e(x, y; z=0) = \psi_{e0}(x, y)$ การกระจายของสนามหลังจากทิศทางของ Δz เป็น phase-modulated โดย a phase screen $\exp[-j\Delta n(x, y)k_0\Delta z]$ และผลลัพธ์ของสนามเป็นความแตกต่างในทิศทางอีกส่วนหนึ่งของ Δz ก่อนที่จะเริ่ม phase-modulated อีกครั้งและนั่นคือ diffracted และในการแสดงในรูปจนกระทั่งทิศทางที่ต้องการผ่านไปที่ได้รับจากในท้ายที่สุด $\psi_e(x, y; z = m\Delta z)$ ที่ m เป็นจำนวนเต็ม กระบวนการทางฟิสิกส์บรรยายโดยใช้ภาพอย่างชัดเจนว่ากระบวนการกระจายของแสงและ phase-modulated ไม่ขึ้นซึ่งกันและกัน [13]



รูปที่ (2.4-1) แสดงกระบวนการทำงานของวิธีการ BPM [13]

2.5. ตัวอย่างงานวิจัยที่ได้มีการศึกษาในสาร PMN-PT

ในปี ค.ศ. 1998 ได้มีการริเริ่มศึกษาเทคนิคพี-สแกนในสาร LiNbO_3 ซึ่งถูกพัฒนามาจากการใช้เทคนิคซี-สแกน ในการใช้เทคนิคซี-สแกนจะทำการเปลี่ยนตำแหน่งของสาร แต่ในกรณีเทคนิคพี-สแกนนั้นจะศึกษาโดยการให้ตำแหน่งของสารอยู่กับที่ นอกจากนี้ในการศึกษานั้นมีการใช้กำลังเลเซอร์ต่ำ ในกรณีที่ n_2 มีค่าเป็นบวกที่ตำแหน่งของสารน้อยกว่าความยาวโฟกัสพบว่าลักษณะของความเป็นวงรีจะเพิ่มขึ้นตามกำลังของแสงเลเซอร์ส่งผลให้ $w_{y_{\min}} < w_{x_{\min}}$ ในกรณีที่ตำแหน่งของสารมากกว่าความยาวโฟกัสพบว่าจะมีการลดลงในช่วงต้นแล้วก็เพิ่มขึ้นตามฟังก์ชันของกำลังเลเซอร์ [1]

ในปีค.ศ. 2000 Yong S. Cho , Stevan M. Pilgrim และ Herbert Giesche ได้มีการศึกษาสมบัติไดอิเล็กตริกและสมบัติเชิงกลทางไฟฟ้าของรูปแบบทางเคมีของเซรามิก PMN-PT-BT การดำเนินการอนุภาคชั้นนอกที่รวบรวมมีปริมาณเล็ก ๆ การเพิ่มเติมหลายชนิด ตัวอย่างเช่น ไททานเนียม ตะกั่ว แบเรียม สตอนเทียมและเหล็กถูกนำไปใช้เป็นองค์ประกอบ ผลเนื่องมาจากสมบัติไดอิเล็ก

ตริกและสมบัติเชิงกลทางไฟฟ้าที่หาได้ในทางพาณิชย์ $0.96(0.91\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3-0.09\text{PbTiO}_3)-0.04\text{BaTiO}_3$ วิธีการในที่นี่จะไปสู่การรวมความสัมพันธ์ของการเพิ่มที่ภายนอกสเกลระดับนาโน กระบวนการเพิ่มและการรวมที่กลมกลืน สมบัติเฉพาะตัวของสนามไฟฟ้าต่ำและสูงแสดงถึงสมบัติไดอิเล็กตริก การเหนี่ยวนำให้เกิดความเครียด โพลาริเซชัน และเกี่ยวข้องกับฮิสเทอรีซิสถูกประเมินสำหรับตัวอย่างที่เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียสนาน 4 ชั่วโมง ตลอดทั้งสมบัติถูกค้นพบนั้นขึ้นอยู่กับ การเพิ่มทางเคมีและอุณหภูมิ แน่นนอนการเพิ่มของปริมาณน้อย ๆ ของไททานเนียมและแบเรียมมีแนวโน้มให้ความเครียดมีค่าเพิ่มขึ้นและ Q_{eff} ในขณะที่ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกต่ำ ยังคงอยู่ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ทำทางว่าจะดีสำหรับการประยุกต์ใช้ในเครื่องแปลงสัญญาณไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้อง การเพิ่มของไททานเนียมกับตะกั่วหรือเหล็กค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ความเครียดและโพลาริเซชันจะเพิ่มขึ้นกับผลการเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิห้องของค่าอัตราความจุไฟฟ้าสูงสุด ในทางตรงกันข้าม สมบัติเชิงกลทางไฟฟ้าของตัวอย่างที่มีแบเรียมหรือตะกั่วเป็นองค์ประกอบกับไททานเนียมไม่แสดงการส่งผ่านของพฤติกรรมเพียโซอิเล็กตริกที่อุณหภูมิห้องคาดการณ์จากการวัดค่าไดอิเล็กตริก [14]

ในปี ค.ศ. 2002 Xinming และคณะ ได้ศึกษาสมบัติทางแสงของผลึกเตตระทรากอนอล $0.62\text{PMN}-0.38\text{PT}$ โดยการศึกษาระบบสมบัติทางแสงของผลึกเตตระทรากอนอล $0.62\text{PMN}-0.38\text{PT}$ ถูกคำนวณที่อุณหภูมิห้อง มีการค้นพบว่าผลึกมีความโปร่งใสในระดับที่สายตามองเห็นและเริ่มต้นที่ความยาวคลื่นแสง 450 นาโนเมตร ขอบเขตการดูดกลืนของแสงจะอยู่ในบริเวณ 400 นาโนเมตร ทั้งสองเงื่อนไขคือทั้งผลึกที่โดนโพลาไรซ์และไม่ผ่านการโพลาไรซ์ คณิตการหักเหและการกระจายตัวถูกวัดอย่างแม่นยำซึ่งใช้วิธีการที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด พารามิเตอร์ของสมการ Sellmeier ทั้งสำหรับค่า n_o และ n_e ได้รับมาจากเทอมนี้อีกด้วย เมื่อค่าดัชนีหักเหในช่วงความยาวคลื่น 435.8-3100 นาโนเมตรสามารถคำนวณได้ การใช้วิธีทดแทนแบบ Senarmont ผลของค่าสัมประสิทธิ์อเล็กโตรออปติกส์ถูกได้รับมาด้วยเป็น $r_{33} = 42.8 \text{ pm/V}$ บางการอธิบายโดยทั่วไปของโครงสร้างออกตระเฮดรัล OB_6 ถูกแสดงบนสมบัติทางแสงของสาร [15]

ในปี ค.ศ. 2002 Seung-Eek Eagle Park และ Wesley Hackenberger ได้มีการศึกษาปัญหาและการนำไปประยุกต์ใช้ของผลึกที่มีค่าเพียโซอิเล็กตริกสูง โดยที่ผลึกเดี่ยวเพียโซอิเล็กตริกในสารรีแลกเซอร์เริ่มต้นอยู่กับความมั่นใจของการที่ไม่มีกำหนดการเพิ่มขึ้นของความกว้างของแบนมาก่อน การตอบสนอง และความหนาแน่นของพลังงานที่ได้จากความเครียดสำหรับการพัฒนากระบวนการนำไปใช้และการส่งต่อของเพียโซอิเล็กตริก วิธีการที่ผู้เชี่ยวชาญทางด้านผลึกได้ทำสำเร็จในบริเวณอุณหภูมิต่ำและการพัฒนาเท่ากับการดำเนินการใหม่ ๆ ในการประยุกต์ใช้ต้องอยู่ภายใต้ความเข้าใจของการใช้การเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขของผลึก ตัวอย่างเช่น สนามไฟฟ้าสูงและการใช้วิธีเชิงกลในการทำความเค้น กระบวนการหลังการเจริญเติบโต เช่น การทำขั้ว การออกแบบจะต้องเหมาะสมเมื่อคำนึงถึงสนามไฟฟ้าที่สูงและก่อนทำความเค้น

การพัฒนาในอนาคตการใช้ประโยชน์ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการสร้างผลึกสำหรับสมบัติที่เหมือนกันของผลึกที่ดีที่สุด การเพิ่มขนาดของผลึก และต้นทุนที่ลดลง ความเข้าใจที่ดีที่สุดของโครงสร้างระดับไมโครต้องสมมาตรกันทั้งขนาดและโครงสร้างเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการรายงานสำหรับรูปแบบที่ได้และกระบวนการทางคอมพิวเตอร์ กระบวนการที่ได้ใหม่ในระบบ MPB ในรูปแบบผลึกเดี่ยวซึ่งเท่ากับเซรามิกจะมีความสำคัญเท่ากันกับการพัฒนาต่อไปมีความตระหนักถึงกระบวนการที่อุณหภูมิสูงมากกว่า 200 องศาเซลเซียส [16]

ในปี ค.ศ. 2003 Zuyong Feng และคณะ ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับผลของสนามไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำให้เกิดค่าความเครียดของการจัดเรียงอะตอมของสารประกอบ PMN-PT ในการศึกษา นั้น ได้มีการศึกษาพฤติกรรมของความเครียดที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามไฟฟ้าของผลึก PMN-PT ซึ่งองค์ประกอบและข้อกำหนดที่แตกต่างกันถูกสนใจสำหรับการใช้ควบคุมสนามไฟฟ้า ลักษณะโครงสร้างแบบผลึกค่าความเครียดจะสูงเมื่ออิทธิพลของอิทธิพลสำเร็จที่ระนาบ (001) ของผลึกที่อยู่ในกลุ่ม rhombohedral ซึ่งใกล้เคียงกับขอบเขตเฟสโมโนโทรฟิค ซึ่งมากกว่าระนาบ (110) และ (111) ความไม่มั่นคงของโดเมนสามารถขยายเข้าไปสู่บริเวณที่ค่าความเครียดต่ำและอิทธิพลใหญ่กว่าด้วยสำหรับระนาบผลึก (110) และ (111) บริเวณที่ค่าความเครียดสูงจะอยู่ที่ 1.8% สามารถถูกทำสำเร็จที่ผลึก PMN-PT ระนาบ (001) ความสัมพันธ์เริ่มต้นในแต่ละเฟสการเหนี่ยวนำการส่งผ่านของสนามไฟฟ้า ที่สนามไฟฟ้า -2 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร สามารถถูกนำมาประยุกต์ใช้กับสารเฟอร์โรอิเล็กทริก PMN-PT ซึ่งมีอิทธิพลต่ำ ซึ่งจะมีผลดีกับผู้ทดสอบและการใช้ในกระบวนการของโซลิต-ซเดท [9]

ในปี ค.ศ. 2003 ได้มีการศึกษาสมบัติทางแสงของสาร PMN-PT ซึ่งถูกคำนวณที่อุณหภูมิห้องพบว่าสารมีความโปร่งใสสารอยู่ในระดับที่สายตามองเห็นและเริ่มต้นที่บริเวณ 450 นาโนเมตร และแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่าจะถูกดูดกลืน ดัชนีหักเหและการกระจายตัวจะถูกทำการทดลองอย่างแม่นยำด้วยวิธีการเบี่ยงเบนมาตรฐานเล็กน้อย ค่าดัชนีหักเหจะถูกวัดที่ความยาวคลื่น 435.8 ถึง 3100 นาโนเมตร สำหรับสารนี้ข้อมูลการคำนวณค่าดัชนีหักเห n_o และ n_e ถูกคำนวณที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร ได้เป็น 2.620 และ 2.601 ตามลำดับ สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์อเล็กโตรออปติกส์ได้เป็น 42.8 พิโคเมตรต่อโวลต์ [12]

ในปี ค.ศ. 2003 Kei C. Cheng , Helen L.W.Chan , Chung L. Choy , Qingrui Yin , Hasou Luo , และ Zhiwen Yin ได้มีการศึกษา 0.67PMN-0.33PT ที่มีส่วนประกอบ 1-3 กกับการเปลี่ยนแปลงค่าที่ส่วนน้อยของ 0.67PMN-0.33PT ถูกสร้างขึ้นและสมบัติเชิงกลไฟฟ้าถูกวัดโดยวิธีการเรโซแนนซ์ รูปแบบขานและแบบลำดับถูกนำมาคำนวณความสมบูรณ์ของส่วนประกอบผลึกพีชของความคิดที่ตกลงกันก่อนข้างจะเกี่ยวข้องกับข้อมูลการทดลอง ส่วนประกอบที่มีค่าเชิงกลไฟฟ้าสูงมีความเกี่ยวข้องกับค่าสัมประสิทธิ์ของ 0.8 แสดงว่ามีประสิทธิภาพในการอนุรักษ์พลังงานสูง องค์ประกอบเดี่ยวที่ใช้สลับเปลี่ยนสารที่มีส่วนประกอบ 1-3 ของ 0.67PMN-0.33PT ถูกสร้างขึ้นและ

เปรียบเทียบลำดับสูงสุดและต่ำสุดของความถี่ของคลื่นกับการสับเปลี่ยนของผลึกเดี่ยวของโครงสร้างที่เหมือนกัน การใช้ผลึกเดี่ยว 0.67PMN-0.33PT กับการเปลี่ยนเป็น PZT เพ็ชโซเซรามิกที่แสดงนั้นไม่จำเป็นเพราะว่าการหามาได้และต้นทุนของผลึกเดี่ยว ผลผลิตจำนวนหนึ่งมีสมบัติ homogeneous สูงผลึกเดี่ยว PMN-PT เป็นที่อยู่หนึ่งสำหรับการพัฒนา การใช้ผลึกเดี่ยวและการเปรียบเทียบในการเปลี่ยนแปลงการนำไปใช้อุลตราซาวด์ (ultrasound) ในทางการแพทย์มีการเริ่มต้นในการพัฒนาและเป็นที่ดึงดูดใจไม่น้อยในทางกระแสไฟฟ้าขนาดใหญ่ ซึ่งแสดงว่างานส่วนใหญ่ในการนำไปใช้ของผลึกเดี่ยวจะถูกค้นพบเมื่อผลึกหาได้ในทางการพาณิชย์ที่ราคาต่ำ ๆ [17]

ในปี ค.ศ. 2004 Song Fengbing Li Qiang Zhong Haisheng Li Chunhong Zhao Shixi Shen Dezhong ได้มีการศึกษาเฟสการสร้างและการส่งผ่านในระบบเลดแมกนีเซียมไนโอเบท-เลดไททานเทอควิเคราะห์โดยอนุหภูมิและ XRD ผลที่ได้จากกระบวนการของพารามิเตอร์ x รวมถึงองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับอนุหภูมิและส่วนของ PbO ในเฟสการส่งผ่านที่ได้ศึกษาในเทอมของความสูงที่แตกต่างที่มีมาก ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าเฟสเพอร์รอกสกีที่ได้รับการเปลี่ยนรูปแบบจาก pseudocubic \rightarrow rhombohedral \rightarrow coexistence ของ rhombohedral และ tetragonal \rightarrow tetragonal ในช่วงค่า x เท่ากับ 0 ถึง 1 ที่องค์ประกอบของ MPB ที่ส่วนประกอบของ $x = 0.33$ การสร้างที่สมบูรณ์ของเฟสแต่ละระกอนอล PMN-PT ที่ได้รับและได้อธิบายที่อนุหภูมิที่มีค่าสูงหรือที่ส่วนของ PbO เฟส PMN-PT เริ่มเกิดขึ้นที่อนุหภูมิ 650 องศาเซลเซียส ส่วนเฟสเดี่ยวของ PMN-PT สามารถได้ที่อนุหภูมิ 750 องศาเซลเซียสและคงที่ที่อนุหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส [18]

ในปี ค.ศ. 2005 เมืองใจ อุ่นเรือน สุพล อนันตา และ รัตติกร ยัมน์ริญ ได้มีการศึกษาสมบัติไดอิเล็กตริกและฮิสเทอรีซิสของสารเซรามิกเลดแมกนีเซียมไนโอเบท-เลดไททานเทอที่ไม่ได้ผ่านการทำขั้ว ที่มีสูตรเป็น $(1-x)\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3 - x\text{PbTiO}_3$ โดยที่ $x = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4$ และ 0.5 ที่เตรียมด้วยวิธีการผสมออกไซด์แบบดั้งเดิม และศึกษาสมบัติฮิสเทอรีซิสด้วยวงจร Sawyer-Tower จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อ x มีค่าลดลง ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูงสุดของแต่ละส่วนประกอบจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และจะต่ำลงเมื่อ $x = 0.1$ ในทำนองเดียวกัน ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่อนุหภูมิห้องจะเพิ่มขึ้นเมื่อ x มีค่าลดลง ในขณะที่อนุหภูมิคูรี (T_c)ยังมีค่าสูงขึ้นเมื่อ x มีค่าสูงขึ้น นอกจากนี้ลักษณะของวงวนฮิสเทอรีซิสยังมีลักษณะของวงวนแบบผอมซึ่งสังเกตได้ในสารเฟอร์โรอิเล็กตริกแบบรีแลกเซอร์ พฤติกรรมการสร้างเฟสค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่ความถี่ 10 kHz และ ฮิสเทอรีซิสลูปของเซรามิก $(1-x)\text{PMN}-x\text{PT}$ ถูกแสดงในรูปที่ (2.5-1) (2.5-2) และ (2.5-3) [19]

ในปีค.ศ. 2005 A.Hall , M.Allahverdi , E.K.Akdogan และ A.Safari ได้มีการศึกษาการพัฒนาและสมบัติเชิงกลทางไฟฟ้าของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกทั้งหลายและ Electrostrictive PMN-PT บนพื้นฐานการกระตุ้น ในการศึกษาที่วัสดุเพียโซอิเล็กทริกทั้งหลายและ electrostrictive PMN-PT บนพื้นฐานการกระตุ้นถูกเผาที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส ความสัมพันธ์ของอัตราความจุกระแสไฟฟ้า การกระจายตัว และฮิสเทอรีซิสโพลาริเซชันถูกสนใจสำหรับการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก electrostrictive อัตราความจุกระแสไฟฟ้าของหลายวัสดุที่ 1:1 ต่อไปกฎการรวมตัวของไดเร็กทริก ค่าคงที่ไดเร็กทริกที่แสดงเป็น 5,500 ที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิฮิสเทอรีซิส P-E ของตัวอย่าง 1:1 แสดงมากที่สุดและยังคงมีการสูญเสียโพลาริเซชันน้อยกว่าวัสดุเพียโซอิเล็กทริก PMN-PT 65/35 แต่มีการกระตุ้นสูงเท่ากับ 76 ไมโครเมตรที่สนามไฟฟ้า 6 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ผลลัพธ์แสดงว่าปลายทางการกระจายตัวของระดับความหนาของ electrostrictive ลดลงน้อยที่สุดที่เป็นไปได้สามารถเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากในขณะที่ฮิสเทอรีซิสที่คงไว้ต่ำกว่าเพียโซอิเล็กทริกทั้งคู่ [20]

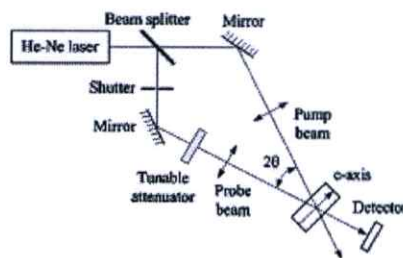
ในปีค.ศ. 2005 Gael Sebald , Laurent Lebrun และ Daniel Guyomar ได้มีการศึกษารูปแบบของ Elastic Nonlinearities ในวัสดุเฟอร์โรอิเล็กทริกที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียความไม่เป็นเชิงเส้น การนำไปใช้ความไม่เป็นเชิงเส้นในวิธีการเรโซแนนซ์ของผลึกรีแลกเซอร์เดี่ยว ในการศึกษาได้ใช้ผลึกเดี่ยว $(1-x)\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3-x\text{PbTiO}_3$ (PMN-PT) และ $(1-x)\text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3-x\text{PbTiO}_3$ (PZN-PT) ถูกพิจารณาเกี่ยวกับการแสดงความอ่อนของเซรามิก $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ (PZT) เพราะว่าปัจจัย Q_m มีสมบัติเชิงกลน้อยและภายใต้ความถี่มีเสถียรภาพเล็กน้อยที่มีสิ่งรบกวนภายนอก ($Q_m > 500-1000$ สำหรับเซรามิก PZT แข็งและ $Q_m < 500$ สำหรับ PZT อ่อนและผลึก PMN-PT และ PZN-PT) ที่สัญญาณกระตุ้นอ่อน ๆ ของความถี่เรโซแนนซ์ลำดับที่หนึ่งการเคลื่อนย้ายที่สุดท้ายของแถบด้านข้างมีความสัมพันธ์กับรูปแบบ $Q_{31}d_{31}$ ของสมบัติที่ดี นั้นค้นพบสำหรับของแข็ง PZT ที่จริงค่าสัมประสิทธิ์เพียโซอิเล็กทริกส่วนมากพัฒนาไปทางด้าน Q_m ต่ำ แต่ผลลัพธ์ของสนามไฟฟ้ากระแสสลับที่เพิ่มขึ้นในการปรากฏให้เห็นในความไม่เป็นเชิงเส้นของของแข็งผ่านการเลื่อนของความถี่เรโซแนนซ์และได้รับจากปรากฏการณ์เปลี่ยนแปลงกระทันหันบนการเพิ่มขึ้นและลดลงของการกวาดความถี่

ในรายงานนี้แสดงให้เห็นว่าความไม่เป็นเชิงเส้นเป็นเนื่องมาจากการกระทำการยึดหยุ่นที่ไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear elastic) สามารถออกแบบโดยการพัฒนาในลำดับที่สามของสมการที่มีเพียโซอิเล็กทริกเป็นส่วนประกอบ การทดลองบนผลึกเดี่ยว PMN-PT และ PZN-PT ถูกนำมาใช้สำหรับการเปรียบเทียบกับรูปแบบที่แสดงความสำเร็จที่เกิดขึ้น ทั้งการเปลี่ยนความถี่และปรากฏการณ์เปลี่ยนแปลงกระทันหันถูกนำไปวิเคราะห์กับคอมพิวเตอร์อย่างดีกับผลการทดลองที่ได้

ที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียกับเทอมลำดับที่สามที่แสดงนั้นเป็นที่น่าเชื่อถือสำหรับการลดลงเป็นส่วนใหญ่ของปัจจัยของปริมาณเชิงกลสำหรับระดับที่ความเครียดสูง นั่นคือการ

สูญเสียความไม่เป็นเชิงเส้นมีความสัมพันธ์กับฮิสเทอรีซิสของการเลื่อนฟังก์ชันขอบเขตเมื่อการสลับเปลี่ยนย่อย ๆ [21]

ในปี ค.ศ. 2006 ได้มีการศึกษาปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรคทีฟในสาร PMN-PT โดยใช้เทคนิคสองแสงมารวมกัน ผลการศึกษาปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรคทีฟในสาร PMN-PT โดยการวัดด้วยการใช้เทคนิคของสองคลื่นแสงรวมกันนั้นจะนำไปเปรียบเทียบกับสาร $\text{SrBaNb}_4\text{O}_{12}$ ซึ่งผลลัพธ์ในรายงานฉบับนี้จะได้อ่านุภาคมากที่สุดเป็น 5.4 ต่อเซนติเมตร ความหนาแน่นในการจับเป็น $1.2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ การตอบสนองปรากฏการณ์โฟโตรีแฟรคทีฟอยู่ที่ระดับความเข้มแสง 1 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตรส่องในเวลา 1.5 วินาทีที่แสงมีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร ซึ่งประจูดั้วน่าจะเหมือนกับโฮลจากทิศทางของการเปลี่ยนแปลงพลังงานของสองคลื่นแสงรวมกัน [6]



รูปที่ (2.5-4) แสดงชุดการทดลองแบบเทคนิคสองคลื่นแสงรวมกัน[6]

ในปี ค.ศ. 2007 K.K.Rajan , M.Shanthi , W.S.Chang , J.Jin และ L.C.Lim ได้ศึกษาสมบัติไดอิเล็กตริกและเพียโซอิเล็กตริกของการทำขั้วที่ระนาบ [001] และ [011] ในผลึกรีแลกเซอร์เฟอร์โรอิเล็กตริก PZN-PT และ PMN-PT สมบัติของผลึกเดี่ยว PZN-PT และ PMN-PT ของการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขและการกำหนดที่ได้รับความสนใจ ในระหว่างการศึกษการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไข ระนาบ [001] เป็นระนาบที่ดีที่สุดสำหรับการทำขั้วของ PZN-(6-7)%PT และ PMN-30%PT มีสมบัติไดอิเล็กตริกและเพียโซอิเล็กตริกสูง ซึ่ง $K^T \approx 6800-8000$ $d_{33} \approx 2800 \text{ pC/N}$ $d_{31} \approx -(1200-1800) \text{ pC/N}$ สำหรับ PZN-(6-7)%PT และ $K^T \approx 7500-9000$ $d_{33} \approx 2200-2500 \text{ pC/N}$ และ $d_{31} \approx -(1100-1400) \text{ pC/N}$ สำหรับ PMN-30%PT ทั้งสองเงื่อนไขนี้ต้องใช้แรงดันในการทำขั้วอย่างถูกต้อง การทำขั้วในระนาบ [001] มีความเกี่ยวข้องกับปัจจัย (k_{33} , k_{31} และ k_t) มีความสัมพันธ์กับการไม่ไวต่อการตอบสนองของส่วนประกอบของผลึก การทำขั้วในระนาบ [001] ของผลึกเดี่ยว PZN-7%PT มีค่า d_{31} มากที่สุดเท่ากับ -4000 pC/N ซึ่ง $k_{31} \approx 0.90-0.96$ ในขณะที่การทำขั้วในระนาบ [011] ของผลึกเดี่ยว PZN-7%PT จะถูกทำขั้วสูงซึ่งต้องลดสมบัติเมื่อทำขั้วที่สูงกว่า 0.6 kV/mm ผลึก PZN-6%PT ไม่แสดงขนาดของการทำขั้วเมื่อทำขั้วถึงขนาด 2.0 kV/mm การแสดงที่เกือบจะถูกต้องของเมตริก MPB ถูกค้นพบอย่างน่าเชื่อถือสำหรับสมบัติที่ดีกว่าของเพียโซอิเล็กตริกตามขวางของ

ระนาบ [001] กับการทำขั้วที่ดีที่สุดของ PZN-(6-7)%PT งานที่แสดงว่าการพัฒนาของผลึก PZN-PT ที่มีสมบัติที่ดีกว่าและมีส่วนประกอบที่สำคัญในแรงดันที่ใช้ทำขั้วของการพัฒนาของผลึก PMN-PT สำหรับส่วนประกอบที่ให้ออกผลึกในการพัฒนาผลึก PMN-PT ที่แรงดันที่ใช้ทำขั้วที่ดีที่สุดกับสารละลายที่ใกล้เคียงกัน [22]

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

ในบทนี้จะอธิบายการทดลองศึกษาลักษณะการเกิดลักษณะวงรีของลำแสง โดยใช้เทคนิคพี-สแกนกับผลึก 0.64PMN-0.36PT โดยการใช้เลเซอร์แสงสีแดงความยาวคลื่นประมาณ 632.8 นาโนเมตรจากฮีเลียมนีออนเลเซอร์ ตกกระทบลงบนผลึก 0.64PMN-0.36PT แล้วนำผลการทดลองที่ได้ซึ่งในที่นี้คือการเปลี่ยนแปลงรูปร่างภาพตัดขวางของลำแสงเลเซอร์จากวงกลมของเลเซอร์ก่อนตกกระทบเปลี่ยนเป็นวงรีที่มีความรีต่างๆกันของลำแสงเลเซอร์ที่ทะลุผ่านออกมาจากผลึกเนื่องจากคุณสมบัติความไม่เชิงเส้นทางแสงของผลึกไปวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมเลเซอร์บีม โปไฟล์กับโปรแกรม MATLAB ซึ่งผลความเป็นวงรีนี้สามารถนำ ๆ ไปวิเคราะห์หาความไม่เชิงเส้นแบบต่างๆ ของผลึกได้ต่อไป

3.1. อุปกรณ์การทดลอง

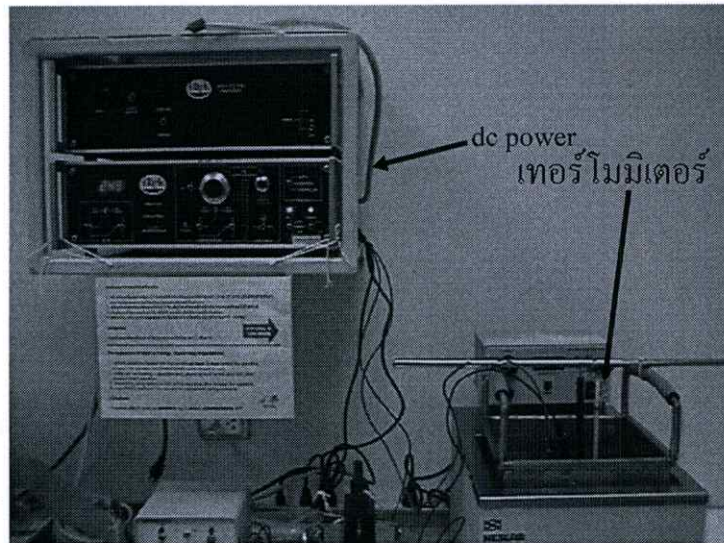
1. เลเซอร์ฮีเลียมนีออน ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
2. โต๊ะทดลองทางแสง
3. แผ่นโพลาไรซ์ 2 แผ่น
4. เลนส์นูนความยาวโฟกัส 10 เซนติเมตร
5. ผลึก 0.64PMN-0.36PT ขนาด $10.0 \times 10.0 \times 1.2$ มม³
6. ฉากรับภาพ
7. กล้องถ่ายภาพดิจิทัล

ขั้นตอนในการทำการทดลองเริ่มจากการเตรียมผลึกที่ใช้ในการทดลอง จากนั้นจัดอุปกรณ์การทดลองที่ใช้ในเทคนิค P-scan เก็บผลการทดลองและนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมเลเซอร์บีม โปไฟล์ซึ่งเขียนโดยกลุ่มรองศาสตราจารย์รวิวุฒิ เถาถัดดา และโปรแกรม MATLAB

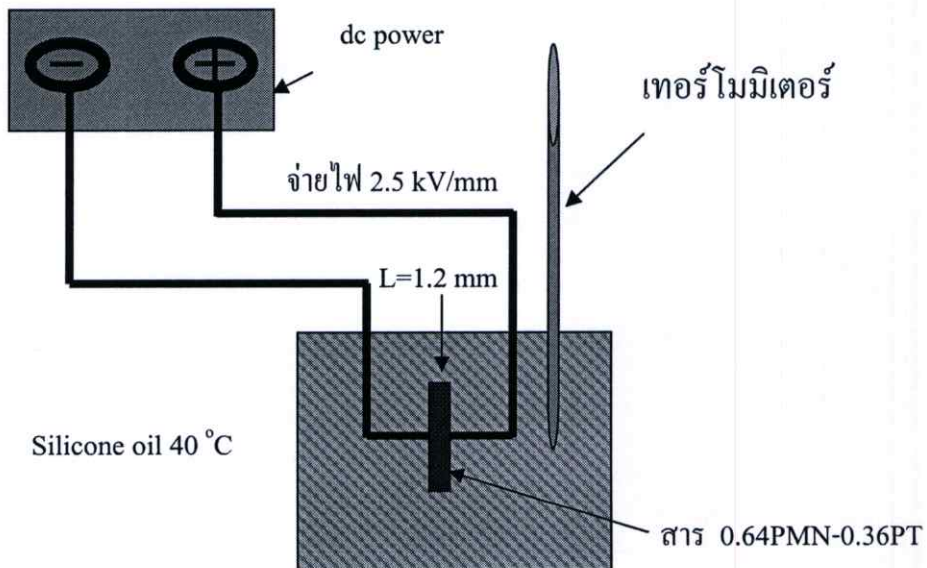
3.2. เตรียมผลึกตัวอย่างในการทดลอง

การเตรียมผลึก 0.64PMN-0.36PT ในการเตรียมผลึกที่ใช้ในการทดลอง ผลึกที่นำมาใช้ได้มาจากการใช้วิธีการบริดจ์แมน (Bridgman method) ซึ่งจะได้ในรูปของผลึก ซึ่งกล่าวรายละเอียดไว้ใน

เอกสารอ้างอิง [16] นอกจากนี้ผลึกที่นำมาทดสอบนี้ได้ผ่านการทำขั้วทางไฟฟ้าที่ระนาบ (001) ซึ่งมีการตรวจสอบระนาบโดยใช้เครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) ในการตรวจสอบ ที่สนามไฟฟ้า 2.50 กิโลโวลต์ต่อมิลลิเมตร เป็นเวลา 30 นาทีในน้ำมันซิลิโคน (silicone oil) อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ (3.2-1) แล้ววัดค่าสัมประสิทธิ์เพียโซอิเล็กทริก d_{33} ได้ 1300 พิโคคูลอมบ์ต่อนิวตัน แล้วนำผลึกที่ได้ไปขัดจนใสโปร่งแสงโดยกระดาษทรายขนาดเบอร์ 1,400 Cw ในการโพลขั้วของผลึกนั้นเพื่อทำให้ผลึกนั้นมีการจัดเรียงโครงสร้างในทิศทางเดียวกันซึ่งมีผลให้การกระจายตัวของแสงน้อยลงซึ่งจะทำให้สะดวกในการทดลอง 0.64PMN-0.36PT[5]



ก.



ข.

รูปที่ (3.2-1) แสดงการทำขั้วทางไฟฟ้าของผลึก 0.64PMN-0.36PT

(ก.) รูปแสดงเครื่องมือที่ใช้ในการโพลขั้วไฟฟ้า (ข.) แผนภาพแสดงการโพลขั้วไฟฟ้า

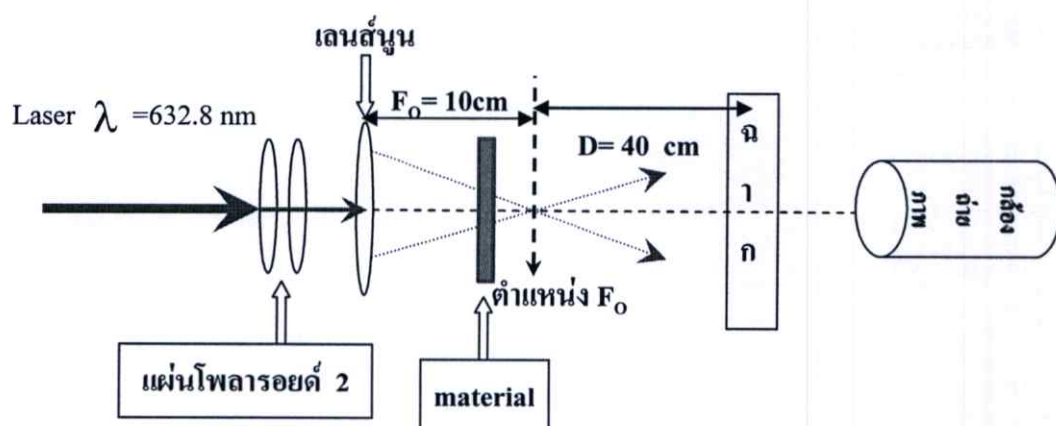
3.3. วิธีการทดลอง

การจัดอุปกรณ์การทดลองจะมีลักษณะคล้ายกับเทคนิคแบบ Z-scan [9] ดังรูปที่ (3.3-1) โดยการทำการทดลองนั้นให้ลำแสงจาก HeNe เลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตรส่งผ่านแผ่นโพลาไรซ์ 2 แผ่น แผ่นแรกทำหน้าที่ในการจัดแสงให้อยู่ในทิศทางเดียว ส่วนแผ่นที่สองทำหน้าที่ปรับความเข้มของแสงเลเซอร์ จากนั้นแสงผ่านเลนส์นูนที่มีความยาวโฟกัส 10 เซนติเมตร จากนั้นลำแสงจะไปตกกระทบบนผิวของผลึก 0.64PMN-0.36PT ที่มีขนาด หน้า 1.2 มิลลิเมตร กว้าง 10 มิลลิเมตร สูง 10 มิลลิเมตร แล้วนำจากรับภาพวางไว้ ณ ตำแหน่ง 40 เซนติเมตร ซึ่งห่างจากตำแหน่งความยาวโฟกัสของเลนส์นูน จากนั้นบันทึกภาพที่ตกลงบนจากรับภาพ

ในการทดลองนั้นได้ทำการเปลี่ยนกำลังของแสงเลเซอร์เป็น 0.10 , 0.30 , 0.50 , 0.75 และ 0.95 มิลลิวัตต์

ในการถ่ายรูปแต่ละรูปใช้เวลา 1, 3 และ 5 นาที เพื่อให้แน่ใจว่าผลึกเกิดปรากฏการณ์ไม่เชิงเส้นทางแสงจนจบนอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนตำแหน่งของผลึกให้อยู่ในช่วง 8.50 ถึง 11.50 เซนติเมตรจากเลนส์นูน ซึ่งอยู่ในช่วงก่อนและหลังความยาวโฟกัสของเลนส์นูนเป็น -1.50 และ +1.50 เซนติเมตรตามลำดับ ในการทดลองจะเก็บข้อมูลโดยเปลี่ยนตำแหน่งของผลึกครั้งละ ± 0.5 เซนติเมตร จากนั้นเก็บผลการทดลองโดยการบันทึกภาพเหมือนเดิม นอกจากนี้ค่าความกว้างของลำแสงเลเซอร์เริ่มต้นมีค่าเป็น 0.10 เซนติเมตร

นำข้อมูลการทดลองที่ได้ทั้งหมดไปวิเคราะห์หาลักษณะของลำแสงโดยใช้โปรแกรมเลเซอร์ บีม โปรไฟล์ และสุดท้ายใช้โปรแกรม MATLAB วิเคราะห์หาค่าความเป็นวงรีของลำแสงที่ผ่านผลึกออกมา



รูปที่ (3.3-1) แสดงการจัดอุปกรณ์การทดลอง P-scan เพื่อใช้สังเกตรูปร่างวงรีของลำแสงที่ผ่านผลึกออกมา จากรูปผลึกจะถูกเลื่อนในตำแหน่งต่าง ๆ บริเวณจุดโฟกัสของเลนส์ดังอธิบายในเนื้อหา

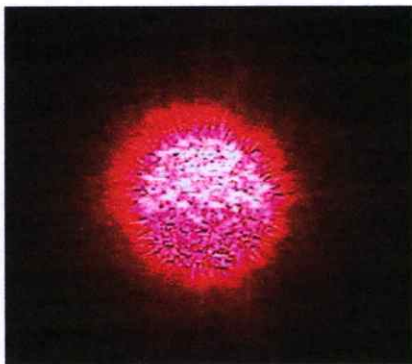
บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

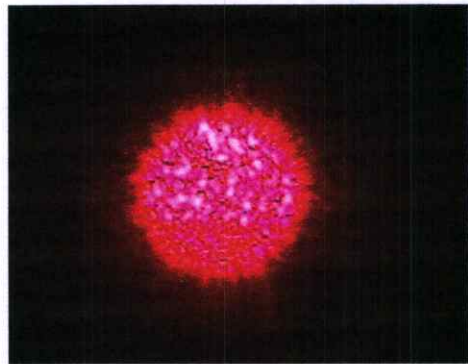
ในบทนี้จะเป็นการวิเคราะห์และอธิบายผลการทดลองลักษณะความเป็นวงรีของลำแสงที่ผ่านออกมาจากผลึก 0.64PMN-0.36PT ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนี้จะใช้โปรแกรมเลเซอร์ บีม โปรไฟล์ และ โปรแกรม MATLAB ในการทดลองแต่ละเงื่อนไขจะได้ภาพถ่ายที่จะนำไปวิเคราะห์ ภาพถ่ายที่ได้จากการทดลองแสดงตัวอย่างการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมเลเซอร์บีมโปรไฟล์

ในการทำการทดลองในแต่ละเงื่อนไขได้มีการถ่ายภาพของลำแสงเลเซอร์ก่อนที่จะผ่านผลึก ซึ่งจะถ่ายภาพมาใน 2 กรณี คือ การถ่ายภาพที่ได้จากเลเซอร์โดยตรงและการถ่ายภาพเลเซอร์ที่ผ่านเลนส์นูนแสดงให้เห็นดังรูปที่ (4.1-1) จะได้ลักษณะของรูปร่างของลำแสงจะมีลักษณะเป็นวงกลม จากนั้นนำภาพถ่ายที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมเลเซอร์บีมโปรไฟล์ จะได้ภาพออกมาสองแบบ คือ ภาพในลักษณะสามมิติและสองมิติแสดงให้เห็นดังรูป (4.1-2) ซึ่งจากรูปแสดงให้เห็นว่าความเข้มแสงของแต่ละตำแหน่งในทั้งสองกรณีจะมีลักษณะเป็นรูปวงกลมและมีลักษณะของความเข้มที่สม่ำเสมอ ลำแสงที่ไม่ผ่านผลึกนั้นมีการกระจายตัวน้อย



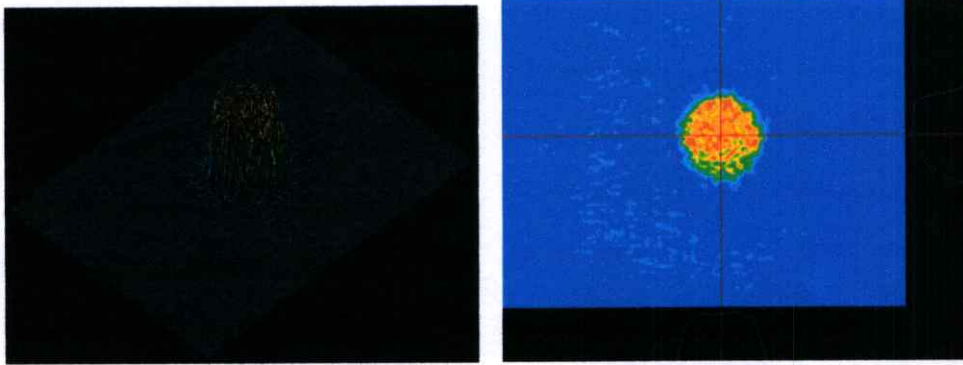
ก.



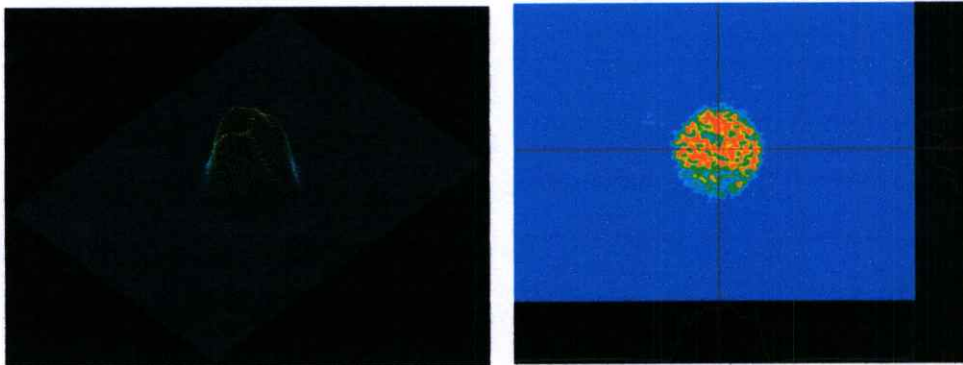
ข.

รูปที่ (4.1-1) แสดงภาพถ่ายที่ได้จากลำแสงเลเซอร์ในตอนเริ่มต้นการทดลองซึ่งยังไม่ผ่านผลึก

(ก.) รูปลำแสงเลเซอร์ซึ่งยังไม่ผ่านวัสดุใดๆ (ข.) รูปลำแสงเลเซอร์ที่ผ่านเลนส์นูน



ก.



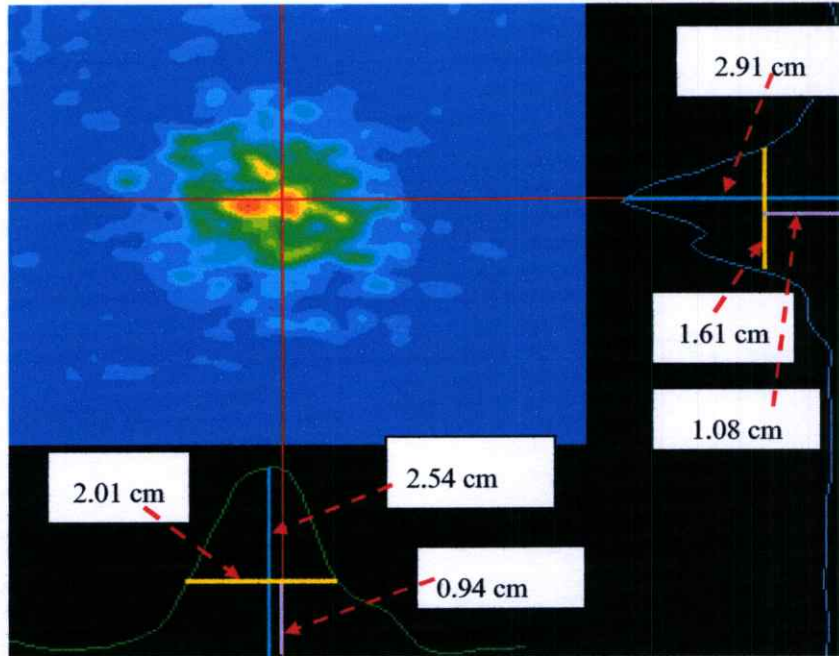
ข.

รูปที่ (4-1-2) แสดงผลการวิเคราะห์ที่ลำแสงเลเซอร์ที่ได้จากโปรแกรมเลเซอร์빔โปรไฟล์

- (ก.) ภาพที่ได้จากการวิเคราะห์ลำแสงเลเซอร์ที่ไม่ผ่านวัสดุใด ๆ
 (ข.) ภาพที่ได้จากการวิเคราะห์ลำแสงเลเซอร์ที่ผ่านเลนส์นูน

ในการทำการทดลองโดยใช้เทคนิค P-scan ที่ใช้ในการทดลองนั้นได้ใช้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงเริ่มต้นที่ 0.10 ถึง 0.95 มิลลิวัตต์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ โดยเก็บข้อมูลที่ระยะ 8.50-11.50 เซนติเมตร โดยเก็บข้อมูลครั้งละ 0.05 เซนติเมตร แล้วถ่ายภาพของลำแสงหลังจากผ่านผลึกที่ฉากรับภาพแล้วนำไปวิเคราะห์กับ โปรแกรมเลเซอร์빔โปรไฟล์ จะได้ออกมาในสองมิติและสามมิติ จากนั้นดูความเป็นวงรีโดยใช้ภาพสองมิติมาหาค่าความเป็นวงรีโดยการวัดความกว้างของบีมจากช่วงความเข้มแสงที่เหมาะสมโดยการหาค่า $1/e$ ซึ่งได้เท่ากับ 0.37 ก่อนที่จะไปทำการวัดเพื่อหาค่าตำแหน่งการวัดที่เหมาะสมดังแสดงตัวอย่างการวัดในรูปที่ (4.1-3) จากนั้นนำค่า w_x และค่า w_y มาหาค่าความเป็นวงรีได้จาก w_x / w_y แสดงตัวอย่างค่าที่วัดได้จากตารางที่ (4.1-1) นอกจากนี้สามารถสังเกตความเป็นวงรีได้จากรูปที่ (4.1-4ข.) เป็นรูปที่แสดงความเป็นวงรีที่ความเข้มแสงเลเซอร์ 0.30 มิลลิวัตต์ ที่เวลา 1 นาที ซึ่งเป็นผลการทดลองพบว่าที่ตำแหน่งดังกล่าวมีความเป็นวงรีดีที่สุด นอกจากนี้ยังพบอีกว่าที่กึ่งกลางเลเซอร์ 0.30 มิลลิวัตต์นั้นค่าความเป็นวงรีโดยรวมจะดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งอื่น ๆ แสดงดังตัวอย่างในรูปที่ (4.1-4) - (4.1-9)

เมื่อนำข้อมูลการทดลองที่ได้ในแต่ละตำแหน่งที่ผ่านการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมเลเซอร์ บีม โปรไฟล์ แล้วนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นวงรีกับตำแหน่งผลึกจากเลนส์ฐาน พบว่าที่ความเข้มแสงเลเซอร์ 0.30 มิลลิวัตต์ที่เวลา 1 นาที ค่าความเป็นวงรีมีค่าสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบในทุกกรณี และในบริเวณความเข้มแสงที่ 0.30 มิลลิวัตต์นั้นเป็นความเข้มแสงที่เห็นความเป็นวงรีมากที่สุด ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ (4.1-10)



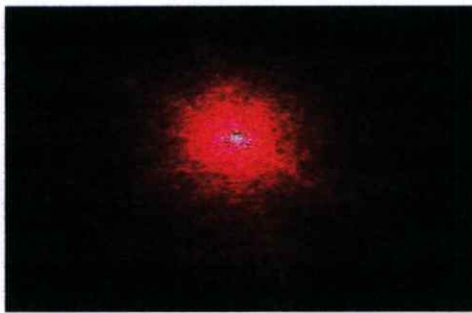
รูปที่ (4.1-3) แสดงตัวอย่างการหาค่าความเป็นวงรีที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมเลเซอร์บีม โปรไฟล์

วิธีการหาค่าความเป็นวงรี

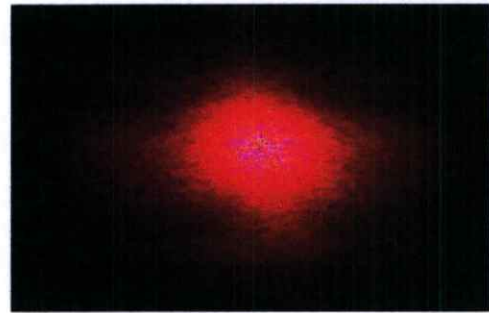
หาค่าในแนวแกน x ได้เป็น บีมมีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.54 เซนติเมตร นำค่าที่ได้ไปเทียบสัดส่วนกับ $1/e$ ได้เป็น 0.94 เซนติเมตรซึ่งเป็นตำแหน่งที่จะวัดค่าความกว้างบีมในแนวแกน x จากการวัดได้ค่า w_x เท่ากับ เซนติเมตร การหาค่าในแนวแกน y ทำเช่นเดียวกันกับในแนวแกน x ได้ค่า w_y เท่ากับ 1.61 เซนติเมตรหาค่าความเป็นวงรีได้เท่ากับ w_x / w_y เท่ากับ 1.25

ตารางที่ (4.1-1) แสดงค่าความกว้างตามแนวแกน x และ y ของ elliptic Gaussian beam และค่าความเป็นวงรีของแสงเมื่อผ่านผลึก PMN-PT เมื่อวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมเลเซอร์บีบโปรไฟล์

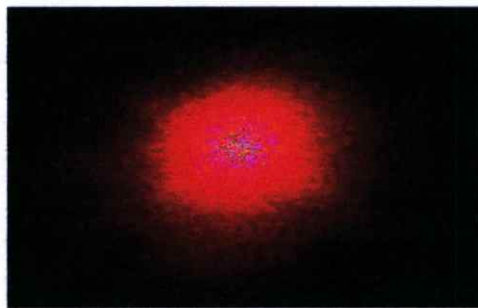
ตำแหน่งผลึก (mm)	98.5	99.0	99.5	100.0	100.5	101.0	101.5
w_x (cm)	2.72	2.52	2.67	2.74	2.96	2.83	2.85
w_y (cm)	2.03	1.93	1.97	1.95	2.07	1.94	1.95
ค่าความเป็นวงรี $= w_x / w_y$	1.340	1.306	1.355	1.405	1.430	1.459	1.462



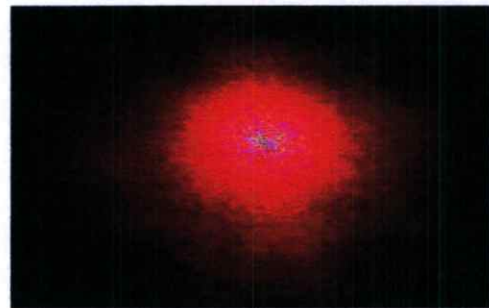
ก.



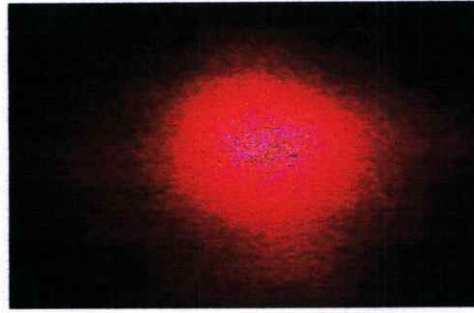
ข.



ค.

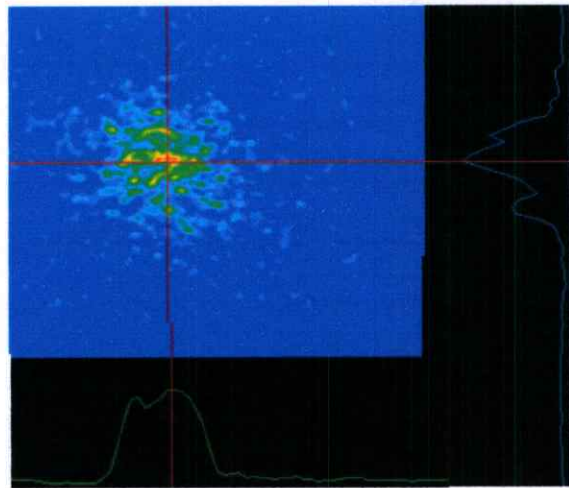
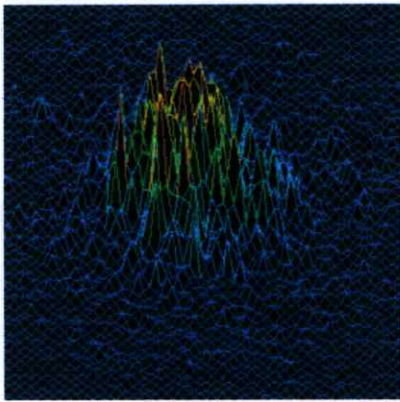


ง.

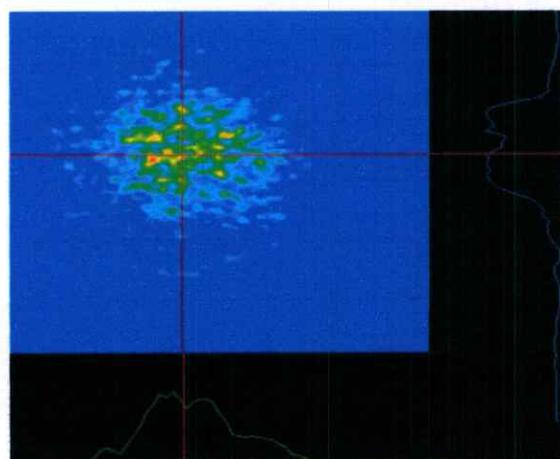
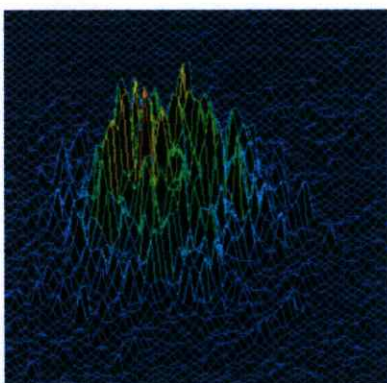


จ.

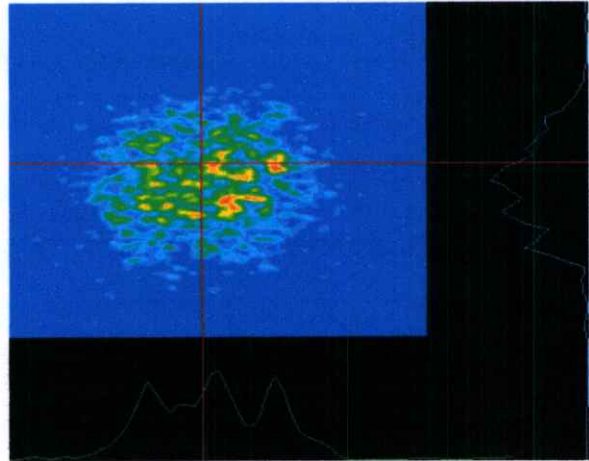
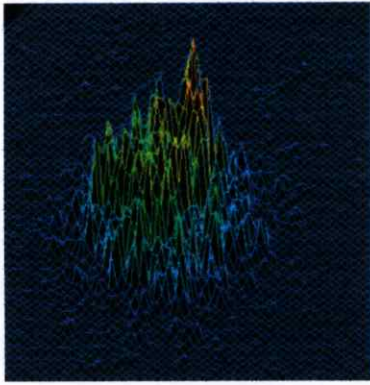
รูปที่ (4.1-4) แสดงภาพของแสงที่ตกกระทบบนฉากระยะห่าง 40 เซนติเมตรจากตำแหน่งโฟกัสของเลนส์นูนที่ได้จากการทดลองเมื่อความเข้มแสงต่าง ๆ ที่เวลา 1 นาที
(ก.) 0.10 มิลลิวัตต์, ข. 0.30 มิลลิวัตต์, ค. 0.50 มิลลิวัตต์, ง. 0.75 มิลลิวัตต์, จ. 0.95 มิลลิวัตต์



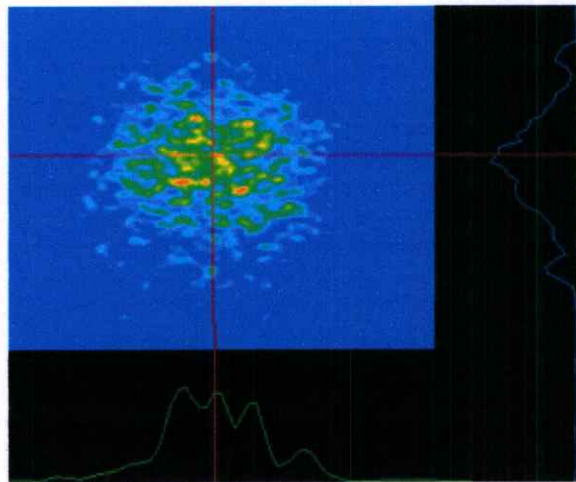
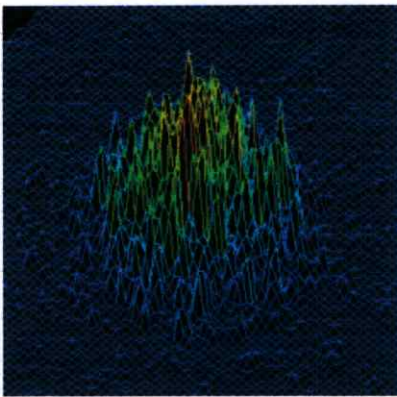
ก.



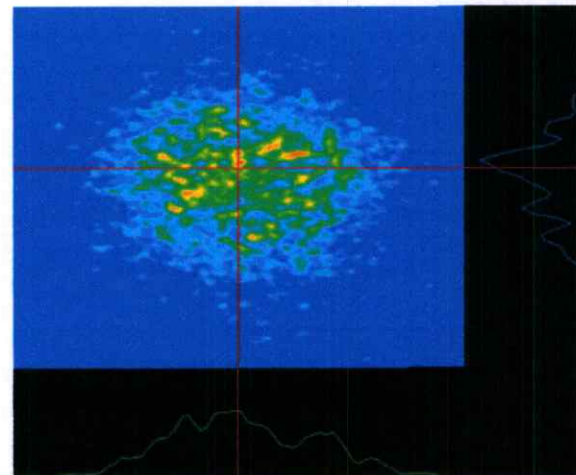
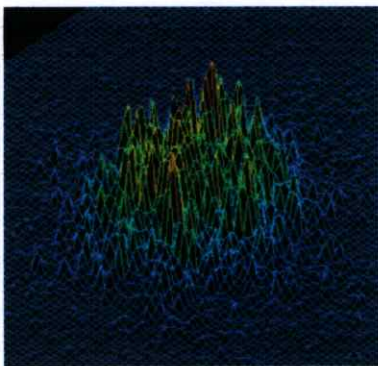
ข.



ก.



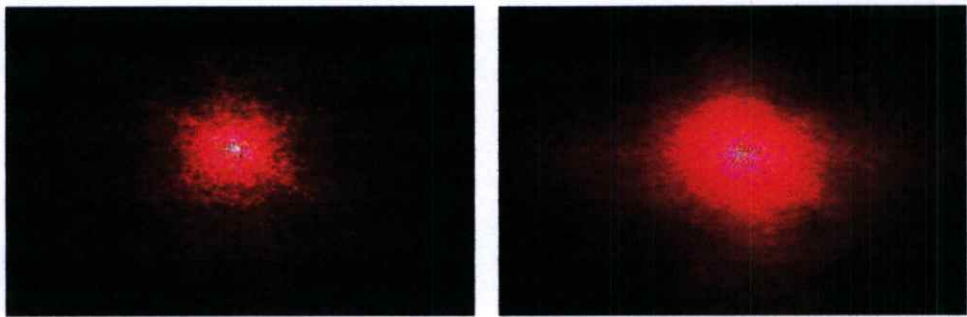
ข.



ค.

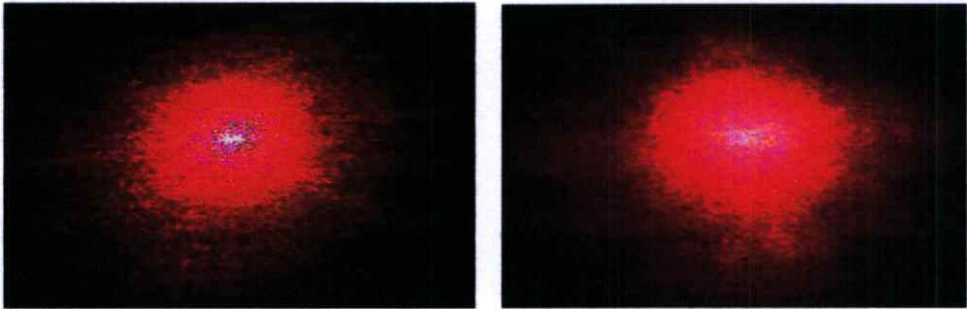
รูปที่ (4.1-5) แสดงภาพการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองที่ความเข้มแสงต่าง ๆ ที่เวลา 1 นาที โดยใช้โปรแกรมเลเซอร์บีม โปรไฟล์

(ก.) 0.10 มิลลิวัตต์ , ข. 0.30 มิลลิวัตต์ , ค. 0.50 มิลลิวัตต์ , ง. 0.75 มิลลิวัตต์ , จ. 0.95 มิลลิวัตต์



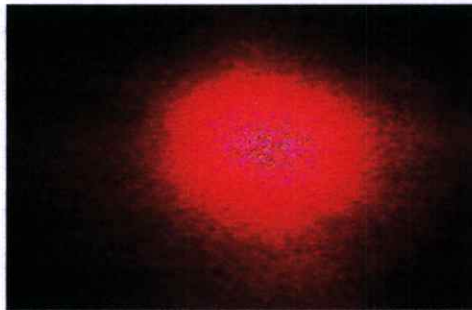
ก.

ข.



ค.

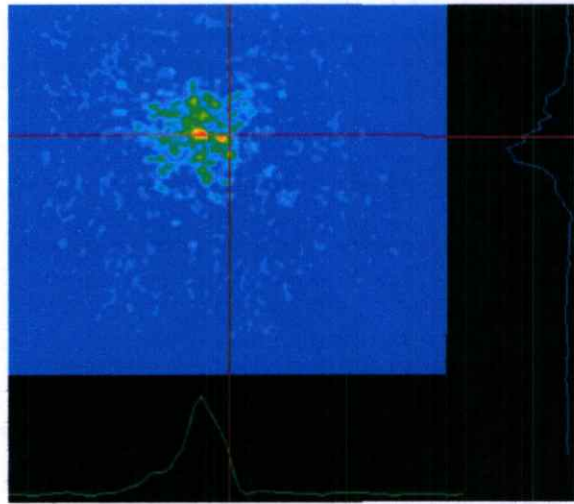
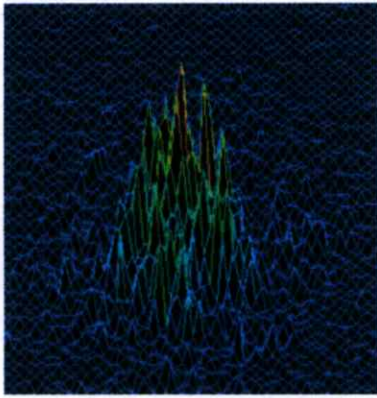
ง.



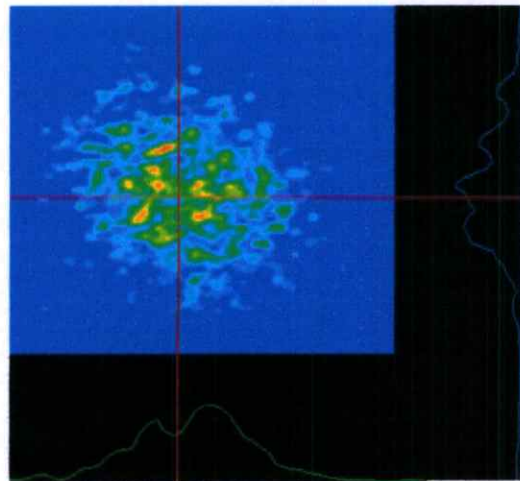
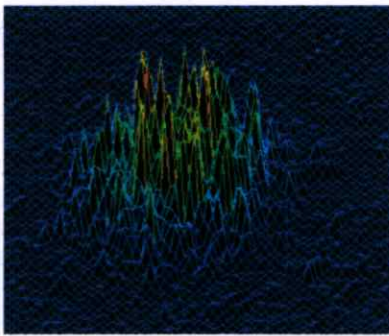
จ.

รูปที่ (4.1-6) แสดงภาพของแสงที่ตกกระทบบนฉากระยะห่าง 40 เซนติเมตรจากตำแหน่งโฟกัสของเลนส์นูนที่ได้จากการทดลองเมื่อความเข้มแสงต่าง ๆ ที่เวลา 3 นาที

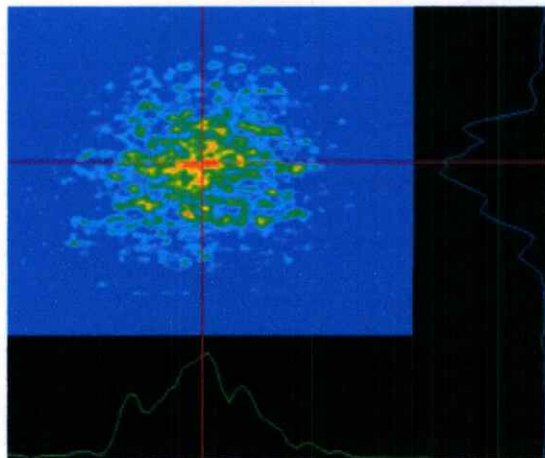
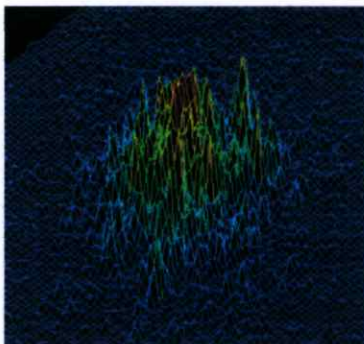
(ก.) 0.10 มิลลิวัตต์ , ข. 0.30 มิลลิวัตต์ , ค. 0.50 มิลลิวัตต์ , ง. 0.75 มิลลิวัตต์ , จ. 0.95 มิลลิวัตต์



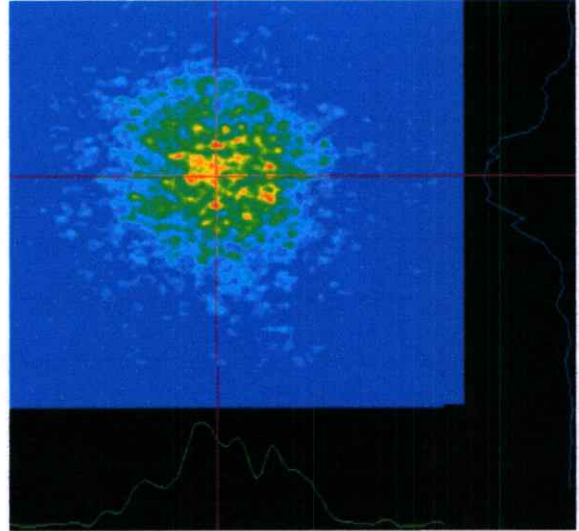
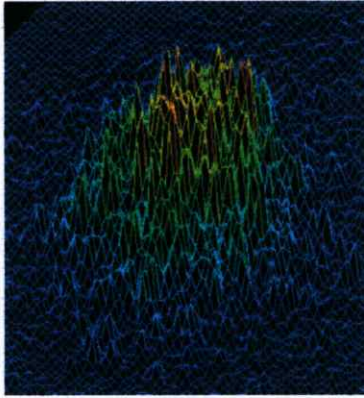
ก.



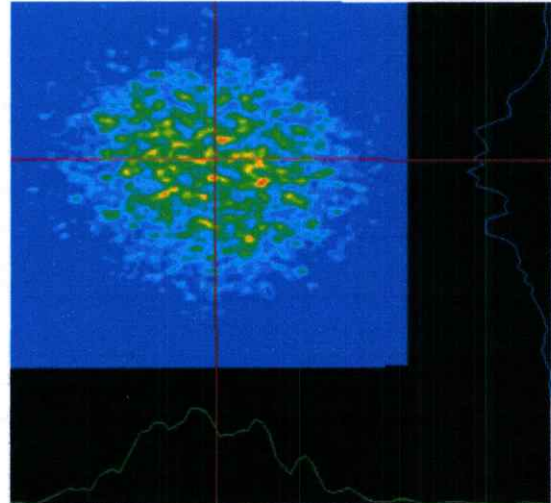
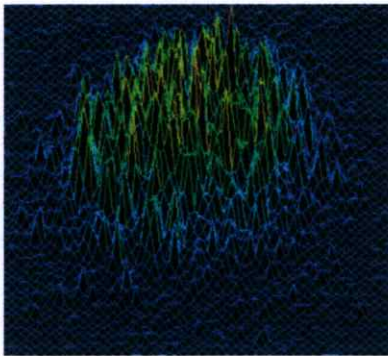
ข.



ค.

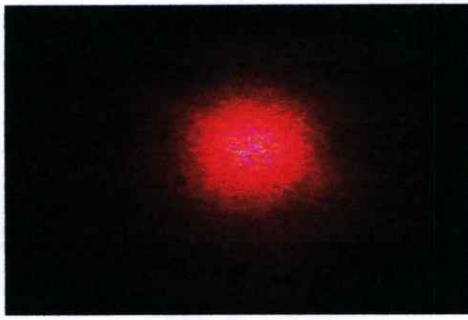


ง.

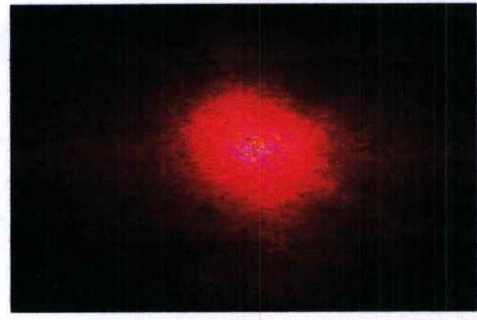


จ.

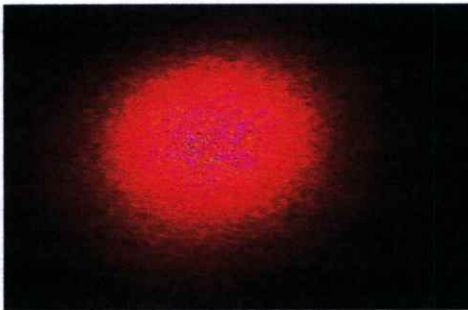
รูปที่ (4.1-7) แสดงภาพการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองที่ความเข้มแสงต่าง ๆ ที่เวลา 3 นาที โดยใช้โปรแกรมเลเซอร์บีม โปรไฟล์
 (ก.) 0.10 มิลลิวัตต์ , ข. 0.30 มิลลิวัตต์ , ค. 0.50 มิลลิวัตต์ , ง. 0.75 มิลลิวัตต์ , จ. 0.95 มิลลิวัตต์



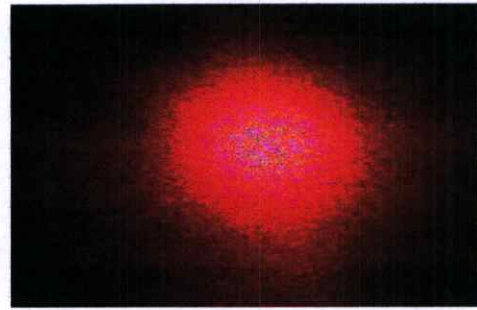
ก.



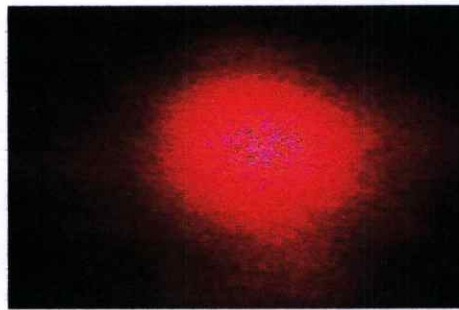
ข.



ค.

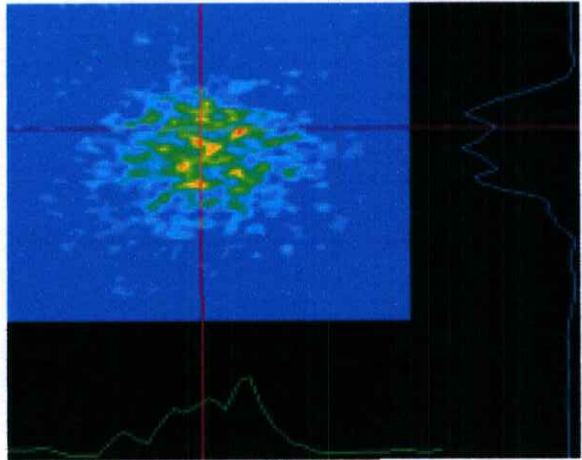
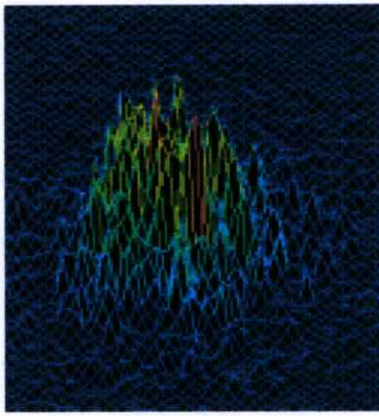


ง.

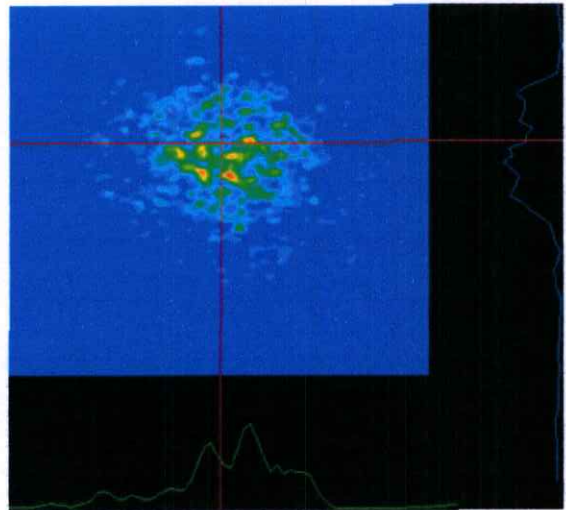
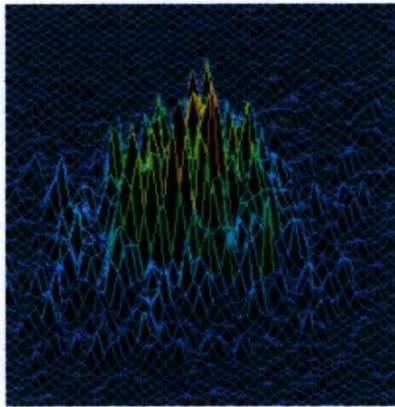


จ.

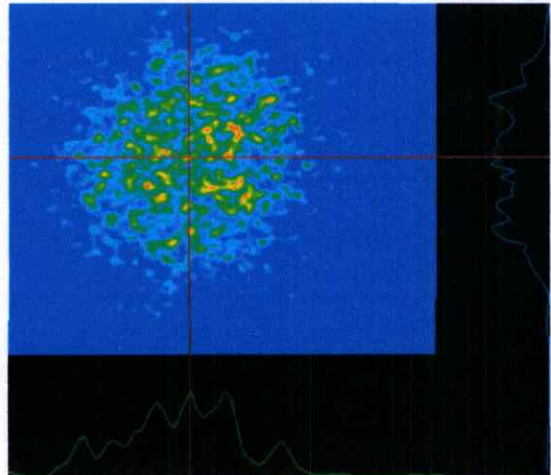
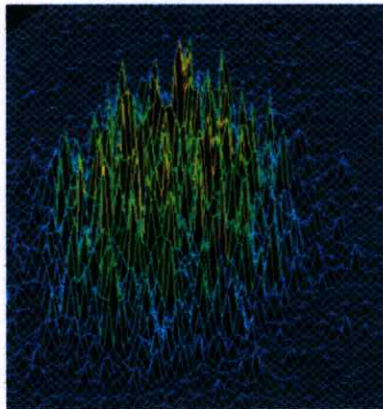
รูปที่ (4.1-8) แสดงภาพของแสงที่ตกกระทบบนฉากระยะห่าง 40 เซนติเมตรจากตำแหน่งโฟกัสของเลนส์นูนที่ได้จากการทดลองเมื่อความเข้มแสงต่าง ๆ ที่เวลา 5 นาที
(ก.) 0.10 มิลลิวัตต์ , ข. 0.30 มิลลิวัตต์ , ค. 0.50 มิลลิวัตต์ , ง. 0.75 มิลลิวัตต์ , จ. 0.95 มิลลิวัตต์



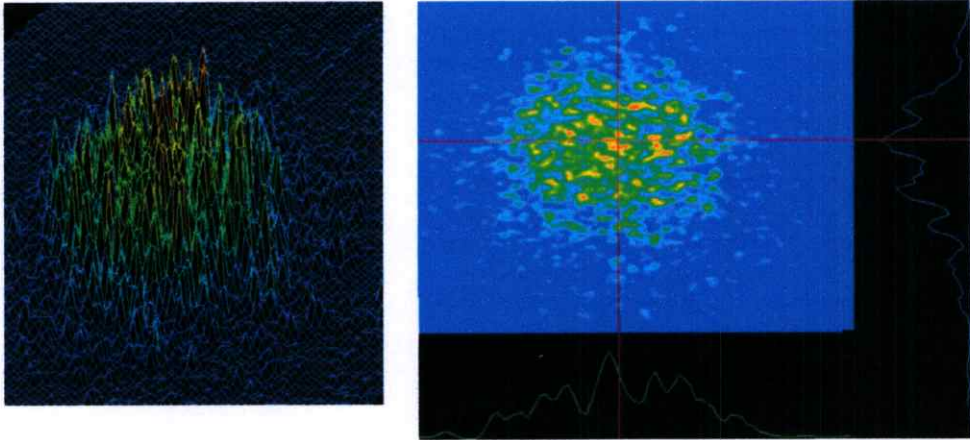
ဂ.



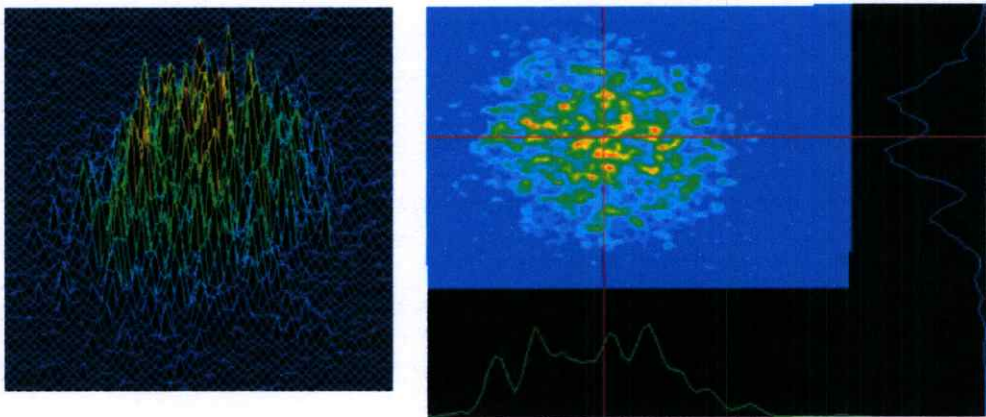
ဃ.



င.

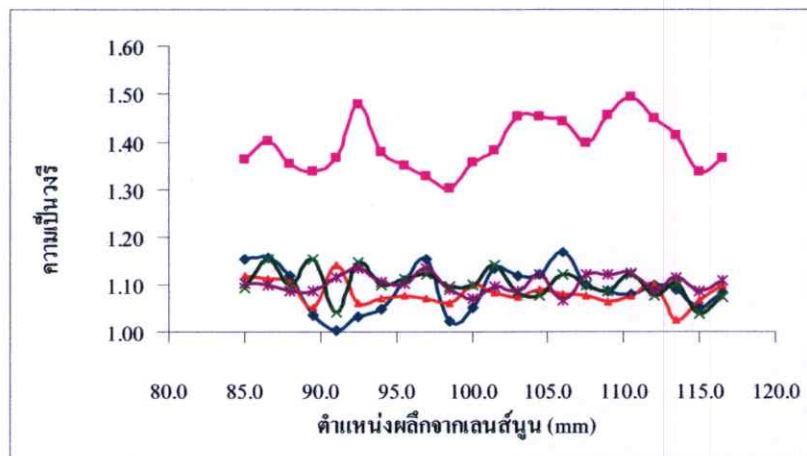


ง.

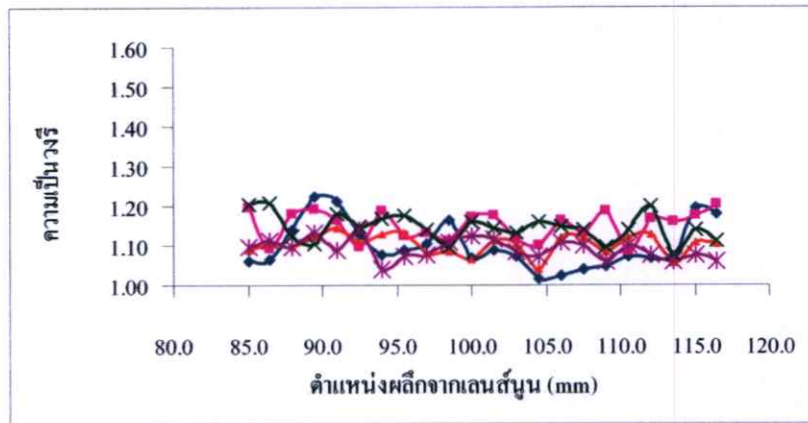


จ.

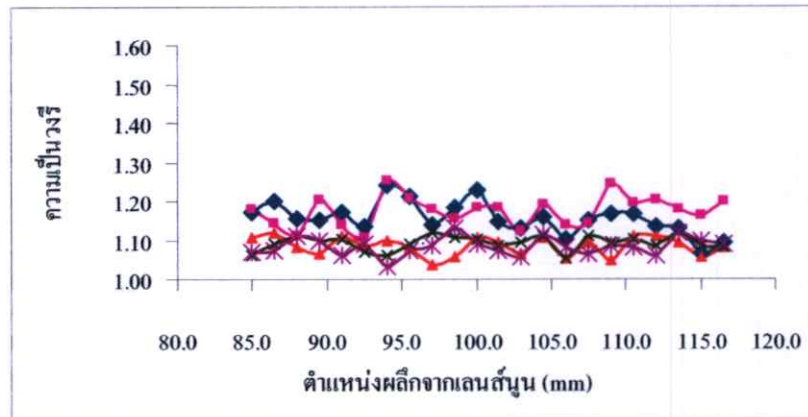
รูปที่ (4.1-9) แสดงภาพการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองที่ความเข้มแสงต่าง ๆ ที่เวลา 5 นาที โดยใช้โปรแกรมเลเซอร์บีม โปรไฟล์ ในรูปแบบสามมิติ
(ก.) 0.10 มิลลิวัตต์, ข. 0.30 มิลลิวัตต์, ค. 0.50 มิลลิวัตต์, ง. 0.75 มิลลิวัตต์, จ. 0.95 มิลลิวัตต์



ก.



บ.



ค.

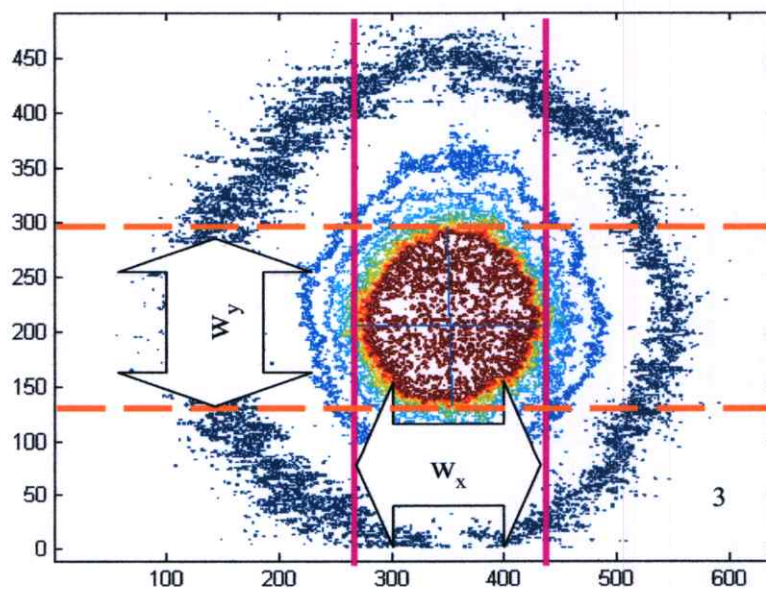
รูปที่ (4.1-10) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นวงรีกับตำแหน่งผลึกที่ได้จากโปรแกรมเลเซอร์빔โปรไฟล์ (ก.) 1 นาที , (ข.) 3 นาที , (ค.) 5 นาที

ที่ความเข้มของเลเซอร์เป็นดังนี้เป็น — = 0.10 มิลลิวัตต์ — = 0.30 มิลลิวัตต์
 — = 0.50 มิลลิวัตต์ — = 0.75 มิลลิวัตต์ — = 0.95 มิลลิวัตต์

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม MATLAB

ในการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม MATLAB นั้นจะใช้เงื่อนไขการทดลองเดียวกับการวิเคราะห์กับโปรแกรมเลเซอร์빔โปรไฟล์ เริ่มต้นวิเคราะห์ลำแสงเลเซอร์ที่ถ่ายได้จากเลเซอร์โดยตรง ในการวิเคราะห์จะได้ผลการวิเคราะห์ในรูปแบบสองมิติและสามมิติเช่นเดียวกับการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมบีมโปรไฟล์ สามารถสังเกตได้จากรูปที่ (4.2-2) นอกจากนี้ได้วิเคราะห์ภาพที่ถ่ายเมื่อแสงเลเซอร์ผ่านเลนส์นูนและไม่ผ่านผลึกสังเกตได้ดังรูปที่ (4.2-3)

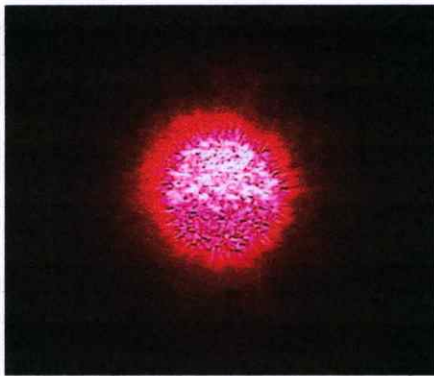
ในการทำการทดลองโดยใช้เทคนิค P-scan ที่ใช้ในการทดลองนั้น ได้ใช้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงเริ่มต้นที่ 0.10 ถึง 0.95 มิลลิวัตต์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ เก็บข้อมูลทีละระยะ 8.50-11.50 เซนติเมตร ซึ่งจะเก็บข้อมูลครั้งละ 0.05 เซนติเมตร แล้วถ่ายภาพของลำแสงหลังจากผ่านผลึกแล้วนำไปวิเคราะห์กับโปรแกรม MATLAB ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้โดยที่เมื่อนำภาพที่ถ่ายได้จากการทดลองเข้าไปวิเคราะห์โดยการเขียนโปรแกรม MATLAB ในส่วนที่ 1 ซึ่งแสดงในภาคผนวก ก. ผลการวิเคราะห์ที่ได้นั้นจะอยู่ในรูปสามมิติ จากนั้นวิเคราะห์ภาพโดยใช้การเขียนโปรแกรม MATLAB ในส่วนที่ 2 ในภาคผนวก ก. เช่นกันผลการวิเคราะห์ที่ได้จะอยู่ในรูปสองมิติจากนั้นก็นำภาพสองมิตินี้ไปวิเคราะห์กับโปรแกรม MATLAB ส่วนที่ 3 ซึ่งแสดงในภาคผนวก ก. เช่นกัน จากโปรแกรมส่วนที่สามนี้สามารถหาค่าการแพร่กระจายในแนวแกน w_x และการแพร่กระจายในแนวแกน w_y แล้วนำไปหาค่าความเป็นวงรีได้จาก w_x / w_y ตัวอย่างการวิเคราะห์ความเป็นวงรีแสดงได้ดังรูปที่ (4.2-1) ซึ่งจะวัดค่าความกว้างของบีมจากจุดที่เป็นสีแดงที่ด้านข้างทั้งสองในแนวแกน w_x และแกน w_y จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาความเป็นวงรีจาก $\text{ความเป็นวงรี} = w_x / w_y$ ซึ่งค่าที่ได้นั้นแสดงตัวอย่างในตารางที่ (4.2-1) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ตำแหน่งที่ดีที่สุดคือ ที่กำลังเลเซอร์เป็น 0.30 mW ที่เวลา 1 นาที สามารถสังเกตความเป็นวงรีได้จากรูปที่ (4.2-4ข.) พบว่าที่ความเข้มแสงเลเซอร์เป็น 0.30 มิลลิวัตต์ ที่เวลา 1 นาที มีค่าความเป็นวงรีที่ดีที่สุด นอกจากนี้ผลการทดลองพบว่าที่กำลังเลเซอร์ 0.30 มิลลิวัตต์นั้นค่าความเป็นวงรีโดยรวมจะดีที่สุดเช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์กับ โปรแกรมเลเซอร์บีมโปรไฟล์แสดงดังรูปที่ (4.2-4) - (4.2-9)



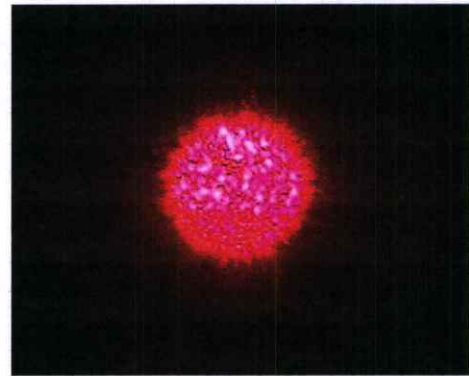
รูปที่ (4.2-1) แสดงการหาค่าความเป็นวงรีของผลึก PMN-PT ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม MATLAB

ตารางที่ (4.2-1) แสดงการหาค่าความเป็นวงรีของผลึก PMN-PT ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม MATLAB

ตำแหน่งผลึก (mm)	98.5	99.0	99.5	100.0	100.5	101.0	101.5
w_x	204.836	212.204	212.205	219.573	213.678	194.521	237.256
w_y	170.942	172.416	170.943	167.995	173.890	167.995	197.468
ค่าความเป็นวงรี $= w_x / w_y$	1.198	1.231	1.241	1.307	1.229	1.158	1.201

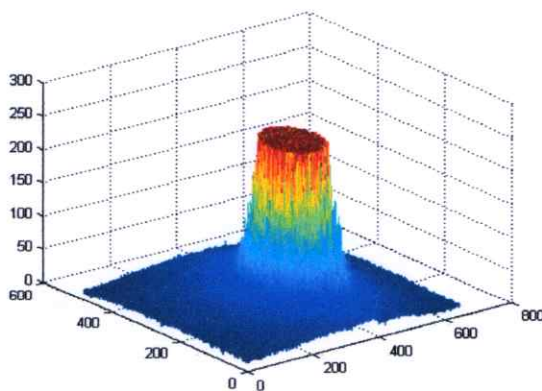


ก.

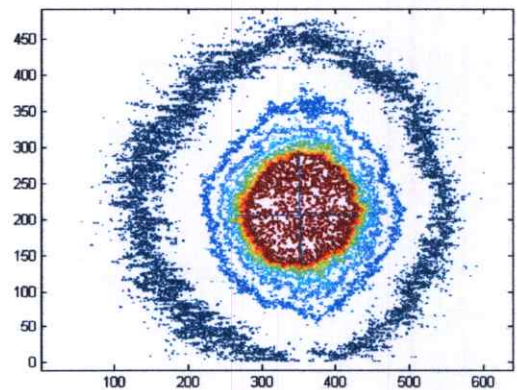


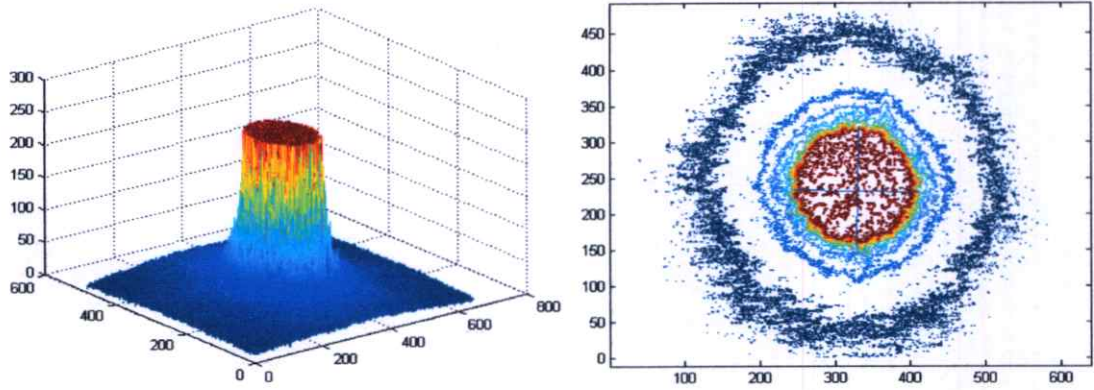
ข.

รูปที่ (4.2-2) แสดงภาพถ่ายที่ได้จากลำแสงเลเซอร์ในตอนเริ่มต้นการทดลองซึ่งยังไม่ผ่านผลึก
(ก.) รูปลำแสงเลเซอร์ซึ่งยังไม่ผ่านวัสดุใดๆ (ข.) รูปลำแสงเลเซอร์ที่ผ่านเลนส์นูน



ก.



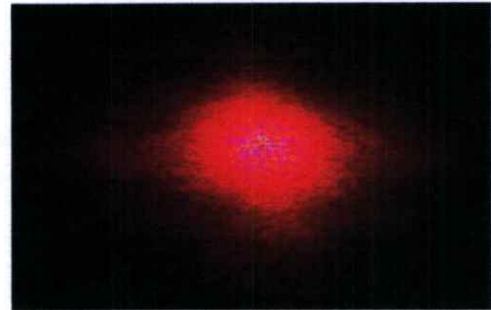


ข.

รูปที่ (4.2-3) แสดงภาพที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม MATLAB
 (ก.) รูปลำแสงเลเซอร์ซึ่งยังไม่ผ่านวัสดุใดๆ (ข.) รูปลำแสงเลเซอร์ที่ผ่านเลนส์นูน



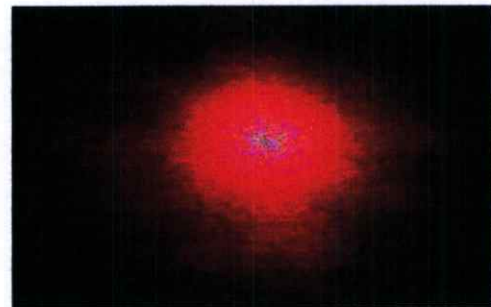
ก.



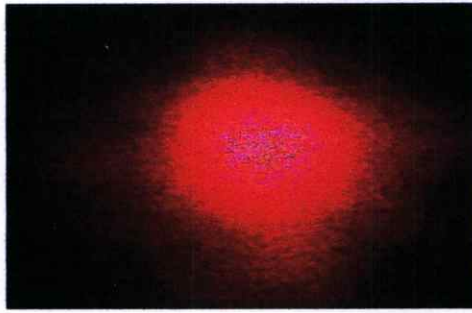
ข.



ค.

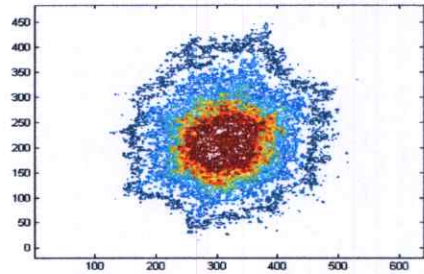
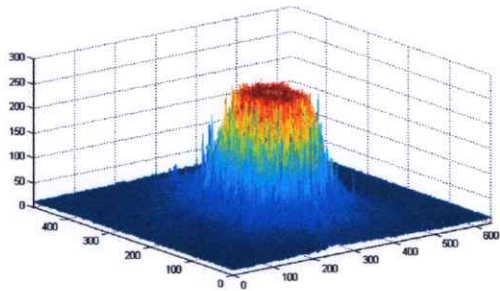


ง.

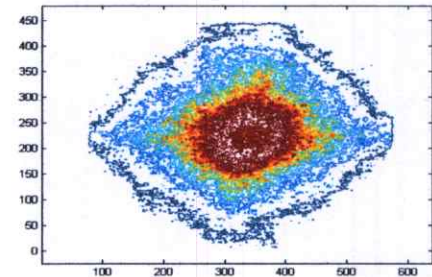
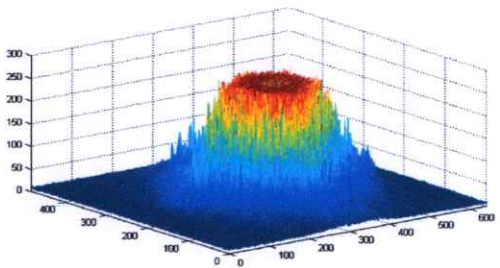


จ.

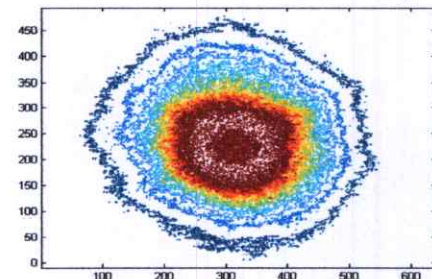
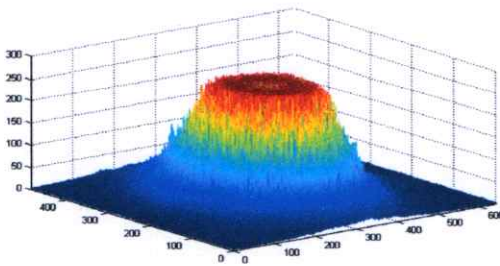
รูปที่ (4.2-4) แสดงภาพของแสงที่ตกกระทบบนฉากระยะห่าง 40 เซนติเมตรจากตำแหน่งโฟกัสของเลนส์นูนที่ได้จากการทดลองเมื่อความเข้มแสงต่าง ๆ ที่เวลา 1 นาที
 (ก.) 0.10 มิลลิวัตต์, (ข.) 0.30 มิลลิวัตต์, (ค.) 0.50 มิลลิวัตต์, (ง.) 0.75 มิลลิวัตต์, (จ.) 0.95 มิลลิวัตต์



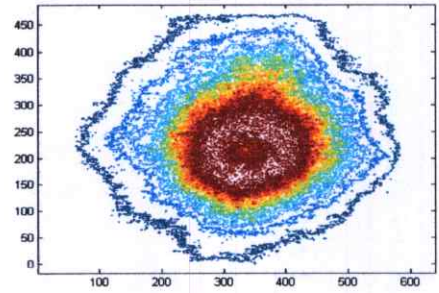
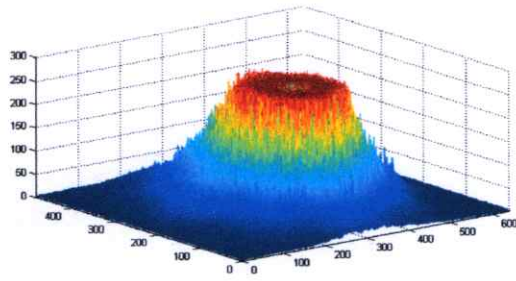
ก.



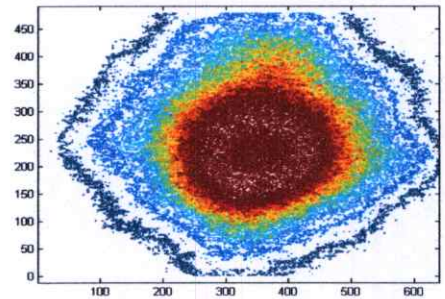
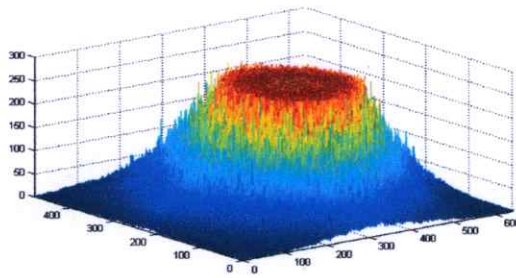
ข.



ค.



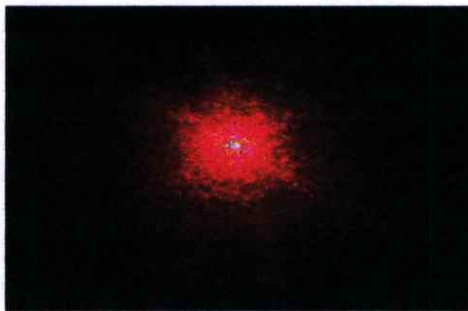
ง.



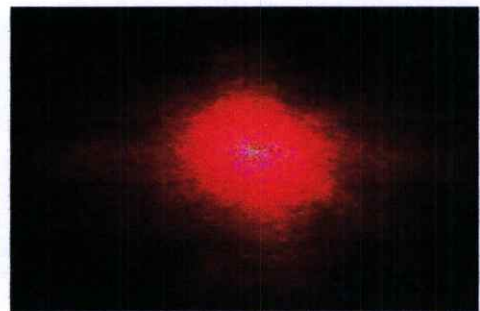
จ.

รูปที่ (4.2-5) แสดงภาพการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองที่ความเข้มแสงต่าง ๆ ที่เวลา 1 นาที โดยใช้โปรแกรม MATLAB

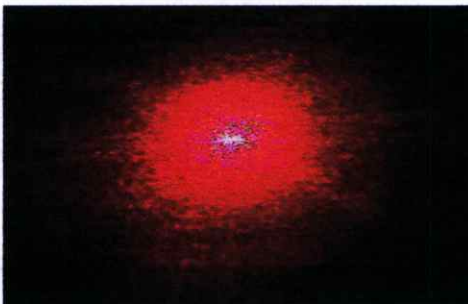
(ก.) 0.10 มิลลิวัตต์, (ข.) 0.30 มิลลิวัตต์, (ค.) 0.50 มิลลิวัตต์, (ง.) 0.75 มิลลิวัตต์, (จ.) 0.95 มิลลิวัตต์



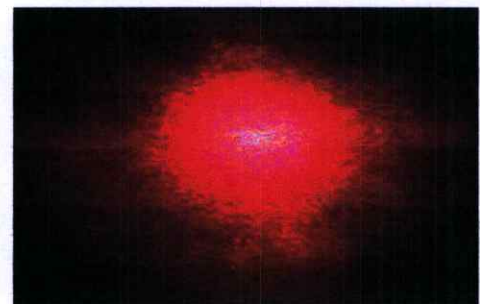
ก.



ข.



ค.

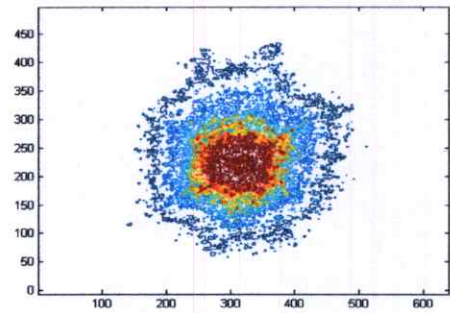
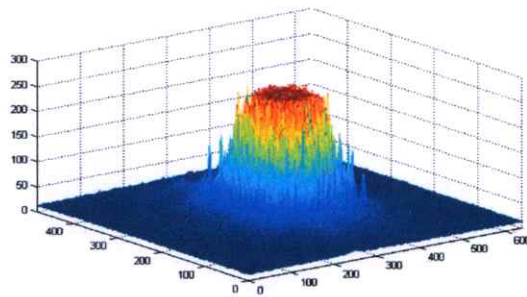


ง.

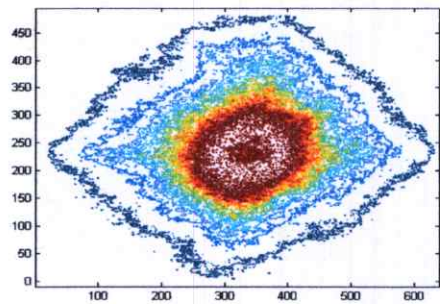
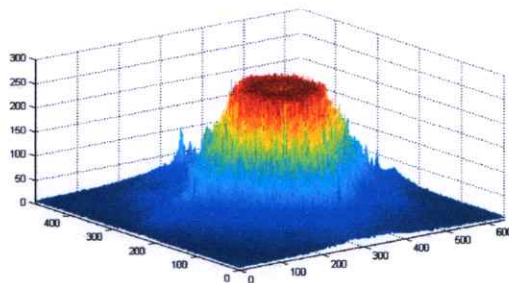


จ.

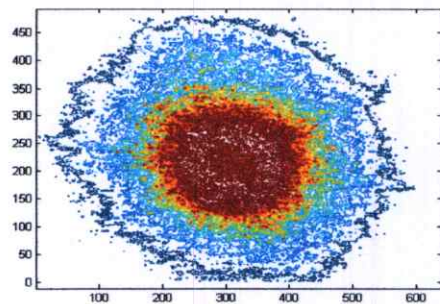
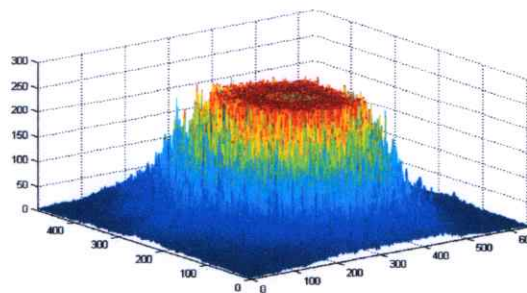
รูปที่ (4.2-6) แสดงภาพของแสงที่ตกกระทบบนฉากระยะห่าง 40 เซนติเมตรจากตำแหน่งโฟกัสของเลนส์นูนที่ได้จากการทดลองเมื่อความเข้มแสงต่าง ๆ ที่เวลา 3 นาที
(ก.) 0.10 มิลลิวัตต์, (ข.) 0.30 มิลลิวัตต์, (ค.) 0.50 มิลลิวัตต์, (ง.) 0.75 มิลลิวัตต์, (จ.) 0.95 มิลลิวัตต์



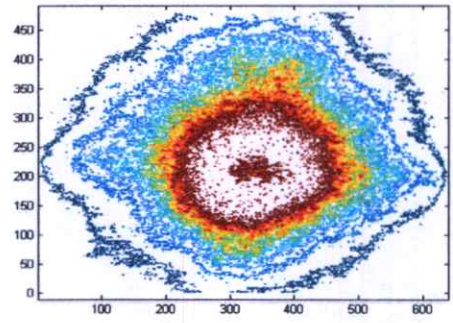
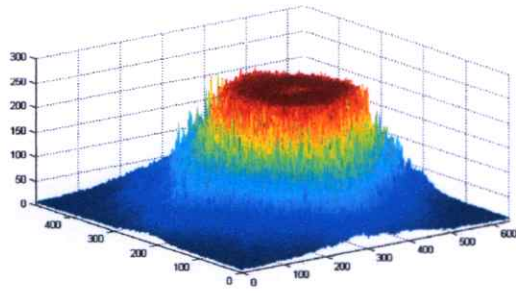
ก.



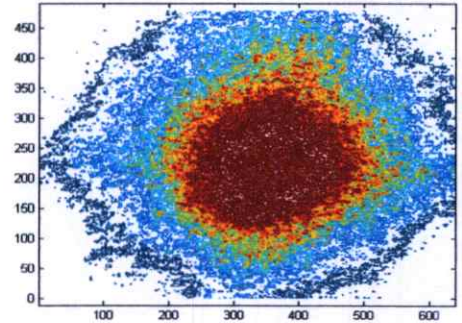
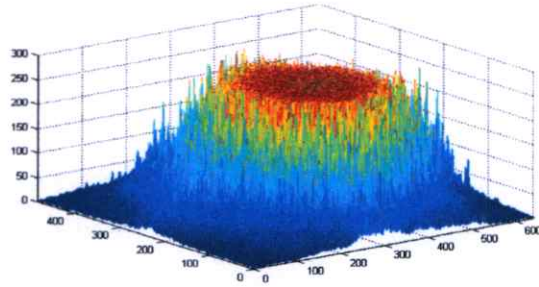
ข.



ค.



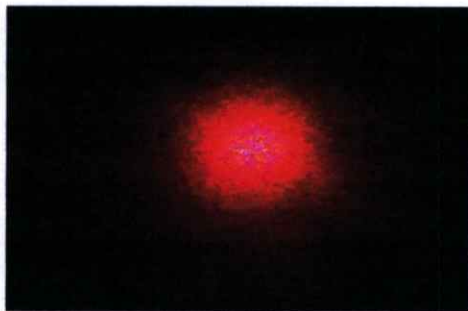
ง.



จ.

รูปที่ (4.2-7) แสดงภาพการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองที่ความเข้มแสงต่าง ๆ ที่เวลา 3 นาที โดยใช้โปรแกรม MATLAB

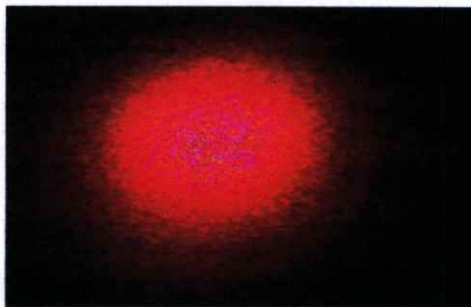
(ก.) 0.10 มิลลิวัตต์, (ข.) 0.30 มิลลิวัตต์, (ค.) 0.50 มิลลิวัตต์, (ง.) 0.75 มิลลิวัตต์, (จ.) 0.95 มิลลิวัตต์



ก.



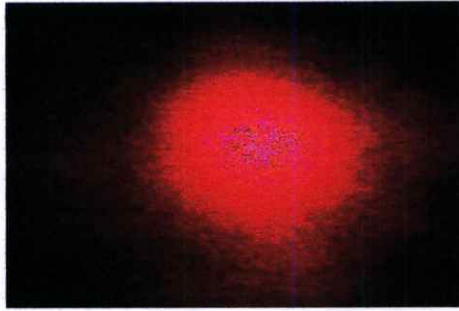
ข.



ค.

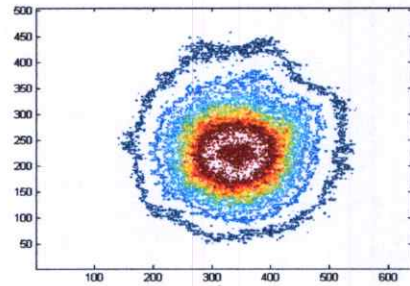
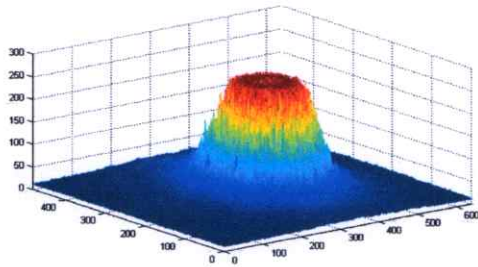


ง.

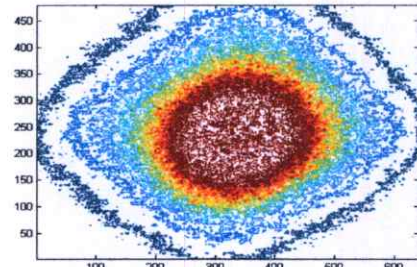
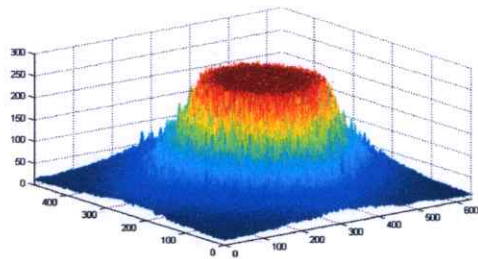


จ.

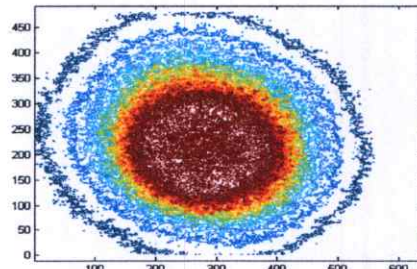
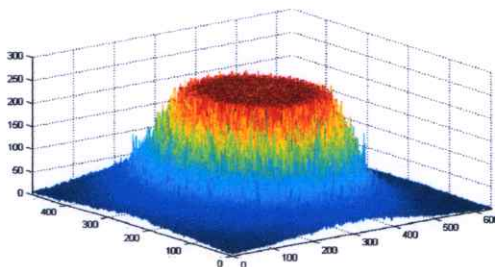
รูปที่ (4.2-8) แสดงภาพของแสงที่ตกกระทบบนฉากรยะห่าง 40 เซนติเมตรจากตำแหน่งไฟกัสของเลนส์นูนที่ได้จากการทดลองเมื่อความเข้มแสงต่าง ๆ ที่เวลา 5 นาที่
(ก.) 0.10 มิลลิวัตต์, (ข.) 0.30 มิลลิวัตต์, (ค.) 0.50 มิลลิวัตต์, (ง.) 0.75 มิลลิวัตต์, (จ.) 0.95 มิลลิวัตต์



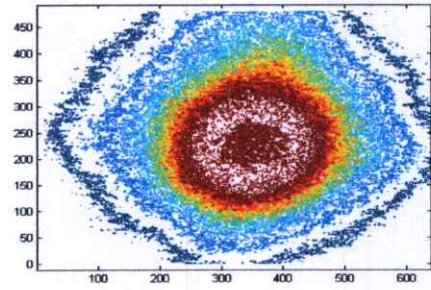
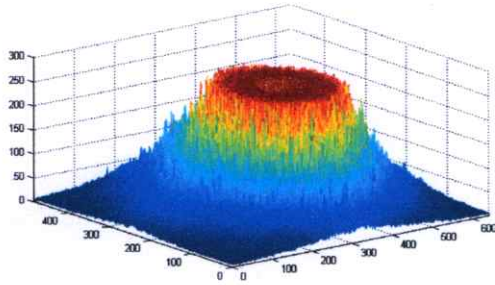
ก.



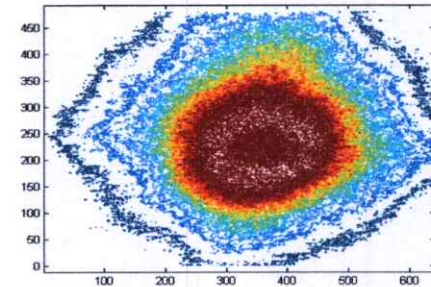
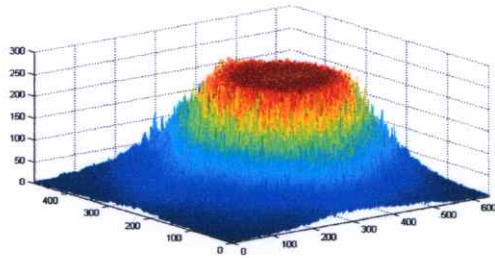
ข.



ค.



ง.

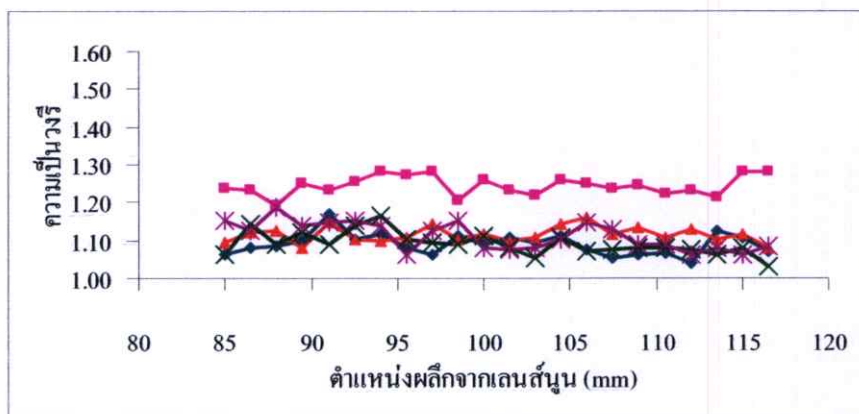


จ.

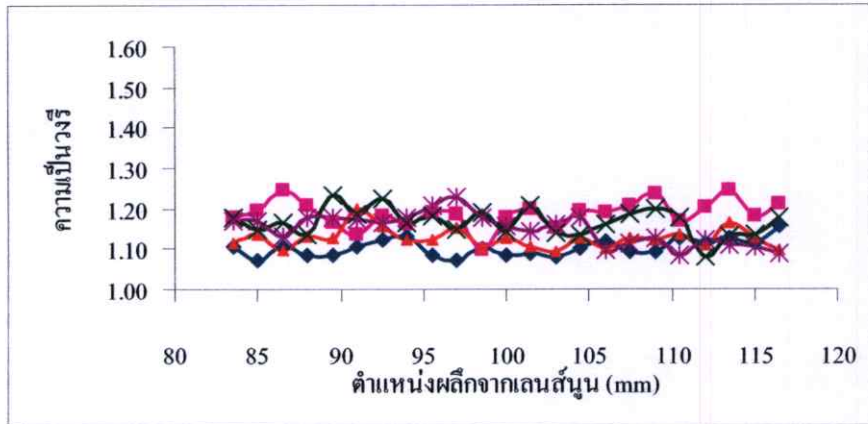
รูปที่ (4.2-9) แสดงภาพการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองที่ความเข้มแสงต่าง ๆ ที่เวลา 5 นาที โดยใช้โปรแกรม MATLAB

(ก.) 0.10 มิลลิวัตต์, (ข.) 0.30 มิลลิวัตต์, (ค.) 0.50 มิลลิวัตต์, (ง.) 0.75 มิลลิวัตต์, (จ.) 0.95 มิลลิวัตต์

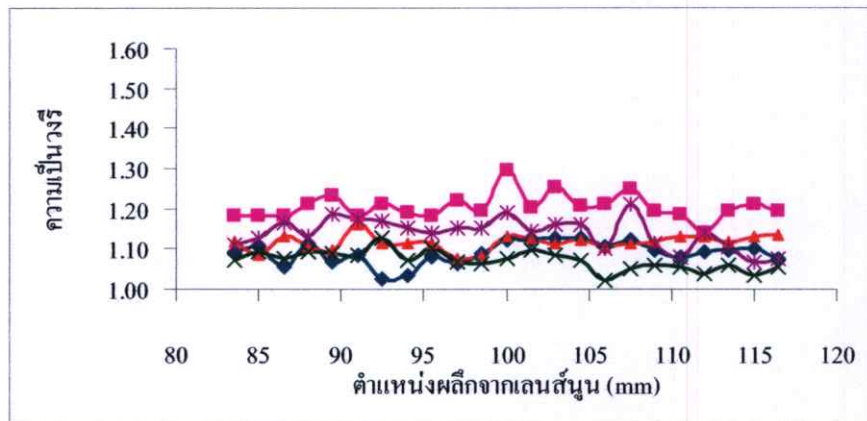
เมื่อนำข้อมูลการทดลองที่ได้ในแต่ละตำแหน่งที่ผ่านการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม MATLAB แล้วนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นวงรีกับตำแหน่งผลึกจากเลนส์นูนพบว่าที่ความเข้มแสงเลเซอร์ 0.30 มิลลิวัตต์ที่เวลา 1 นาที ค่าความเป็นวงรีมีค่าสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีอื่นๆ (ความเข้มแสงและระยะเวลาของการตกกระทบ) แสดงดังรูปที่ (4.2-10)



(ก.)



(ข.)



(ค.)

รูปที่ (4.2-10) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นวงรีกับตำแหน่งผลึกที่ได้จากโปรแกรม MATLAB (ก.) 1 นาที , (ข.) 2 นาที , (ค.) 3 นาที

ที่ความเข้มของเลเซอร์เป็นดังนี้เป็น — = 0.10 มิลลิวัตต์ — = 0.30 มิลลิวัตต์
 — = 0.50 มิลลิวัตต์ — = 0.75 มิลลิวัตต์ — = 0.95 มิลลิวัตต์

บทที่ 5

สรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้เทคนิค P-scan นั้นจะเกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของแสงผ่านวัสดุที่มีสมบัติความไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งจะนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหเนื่องมาจากสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งถูกพัฒนาขึ้น วิธีการที่ใช้เพื่อวิเคราะห์การแพร่กระจายของเกาส์เซียนบีบผ่านผลึก 0.64PMN-0.36PT เมื่อนำแสงที่มีลักษณะเป็นรูปร่างกลมตกกระทบผลึกก็จะเกิดลักษณะรูปร่างของแสงเป็นวงรีเมื่อแสงเกิดการแทรกสอดภายในผลึกเนื่องจากการกระเจิงของแสงบางส่วนทำให้ดัชนีหักเหของผลึกเกิดการเปลี่ยนแปลงซึ่งทำให้แสงที่ผ่านออกมาจากผลึกเกิดการเลี้ยวเบนทำให้ได้รูปภาพของแสงที่เป็นวงรีบนฉากรับภาพ การประมาณค่าความไม่เป็นเชิงเส้น ค่าสัมประสิทธิ์ความไม่เป็นเชิงเส้นของแสงนั้นสามารถอธิบายโดยการใช้อัตราส่วนการให้และการรับอิเล็กตรอนของผลึกโฟโตรีแฟรคทีฟ ในการทำนายปรากฏการณ์ความไม่เป็นเชิงเส้นทางแสงในผลึกถูกพิจารณาด้วยค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของแสงในคลังภาพโฮโลแกรมของสารเมื่อความยาวคลื่นที่ใช้มีค่าเท่าเดิม ในการวิเคราะห์พบว่าที่กำลังแสงเลเซอร์ 0.30 มิลลิวัตต์ ที่เวลา 1 นาที มีค่าความเป็นวงรีดีที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าที่กำลังเลเซอร์เป็น 0.30 มิลลิวัตต์นั้นความเป็นวงรีมีค่าดีกว่าเมื่อเทียบกับในกรณีอื่น ๆ ซึ่งทั้ง โปรแกรมเลเซอร์บีบ โปรไฟล์และ โปรแกรม MATLAB ที่ใช้ในการวิเคราะห์มีความเป็นวงรีที่เหมือนกัน

ในการทดลองที่ได้นี้ไม่ค่อยชัดเจนมากนักอาจมีผลเนื่องมาจากความหนาของผลึกที่มีขนาดบางเกินไป การเตรียมผลึกสำหรับเทคนิคที่ใช้ในการทดลอง การกระจายของแสงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการถ่ายภาพ และรวมไปถึงพร้อมของอุปกรณ์เล็กน้อย

5.2 แนวทางในการพัฒนา

เนื่องจากในการทดลองโดยใช้เทคนิคพี-สแกนนี้มีการสังเกตความเป็นวงรีนั้นไม่ค่อยชัดเจนมากนักอาจเป็นผลเนื่องมาจากความหนาของผลึกที่มีความใกล้เคียงกับค่าความกว้างของลำแสงเลเซอร์เริ่มต้นมาก ซึ่งอาจจะมีผลต่อความเป็นวงรีของลำแสงเลเซอร์ที่ผ่านผลึก ดังนั้นการพัฒนาต่อไปในอนาคตข้างหน้าอาจจะมีการสังเกตที่ผลึกมีความหนามากขึ้น นำวัสดุเดิมมาศึกษาใหม่เมื่อความพร้อมของอุปกรณ์สมบูรณ์มากขึ้นและอาจจะมีการวิจัยเพื่อนำไปใช้ในการประยุกต์ต่อไปในอนาคต สำหรับเทคนิค P-scan นั้นอาจมีการนำไปใช้กับสารชนิดอื่น ๆ ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. Pratha P. Banerjee and Alexander Y. Danileiko , “P-scan analysis of inhomogeneously induced optical nonlinearities” , J.Opt.Soc.Am. **15** , 2446-2454 (1998)
2. H.T.Wong , K.W.Kwok and H.L.W.Chan , “ Study of PMN-PT Single crystals for Resonator Applications” , IEEE 559 (2006).
3. X.Wan , H. Luo , J.Wang , H.L.W.chan ,and C.L.Choy , “ Investigation on optical transmission spectra of $(1-x)\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3-x\text{PbTiO}_3$ ” ,Solid Statecom.,**129** 401 (2004)
4. Na Di , J.C.Harker and D.J.Quesnel , “ Photoelastic effects in $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ -29% PbTiO_3 single crystals investigated by Hertzian contact experiment” , J.App.Phy. , **103** (2008).
5. S.H.Wemple and M.Dr.Domemico , “ Oxygen-Octahedra Ferroelectrics.II.Electro-Optical and Nonlinear-Optical Device Applications ” , J.App.Phy , **40** 735 (1969).
6. C. He , Z. Zhou , X. Zhou and H. Luo , “Photorefractive effect in relaxor ferroelectric $0.62\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - 0.38PbTiO_3 single crystal” , Appl. Phys. Lett. **89** , 261111 (2006).
7. P. Yeh. *Introduction to Photorefractive Nonlinear Optics*. John Wiley and Sons, (1993).
8. L.Solymar , D.J. Webb , A .Grunnet-jepsen , *The physics and Applications of Photorefractive materials*. Oxford. (1996).
9. S.L.Gomez , F.L.S.Cuppo ,and A.M.Figueiredo Neto , “ Nonlinear Optic Properties of Liquid Crystals Probed by Z-scan Technique ” Bra.J.Phy. , **22** , 813 (2003).
10. L.E. Cross , “ Relaxor ferroelectrics ” , Ferroelectrics. , **76** , 241 (1987).
11. อโนชา หมั่นภักดิ์ “โครงสร้างจุลภาคและสมบัติไดอิเล็กทริกของเลคิเมกนีเซียมไนโอเบตที่เตรียมจากสารตั้งต้นเลคไนโอเบตและเลคิเมกนีเซียมออกไซด์” บัณฑิตวิทยาลัย ม.เชียงใหม่ , 17-21 (2544).
12. X. Wan , H. Xu , T. He , D. Lin and H. Luo , “Optical properties of tetragonal $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{0.62}\text{Ti}_{0.38}\text{O}_3$ single crystal” , J.App. Phy. , **93** ,4766-4768 (2003)
13. Ting-Chung Poon and Taegeun Kim. , “*Engineering Optics with Matlab*” World Scientific , Singapore , 111-149 (2006)
14. Yong S. Cho , Stevan M. Pilgrim and Herbert Giesche. , “Dielectric and Electromechanical Properties of Chemically Modified PMN-PT-BT Ceramics” J. Am. Ceram. Soc , **83** , 2473-2480 (2000)

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

15. Xinming Wan , Haiqing Xu , Tianhou He , Di Lin and Haosu Luo. , “Optical properties of tetragonal $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{0.62}\text{Ti}_{0.38}\text{O}_3$ single crystal” *J.App.Phys.* , **93** , 4766-4768 (2002)
16. Seung-Eek Eagle Park และ Wesley Hackenberger “High performance single crystal piezoelectrics : applications and issues” *Current Opinion in Solid State and Materials Science* , **6** , 11-18 (2002)
17. Kei C. Cheng , Helen L.W.Chan , Chung L. Choy , Qingrui Yin , Hasou Luo and Zhiwen Yin , “Single Crystal PMN-O.33PT/Epoxy 1-3 Composites for Ultrasonic Transducer - Applications” , *IEEE* , **50** , 1177-1183 (2003)
18. Song Fengbing Li Qiang Zhong Haisheng Li Chunhong Zhao Shixi Shen Dezhong “Phase formation and transitions in the lead magnesium niobate – leadtitanate system”, *Materials Chemistry and Physics* , **83** , 135–139 (2004)
19. เมืองใจ อุ่นเรือน สุพล อนันตา และ รัตติกร ชัยนิรัญ “สมบัติไดอิเล็กตริกและฮิสเทอรีซิสของสารเซรามิกเลดแมกนีเซียมไนโอเบต-เลดไททานेटที่ไม่ได้ผ่านการทำขั้ว” , *Congress on Science and Technology fo Thailand Suranaree University of Technology* , (2005)
20. A.Hall , M.Allahverdi , E.K.Akdogan and A.Safari “Development and Electromechanical Properties of Multimaterial Piezoelectric and Electrostrictive PMN-PT Monomorph Actuators” , **15** , 143-150 (2005)
21. Gael Sebald , Laurent Lebrun and Daniel Guyomar , “Modeling of Elastic Nonlinearities in Ferroelectric Materials Including Nonlinear Losses : Application to Nonlinear Resonance Mode of Relaxors Single Crystals” , *IEEE* , **52** , 598-603 (2005)
22. K.K.Rajan , M.Shanthi , W.S.Chang , J.Jin และ L.C.Lim “Dielectric and piezoelectric properties of [001] and [011] – poled relaxor ferroelectric PZN–PT and PMN–PT single crystals” , *Science Direct* , **133** , 110-116 (2007)

ภาคผนวก ก.

โปรแกรมการทำงานของโปรแกรม MATLAB

ส่วนที่ 1 เป็นการวิเคราะห์ในรูปสามมิติ

```
filename='filename.jpg';  
[A,map,alpha]=imread(filename,'jpg');  
figure(1);  
image(A);  
axis equal;  
figure(2);  
mesh(double(A(:,:,1)));
```

ส่วนที่ 2 เป็นการวิเคราะห์ในรูปสองมิติ

```
prompt={'Enter image file name:'};  
name='Image file';  
numlines=1;  
defaultanswer={'*.jpg'};  
  
filename=inputdlg(prompt,name,numlines,defaultanswer);  
[A,map,alpha]=imread(filename{1},'jpg');  
% figure;  
% image(A);  
axis equal;  
figure;  
Red = double(A(:,:,1));  
contour(Red,10);  
axis equal;
```

ส่วนที่ 3 เป็นการวิเคราะห์การหาความเป็นวงรี

```
fprintf('กรูณาคลิกบนรูป 2 ครั้ง สำหรับระบุแกนนอน\n')
```

```
[xh,yh] = ginput(2)
```

```
hold on
```

```
plot(xh,yh)
```

```
fprintf('กรูณาคลิกบนรูป 2 ครั้ง สำหรับระบุแกนตั้ง\n')
```

```
[xv,yv] = ginput(2)
```

```
plot(xv,yv)
```

```
hold off
```

```
wx = abs(xh(1)-xh(2));
```

```
wy = abs(yv(1)-yv(2));
```

```
ellipticity = wx/wy;
```

```
fprintf('ค่า ellipticity = %g\n\n',ellipticity);
```

ประวัติผู้เขียน

นางสาวสายสุดาวัลย์ สุทธิรักษ์ เกิดเมื่อวันที่ 18 เมษายน 2522 ที่จังหวัดนครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต(ศึกษาศาสตร์) สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ในปีการศึกษา 2544 หลังจากจบการศึกษาเข้าทำงานที่ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ. 2545 จนถึงปัจจุบัน