

การศึกษา โลหะผสม $Pb_{1-x-y} Sn_x Ge_y Te$

โดยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ สำหรับ $y = 0.2$



นายฮาพล เจริญไข่มพินิจ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา ศึกษาคำศัพท์มหาบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2526

ISBN 974-562-839-5

013117

i 18310540

X-RAY DIFFRACTION STUDY OF
 $\text{Pb}_{1-x-y} \text{Sn}_x \text{Ge}_y \text{Te}$ ALLOYS WITH $y = 0.2$

Mr. Ampol Charoenpathanapysal

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Physics

Graduate School

Chulalongkorn University

1983



หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาโลหะผสม $Pb_{1-x-y} Sn_x Ge_y Te$

โดยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ สำหรับ $y = 0.2$

โดย

นายอำพล เจริญพัฒนาไพศาล

ภาควิชา

ฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ สุพนิจ พราหมนท์คั

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สุพนิจ พราหมนท์คั คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุณนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ศรินทร์ฉัตร วัฒนกุล ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศรินทร์ฉัตร วัฒนกุล)

ศศิ วัฒนกุล กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิ วัฒนกุล)

กฤษณ์ รัตนธรรมพันธ์ กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กฤษณ์ รัตนธรรมพันธ์)

สุพนิจ พราหมนท์คั กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สุพนิจ พราหมนท์คั)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาโลหะผสม $Pb_{1-x-y} Sn_x Ge_y Te$
โดยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ สำหรับ $y = 0.2$

ชื่อ

นายอภาพ เจริญพัฒนาไพศาล

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ สุพนิจ พราหมพงศ์

ภาควิชา

ฟิสิกส์

ปีการศึกษา

2526



บทคัดย่อ

โลหะผสม $Pb_{1-x-y} Sn_x Ge_y Te$ สำหรับ $y = 0.2$ อยู่ในระบบคิวบิก
โครงสร้างเกลือหิน หมู่สมมาตรสามมิติ $Fm\bar{3}m$ (No. 225) การปรับมิติหน่วยเซลล์โดยใช้วิธี
กำลังส่องน้อยที่สุดใช้ข้อมูลการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของผลึกผงที่ได้จากภาพถ่ายผลึกผงที่เดี่ยว-
เอกซ์ ได้ค่าหน่วยเซลล์เป็น $a = 6.2569$ (2) , 6.2891 (3) , 6.3180 (3) ,
 6.3464 (3) และ 6.3751 (4) Å สำหรับ $x = 0, 0.2, 0.4, 0.6$ และ
0.8 ตามลำดับ

ได้ทำการวิเคราะห์หาโครงสร้างผลึกของ $Pb_{0.6} Sn_{0.2} Ge_{0.2} Te$ ความ
หนาแน่น $D_m = 8.04$, $D_x = 7.54$ กรัม.ซม.⁻³ และ $Z = 4$ และทำ
การปรับโครงสร้างผลึกโดยวิธีกำลังส่องน้อยที่สุดแบบเมตริกครบถ้วนโดยใช้ข้อมูลไวซ์เช่นเบอร์ก
ของผลึกเดี่ยวได้ค่า R สู่ท้ายเป็น 0.074 สำหรับ 21 จุดสะท้อนอิสระ

ได้ทำการปรับโครงสร้างผลึกของ $Pb_{0.6} Sn_{0.2} Ge_{0.2} Te$ โดยวิธีกำลังส่อง
น้อยที่สุดเช่นเดียวกัน โดยใช้ข้อมูลความเข้มของรังสีเอ็กซ์เลี้ยวเบน 2 ชุด ที่ได้จากเครื่อง
ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ผลึกผง ที่วัดโดยเครื่องอินทิเกรเตอร์แพกเกจกับที่วัดจากพื้นที่ใต้เส้นโค้งของ
ดิฟแฟร็กโตแกรมได้ค่า R สู่ท้ายเป็น 0.107 และ 0.089 ตามลำดับ

พบว่าโครงสร้างผลึกเป็นชนิดเดียวกับโครงสร้างของเกลือแกง (NaCl) มีจำนวน
($\text{Pb}_{0.6} \text{Sn}_{0.2} \text{Ge}_{0.2}$) 4 อะตอม สดเรียงตัวแบบสลับ โดยอยู่ที่ตำแหน่ง 4a ของ
อะตอม Na และ Te 4 อะตอม อยู่ที่ตำแหน่ง 4bของอะตอม Cl



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Thesis Title X-Ray Diffraction Study of $\text{Pb}_{1-x-y} \text{Sn}_x \text{Ge}_y$
Te Alloys with $y = 0.2$

Name Mr. Ampol Charoenpathanapysal

Thesis Adviser Associate Professor Supanich Pramatus

Department Physics

Academic Year 1983



ABSTRACT

$\text{Pb}_{1-x-y} \text{Sn}_x \text{Ge}_y \text{Te}$ alloys with $y = 0.2$ belong to cubic rock salt structure, space group $Fm\bar{3}m$ (No. 225). The unit cell dimensions were refined by least-squares method using x-ray powder diffraction data obtained from Guinier-Hägg powder photographs. The cell dimensions are $a = 6.2569$ (2) , 6.2891 (3) , 6.3180 (3) , 6.3464 (3) and 6.3751 (4) Å with $x = 0, 0.2, 0.4, 0.6$ and 0.8 respectively.

The crystal structure of $\text{Pb}_{0.6} \text{Sn}_{0.2} \text{Ge}_{0.2} \text{Te}$ with $D_m = 8.04$, $D_x = 7.54 \text{ gm.cm}^{-3}$ and $Z = 4$, has been determined and refined by full-matrix least squares method using single crystal Weissenberg data to a final R value of 0.074 for 21 independent reflections.

By using two sets of powder diffractometer data the crystal structure of $\text{Pb}_{0.6} \text{Sn}_{0.2} \text{Ge}_{0.2} \text{Te}$ has been refined like-wise by least-squares method to the final R values of 0.107 and 0.089 for intensity data measured by using integrator package and by measuring area under the curves of diffractogram respectively.

The structure was found to be NaCl-type structure. There are 4 atoms of $(\text{Pb}_{0.6} \text{Sn}_{0.2} \text{Ge}_{0.2})$ randomly occupied special position 4a of the Na-atoms and 4 Te-atoms occupy 4b of the Cl-atoms.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของ รองศาสตราจารย์ ลุฬณิศา พราหมทัต ที่ได้ให้คำแนะนำตลอดจนควบคุมการวิจัยอย่างใกล้ชิดตลอดมา จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ดร.วิโรจน์ ตันตราภรณ์ ผู้เชี่ยวชาญจากบริษัท เยอเนอราล อิเล็กตริก ที่ได้ให้ความช่วยเหลือแนะนำการสร้างเครื่องอินทิเกรเตอร์แพกเกจ และขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.วิรุฬห์ ล้ายคิด หัวหน้าหน่วยวิจัยสารกึ่งตัวนำที่ได้กรุณาให้ใช้ห้องปฏิบัติการสารกึ่งตัวนำในการเตรียมผลึกและสร้างเครื่องอินทิเกรเตอร์แพกเกจ

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วสันต์ พงศ์พิชญ์ หัวหน้าภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้กรุณาให้ความสะดวกในการใช้เครื่องดีฟแฟรกโตมิเตอร์ตลอดจน รองศาสตราจารย์ สัมชาย ทยานยง ผู้อำนวยการสถาบันบริการคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่ของสถาบันบริการคอมพิวเตอร์ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำช่วยเหลือเกี่ยวกับการจัดเตรียมโปรแกรมการคำนวณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
รายการตารางประกอบ	ฐ
รายการรูปประกอบ.....	ฑ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ขอบเขตของงานวิจัย.....	1
1.2 งานวิจัยที่ได้มีผู้ศึกษามาก่อน.....	2
2 หลักการเบื้องต้นของการเลี้ยงเบนรังสีเอ็กซ์ของผลึกผงและการคำนวณหาหน่วยเซลล์อย่างละเอียด.....	4
2.1 การเลี้ยงเบนรังสีเอ็กซ์ของผลึกผง.....	4
2.2 ความเข้มของรังสีเอ็กซ์เลี้ยงเบนโดยผลึกผง.....	7
2.2.1 แฟคเตอร์โพลาไรเซชัน.....	8
2.2.2 แฟคเตอร์ลอเรนทซ์.....	10
2.2.3 แฟคเตอร์พหุคูณ.....	11
2.2.4 แฟคเตอร์การดูดกลืน.....	12
2.2.5 แฟคเตอร์การกระเจิงของอะตอม.....	12
2.2.6 แฟคเตอร์โครงสร้าง.....	13
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมของแบรกก์และหน่วยเซลล์.....	14
2.4 การหาดัชนีระนาบเลี้ยงเบนรังสีเอ็กซ์ของแพทเทอรันจากผลึกผง.....	17
2.5 การปรับหน่วยเซลล์โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด.....	19

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3	เครื่องดีพแฟรกโตมิเตอร์ผลึกผงและเครื่องอินทิเกรตความเข้ม.....	28
3.1	เครื่องกำเนิดรังสีเอ็กซ์.....	29
3.1.1	หลอดรังสีเอ็กซ์.....	29
3.1.2	เครื่องทำโวลเตจสูง.....	35
3.2	เครื่องดีพแฟรกโตมิเตอร์.....	38
3.3	เครื่องตรวจวัด.....	40
3.4	เครื่องนับและวงจรแก้เกจ.....	44
3.4.1	เครื่องแสดงการบันทึกของการอินทิเกรตสัญญาณ.....	44
3.4.2	เครื่องนับแบบตัวเลข.....	45
3.5	แพคเตอร์การดูดกลืนรังสีเอ็กซ์เส้นยาวเบนของผงตัวอย่างโดยเครื่องดีพแฟรกโตมิเตอร์.....	45
3.6	ความคลาดเคลื่อนของข้อมูล.....	48
3.7	เครื่องอินทิเกรเตอร์แพกเกจ.....	50
3.7.1	ออปเปอ เรชันนัล แอมพลิฟายเออร์.....	50
3.7.2	ทฤษฎีออปเปอ เรชันนัล แอมพลิฟายเออร์.....	51
3.7.3	วงจรอินทิเกรต.....	53
3.7.4	ส่วนสำคัญของอินทิเกรเตอร์แพกเกจ.....	54
3.7.5	การใช้เครื่องอินทิเกรเตอร์แพกเกจ.....	55
3.7.6	กราฟที่ได้จากการอินทิเกรต.....	56
4	การเตรียมโลหะผสมและการทดลอง.....	58
4.1	การเตรียมโลหะผสม $Pb_{1-x-y} Sn_x Ge_y Te$	58
4.1.1	การคำนวณน้ำหนักของธาตุ.....	60
4.1.2	การชั่งน้ำหนักของธาตุ.....	62

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า	
4.1.3	การทำหลอดบรรจุธาตุ เป็นหลอดสูญญากาศ.....	62
4.1.4	การหลอมโลหะผสม.....	62
4.1.5	การแอนนัลและตรวจสอบสภาพโลหะผสม.....	64
4.2	การถ่ายภาพการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของผลึกผงเพื่อหาขนาดหน่วยเซลล์	64
4.3	การเลือกผลึกเดี่ยวและติดผลึกบนหัว โทมิโอมิเตอร์.....	64
4.3.1	การเลือกผลึกเดี่ยว $Pb_{0.6} Sn_{0.2} Ge_{0.2} Te$	66
4.3.2	การติดตั้งผลึก.....	67
4.4	การถ่ายภาพการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์แบบต่าง ๆ สำหรับผลึกเดี่ยว.....	68
4.4.1	การปรับแกนผลึกให้เป็นแกนหมุน.....	68
4.4.2	การถ่ายภาพออสซิลเลชัน.....	71
4.4.3	การถ่ายภาพไวซ์เซินเบอร์ก.....	73
4.5	การหาค่าความหนาแน่นของโลหะผสม $Pb_{0.6} Sn_{0.2} Ge_{0.2} Te$	77
4.6	การรวบรวมข้อมูลความเข้มรังสีเอ็กซ์เลี้ยวเบนของผลึกเดี่ยว.....	78
4.7	การศึกษาการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของผลึกผงด้วยเครื่องดิฟแฟร็กโทมิเตอร์	80
4.8	การรวบรวมข้อมูลความเข้มของผลึกผง.....	81
5.	การคำนวณโครงสร้าง.....	84
5.1	การหาค่าหน่วยเซลล์.....	84
5.2	การคำนวณข้อมูลเบื้องต้นของโครงสร้างผลึกโดยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ ของผลึกเดี่ยว.....	93
5.2.1	การคำนวณแฟคเตอร์โครงสร้าง.....	93
5.2.2	การคำนวณแฟคเตอร์การดูดกลืนรังสีเอ็กซ์.....	94
5.3	การคำนวณข้อมูลเบื้องต้นโครงสร้างผลึกโดยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ ของผลึกผง.....	102
5.4	การคำนวณหาตำแหน่งอะตอม.....	103
5.5	การปรับโครงสร้าง.....	111

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
6	
สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	116
เอกสารอ้างอิง.....	121
ภาคผนวก	
ภาคผนวก (ก) แสดงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....	124
ภาคผนวก (ข) แสดงหมู่สัมมาตราบำบัดที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....	127
ภาคผนวก (ค) แสดงแฟคเตอร์พหุคูณของระบบสัมมาตราบำบัด.....	129
ประวัติผู้เขียน.....	131

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการตารางประกอบ

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงค่าของ $h^2 + k^2 + l^2$ สำหรับระบบคิวบิก.....	18
3.1 แสดงสมบัติของสารที่ใช้ทำแอนโนตของหลอดรังสีเอ็กซ์.....	35
4.1 แสดงน้ำหนักอะตอม, รูดหุลอมเหลว, ลักษณะธาตุและความบริสุทธิ์.....	60
4.2 แสดงการคำนวณน้ำหนักอะตอมรวม.....	61
4.3 แสดงน้ำหนักธาตุที่คำนวณได้เพื่อใช้ในการเตรียมโลหะผสมหนัก 0.5 กรัม....	61
4.4 แสดงหน่วยเซลล์ a จากภาพถ่ายภาพออสซิลเลขัน.....	73
4.5 แสดงหน่วยเซลล์ตามแกน c	77
4.6 แสดงเงื่อนไขที่ใช้กับเครื่องดิฟแฟรกโตมิเตอร์วิธี แรก.....	82
4.7 แสดงเงื่อนไขที่ใช้กับเครื่องดิฟแฟรกโตมิเตอร์วิธีที่สอง.....	83
5.1 แสดงผลที่ได้จากโปรแกรม CSPHGUHA.....	85
5.2 แสดงค่า $\sin^2 \theta_o$, $\sin^2 \theta_c$ จากโปรแกรม CSPHCENE.....	90
5.3 แสดงหน่วยเซลล์ของโลหะผสม.....	93
5.4 แสดงสัดส่วนน้ำหนักอะตอมต่อน้ำหนักรวมและ ρ_p ของโลหะผสม.....	96
5.5 แสดงค่าดัชนีมิลเลอร์ของระนาบที่ปิดล้อมผลึกและระยะจากจุดกำเนิดถึงระนาบ	101
5.6 แสดงเวกเตอร์อาร์เกอร์ที่ตำแหน่งพิเศษ 24e ของหมู่สมมาตรสามมิติ $Fm\bar{3}m$	107
5.7 แสดงพารามิเตอร์อุณหภูมิแบบไอโซทรอปิกของอะตอมรวม B_{iso}^{ov} ที่ได้จากการปรับโครงสร้างโดยใช้ข้อมูลแฟคเตอร์โครงสร้างสังเกต 4 ชุด	113
5.8 แสดงค่า $ F_o _{hkl}$ และ $ F_c _{hkl}$ เมื่อสิ้นสุดการปรับโครงสร้าง	
ก. ข้อมูลเฉลี่ยของจุดสะท้อน $o\ k\ l$ และ $o\ \bar{k}\ l$ ข. ข้อมูลของจุดสะท้อน	
$o\ k\ l$ ค. ข้อมูลจากเครื่องดิฟแฟรกโตมิเตอร์ และ ง. ข้อมูลจากการวัดพื้นที่	
ใต้เส้นโค้งของดิฟแฟรกโตแกรม.....	114
6.1 แสดงข้อมูลโดยทั่วไปของโลหะผสม $Pb_{0.6} Sn_{0.2} Ge_{0.2} Te$	117

รายการรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการสะท้อนของรังสี เอ็กซ์โดยชุดระนาบผลึก.....	4
2.2 แสดงการเลี้ยวเบนรังสี เอ็กซ์ของผลึกผง.....	6
2.3 แสดงการเกิดการเลี้ยวเบนรังสี เอ็กซ์แบบเทคนิคของเดอบายเชอเรอร์.....	6
2.4 แสดงการกระเจิงแบบอาน์ของรังสี เอ็กซ์โดยอิเล็กตรอนตัวเดียว.....	8
2.5 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสี เอ็กซ์เมื่อผลึกหมุนผ่านมุมแบรกก์.....	10
2.6 แสดงความสัมพันธ์ของระนาบล้วนกลับและระนาบตรง.....	14
2.7 แสดงหน่วยเซลล์ปริมาตร.....	15
3.1 แสดงแผนภาพของส่วนประกอบที่สำคัญของ เครื่องตีฟแฟรกโตมิเตอร์.....	28
3.2 แสดงหลอดคูสติล.....	29
3.3 แสดงกราฟของกระแสในหลอดซึ่งขึ้นกับอุณหภูมิ.....	30
3.4 แสดงกราฟของกระแสที่ให้แก่หลอดและโวลเตจที่ให้กับหลอด.....	30
3.5 แสดงรูปร่างของฟ็อกส์ เลนส์และฟ็อกส์ชุด.....	32
3.6 แสดงสเปกตรัมรังสี เอ็กซ์ของ โมลิบดีนัม.....	34
3.7 แสดงกราฟของกระแสกับเวลาสำหรับ rectifier ต่าง ๆ.....	36
3.8 แสดงวงจร full wave rectifier.....	36
3.9 แสดงวงจร constant potential.....	37
3.10 แสดงวงกลมฟ็อกส์และวงกลมตีฟแฟรกโตมิเตอร์.....	38
3.11 แสดงเรขาคณิตของเครื่องตีฟแฟรกโตมิเตอร์.....	39
3.12 แสดงเครื่องมือพื้นฐานของเครื่องนับแบบสัดส่วน.....	40
3.13 แสดงผลของการเลือกความสูงของสัญญาณ.....	42
3.14 แสดงการ สแกนผ่านระนาบสะท้อน (110) ของเหล็กอัลฟาที่มีและไม่มี P.H.S.....	43
3.15 แสดงการ แจกแจงของสัญญาณจากเครื่องตรวจวัดสำหรับระนาบสะท้อน (110) ของเหล็กอัลฟาในรูปแบบที่ 3.14.....	43

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.16 แสดงการเลี้ยวเบนจากผงตัวอย่างแผ่นบางราบสร้างสัตตกระทบกับลำรังสีเลี้ยวเบนมีความหนา 1 ซม. ในทิศทางฉากกับระนาบที่วาดไว้.....	46
3.17 แสดงแผนภาพของวงจรรอบแอมป์.....	51
3.18 แสดงสัญญาณของวงจรรอบแอมป์.....	51
3.19 แสดงวงจรมินิเกรต.....	53
3.20 แสดงวงจรรายในแพกเกจ.....	54
3.21 แสดงแพกเกจที่ประกอบแล้ว.....	54
3.22, 3.24 แสดงกราฟที่จ่ออินทิเกรต.....	56
3.23, 3.25 แสดงกราฟที่ได้จากการอินทิเกรต.....	56
4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์โมลของโลหะผสมที่ต้องการเตรียมหมายเลข 1 ถึง 5.....	59
4.2 แสดงการบรรจุธาตุในหลอดแก้ว.....	63
4.3 แสดงการปิดหลอดและหลอดแก้วที่ปิดเรียบร้อยแล้ว.....	63
4.4 แสดงเตาหลอมโลหะผสมที่มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ.....	63
4.5 แสดงภาพถ่ายผลึกผงของกล้อง Guinier-Hägg ของโลหะผสม (ก) $Pb_{0.8}Ge_{0.2}Te$, (ข) $Pb_{0.6}Sn_{0.2}Ge_{0.2}Te$, (ค) $Pb_{0.4}Sn_{0.4}Ge_{0.2}Te$ (ง) $Pb_{0.2}Sn_{0.6}Ge_{0.2}Te$ และ (จ) $Sn_{0.8}Ge_{0.2}Te$	65
4.6 แสดงรูปร่างและขนาดของผลึกเดี่ยว (มิลลิเมตร) ที่ใช้ในการทดลอง.....	66
4.7 แสดงผลึกเดี่ยวที่ติดอยู่บนหัว โทมิโอมิเตอร์.....	67
4.8 แสดงมุมและทิศทางที่ต้องปรับอาร์ค.....	68
4.9 แสดงวิธีดับเบลออสซิลเลชันของผลึกที่ต้องการปรับมีอาร์คอยู่ในตำแหน่ง 45° ก. ลักษณะของอาร์คที่ถ่ายภาพอสซิลเลชัน ข. จุดสะท้อน R และ \bar{R} สอดคล้องกับ A และ \bar{A}	69
4.10 แสดงเส้นเลย์เออร์ที่ปรากฏบนฟิล์มที่ถ่ายโดยวิธีดับเบลออสซิลเลชัน.....	71

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 แสดงภาพถ่ายออสซิลเลชันรอบแกน a ในช่วง ± 100 องศา ไร้งัสฮีทซ์ ชนิด MoK α	72
4.12 แสดงมุมที่ต้องเอียงกล้องและความสัมพันธ์ของ ξ กับ y_n ในเลททิสล์ส่วนกลับ	74
4.13 แสดงจุดสะท้อนที่เกิดขึ้นบนภาพถ่ายไวซ์เชมเบอร์รัก (ก) จุดสะท้อน p และ q ห่างเส้นกึ่งกลางเท่ากัน (ข) การเกิดจุดสะท้อนบนฟิล์ม.....	75
4.14 แสดงภาพถ่ายไวซ์เชมเบอร์รักที่มี a เป็นแกนหมุนของผลึก (ก) ภาพถ่ายเลย์เออร์ที่ 0 (ข) ภาพถ่ายเลย์เออร์ที่ 2.....	76
4.15 แสดงกราฟของสเกลต์วูดที่ใช้ในการแก้ความผิดพลาดของความเข้มเนื่องจาก การแยกของ $K\alpha_1, K\alpha_2$	79
4.16 แสดงแผ่นสไลด์และพื้นที่ (ตารางเซนติเมตร) ของผลึกที่อาบรังสี.....	80
4.17 แสดงภาพพิคที่ $2\theta = 56^\circ$ ถึง $2\theta = 60^\circ$ (ก) จากดิฟแฟร็กโตแกรม, (ข) จากเครื่องเขียนกราฟ $x - y$	81
5.2 แสดงระยะทางในผลึกของรังสี เอ็กซ์เมื่อตกกระทบผลึกและเลี้ยวเบนจากผลึก.	95
5.3 (ก) แสดงรูปร่างและขนาด (มิลลิเมตร) ของผลึกเดี่ยวที่เลือกมาใช้ในงานวิจัยนี้ (ข) แสดงแบบจำลองของผลึกที่มีรูปร่างและขนาด (มิลลิเมตร) ที่ใกล้เคียงผลึกเดิม.....	97
5.4 แสดงผลึกหมุนรอบแกน a ตั้งอยู่ที่มุม 124° โดยมีแกน c ตั้งฉากกับทิศทางของลำรังสี เอ็กซ์ที่ตกกระทบผลึกพุ่งออกจากกระดาษ.....	98
5.5 แสดงการกำหนดแกนต่างลงในผลึกจำลองและระนาบที่ปิดล้อมผลึก.....	99
5.6 แสดงแผนภาพแพทเทอร์สัน, $P(u, v, o)$ ของ $(Pb_{0.6} Sn_{0.2} Ge_{0.2} Te)$	108
5.7 แสดงแผนภาพความหนาแน่นอิเล็กตรอนสังเกต $\rho_o(x, z)$ ตัดที่ $y=0.0$	109

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.8	แสดงแผนภาพความหนาแน่นอิเล็กตรอนคำนวณ $\rho_c(x, z)$ ตัดที่ $y = 0.0$	110
6.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยเซลล์กับส่วนผลมของโลหะผลมที่ 20' เพอร์เซนต์โมลของ Ge Te.....	116
6.2	(ก) การทดลองของ Mazelsky & Lubell	
	(ข) การทดลองของ Woolley & Nikolic	117
6.3	(ก) แสดงภาพฉายบนระนาบ (100) ของหน่วยเซลล์.....	118
6.3	(ข) แสดงอะตอมในหน่วยเซลล์ของผลึก $Pb_{0.6} Sn_{0.2} Ge_{0.2} Te$ โครงสร้างควอกรุ่มสมมาตรสามมิติ $Fm3m$	119

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย