ค่าคงที่ของโครงผลึกและช่องว่างแถบพลังงานของโลหะผสมกึ่งตัวนำ

$Ag\ Ga_y\ In_{(1-y)}\ Te_{2(1-z)}\ Se_{2z}$ เมื่อ $y = 0.8$

นาย ธรรมศักดิ์ สิงคเสลิต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2526

ISBN 974-563-048-9

013113

I15824430

Lattice Constant and Band Gap of Semiconductor Alloy $Ag\ Ga_y\ In_{(1-y)}\ Te_{2(1-z)}\ Se_{2z}$ Where y = 0.8

Mr. Thammasak Singka-Selit

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 ค่าคงที่ของโครงผลึกและช่องว่างแถบพลังงานของโลหะผสมกึ่งตัวนำ $Ag\ Ga_y\ In_{(1-y)}\ Te_{2(1-z)}\ Se_{2z}$ เมื่อ y = 0.8

โดย นาย ธรรมศักดิ์ สิงคเสลิต

ภาควิชา ฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมพงศ์ ฉัตราภรณ์

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.วิรุฬห์ สายคณิต)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ สุพนิจ พราหมทัศ)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชร ตรีวิจิตรเกษม)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมพงศ์ ฉัตราภรณ์)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ค่าคงที่ของโครงผลึกและช่องว่างแถบพลังงานของโลหะผสมกึ่งตัวนำ $Ag\ Ga_y\ In_{(1-y)}\ Te_{2(1-z)}\ Se_{2z}$ เมื่อ $y = 0.8$

ชื่อนิสิต นาย ธรรมศักดิ์ สิงคเสลิต

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมพงศ์ ฉัตราภรณ์

ภาควิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2526

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาคุณสมบัติทางโครงสร้าง และคุณสมบัติทางทัศนศาสตร์ของโลหะผสมกึ่งตัวนำกลุ่ม $Ag\ Ga_y\ In_{(1-y)}\ Te_{2(1-z)}\ Se_{2z}$ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบโลหะผสมกึ่งตัวนำ $Cu_{(1-x)}\ Ag_x\ Ga_y\ In_{(1-y)}\ Te_{2(1-z)}\ Se_{2z}$ โดยกำหนดสัดส่วนอะตอมให้ $y = 0.8$ และ $z = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ และ 1.0 สารตัวอย่างโลหะผสมซึ่งอยู่ในรูปผลึกพหุพันธ์จะได้จากการเตรียมด้วยเทคนิคการหลอมโดยตรงและแอนนีล อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้แอนนีลเพื่อให้เนื้อสารเข้าสู่สภาวะสมดุลจะขึ้นกับสัดส่วนอะตอม สำหรับระยะเวลาแอนนีลของโลหะผสมกลุ่มนี้จะอยู่ระหว่าง 2 ถึง 4 เดือน เมื่อเราใช้เทคนิคการหลอมแบบเควนช์พบว่าระยะเวลาแอนนีลจะลดลงเหลือประมาณ 1½ ถึง 2 เดือน การตรวจสอบสภาวะสมดุลของเนื้อสารและการวัดค่าคงที่ของโครงผลึก (a, c) นั้นใช้เทคนิควิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอ๊กซ์ สำหรับการวัดหาขนาดช่องว่างแถบพลังงาน (Eg) เราใช้เทคนิควิธีการดูดกลืนแสง การผันแปรของค่าคงที่ของโครงผลึกและช่องว่างแถบพลังงานที่ขึ้นกับสัดส่วนอะตอม (z) สามารถปรับเข้ากับสมการควอดราติก ดังต่อไปนี้

$$a = 0.0257\ z^2 - 0.3592\ z + 6.3429 \quad \text{Å}$$

$$c = 0.1745\ z^2 - 1.2674\ z + 12.1189 \quad \text{Å}$$

และ $$E_g = 0.4533\ z^2 - 0.0151\ z + 1.1651 \quad \text{eV}$$

ในการศึกษาวิจัยโลหะผสมกึ่งตัวนำตัวอื่นๆ ของกลุ่มนี้ สามารถใช้ความสัมพันธ์ข้างบนหาค่าคงที่ของโครงผลึกและช่องว่างแถบพลังงานของโลหะผสมกึ่งตัวนำดังกล่าวได้

Thesis Title	Lattice Constant and Band Gap of Semiconductor Alloy $Ag\ Ga_y\ In_{(1-y)}\ Te_{2(1-z)}\ Se_{2z}$ Where y = 0.8
Name	Mr. Thammasak Singka-selit
Thesis Advisor	Assistant Professor Somphong Chatraphorn, M.S.
Department	Physics
Academic Year	1983

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ABSTRACT

In the section $Ag\ Ga_y\ In_{(1-y)}\ Te_{2(1-z)}\ Se_{2z}$ of the general chalcopyrite semiconductor alloy system $Cu_{(1-x)}\ Ag_x\ Ga_y\ In_{(1-y)}\ Te_{2(1-z)}\ Se_{2z}$, samples were prepared for the line defined by the value y = 0.8 with the atomic fractions z = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 and 1.0. The polycrystalline samples were generally prepared by a direct melt and anneal technique, different annealing temperatures being used depending upon the atomic fraction, and annealing times of 2 to 4 months being required to give equilibrium conditions. When we freezed the melted samples by quenching technique it was found that annealing times being required to give equilibrium conditions for all compositions reduced to 1½ - 2 months. X-ray diffractometer was used to investigate the equilibrium conditions as well as lattice parameter determination. Optical direct energy gap of all compositions were determined by optical absorption measurements. Variation of lattice parameters; a and c; and energy gap; Eg; with atomic fraction z can be fitted to quadratic equations as follows :

$$a = 0.0257\ z^2 - 0.3592\ z + 6.3429 \quad \text{Å}$$

$$c = 0.1745\ z^2 - 1.2674\ z + 12.1189 \quad \text{Å}$$

and $E_g = 0.4533\ z^2 - 0.0151\ z + 1.1651$ eV

Further investigations of any alloy with specific lattice constant and band gap within the range given above can be obtained from the above relations.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมพงศ์ ฉัตราภรณ์ ที่ได้ให้คำแนะนำตลอดจนควบคุมการวิจัยอย่างใกล้ชิดตลอดมา จึงขอขอบพระคุณท่านไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วสันต์ พงศาพิชญ์ หัวหน้าภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาฯ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและความสดวกในการใช้เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรค-โตมิเตอร์

อนึ่งในระหว่างการศึกษา ผู้เขียนได้รับทุนการศึกษาจากโครงการผลิตและพัฒนาอาจารย์ (U.D.C) จึงขอขอบคุณต่อโครงการฯ ไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1

2 สารกึ่งตัวนำ 7

2.1 ทฤษฎีแถบพลังงานของของแข็ง 7

2.2 ชนิดของสารกึ่งตัวนำ 11

2.2.1 ผลึกกึ่งตัวนำที่ประกอบด้วยธาตุเดี่ยว 11

2.2.2 ผลึกกึ่งตัวนำที่ประกอบด้วยธาตุเดี่ยวสองชนิด 11

2.2.2.1 กลุ่ม II-VI 11

2.2.2.2 กลุ่ม III-V 12

2.2.3 ผลึกกึ่งตัวนำที่ประกอบด้วยธาตุเดี่ยวสามชนิด 12

2.2.3.1 กลุ่ม $I-III-VI_2$ 12

2.2.3.2 กลุ่ม $II-IV-V_2$ 12

2.2.4 ผลึกกึ่งตัวนำที่ประกอบด้วยธาตุเดี่ยวสี่หรือห้าชนิด 12

2.3 การยึดเหนี่ยวกันระหว่างอะตอมของสารกึ่งตัวนำ 12

2.3.1 พันธะไอโอนิก 13

2.3.2 พันธะโควาเลนซ์ 14

2.3.3 พันธะผสม 15

2.4 โฮลและอิเลกตรอนอิสระ 16

2.5 โครงสร้างของสารกึ่งตัวนำ 16

2.5.1 โครงสร้างแบบไดอะมอนด์ 16

2.5.2 โครงสร้างแบบซิงค์เบลนด์ 21

2.5.3 โครงสร้างแบบเวอร์ทไซท์ 21

หน้า

2.5.4 โครงสร้างแบบซาลโคไพไรท์ 25
2.6 การบิดจากตำแหน่งอุดมคติของอะตอมบางชนิด 25
2.7 แถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ 27
2.7.1 บริลลันโซน 29
2.7.2 โครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ 30
2.7.2.1 โครงสร้างแถบพลังงานแบบสารกึ่งตัวนำ Si .. 31
2.7.2.2 โครงสร้างแถบพลังงานแบบสารกึ่งตัวนำ Ge .. 31
2.7.2.3 โครงสร้างแถบพลังงานแบบสารประกอบ
กึ่งตัวนำ Ga As 32
2.7.3 โครงสร้างแถบพลังงานของสารประกอบกึ่งตัวนำซาลโคไพไรท์ 34
2.8 พาหะข้างมากและพาหะข้างน้อย 35
2.9 การนำกระแสของสารกึ่งตัวนำ 36
3 ทฤษฎีเบื้องต้นในการหาค่าคงที่ของโครงผลึก 39
3.1 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เนื่องจากผลึก 39
3.2 ระยะระหว่างระนาบของผลึก 41
3.3 ความเข้มสัมพัทธ์ของเส้นการเลี้ยวเบนของระนาบต่างๆ ในผลึก 43
4 คุณสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ของสารกึ่งตัวนำ 45
4.1 ทฤษฎีพื้นฐาน 45
4.2 การย้ายสถานะพลังงานของอิเลกตรอนระหว่างแถบพลังงานในสาร
กึ่งตัวนำ 48
4.2.1 การย้ายสถานะพลังงานของอิเลกตรอนจากแถบวาเลนซ์
ไปยังแถบนำแบบตรง 48
4.2.2 การย้ายสถานะพลังงานของอิเลกตรอนจากแถบวาเลนซ์
ไปยังแถบนำแบบเฉียง 50
4.3 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของสารกึ่งตัวนำ 51
5 วิธีการทดลองและผลการทดลอง 53
5.1 การเข้าสู่สถานะของแข็งของสารหลอมละลายโลหะผสมกึ่งตัวนำ 54

หน้า

5.2 การเตรียมสารตัวอย่างสำหรับการหลอม 54
5.2.1 วิธีการชั่งและบรรจุสาร 55
5.2.2 การปิดหลอดแก้วควอทซ์ 56
5.3 การหลอมสาร 57
5.3.1 การหลอมแบบธรรมดา 59
5.3.2 การหลอมแบบเควนช์ 59
5.4 การแอนนีลสาร 59
5.5 เปรียบเทียบผลการหลอมและการแอนนีลสาร 61
5.6 การหาค่าคงที่ของโครงผลึก 64
5.6.1 หลักการของเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ 64
5.6.2 การเตรียมแผ่นผลึกผงสารตัวอย่าง 66
5.6.3 แพทเทิร์นของพีคของรังสีเอ็กซ์เลี้ยวเบนและการวิเคราะห์ . 67
5.6.4 การหาดัชนีมิลเลอร์ของระนาบต่างๆ ของพีค 69
5.6.5 การคำนวณค่าคงที่ของโครงผลึก 72
5.6.5.1 พารามิเตอร์ต่างๆ ที่อ่านและคำนวณค่าได้จาก แพทเทิร์นของพีค 72
5.6.5.2 การหักแก้ค่า $(Sin^2\theta/\lambda^2)ob.$ ของสารตัวอย่าง ที่ผิดไปจากค่าจริง 73
5.6.5.3 วิธีคำนวณค่าคงที่ของโครงผลึก 74
5.7 การหาค่าความกว้างของช่องว่างแถบพลังงาน 77
5.7.1 การเตรียมสารสำหรับการศึกษาการดูดกลืนแสง 79
5.7.2 การวัดและข้อมูลที่วัดได้จากเครื่อง 80
5.7.3 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง .. 86
5.7.4 วิธีหาค่าความกว้างของช่องว่างแถบพลังงาน 86
6 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง 88
เอกสารอ้างอิง 99
ประวัติผู้เขียน 102

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

5-1 ตารางแสดงน้ำหนักของธาตุต่างๆ ของโลหะผสมกึ่งตัวนำ $z = 0.6$, $Ag\ Ga_{0.8}\ In_{0.2}\ Te_{0.8}\ Se_{1.2}$ หนัก 2 gm 55

5-2 ตารางเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้แอนนีลสารที่ได้จากการหลอมแบบธรรมดาและแบบเควันช์ 61

5-3 ตารางเปรียบเทียบลักษณะเนื้อสารหลังจากแอนนีลที่ได้จากการหลอมแบบธรรมดาและแบบเควันช์ 62

5-4 ตารางแสดงข้อมูลของโลหะผสมกึ่งตัวนำ $z = 0.6$, $Ag\ Ga_{0.8}\ In_{0.2}\ Te_{0.8}\ Se_{1.2}$ ที่ได้จากการหลอมแบบเควันช์ 72

5-5 ตารางแสดงตำแหน่งพีคของซิลิกอนที่อ่านจากแพทเทิร์นของสารตัวอย่าง $z = 0.6$, $Ag\ Ga_{0.8}\ In_{0.2}\ Te_{0.8}\ Se_{1.2}$ ที่หลอมแบบเควันช์ เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน 73

5-6 ตารางแสดงพารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณค่า a และ c ของโลหะผสมกึ่งตัวนำ $z = 0.6$, $Ag\ Ga_{0.8}\ In_{0.2}\ Te_{0.8}\ Se_{1.2}$ ที่หลอมแบบเควันช์ 76

5-7 ตารางแสดงค่าคงที่ของโครงผลึกของโลหะผสมกึ่งตัวนำกลุ่ม $Ag\ Ga_{0.8}\ In_{0.2}\ Te_{2(1-z)}\ Se_{2z}$ 77

5-8 ตารางแสดงค่า I_t, I_o, α และ α_o ของโลหะผสมกึ่งตัวนำ $z = 0.6$, $Ag\ Ga_{0.8}\ In_{0.2}\ Te_{0.8}\ Se_{1.2}$ ที่ได้จากการหลอมแบบเควันช์ 82

5-9 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้หาค่า Eg ของโลหะผสมกึ่งตัวนำ $z = 0.6$, $Ag\ Ga_{0.8}\ In_{0.2}\ Te_{0.8}\ Se_{1.2}$ ที่ได้จากการหลอมแบบเควันช์ 84

5-10 ตารางแสดงขนาดของช่องว่างแถบพลังงานของโลหะผสมกึ่งตัวนำกลุ่ม $Ag\ Ga_{0.8}\ In_{0.2}\ Te_{2(1-z)}\ Se_{2z}$ 87

6-1 ตารางเปรียบเทียบค่าคงที่ของโครงผลึกและความกว้างของช่องว่างแถบพลังงานของสารที่หลอมแบบธรรมดาและแบบเควันช์ 89

6-2 ตารางแสดงชนิดสภาพนำไฟฟ้าของโลหะผสมกึ่งตัวนำกลุ่ม $Ag\ Ga_{0.8}\ In_{0.2}\ Te_{2(1-z)}\ Se_{2z}$ 96

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงสนามพลังงานศักย์ของของแข็งในแบบจำลองของซอมเมอร์เฟลด์ ...	8
2.2	แสดงสนามพลังงานศักย์ที่มีลักษณะเป็รคาบ	9
2.3	แสดงแถบพลังงานที่อนุญาตให้อิเลกตรอนมีค่าได้	10
2.4	แสดงลักษณะพันธะไอโอนิก	13
2.5	แสดงลักษณะพันธะเชิงสี่	14
2.6	แสดงโครงสร้างแบบไดอะมอนด์	17
2.7	แสดงภาพฉายเงาของอะตอมของโครงสร้างไดอะมอนด์	18
2.8	แสดงโครงสร้างแบบซิงค์เบลนด์	19
2.9	แสดงภาพฉายเงาของอะตอมในโครงสร้างซิงค์เบลนด์	20
2.10	แสดงโครงสร้างแบบเวอร์ทไซท์	22
2.11	แสดงโครงสร้างแบบชาลโคไพไรท์	23
2.12	แสดงภาพฉายเงาของอะตอมในโครงสร้างชาลโคไพไรท์	24
2.13	แสดงตำแหน่งอะตอมต่างๆ ของชาลโคไพไรท์ กลุ่ม $I-III-VI_2$	26
2.14	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของอิเลกตรอนและเวกเตอร์คลื่น	28
2.15	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของอิเลกตรอนและเวกเตอร์คลื่นในรีดิวโซน	29
2.16	แสดงบริลลันโซนของโครงสร้างไดอะมอนด์และซิงค์เบลนด์	30
2.17	แสดงโครงสร้างแถบพลังงานของผลึกกึ่งตัวนำ Si	31
2.18	แสดงโครงสร้างแถบพลังงานของผลึกกึ่งตัวนำ Ge	32
2.19	แสดงโครงสร้างแถบพลังงานของผลึกกึ่งตัวนำ Ga As	33
2.20	แสดงบริลลันโซนของซิงค์เบลนด์เปรียบเทียบกับของชาลโคไพไรท์	33
2.21	แสดงโครงสร้างแถบพลังงานแบบประมาณของ $Zn\ Ge\ As_2$	35
2.22	แสดงการตรวจสอบกระแสที่เกิดจากการแพร่ด้วยวิธีขั้วร้อน	38
3.1	แสดงการเรียงตัวของจุดแลททิสใน 2 มิติ	39
3.2	แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จากระนาบในผลึก	40
3.3	แสดงชุดระนาบต่างๆ ของแลททิสสเปส	42

รูปที่ หน้า

4.1 แสดงการเคลื่อนย้ายสถานะพลังงานของอิเลกตรอนแบบตรง 49

4.2 แสดงการเคลื่อนย้ายพลังงานของอิเลกตรอนแบบเฉียง 51

5.1 แสดงขั้นตอนการปิดหลอดแก้วบรรจุสาร 56

5.2 แสดงเตาหลอมแบบโซนเดี่ยว 58

5.3 แสดงส่วนสำคัญของเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ 65

5.4 แสดงแผ่นสไลด์ผงผลึกสารตัวอย่าง 66

5.5 แสดงแพทเทิร์นของพีคของโลหะผสมกึ่งตัวนำ $z = 0.6$, $Ag\ Ga_{0.8}\ In_{0.2}\ Te_{0.8}\ Se_{1.2}$ 68

5.6 แสดงแพทเทิร์นของพีคระนาบต่างๆ ของโลหะผสมกึ่งตัวนำ $z = 0.6$, $Ag\ Ga_{0.8}\ In_{0.2}\ Te_{0.8}\ Se_{1.2}$ 71

5.7 แสดงเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ศึกษาการดูดกลืนแสง 79

5.8 แสดงกราฟความเข้มแสง I_t และ I_o ของโลหะผสมกึ่งตัวนำ $z = 0.6$, $Ag\ Ga_{0.8}\ In_{0.2}\ Te_{0.8}\ Se_{1.2}$ ที่หลอมแบบเควันช์ 81

5.9 แสดงกราฟสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงที่ความถี่แสงต่างๆ ของโลหะผสมกึ่งตัวนำ $z = 0.6$, $Ag\ Ga_{0.8}\ In_{0.2}\ Te_{0.8}\ Se_{1.2}$ ที่หลอมแบบเควันช์ 83

5.10 แสดงกราฟที่ใช้คำนวณค่า Eg ของโลหะผสมกึ่งตัวนำ $z = 0.6$, $Ag\ Ga_{0.8}\ In_{0.2}\ Te_{0.8}\ Se_{1.2}$ ที่หลอมแบบเควันช์ 85

6.1 แสดงรูปลูกบาศก์ที่แทนระบบของโลหะผสมกึ่งตัวนำ กลุ่ม $Cu_{(1-x)}\ Ag_x\ Ga_y\ In_{(1-y)}\ Te_{2(1-z)}\ Se_{2z}$ 92

6.2 แสดงกราฟค่าคงที่ของโครงผลึก (a) ที่สัดส่วนอะตอมต่างๆ 93

6.3 แสดงกราฟค่าคงที่ของโครงผลึก (c) ที่สัดส่วนอะตอมต่างๆ 94

6.4 แสดงกราฟของช่องว่างแถบพลังงาน (Eg) ที่สัดส่วนอะตอมต่างๆ 95