การศึกษาโครงสร้างแถบพลังงานของ $AgGaTe_2$ โดยสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสง

นายธีระพันธุ์ สันติเทวกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2528

ISBN 974-564-804-3

009546

I15844833

Energy Band Structure Study of $AgGaTe_2$ by Photoconductivity

Mr. Teerapunt Santitewagul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Physics

Graduate School

Chulalongkorn University

1985

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาโครงสร้างแถบพลังงานของ $AgGaTe_2$ โดยสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสง

โดย นายธีระพันธุ์ สันติเทวกุล

ภาควิชา ฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมพงศ์ ฉัตราภรณ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.วิรุฬห์ สายคณิต)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร เส็งทะพันธุ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประไพพรรณ ฉันธิกุล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมพงศ์ ฉัตราภรณ์)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาโครงสร้างแถบพลังงานของ $AgGaTe_2$ โดยสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสง
ชื่อนิสิต นายธีระพันธุ์ สันติเหวกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมพงศ์ ฉัตราภรณ์
ภาควิชา ฟิสิกส์
ปีการศึกษา 2528

พยาบาลกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสงของ $AgGaTe_2$ ชนิดพีโดยใช้ In-Ga และตะกั่วบัดกรีทำรอยต่อแบบโอห์มิค ได้ศึกษาทั้งการวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสงตามแบบฉับและตามแบบกระแสคงที่ ทั้งที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิประมาณ 80 K จากการศึกษาพบว่ามีระดับพลังงานของสิ่งเจือปนหรือความไม่สมบูรณ์ของผลึกอยู่ 2 ระดับ ในช่องว่างแถบพลังงาน ที่อุณหภูมิห้องเป็นระดับอยู่เหนือแถบวาเลนซ์ 1.11 eV และ 1.20 eV ตามลำดับ โดยสิ่งเจือปนหรือความไม่สมบูรณ์ของผลึกนี้ทำหน้าที่เป็นเซนซิไตซิงเซนเตอร์สำหรับการศึกษาช่องว่างแถบพลังงานของ $AgGaTe_2$ ซึ่งอันตรกริยาสปินกับออร์บิทและอันตรกริยาเนื่องจากสนามของผลึกซึ่งไม่เป็นลูกบาศก์จะทำให้แถบวาเลนซ์ที่จุดกึ่งกลางของบริลลันโซนของ $AgGaTe_2$ แยกออกเป็น 3 ระดับ ทำให้เกิดช่องว่างแถบพลังงาน 3 ค่า คือ E_A , E_B และ E_C นั้น การทดลองครั้งนี้พบระดับพลังงานที่อุณหภูมิห้องที่ 1.30 eV ซึ่งแสดงถึง E_A ระดับที่ 1.37 eV ซึ่งแสดงถึง E_B และระดับที่ 2.18 eV ซึ่งแสดงถึง E_C ของ $AgGaTe_2$ ตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิ 80 K ช่องว่างแถบพลังงานเหล่านี้จะมากกว่าช่องว่างแถบพลังงานที่อุณหภูมิห้องประมาณ 0.02 eV

Thesis Title Energy Band Structure Study of $AgGaTe_2$ by Photoconductivity

Name Mr. Teerapunt Santitewagul

Thesis Advisor Assistant Professor Somphong Chatraphorn, M.S.

Department Physics

Academic Year 1985

ABSTRACT

In this research we study photoconductivity of as grown P-type $AgGaTe_2$ by using In-Ga and lead-solder to make ohmic-contact. Measurement were made both classical and constant current methods at room temperature as well as 80 K. Results of the measurements show two gap-states with energy of 1.11 and 1.20 eV and the fundamental band gap of 1.30 eV, at room temperature. The two gap-states can be interpreted as sensitizing centers where the long carrier life time and high photoresponse of the sample can be derived. Photoresponse above the fundamental band gap show two more transitions at 1.37 and 2.18 eV. The 3-interband transitions of 1.30, 1.37 and 2.18 eV are the well known E_A, E_B and E_C transitions in the chalcopyrite semiconductor compounds which are derived from the spin-orbit and noncubic crystalline field splitting of the top of the valence band at the centre of the Brillouin zone. Low temperature measurement at 80 K show a slight change in the positions of all transitions while photoresponse and photo cross-section increase of the order 40 are observed. A band gap widering of 0.02 eV is also observed at 80 K.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาของผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมพงศ์ ฉัตราภรณ์ ที่ได้ให้คำแนะนำตลอดจนควบคุมการวิจัยอย่างใกล้ชิดตลอดมา จึงขอขอบคุณท่านไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณศาสตราจารย์ ดร.วิรุฬห์ สายคณิต ดร.วิชิต ศรีตระกูล รองศาสตราจารย์ ดร.ธำรง เมธาศิริ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จงอร พีรานนท์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กิรณัต รัตนธรรมพันธ์ และคณะผู้วิจัยสารกึ่งตัวนำ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้คำแนะนำปรึกษาเกี่ยวกับวิชาการทางด้านฟิสิกส์สารกึ่งตัวนำ และได้อำนวยความสะดวกในการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภายใต้โครงการพัฒนาหน่วยวิจัย (Unit Cell) จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณ ดร.วิโรจน์ ตันตราภรณ์ และบริษัทเยนเนอรัลอิเลกทริคที่ได้มอบอุปกรณ์การทดลองจำนวนหนึ่งรวมทั้งไดรโอสตัทสำหรับการวิจัยครั้งนี้ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญรูป..... ญ
บทที่ 1 บทนำ..... 1
บทที่ 2 โครงสร้างผลึกและแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ..... 3
2.1 โครงสร้างผลึกของสารกึ่งตัวนำ..... 4
2.1.1 โครงสร้างผลึกแบบเพชร..... 4
2.1.2 โครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์..... 5
2.1.3 โครงสร้างผลึกแบบซาลโคไพไรท์..... 6
2.2 อิเลกตรอนในผลึก..... 8
2.3 บริลลันโซน..... 10
2.4 รีดิวซ์โซน..... 12
2.5 อิเลกตรอนในสนามศักย์ที่เป็นคาบแต่มีค่าเป็นศูนย์..... 13
2.6 โครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ..... 16
2.6.1 โครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำซิลิกอน..... 16
2.6.2 โครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำเยอร์มาเนียม... 17
2.6.3 โครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำแกลเลียมอาร์ซีไนด์17
2.6.4 โครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำซาลโคไพไรท์.. 18
2.7 วิธีวัดค่าช่องว่างแถบพลังงาน..... 19
2.7.1 วิธีวัดมอดดิวเลทรีเฟลกแตนซ์..... 19
2.7.2 วิธีวัดการดูดกลืนแสง..... 21

หน้า

บทที่ 3 สภาพนำไฟฟ้าเชิงแสง..... 25
3.1 กระบวนการของสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสง..... 27
3.1.1 กระบวนการย้ายสถานะของอิเลกตรอนที่ทำให้เกิดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสง..... 28
3.1.1.1 การย้ายสถานะข้ามแถบ..... 30
3.1.1.2 การย้ายสถานะภายในแถบ..... 30
3.1.1.3 การย้ายสถานะเนื่องจากสถานะในช่องว่างแถบพลังงาน..... 30
3.1.1.4 การย้ายสถานะแบบตรง..... 31
3.1.1.5 การย้ายสถานะแบบเฉียง..... 32
3.1.2 กระบวนการทรานสปอร์ต..... 32
3.1.3 กระบวนการแทรปปิงและกระบวนการรีคอมบิเนชัน.... 33
3.2 เซนซิไตชิงเซนเตอร์..... 36
3.2.1 ซุปเปอร์ลิเนียริตี..... 37
3.2.2 เทอร์มัลเควนชิง..... 38
3.3 ชนิดของวิธีวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสง..... 38
3.3.1 วิธีวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสงตามแบบฉบับ.....39
3.3.2 วิธีวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสงตามแบบกระแสคงที่.....39
3.4 ความไม่สามารถทำซ้ำได้ในการวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสง..... 44

บทที่ 4 รอยต่อโลหะกับสารกึ่งตัวนำ..... 45
4.1 สาเหตุของการเกิดกำแพงศักย์..... 45
4.1.1 กำแพงศักย์เกิดจากความไม่สอดคล้องของเวิร์คฟังก์ชันของโลหะกับสารกึ่งตัวนำ..... 45
4.1.2 กำแพงศักย์เกิดจากสถานะผิวของสารกึ่งตัวนำ..... 50
4.1.3 กำแพงศักย์เกิดจากชั้นบาง ๆ ของสารอื่นที่ผิวของสารกึ่งตัวนำ..... 52

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

4.2 วิธีที่ควรทำเมื่อต้องการรอยต่อแบบโอห์มิค..... 52

บทที่ 5 การวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสงและผลการทดลอง..... 53

5.1 การเตรียมอุปกรณ์การทดลอง..... 53

5.1.1 การเตรียมชิ้นสาร..... 53

5.1.2 การเตรียมแผ่นรองชิ้นสาร..... 55

5.1.3 การทำรอยต่อแบบโอห์มิค..... 55

5.1.4 การติดชิ้นสารเข้ากับแผ่นรองชิ้นสาร..... 57

5.1.5 ไครโอสตัท..... 58

5.1.6 การเตรียมไครโอสตัทให้พร้อม..... 59

5.1.7 การติดตั้งแผ่นรองชิ้นสารเข้ากับโคลด์ฟิงเกอร์..... 60

5.1.8 การติดตั้งแบตเตอรีและความต้านทานเข้ากับไครโอสตัท.. 61

5.1.9 อุปกรณ์วัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสง..... 63

5.2 การวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสงและผลตอบสนองต่อแสงของ $AgGaTe_2$ 65

5.2.1 การคำนวณผลตอบสนองต่อแสง..... 65

5.2.2 การวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสงตามแบบฉบับ..... 66

5.2.3 การวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสงตามแบบกระแสคงที่..... 66

5.2.4 การเควนช์ด้วยแสงความยาวคลื่นมากกว่า 1,050 nm .. 66

5.2.5 ความสัมพันธ์ของสัญญาณ A กับความเข้มของแสง..... 67

บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 74

เอกสารอ้างอิง..... 80

ประวัติผู้เขียน..... 83

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่

2.1 แสดงโครงสร้างผลึกแบบเพชร..... 4

2.2 แสดงโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์..... 5

2.3 แสดงโครงสร้างผลึกแบบซาลโคไพไรท์..... 7

2.4 แสดงบ่อศักย์ที่มีความเป็นคาบ..... 8

2.5 แสดงกราฟของ $\frac{P}{\gamma a}\sin\gamma a + \cos\gamma a$ กับ γa 10

2.6 แสดงบริลลันโซนแรกของเฟซเซนเตอร์คิวบิก..... 11

2.7 แสดงกราฟของ E กับ k ของอิเลกตรอนในผลึก..... 12

2.8 แสดงโครงสร้างแถบพลังงานในรีดิวซ์โซนของพวกโครงผลึกแบบเพชรเมื่อคิดว่าสนามศักย์เป็นคาบแต่มีค่าเป็นศูนย์..... 15

2.9 แสดงโครงสร้างแถบพลังงานของ Si, Ge และ GaAs ในริดิวซ์โซน..... 17

2.10 แสดงโครงสร้างแถบพลังงานของซาลโคไพไรท์..... 18

2.11 แสดงการแยกของแถบวาเลนซ์ของซาลโคไพไรท์..... 19

2.12 แสดงหลักการของวิธีวัดมอดดิวเลทรีเฟลกแตนซ์..... 20

2.13 แสดงผลการวัดอิเลกโตรรีเฟลกแตนซ์ของ $AgGaSe_2$ 21

2.14 แสดงการวัดการดูดกลืนแสง..... 21

2.15 แสดงผลการวัดการดูดกลืนแสงของ $AgGaTe_2$ 23

2.16 แสดงผลการวัดการดูดกลืนแสงของ $CuInSe_2$ 24

3.1 แสดงวงจรอย่างง่ายในเชิงปฏิบัติของการวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสง..... 26

3.2 แสดงกระบวนการของสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสง..... 27

3.3 แสดงการผ่อนคลายของอิเลกตรอน..... 29

3.4 แสดงการย้ายสถานะของอิเลกตรอนเมื่อได้รับพลังงานจากแสง..... 29

3.5 แสดงการย้ายสถานะแบบตรง..... 31

3.6 แสดงการย้ายสถานะแบบเฉียง..... 32

หน้า

3.7 แสดงระดับอิเลกตรอนดีมาเคชันและระดับโฮลดีมาเคชัน..... 35
3.8 แสดงกระบวนการของเชนชีไคชิงเชนเตอร์..... 36
3.9 แสดงการเกิดอิเลกตรอนอิสระจากเชนเตอร์ E_T 40
3.10 แสดงการเกิดอิเลกตรอนอิสระจากเชนเตอร์ E_{T1} และ E_{T2} .. 42
4.1 แสดงการเกิดกำแพงศักย์เนื่องจากโลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น.. 47
4.2 แสดงรอยต่อแบบโอห์มิคในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น..... 49
4.3 แสดงการเกิดกำแพงศักย์ในสารกึ่งตัวนำชนิดพี..... 49
4.4 แสดงรอยต่อแบบโอห์มิคในสารกึ่งตัวนำชนิดพี..... 50
4.5 แสดงการโค้งของแถบพลังงานเนื่องจากสถานะผิวที่เสมือนแอคเซพเตอร์ 51
4.6 แสดงการโค้งของแถบพลังงานเนื่องจากสถานะผิวที่เสมือนดอนเนอร์.. 51
5.1 แสดงชิ้นสารที่ตัดและขัดแล้ว..... 54
5.2 แสดงแผ่นรองชิ้นสาร..... 55
5.3 แสดงชิ้นสารติดกับลวดทองแดง..... 56
5.4 แสดงชิ้นสารที่ติดกับแผ่นรองชิ้นสาร..... 57
5.5 แสดงไครโอสตัทเมื่อถอดส่วนหัวและส่วนตัวออกจากกัน..... 58
5.6 แสดงแผ่นไมกาติดกับโคลด์ฟิงเกอร์..... 61
5.7 แสดงไครโอสตัทที่ติดตั้งอุปกรณ์ไว้พร้อมแล้ว..... 62
5.8 แสดงแผนผังอุปกรณ์วัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสง..... 64
5.9 แสดงผลตอบสนองต่อแสงของ $AgGaTe_2$ เมื่อวัดตามแบบฉบับ... 68
5.10 แสดงผลตอบสนองต่อแสงของ $AgGaTe_2$ เมื่อวัดตามแบบกระแสคงที่. 69
5.11 แสดงสัญญาณ $\frac{A}{B}$ เมื่อเวลาต่างกัน..... 70
5.12 แสดงผลตอบสนองของต่อแสงของ $AgGaTe_2$ เมื่อวัดตาม
แบบกระแสคงที่และเควนช์ด้วยแสงความยาวคลื่นมากกว่า 1,050 nm 71
5.13 แสดงกราฟของสัญญาณ A กับความเข้มของแสง..... 72
5.14 แสดงกราฟของสัญญาณ A กับความเข้มของแสง เมื่อเควนช์ด้วย
แสงความยาวคลื่นมากกว่า 1,050 nm 73