

การศึกษาโครงสร้างแบบพลังงานของ

$\text{AgGaTe}_2$  โดยส่วนที่ไฟฟ้าเชิงแสง



นายธีระพันธุ์ สันติเทวกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาความหลักสูตรปรัชญาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์

คณะวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2528

คุณยศ พากเพียร บัวบาน  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ISBN 974-564-804-3

009546

115844833

Energy Band Structure Study of  
AgGaTe<sub>2</sub> 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

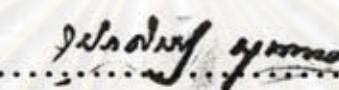
Chulalongkorn University

1985

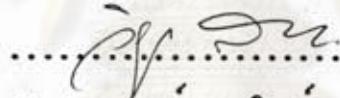
หัวขอวิทยานิพนธ์ การศึกษาโครงสร้างแบบพลังงานของ  $\text{AgGaTe}_2$  โดยสภาพ  
 นำไฟฟ้าเชิงแสง  
 โดย นายธีระพันธุ์ สันติเทวฤทธิ์  
 ภาควิชา ฝึกส์  
 อาจารย์ที่ปรึกษา พญ.ชัยศรีสครขาวารย์ สมพงษ์ ฉัตรภรณ์

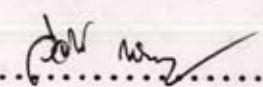


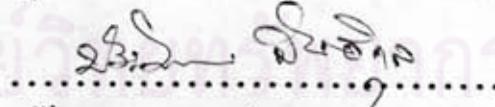
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น<sup>๑</sup>  
 ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

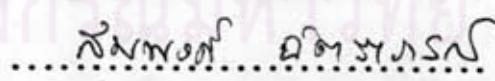
  
 คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
 (รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
 ประธานกรรมการ  
 (ศาสตราจารย์ ดร.วิรุพท์ สายคดิศ)

  
 กรรมการ  
 (พญ.ชัยศรีสครขาวารย์ ดร.วิจิตร เสิงห์แหันธุ์)

  
 กรรมการ  
 (พญ.ชัยศรีสครขาวารย์ ดร.ประไทรพร ฉันธิกุล)

  
 กรรมการ  
 (พญ.ชัยศรีสครขาวารย์ สมพงษ์ ฉัตรภรณ์)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาโครงสร้างแบบพลังงานของ  $\text{AgGaTe}_2$  โดยสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสง  
 ชื่อนิสิต นายธีระพันธุ์ สันติเทวฤทธิ์  
 อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุมพงษ์ ฉัตรารักษ์  
 ภาควิชา ฟิสิกส์  
 ปีการศึกษา 2528

บทคัดย่อ



ในการวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสงของ  $\text{AgGaTe}_2$  ชนิดพื้นที่โดยใช้  
 $\text{In}-\text{Ga}$  และตะกั่วตัดกรีหารอยด้วยเมนโนท์มิก ได้ศึกษาทั้งการวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสงตาม  
 เมนฉบับและตามเมนกราฟแสดงที่ ทั้งที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิประมาณ 80 K จากการ  
 ศึกษาพบว่าเมื่อระดับพลังงานของลิ่งเจือปนหรือความไม่สมบูรณ์ของผลึกอยู่ 2 ระดับ ในช่องว่าง  
 แบบพลังงาน ที่อุณหภูมิห้องเป็นระดับอยู่เหนือแนวवาเลนซ์ 1.11 eV และ 1.20 eV  
 ตามลำดับ โดยลิ่งเจือปนหรือความไม่สมบูรณ์ของผลึกที่ทำให้เกิดเป็นเช่นนี้ได้จึงเป็นเหตุร  
 สาหรับการศึกษาช่องว่างแบบพลังงานของ  $\text{AgGaTe}_2$  ซึ่งอันตรกริยาสปินกับออร์บิทและ  
 อันตรกริยาเนื่องจากส่วนของผลึกซึ่งไม่เป็นลูกบาศก์จะทำให้แนววาเลนซ์หักกึ่งกลางของ  
 บริลลันโชนของ  $\text{AgGaTe}_2$  แยกออกเป็น 3 ระดับ ทำให้เกิดช่องว่างแบบพลังงาน  
 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  $\text{AgGaTe}_2$  ตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิ 80 K  
 ช่องว่างแบบพลังงานเหล่านี้จะมากกว่าช่องว่างแบบพลังงานที่อุณหภูมิห้องประมาณ 0.02 eV

Thesis Title      Energy Band Structure Study of AgGaTe<sub>2</sub>  
                  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<sub>2</sub> 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<sub>A</sub>, E<sub>B</sub> and E<sub>C</sub> 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 widening of 0.02 eV is also observed at 80 K.

กิติกรรมประกาศ



วิทยานิพนธ์สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาของผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุมังศ์ อัคราภรณ์  
ที่ได้ให้คำแนะนำคอลลอกจนครบถ้วนการวิจัยอย่างใกล้ชิดคอลลอกมา จึงขอขอบคุณท่านไว้ ณ ที่นี่

ขอขอบคุณศาสตราจารย์ ดร.วิรุฬห์ สายคณิ ครุวิชิต ศรีตระภูล  
รองศาสตราจารย์ ดร.ธารง เมราศิริ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จงอร พีระนันท์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์  
กิริณ์ รัตนธรรมพันธ์ และคณะผู้วิจัยสารกิ่งตัวนำ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้คำแนะนำปรึกษาเกี่ยวกับวิชาการทางด้านฟิสิกส์สารกิ่งตัวนำ  
และได้อ่านวิทยานิพนธ์ในกระบวนการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนจากจุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย ภายใต้โครงการห้องมานะนวัตวิจัย (Unit Cell) จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี่ด้วย

ขอขอบคุณ ดร.วีโรจน์ ตันตราภรณ์ และบริษัทเยนเนอรัลลิเจนท์ริชท์ที่ได้มอบอุปกรณ์  
การทดลองจำนวนหนึ่งรวมทั้งไครโอดิสเพลย์สำหรับการวิจัยครั้งนี้ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	๑
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	๒
กิติกรรมประการ.....	๓
สารบัญรูป.....	๔
บทที่ ๑ บทนำ.....	๑
บทที่ ๒ โครงสร้างผลึกและแบบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ.....	๓
2.1 โครงสร้างผลึกของสารกึ่งตัวนำ.....	๔
2.1.1 โครงสร้างผลึกแบบแพชร.....	๔
2.1.2 โครงสร้างผลึกแบบชิงค์เบลนด์.....	๕
2.1.3 โครงสร้างผลึกแบบชาลโคไฟไฮท์.....	๖
2.2 อเลกตรอนในผลึก.....	๘
2.3 บริสุทธิ์โซน.....	๑๐
2.4 รีดิวช์โซน.....	๑๒
2.5 อเลกตรอนในสนามแม่เหล็กที่เป็นความแปรผันค่าเป็นศูนย์.....	๑๓
2.6 โครงสร้างแบบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ.....	๑๖
2.6.1 โครงสร้างแบบพลังงานของสารกึ่งตัวนำชิลิกอน.....	๑๖
2.6.2 โครงสร้างแบบพลังงานของสารกึ่งตัวนำเยอรมานเนียม...	๑๗
2.6.3 โครงสร้างแบบพลังงานของสารกึ่งตัวนำแกลเลียมอาร์ซ์ไนค์	๑๗
2.6.4 โครงสร้างแบบพลังงานของสารกึ่งตัวนำชาลโคไฟไฮท์..	๑๘
2.7 วิธีวัดค่าซองว่างแบบพลังงาน.....	๑๙
2.7.1 วิธีวัดความต้านทานแบบคิวเคนทรีเฟลกแทนซ์.....	๑๙
2.7.2 วิธีวัดการคูคูกลีนแสง.....	๒๑

หน้า	
บทที่ ๓ สภาพน้ำไฟฟ้าเชิงแสง.....	25
3.1 กระบวนการของสภาพน้ำไฟฟ้าเชิงแสง.....	27
3.1.1 กระบวนการย้ายสถานะของอิเล็กตรอนที่ทำให้เกิดสภาพน้ำไฟฟ้าเชิงแสง.....	28
3.1.1.1 การย้ายสถานะขัมడນ.....	30
3.1.1.2 การย้ายสถานะภายในແດນ.....	30
3.1.1.3 การย้ายสถานะเนื่องจากสถานะในช่องวางແດນหลังงาน.....	30
3.1.1.4 การย้ายสถานะแบบตรง.....	31
3.1.1.5 การย้ายสถานะแบบเจียง.....	32
3.1.2 กระบวนการหารานสปอร์ต.....	32
3.1.3 กระบวนการแຫรปປິງและกระบวนการກາຣີຄອມນິເນຂັ້ນ.....	33
3.2 ເຊັນໃຫຍ່ເຊັນເຕວົ່ວ.....	36
3.2.1 ຊູປເບ່ອຮີລີເນີຍຮີຕີ.....	37
3.2.2 ເຕວົ່ວນັດເຄວນສິງ.....	38
3.3 ຂົນືຂອງວິທີກໍສະພາພນໍາໄຟຟ້າເຊິ່ງແສງ.....	38
3.3.1 ວິທີກໍສະພາພນໍາໄຟຟ້າເຊິ່ງແສງຄາມແບນຈົນ.....	39
3.3.2 ວິທີກໍສະພາພນໍາໄຟຟ້າເຊິ່ງແສງຄາມແບນກະແສກທີ.....	39
3.4 ຄວາມໄຟ່ສາມາດທ້າວ້າໄດ້ໃນກາຣວັດສະພາພນໍາໄຟຟ້າເຊິ່ງແສງ.....	44
บทที่ ๔ ຮອຍຄອໂລະກັບສາຮົກົງທຸນວ່າ.....	45
4.1 ສາເຫດຂອງກາຣເກີດກໍາແພັກກົງ.....	45
4.1.1 ກໍາແພັກກົງເກີດຈາກຄວາມໄຟ່ສົດຄລົງຂອງເວົ່າຄັ້ງກົງຫັນຂອງໂລະກັບສາຮົກົງທຸນວ່າ.....	45
4.1.2 ກໍາແພັກກົງເກີດຈາກສະຖານະຜົວຂອງສາຮົກົງທຸນວ່າ.....	50
4.1.3 ກໍາແພັກກົງເກີດຈາກຫັນນາງ າ ຂອງສາຮົກົງທີ່ຜົວຂອງສາຮົກົງທຸນວ່າ.....	52

4.2 วิธีที่ควรทำเมื่อต้องการรอยต่อเย็นโลหะมิก.....	52
<b>บทที่ 5 การวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสงและผลการทดลอง.....</b>	<b>53</b>
5.1 การเตรียมอุปกรณ์การทดลอง.....	53
5.1.1 การเตรียมขั้นสาร.....	53
5.1.2 การเตรียมแพนรองขั้นสาร.....	55
5.1.3 การทำรอยต่อเย็นโลหะมิก.....	55
5.1.4 การติดขั้นสารเข้ากับแพนรองขั้นสาร.....	57
5.1.5 ไครโอลสก็ท.....	58
5.1.6 การเตรียมไครโอลสก็ทให้พร้อม.....	59
5.1.7 การติดตั้งแพนรองขั้นสารเข้ากับโคลค์ฟิงเกอร์.....	60
5.1.8 การติดตั้งเยดเคอร์และความต้านทานเข้ากับไครโอลสก็ท..	61
5.1.9 อุปกรณ์วัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสง.....	63
5.2 การวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสงและผลตอบสนองคงแสงของ $\text{AgGaTe}_2$	65
5.2.1 การคำนวณผลตอบสนองคงแสง.....	65
5.2.2 การวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสงตามแบบฉบับ.....	66
5.2.3 การวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสงตามแบบแบบยาราชสกงที่.....	66
5.2.4 การ測量ที่ความยาวคลื่นมากกว่า 1,050 nm ..	66
5.2.5 ความสัมพันธ์ของสัญญาณ A กับความเข้มของแสง.....	67
<b>บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....</b>	<b>74</b>
เอกสารอ้างอิง.....	80
ประวัติผู้เขียน.....	83

## สารบัญรูป

หน้า

### รูปที่

2.1	แสดงโครงสร้างผลึกแบบเฟชร์.....	4
2.2	แสดงโครงสร้างผลึกแบบชิงค์เบลนด์.....	5
2.3	แสดงโครงสร้างผลึกแบบชาลโคไฟเรท.....	7
2.4	แสดงองค์ประกอบที่มีความเป็นคาน.....	8
2.5	แสดงกราฟของ $\frac{P}{\sqrt{a}} \sin \frac{\pi}{a} + \cos \frac{\pi}{a}$ กับ $\frac{\pi}{a}$ .....	10
2.6	แสดงบริลลั่นโซนแรกของเฟชเชนเพอร์คิวบิก.....	11
2.7	แสดงกราฟของ $E$ กับ $k$ ของอิเล็กตรอนในผลึก.....	12
2.8	แสดงโครงสร้างแบบหลังงานในรีดิวช์โซนของหัวโครงผลึก แบบเฟชร์เมื่อคิดว่าสนาณคักย์เป็นคานแคมเมิร์กเป็นศูนย์.....	15
2.9	แสดงโครงสร้างแบบหลังงานของ Si, Ge และ GaAs ใน รีดิวช์โซน.....	17
2.10	แสดงโครงสร้างแบบหลังงานของชาลโคไฟเรท.....	18
2.11	แสดงการแยกของแม่เหล็กน้ำเงินของชาลโคไฟเรท.....	19
2.12	แสดงหลักการของวิธีวัตถุนอคิวเตทรีเฟลกแคน.....	20
2.13	แสดงผลการวัดอิเล็กโทรรีเฟลกแคนของ $\text{AgGaSe}_2$ .....	21
2.14	แสดงการวัดการคูคูกลีนแสง.....	21
2.15	แสดงผลการวัดการคูคูกลีนแสงของ $\text{AgGaTe}_2$ .....	23
2.16	แสดงผลการวัดการคูคูกลีนแสงของ $\text{CuInSe}_2$ .....	24
3.1	แสดงวงจรอย่างง่ายในเชิงปฏิบัติของการวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสง.....	26
3.2	แสดงกระบวนการของการวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสง.....	27
3.3	แสดงการผ่อนคลายของอิเล็กตรอน.....	29
3.4	แสดงการขยายสถานะของอิเล็กตรอนเมื่อไครบพลังงานจากแสง.....	29
3.5	แสดงการขยายสถานะแบบตรง.....	31
3.6	แสดงการขยายสถานะแบบเจียง.....	32

3.7. แสดงระดับอิเล็กตรอนคี่มาเกชันและระดับไฮดรัสคี่มาเกชัน.....	35
3.8 แสดงกระบวนการของเขนซีไซซิงเชนเดอร์.....	36
3.9 แสดงการเกิดอิเล็กตรอนอิสระจากเชนเดอร์ $E_T$ .....	40
3.10 แสดงการเกิดอิเล็กตรอนอิสระจากเชนเดอร์ $E_{T1}$ และ $E_{T2}$ ..	42
4.1 แสดงการเกิดก้าแหงทักษิญเนื่องจากโลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิดอื่น..	47
4.2 แสดงรอยต่อเยนิโอลมิกในสารกึ่งตัวนำชนิดอื่น.....	49
4.3 แสดงการเกิดก้าแหงทักษิญในสารกึ่งตัวนำชนิดพี.....	49
4.4 แสดงรอยต่อเยนิโอลมิกในสารกึ่งตัวนำชนิดพี.....	50
4.5 แสดงการโคงของแบบพลังงานเนื่องจากสถานะผิวที่เสื่อมแอกเซปเตอร์	51
4.6 แสดงการโคงของแบบพลังงานเนื่องจากสถานะผิวที่เสื่อมคอนเนอร์..	51
5.1 แสดงขั้นสารที่ตัดและขัดแล้ว.....	54
5.2 แสดงแผนร่องขั้นสาร.....	55
5.3 แสดงขั้นสารติดกับลวดทองแดง.....	56
5.4 แสดงขั้นสารที่ติดกับแผนร่องขั้นสาร.....	57
5.5 แสดงไครโอดักท์เมื่อถูกส่วนหัวและส่วนตัวออกจากกัน.....	58
5.6 แสดงแผนไมการติดกับโคลคฟิงเกอร์.....	61
5.7 แสดงไครโอดักท์ที่ติดตั้งอุปกรณ์ไว้หรือไมแล้ว.....	62
5.8 แสดงแผนผังอุปกรณ์วัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสง.....	64
5.9 แสดงผลตอบสนองคงแสงของ $\text{AgGaTe}_2$ เมื่อวัดตามแบบฉบับ...	68
5.10 แสดงผลตอบสนองคงแสงของ $\text{AgGaTe}_2$ เมื่อวัดตามแบบกระแสงกที่.	69
5.11 แสดงสัญญาณ $\frac{A}{B}$ เมื่อเวลาค้างกัน.....	70
5.12 แสดงผลตอบสนองของคงแสงของ $\text{AgGaTe}_2$ เมื่อวัดตาม แบบกระแสงกที่และเควนซ์คิวบ์แสงความยาวคลื่นมากกว่า 1,050 nm	71
5.13 แสดงกราฟของสัญญาณ A กับความเข้มของแสง.....	72
5.14 แสดงกราฟของสัญญาณ A กับความเข้มของแสง เมื่อเควนซ์คิวบ์ แสงความยาวคลื่นมากกว่า 1,050 nm .....	73