

ระบบวัดสมบัติเชิงแสงของสารกึ่งตัวนำ  
ควบคุมโดยคอมพิวเตอร์



นายณรงค์ แสงแก้ว

ศูนย์วิทยพัทยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2539

ISBN 974-634-261-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Computerized System for Optical property  
Measurements of Semiconductors



Mr.Narong Saengkaew

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

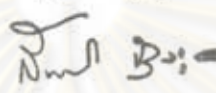
1996

ISBN 974-634-261-4


หัวข้อวิทยานิพนธ์      ระบบวัดสมบัติเชิงแสงของสารกึ่งตัวนำ  
  ควบคุมโดยคอมพิวเตอร์  
โดย                                      นายณรงค์ แสงแก้ว  
ภาควิชา                                  ฟิสิกส์  
อาจารย์ที่ปรึกษา                      ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขจรยศ อยู่ดี

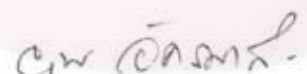
---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย  
ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

  
.....คณบดีวิทยาลัย  
( รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ อุดสุวรรณ )

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....ประธานกรรมการ  
( รองศาสตราจารย์ ดร. อนันตสิน เดชะกำพูน )

  
.....กรรมการ  
( รองศาสตราจารย์ ยุทธ อัครมาส )

  
.....กรรมการ  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กิรณันต์ จิตนธรณ์พันธ์ )

  
.....กรรมการ  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขจรยศ อยู่ดี )



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขจรยศ อยู่ดี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมพงศ์ ฉัตรราภรณ์ และอาจารย์พงษ์ ทรงพงษ์ ที่ได้ให้คำแนะนำติดตาม และควบคุมการวิจัยอย่างใกล้ชิด ขอขอบคุณ อาจารย์ธนุสิทธิ์ นุรินทร์ประโคน ที่ช่วยให้คำปรึกษาในการทดลองต่างๆ อาจารย์สมฤทธิ์ วงศ์มณีโรจน์สำหรับคำแนะนำทางด้านเทคนิคและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย อาจารย์ชาญวิทย์ จิตยุทธการสำหรับสารตัวอย่างในการทดลองเรื่องสมบัติการดูดกลืนแสงในฟิล์มบางคอปเปอร์อินเดียมไดซีลีไนด์ (thin film of copper indium diselenide) คุณคำเมย ชัยวงษ์ สำหรับแท่งสารคอปเปอร์อินเดียมไดซีลีไนด์ในการทดลองโฟโตรีเฟลกแทนซ์ และคณะวิจัยในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์สารกึ่งตัวนำภาควิชาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณ ท่านดร.วิโรจน์ ตันตราภรณ์ที่ได้ให้โอกาสแก่ผู้เขียนได้เข้ามาศึกษาต่อโดยยังสามารถทำงานแบบไม่เต็มเวลา ในบริษัทพีเอ็มเอวีโกลเบลคคอร์ปอเรชั่นได้

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ คุณเตี้ยและคุณแม่เป็นอย่างยิ่งที่ให้ความอุปการะและช่วยเหลือเป็นกำลังใจแก่ผู้เขียนจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

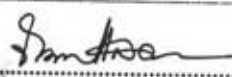
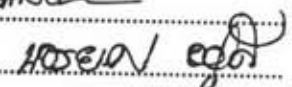
พิมพ์ต้นฉบับบทความวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ฉรงศ์ แสงแก้ว : ระบบวัดสมบัติเชิงแสงของสารกึ่งตัวนำควบคุมโดยคอมพิวเตอร์  
(COMPUTERIZED SYSTEM FOR OPTICAL PROPERTY MEASUREMENTS OF SEMICONDUCTORS) อ.ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. ขจรยศ อยู่ดี. 77 หน้า. ISBN 974-634-261-4

ได้พัฒนาระบบวัดสมบัติเชิงแสงของสารกึ่งตัวนำควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ ระบบนี้ประกอบด้วย  
เครื่องขยายสัญญาณแบบล็อกอินแอมพลิฟาย วอลท์มิเตอร์ โมโนโครเมเตอร์แบบเกรตติงและโมโคร  
คอมพิวเตอร์ ซึ่งใช้ควบคุมและบันทึกข้อมูลในระหว่างการทดลอง ได้พัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงาน  
และถูกใช้ในการส่งผ่านข้อมูลของเครื่องล็อกอินแอมพลิฟายและวอลท์มิเตอร์ผ่านทางพอร์ทขนานแบบ  
มาตรฐาน IEEE488 โปรแกรมที่สร้างขึ้นยังสามารถควบคุมการทำงานของโมโนโครเมเตอร์ให้เลื่อนความ  
ยาวคลื่นครั้งละหนึ่งอังสตรอมได้ นอกจากนั้นยังมีฟังก์ชันที่ช่วยลดสัญญาณรบกวนแบบสุ่มโดยการทำ step  
scan ข้อมูลที่ได้จากการบันทึกของโปรแกรมจะเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขซึ่งสามารถนำไปใช้ในโปรแกรมสำหรับ  
การคำนวณได้ง่าย ในส่วนของการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องควบคุมโมโนโครเมเตอร์กับคอมพิวเตอร์ได้พัฒนา  
วงจรเชื่อมต่อแบบใช้แสงเป็นตัวส่งสัญญาณ(opto isolator)ซึ่งจะป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับระบบใด  
ระบบหนึ่งแล้วส่งผลกับอีกระบบได้ การเชื่อมต่อในส่วนนี้เราใช้พอร์ทขนานที่มีชิพ 8255 เป็นตัวควบคุมการ  
ทำงาน ได้นำระบบวัดแบบใหม่นี้ไปประยุกต์ใช้กับการวัดสมบัติเชิงแสงของสารกึ่งตัวนำโดยเทคนิคต่างๆ ได้  
แก่ การวัดสมบัติการดูดกลืนแสง การวัดสมบัติการเรืองแสง และในการทดลองโฟโตรีเฟลกแทนซ์ ระบบ  
วัดที่ได้สร้างขึ้นยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการทดลองอื่นๆซึ่งใช้เครื่องมือในลักษณะเดียวกันได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ..... ฟิสิกส์ .....  
สาขาวิชา ..... ฟิสิกส์ .....  
ปีการศึกษา ..... 2538 .....

ลายมือชื่อนิติศ .....  .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

## C625349 : MAJOR PHYSICS

KEY WORD: PHOTOREFLECTANCE/OPTICAL ABSORPTION/PHOTOLUMINESCENCE/SEMICONDUCTOR

NARONG SAENGAEW : COMPUTERIZED SYSTEM FOR OPTICAL PROPERTY

MEASUREMENTS OF SEMICONDUCTORS. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF.

KAJORN YOD YOODEE, DR. 77pp. ISBN 974-634-261-4

A computerized measurement system for optical characterization of semiconductors was developed. The system consists of a lock-in amplifier, a voltmeter, a grating monochromator, and a microcomputer that is used to control and transfer data during a measurement. Controlling software was also developed and used to transfer the data lock-in amplifier and the voltmeter via a standard parallel port IEEE488. The software can control the monochromator controller so as to shift its wavelength by an angstrom and has the capability to reduce random noise by the monochromator step scanning. The measured data can be transferred easily to other calculating software. The interface between monochromator and microcomputer was developed with an opto-isolator pack that protects against the failure of one system affecting the other system. They are interfaced with the parallel port controlled by the 8255 chip. The new system has been used to measure photoreflectance, optical absorption, and photoluminescence of semiconductor samples and structures. It can be applied to experiments that have the same set of instruments.

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา..... ฟิสิกส์

สาขาวิชา..... ฟิสิกส์

ปีการศึกษา..... 2538

ลายมือชื่อนิสิต..... *Imtka*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *นอญ โยดี*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	2
2. ทฤษฎีสมบัติเชิงแสงของสารกึ่งตัวนำ.....	3
สมบัติการดูดกลืนแสง.....	3
การย้ายสถานะแบบตรง.....	5
การย้ายสถานะแบบไม่ตรง.....	6
สมบัติการเรืองแสงของสารกึ่งตัวนำ.....	8
โฟโตลูมิเนสเซนซ์ของสารกึ่งตัวนำแบบไม่บริสุทธิ์.....	10
โฟโตรีเฟลกแทนซ์.....	12
สถานะพื้นผิวของสารกึ่งตัวนำ.....	12
ฟังก์ชันไดโพลทริกเชิงซ้อน.....	20
การมอดูเลตฟังก์ชันไดโพลทริก.....	23
ฟังก์ชันของสเปกตรัมโฟโตรีเฟลกแทนซ์.....	25
3. ระบบการวัดสมบัติเชิงแสงของสารกึ่งตัวนำ.....	27
แนวความคิดพื้นฐานของระบบวัด.....	27
เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	28
1. เครื่องกำเนิดแสงเอกรงค์.....	29

## สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
เครื่องกำเนิดแสงเอกรงค์แบบที่ใช้เกรทติงเป็นตัวแยกแสง.....	30
เครื่องควบคุมการทำงานของสเปกโตรมิเตอร์ .....	32
การเชื่อมต่อเครื่องควบคุมสเปกโตรมิเตอร์กับ.....	34
เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์	
2. เครื่องมือวัด.....	37
โปรแกรมควบคุมการวัดและบันทึกผล.....	38
4. การทดลองและผลการทดลอง.....	41
การทดลองวัดสมบัติการดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง.....	41
ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....	42
การทดลองวัดสมบัติการเรืองแสง.....	44
ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....	46
การทดลองโฟโตรีเฟลกแทนซ์.....	47
ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....	49
5. สรุปและวิจารณ์.....	52
เอกสารอ้างอิง .....	54
ภาคผนวก.....	55
ประวัติผู้เขียน.....	77

ศูนย์วิทยพัชยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. แสดงการเชื่อมต่อ SPEX CompuDrive กับ คอมพิวเตอร์.....	35
2. แสดงฟังก์ชันที่ใช้ควบคุมการทำงานและสัญญาณที่ขา SPEX.....	37



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญรูป

รูปที่

หน้า

2.1 แสดงความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง แบบไม่ตรงที่ขึ้นกับอุณหภูมิ.....	7
2.2 แสดงแผนภาพการย้ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอน ระหว่างแถบพลังงาน.....	7
2.3 แสดงแผนภาพการย้ายพลังงานของอิเล็กตรอน.....	9
2.4 แสดงการย้ายสถานะของคู่อิเล็กตรอนและโฮล.....	11
2.5 แสดงแถบพลังงานที่บริเวณผิวของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น.....	13
2.6 แสดงความเป็นไปได้ในกรณีต่างๆ ของบริเวณไร้ประจุ.....	17
2.7 แสดงการโค้งงอของแถบพลังงานบริเวณผิวของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น.....	19
3.1 แผนภาพแสดงระบบวัดและวิเคราะห์ข้อมูลสมบัติเชิงแสงแบบเดิม ส่วนที่มีสีที่บคือส่วนที่ใช้คนควบคุมการทำงานตลอดการทดลอง.....	27
3.2 แผนภาพแสดงระบบวัดสมบัติเชิงแสงแบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะเก็บข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือวัดผ่านทางพอร์ทขนาน.....	28
3.3 แสดงองค์ประกอบหลักของเครื่องกำเนิดแสงเอกรงค์.....	29
3.4 แสดงลักษณะของเกรตติงแบบสะท้อนแสง.....	30
3.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมของแสงตกกระทบ มุมของแสงที่เลี้ยวเบนออกจาก เกรตติง.....	31
3.6 แสดงลักษณะของเครื่องควบคุมสเปกโทรมิเตอร์.....	33
3.7 แสดงวงจรหลักส่วนต่างๆ ของเครื่องควบคุมสเปกโทรมิเตอร์.....	34
3.8 แสดงการเชื่อมต่อเครื่องควบคุมสเปกโทรมิเตอร์กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์.....	36
3.9 แสดงผังลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมระบบ.....	39
3.10 แสดงหน้าจอของโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้น.....	40
4.1 แสดงการจัดระบบเครื่องมือวัดสำหรับการทดลองวัดสมบัติการดูดกลืนแสง.....	41
4.2 (a) สเปกตรัมของ $I_0$ และ $I$ , (b) สเปกตรัมที่คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูด กลืนแสงและ (c) สเปกตรัมสำหรับการคำนวณหาช่องว่างพลังงาน.....	43

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 แสดงลักษณะโครงสร้างของควอนตัมเวลล์ที่ใช้ในการทดลอง.....	45
4.4 แสดงการจัดระบบเครื่องมือวัดสำหรับการทดลองโฟโตลูมิเนสเซนซ์.....	45
4.5 แสดงการจัดแนวลำแสงสำหรับการทดลองโฟโตลูมิเนสเซนซ์.....	46
4.6 แสดงผลการทดลองโฟโตลูมิเนสเซนซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	47
4.7 แสดงการจัดเครื่องมือสำหรับการทดลองโฟโตรีเฟลกแทนซ์.....	48
4.8 ภาพแสดงสเปกตรัมโฟโตรีเฟลกแทนซ์ของคอปเปอร์อินเดียมไดซัลไฟด์บนจอ คอมพิวเตอร์.....	50
4.9 แสดงสเปกตรัม $\frac{\Delta R}{R}$ ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณของ คอปเปอร์อินเดียมไดซัลไฟด์ที่อุณหภูมิ 43 เคลวิน.....	50

ศูนย์วิทยพัชยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย