

การพัฒนาเทคโนโลยีทางแสงจากฟิล์มบางอินทรีย์



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รฟ.
๑๖๑๗ ก
๒๕๔๗

เลขที่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกเรื่อง
i.....

๑๑/๑๑/๒๕๔๗
b.....
i.....

Organic Thin Film Optical Gate Development



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of
Bachelor of Science
Department of Applied Physics
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การพัฒนาเกตทางแสงจากฟิล์มบางอินทรีย์	
นักศึกษา	นายตีพร้อม เกียรติกิตติธรรม์	
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์	คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์	
ปีการศึกษา	2547	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.วิษณุ เพชรภา	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รศ.ดร.จิติ หนูแก้ว	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางแสงของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ที่สามารถนำไปใช้ในการสร้างออปติคอลลอจิกซ์โดยทำการศึกษาคุณสมบัติทางแสงของ CuPc (Copper Phthalocyanine), Alq₃ (tris(8-hydroxyquinoline) aluminum), DNA, และ Polyurethane และในโครงการนี้เลือกใช้ CuPc และ Alq₃ เพราะมีช่วงสเปกตรัมทางแสง ที่ถูกดูดกลืนอยู่ในช่วงของความยาวคลื่นของ He-Cd Laser และ Laser diode โดยออปติคอลลอจิกเกตต้นแบบนี้สร้างขึ้นโดยใช้คุณสมบัติของการดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง CuPc และ Alq₃ โดยให้ s-state และ p-state แทนสถานะทางลอจิกโดยที่ s-state แทนลอจิก 1 และ p-state แทนลอจิก 0 และออปติคอลลอจิกเกตต้นแบบที่ประดิษฐ์ได้นี้แสดงพฤติกรรมเป็น OR และ NOT gate

Special Project	Organic Thin Film Optical Gate Development
Name	Mr. Deeprom Kiatkittisorn
Department	Applied Physics
Program	Applied Physics
Academic Year	2004
Special Project Adviser	Asst. Prof. Wisanu Pecharapa
Cooperate Adviser	Assoc. Prof. Dr. Jiti Nukeaw

ABSTRACT

This special project is the study of optical properties of organic semiconductor that can be advised to optical switches. Optical properties of CuPc, Alq₃, DNA, and Polyurethane was extensively investigated. CuPc, Alq₃ are chosen because their absorption ranges are corresponded to the range of wavelength of He-Cd Laser and laser diode. The prototype of optical logic gate was set up employing the absorption properties of both thin films. The s-state and p-state were designated as logic-1 and logic-0, respectively. Using this prototype, OR-gate and NOT-gate can be achieved.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้ประสบกับปัญหาและอุปสรรคต่างๆมากมาย แต่สุดท้ายก็สำเร็จได้ด้วยดี เพราะได้รับความแนะนำและความช่วยเหลือจากเหล่าคณาจารย์ทั้งหลายเหล่านี้ ถ้าไม่มีพวกท่านที่คอยให้คำแนะนำปรึกษา และช่วยเหลือโครงการพิเศษฉบับนี้ก็คงจะไม่สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีถึงเพียงนี้เพราะฉะนั้นผมจึงขอขอบคุณท่านเหล่านี้เป็นอย่างสูง

1. ผศ.วิษณุ เพชรภา ที่ให้ความรู้และความช่วยเหลือต่างๆมากมายพร้อมด้วยแนวทางการแก้ปัญหาต่างๆเพื่อให้โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี
2. รศ.ดร.จิต หนูแก้ว ที่ได้สละเวลาอันมีค่าในการให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อโครงการพิเศษฉบับนี้ตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสิ้นสุดโครงการ
3. อ.เบญจพล ตันธุ์ และ อ.ทศิตยาภรณ์ ทิววงศ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ในการทดลองทางแสงและคำแนะนำด้านต่างๆ
4. QOS Lab ที่ใช้เป็นสถานที่ทดลองและใช้อุปกรณ์ทางแสงต่างๆมากมาย
5. พี่น้องภาควิชาฟิสิกส์ที่ให้คำปรึกษาทุกท่าน

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีก็เพราะความร่วมมือจากทุกๆฝ่ายที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำงานดังนั้นข้าพเจ้าจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ. ที่นี้ด้วย

นายตีพร้อม เกียรติกิตติธรรม์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 สารกึ่งตัวนำอินทรีย์	3
2.2 การวัดการส่งผ่านทางแสง	7
2.3 โฟลาโรเซชัน	9
2.4 ชนิดของแสงโฟลาโรซ์	12
2.4.1 แสงโฟลาโรซ์ชนิดเชิงเส้น	12
2.4.2 แสงโฟลาโรซ์ชนิดวงกลม	14
2.4.3 แสงโฟลาโรซ์ชนิดวงรี	18
2.5 หลักการของการโฟลาโรซ์ใน Cube beamsplitter	21
2.6 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ	21

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 การศึกษาสมบัติทางแสงของ Polyurethane, DNA, Alq ₃ , และ CuPc	23
3.1.1 ศึกษาทฤษฎีการดูดกลืนแสง, การไหลไรซ์ของแสง, ทฤษฎีของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ และสมบัติทางแสงของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์	
3.1.2 ศึกษาหลักการดูดกลืนแสงใน DNA, Polyurethane, फिल्मบางอินทรีย์ Alq ₃ และ फिल्मบางอินทรีย์ CuPc	23
3.1.3 ทำการทดลองวัดค่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงใน फिल्मบางอินทรีย์	24
3.2 การทดลองเพื่อสร้าง optical logic gate	26
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 การทดลองวัดค่าการดูดกลืนแสงของ फिल्मบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ และอื่นๆ	28
4.2 ชุดการทดลองพัฒนา organic thin film optical gate	33
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง	
5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง	
5.1.1 วิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้าง optical logic gate จาก Polyurethane	39
5.1.2 วิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้าง optical logic gate จาก DNA	39
5.1.3 วิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้าง optical logic gate จาก Alq ₃ organic thin film	39
5.1.4 วิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้าง optical logic gate จาก CuPc organic thin film	40

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.1.5 วิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้าง optical logic gate จาก CuPc-Alq ₃ organic thin film	40
5.1.6 วิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้าง optical logic gate จาก CuPc and Alq ₃ organic thin film เมื่อยิงแสงเลเซอร์คู่ He-Cd Laser และ Laser diode ผ่าน beamsplitter ไปตกลงบน CuPc-Alq ₃ organic thin film	40
5.1.6.1 สร้าง logic OR	40
5.1.6.2 สร้าง logic NOT	41
5.2 สรุปผลการทดลอง	42
5.3 แนวทางการพัฒนา	43
เอกสารอ้างอิง	44
ภาคผนวก	45



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของ $Alq_3, CuPc$ และ TPD	4
รูปที่ 2.2 รูปออร์บิทัลอะตอม s และ p	4
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของไฮบริดเซชัน	5
รูปที่ 2.4 มุมระหว่างพันธะของ sp^2 ออร์บิทัลซึ่งมีอยู่ 3 ตัว	5
รูปที่ 2.5 พันธะไพจะเกิดจากการซ้อนเหลื่อมกันทางด้านข้างของ $2p_z$	5
รูปที่ 2.6 ระดับพลังงานในบ่อควอนตัม	7
รูปที่ 2.7 แสดงภาพจำลองเมื่อแสงตกกระทบลงบนแผ่นฟิล์มบาง	8
รูปที่ 2.8 แสดงการสะท้อนแสงทั้งที่ผิวด้านหน้าแผ่นฟิล์มบางและที่ผิวด้านหลังแผ่นฟิล์มบางจำนวนครั้งที่แน่นอน	9
รูปที่ 2.9 แสดงการล้นของแสงธรรมชาติ ซึ่งมีสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก (\vec{H})	10
รูปที่ 2.10 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นตกกระทบทำมุม θ กับแกนของโพลาไรซ์	11
รูปที่ 2.11 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นซึ่งมีมุมที่เปลี่ยนไป (ก) เปลี่ยนไป (ก) ตามแกน X (ข) ตามแกน Y (ค) ทำมุม 45° กับแกน X ตามลำดับ	11
รูปที่ 2.11 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นซึ่งมีมุมที่เปลี่ยนไป (ก) ตามแกน X (ข) ตามแกน Y (ค) ทำมุม 45° กับแกน X ตามลำดับ	13
รูปที่ 2.12 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมหมุนตามขวาและแนวการหมุนจากตำแหน่งที่ 1 ถึง 4 ตามลำดับ	15
รูปที่ 2.13 แสดงการหมุนของเวกเตอร์ไฟฟ้าในกรณีของแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมตามขวา	16
รูปที่ 2.14 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมหมุนตามซ้ายและแนวการหมุนจากตำแหน่งที่ 1 ถึง 4 ตามลำดับ	17
รูปที่ 2.15 แสดงการกำหนดทิศทางของการหมุนสำหรับโพลาไรซ์ชนิดวงรี	18
รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะทั่วไปของคลื่นโพลาไรซ์ชนิดวงรี	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.17 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดวงรีตามซ้ายและแนวการหมุนจากตำแหน่งที่ 1 ถึง 4 ตามลำดับ	20
รูปที่ 2.18 แผนภาพแสดงการส่งผ่านแสงของ Cube beamsplitter	21
รูปที่ 2.19 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ comparator	21
รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองสร้าง optical logic gate	23
รูปที่ 3.2 แสดงตัวอย่าง DNA ที่ใช้ในการทดลองสร้าง optical logic gate	24
รูปที่ 3.3 แสดงเครื่องวัดค่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	24
รูปที่ 3.4 แสดงโปรแกรมประกอบเครื่องวัดค่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	25
รูปที่ 3.5 แสดงแผนผังในการจัดการทดลองเพื่อใช้สร้าง optical logic gate	26
รูปที่ 4.1 กราฟการดูดกลืนแสงของ polyurethane ที่ค่าความยาวคลื่นต่างๆ	28
รูปที่ 4.2 กราฟการดูดกลืนแสงที่ค่าความยาวคลื่นต่างๆของฟิล์มบาง Alq ₃ ที่มีความหนาตั้งแต่ 50,75,100, และ150 nm ปลูกที่อุณหภูมิ 80 °c	29
รูปที่ 4.3 กราฟการดูดกลืนแสงที่ค่าความยาวคลื่นต่างๆของฟิล์มบาง Alq ₃ ที่มีความหนาตั้งแต่ 50,75,100, และ150 nm ปลูกที่อุณหภูมิ 80 °c	30
รูปที่ 4.4 กราฟการดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง CuPc	31
รูปที่ 4.5 กราฟการดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง Alq ₃ ที่มีความหนา150nm ปลูกที่อุณหภูมิ 80 °cกับฟิล์มบาง CuPc	32
รูปที่ 4.6 แสดงแผนผังในการจัดการทดลองเพื่อใช้สร้าง optical logic gate	33
รูปที่ 4.7 แสดงการจัดการทดลองเพื่อสร้าง optical logic gate	36
รูปที่ 4.8 แสดงวงจร comparator ที่ใช้เปรียบเทียบสัญญาณขาออกของ photodetector	36
รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะของลจจิกที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบ	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 แสดงสถานะของ OR gate	34
ตารางที่ 4.2 แสดงสถานะของ NOT gate	34
ตารางที่ 5.1 แสดงกลุ่มของอินพุตทั้ง 4 แบบ	40



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันสิ่งประดิษฐ์ที่เกิดมาจากสารกึ่งตัวนำอินทรีย์(organic semiconductors) เข้ามามีบทบาทสำคัญในด้านต่างๆ มากมาย เนื่องจากว่าสารกึ่งตัวนำอินทรีย์มีคุณสมบัติเฉพาะ ที่สำคัญหลายอย่างด้วยกัน เช่น ปลูกถ่าย ไรต่อแสงที่ตกกระทบมีคุณสมบัติทางแสง ที่หลากหลาย ซึ่งควบคุมได้จาก การเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการปลูก และที่สำคัญอีกประการยังราคาถูกคุ้มต่อการลงทุนโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในเชิงพาณิชย์ นอกจากนี้สารกึ่งตัวนำอินทรีย์ยังสามารถนำมาใช้งานด้านออปโตอิเล็กทรอนิกส์(optoelectronics) มากมาย เช่น transistors, light-emitting diodes, solar cells, และ lasers ดังนั้นพวกมันจึงสามารถทดแทนอุปกรณ์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ (inorganic semiconductors) ได้ในอนาคต

ปัจจุบันเราสามารถสร้างโฟโตดีเทคเตอร์โครงสร้างรอยต่อพี-เอินแบบวีวีพีเอ็นที่ได้จากสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ และแนวทางที่จะพัฒนาต่อไปคือ เกททางแสงจากฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ หรือ Organic Optical Gate(OOG) ซึ่งถือเป็นสิ่งประดิษฐ์อีกชนิดที่จะใช้คุณสมบัติเฉพาะที่ได้จากสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ ซึ่งมีโครงสร้างของแถบพลังงานที่เฉพาะ โดยตัวอย่างของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์เหล่านี้ได้แก่ Alq_3 (tris(8-hydroxyquinoline) aluminum) และ CuPc(Copper Phthalocyanine)

Organic Optical Gate(OOG)นั้นเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่เป็นที่สนใจมาก และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่างด้วยกัน เช่นใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์, ใช้ในการควบคุมระยะไกล, ใช้ในจอภาพแบบผลึกเหลว, และยังประยุกต์เป็น AND gate, OR gate, NOR gate, และ gate ในรูปแบบอื่นได้อีกซึ่งสามารถนำไปใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ยุคใหม่ที่ต้องการขนาดที่ค่อนข้างเล็กและประสิทธิภาพในการใช้งานที่สูง และราคาถูก โดยในการทดลองนี้เราใช้สารตัวอย่างหลายชนิดด้วยกันในการทดลองเพื่อสร้างสวิตช์ทางแสงโดยศึกษาค่าการทะลุผ่านของแสงที่มีต่อ สารกึ่งตัวนำอินทรีย์และสารตัวอย่างอื่น ๆ แล้วนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์หาช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมกับการนำไปทำเป็น OOG.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษสมบัติทางแสงของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์
2. เพื่อศึกษาลักษณะการส่งผ่านทางแสง และโครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์
3. เพื่อศึกษาผลของความยาวคลื่นของแสงต่อการตอบสนองของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์
4. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเกตทางแสงโดยใช้สารกึ่งตัวนำอินทรีย์

(Organic Optical Gate[OOG])

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสารกึ่งตัวนำอินทรีย์
2. ศึกษาหลักการของ All-optical switching และ Optical logic gate
3. พัฒนาเกตทางแสงจากฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์(Organic Optical Gate[OOG])

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินงาน

1. ศึกษาคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq3, CuPc และ DNA, Polyurethane
2. ศึกษาค่านคว่าทฤษฎีและหลักการของการส่งผ่านทางแสง(optical transmission)
3. วัดค่าการส่งผ่านทางแสงของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ที่เปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่นแสง
4. ศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างเกตทางแสงจากสารกึ่งตัวนำอินทรีย์
5. วิเคราะห์ผลการทดลอง
6. สรุป

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

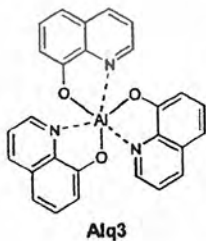
1. ทำให้ทราบถึงหลักการ, คุณสมบัติ, และประโยชน์ของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ในด้านต่างๆ
2. ทำให้ทราบถึงหลักการนำสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ไปประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสงหรือออปโตอิเล็กทรอนิกส์
3. ทำให้ได้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ ในการนำไปประยุกต์ทำเป็นเกตทางแสงจากฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์(Organic Optical Gate[OOG])

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

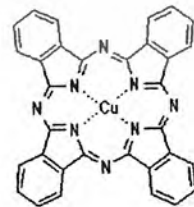
2.1 สารกึ่งตัวนำอินทรีย์(Organic semiconductor)

สารกึ่งตัวนำอินทรีย์(organic semiconductor) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือสารประกอบที่มีมวลโมเลกุลต่ำ(low molecular-weight compounds) เช่น Alq_3 (tris(8-hydroxyquinoline) aluminum (Alq_3)) ซึ่งโมเลกุลไม่จับเป็นพันธะยาวๆแต่จะออกมาเป็นโมเลกุลเล็กๆ และอีกชนิดหนึ่งคือ polymers เช่น TPD(N,N'-diphenyl-N,N'-bis(3-methylphenyl)-1,1'-diphenyl-4,4'-diamine (TPD)), CuPc(Copper Phthalocyanine) ซึ่งทั้งหมดเป็นสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 จะทำหน้าที่เป็น electron transport ส่วน TPD จะทำหน้าที่เป็น hole transport โดยสามารถนำมาใช้ประยุกต์ในด้านต่างๆ ได้หลายด้านด้วยกัน เช่น LED(ซึ่งมีหน้าที่เปลี่ยนกระแสไฟฟ้าไปเป็นแสงสว่าง) สร้างจากสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ GaAs ซึ่งสามารถเปล่งแสงออกมาได้และ OLEDที่ใช้ในจอโทรทัศน์ยุคใหม่ซึ่งดีกว่าจอโทรทัศน์ที่เป็นแบบCRT(cathode ray tube) ที่ใช้หลักการวิ่งยิงอิเล็กตรอนเนื่องจาก มีรูปร่างที่ไม่สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายหรือพกพา ต่อมาคือLCD(Liquid Crystal Display) ซึ่งมีลักษณะกะทัดรัดแต่มีข้อเสียคือความสว่างน้อยและถ้ามองในมุมที่ต่างกันจะมีความสว่างไม่เท่ากันแต่ถ้าเป็น LEDข้อดีของมันคือสามารถสร้างบนฟิล์มบางได้และไม่ต้องใช้อิเล็กตรอนคอยวิ่งยิงแต่ใช้หลักการเปล่งแสงจากตัวเซลล์เลยดังนั้นค่าความละเอียด(resolution) ก็จะมีค่าสูง(ซึ่งขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการปลูก)



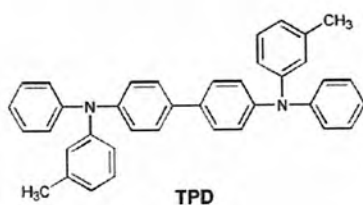
Alq_3

โครงสร้างโมเลกุลของ Alq_3



โครงสร้างโมเลกุลของ CuPc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โครงสร้างโมเลกุลของ TPD

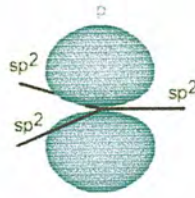
รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของ Alq3, CuPc , และ TPD

การเกิดพันธะเคมีของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์เหล่านี้จะเกิดจากการซ้อนเหลื่อมกันของออร์บิทัลอะตอมโดยเกิดการไฮบริไดเซชันกันขึ้นระหว่างอะตอมที่จะสร้างพันธะกันเพื่อให้เกิดเป็นโมเลกุลของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์นั้น สารกึ่งตัวนำอินทรีย์เหล่านี้จะมีไฮบริไดเซชันที่เป็นแบบ sp^2 ซึ่งเป็นการไฮบริไดเซชันกันระหว่าง $2s$ ออร์บิทัลกับ $2p$ ออร์บิทัลโดยการย้ายอิเล็กตรอนที่มีอยู่สองตัวในออร์บิทัล $2s$ มาไว้ที่ออร์บิทัล $2p$ ตามหลักของเพาลี(Pauli Exclusion Principle)ซึ่งจะทำให้แต่ละออร์บิทัลมีอิเล็กตรอนเพียงตัวเดียวและสามารถเกิดไฮบริดกันได้ระหว่างออร์บิทัล $2s$ และ ออร์บิทัล $2p$ ตามจำนวนของอิเล็กตรอนเดียวที่มีอยู่ทั้งหมดซึ่งในที่นี้เป็นการผสมกันระหว่าง $2s$ ออร์บิทัลกับ $2p_x$ และ $2p_y$ ออร์บิทัลดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 รูปออร์บิทัลอะตอม s และ p

เมื่อผสมกันแล้วจะทำให้เกิดออร์บิทัลใหม่ 3 ออร์บิทัลและอีกหนึ่งออร์บิทัลที่ว่าง (หมายเหตุ: เมื่อออร์บิทัลอะตอมมารวมกันเป็นโมเลกุลเราจะเรียกมันใหม่ว่าเป็นออร์บิทัลโมเลกุลหรือ MO)ไฮบริไดเซชันกันแล้วจะได้ดังรูปที่ 2.3



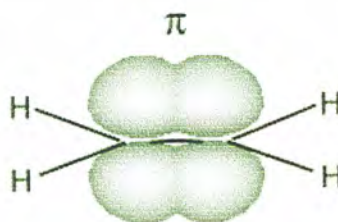
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของไฮบริดเซชัน

ซึ่งจะได้มุมระหว่างพันธะของ sp^2 ออร์บิทัลซึ่งมีอยู่ 3 ตัว (จากการรวมกันของ 2s ออร์บิทัลกับ 2p_x และ 2p_y) เป็น 120 องศา รูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 มุมระหว่างพันธะของ sp^2 ออร์บิทัลซึ่งมีอยู่ 3 ตัว

การเกิดพันธะในลักษณะนี้จะก่อให้เกิดพันธะที่เรียกว่า พันธะซิกมาและพันธะพาย (π -bond) โดยพันธะซิกมา (π -bond) ทั้งหมดจะเกิดมาจากการซ้อนเหลื่อมกันของพันธะ sp^2 ทั้งสามตัวซึ่งจะให้ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสูงที่บริเวณตรงกลางระหว่างนิวเคลียสทั้งสองของพันธะซิกมา (ในที่นี้พันธะซิกมาทั้งหมดคือพันธะของอะตอมคาร์บอนสร้างพันธะกับอะตอมไฮโดรเจน) ส่วนพันธะพายจะเกิดจากการซ้อนเหลื่อมกันทางด้านข้างของ 2p_z ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 พันธะพายจะเกิดจากการซ้อนเหลื่อมกันทางด้านข้างของ 2p_z

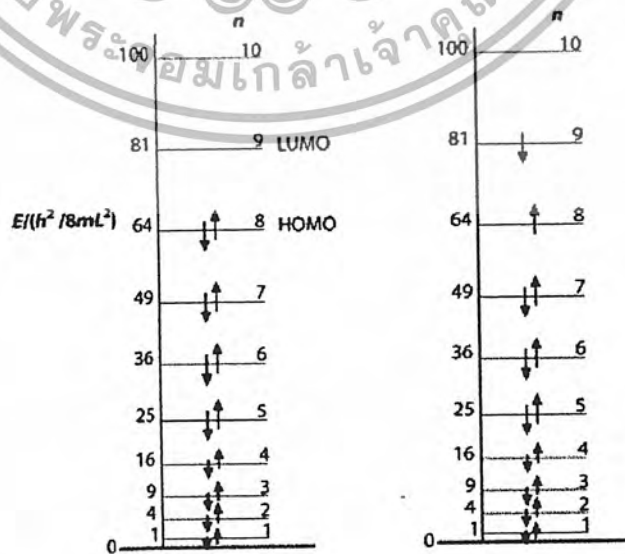
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พันธะที่เกิดขึ้นจะให้ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสูง ที่บริเวณเหนือและใต้ระนาบของอะตอมที่สร้างพันธะโดยมีหลักการว่าออร์บิทัลอะตอมสองตัวที่มาทำปฏิกริยากันสร้างออร์บิทัลโมเลกุล (ซึ่งเป็นแบบ sp^2) เพื่อให้เกิดเป็นสารกึ่งตัวนำอินทรีย์นั้นจะเกิดเป็นทั้งแบบ ออร์บิทัลโมเลกุลแบบสร้างพันธะ(bonding molecular orbital)และออร์บิทัลโมเลกุลแบบสร้างต้านพันธะ(antibonding molecular orbital)ขึ้นโดย bonding molecular orbital จะมีพลังงานต่ำกว่า antibonding molecular orbital ซึ่งหมายถึงว่า bonding molecular orbital สนับสนุนหรือก่อให้เกิดการสร้างพันธะขึ้นนั่นเอง ซึ่งกลับกันกับ antibonding molecular orbital ขนาดของโมเลกุลจะใหญ่ขึ้นและจำนวนออร์บิทัลโมเลกุล(MO) เพิ่มขึ้น

ทฤษฎี "Free Electron Approximation" ใช้เพื่ออธิบายสถานะพลังงานทางควอนตัมที่แตกต่างกันของ "delocalized electron" ตาม "conjugated system" โดยสมมติว่า "core electron" ซึ่งอยู่ในบริเวณของพันธะซิกมาจะระหว่างอะตอมในโซ่(chain) โดยบังคับให้อยู่ระหว่างอะตอม (ไม่เคลื่อนที่อย่างอิสระไปตามสายโซ่ของ polymer)

การคำนวณระดับพลังงานในบ่อควอนตัมเป็นไปตามสมการ(2.1) โดยพลังงานของอนุภาคแสดงให้เห็นดังรูป 2.6

$$E_n = p^2/2m = n^2 h^2 / 8ML^2 \quad (2.1)$$



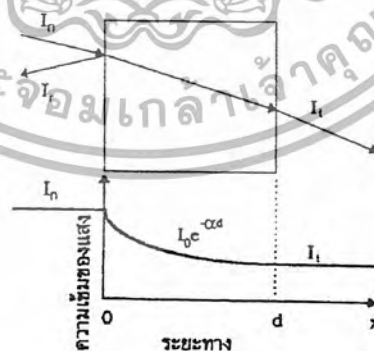
รูปที่ 2.6 ระดับพลังงานในบ่อควอนตัมสถานะพลังงานทางซ้ายมือคือกราฟแสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมายและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานะพลังงานทางซ้ายมือคือกราวด์สเตตต่ำสุดและเป็นระบบที่พบได้ทั่วไป การเติมเต็มของออร์บิทัลในในแต่ละระดับพลังงาน เป็นไปตามกฎของ "Aufbau principle" โดยออร์บิทัลโมเลกุลที่มีระดับพลังงานสูงสุดที่ยังถูกครอบครองโดยออร์บิทัล Highest Occupied Molecular Orbital (HOMO) ถูกเติมเต็มด้วยคู่อิเล็กตรอนที่มีสปินตรงข้ามกัน โดยโมเมนต์เชิงมุม (spin angular momentum) ทั้งหมดสำหรับคู่อิเล็กตรอนใน HOMO เป็น 0 ($S=0$) และที่สถานะทางขวามือซึ่งเป็นสถานะที่ถูกกระตุ้น ระบบจะมีระดับพลังงานสูงกว่า เนื่องจากการกระตุ้นจากปัจจัยภายนอกและออร์บิทัลจะถูกยกไปสู่ Lowest Unoccupied Molecular Orbital (LUMO) level ซึ่งสปินของออร์บิทัลในกรณีนี้ทั้งหมดยังคงเป็น 0 ($S=0$) สถานะนี้ไม่เสถียรและจะค่อยๆ ปล่อยอิเล็กตรอนกลับสู่สถานะพื้น

2.2 การวัดการส่งผ่านทางแสง (Transmittance Spectroscopy)

การศึกษาวัดสเปกตรัมการสะท้อนและการทะลุผ่านของแสงนี้จะกล่าวถึงสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสง และองค์ประกอบของการวัดสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสง เมื่อแสงเดินทางไปกระทบแผ่นฟิล์มบาง แสงบางส่วนจะสะท้อนกลับที่ผิวของแผ่นฟิล์มบาง แสงบางส่วนจะสะท้อนกลับที่ผิวของแผ่นฟิล์มบาง บางส่วนของแสงจะเดินทางเข้าไปในแผ่นฟิล์มบางและถูกดูดกลืน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 2.7 แสดงภาพจำลองเมื่อแสงตกกระทบลงบนแผ่นฟิล์มบาง

เมื่อ I_0 คือ ความเข้มแสงตกกระทบแผ่นฟิล์มบาง
 เมื่อ I_r คือ ความเข้มแสงสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- It คือ ความเข้มแสงทะลุผ่าน
- li คือ ความเข้มแสงที่เดินทางเข้าสู่แผ่นฟิล์มบาง
- R คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนของแสง(Reflectivity)
- T คือ สัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสง(Transmittance)
- α คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแสง(Absorption coefficient)
- d คือ ระยะทางที่แสงเดินทางในแผ่นฟิล์มบาง

สัมประสิทธิ์การสะท้อนของแสงมีค่า

$$R = I_r / I_o \tag{2.2}$$

$$I_r = R I_o \tag{2.3}$$

เพราะฉะนั้น ความเข้มแสงที่เดินทางเข้าสู่แผ่นฟิล์มบางมีค่า

$$I_i = I_o - I_r \tag{2.4}$$

$$I_i = I_o - R I_o \tag{2.5}$$

$$I_i = (1 - R) I_o \tag{2.6}$$

เมื่อแสงนี้เดินทางเข้าสู่แผ่นฟิล์มบางจะถูกดูดกลืนทำให้ความเข้มแสงภายในแผ่นฟิล์มบางลดลงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลตามระยะทาง ดังนั้นความเข้มแสงทะลุผ่านมีค่าดังสมการ

$$I_t = I_i \times e^{-\alpha d} \tag{2.7}$$

$$I_t = (1 - R) I_o \times e^{-\alpha d} \tag{2.8}$$

ถ้าไม่มีการสะท้อนแสงที่ผิวด้านหลัง สัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสงจะมีค่าเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T = I_t/I_o = (1 - R)I_o \times e^{-\alpha d} \tag{2.9}$$

ในกรณีที่มีการสะท้อนแสงทั้งที่ผิวด้านหน้าฟิล์มบางและที่ผิวด้านหลังแผ่นฟิล์มบางจำนวน
 นวนครั้งที่ เป็นอนันต์ ดังรูปที่ 2.8 สัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสงมีค่า

$$T = [(1 - R)^2 e^{-\alpha d}] / [1 - R^2 e^{-2\alpha d}] \tag{2.10}$$



รูปที่ 2.8 แสดงการสะท้อนแสงทั้งที่ผิวด้านหน้าแผ่นฟิล์มบางและที่ผิวด้านหลังแผ่นฟิล์มบาง
 จำนวนครั้งที่ เป็นอนันต์

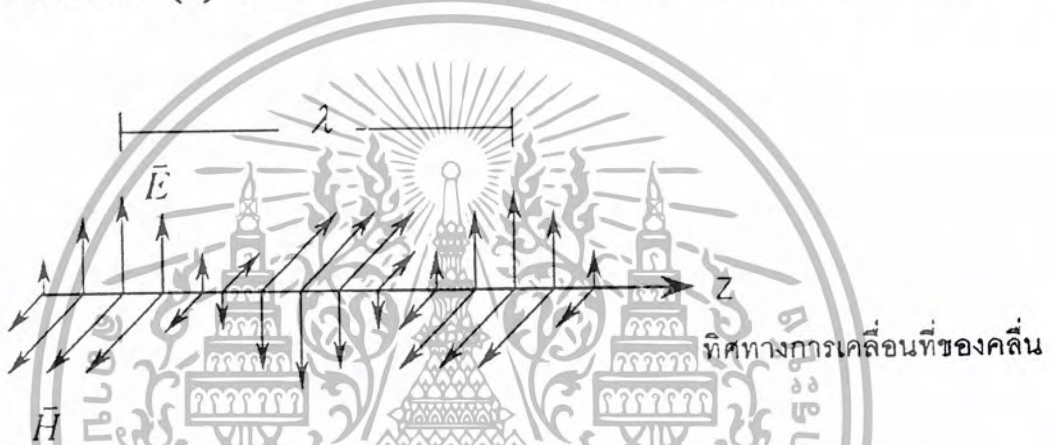
2.3 โพลาริเซชัน (Polarization)

แสงที่เป็นคลื่นระนาบ และมีทิศของสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงหรือสั่นแนวคงที่แนวหนึ่งเรียก
 เรียกว่าเป็นแสงโพลาริเซชันเชิงเส้นหรือเรียกว่า มีสมบัติโพลาริเซชันเชิงเส้น (Linearly polarized light)
 สำหรับสนามแม่เหล็ก ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงหรือสั่นในแนวที่ตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า ก็จะมีลักษณะ
 เช่นเดียวกับสนามไฟฟ้ากล่าวคือมีการสั่นในแนวคงที่แนวหนึ่งซึ่งเป็นแนวที่ตั้งฉากกับแนวของสนาม
 ไฟฟ้าและจะได้ทิศทางของ $E \times B$ เป็นทิศเดียวกับแนวการเคลื่อนที่ของคลื่น อย่างไรก็ตามแสงโดย
 ทั่วไปมักไม่มีสมบัติดังกล่าว เช่นแสงที่ได้จากการเผาไส้หลอดให้ร้อน ทิศของสนามไฟฟ้าจะไม่อยู่ใน
 แนวคงที่แนวใดแนวหนึ่ง และไม่มีการเปลี่ยนแปลงกับตำแหน่งอย่างเป็นระเบียบใดๆ แสงเช่นนี้เป็น
 แสงที่ไม่โพลาริเซชัน (Unpolarized light) ในบางกรณีแสงอาจมีการผสมกันระหว่างแสงโพลาริเซชันและ
 แสงไม่โพลาริเซชัน กรณีนี้เรียกว่าเป็นแสงโพลาริเซชันบางส่วน (Partially polarized light) ในกรณีของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงโพลาไรซ์นั้นนอกจากจะเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นแล้ว อาจเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงวงกลม หรือเชิงวงรี (Circularly or Elliptically polarized light)

ปรากฏการณ์การแทรกสอด และการเลี้ยวเบนนั้นเกิดขึ้นได้กับคลื่นทุกชนิด ทั้งคลื่นตามขวางเช่นแสง และคลื่นตามยาวเช่นคลื่นเสียงแต่ในกรณีของโพลาไรซ์จะเกิดเฉพาะในคลื่นตามขวางเท่านั้นไม่เกิดในคลื่นตามยาว และเป็นที่น่าทึ่งกันว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีทิศการสั่นของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก (\vec{H}) และตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น



รูปที่ 2.9 แสดงการสั่นของแสงธรรมชาติ ซึ่งมีสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก (\vec{H})

พิจารณาแอมพลิจูดของสนามไฟฟ้าที่แสดงในรูปที่ 2.9 สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\vec{E}(z,t) = E_{0Y} \sin[(2\pi z/\lambda) - 2\pi vt + \phi_0] \quad (2.11)$$

เมื่อแสงเคลื่อนที่ในทิศทางตามแกน +Z และเป็นโพลาไรซ์เชิงเส้นมีทิศทางของสนามไฟฟ้าตามแกน Y เมื่อ v เป็นความถี่ของคลื่นแสง λ เป็นความยาวคลื่น E_{0Y} เป็นแอมพลิจูดสูงสุด และ ϕ_0 เป็นค่าคงที่ของเฟส โดยมีความถี่เชิงมุมที่ได้คือ $\omega = 2\pi v$ และมีเลขคลื่น (Wave Number) $k = 2\pi/\lambda$ แล้วสมการที่ (2.11) เขียนใหม่ได้เป็น

$$\vec{E}(z,t) = E_{0Y} \sin[kz - \omega t + \phi_0] \quad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสนามแม่เหล็กของแสงจะสั้น เหมือนกับสนามไฟฟ้าแต่เวกเตอร์สนามแม่เหล็ก \vec{H} จะทำมุมตั้งฉากกับสนามไฟฟ้าในทิศทางตาม X ซึ่งสนามแม่เหล็กมีค่าเป็น

$$\vec{H}(z, t) = H_{0x} \sin[kz - \omega t + \phi_0] \quad (2.13)$$

แสงโดยทั่วไปเป็นแสงไม่โพลาไรซ์นั่นคือสนามไฟฟ้ามีการสั่นในหลายๆระนาบ ในเวลาเดียวกันถ้าแสงไม่โพลาไรซ์เคลื่อนผ่านแผ่นโพลาไรซ์(Polaroid) โดยมีทิศทางของสนามไฟฟ้าขนานกับแกนโพลาไรซ์ และมีลักษณะพิเศษ คือยอมให้โพลาไรซ์ในทิศทางที่ขนานกับแกนโพลาไรซ์ผ่านและจะดูดกลืนโพลาไรซ์ที่ตั้งฉากกับแกน ถ้ามีแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นตกกระทบทำมุม θ กับแกนของโพลาไรซ์ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นตกกระทบทำมุม θ กับแกนของโพลาไรซ์

สนามไฟฟ้าส่วนที่ขนานกับแกนของแผ่นโพลาไรซ์คือ $E \cdot \cos \theta$ จะสามารถผ่านแผ่นโพลาไรซ์ออกมาได้ และเนื่องจากความเข้มของแสงเป็นปฏิภาคโดยตรงกับแอมพลิจูดยกกำลังสอง ซึ่งจะได้ความเข้มของแสงโพลาไรซ์ที่ผ่านออกมาจากแผ่นโพลาไรซ์ดังสมการที่ (2.14) หรือเรียกได้ว่ากฎของมาลัส (Malus' law) ดังนี้

$$I = I_0 \cos^2 \theta \quad (2.14)$$

เมื่อ I_0 เป็นความเข้มแสงที่ตกกระทบมากที่สุดที่เข้ามายังแผ่นโพลาไรซ์

แผ่นโพลาไรซ์ใช้ทำเป็นโพลาไรเซอร์(Polarizer) หรือตัวทำแสงโพลาไรซ์โดยทำแสงที่ผ่าน

แผ่นโพลาไรซ์ให้เป็นแสงโพลาไรซ์นอกจากนี้ยังสามารถใช้โพลาไรซ์อีกแผ่นหนึ่งวางซ้อนกัน

และทำหน้าที่เป็นตัววิเคราะห์(Analyzer) เพื่อทำหน้าที่ในการจัดมุมของการโพลาไรซ์ของแสงที่ผ่าน โดยถ้าวางแกนของโพลาไรเซอร์ทั้งสองแผ่นตั้งฉากกัน (90 องศา) จะไม่มีแสงส่องผ่านออกมา แต่ถ้าหมุนตัววิเคราะห์ให้ทำมุม θ กับตัวทำแสงโพลาไรซ์ โดยให้ความเข้มของแสงโพลาไรซ์ที่ออกจากตัวทำแสงโพลาไรซ์ไปยังตัววิเคราะห์เป็น I_0 ความเข้มแสงที่ได้ออกมาจากตัววิเคราะห์จะเป็นไปตามกฎของมาลัส และถ้าหมุนตัววิเคราะห์ไปเป็นมุมต่างๆ แล้วหาค่าความเข้มสูงสุด(I_{max}) และความเข้มต่ำสุด (I_{min})แล้วสามารถพิจารณาในเทอมของอัตราส่วนระหว่างความเข้มแสงสูงสุดและความเข้มแสงต่ำสุดที่ส่องผ่านออกมาหรือเป็นการวัดคุณภาพของลำแสงโพลาไรซ์ ER (Extinction Ratio)

$$ER = 10 \log(I_{max} / I_{min}) \quad (2.15)$$

ถ้าความแตกต่างระหว่าง I_{max} และ I_{min} มีค่ามากจะทำให้ค่า ER มากนั่นคือคุณภาพของลำแสงโพลาไรซ์ที่ได้จะดี

จากหลักการพื้นฐานของคลื่นแสงธรรมชาตินี้ จะพิจารณาเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการโพลาไรเซชันของแสง ซึ่งในการจำแนกชนิดของโพลาไรเซชันนั้น จะพิจารณาความสัมพันธ์ทางเฟส (ϕ_0) ของทิศทาง X และ Y และเปรียบเทียบขนาดระหว่าง E_x และ E_y ซึ่งสามารถจำแนกชนิดของแสงโพลาไรเซชันได้ดังนี้คือ แสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้น (Linearly Polarized Light) แสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลม (Circularly Polarized Light) และแสงโพลาไรซ์ชนิดวงรี(Elliptically Polarized Light)โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

2.4 ชนิดของแสงโพลาไรซ์

2.4.1 แสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้น

ในที่นี้จะพิจารณาว่าแสงเป็นส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าเท่านั้นเนื่องจากโพลาไรเซชันเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับเฉพาะคลื่นตามขวางเท่านั้นดังนั้นจากการที่คลื่นเคลื่อนที่ไปตามแกน Z จะสามารถแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นที่มีทิศทางตามแกน X ได้ดังนี้

$$\vec{E}_x = E_{0x} \sin[kz - \omega t + \phi_0] \hat{i} \quad (2.16)$$

เมื่อ E_{0x} เป็นแอมพลิจูดของสนามไฟฟ้า และ \hat{i} เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วยตามแกน X และในทำนองเดียวกันแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นที่มีทิศทางตามแกน Y สามารถเขียนได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\vec{E}_y = E_{0y} \sin[kz - \omega t + \phi_0] \hat{j} \tag{2.17}$$

เมื่อ \hat{j} เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วยตามแกน Y สนามไฟฟ้าของแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นสามารถกระทำในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางเคลื่อนที่และสามารถแสดงในรูปของผลรวมของเวกเตอร์ \vec{E}_x และ \vec{E}_y ได้เป็น

$$\vec{E} = \vec{E}_x + \vec{E}_y = [E_{0x} \hat{i} + E_{0y} \hat{j}] \sin[kz - \omega t + \phi_0] \tag{2.18}$$

แสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นซึ่งมีแกนโพลาไรเซชันทำมุมใดๆ กับทิศทางในระนาบ XY สามารถแสดงได้โดยส่วนประกอบทั้งสองตามแกน X และ Y ตามลำดับ ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นซึ่งมีมุมที่เปลี่ยนไป (ก) ตามแกน X (ข) ตามแกน Y (ค)

ทำมุม 45° กับแกน X ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามในส่วนประกอบของทั้งสองแกนจะต้องมีค่าความถี่เชิงมุม ω เหมือนกันและมีค่าของเฟส ϕ_0 เหมือนกันหรือต่างกันเท่ากับ π และต่อไปจะพิจารณาผลของการต่างกันของเฟสจากส่วนประกอบทั้งสองในกรณีอื่นๆ

2.4.2 แสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลม

ในกรณีที่แอมพลิจูดของคลื่นในส่วนประกอบของแกนที่ตั้งฉากกันนั้นเท่ากัน กล่าวคือ $E_{ox} = E_{oy} = E_0$ และมีความต่างเฟส $\Delta\phi = \pm\pi/2$ จะได้ว่า

$$\vec{E}_x(z,t) = \hat{i}E_0 \cos(kz - \omega t) \quad (2.19)$$

และ

$$\vec{E}_y(z,t) = \hat{j}E_0 \sin(kz - \omega t) \quad (2.20)$$

ซึ่งมีสมการคลื่นรวมเป็นดังนี้

$$\vec{E} = E_0 [\hat{i} \cos(kz - \omega t) + \hat{j} \sin(kz - \omega t)] \quad (2.21)$$

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นได้ว่าแอมพลิจูดของ \vec{E} คือ $(\vec{E} \cdot \vec{E})^{1/2} = E_0$ เป็นค่าคงที่ แต่ทิศของ \vec{E} เปลี่ยนไปตามเวลาโดยไม่อยู่ในระนาบหนึ่งดังเช่นในกรณีของแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นดังแสดงในรูปที่ 2.12 จะเห็นการเปลี่ยนแปลงที่ตำแหน่งใดๆ Z_0 บนแกน เมื่อ $t=0$ โดย \vec{E} จะอยู่บนแกนที่กำหนดไว้ซึ่งเป็นแกนอ้างอิง (Reference) ดังนั้น

$$\vec{E}_x = \hat{i}E_0 \cos(kz_0) \quad (2.22)$$

และ

$$\vec{E}_y = \hat{j}E_0 \sin(kz_0) \quad (2.23)$$

ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปจนกระทั่ง $t = kz_0 / \omega$ จะได้ว่า $\vec{E}_x = \hat{i}E_0 \cdot \vec{E}_y = 0$ และ \vec{E} อยู่ในแกน X คลื่นรวม \vec{E} จึงหมุนตามเข็มนาฬิกาด้วยความถี่เชิงมุม ω โดยมีทิศสวนทางกับทิศการเคลื่อนที่ของแสงตรงไปยังตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งกำเนิดแสงหรืออาจจะกล่าวได้ว่า \vec{E}_y นำ \vec{E}_x อยู่ $\pi/2$ เรเดียน ซึ่งหมายความว่า \vec{E}_y จะมีค่าสูงสุดก่อนที่ \vec{E}_x จะมีค่าสูงสุดล่วงหน้าไปก่อนถึง

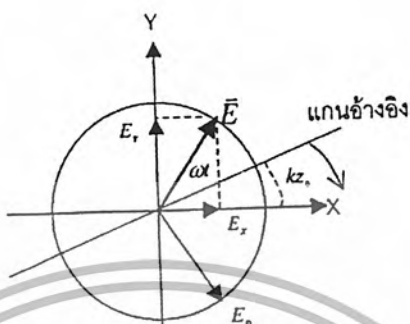
1 ใน 4 ของแต่ละรอบ จึงเห็นได้ว่าสนามไฟฟ้าหมุนเป็นวงกลมตามเข็มนาฬิกาและเวกเตอร์ \vec{E} จะหมุนไปครบรอบโดยแสงจะพุ่งไปข้างหน้าเท่ากับความยาวหนึ่งช่วงคลื่นซึ่งจะเรียกแสงที่มีลักษณะสถานะโพลาไรเซชันแบบนี้ว่า แสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมตามขวา (Right Circularly Polarization: RCP) โดยมีเฟส $\phi = +\pi/2$



รูปที่ 2.12 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมหมุนตามขวาและแนวการหมุนจากตำแหน่งที่ 1 ถึง 4 ตามลำดับ

- (ก) ส่วนประกอบของแสงเชิงเส้นที่ตั้งฉากกันมีแอมพลิจูดเท่ากันและเฟสต่างกัน 90°
 (ข) ผลรวมเวกเตอร์ของส่วนประกอบทั้งสองใน (ก)
 (ค) แสดงสนามไฟฟ้าในรูปของแผนภาพวงกลมซึ่งมองในทิศเข้าไปหาแหล่งกำเนิดแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 แสดงการหมุนของเวกเตอร์ไฟฟ้าในกรณีของแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมตามขวา

และในกรณีที่ตรงกันข้าม $\phi = -\pi/2$ จะได้ว่า

$$\vec{E} = E_0 [\hat{i} \cos(kz - \omega t) - \hat{j} \sin(kz - \omega t)] \quad (2.24)$$

จะเห็นได้ว่าแอมพลิจูดไม่ได้ต่างไปจากกรณีข้างต้น แต่ \vec{E} จะหมุนทวนเข็มนาฬิกาจึงเรียกว่าเป็นแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมตามซ้าย (Left Circularly Polarization: LCP) ซึ่ง \vec{E}_y จะตามหลัง \vec{E}_x ไปเป็น 1 ใน 4 ของแต่ละรอบ ทำให้หมุนทวนเข็มนาฬิกาดังแสดงในรูปที่ 2.14

พิจารณาโดยทั่วไป จะพบว่าสภาวะโพลาไรซ์ชนิดวงกลมทั้งสองแบบนี้จะเป็นไปได้เมื่อเฟส ϕ มีค่าต่างๆ กันตามลำดับดังต่อไปนี้

เมื่อ $\phi = +\pi/2 + 2m\pi$ โดยที่ $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ คือชนิดวงกลมตามขวา

เมื่อ $\phi = -\pi/2 + 2m\pi$ โดยที่ $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ คือชนิดวงกลมตามซ้าย

ถ้านำแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมทั้งสองแบบนี้ซึ่งมีแอมพลิจูดเท่ากันมารวมกัน ก็จะเป็นโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นไป

2.4.3 แสงโพลาไรซ์ชนิดวงรี

จากการพิจารณาที่ผ่านมารวมกันในส่วนประกอบของแสงโพลาไรซ์ ที่มีส่วนประกอบของเฟสเหมือนกันหรือต่างกัน π นั้น แสงโพลาไรซ์จะเป็นชนิดเชิงเส้น ในกรณีที่เฟสต่างกัน $\pi/2$ หรือ $-\pi/2$ และมีแอมพลิจูดเท่ากันจะเป็นส่วนประกอบของแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลม แต่ถ้าส่วนประกอบในการรวมกันนั้นทำให้ไม่เท่ากันจะเป็นกรณีของแสงโพลาไรซ์ชนิดวงรี

พิจารณาเมื่อ $E_{0x} \neq E_{0y}$ และ $\phi = +\pi/2$ จะได้ว่า

$$\vec{E}_x = E_{0x} \cos(kz - \omega t) \hat{i} \quad (2.25)$$

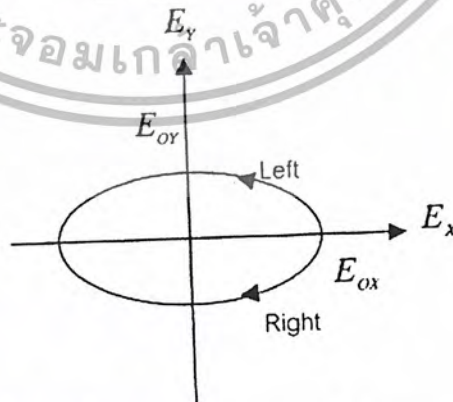
และ

$$\vec{E}_y = E_{0y} \cos(kz - \omega t + \phi) \hat{j} \quad (2.26)$$

หรือเขียนใหม่ได้ว่า

$$\frac{E_x^2}{E_{0x}^2} + \frac{E_y^2}{E_{0y}^2} = \cos^2(kz - \omega t) + \cos^2(kz - \omega t + \phi) = 1 \quad (2.27)$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์นี้คือสมการวงรีที่มีแกนหลักเป็น $2E_{0x}$ และ $2E_{0y}$ ตามแนวแกน X กับแนวแกน Y ตามลำดับดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.15 โดยเมื่อ $\phi = +\pi/2$ สนามไฟฟ้าจะเคลื่อนที่เป็นวงรีตามขวา แต่ถ้า $\phi = -\pi/2$ สนามไฟฟ้าจะเคลื่อนที่เป็นวงรีตามซ้าย



รูปที่ 2.15 แสดงการกำหนดทิศทางของการหมุนสำหรับโพลาไรซ์ชนิดวงรี

ในกรณีทั่วๆ ไปสมการของวงรีจะมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)^2 - 2\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)\left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)\cos\phi = \sin^2\phi \quad (2.28)$$

โดยที่แกนหลัก(Major Axis)จะทำมุม α กับแกน X ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ตามความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$\tan 2\alpha = \frac{2E_{0x}E_{0y}\cos\phi}{E_{0x}^2 - E_{0y}^2} \quad (2.19)$$


รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะทั่วไปของคลื่นโพลาไรซ์ชนิดวงรี

ซึ่งแกนหลักจะเป็นแกนเดียวกับแกน X โดยที่ $\alpha = 0$ เมื่อเฟสสัมพันธ์มีค่าดังต่อไปนี้
 $\phi = \pm\pi/2, \pm3\pi/2, \pm5\pi/2, \dots$

และจะได้ว่า

$$\frac{E_x^2}{E_{0x}^2} + \frac{E_y^2}{E_{0y}^2} = 1 \quad (2.29)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะเห็นได้ว่าตรงกับที่ได้ทำการพิจารณาแล้วในความสัมพันธ์ ตามสมการ (2.26) และในกรณีที่ $E_{0x} = E_{0y}$ จะได้ว่า $E_x^2 + E_y^2 = A_x^2$ เป็นความสัมพันธ์ในรูปแบบของโพลาริซนิควงกลมนั่นเอง และถ้าเฟสสัมพันธ์มีค่าเป็นจำนวนเท่าของจะได้ว่าสมการ (2.27) จะกลายเป็น

$$E_y = \pm \frac{E_{0y}}{E_{0x}} E_x \quad (2.21)$$

ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของโพลาริซนิคเชิงเส้นที่มีความชันเป็น $\pm E_{0y}/E_{0x}$ และในรูปที่ 2.17 นี้จะเป็นการแสดงลักษณะของคลื่นแสงโพลาริซนิควงรีตามซ้าย



รูปที่ 2.17 แสดงแสงโพลาริซนิควงรีตามซ้ายและแนวการหมุนจากตำแหน่งที่ 1 ถึง 4 ตามลำดับ

(ก) ส่วนประกอบของแสงเชิงเส้นที่ตั้งจากกันมีแอมพลิจูดต่างกันและเฟสต่างกัน 90°

(ข) ผลรวมเวกเตอร์ของส่วนประกอบทั้งสองใน (ก)

(ค) แสดงสนามไฟฟ้าในรูปของแผนภาพวงกลมซึ่งมองในทิศเข้าไปหาแหล่งกำเนิดแสง

2.5 หลักการของการโพลาไรซ์ใน Cube Beamsplitter

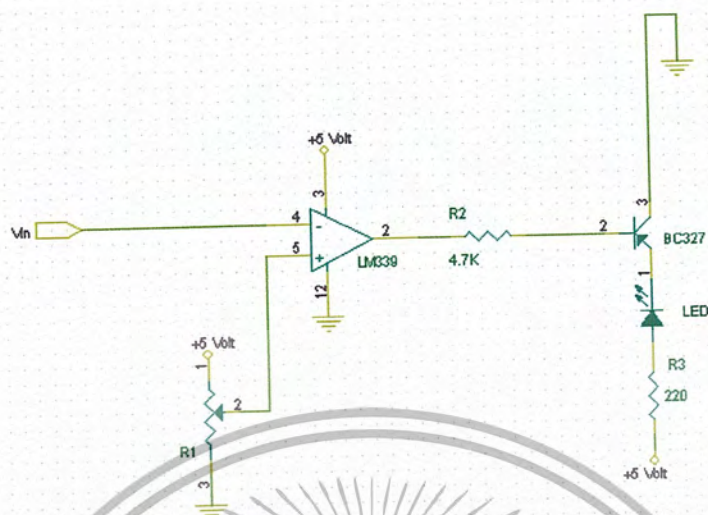
แสงไม่โพลาไรซ์เมื่อผ่าน beamsplitter แสดงดังรูปที่ 2.18 จะถูกแยกออกเป็นสองระนาบการโพลาไรซ์ที่ตั้งฉากกันเมื่อผ่าน beamsplitter นั้นคือระนาบ P (ระนาบการโพลาไรซ์ของแสงที่ขนานกับระนาบตกกระทบ) กับ S (ระนาบการโพลาไรซ์ ของแสงที่ตั้งฉากกับระนาบตกกระทบ) โดยที่ระนาบการโพลาไรซ์ P จะเกิดจากการที่แสงผ่าน beamsplitter ส่วนระนาบ S จะเกิดจากการสะท้อนที่ beamsplitter โดยมีอัตราส่วนของความเข้มในการแยกอยู่ที่ 100:1 โดย beamsplitter นี้สามารถใช้ได้ทั้งในเลเซอร์ที่เป็นแบบพัลส์และมีกำลังเอาต์พุตสูง



รูปที่ 2.18 แผนภาพแสดงการส่งผ่านแสงของ Cube beamsplitter

2.6 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ(Comparator)

ค่าความเข้มแสงที่ได้จากตัวตรวจจับ(Detector) ระหว่างค่าปิดสนามไฟฟ้ากับเปิดสนามไฟฟ้าจะมีค่าแตกต่างกัน จากนั้นจะนำสัญญาณ ไปทำการเปรียบเทียบสัญญาณซึ่งสามารถปรับค่าได้จาก R_1 เพื่อแสดงผล ON-OFF ที่ LED โดยในการทดลองนี้จะต้องทำวงจรเปรียบเทียบ วงจรเพื่อทำการเปรียบเทียบสัญญาณที่ 2 ของสัญญาณ



รูปที่ 2.19 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ comparator

โดยการทำงานของของวงจรเปรียบเทียบคือ V_{in} เป็นตัวรับแรงดันจากภายนอก (ขา 4) ถ้าแรงดันมีค่ามากกว่าแรงดันที่กำหนด (ขา 5) แรงดันที่เอาต์พุต (ขา 2) จะเป็นกราวด์ซึ่งทรานซิสเตอร์จะทำงานทำให้มีกระแสแล่นไปที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ทำให้ LED ON ซึ่งกรณีนี้จะเป็นการเปรียบเทียบแบบกลับ (inverse comparator)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การศึกษาสมบัติทางแสงของ Polyurethane, DNA, Alq₃, และ CuPc

3.1.1 ศึกษาทฤษฎีการดูดกลืนแสง, การโฟลาริซของแสง, ทฤษฎีของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์, และสมบัติทางแสงของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์

3.1.2 ศึกษาหลักการดูดกลืนแสงใน DNA, Polyurethane, फिल्मบางอินทรีย์ Alq₃ และ फिल्मบางอินทรีย์ CuPc



1.CuPc(200nm) 2.Alq₃(150nm) 3.Alq₃(75nm) 4.Alq₃(50nm) 5.Alq₃(100nm) 6.Glass slide

รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองสร้าง optical logic gate โดย CuPc ปลุกที่ อุณหภูมิ 60^oc และ Alq₃ ปลุกที่อุณหภูมิ 80^oc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงตัวอย่าง DNA ที่ใช้ในการทดลองสร้าง optical logic gate

3.1.3 ทำการทดลองวัดค่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสง(light absorption) ใน DNA, Polyurethane, และฟิล์มบางอินทรีย์Alq₃, CuPc, Alq₃-CuPc โดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer)



รูปที่ 3.3 แสดงเครื่องวัดค่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงโปรแกรมประกอบเครื่องวัดค่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงสเปกโทรโฟโตมิเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

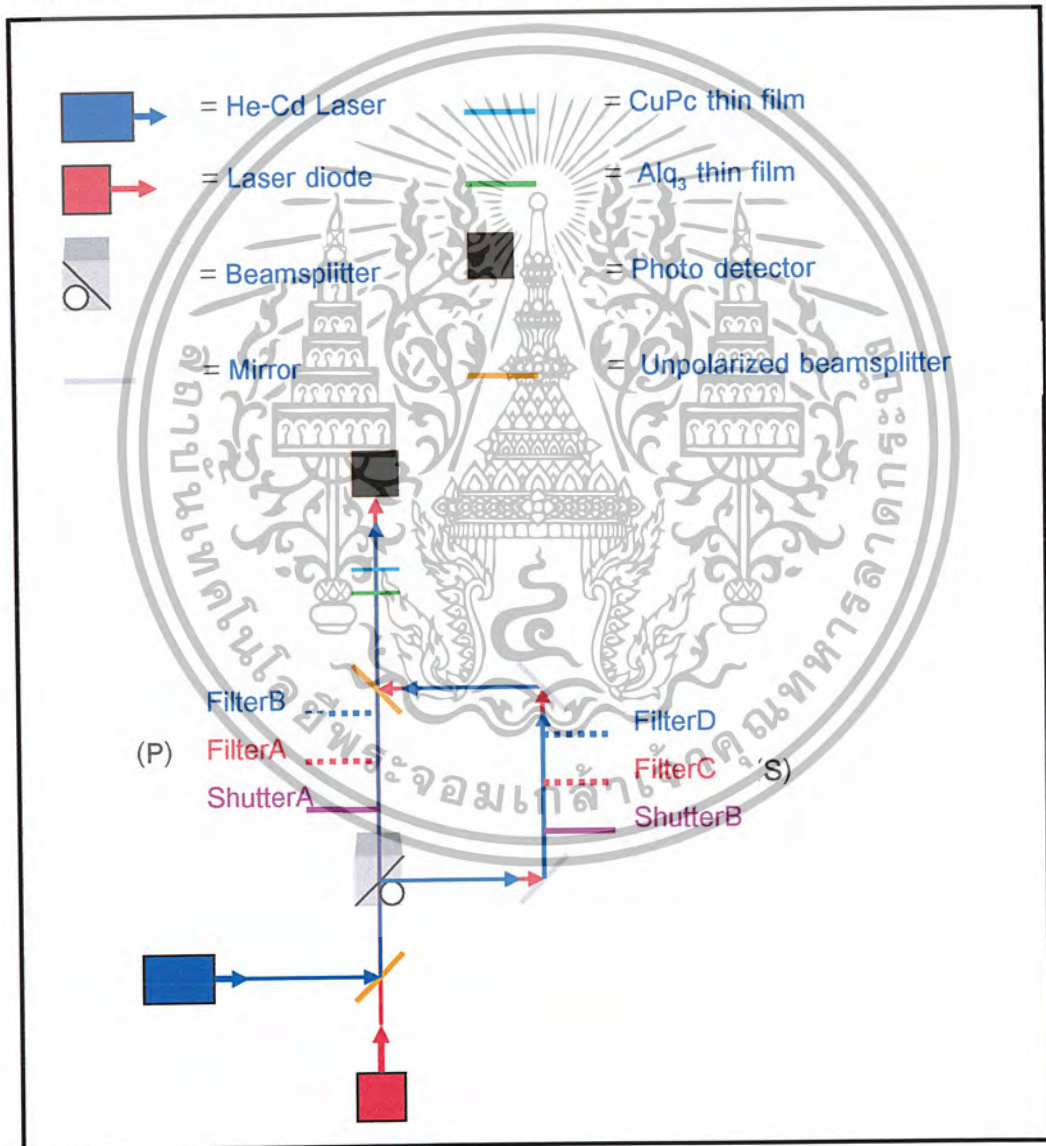
3.2 การทดลองเพื่อสร้าง optical logic gate

ทำการทดลองวัดค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง Alq₃ และ CuPc เมื่อยิงแสงเลเซอร์คู่ He-Cd Laser และ Laser diode ผ่านฟิล์มบาง Alq₃-CuPc

ShutterA,B = กั้นแสง

FilterA,C = กรองแสงสีแดง(laser diode)

FilterB,D = กรองแสงสีน้ำเงิน(He-Cd laser)



รูปที่ 3.5 แสดงแผนผังในการจัดชุดการทดลองเพื่อใช้สร้าง optical logic gate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากชุดการทดลองดังรูปที่ 3.5 ทำการทดลองยิงแสงเลเซอร์ที่ไม่โพลาไรซ์ 2 ชุด โดยชุดแรก มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 325-442nm (He-Cd laser) และชุดที่สองเลเซอร์ไดโอด มีความยาวคลื่น ในช่วง 660-680nm (Laser diode) ผ่าน beamsplitter พร้อมๆกันโดยให้ลำแสงอยู่ในแนวเดียวกัน เราจะได้ทั้งแสงเลเซอร์ที่โพลาไรซ์ตั้งฉากกับระนาบตกกระทบ (S) และแสงเลเซอร์ที่โพลาไรซ์ขนานกับระนาบตกกระทบ (P) ออกมาจาก beamsplitter โดย P polarized จะผ่าน beamsplitter ออกมา ในแนวตรง ส่วน S polarized จะสะท้อนออกมาด้านข้าง โดยทำการทดลองทั้งหมด 4 แบบ ด้วยกันคือ

1. (P,P) ทำได้โดยปิด shutter B
2. (S,S) ทำได้โดยปิด shutter A
3. (P,S) ทำได้โดยปิด filter A, D
4. (S,P) ทำได้โดยปิด filter B, C

ซึ่งทั้ง 4 แบบนี้จะนำไปใช้เป็นอินพุทของ logic gate โดยให้ on state (logic 1) แทนด้วย S และ off state (logic 0) แทนด้วย P แล้วทำการวัดเอาต์พุตที่ได้จากทั้ง 4 แบบจากโฟโตดีเทกเตอร์เราก็ จะได้ความสัมพันธ์ของอินพุทและเอาต์พุตทั้งหมด 4 ชุดด้วยกันและเราสามารถสร้าง logic OR ได้โดยการนำเอาฟิล์มบาง Alq3 ออกโดย

1. ทำการปิด shutter B และ ปิด filter B เราจะได้อินพุทเป็น P โพลาไรซ์ของเลเซอร์ไดโอด
2. ทำการปิด shutter A และ ปิด filter D เราจะได้อินพุทเป็น S โพลาไรซ์ของเลเซอร์ไดโอด

ซึ่งจะทำให้เกิดความสัมพันธ์ของอินพุทและเอาต์พุตในแบบ logic NOT ซึ่งจะถูกนำไปใช้แทน สถานะทางลจิกทางแสงต่อไป

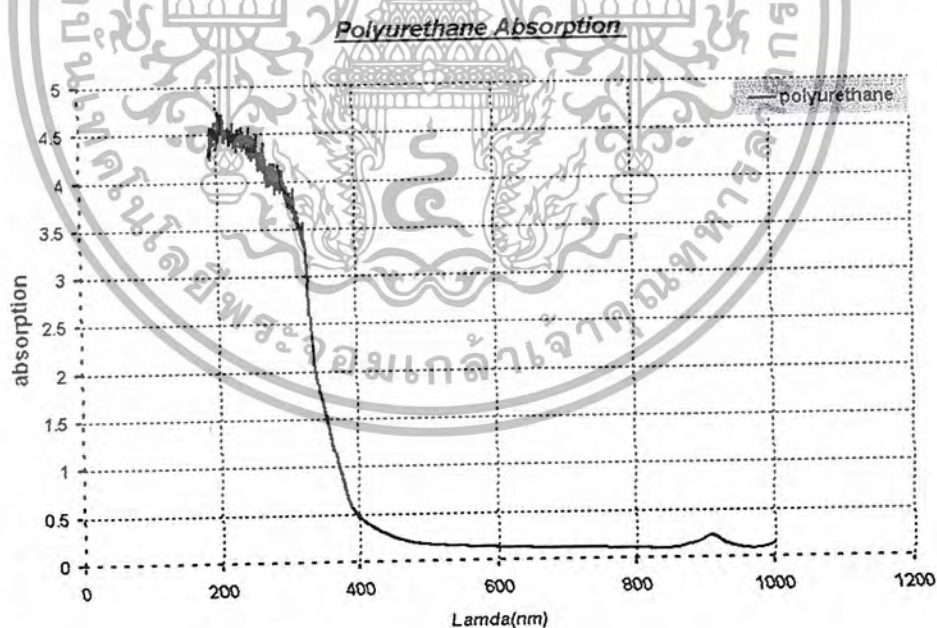
บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การทดลองวัดค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์และอื่นๆ

จากการทดลองเราได้ทำการหาวัสดุที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้สร้าง optical logic gate โดยทำการทดลองวัดคุณสมบัติทางแสง ซึ่งวัสดุที่เรานำมาใช้ในการทดลองคือ polyurethane, DNA, Alq_3 , CuPc และอื่นๆอีกหลายชนิด โดยดูความเหมาะสมของช่วงการดูดกลืนแสงที่สอดคล้องกับความยาวคลื่นแสงของเลเซอร์ที่ใช้ในการทดลอง โดยจะทำการอธิบายผลการทดลองที่ได้จากการวัดคุณสมบัติทางแสงดังต่อไปนี้

เมื่อเราทำการวัดค่าประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงของโพลียูรีเทน (polyurethane) ที่ความยาวคลื่นต่างๆกัน เราจะได้กราฟดังรูป 4.1 โดยมีความละเอียด (resolution) ของการวัดอยู่ที่ทุกๆ 2 nm



รูปที่ 4.1 กราฟการดูดกลืนแสงของ polyurethane ที่ค่าความยาวคลื่นต่างๆ

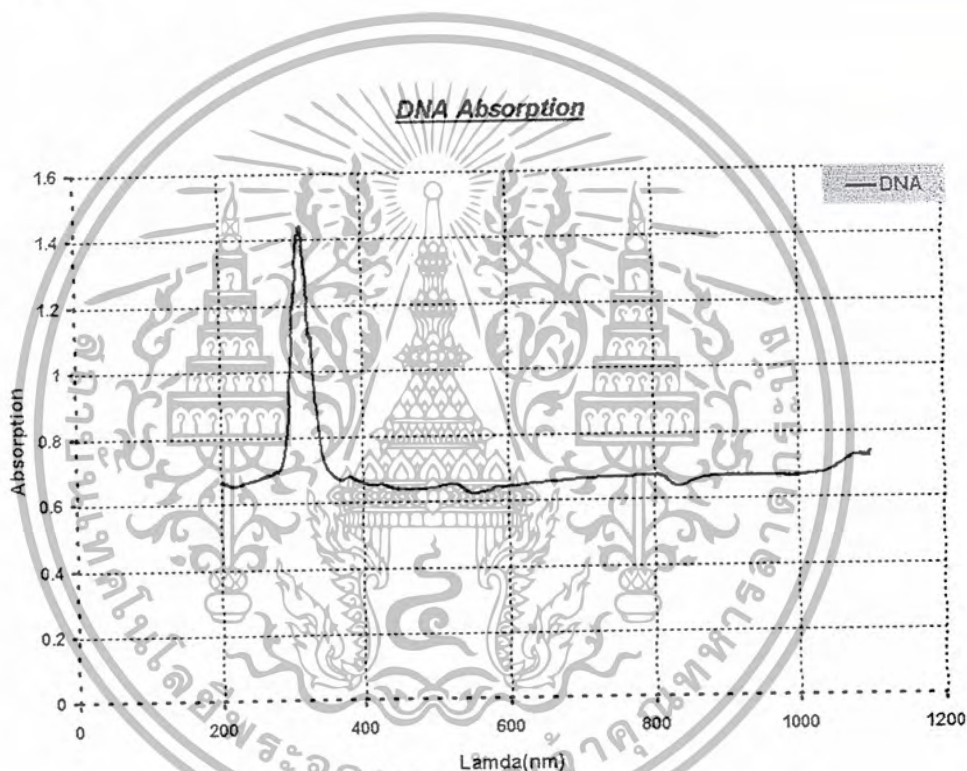
จากการทดลองจะพบว่า ค่าการดูดกลืนแสงในโพลียูรีเทนจะมีช่วงการดูดกลืนแสง อยู่ที่

ช่วง 200-360nm และมีพีคของการดูดกลืนแสงอยู่ที่ประมาณ 270nm ซึ่งใกล้เคียงกับช่วงความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยาวคลื่นของ He-Cd Laser ซึ่งมีช่วงความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 325-442nm แต่เมื่อเรานำมาทำการทดลองพบว่าไม่เหมาะที่จะทำเป็น optical logic gate เนื่องจากแรงดันเอาต์พุตไม่เหมาะสมที่จะทำเป็น optical logic gate

เมื่อเราทำการวัดค่าประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงของ DNA ที่ความยาวคลื่นต่างๆ เราจะได้กราฟดังรูปที่ 4.2

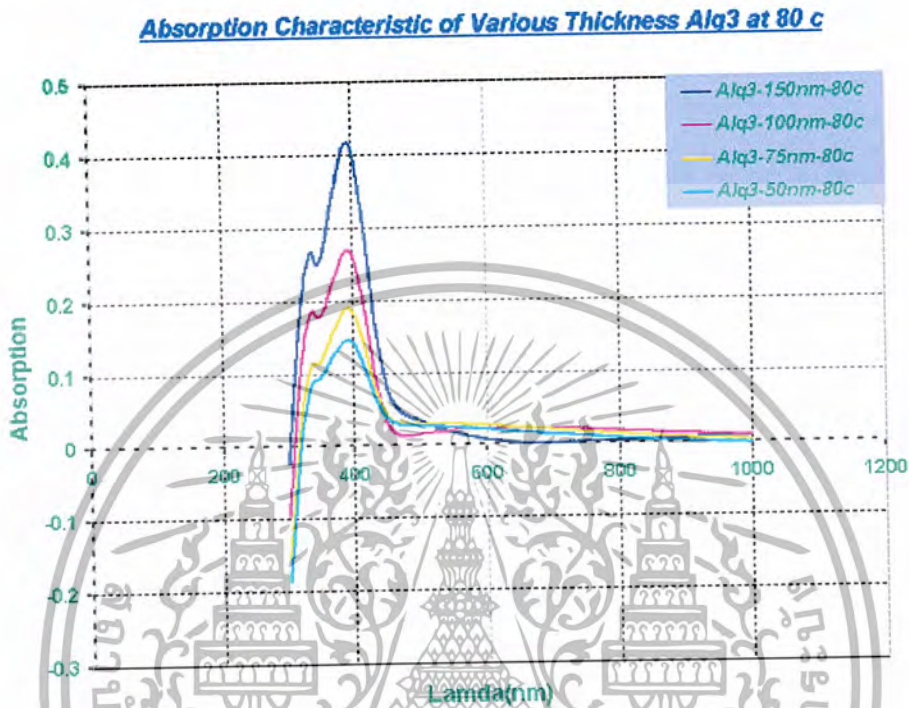


รูปที่ 4.2 กราฟการดูดกลืนแสงที่ค่าความยาวคลื่นต่างๆของฟิล์มบาง Al_2O_3 ที่มีความหนาตั้งแต่ 50,75,100, และ 150 nm ปลูกที่อุณหภูมิ $80^{\circ}C$

จากการทดลองจะพบว่าค่าการดูดกลืนแสงใน DNA จะมีช่วงการดูดกลืนแสงอยู่ที่ช่วง 290-350nm ซึ่งเป็นช่วงที่ค่อนข้างแคบและมีทิศของการดูดกลืนอยู่ที่ 320 nm ซึ่งใกล้เคียงกับช่วงความยาวคลื่นของ He-Cd Laser ซึ่งมีช่วงความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 325-442nm แต่เมื่อเรานำมาทำการทดลองพบว่าไม่เหมาะที่จะทำเป็น optical logic gate เนื่องจากแรงดันเอาต์พุตไม่เหมาะสมที่จะทำเป็น optical logic gate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราทำการวัดค่าประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงของฟิล์มบางอินทรีย์ Alq_3 ที่มีความหนาต่างๆ จะได้กราฟดังรูปที่ 4.3

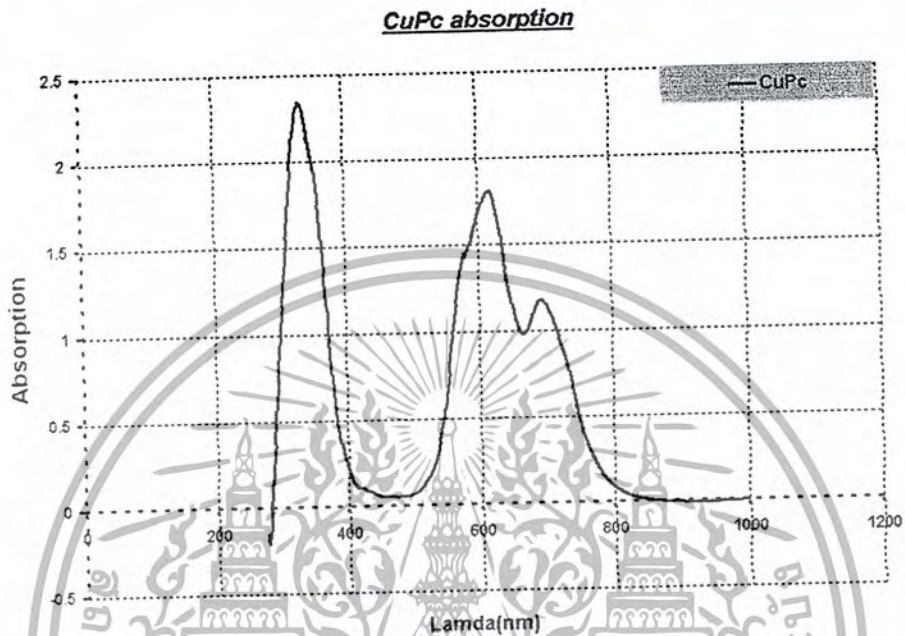


รูปที่ 4.3 กราฟการดูดกลืนแสงที่ค่าความยาวคลื่นต่างๆของฟิล์มบาง Alq_3 ที่มีความหนาดังแต่ 50, 75, 100, และ 150 nm ปลูกที่อุณหภูมิ 80c°

สังเกตได้ว่าฟิล์มจะมีการดูดกลืนแสงช่วงความยาวคลื่นประมาณ 300-450 nm ได้ดีและมีพีคของการดูดกลืนอยู่ที่ประมาณ 400nm และถ้าเราเปลี่ยนแปลงความหนาของฟิล์มให้มีความหนาเพิ่มขึ้นจาก 50, 75, 100, ไปจนถึง 150 nm พีคของการดูดกลืนแสงก็จะมีค่าสูงขึ้นตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากเมื่อวัสดุมีความหนาเพิ่มขึ้นแสงที่ผ่านตัวกลางที่สามารถดูดกลืนแสงก็จะมีค่าความเข้มของแสงที่ผ่านตัวกลางน้อยลง (เพราะถูกดูดกลืนในตัวกลาง) แสงจะมีความเข้มลดลงแบบเอกซ์โปเนนเชียลตามสมการ $I = I_0 e^{-\alpha d}$ ซึ่งเป็นสมการสำหรับหาความเข้มของแสงสำหรับตัวกลางที่มีการดูดกลืนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจากการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง CuPc เราจะได้ภาพ
 ดังรูปที่ 4.3

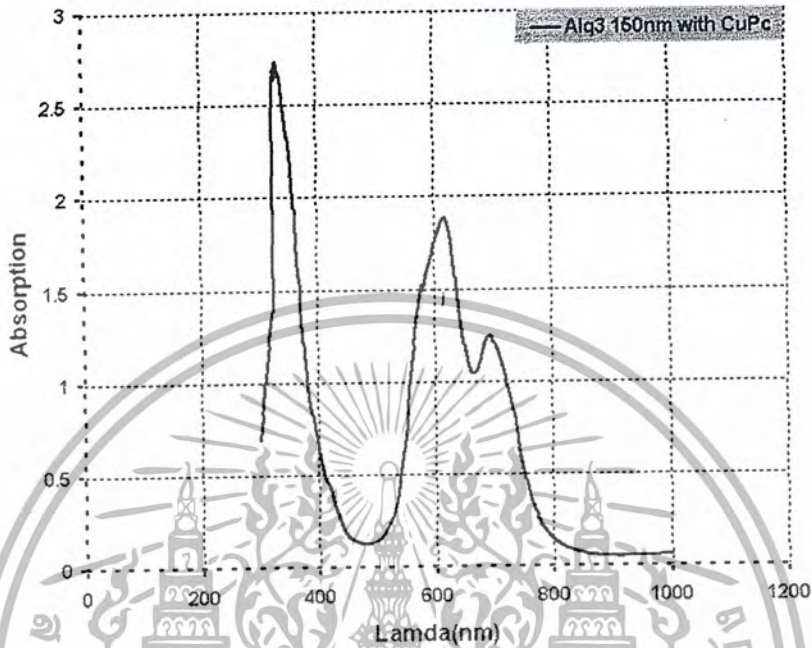


รูปที่ 4.4 กราฟการดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง CuPc ที่ค่าความยาวคลื่นต่างๆ

จากกราฟฟิล์มบาง CuPc จะมีช่วงการดูดกลืนแสง 2 ช่วงด้วยกันคือ 300-400nm และ 540-750nm และมีพีคของการดูดกลืนแสงอยู่สองจุดคือ 320nm และประมาณ 660nm

เมื่อเรานำฟิล์มบาง Alq_3 (150nm ปลูกที่อุณหภูมิ $80^\circ C$) และฟิล์มบาง CuPc (200nm) ปลูกที่อุณหภูมิ $60^\circ C$ มาวัดค่า absorption เราจะได้กราฟดังรูปที่ 4.5

Alq3 150nm with CuPc absorption



รูปที่ 4.5 กราฟการดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง Alq₃ ที่มีความหนา 150nm ปลูกที่อุณหภูมิ 80°C กับฟิล์มบาง CuPc ที่มีความหนา 200nm ปลูกที่อุณหภูมิ 60°C

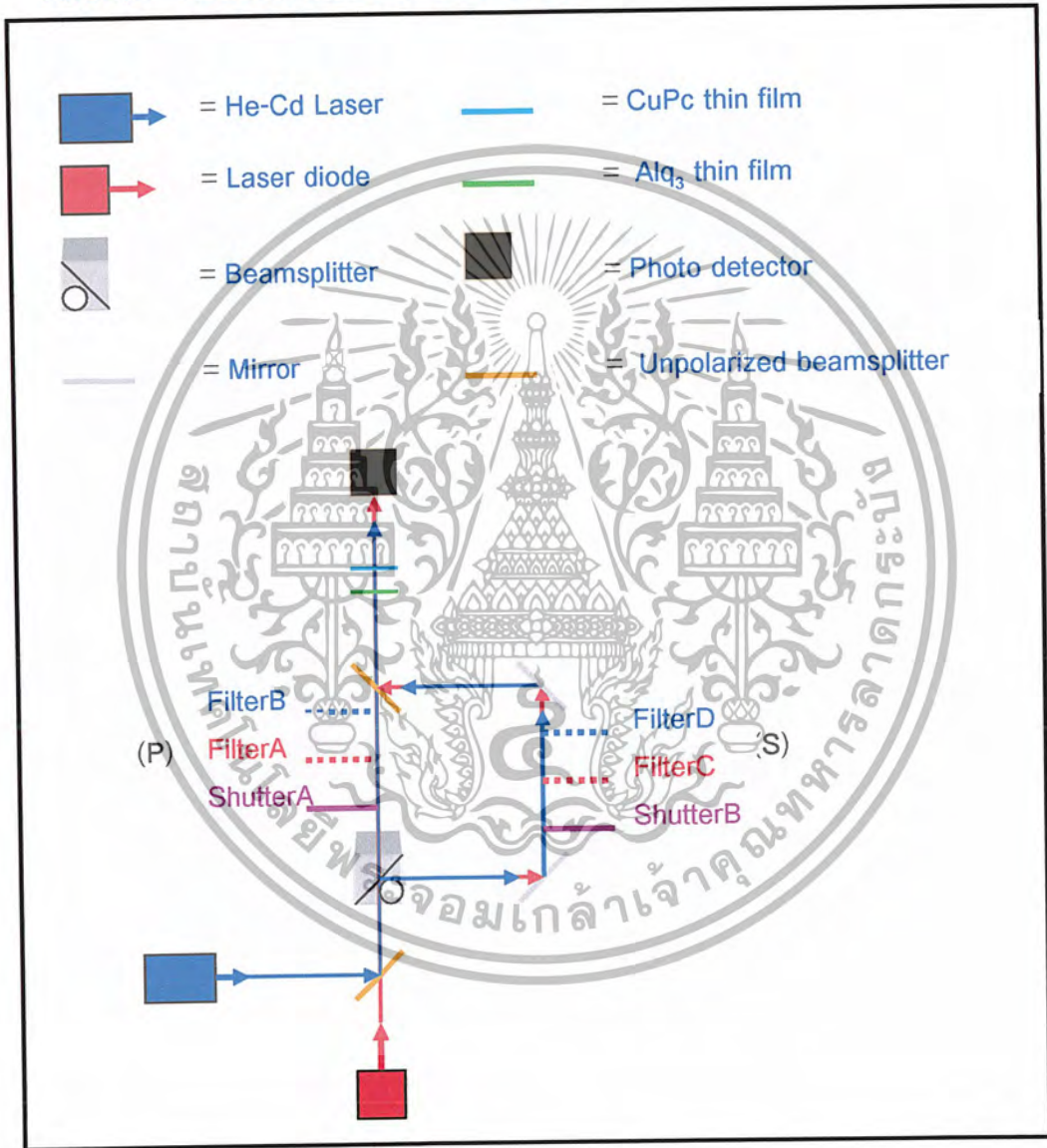
จากกราฟเราจะเห็นช่วงการดูดกลืนแสงสองช่วงด้วยกันคือ 275-420nm กับ 550-790nm ซึ่งมีค่าพีคของการดูดกลืนอยู่ที่ประมาณ 300nm และ 640nm โดยจากกราฟทั้งหมดเมื่อเรานำมาทำการทดลองและวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.4 เราพบว่า วัสดุที่มีช่วงการตอบสนองต่อแสงเหมาะสมเพียงพอที่จะนำไปสร้างเป็น optical logic gate ได้คือ Alq₃ และ CuPc ซึ่งผลตรงนี้เราสามารถนำเอาไปสร้างเป็น logic gate ได้โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.2

4.2 ชุดการทดลองพัฒนา organic thin film optical gate

Shutter = ปิดแสง

FilterA,C = กรองแสงสีแดง(laser diode)

FilterB,D = กรองแสงสีน้ำเงิน(He-Cd laser)



รูปที่ 4.6 แสดงแผนผังในการจัดชุดการทดลองเพื่อใช้สร้าง optical logic gate

จากชุดการทดลองดังรูปที่ 4.6 เมื่อเรายิงแสงเลเซอร์ไม่โพลาไรซ์ มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง

325-442nm(He-Cd laser)และ Laser diodeที่มีความยาวคลื่นในช่วง 660-680nm(laser diode)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านบีมสปลิตเตอร์(beamsplitter) พร้อมๆกัน เราจะได้แสงเลเซอร์ที่โพลาไรซ์ตั้งฉากกับระนาบตกกระทบ(S) และแสงเลเซอร์ที่โพลาไรซ์ขนานกับระนาบตกกระทบ(P) ออกมาจากบีมสปลิตเตอร์เมื่อเรานำเอาแสงโพลาไรซ์ทั้งสองชนิดนี้(SและP) ที่ออกมาจากบีมสปลิตเตอร์ฉายผ่านฟิล์มบาง CuPc และ Alq₃ ไปตกกระทบโฟโตดีเทคเตอร์และทำการวัดค่าความเข้มแสงทะลุผ่านในรูปของแรงดันที่ออกมาจากโฟโตดีเทคเตอร์(photo detector) แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างระนาบการส่งผ่านแสงและค่าความเข้มแสงที่ทะลุผ่านฟิล์มบางอินทรีย์(organic thin film) กับเกต(gate) ในแบบต่างๆ จะพบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะสร้างเกตถึงสองชนิดด้วยกันดังแสดงให้เห็นดัง ตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่4.1 แสดงสถานะของ OR gate

Including CuPc and Alq ₃ film (OR gate)		
Input A(Laser diode)	Input B(He-Cd Laser)	Voltage(V)
S(1)	S(1)	0.461
S(1)	P(0)	0.420
P(0)	S(1)	0.441
P(0)	P(0)	0.356

จากผลการทดลองดังตารางที่4.1เมื่อเรากำหนดให้ on state(logic1)แทนด้วยP(0) อยู่ในช่วงโวลต์ $V \geq 0.420$ และ $V \leq 0.360$ เป็น off state(logic 0)แทนด้วย S(1) เราจะสามารถสร้าง OR gate ดังตารางที่4.1

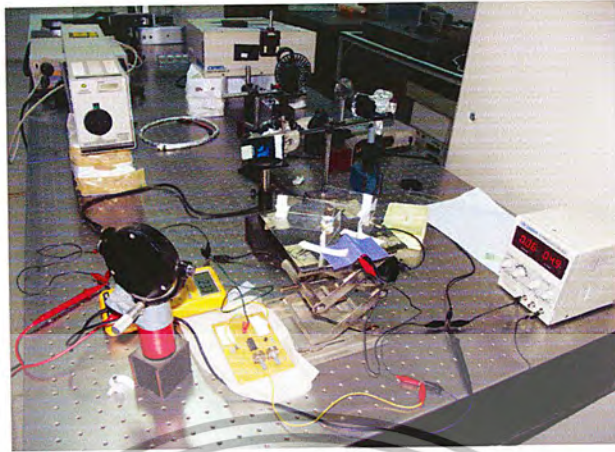
ตารางที่4.2 แสดงสถานะของ NOT gate

Including CuPc film (NOT gate)	
Input A(Laser diode)	Voltage(V)
P(0)	0.420
S(1)	0.331

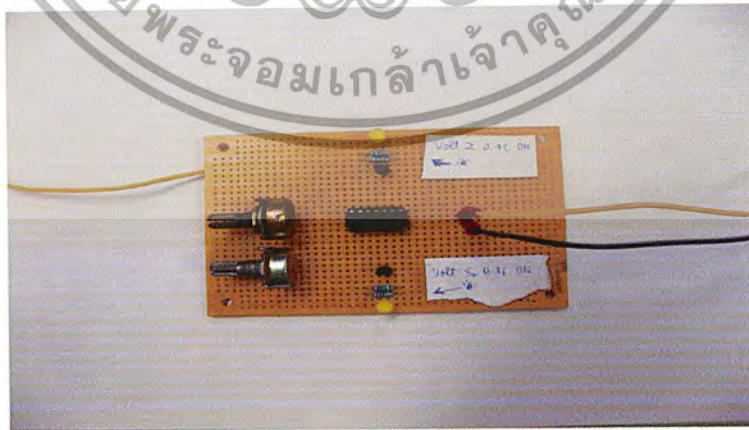
เกิดระนาบการไหลาไรซ์สองระนาบด้วยกัน คือระนาบ P กับ S สองระนาบนี้จะไปตกกระทบบ และผ่าน CuPc ไปตกลงบนโฟโตดีเทคเตอร์ โดยจะมีความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตที่ได้ คือระนาบ P(0)(off state) จะให้เอาต์พุต(แรงดัน) ที่ได้มีค่าเป็นสภาวะ on state(volt ≥ 0.420) แต่พอยิงเลเซอร์ไดโอดที่มีระนาบการไหลาไรซ์ตั้งฉากกับระนาบตกกระทบบ S(1)(on state)ค่าเอาต์พุตที่ได้กลับมีค่าเป็นสภาวะ off state($V \leq 0.360$) ซึ่งผลที่ได้ตรงนี้เกิดจากคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ซึ่งแสดงคุณสมบัติเป็น NOT gate ดังแสดงในตารางที่4.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงการจัดชุดการทดลองเพื่อสร้าง optical logic gate



รูปที่ 4.8 แสดงวงจร comparator ที่ใช้เปรียบเทียบสัญญาณขาออกของ photodiode

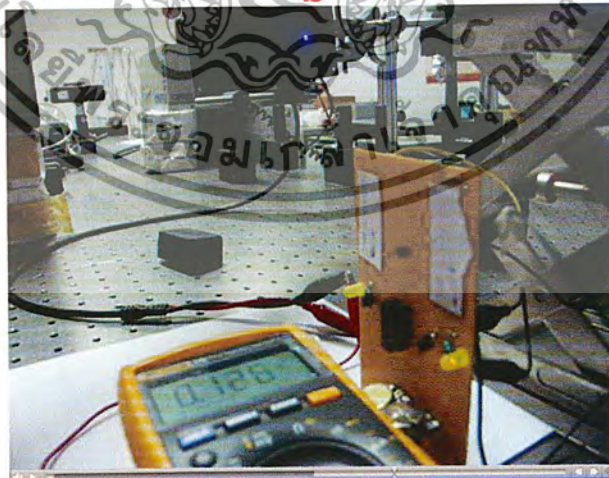
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



a



b



c

รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะของลวดจิกที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบ a,b,c โดยทำการตั้งให้ไฟดวงซ้ายติด เมื่อแรงดันที่เอาต์พุตมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ .420 V. และไฟดวงขวาติดเมื่อแรงดันที่เอาต์พุตมีค่า

น้อยกว่าหรือเท่ากับ :300 V.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย...

- a. เมื่อแรงดันที่เอาท์พุทมีค่าเกิน .420 V LED ดวงซ้ายจะติดนั่นคือเป็นลอจิก 1
- b. เมื่อแรงดันที่เอาท์พุทมีค่าต่ำกว่า .420 V. แต่มากกว่า low level(ลอจิก 0)
- c. เมื่อแรงดันที่เอาท์พุทมีค่าต่ำกว่า .300 V. LED ดวงขวาจะติดนั่นคือoutput เป็นลอจิก 0 ในขณะที่ LED ดวงซ้ายยังดับอยู่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ในโครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติการดูดกลืนแสงของฟิล์มบางอินทรีย์ DNA, polyurethane, Alq₃, และ CuPc เพื่อนำเขาไปพัฒนาเป็น Optical logic gate โดยอาศัยคุณสมบัติทางแสงของฟิล์มบางอินทรีย์

5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1.1 วิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้าง optical logic gate จาก Polyurethane

เมื่อทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของ โพลียูรีเทน(polyurethane) จะพบช่วงของการดูดกลืนแสงอยู่ที่ช่วงประมาณ 200-340 nm และพบว่าไม่เหมาะในการนำไปทำ optical logic gate ซึ่งใช้ในการทดลองครั้งนี้ เนื่องจากว่ามีระดับแรงดันที่เอาท์พุทที่ไม่เหมาะสม จะนำไปทำ optical logic gate

5.1.2 วิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้าง optical logic gate จาก DNA

เมื่อทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของ DNA จะพบช่วงของการดูดกลืนแสงอยู่ที่ช่วงประมาณ 290-320 nm และพบว่าไม่เหมาะแก่การนำไปทำ optical logic gate ซึ่งใช้ในการทดลองครั้งนี้เนื่องจากว่า มีช่วงกว้างของการดูดกลืนแสงที่แคบมากและมีระดับแรงดันที่เอาท์พุทที่ไม่เหมาะสมจะนำไปทำ optical logic gate

5.1.3 วิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้าง optical logic gate จาก Alq₃ organic thin film

เมื่อทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของฟิล์มบางอินทรีย์ Alq₃ จะพบช่วงของการดูดกลืนแสงที่ช่วงความยาวคลื่น 300-450nm ซึ่งสอดคล้องกับช่วงความยาวคลื่นของ He-Cd Laser ซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 325-442nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4 วิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้าง optical logic gate จาก CuPc organic thin film

เมื่อทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของฟิล์มบางอินทรีย์ CuPc จะพบช่วงของการดูดกลืนแสงที่ช่วงความยาวคลื่น 300-400nm และ 560-750nm ซึ่งช่วงหลังนี้สอดคล้องกับความยาวคลื่นของเลเซอร์ไดโอด ที่มีช่วงความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมา อยู่ที่ช่วง 660-680nm

5.1.5 วิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้าง optical logic gate จาก CuPc-Alq₃ organic thin film

เมื่อนำเอาฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ CuPc กับ Alq₃ มาวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงที่ค่าความยาวคลื่นต่างๆกัน เราจะเห็นช่วงการดูดกลืนแสงสองช่วงด้วยกัน คือ 275-420nm กับ 550-800nm และเรารู้ว่า beamsplitter สามารถที่จะทำให้แสงไม่โพลาไรซ์ที่ผ่านบีมสปลิตเตอร์เกิดการโพลาไรซ์ออกเป็นสองแนวคือ P กับ S จากนั้นทำการทดลองจับคู่การโพลาไรซ์ของแสงจาก He-Cd Laser และ Laser diode โดยให้แต่ละอันเป็น P และ S สลับกันไปโดยสามารถจับคู่อินพุตได้ทั้งหมด 4 แบบด้วยกันดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงกลุ่มของอินพุตทั้ง 4 แบบ

Input A(Laser diode)	Input B(He-Cd Laser)
S(1)	S(1)
S(1)	P(0)
P(0)	S(1)
P(0)	P(0)

5.1.6 วิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้าง optical logic gate จาก CuPc and Alq₃ organic thin film เมื่อยิงแสงเลเซอร์คู่ He-Cd Laser และ Laser diode ผ่าน beam splitter ไปตกบน CuPc-Alq₃ organic thin film

5.1.6.1 สร้าง logic OR

เมื่อเราทำการยิงแสงเลเซอร์ผ่านบีมสปลิตเตอร์จะทำให้เกิดระนาบการโพลาไรซ์ของแสงที่ผ่านบีมสปลิตเตอร์ในสองระนาบด้วยกัน คือระนาบ P กับ S จากผลตรงนั้นเมื่อเราทำการทดลองจับคู่ระนาบของการโพลาไรซ์ทั้งสี่แบบของ He-Cd Laser และ Laser diode โดยยิงแสง

เลเซอร์คู่ He-Cd Laser และ Laser diode ผ่าน beamsplitter ไปผ่าน CuPc-Alq₃ organic thin film และไปตกลงบนโฟโตดีเทคเตอร์ โดยทำการจับคู่ระนาบของการโพลาไรซ์(P,S) ในแบบต่างๆ จำนวน 4 แบบด้วยกันดังตารางที่ 5.1 แล้วจากนั้นทำการวัดโวลต์ที่ได้จากโฟโตดีเทคเตอร์ ซึ่งแทนเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสง(%transmission) ที่ผ่านฟิล์มบางอินทรีย์ CuPc-Alq₃ เราจะได้แรงดันเอาต์พุตดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงสถานะของ OR gate

Including CuPc and Alq ₃ film (AND gate)		
Input A (Laser diode)	Input B(He-Cd Laser)	Voltage(V)
S(1)	S(1)	0.461
S(1)	P(0)	0.420
P(0)	S(1)	0.331
P(0)	P(0)	0.356

ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีช่วงของเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านทางแสง(%transmission) อยู่สองช่วงที่แยกกันซึ่งอยู่ระหว่าง $V \geq 0.420$ และ $V \leq 0.360$ ซึ่งผลตรงนี้เราสามารถกำหนดเป็นสถานะทางลอจิกได้ว่า ช่วงที่โวลต์มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.420 เป็นสถานะ on state(logic 1) ช่วงที่โวลต์มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.360 เป็นสถานะ off state(logic 0) ซึ่งภายหลังจากการนิยามสถานะทางลอจิกทั้งสองได้แล้วจากนั้นก็ไปดูความสัมพันธ์ระหว่างระนาบการโพลาไรซ์(P,S)(โดย Input A แทน Laser diode และ Input B แทน He-Cd Laser) กับแรงดันเอาต์พุตที่ได้เราจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต(P,S)กับเอาต์พุต(voltage)ที่เป็นแบบ OR logic gate

5.1.6.2 สร้าง logic NOT

เมื่อทำการยิงเลเซอร์ไดโอดที่ไม่โพลาไรซ์ผ่านบีมสพลิตเตอร์ซึ่งจะทำให้ได้ระนาบของการโพลาไรซ์สองระนาบคือ P กับ S แล้วจากนั้นให้แต่ละระนาบผ่านฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ CuPc แล้วไปตกลงบนโฟโตดีเทคเตอร์ แล้ววัดเอาต์พุตที่ได้(Voltage)จะได้ความสัมพันธ์ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่5.3 แสดงสถานะของ NOT gate

Including CuPc film (NOT gate)	
Input A(Laser diode)	Voltage(V)
P(0)	0.420
S(1)	0.331

ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีช่วงของเปอร์เซ็นต์ของการส่งผ่านแสง(%transmission) อยู่สองช่วงที่แยกกันซึ่งอยู่ระหว่าง $V \geq 0.420$ และ $V \leq 0.360$ ซึ่งผลตรงนี้เราสามารถกำหนดเป็นสภาวะทางลอจิกได้ว่าช่วงที่แรงดันมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.420 เป็นสภาวะ on state(logic 1) ช่วงที่โวลต์มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.360 เป็นสภาวะ off state(logic 0) ซึ่งภายหลังจากการนิยามสภาวะทางลอจิกทั้งสองได้แล้วจากนั้นก็ดูความสัมพันธ์ระหว่างระนาบการโฟลโกราฟี(P,S)(โดย Input A แทน Laser diode และ Input B แทน He-Cd Laser กับแรงดันเอาต์พุตที่ได้เราจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต(P,S) กับเอาต์พุต(voltage) ในแบบ NOT logic gate ซึ่งมีความสอดคล้องกันของอินพุตและเอาต์พุตระหว่างตารางที่2(OR gate)และ3(AND gate)

5.2 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองที่ได้เราสามารถสร้าง optical logic gate ได้ 2 ตัวด้วยกันคือ OR gate และ NOT gate จากการใช้คุณสมบัติของการดูดกลืนแสงของฟิล์มบางอินทรีย์ Alq₃ และ CuPc ที่มีช่วงของการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของเลเซอร์ He-Cd Laser และ Laser diode โดยอาศัย beamsplitter เป็นตัวช่วยให้เกิดการโฟลโกราฟีในแนว P และ S เพื่อไปตกบนฟิล์มบางที่ได้เตรียมไว้และ beamsplitter ยิ่งก่อให้เกิดระดับความเข้มแสงเลเซอร์ที่เหมาะสมในการสร้าง optical logic gate นี้ด้วยโดยเราได้ทำการทดลองจากวัสดุหลายชนิดด้วยกันไม่ว่าจะเป็น DNA, polyurethane, ฟิล์มบาง Alq₃ และฟิล์มบาง CuPc จนในที่สุดเราพบว่าวัสดุที่มีคุณสมบัติพอที่จะนำมาสร้างเป็น optical logic gate คือ Alq₃ และ CuPc ซึ่งเป็นจะเป็นประโยชน์สำหรับ integrated optics เนื่องจากขนาดเล็ก, ติดตั้งง่าย, และมีความยืดหยุ่นในการออกแบบสูง

5.3 แนวทางการพัฒนา

1. พัฒนาไปเป็นอุปกรณ์ที่สามารถใช้ได้จริงในอนาคต
2. นำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆทางด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม เช่น ใช้เป็น optical switches ในการสื่อสารทางแสงหรือใช้เป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณทางแสง
3. พัฒนางานทางด้านการวิจัยและอุปกรณ์ต่างๆให้ดีขึ้นซึ่งจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพและเสถียรภาพมากขึ้น



เอกสารอ้างอิง

1. รายงานการวิจัย พัฒนาและวิศวกรรมฉบับสมบูรณ์, "โครงการพัฒนาสารกึ่งตัวนำโดยวิธีระเหยด้วยลำอิเล็กตรอนในสุญญากาศเพื่อประยุกต์เป็นอุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์", ผศ.ดร.จิติ หนูแก้ว ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะ วิทยาศาสตร์ สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. รศ.ดร.ดุสิต เครื่องงาม, "สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ เล่ม 1", สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
3. Richard S.Muller and Theodore I.Kamins, " Device Electronics for Intergrated Circuits," John Wiley & Sons, Inc., New York
4. รศ.สุวรรณ คูสำราญ.2537. ทัศนศาสตร์กายภาพ.กรุงเทพฯ:สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
5. T.Schwieger,H.Peisen ,2002 ,"Electronic structure of the organic semiconductor copper phthalocyanine and K-CuPc studied using photoemission spectroscopy",paper
6. G. Rojo, G. de la Torre, J. Garcia-Ruiz, I. Ledoux, T. Torres, J. Zyss, and F. Agullo-Lopez, "Novel unsymmetrically substituted push-pull phthalocyanines for 2nd-order nonlinear optics," Chem. Phy. 245 (1999) 27-34.
7. Joseph Shinar "ORGANIC LIGHT-EMITTING DEVICE" Ames Laboratory USDOE and Department of Physics and Astronomy Iowa State University Ames, IA 50011 USA
8. Yuhua Huang, Shin-Tson Wu and Youyuan Zhao "All-optical switching characteristics in bacteriorhodopsin and its applications in integrated optics" :paper
<http://lcd.creol.ucf.edu>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Quad Single Supply Comparators

These comparators are designed for use in level detection, low-level sensing and memory applications in consumer automotive and industrial electronic applications.

- Single or Split Supply Operation
- Low Input Bias Current: 25 nA (Typ)
- Low Input Offset Current: ± 5.0 nA (Typ)
- Low Input Offset Voltage: ± 1.0 mV (Typ) LM139A Series
- Input Common Mode Voltage Range to Gnd
- Low Output Saturation Voltage: 130 mV (Typ) @ 4.0 mA
- TTL and CMOS Compatible
- ESD Clamps on the Inputs Increase Reliability without Affecting Device Operation

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltage LM239, A/LM339A/LM2901, V MC3302	V _{CC}	+36 or ± 18 +30 or ± 15	V _{dc}
Input Differential Voltage Range LM239, A/LM339A/LM2901, V MC3302	V _{IDR}	36 30	V _{dc}
Input Common Mode Voltage Range	V _{ICMR}	-0.3 to V _{CC}	V _{dc}
Output Short Circuit to Ground (Note 1)	I _{SC}	Continuous	
Power Dissipation @ T _A = 25°C Plastic Package Derate above 25°C	P _D	1.0 8.0	W mW/°C
Junction Temperature	T _J	150	°C
Operating Ambient Temperature Range LM239, A MC3302 LM2901 LM2901V LM339, A	T _A	-25 to +85 -40 to +85 -40 to +105 -40 to +125 0 to +70	°C
Storage Temperature Range	T _{stg}	-65 to +150	°C

NOTE: 1. The maximum output current may be as high as 20 mA, independent of the magnitude of V_{CC}. Output short circuits to V_{CC} can cause excessive heating and eventual destruction.

LM339, LM339A, LM239, LM239A, LM2901, M2901V, MC3302

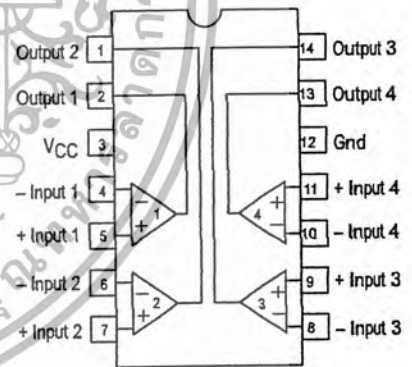


N, P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 646



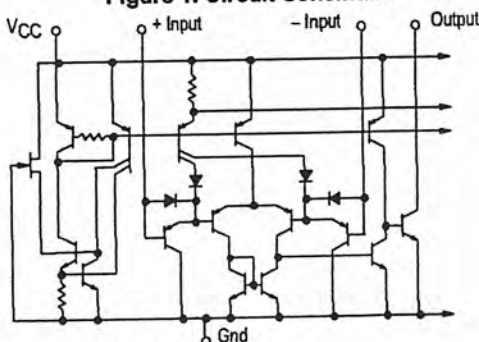
D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751A
(SO-14)

PIN CONNECTIONS



(Top View)

Figure 1. Circuit Schematic



NOTE: Diagram shown is for 1 comparator.

ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
LM239D, AD LM239N, AN	T _A = 25° to +85°C	SO-14 Plastic DIP
LM339D, AD LM339N, AN	T _A = 0° to +70°C	SO-14 Plastic DIP
LM2901D LM2901N	T _A = -40° to +105°C	SO-14 Plastic DIP
LM2901VD LM2901VN	T _A = -40° to +125°C	SO-14 Plastic DIP
MC3302P	T _A = -40° to +85°C	Plastic DIP

LM339, LM339A, LM239, LM239A, LM2901, M2901V, MC3302

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = +5.0$ Vdc, $T_A = +25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	LM239A/339A			LM239/339			LM2901/2901V			MC3302			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage (Note 4)	V_{IO}	-	± 1.0	± 2.0	-	± 2.0	± 5.0	-	± 2.0	± 7.0	-	± 3.0	± 20	mVdc
Input Bias Current (Notes 4, 5) (Output in Analog Range)	I_{IB}	-	25	250	-	25	250	-	25	250	-	25	500	nA
Input Offset Current (Note 4)	I_{IO}	-	± 5.0	± 50	-	± 5.0	± 50	-	± 5.0	± 50	-	± 3.0	± 100	nA
Input Common Mode Voltage Range	V_{ICMR}	0	-	$V_{CC} - 1.5$	0	-	$V_{CC} - 1.5$	0	-	$V_{CC} - 1.5$	0	-	$V_{CC} - 1.5$	V
Supply Current $R_L = \infty$ (For All Comparators) $R_L = \infty$, $V_{CC} = 30$ Vdc	I_{CC}	-	0.8	2.0	-	0.8	2.0	-	0.8	2.0	-	0.8	2.0	mA
		-	1.0	2.5	-	1.0	2.5	-	1.0	2.5	-	1.0	2.5	
Voltage Gain $R_L \geq 15$ k Ω , $V_{CC} = 15$ Vdc	A_{VOL}	50	200	-	50	200	-	25	100	-	25	100	-	V/mV
Large Signal Response Time $V_I =$ TTL Logic Swing, $V_{ref} = 1.4$ Vdc, $V_{RL} = 5.0$ Vdc, $R_L = 5.1$ k Ω	-	-	300	-	-	300	-	-	300	-	-	300	-	ns
Response Time (Note 6) $V_{RL} = 5.0$ Vdc, $R_L = 5.1$ k Ω	-	-	1.3	-	-	1.3	-	-	1.3	-	-	1.3	-	μ s
Output Sink Current $V_I(-) \geq +1.0$ Vdc, $V_I(+) = 0$, $V_O \leq 1.5$ Vdc	I_{Sink}	6.0	16	-	6.0	16	-	6.0	16	-	6.0	16	-	mA
Saturation Voltage $V_I(-) \geq +1.0$ Vdc, $V_I(+) = 0$, $I_{sink} \leq 4.0$ mA	V_{sat}	-	130	400	-	130	400	-	130	400	-	130	500	mV
Output Leakage Current $V_I(+) \geq +1.0$ Vdc, $V_I(-) = 0$, $V_O = +5.0$ Vdc	I_{OL}	-	0.1	-	-	0.1	-	-	0.1	-	-	0.1	-	nA

PERFORMANCE CHARACTERISTICS ($V_{CC} = +5.0$ Vdc, $T_A = T_{low}$ to T_{high} (Note 3))

Characteristic	Symbol	LM239A/339A			LM239/339			LM2901/2901V			MC3302			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage (Note 4)	V_{IO}	-	-	± 4.0	-	-	± 9.0	-	-	± 15	-	-	± 40	mVdc
Input Bias Current (Notes 4, 5) (Output in Analog Range)	I_{IB}	-	-	400	-	-	400	-	-	500	-	-	1000	nA
Input Offset Current (Note 4)	I_{IO}	-	-	± 150	-	-	± 150	-	-	± 200	-	-	± 300	nA
Input Common Mode Voltage Range	V_{ICMR}	0	-	$V_{CC} - 2.0$	0	-	$V_{CC} - 2.0$	0	-	$V_{CC} - 2.0$	0	-	$V_{CC} - 2.0$	V
Saturation Voltage $V_I(-) \geq +1.0$ Vdc, $V_I(+) = 0$, $I_{sink} \leq 4.0$ mA	V_{sat}	-	-	700	-	-	700	-	-	700	-	-	700	mV
Output Leakage Current $V_I(+) \geq +1.0$ Vdc, $V_I(-) = 0$, $V_O = 30$ Vdc	I_{OL}	-	-	1.0	-	-	1.0	-	-	1.0	-	-	1.0	μ A
Differential Input Voltage All $V_I \geq 0$ Vdc	V_{ID}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	Vdc

NOTES: 3. (LM239/239A) $T_{low} = -25^\circ\text{C}$, $T_{high} = +85^\circ$

(LM339/339A) $T_{low} = 0^\circ\text{C}$, $T_{high} = +70^\circ\text{C}$

(MC3302) $T_{low} = -40^\circ\text{C}$, $T_{high} = +85^\circ\text{C}$

(LM2901) $T_{low} = -40^\circ\text{C}$, $T_{high} = +105^\circ$

(LM2901V) $T_{low} = -40^\circ\text{C}$, $T_{high} = +125^\circ\text{C}$

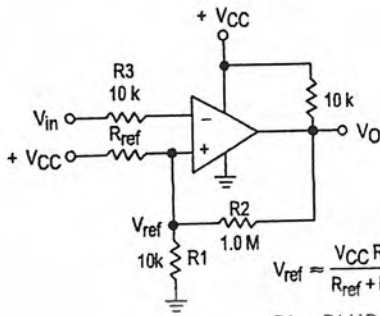
4. At the output switch point, $V_O = 1.4$ Vdc, $R_S \leq 100 \Omega$, 5.0 Vdc $\leq V_{CC} \leq 30$ Vdc, with the inputs over the full common mode range (0 Vdc to $V_{CC} - 1.5$ Vdc).

5. The bias current flows out of the inputs due to the PNP input stage. This current is virtually constant, independent of the output state.

6. The response time specified is for a 100 mV input step with 5.0 mV overdrive. For larger signals, 300 ns is typical.

LM339, LM339A, LM239, LM239A, LM2901, M2901V, MC3302

Figure 2. Inverting Comparator with Hysteresis



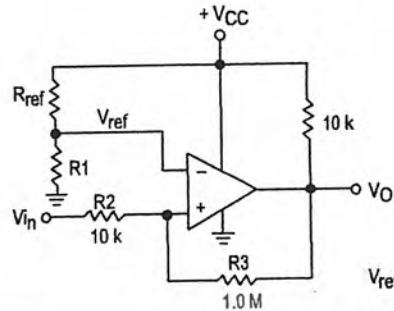
$$V_{ref} = \frac{V_{CC} R_1}{R_{ref} + R_1}$$

$$R_3 = R_1 // R_{ref} // R_2$$

$$V_H = \frac{R_1 // R_{ref}}{R_1 // R_{ref} + R_2} [V_{O(max)} - V_{O(min)}]$$

$$R_2 \geq R_{ref} // R_1$$

Figure 3. Noninverting Comparator with Hysteresis



$$V_{ref} = \frac{V_{CC} R_1}{R_{ref} + R_1}$$

$$R_2 \approx R_1 // R_{ref}$$

Amount of Hysteresis V_H

$$V_H = \frac{R_2}{R_2 + R_3} [V_{O(max)} - V_{O(min)}]$$

Typical Characteristics

($V_{CC} = 15 \text{ Vdc}$, $T_A = +25^\circ\text{C}$ (each comparator) unless otherwise noted.)

Figure 4. Normalized Input Offset Voltage

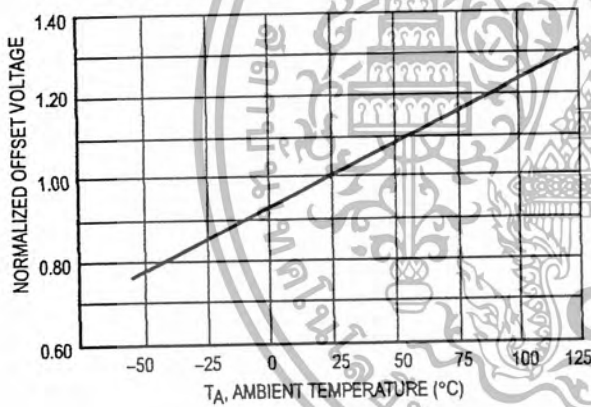


Figure 5. Input Bias Current

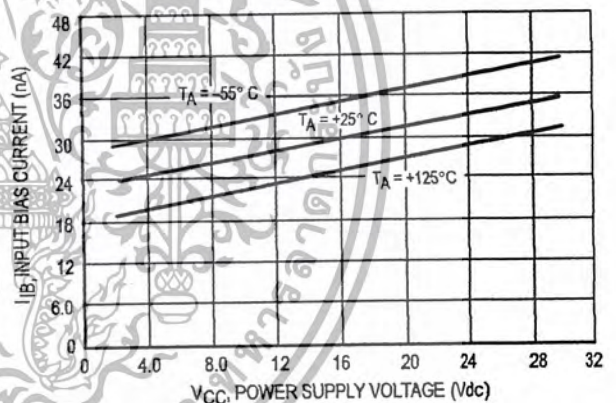
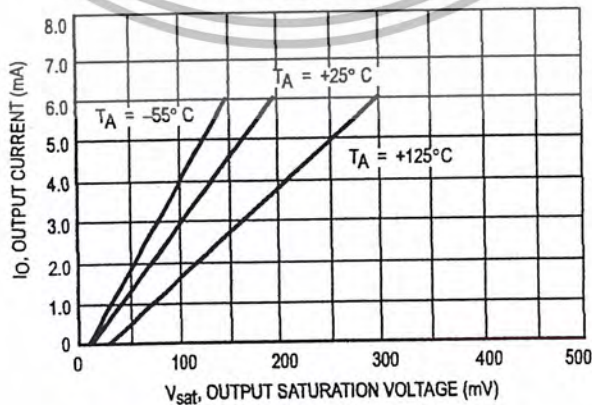
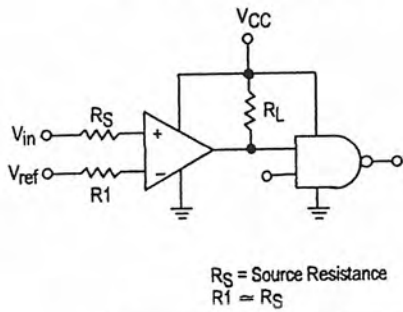


Figure 6. Output Sink Current versus Output Saturation Voltage



LM339, LM339A, LM239, LM239A, LM2901, M2901V, MC3302

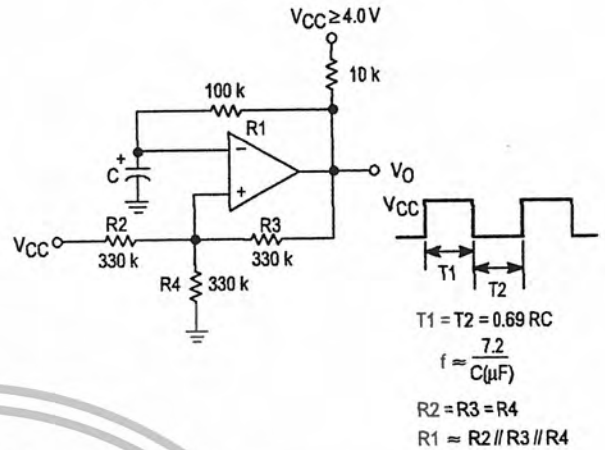
Figure 7. Driving Logic



R_S = Source Resistance
 $R_1 \approx R_S$

Logic	Device	VCC (V)	RL kΩ
CMOS	1/4 MC14001	+15	100
TTL	1/4 MC7400	+5.0	10

Figure 8. Squarewave Oscillator



$T_1 = T_2 = 0.69 RC$
 $f = \frac{7.2}{C(\mu F)}$
 $R_2 = R_3 = R_4$
 $R_1 \approx R_2 // R_3 // R_4$

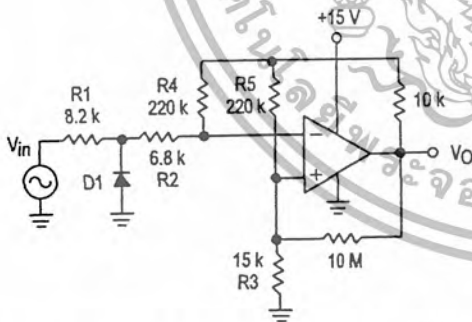
APPLICATIONS INFORMATION

These quad comparators feature high gain, wide bandwidth characteristics. This gives the device oscillation tendencies if the outputs are capacitively coupled to the inputs via stray capacitance. This oscillation manifests itself during output transitions (V_{OL} to V_{OH}). To alleviate this situation input resistors $< 10 \text{ k}\Omega$ should be used. The addition

of positive feedback ($< 10 \text{ mV}$) is also recommended. It is good design practice to ground all unused input pins.

Differential input voltages may be larger than supply voltages without damaging the comparator's inputs. Voltages more negative than -300 mV should not be used.

Figure 9. Zero Crossing Detector (Single Supply)

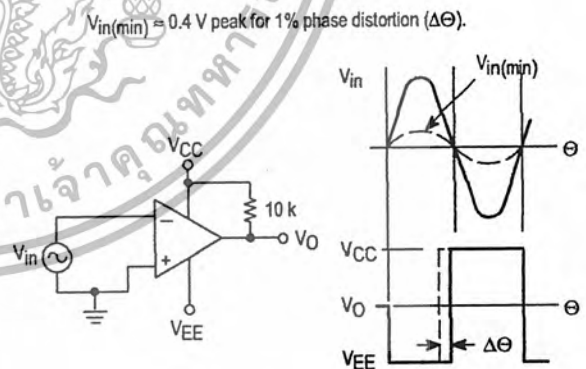


D1 prevents input from going negative by more than 0.6 V.

$R_1 + R_2 = R_3$

$R_3 \leq \frac{R_5}{10}$ for small error in zero crossing

Figure 10. Zero Crossing Detector (Split Supplies)

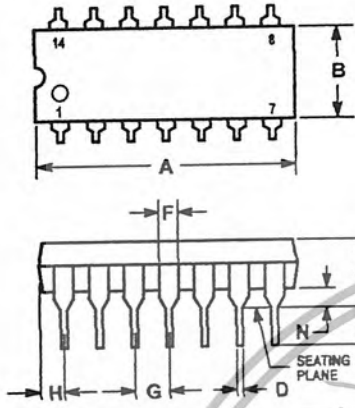


$V_{in(min)} \approx 0.4 \text{ V peak for } 1\% \text{ phase distortion } (\Delta\theta)$.

LM339, LM339A, LM239, LM239A, LM2901, M2901V, MC3302

OUTLINE DIMENSIONS

N, P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 646-06
ISSUE L

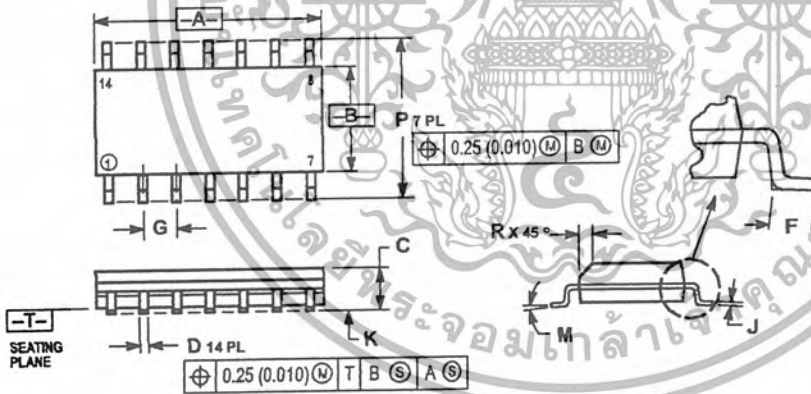


NOTES:

- LEADS WITHIN 0.13 (0.005) RADIUS OF TRUE POSITION AT SEATING PLANE AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.
- DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
- DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.
- ROUNDED CORNERS OPTIONAL.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.715	0.770	18.16	19.58
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.145	0.185	3.69	4.69
D	0.015	0.021	0.38	0.53
F	0.040	0.070	1.02	1.78
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.052	0.095	1.32	2.41
J	0.008	0.015	0.20	0.38
K	0.115	0.135	2.92	3.43
L	0.300 BSC		7.62 BSC	
M	0°	10°	0°	10°
N	0.015	0.039	0.39	1.01

D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751A-03
(SO-14)
ISSUE F




NOTES:

- DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
- CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.
- DIMENSIONS A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
- MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006) PER SIDE.
- DIMENSION D DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.127 (0.005) TOTAL IN EXCESS OF THE D DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	8.55	8.75	0.337	0.344
B	3.80	4.00	0.150	0.157
C	1.35	1.75	0.054	0.068
D	0.35	0.49	0.014	0.019
F	0.40	1.25	0.016	0.049
G	1.27 BSC		0.050 BSC	
J	0.19	0.25	0.008	0.009
K	0.10	0.25	0.004	0.009
M	0°	7°	0°	7°
P	5.80	6.20	0.228	0.244
R	0.25	0.50	0.010	0.019

LM339, LM339A, LM239, LM239A, LM2901, M2901V, MC3302



Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and  are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:

USA/EUROPE/Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution;
P.O. Box 20912, Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447 or 602-303-5454

MFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com - TOUCHTONE 602-244-6609
INTERNET: <http://Design-NET.com>

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, 6F Seibu-Butsuryu-Center,
3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-81-3521-8315

ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



LM339/D



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร

BC327/328

BC327/328

Switching and Amplifier Applications

- Suitable for AF-Driver stages and low power output stages
- Complement to BC337/BC338



TO-92
1. Collector 2. Base 3. Emitter

PNP Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_a=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CES}	Collector-Emitter Voltage		
	: BC327	-50	V
	: BC328	-30	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage		
	: BC327	-45	V
	: BC328	-25	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	-5	V
I_C	Collector Current (DC)	-800	mA
P_C	Collector Dissipation	625	mW
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature	-55 ~ 150	$^\circ\text{C}$

Electrical Characteristics $T_a=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
BV_{CEO}	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C = -10\text{mA}, I_B = 0$				
	: BC327		-45			V
	: BC328		-25			V
BV_{CES}	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C = -0.1\text{mA}, V_{BE} = 0$				
	: BC327		-50			V
	: BC328		-30			V
BV_{EBO}	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E = -10\mu\text{A}, I_C = 0$	-5			V
I_{CES}	Collector Cut-off Current					
	: BC307	$V_{CE} = -45\text{V}, V_{BE} = 0$		-2	-100	nA
	: BC338	$V_{CE} = -25\text{V}, V_{BE} = 0$		-2	-100	nA
h_{FE1} h_{FE2}	DC Current Gain	$V_{CE} = -1\text{V}, I_C = -100\text{mA}$	100		630	
		$V_{CE} = -1\text{V}, I_C = -300\text{mA}$	40			
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = -500\text{mA}, I_B = -50\text{mA}$			-0.7	V
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE} = -1\text{V}, I_C = -300\text{mA}$			-1.2	V
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE} = -5\text{V}, I_C = -10\text{mA}, f = 20\text{MHz}$		100		MHz
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB} = -10\text{V}, I_E = 0, f = 1\text{MHz}$		12		pF

h_{FE} Classification

Classification	16	25	40
h_{FE1}	100 ~ 250	160 ~ 400	250 ~ 630
h_{FE2}	60-	100-	170-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Characteristics

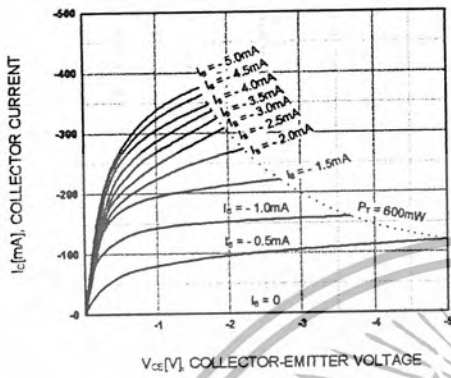


Figure 1. Static Characteristic

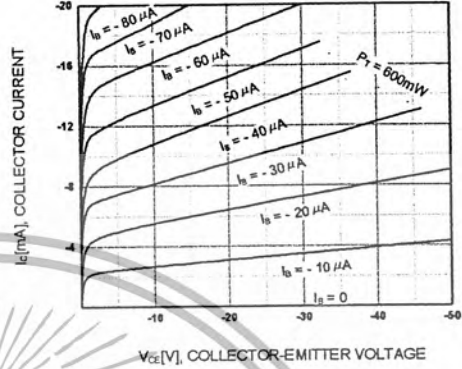


Figure 2. Static Characteristic

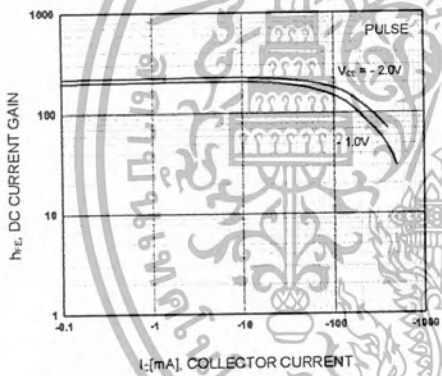


Figure 3. DC current Gain

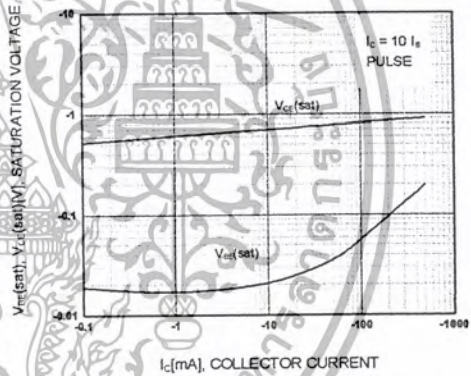


Figure 4. Base-Emitter Saturation Voltage
Collector-Emitter Saturation Voltage

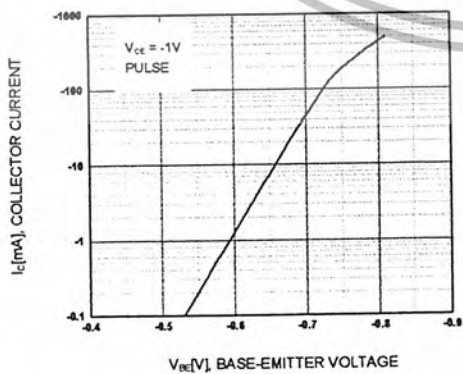


Figure 5. Base-Emitter On Voltage

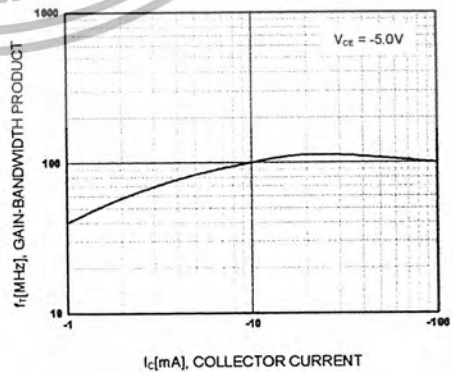


Figure 6. Gain Bandwidth Product

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Characteristics (Continued)

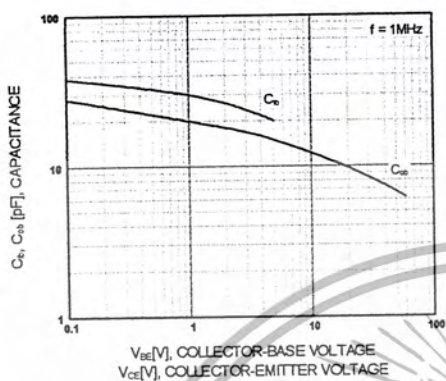


Figure 7. Input and Output Capacitance vs. Reverse Voltage

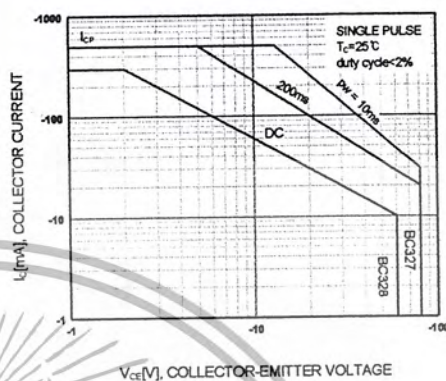


Figure 8. Safe Operating Area

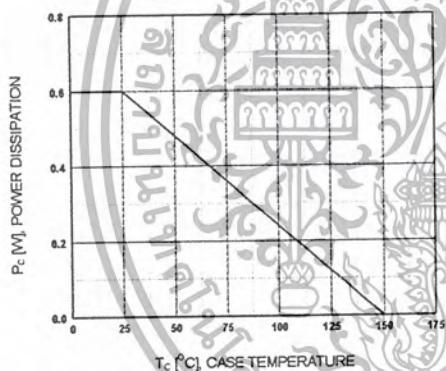
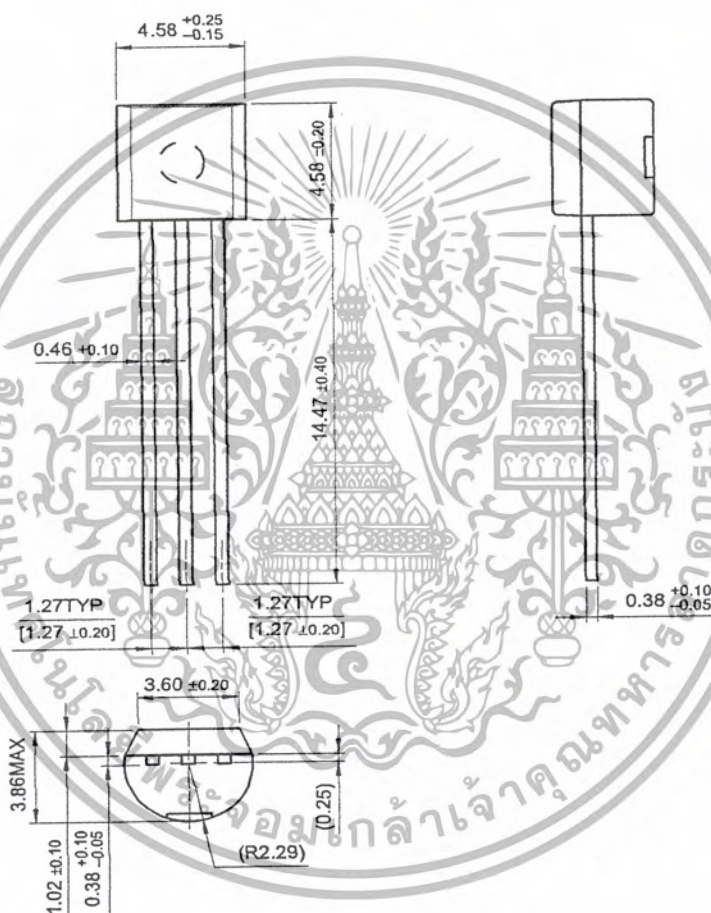


Figure 9. Power Derating

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package Demensions

TO-92



Dimensions in Millimeters

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACEx™
Bottomless™
CoolFET™
CROSSVOLT™
E²COS™
FACT™
FACT Quiet Series™
FAST®
FASTr™
GTO™

HiSeC™
ISOPANAR™
MICROWIRE™
POP™
PowerTrench®
QFET™
QS™
Quiet Series™
SuperSOT™-3
SuperSOT™-6

SuperSOT™-8
SyncFET™
TinyLogic™
UHC™
VCX™

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR INTERNATIONAL.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้