

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ประเภท งานวิจัยเชิงพาณิชย์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปี พ.ศ. 2548

การพัฒนาระบบต้นแบบลอจิกเกตทางแสงโดยใช้ฟิล์มบางสารอินทรีย์
Development of Optical Logic Gate Prototype Using Organic Thin Films



รองศาสตราจารย์ วิษณุ เพชรภา

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH

OC

611.8

.07

เลขหมู่ 64428

เลขทะเบียน

วัน,เดือน,ปี 11 ก.ย. 2549

11648612
.b.....
.i.....

นี้ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ถ้าหากมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางแสงของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ที่สามารถนำไปใช้ในการสร้างออปติคอลลอจิก โดยทำการศึกษาคุณสมบัติทางแสงของ CuPc (Copper Phthalocyanine), Alq₃ (tris(8-hydroxyquinoline) aluminum) และในงานวิจัยนี้เลือกใช้ CuPc และ Alq₃ เพราะมีช่วงสเปกตรัมทางแสง ที่ถูกดูดกลืนอยู่ในช่วงของความยาวคลื่นของ He-Cd Laser และ Laser diode โดยออปติคอลลอจิกเกตต้นแบบนี้สร้างขึ้น โดยใช้คุณสมบัติของการดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง CuPc และ Alq₃ โดยให้ s-state และ p-state แทนสถานะทางลอจิกโดยที่ s-state แทนลอจิก 1 และ p-state แทนลอจิก 0 และออปติคอลลอจิกเกตต้นแบบที่ประดิษฐ์ได้นี้แสดงพฤติกรรมเป็น OR และ NOT gate

ABSTRACT

This research is the study of optical properties of organic semiconductor that can be advised to optical switches. Optical properties of CuPc and Alq₃ were 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
สารบัญ	II
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 สารกึ่งตัวนำอินทรีย์	3
2.2 การวัดการส่งผ่านทางแสง	7
2.3 โพลาริเซชัน	9
2.4 ชนิดของแสงโพลาไรซ์	12
2.4.1 แสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้น	12
2.4.2 แสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลม	14
2.4.3 แสงโพลาไรซ์ชนิดวงรี	18
2.5 หลักการของการโพลาไรซ์ใน Cube beamsplitter	21
2.6 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	23
3.1 การศึกษาสมบัติทางแสงของ Polyurethane, DNA, Alq ₃ , และ CuPc	23
3.1.1 ศึกษาทฤษฎีการดูดกลืนแสง, การโพลาไรซ์ของแสง, 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	28
4.1 การทดลองวัดค่าการดูดกลืนแสงของ फिल्मบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ และอื่นๆ	28
4.2 ชุดการทดลองพัฒนา organic thin film optical gate	33
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง	38
5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง	
5.1.1 วิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้าง optical logic gate จาก Polyurethane	38
5.1.2 วิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้าง optical logic gate จาก DNA	38
5.1.3 วิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้าง optical logic gate จาก Alq ₃ organic thin film	38
5.1.4 วิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้าง optical logic gate จาก CuPc organic thin film	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.1.5 วิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้าง optical logic gate จาก CuPc-Alq ₃ organic thin film	39
5.1.6 วิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้าง optical logic gate จาก CuPc and Alq ₃ organic thin film เมื่อยิงแสงเลเซอร์คู่ He-Cd Laser และ Laser diode ผ่าน beamsplitter ไปตกกลงบน 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	42
เอกสารอ้างอิง	43

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

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

ปัจจุบันเราสามารถสร้างโฟโตนิกเทคโนโลยีโครงสร้างรอยต่อพี-เอ็นแบบวิธีพิมพ์ได้จากสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ และแนวทางที่จะพัฒนาต่อไปคือ เกททางแสงจากฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์หรือOrganic Optical Gate(OOG) ซึ่งถือเป็นสิ่งประดิษฐ์อีกชนิดที่จะใช้คุณสมบัติเฉพาะที่ได้จากสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ ซึ่งมีโครงสร้างของแถบพลังงานที่เฉพาะ โดยตัวอย่างของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์เหล่านี้ได้แก่ Alq₃(tris(8-hydroxyquinoline) aluminum) และ CuPc(Copper Phthalocyanine)

Organic Optical Gate(OOG)นั้นเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่เป็นที่สนใจมาก และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่างด้วยกัน เช่นใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์, ใช้ในการควบคุมระยะไกล, ใช้ในจอภาพแบบผลึกเหลว, และยังสามารถใช้เป็น AND gate, OR gate, NOR gate, และ gate ในรูปแบบอื่นได้อีกซึ่งสามารถนำไปใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ยุคใหม่ที่ต้องการขนาดที่ค่อนข้างเล็กและประสิทธิภาพในการใช้งานที่สูง และราคาถูก โดยในการทดลองนี้เราใช้สารตัวอย่างหลายชนิดด้วยกันในการทดลองเพื่อสร้างสวิทซ์ทางแสงโดยศึกษาค่าการทะลุผ่านของแสงที่มีต่อ สารกึ่งตัวนำอินทรีย์และสารตัวอย่างอื่นๆแล้วนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์หาช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมกับการนำไปทำเป็น OOG.

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาสมบัติทางแสงของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์
2. เพื่อศึกษาลักษณะการส่งผ่านทางแสง และ โครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์
3. เพื่อศึกษาผลของความยาวคลื่นของแสงต่อการตอบสนองของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์
4. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเกตทางแสง โดยใช้สารกึ่งตัวนำอินทรีย์

(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 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq3 และ CuPc
2. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและหลักการของการส่งผ่านทางแสง(optical transmission)
3. วัดค่าการส่งผ่านทางแสงของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ที่เปลี่ยนตามความยาวคลื่นแสง
4. ศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างเกตทางแสงจากสารกึ่งตัวนำอินทรีย์
5. วิเคราะห์ผลการทดลอง
6. สรุป

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

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

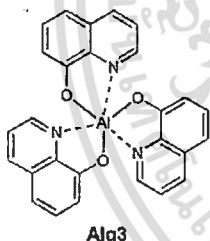
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

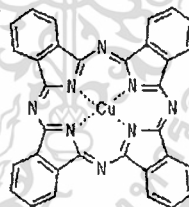
ทฤษฎีและหลักการ

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)) ซึ่งโมเลกุลไม่จับเป็นพันธะยาวๆ แต่จะมีลักษณะเป็นโมเลกุลเล็กๆ 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 Light Emitting Diode (LED)

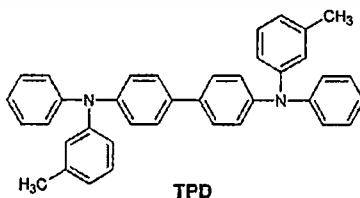


Alq_3



โครงสร้างโมเลกุลของ Alq_3

โครงสร้างโมเลกุลของ CuPc

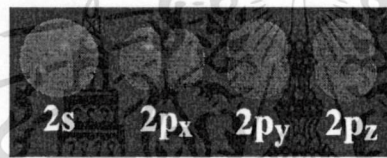


TPD

โครงสร้างโมเลกุลของ TPD

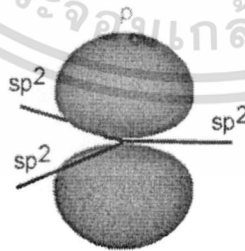
รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของ Alq_3 , CuPc, และ TPD
 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดพันธะเคมีของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์เหล่านี้จะเกิดจากการซ้อนเหลื่อมกันของออร์บิทัลอะตอม โดยเกิดการไฮบริไดเซชันกันขึ้นระหว่างอะตอมที่จะสร้างพันธะกันเพื่อให้เกิดเป็นโมเลกุลของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์นั้น สารกึ่งตัวนำอินทรีย์เหล่านี้จะมีไฮบริไดเซชันที่เป็นแบบ sp^2 ซึ่งเป็นการไฮบริไดเซชันกันระหว่าง $2s$ ออร์บิทัลกับ $2p$ ออร์บิทัล โดยการย้ายอิเล็กตรอนที่มีอยู่สองตัวในออร์บิทัล $2s$ มาไว้ที่ออร์บิทัล $2p$ ตามหลักของเพาว์ลี(Pauli Exclusion Principle) ซึ่งจะทำให้แต่ละออร์บิทัลมีอิเล็กตรอนเพียงตัวเดียวและสามารถเกิดไฮบริดกันได้ระหว่างออร์บิทัล $2s$ และ ออร์บิทัล $2p$ ตามจำนวนของอิเล็กตรอนเดี่ยวที่มีอยู่ทั้งหมดซึ่งในที่นี้เป็นการผสมกันระหว่าง $2s$ ออร์บิทัลกับ $2p_x$ และ $2p_y$ ออร์บิทัลดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 รูปออร์บิทัลอะตอม s และ p

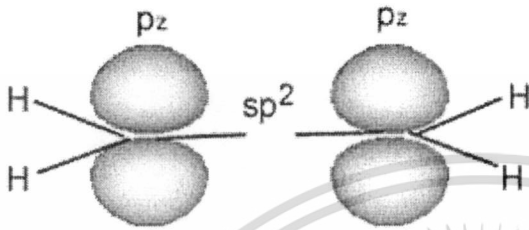
เมื่อผสมกันแล้วจะทำให้เกิดออร์บิทัลใหม่ 3 ออร์บิทัลและอีกหนึ่งออร์บิทัลที่ว่าง (หมายเหตุ: เมื่อออร์บิทัลอะตอมมารวมกันเป็นโมเลกุลเราจะเรียกมันใหม่ว่าเป็นออร์บิทัลโมเลกุลหรือ MO) ไฮบริไดเซชันกันแล้วจะได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของไฮบริไดเซชัน

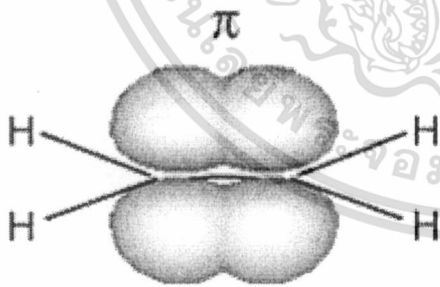
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



รูปที่ 2.4 มุมระหว่างพันธะของ sp^2 ออร์บิทัลซึ่งมีอยู่ 3 ตัว

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



รูปที่ 2.5 พันธะไพจะเกิดจากการซ้อนเหลื่อมกันทางด้านข้างของ 2p_z

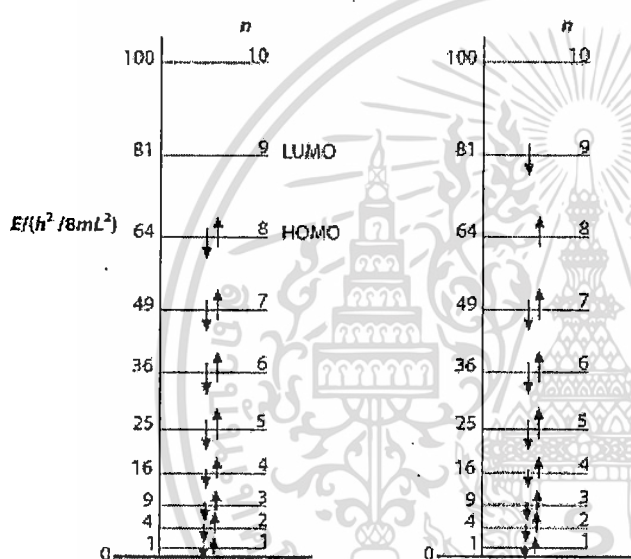
พันธะที่เกิดขึ้นจะให้ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสูง ที่บริเวณเหนือและใต้ระนาบของอะตอมที่สร้างพันธะ โดยมีหลักการว่าออร์บิทัลอะตอมสองตัวที่มาทำปฏิกิริยากันสร้างออร์บิทัลโมเลกุล (ซึ่งเป็นแบบ sp^2) เพื่อให้เกิดเป็นสารกึ่งตัวนำอินทรีย์นั้นจะเกิดเป็นทั้งแบบ ออร์บิทัลโมเลกุลแบบสร้างพันธะ (bonding molecular orbital) และออร์บิทัลโมเลกุลแบบสร้างต้านพันธะ (antibonding molecular orbital) ขึ้น โดย bonding molecular orbital จะมีพลังงานต่ำกว่า antibonding molecular orbital การคำนวณที่แม่นยำขึ้นจะช่วยให้สามารถทำนายคุณสมบัติของวัสดุได้ดียิ่งขึ้น การคำนวณที่แม่นยำขึ้นจะช่วยให้สามารถทำนายคุณสมบัติของวัสดุได้ดียิ่งขึ้น

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

molecular orbital ซึ่งหมายถึงว่า bonding molecular orbital สนับสนุนหรือก่อให้เกิดการสร้างสร้างพันธะขึ้นนั่นเอง ซึ่งกลับกันกับ antibonding molecular orbital ขนาดของโมเลกุลจะใหญ่ขึ้นและจำนวนออร์บิทัลโมเลกุล(MO) เพิ่มขึ้น

การคำนวณระดับพลังงานในบ่อควอนตัมเป็นไปตามสมการ(2.1)โดยพลังงานของอนุภาคแสดงให้เห็นดังรูป2.6

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



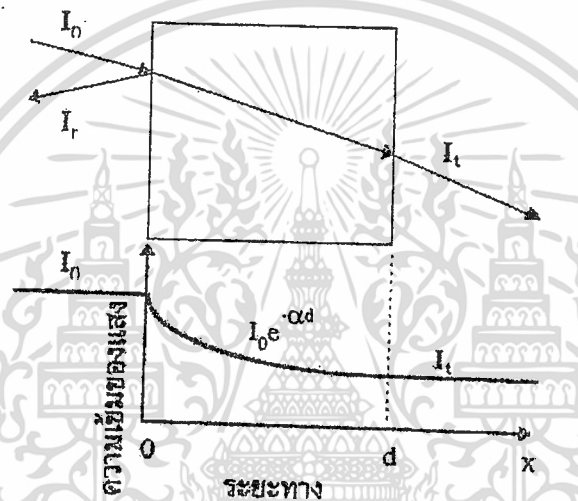
รูปที่ 2.6 ระดับพลังงานในบ่อควอนตัม

สถานะพลังงานทางซ้ายมือคือกราวด์สเตตต่ำสุดและเป็นระบบที่พบได้ทั่วไป การเติมเต็มของอิเล็กตรอนในแต่ละระดับพลังงาน เป็นไปตามกฎของ “Aufbau principle” โดยออร์บิทัลโมเลกุลที่มีระดับพลังงานสูงสุดที่ยังถูกรอบครองโดยอิเล็กตรอน Highest Occupied Molecular Orbital (HOMO) ถูกเติมเต็มด้วยคู่ของอิเล็กตรอนที่มีสปินตรงข้ามกัน โดยโมเมนตัมเชิงมุม (spin angular momentum) ทั้งหมดสำหรับคู่อิเล็กตรอนใน HOMO เป็น 0 (S = 0) และที่สถานะทางขวามือ ซึ่งเป็นสถานะที่ถูกกระตุ้น ระบบจะมีระดับพลังงานสูงกว่า เนื่องจากการกระตุ้นจากปัจจัยภายนอกและอิเล็กตรอนจะถูกยกไปสู่ Lowest Unoccupied Molecular Orbital (LUMO) level ซึ่งสปินของอิเล็กตรอนในกรณีนี้ทั้งหมดยังคงเป็น 0 (S = 0) สถานะนี้ไม่เสถียรและจะค่อยๆปล่อยอิเล็กตรอนกลับสู่สถานะพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การวัดการส่งผ่านทางแสง(Transmittance Spectroscopy)

การศึกษาวิธีการวัดสเปกตรัมการสะท้อนและการทะลุผ่านของแสงนี้จะกล่าวถึงสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสง และองค์ประกอบของการวัดสเปกตรัมการทะลุผ่านของแสง เมื่อแสงเดินทางไปที่กระทบแผ่นฟิล์มบาง แสงบางส่วนจะสะท้อนกลับที่ผิวของแผ่นฟิล์มบาง แสงบางส่วนจะสะท้อนกลับที่ผิวของแผ่นฟิล์มบาง บางส่วนของแสงจะเดินทางเข้าไปในแผ่นฟิล์มบางและถูกดูดกลืน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 2.7 แสดงภาพจำลองเมื่อแสงตกกระทบลงบนแผ่นฟิล์มบาง

เมื่อ	I_0	คือ	ความเข้มแสงตกกระทบแผ่นฟิล์มบาง
	I_r	คือ	ความเข้มแสงสะท้อน
	I_t	คือ	ความเข้มแสงทะลุผ่าน
	I_i	คือ	ความเข้มแสงที่เดินทางเข้าสู่แผ่นฟิล์มบาง
	R	คือ	สัมประสิทธิ์การสะท้อนของแสง(Reflectivity)
	T	คือ	สัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสง(Transmittance)
	α	คือ	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแสง(Absorption coefficient)
	d	คือ	ระยะทางที่แสงเดินทางในแผ่นฟิล์มบาง

สัมประสิทธิ์การสะท้อนของแสงมีค่า

$$R = I_r/I_o \quad (2.2)$$

$$I_r = R I_o \quad (2.3)$$

เพราะฉะนั้น ความเข้มแสงที่เดินทางเข้าสู่แผ่นฟิล์มบางมีค่า

$$I_i = I_o - I_r \quad (2.4)$$

$$I_i = I_o - R I_o \quad (2.5)$$

$$I_i = (1 - R) I_o \quad (2.6)$$

เมื่อแสงนี้เดินทางเข้าสู่แผ่นฟิล์มบางจะถูกดูดกลืนทำให้ความเข้มแสงภายในแผ่นฟิล์มบางลดลงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลตามระยะทาง ดังนั้นความเข้มแสงทะลุผ่านมีค่าดังสมการ

$$I_t = I_i \times e^{-\alpha d} \quad (2.7)$$

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

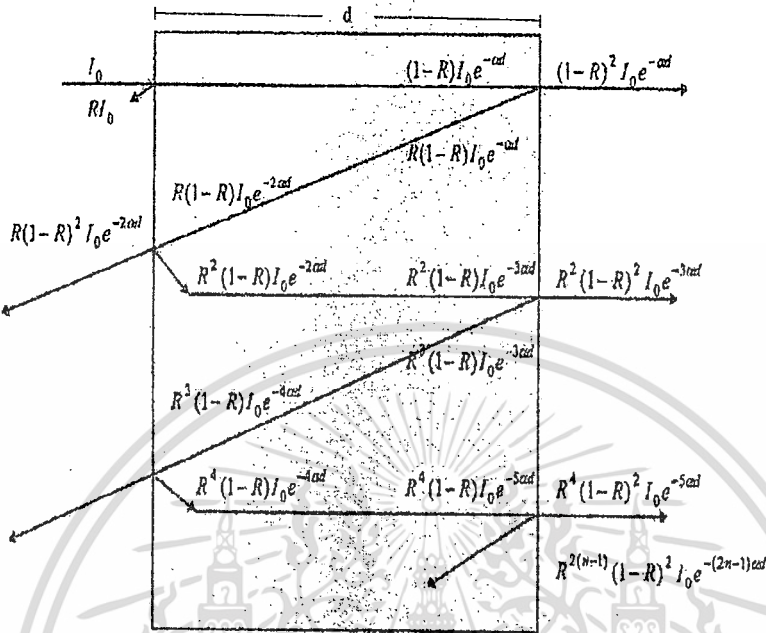
ถ้าไม่มีการสะท้อนแสงที่ผิวด้านหลัง สัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสงจะมีค่าเท่ากับ

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

ในกรณีที่มีการสะท้อนแสงทั้งที่ผิวด้านหน้าฟิล์มบางและที่ผิวด้านหลังแผ่นฟิล์มบางจำนวนครั้งที่เป็อนันต์ ดังรูปที่ 2.8 สัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสงมีค่า

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



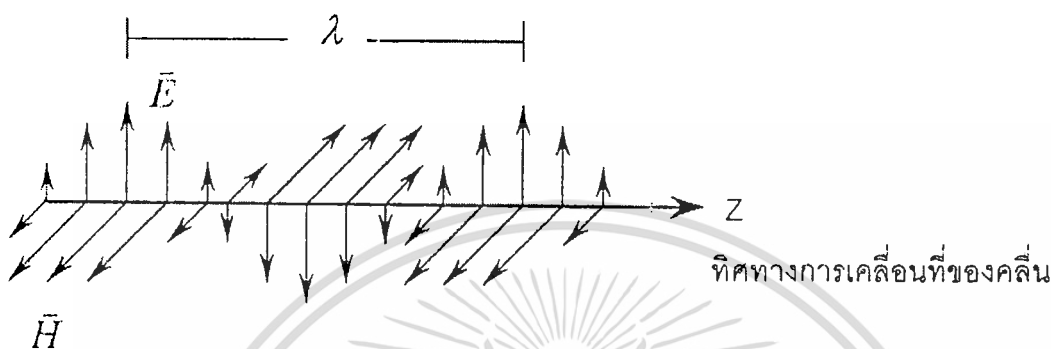
รูปที่ 2.8 แสดงการสะท้อนแสงทั้งที่ผิวด้านหน้าแผ่นฟิล์มบางและที่ผิวด้านหลังแผ่นฟิล์มบาง จำนวนครั้งที่ป็นอนันต์

2.3 โพลาริเซชัน (Polarization)

แสงที่เป็นคลื่นระนาบ และมีทิศของสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงหรือสั่นแนวคงที่แนวหนึ่งเรียกว่าเป็นแสงโพลาริซ์เชิงเส้นหรือเรียกว่า มีสมบัติโพลาริซ์เชิงเส้น (Linearly polarized light) สำหรับสนามแม่เหล็ก ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงหรือสั่นในแนวที่ตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า ก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกับสนามไฟฟ้า กล่าวคือมีการสั่นในแนวคงที่แนวหนึ่งซึ่งเป็นแนวที่ตั้งฉากกับแนวของสนามไฟฟ้าและจะได้ทิศทางของ $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ เป็นทิศเดียวกับแนวการเคลื่อนที่ของคลื่น อย่างไรก็ตามแสงโดยทั่วไปมักไม่มีสมบัติดังกล่าว เช่นแสงที่ได้จากการเผาไส้หลอดให้ร้อน ทิศของสนามไฟฟ้าจะไม่อยู่ในแนวคงที่แนวใดแนวหนึ่ง และไม่มีการเปลี่ยนแปลงกับตำแหน่งอย่างเป็นระเบียบใดๆ แสงเช่นนี้เป็นแสงที่ไม่โพลาริซ์ (Unpolarized light) ในบางกรณีแสงอาจมีการผสมกันระหว่างแสงโพลาริซ์และแสงไม่โพลาริซ์ กรณีนี้เรียกว่าเป็นแสงโพลาริซ์บางส่วน (Partially polarized light) ในกรณีของแสงโพลาริซ์นั้นนอกจากจะเป็นแสงโพลาริซ์เชิงเส้นแล้ว อาจเป็นแสงโพลาริซ์เชิงวงกลม หรือเชิงวงรี (Circularly or Elliptically polarized light)

ปรากฏการณ์การแทรกสอดและการเลี้ยวเบนนั้นเกิดขึ้นได้กับคลื่นทุกชนิด ทั้งคลื่นตามขวางเช่นแสง และคลื่นตามยาวเช่นคลื่นเสียงแต่ในกรณีของโพลาริเซชันจะเกิดเฉพาะในคลื่นตามขวางเท่านั้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขวางเท่านั้นไม่เกิดในคลื่นตามยาว และเป็นที่ยอมรับกันว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีทิศการ
 ต้นของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก (\vec{H}) และตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น



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

พิจารณาแอมพลิจูดของสนามไฟฟ้าที่แสดงในรูปที่ 2.9 สามารถเขียนได้ดังนี้

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

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

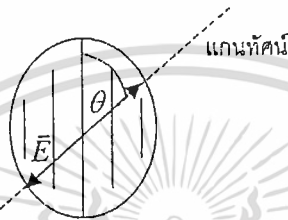
$$\vec{E}(z,t) = E_{0y} \sin[kz - \omega t + \phi_0] \tag{2.12}$$

ในสนามแม่เหล็กของแสงจะสั้น เหมือนกับสนามไฟฟ้าแต่เวกเตอร์สนามแม่เหล็ก \vec{H} จะทำมุมตั้ง
 ฉากกับสนามไฟฟ้าในทิศทางตาม X ซึ่งสนามแม่เหล็กมีค่าเป็น

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



รูปที่ 2.10 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นตกกระทบบำมุม θ กับแกนของโพลาไรซ์

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

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

เมื่อ I_0 เป็นความเข้มแสงที่ตกกระทบบมากที่สุดที่เข้ามายังแผ่นโพลาไรซ์

แผ่นโพลาไรซ์ใช้ทำเป็นโพลาไรเซอร์(Polarizer) หรือตัวทำแสงโพลาไรซ์โดยทำแสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ให้เป็นแสงโพลาไรซ์นอกจากนี้ยังสามารถใช้โพลาไรเซอร์อีกแผ่นหนึ่งวางซ้อนกันและทำหน้าที่เป็นตัววิเคราะห์(Analyzer) เพื่อทำหน้าที่ในการจัดมุมของการโพลาไรซ์ของแสงที่ผ่านโดยถ้าวางแกนของโพลาไรเซอร์ทั้งสองแผ่นตั้งฉากกัน (90 องศา) จะไม่มีแสงส่องผ่านออกมา แต่ถ้าหมุนตัววิเคราะห์ให้ทำมุม θ กับตัวทำแสงโพลาไรซ์ โดยให้ความเข้มของแสงโพลาไรซ์ที่ออกจากตัวทำแสงโพลาไรซ์ไปยังตัววิเคราะห์เป็น I_0 ความเข้มแสงที่ได้ออกมาจากตัววิเคราะห์จะเป็นไปตามกฎของมาลุส และถ้าหมุนตัววิเคราะห์ให้เป็นมุมต่างๆ แล้วหาค่าความเข้มสูงสุด(I_{\max}) และความเข้มไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่ำสุด (I_{\min}) แล้วสามารถพิจารณาในเทอมของอัตราส่วนระหว่างความเข้มแสงสูงสุดและความเข้มแสงต่ำสุดที่ส่งผ่านออกมาหรือเป็นการวัดคุณภาพของลำแสงโพลาไรซ์ 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

ในที่นี้จะพิจารณาว่าแสงเป็นส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าเท่านั้นเนื่องจากโพลาไรเซชันเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับเฉพาะคลื่นตามขวางเท่านั้น ดังนั้นจากการที่คลื่นเคลื่อนที่ไปตามแกน Z จะสามารถแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นที่มีทิศทางตามแกน X ได้ดังนี้

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

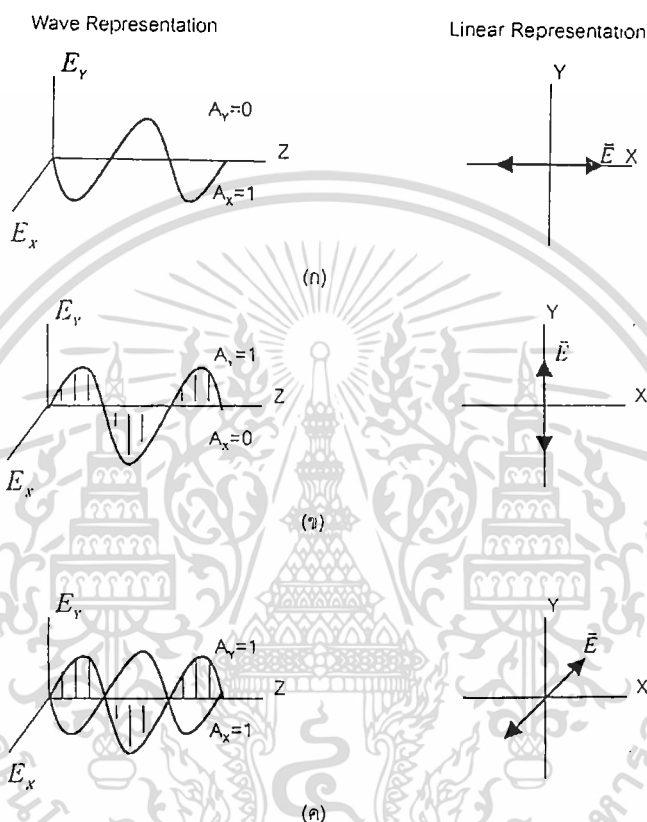
เมื่อ E_{0x} เป็นแอมพลิจูดของสนามไฟฟ้า และ \hat{i} เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วยตามแกน X และในทำนองเดียวกันแสงโพลาไรซ์ชนิดเชิงเส้นที่มีทิศทางตามแกน Y สามารถเขียนได้ดังนี้

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน $\vec{E} = \vec{E}_x + \vec{E}_y = [E_{0x} \hat{i} + E_{0y} \hat{j}] \sin[kz - \omega t + \phi_0]$ ให้นำไป (2.18) ยখনด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

อย่างไรก็ตามในส่วนประกอบของทั้งสองแกนจะต้องมีค่าความถี่เชิงมุม ω เหมือนกันและมีค่าของเฟส ϕ_0 เหมือนกันหรือต่างกันเท่ากับ π และต่อไปจะพิจารณาผลของการต่างกันของเฟสจากส่วนประกอบทั้งสองในกรณีอื่นๆ

ในกรณีที่แอมพลิจูดของคลื่นในส่วนประกอบของแกนซึ่งตั้งฉากกันนั้นเท่ากัน กล่าวคือ $E_{0x} = E_{0y} = E_0$ 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) ดังนี้

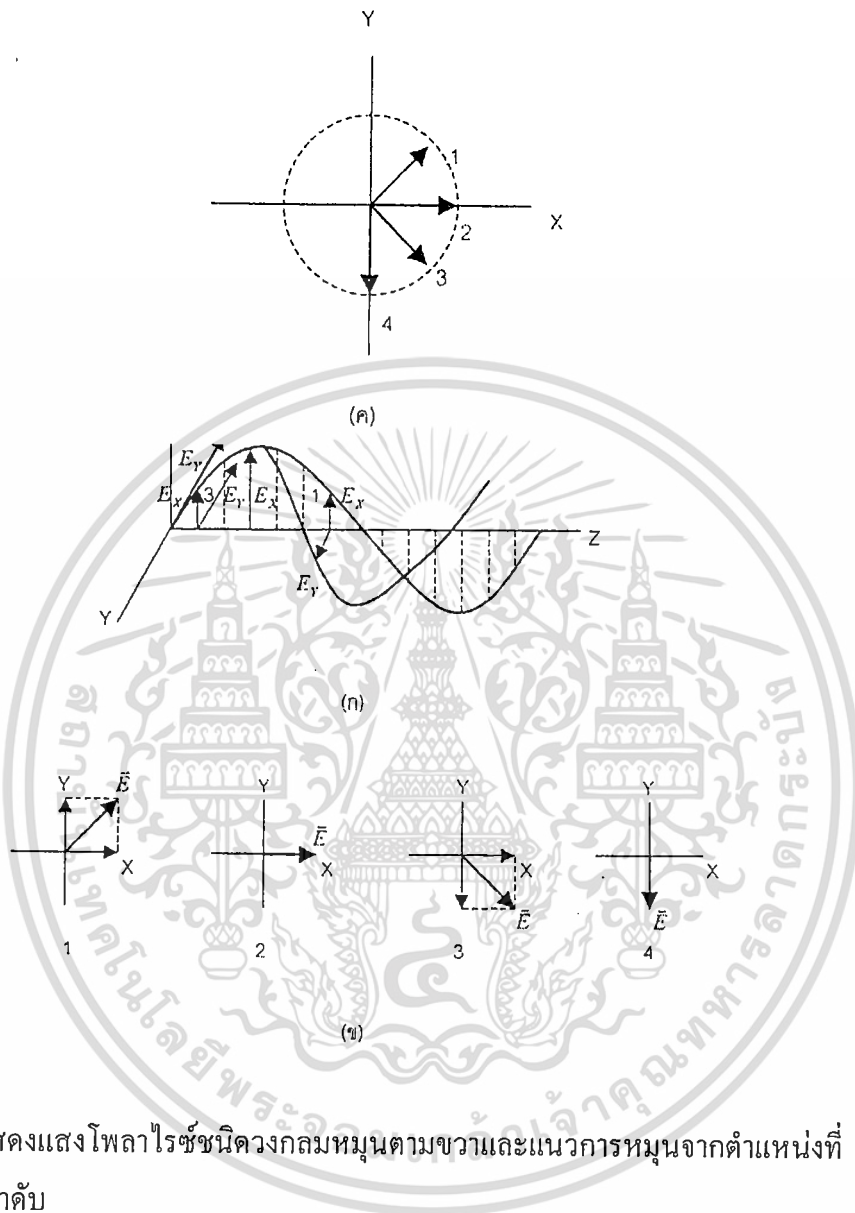
$$\vec{E}_x = \hat{i}E_0 \cos(kz_0) \quad (2.22)$$

และ

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

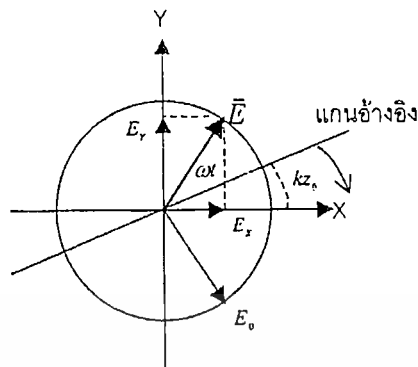
ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปจนกระทั่ง $t = kz_0 / \omega$ จะได้ว่า $\vec{E}_x = \hat{i}E_0 \cdot \vec{E}_y = 0$ และ \vec{E} อยู่ในแกน X คลื่นรวม \vec{E} จึงหมุนตามเข็มนาฬิกาด้วยความถี่เชิงมุม ω โดยมีทิศสวนทางกับทิศการเคลื่อนที่ของแสงตรงไปยังตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งกำเนิดแสงหรืออาจจะกล่าวได้ว่า \vec{E}_y นำ \vec{E}_x อยู่ $\pi/2$ เรเดียน ซึ่งหมายความว่า \vec{E}_y จะมีค่าสูงสุดก่อนที่ \vec{E}_x จะมีค่าสูงสุดล่วงหน้าไปก่อนถึง 1 ใน 4 ของแต่ละรอบ จึงเห็นได้ว่าสนามไฟฟ้าหมุนเป็นวงกลมตามเข็มนาฬิกาและเวกเตอร์ \vec{E} จะหมุนไปครบรอบโดยแสงจะพุ่งไปข้างหน้าเท่ากับความเร็วในช่วงคลื่นซึ่งจะเรียกแสงที่มีลักษณะสถานะโพลาไรเซชันแบบนี้ว่า แสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมตามขวา (Right Circularly Polarization: RCP) โดยมีเฟส $\phi = +\pi/2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมหมุนตามขวาและแนวการหมุนจากตำแหน่งที่ 1 ถึง 4 ตามลำดับ

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



รูปที่ 2.13 แสดงการหมุนของเวกเตอร์ไฟฟ้าในกรณีของแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมตามขวา

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

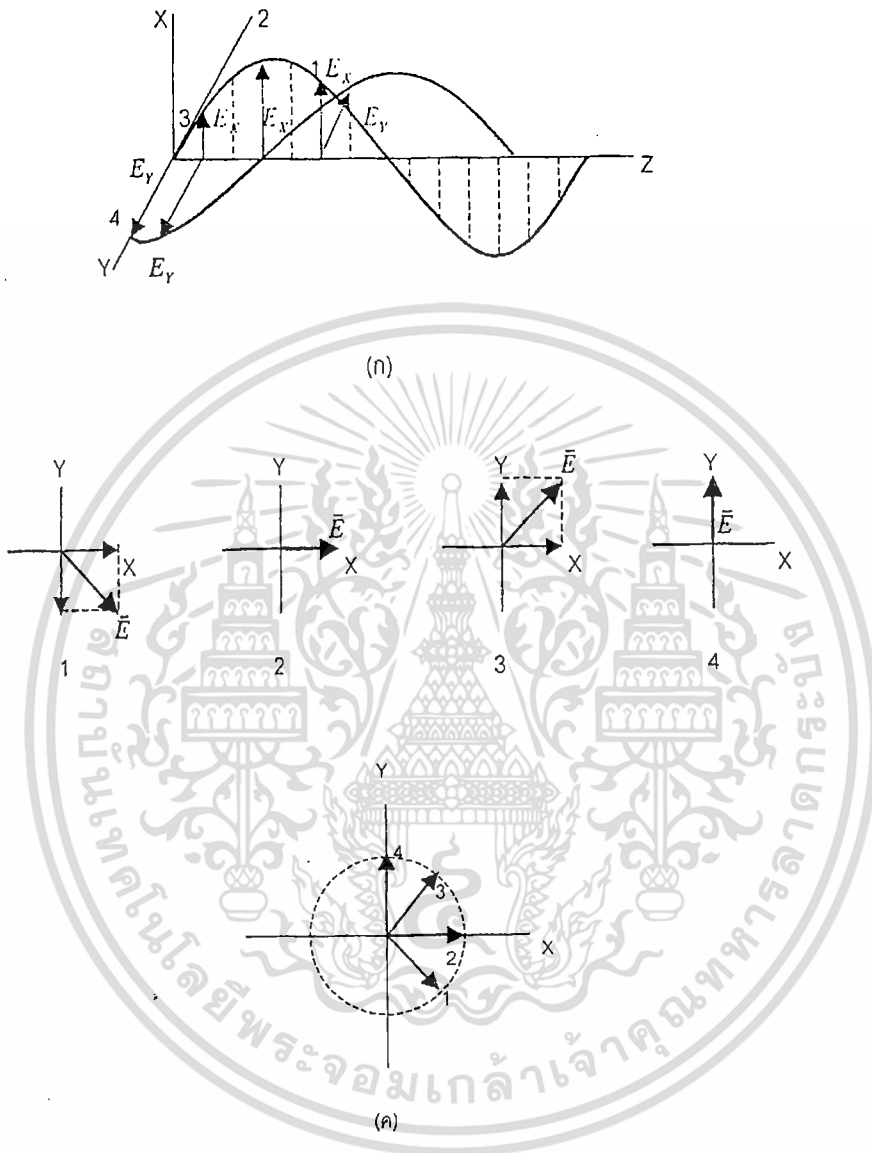
$$\vec{E} = E_0 [\hat{i} \cos(kz - \omega t) - \hat{j} \sin(kz - \omega t)] \quad (2.24)$$

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

พิจารณาโดยทั่วไป จะพบว่าสถานะโพลาไรซ์ชนิดวงกลมทั้งสองแบบนี้จะเป็นไปได้เมื่อเฟส 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



รูปที่ 2.14 แสดงแสงโพลาไรซ์ชนิดวงกลมหมุนตามซ้ายและแนวการหมุนจากตำแหน่งที่ 1 ถึง 4 ตามลำดับ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

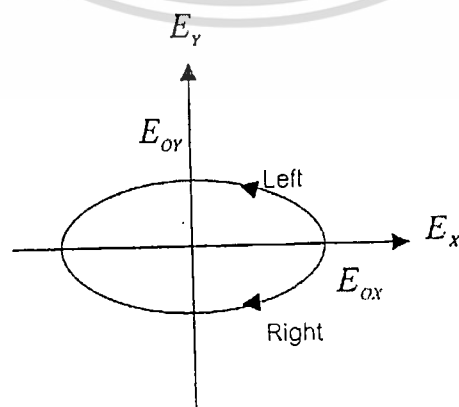
และ

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

หรือเขียนใหม่ได้ว่า

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

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



รูปที่ 2.15 แสดงการกำหนดทิศทางของการหมุนสำหรับ โพลาไรเซชันชนิดวงรี

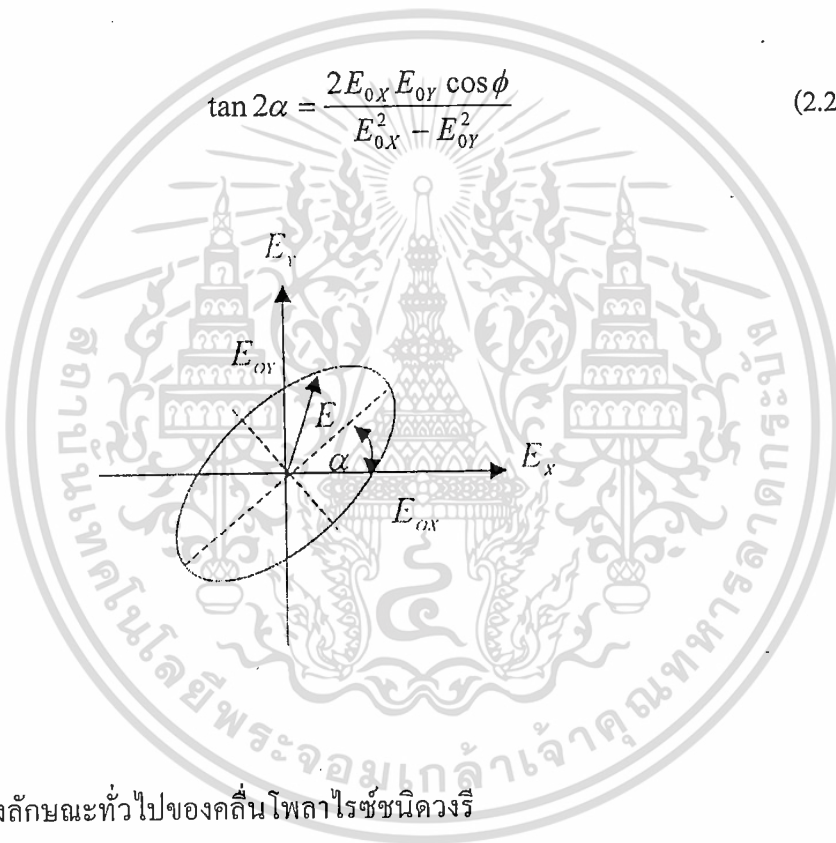
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีทั่วไป สมการของวงรีจะมีความสัมพันธ์ดังนี้

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

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

$$\tan 2\alpha = \frac{2E_{0x}E_{0y}\cos\phi}{E_{0x}^2 - E_{0y}^2} \quad (2.29)$$



รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะทั่วไปของคลื่นโพลาไรซ์ชนิดวงรี

ซึ่งแกนหลักจะเป็นแกนเดียวกับแกน X โดยที่ $\alpha = 0$ เมื่อเฟสสัมพัทธ์มีค่าดังต่อไปนี้
 $\phi = \pm\pi/2, \pm 3\pi/2, \pm 5\pi/2, \dots$

และจะได้ว่า

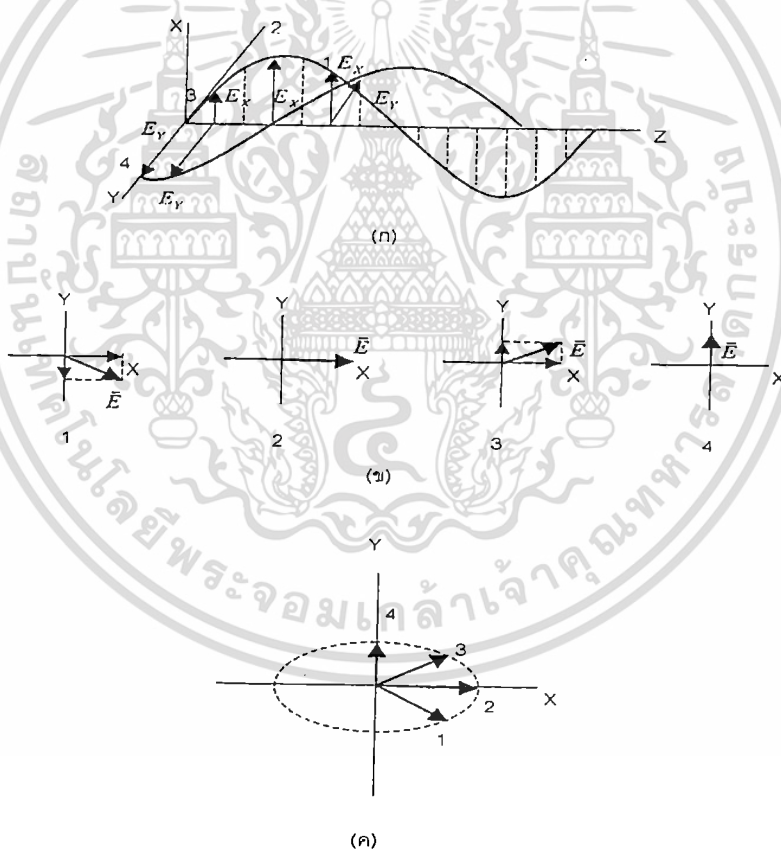
$$\frac{E_x^2}{E_{0x}^2} + \frac{E_y^2}{E_{0y}^2} = 1 \quad (2.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะเห็นได้ว่าตรงกับที่ได้ทำการพิจารณาแล้วในความสัมพันธ์ ตามสมการ (2.30) และในกรณีที่ $E_{0x} = E_{0y}$ จะได้ว่า $E_x^2 + E_y^2 = A_x^2$ เป็นความสัมพันธ์ในรูปแบบของโพลาริซชันวงกลมนั่นเอง และถ้าเฟสสัมพันธ์มีค่าเป็นจำนวนเท่าของจะได้ว่าสมการ (2.30) จะกลายเป็น

$$E_y = \pm \frac{E_{0y}}{E_{0x}} E_x \tag{2.31}$$

ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของโพลาริซชันเชิงเส้นที่มีความชันเป็น $\pm E_{0y}/E_{0x}$ และในรูปที่ 2.17 นี้จะเป็นการแสดงลักษณะของคลื่นแสงโพลาริซชันชนิดวงรีตามซ้าย

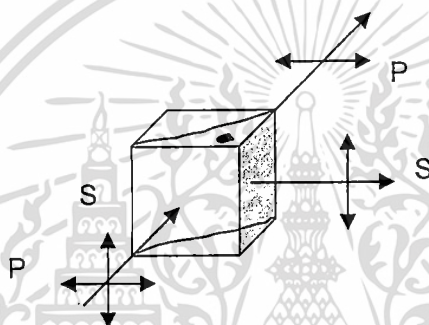


รูปที่ 2.17 แสดงแสงโพลาริซชันชนิดวงรีตามซ้ายและแนวการหมุนจากตำแหน่งที่ 1 ถึง 4 ตามลำดับ
 (ก) ส่วนประกอบของแสงเชิงเส้นที่ตั้งฉากกันมีแอมพลิจูดต่างกันและเฟสต่างกัน 90°
 (ข) ผลรวมเวกเตอร์ของส่วนประกอบทั้งสองใน (ก)
 (ค) แสดงสนามไฟฟ้าในรูปแบบของแผนภาพวงกลมซึ่งมองในทิศเข้าไปหาแหล่งกำเนิดแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 หลักการของการโพลาไรซ์ใน Cube Beamsplitter

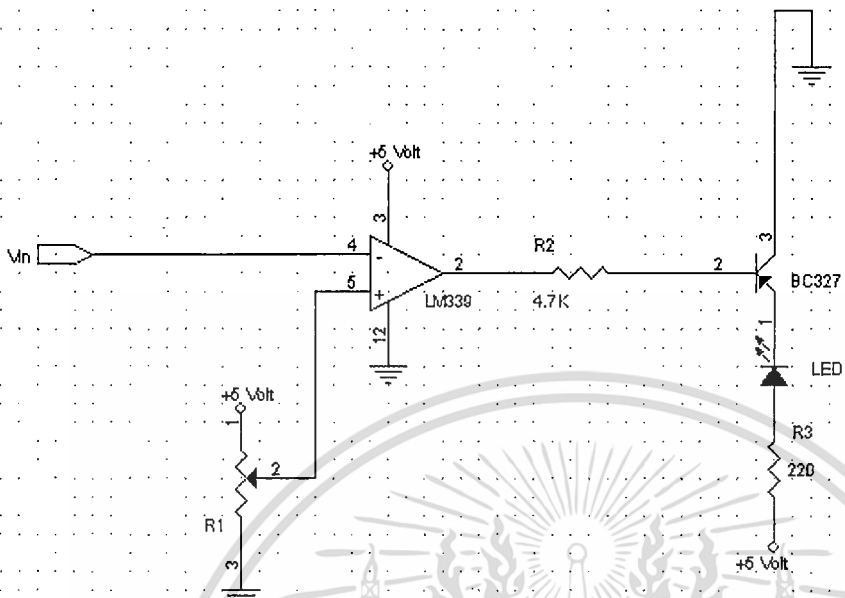
แสงไม่โพลาไรซ์เมื่อผ่าน beamsplitter แสดงดังรูปที่ 2.18 จะถูกแยกออกเป็นสองระนาบการโพลาไรซ์ที่ตั้งฉากกันเมื่อผ่านbeamsplitternั้นคือระนาบ P(ระนาบการโพลาไรซ์ของแสงที่ขนานกับระนาบตกกระทบ) กับ S(ระนาบการโพลาไรซ์ ของแสงที่ตั้งฉากกับระนาบตกกระทบ)โดยที่ระนาบการโพลาไรซ์ P จะเกิดจากการที่แสงผ่าน beamsplitter 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 ช่องสัญญาณ



รูปที่ 2.19 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ comparator

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การศึกษาสมบัติทางแสงของ Polyurethane, DNA, Alq₃, และ CuPc

3.1.1 ศึกษาทฤษฎีการดูดกลืนแสง, การโพลาไรซ์ของแสง, ทฤษฎีของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์, และสมบัติทางแสงของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์

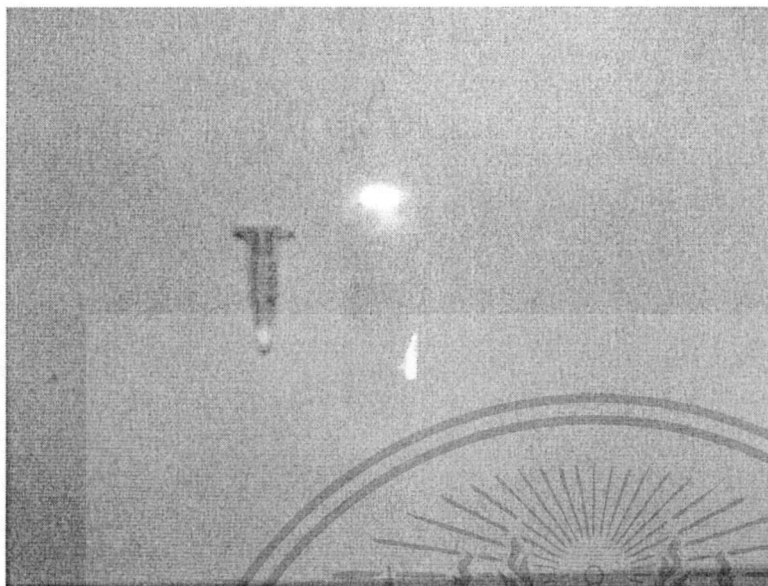
3.1.2 ศึกษาหลักการดูดกลืนแสงใน DNA, Polyurethane, फिल्मบางอินทรีย์ Alq₃ และ फिल्मบางอินทรีย์ CuPc



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

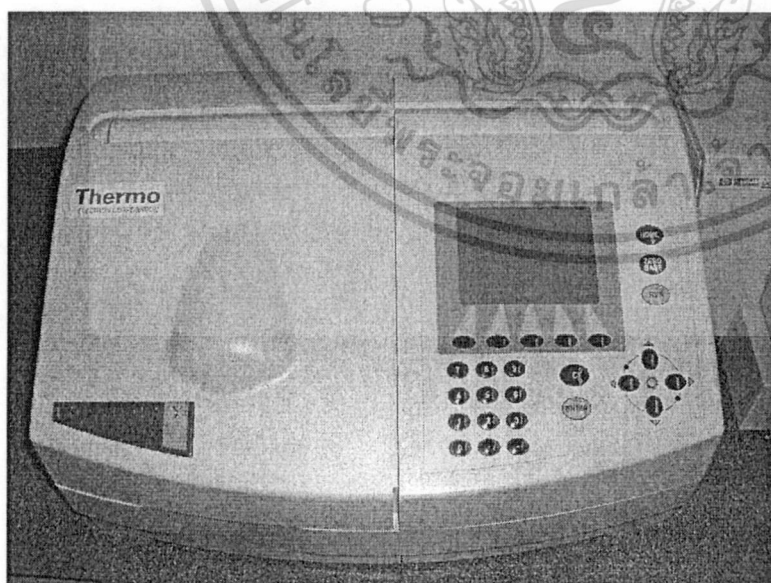
รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองสร้าง optical logic gate โดย CuPc ปลุกที่อุณหภูมิ 60°C และ Alq₃ ปลุกที่อุณหภูมิ 80°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



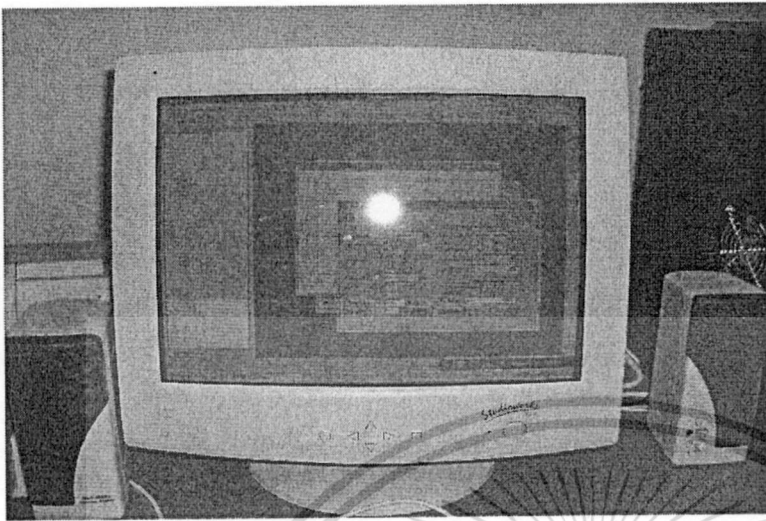
รูปที่ 3.2 แสดงตัวอย่าง DNA ที่ใช้ในการทดลองสร้าง optical logic gate

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



รูปที่ 3.3 แสดงเครื่องวัดค่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงโปรแกรมประกอบเครื่องวัดค่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงสเปกโทรโฟโตมิเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

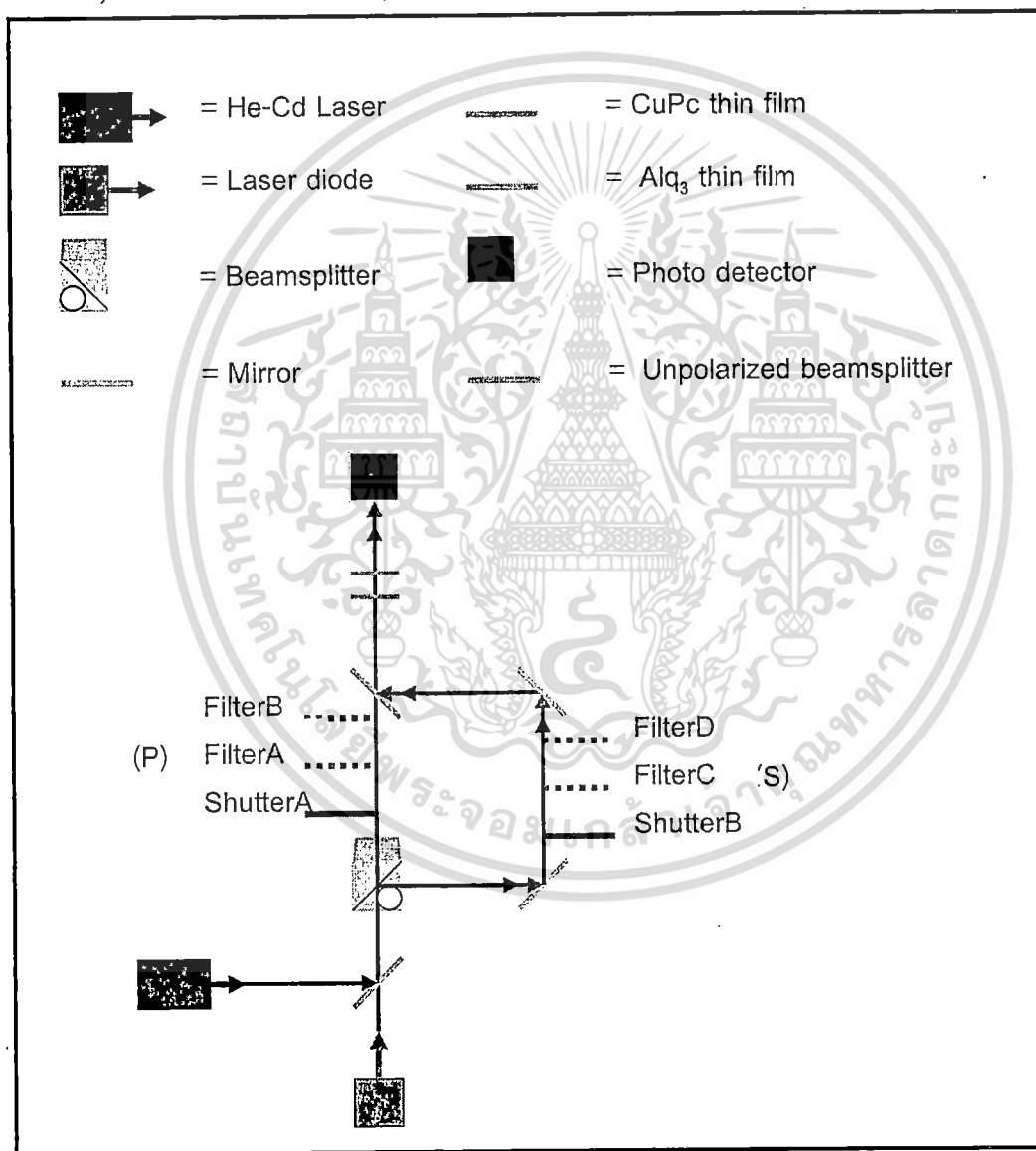
3.2 การทดลองเพื่อสร้าง optical logic gate

ทำการทดลองวัดค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง Alq_3 และ $CuPc$ เมื่อยิงแสงเลเซอร์คู่ He-Cd Laser และ Laser diode ผ่านฟิล์มบาง Alq_3 - $CuPc$

ShutterA,B = กั้นแสง

FilterA,C = กรองแสงสีแดง(laser diode)

FilterB,D = กรองแสงสีน้ำเงิน(He-Cd laser)



รูปที่ 3.5 แสดงแผนผังในการจัดชุดการทดลองเพื่อใช้สร้าง optical logic gate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากชุดการทดลองดังรูปที่ 3.5 ทำการทดลองยิงแสงเลเซอร์ที่ไม่โพลาไรซ์ 2 ชุด โดยชุดแรกมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 325-442 nm (He-Cd laser) และชุดที่สองเลเซอร์ไดโอด มีความยาวคลื่นในช่วง 660-680nm (Laser diode) ผ่าน beamsplitter พร้อมๆกัน โดยให้ลำแสงอยู่ในแนวเดียวกันเราจะได้ทั้งแสงเลเซอร์ที่โพลาไรซ์ตั้งฉากกับระนาบตกกระทบ(S) และแสงเลเซอร์ที่โพลาไรซ์ขนานกับระนาบตกกระทบ(P)ออกมาจากbeamsplitter โดย P polarized จะผ่าน beamsplitter ออกมาในแนวตรง ส่วน S polarized จะสะท้อนออกมทางด้านข้าง โดยทำการทดลองทั้งหมด 4 แบบด้วยกันคือ

1. (P,P) ทำได้โดยปิด shutterB
2. (S,S) ทำได้โดยปิด shutterA
3. (P,S) ทำได้โดยปิด filterA,D
4. (S,P) ทำได้โดยปิด filterB,C

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

- 1.ทำการปิด shutteB และ ปิด filterB เราจะได้อินพุทเป็น P โพลาไรซ์ของเลเซอร์ไดโอด
- 2.ทำการปิด shutterA และ ปิด filterD เราจะได้อินพุทเป็น S โพลาไรซ์ของเลเซอร์ไดโอด

ซึ่งจะทำให้เกิดความสัมพันธ์ของอินพุทและเอาต์พุทในแบบ logic NOT ซึ่งจะถูกนำไปใช้แทนสถานะทางลอจิกทางแสงต่อไป

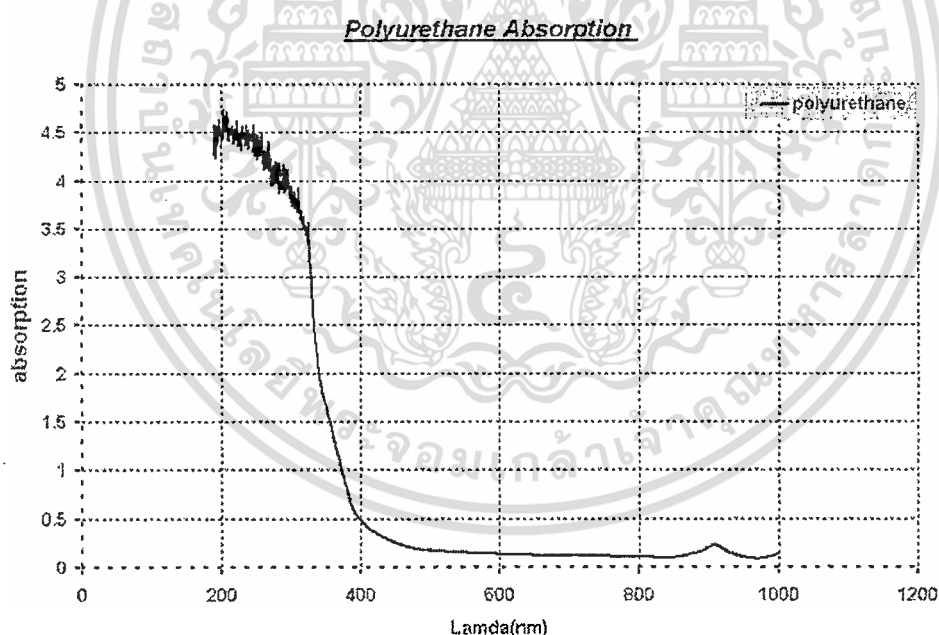
บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การทดลองวัดค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์และอื่นๆ

จากการทดลองได้ทำการหาวัสดุที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้สร้าง optical logic gate โดยทำการทดลองวัดคุณสมบัติทางแสง ซึ่งวัสดุที่เรานำมาใช้ในการทดลองคือ polyurethane, DNA, Alq₃, CuPc และอื่นๆอีกหลายชนิด โดยดูความเหมาะสมของช่วงการดูดกลืนแสงที่สอดคล้องกับความยาวคลื่นแสงของเลเซอร์ที่ใช้ในการทดลอง โดยจะทำการอธิบายผลการทดลองที่ได้จากการวัดคุณสมบัติทางแสงดังต่อไปนี้

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

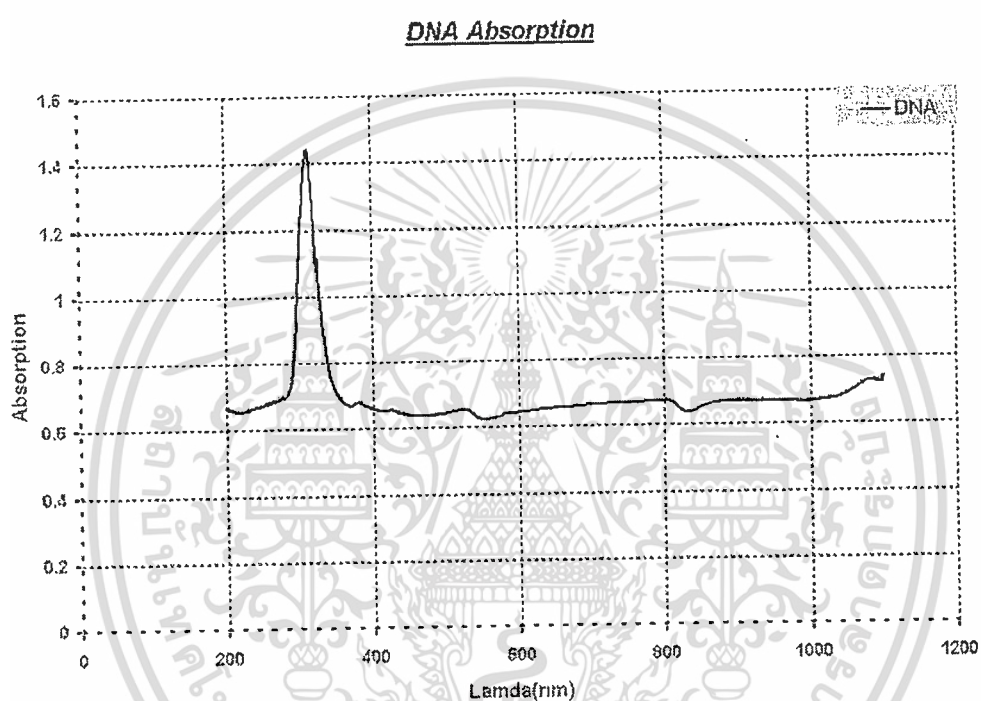


รูปที่ 4.1 กราฟการดูดกลืนแสงของ polyurethane ที่ค่าความยาวคลื่นต่างๆ

จากการทดลองจะพบว่า ค่าการดูดกลืนแสงในโพลียูรีเทนจะมีช่วงการดูดกลืนแสง อยู่ที่ช่วง 200-360nm และมีพีคของการดูดกลืนแสงอยู่ที่ประมาณ 270nm ซึ่งใกล้เคียงกับช่วงความยาวคลื่นของ He-Cd Laser ซึ่งมีช่วงความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 325-442nm แต่เมื่อนำมาทำการทดลองเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าไม่เหมาะที่จะทำเป็น optical logic gate เนื่องจากแรงดันเอาต์พุตไม่เหมาะสมที่จะทำเป็น optical logic gate

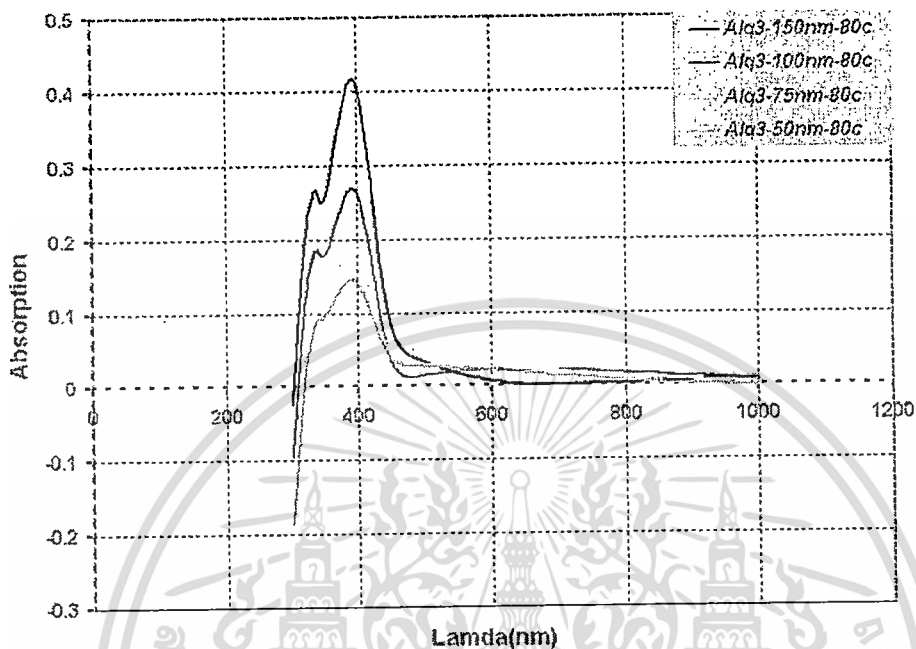
เมื่อเราทำการวัดค่าประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงของ DNA ที่ความยาวคลื่นต่างๆ จะได้กราฟ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟการดูดกลืนแสงที่ค่าความยาวคลื่นต่างๆของฟิล์มบาง Alq_3 ที่มีความหนาตั้งแต่ 50,75,100, และ 150 nm ปลุกที่อุณหภูมิ $80c^{\circ}$

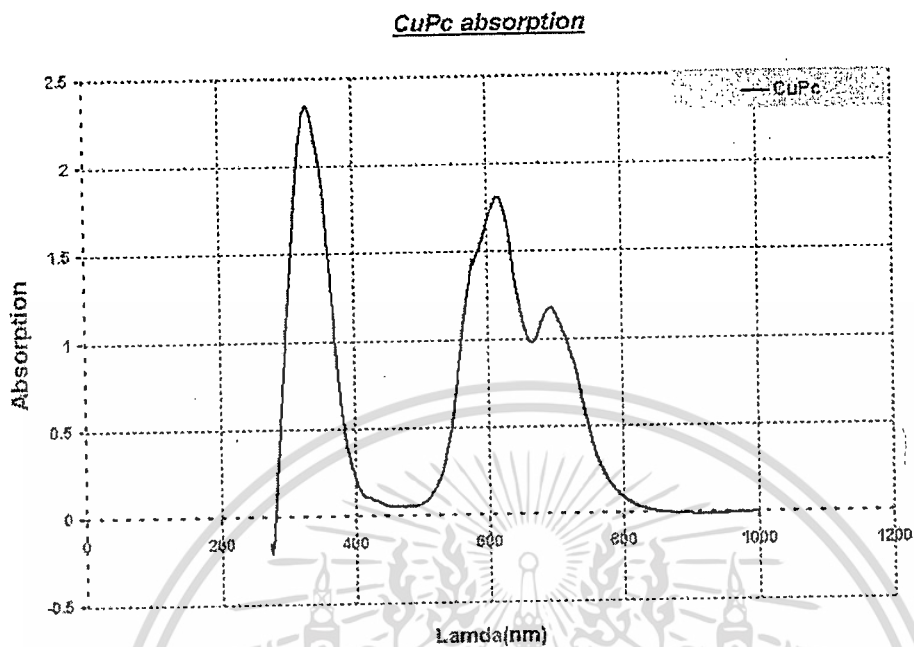
จากการทดลองจะพบว่าค่าการดูดกลืนแสงใน DNA จะมีช่วงการดูดกลืนแสงอยู่ที่ช่วง 290-350nm ซึ่งเป็นช่วงที่ค่อนข้างแคบและมีพีคของการดูดกลืนอยู่ที่ 320 nm ซึ่งใกล้เคียงกับช่วงความยาวคลื่นของ He-Cd Laser ซึ่งมีช่วงความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 325-442nm แต่เมื่อนำมาทำการทดลองพบว่าไม่เหมาะที่จะทำเป็น optical logic gate เนื่องจากแรงดันเอาต์พุตไม่เหมาะสมที่จะทำเป็น optical logic gate เมื่อทำการวัดค่าประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงของฟิล์มบางอินทรีย์ Alq_3 ที่มีความหนาต่างๆ จะได้กราฟดังรูปที่ 4.3

Absorption Characteristic of Various Thickness Alq3 at 80 c



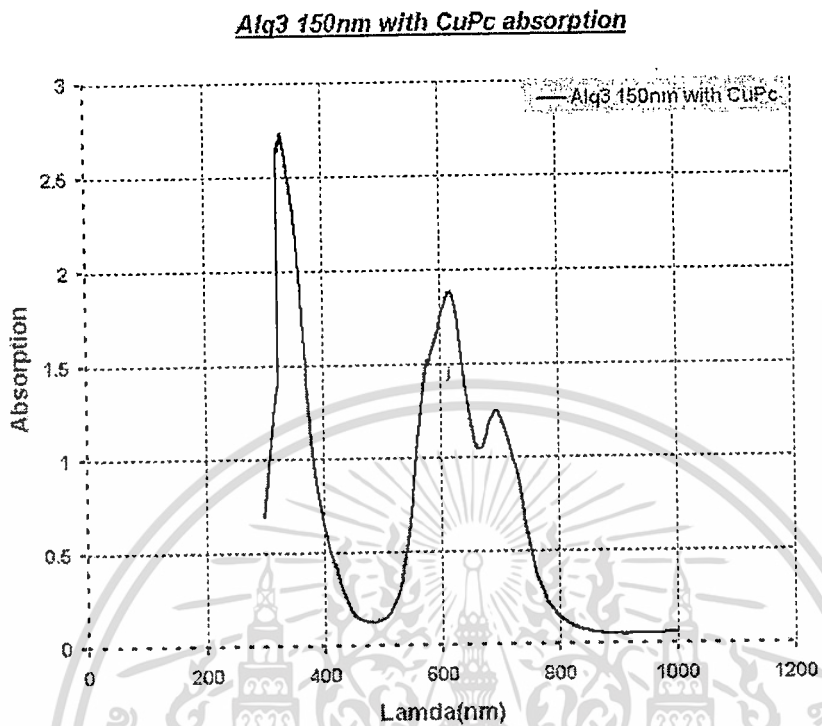
รูปที่ 4.3 กราฟการดูดกลืนแสงที่ค่าความยาวคลื่นต่างๆของฟิล์มบาง Alq₃ ที่มีความหนาตั้งแต่ 50, 75, 100, และ 150 nm ปลูกที่อุณหภูมิ 80°C

สังเกตได้ว่าฟิล์มจะมีการดูดกลืนแสงช่วงความยาวคลื่นประมาณ 300-450 nm ได้ดีและมีพีคของการดูดกลืนอยู่ที่ประมาณ 400nm และถ้าเราเปลี่ยนแปลงความหนาของฟิล์มให้มีความหนาเพิ่มขึ้นจาก 50, 75, 100, ไปจนถึง 150 nm พีคของการดูดกลืนแสงก็จะมีค่าสูงขึ้นตามลำดับซึ่งเป็นผลมาจากเมื่อวัดลูมิความหนามากขึ้นแสงที่ผ่านตัวกลางที่สามารถดูดกลืนแสงก็จะมีค่าของความเข้มของแสงที่ผ่านตัวกลางน้อยลง(เพราะถูกดูดกลืนในตัวกลาง)แสงจะมีความเข้มลดลงแบบเอกซ์โปเนนเชียลตามสมการ $I=I_0e^{-\alpha d}$ ซึ่งเป็นสมการสำหรับหาความเข้มของแสงสำหรับตัวกลางที่มีการดูดกลืนแสงและจากการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง CuPc เราจะได้กราฟดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.4 กราฟการดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง CuPc ที่ค่าความยาวคลื่นต่างๆ

จากกราฟฟิล์มบาง CuPc จะมีช่วงการดูดกลืนแสง 2 ช่วงด้วยกันคือ 300-400 nm และ 540-750nm และมีพีคของการดูดกลืนแสงอยู่สองจุดคือ 320nm และประมาณ 660 nm เมื่อนำฟิล์มบาง Alq₃ (150nm) ปลูกที่อุณหภูมิ 80 °C และฟิล์มบาง CuPc (200nm) ปลูกที่อุณหภูมิ 60 °C มาวัดค่า absorption เราจะได้กราฟดังรูปที่ 4.5



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

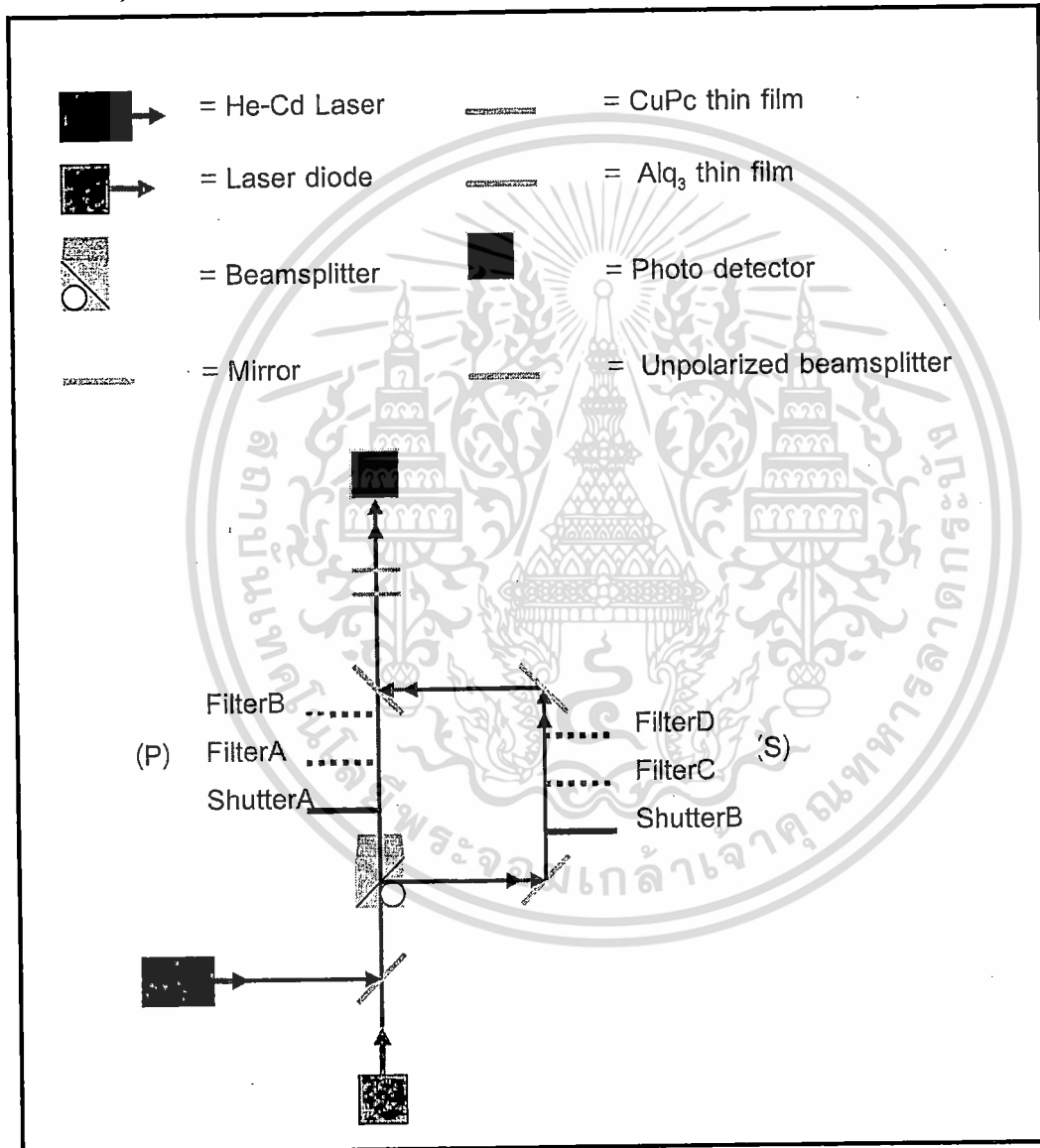
จากกราฟจะเห็นช่วงการดูดกลืนแสงสองช่วงด้วยกันคือ 275-420nm กับ 550-790nm ซึ่งมีค่าพีคของการดูดกลืนอยู่ที่ประมาณ 300 nm และ 640 nm โดยจากกราฟทั้งหมดเมื่อนำมาทำการทดลองและวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.4 พบว่า วัสดุที่มีช่วงการตอบสนองต่อแสงเหมาะสมเพียงพอที่จะนำไปสร้างเป็น optical logic gate ได้คือ Alq₃ และ CuPc ซึ่งผลตรงนี้สามารถนำไปสร้างเป็น 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากชุดการทดลองดังรูปที่ 4.6 เมื่อยิงแสงเลเซอร์ไม่โพลาไรซ์ มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 325-442nm (He-Cd laser) และ Laser diode ที่มีความยาวคลื่นในช่วง 660-680nm ผ่านบีมสปลิตเตอร์ (beamsplitter) พร้อมๆกัน จะได้แสงเลเซอร์ที่โพลาไรซ์ตั้งฉากกับระนาบตกกระทบ (S) และแสงเลเซอร์ที่โพลาไรซ์ขนานกับระนาบตกกระทบ (P) ออกมาจากบีมสปลิตเตอร์ เมื่อนำแสงโพลาไรซ์ทั้งสองชนิดนี้ที่ออกมาจากบีมสปลิตเตอร์ฉายผ่านฟิล์มบาง CuPc และ Alq₃ ไปตกกระทบโฟโตดีเทคเตอร์และทำการวัดค่าความเข้มแสงทะลุผ่านในรูปของแรงดัน ที่ออกมาจากโฟโตดีเทคเตอร์ (photo detector) แล้วนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างระนาบการส่งผ่านแสงและค่าความเข้มแสงที่ทะลุผ่านฟิล์มบางอินทรีย์ (organic thin film) กับเกต (gate) ในแบบต่างๆ จะพบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะสร้างเกตถึงสองชนิดด้วยกันดังแสดงให้เห็นดัง ตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 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

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 เมื่อกำหนดให้ on state (logic 1) แทนด้วย P(0) อยู่ในช่วง $\geq 0.42V$ และความต่างศักย์ $\leq 0.360V$ เป็น off state (logic 0) แทนด้วย S(1) เราจะสามารถสร้าง OR gate ดังตารางที่ 4.1

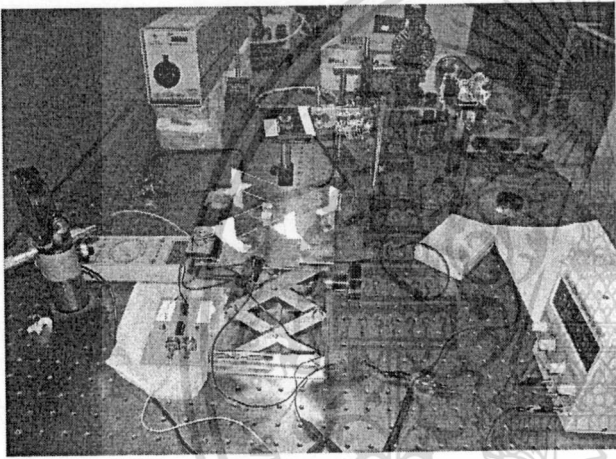
ตารางที่ 4.2 แสดงสถานะของ NOT gate

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

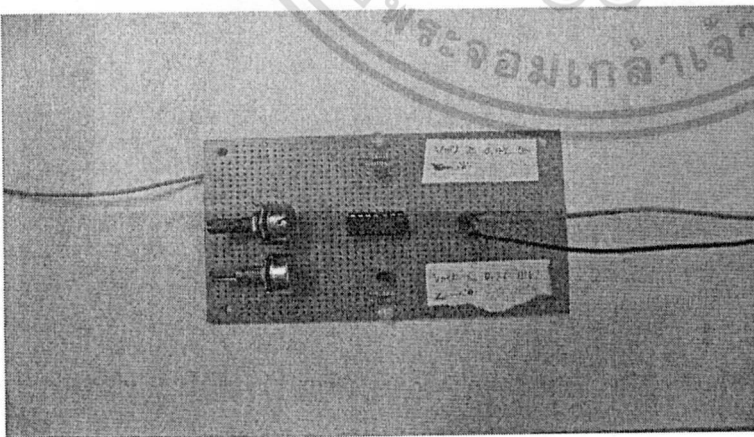
จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.2 เมื่อยิงเลเซอร์ไดโอดที่ไม่โพลาไรซ์ผ่านบีมสปริตเตอร์จะก่อให้เกิดระนาบการโพลาไรซ์สองระนาบด้วยกัน คือระนาบ P กับ S สองระนาบนี้จะไปตกกระทบและผ่าน CuPc ไปตกลงบนโฟโตดีเทคเตอร์ โดยจะมีความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตที่ได้ คือระนาบ P(0)(off state) จะให้เอาต์พุต(แรงดัน) ที่ได้มีค่าเป็นสภาวะ on state(ความต่างศักย์ $\geq 0.420\text{V}$) แต่เมื่อยิงเลเซอร์ไดโอดที่มีระนาบการโพลาไรซ์ตั้งฉากกับระนาบตกกระทบ S(1)(on state)ค่าเอาต์พุตที่ได้กลับมีค่าเป็นสภาวะ off state($\leq 0.360\text{V}$) ซึ่งผลที่ได้ตรงนี้เกิดจากคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ซึ่งแสดงคุณสมบัติเป็น NOT gate ดังแสดงในตารางที่ 4.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

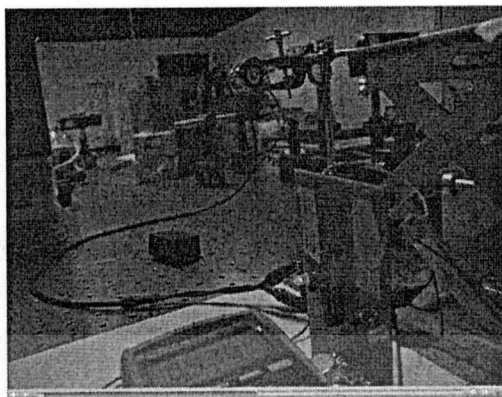


รูปที่ 4.7 แสดงการจัดชุดการทดลองเพื่อสร้าง optical logic gate



รูปที่ 4.8 แสดงวงจร comparator ที่ใช้เปรียบเทียบสัญญาณขาออกของ photodetector

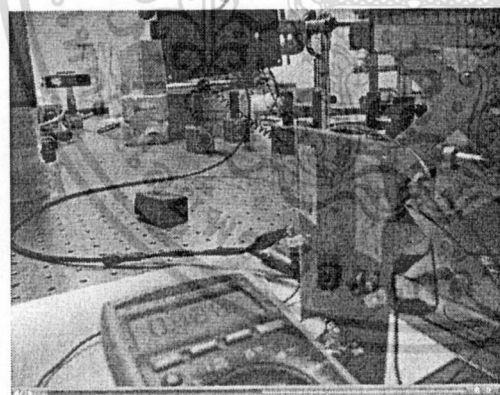
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



a



b



รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะของลอจิกที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบ a,b,c โดยทำการตั้งให้ไฟดวงซ้ายติดเมื่อแรงดันที่เอาต์พุตมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.420 โวลต์ และไฟดวงขวาติดเมื่อแรงดันที่เอาต์พุตมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.300 โวลต์ a) เมื่อแรงดันที่เอาต์พุตมีค่าเกิน 0.420 V LED ดวงซ้ายจะติด b) เมื่อแรงดันที่เอาต์พุตมีค่าต่ำกว่า 0.420 V แต่มากกว่า low level (ลอจิก 0) c) เมื่อแรงดันที่เอาต์พุตมีค่าต่ำกว่า 0.300 V LED ดวงขวาจะติด นั่นคือ output เป็นลอจิก 0 ในขณะที่ LED ดวงซ้ายยังดับอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติการดูดกลืนแสงของฟิล์มบางอินทรีย์ DNA, polyurethane, Alq₃, และ CuPc เพื่อนำเอาไปพัฒนาเป็น 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 จะพบช่วงของการดูดกลืนอยู่ที่ช่วงประมาณ 290-320 nm และพบว่าไม่เหมาะแก่การนำไปทำ optical logic gate ซึ่งใช้ในการทดลองครั้งนี้เนื่องจากว่ามีช่วงกว้างของการดูดกลืนแสงที่แคบมากและมีระดับแรงดันที่เอาท์พุทที่ไม่เหมาะสมจะนำไปทำ optical logic gate

5.1.3 วิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้าง optical logic gate จาก Alq₃ organic thin film

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

5.1.4 วิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้าง optical logic gate จาก CuPc organic thin film

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

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

เมื่อนำเอาฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ CuPc กับ Alq₃ มาวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงที่ค่าความยาวคลื่นต่างๆกันจะเห็นช่วงการดูดกลืนแสงสองช่วงด้วยกัน คือ 275-420 nm และ 550-800 nm จากนั้นทำการทดลองจับคู่การโพลาไรซ์ของแสงจาก He-Cd Laser และ Laser diode โดยให้แต่ละอันเป็น P และ S สลับกันไปโดยสามารถจับคู่อินพุตที่ได้ทั้งหมด 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 จากผลตรงนี้เมื่อทำการทดลองจับคู่ระนาบของการโพลาไรซ์ทั้งสี่แบบของ He-Cd Laser และ Laser diode โดยยิงแสงเลเซอร์คู่ 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 จะได้แรงดันเอาต์พุตดังตารางที่ 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) อยู่สองช่วงที่แยกกันซึ่งอยู่ระหว่างความต่างศักย์ ≥ 0.420 V และ ความต่างศักย์ ≤ 0.360 V ซึ่งผลตรงนี้สามารถกำหนดเป็นสถานะทางลอจิกได้ว่าช่วงที่โวลต์มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.420 V เป็นสถานะ on state(logic 1) ช่วงที่โวลต์มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.360 V 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.6.2 สร้าง logic NOT

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

ตารางที่ 5.3 แสดงสถานะของ NOT gate

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

ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีช่วงของเปอร์เซ็นต์ของการส่งผ่านแสง(transmission) อยู่สองช่วงที่แยกกันซึ่งอยู่ระหว่างความต่างศักย์ ≥ 0.420 V และ ความต่างศักย์ ≤ 0.360 V ซึ่งผลตรงนี้สามารถกำหนดเป็นสถานะทางลอจิกได้ว่าช่วงที่แรงดันมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.420 V เป็นสถานะ on state(logic 1) ช่วงที่โวลต์มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.360 V เป็นสถานะ off state(logic 0) ซึ่งภายหลังจากการนิยามสถานะทางลอจิกทั้งสองได้แล้วจากนั้นก็ดูความสัมพันธ์ระหว่างระนาบการโพลาไรซ์ (P,S)(โดย Input A แทน Laser diode และ Input B แทน He-Cd Laser กับแรงดันเอาต์พุตที่ได้เราจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต(P,S) กับเอาต์พุต(voltage) ในแบบ NOT logic gate ซึ่งมีความสอดคล้องกันของอินพุตและเอาต์พุตระหว่างตารางที่ 2(OR gate)และ 3(AND gate)

5.2 สรุปผลการวิจัย

จากการที่ได้สามารถวิจัยสร้าง optical logic gate ได้ 2 ชนิดคือ OR gate และ NOT gate จากการใช้คุณสมบัติของการดูดกลืนแสงของฟิล์มบางอินทรีย์ Alq₃ และ CuPc ที่มีช่วงของการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของเลเซอร์ He-Cd Laser และ Laser diode โดยอาศัย beamsplitter เป็นตัวช่วยให้เกิดการโพลาไรซ์ในแนว P และ S เพื่อไปตกลงบนฟิล์มบางที่ได้เตรียมไว้และ beamsplitter ยังก่อให้เกิดระดับความเข้มแสงเลเซอร์ที่เหมาะสมในการสร้าง optical logic gate พบว่าวัสดุที่มีคุณสมบัติที่จะนำมาสร้างเป็น optical logic gate คือ Alq₃ และ CuPc ซึ่งเป็นประโยชน์สำหรับ integrated optics เนื่องจากขนาดเล็ก, ติดตั้งง่าย, และมีความยืดหยุ่นในการออกแบบสูง

5.3 แนวทางการพัฒนา

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

เอกสารอ้างอิง

1. รายงานการวิจัย พัฒนาและวิศวกรรมฉบับสมบูรณ์, "โครงการพัฒนาสารกึ่งตัวนำโดยวิธีระเหยด้วยลำอิเล็กตรอนในสุญญากาศเพื่อประยุกต์เป็นอุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์" , ผศ.ดร.จิติ หนูแก้ว ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะ วิทยาศาสตร์ สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. รศ.ดร.คุสิต เครื่องงาม, "สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ เล่ม1", สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
3. Richard S.Muller and Theodore I.Kamins, " Device Electronics for Intergrated Circuits," John Wiley & Sons,Inc., New York
4. รศ.สุวรรณ คุณำราญ.2537. ทัศนศาสตร์กายภาพ.กรุงเทพฯ:สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
5. 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. Phys. 245 (1999) 27-34.
6. J. Shinar "ORGANIC LIGHT-EMITTING DEVICE" Ames Laboratory USDOE and Department of Physics and Astronomy Iowa State University Ames, IA 50011 USA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้