การสร้างภาพโพลาไรเซชันโดยการใช้ดิจิทัลฮอโลกราฟี

POLARIZATION IMAGING BY USE OF DIGITAL HOLOGARPHY

กวิสรา จงจินากูล

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POLARIZATION IMAGING BY USE OF DIGITAL HOLOGARPHY

Kavisra Jongjinakool

A SPECIAL PROBLEM SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF
SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การสร้างภาพโพลาไรเซชันโดยการใช้ดิจิทัลฮอโลกราฟี Polarization Imaging by Use of Digital Holography
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกวิสรา จงจินากูล รหัสนักศึกษา 57050929
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร. วิทูรย์ ยินดีสุข ประธานกรรมการ	
อ. ภูมินทร์ จินดาจิธาวัฒน์ กรรมการ	
อ. ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง กรรมการ	
ผศ.ดร. ประธาน บุรณศิริ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงงานพิเศษ การสร้างภาพโพลาไรเซชันโดยการใช้ดิจิทัลฮอโลกราฟี
ชื่อนักศึกษา นางสาวกวิสรา จงจินากูล รหัสนักศึกษา 57050929
ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
คณะ วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา 2560
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ

บทคัดย่อ

เรานำเสนอสิ่งที่ชื่อว่าเป็นวิธีการถ่ายภาพดิจิทัลแบบโฮโลแกรมแบบใหม่ที่สามารถกำหนดได้พร้อมกันการกระจายความเข้มข้นเฟสและสถานะโพลาไรซ์ที่พื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่างบนพื้นฐานของการรวมภาพครั้งเดียว โดยการแทรกสอดของคลื่นอ้างอิงและคลื่นวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างโฮโลแกรม ที่บันทึกอยู่ในกล้องCCDสองหน้าคลื่นแต่ละอันตั้งฉากกับโพลาไรเซชันจะถูกสร้างขึ้นใหม่ในความเข้มและเฟส การรวมความเข้มและการกระจายเฟสของคลื่นทั้งสองด้านนี้จะช่วยให้สามารถหาส่วนประกอบทั้งหมดของเวกเตอร์โจนส์ของคลื่นวัตถุประสงค์ได้ เราแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้วิธีนี้ได้เพื่อดูภาพและวัดการกระจายของสถานะโพลาไรซ์ที่พื้นผิวของชิ้นงานและผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าการวัดเชิงปริมาณของสถานะโพลาไรซ์ได้อย่างแม่นยำ

คำสำคัญ : คลื่นวัตถุประสงค์ คลื่นอ้างอิง โพลาไรซ์ โฮโลแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Polarization Imaging by use of Digital Holography
Students	Miss. Kavisra Jongjinakool Student ID 57050929
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)
Department	Applied Physics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2017
Advisor	Assist.Prof.Dr. Prathan Buranasiri

Abstract

We propose what is called a new holographic digital imaging method that can be defined simultaneously. Phase and polarization state of the specimen surface on the basis of a single-image integration. By interference of reference wave and objective wave. To create a notebook recorded on a two-sided high-resolution CCD camera. It allows you to work efficiently so that you can use it efficiently. The results and the results show that the quantitative measurement of the polarization state is accurate.

Keywords : object wave, reference wave, polarization , hologram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ข้าพเจ้าได้ศึกษาในหัวข้อ การสร้างภาพโพลาไรเซชันโดยการใช้ดิจิทัลฮอโลกราฟี (POLARIZATION IMAGING BY USE OF DIGITAL HOLOGARPHY) ข้าพเจ้าขอกราบขอบคุณ ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยเป็นอย่างสูงที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางตลอดจนช่วยตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆอีกทั้งยังให้ความรู้แก่ข้าพเจ้าทำให้งานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ นอกจากนี้คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ดร.วิทูรย์ ยินดีสุขและอ.ภูมินทร์ จินดาจิธาวัฒน์ และ อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง ที่ได้ให้ความกรุณาสละเวลามาเป็นประธานกรรมการสอบและกรรมการสอบในปัญหาพิเศษนี้รวมถึงให้ความรู้ ข้อเสนอแนะ เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับใช้ในการแก้ไขปัญหาพิเศษให้เกิดความถูกต้องและสมบรูณ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบคุณบิดามารดาที่คอยสั่งสอนอบรม เป็นกำลังใจให้แก่ข้าพเจ้าและสนับสนุนด้านการศึกษามาตั้งแต่ต้นจนถึงทุกวันนี้ และความดีอันเกิดจากการศึกษาค้นคว้าในครั้งนี้ข้าพเจ้าขอมอบแด่บิดามารดาครูอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่มีส่วนงานและเป็นกำลังใจ ซึ่งข้าพเจ้าซาบซึ้งในความกรุณาอันยิ่งใหญ่จากท่านและขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

กวิสรา จงจินากูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
2.1 โพลาไรเซชัน	2
2.2 wave plate	8
2.3 หลักการของเลนส์	16
2.4 โฮโลกราฟี	23
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	26
3.1 อุปกรณ์การทดลอง	26
3.2 วิธีการและการทดลอง	26
3.3 บันทึกภาพ	30
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	21
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	44
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางค่าคงที่	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพแสดงการโพลาไรซ์ ผ่านแผ่นโพลารอยด์	4
2.2 ภาพแสดงการโพลาไรซ์ โดยการสะท้อน	5
2.3 ภาพแสดงการโพลาไรซ์ โดยการหักเห	6
2.4 ภาพแสดงการโพลาไรซ์ โดยการกระเจิงของแสง	6
2.5 แสดงแกนโพลาไรซ์ แกนตั้ง	8
2.6 แสดงแกนโพลาไรซ์ แกนนอน	9
2.7 ภาพแสดง half – wave plat	10
2.8 ภาพแสดง half – wave plate	11
2.9 ภาพแสดง quarter – wave plate	12
2.10 ภาพแสดง quarter – wave plate	12
2.11 แสดงแนวการหมุนของโพลาไรซ์	14
2.12 แสดงส่วนประกอบของคลื่น	16
2.13 แสดงคลื่น 1 มิติ	17
2.14 แสดงคลื่น 1 มิติ	18
2.15 แสดงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	18
2.16 แสดงการสะท้อน	20
2.17 แสดงการหักเห	20
2.18 แสดงการแทรกสอด	21
2.19 แสงการเลี้ยวเบน	21
2.20 แสดงการถ่ายโอนพลังงาน	21
2.21 แสดงวิธีสร้างภาพโฮโลแกรม	22
2.22 แสดงการสร้างโฮโลแกรมจากการแทรกสอด	23
3.1 แสดงรูปแบบการจัดแสง	24
3.2 แสดงรูปแบบของ Mach-Zehnder interferometer	25
3.3 แสดงการใส่ ตัวอย่าง	25
3.4 แสดง การใส่ Polarizer ที่มุม 0 องศา	26
3.5 แสดงการใส่ Half-wave plate	26
3.6 แสดงการใส่ Polarizer ที่แขนอ้างอิง	27
3.7 แสดงการใส่ quarter – wave plate	27
3.8 แสดงการใส่ Polarizer ที่แขนอ้างอิง	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 รูปแบบการจัดแสง	29
4.2 แสดงรูปแบบของ Mach-Zehnder interferometer	30
4.3 แสดงการเกิดริ้วการแทรกสอดของแสง	30
4.4 แสดงรูปแบบของ Mach-Zehnder interferometer	31
4.5 แสดงรูปวัตถุที่ทำการถ่ายภาพ	31
4.6 แสดง การใส่ Polarizer ที่มุม 0 องศา	31
4.7 แสดงการรวมแสงของมุมโพลาไรซ์ที่ตั้งฉากกัน	32
4.8 แสดงการใส่ Half-wave plate	32
4.9 แสดงการชะลอเฟสและการเปลี่ยนโพลาไรซ์เป็นวงกลม	33
4.10 แสดงการใส่ Polarizer ที่แขนอ้างอิง	33
4.11 แสดงภาพที่เกิดจากการเปลี่ยนมุมโพลาไรซ์ไปเรื่อยๆ	36
4.12 แสดงการใส่ quarter – wave plate	37
4.13 แสดงการชะลอเฟสและการเปลี่ยนโพลาไรซ์เป็นวงรี	37
4.14 แสดงการใส่ Polarizer ที่แขนอ้างอิง	38
4.15 แสดงภาพที่เกิดจากการเปลี่ยนมุมโพลาไรซ์ไปเรื่อยๆ	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

การสร้างภาพโพลาไรเซชันใช้ในการเผยให้เห็นโครงสร้างภายในหรือความเค้นของวัสดุวิธีการต่างๆได้รับการพัฒนาเพื่อกำหนดสถานะโพลาไรซ์ เทคนิคเหล่านี้ต้องมีการวัดหลายวิธีในการพิจารณาสถานะโพลาไรเซชัน โดยปกติจะมีหลายทิศทางที่แตกต่างกันของแรงบิดของส่วนประกอบทางแสงเช่น โพลาไรซ์แบบครึ่งคลื่น และเสี้ยวคลื่น ตามแบบค่าพารามิเตอร์ ของโจนส์ เราเสนอวิธีการใหม่นี้ขึ้นอยู่กับการถ่ายภาพโฮโลแกรมแบบดิจิทัล ที่ต้องการภาพภายในครั้งเดียว การทำภาพสามมิติแบบดิจิตอลสามารถใช้เป็นเทคนิคการถ่ายภาพโพลาไรซ์ โดยใช้แนวคิดพื้นฐานคือการสร้างโฮโลแกรมของชิ้นงานทดสอบโดยการสร้างสัญญาณรบกวนระหว่างคลื่นของวัตถุและคลื่นอ้างอิงสองตัวที่มีสถานะโพลาไรเซชันแบบตั้งฉากกัน เพื่อแสดงให้เห็นว่าการเปรียบเทียบความกว้างและการกระจายเฟสที่เกี่ยวข้องกับสถานะโพลาไรซ์สองฉากช่วยให้เราสามารถระบุการกระจายตัวของสถานะโพลาไรซ์ทั้งหมดที่ผิวของชิ้นงานได้อย่างสมบูรณ์ คุณลักษณะที่น่าสนใจของวิธีการที่นำเสนอที่นี่คือข้อมูลขั้วจะได้รับพร้อมกันกับความกว้างและข้อมูลเฟส นี่เป็นคำอธิบายที่พื้นผิวของชิ้นงานบนพื้นฐานของการควบรวมภาพแบบครั้งเดียว

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาวิธีการสร้างภาพจากโพลาไรซ์เซชั่น

1.2.2 ศึกษาการใช้กระบวนการสร้างภาพแบบดิจิทัล

1.2.3 สร้างภาพโพลาไรซ์จากกระบวนการสร้างภาพแบบดิจิทัล

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

สร้างระบบดิจิทัลฮอโลกราฟฟีเพื่อหาโพลาไรซ์เซชั่นของรูปภาพ วิเคราะห์โพลาไรซ์เซชั่นของรูปภาพที่ถ่ายได้จากระบบดิจิทัลฮอโลกราฟฟี ศึกษาการจัดแสงและการสร้างภาพโพลาไรซ์เซชั่นตามแบบฟอร์มของ Mach-Zehnder interferometer

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เข้าใจระบบดิจิทัลฮอโลกราฟฟี เข้าใจระบบโพลาไรซ์ชั่นของแสง มีองค์ความรู้ในการวิเคราะห์ภาพที่เป็นโพลาไรซ์ที่ถ่ายจากดิจิทัลฮอโลกราฟฟี สามารถถ่ายภาพโครงสร้างหรือพื้นผิวของวัตถุได้ภาพที่ได้มีความคมชัดมากขึ้น ลดสัญญาณรบกวนตอนถ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

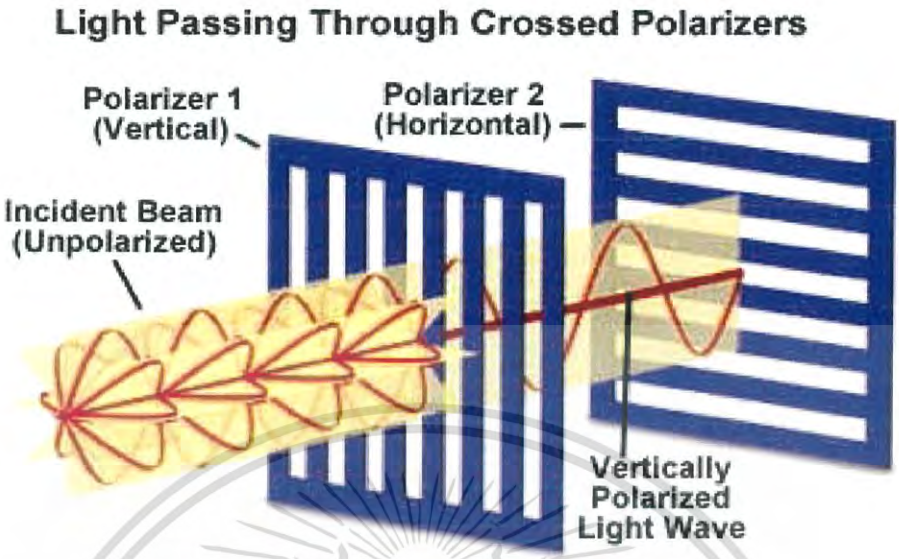
การสร้างภาพโพลาไรเซชันใช้ในการเผยให้เห็นโครงสร้างภายในหรือความเค้นของวัสดุ เทคนิคเหล่านี้ต้องมีการวัดหลายวิธีในการพิจารณาสถานะโพลาไรเซชัน เราเสนอวิธีการใหม่นี้ขึ้นอยู่กับการถ่ายภาพโฮโลแกรมแบบดิจิทัล ที่ต้องการภาพภายในครั้งเดียว การทำภาพสามมิติแบบดิจิตอล สามารถใช้เป็นเทคนิคการถ่ายภาพโพลาไรซ์ โดยใช้แนวคิดพื้นฐานคือการสร้างโฮโลแกรมของชิ้นงานทดสอบโดยการสร้างสัญญาณรบกวนระหว่างคลื่นของวัตถุและคลื่นอ้างอิงสองตัวที่มีสถานะโพลาไรเซชันแบบตั้งฉากกัน เพื่อแสดงให้เห็นว่าการเปรียบเทียบความกว้างและการกระจายเฟสที่เกี่ยวข้องกับสถานะโพลาไรซ์สองฉากช่วยให้เราสามารถระบุการกระจายตัวของสถานะโพลาไรซ์ทั้งหมดที่ผิวของชิ้นงานได้อย่างสมบูรณ์

2.1 โพลาไรเซชัน

โพลาไรเซชัน (Polarization) ปรากฏการณ์การแทรกสอดและการเลี้ยวเบนของแสง แสดงสมบัติความเป็นคลื่นของแสง เป็นปรากฏการณ์ของคลื่นตามขวาง ที่มีระนาบการสั่นในระนาบใดระนาบหนึ่ง คลื่นแสงส่วนใหญ่จะเป็นคลื่นที่มีระนาบการสั่นของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าหลายระนาบจึงเป็นแสงที่ไม่โพลาไรซ์ ปรากฏการณ์ โพลาไรเซชัน ประกอบด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่สั่นตั้งฉากกันในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศการแผ่ของคลื่นแสงธรรมดาที่ไม่โพลาไรส์ เวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าที่สั่นในทุกทิศทาง แสงโพลาไรส์ เวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าจะสั่นในแนวใดแนวหนึ่งเท่านั่น เช่น ในแนวดิ่ง แนวราบ โพลาไรซ์เซชั่น มี3แบบแบบเชิงเส้น แบบวงกลม และแบบวงรี โดยวิธีการสร้างโพลาไรซ์เซชั่นมีหลายวิธีเช่น การโพลาไรซ์ โดยให้แสงผ่านแผ่นโพลารอยด์ซึ่งมีคุณสมบัติยอมให้แสงผ่านได้เฉพาะที่ระนาบหรือตรงกันกับแกนของการทะลุผ่านของแผ่นโพลารอยด์ (ความเข้มของแสงจะลดไปครึ่งหนึ่งจากเดิม) การโพลาไรซ์ด้วยการสะท้อนวัตถุโปร่งใส จนเกิดการสะท้อนและการหักเหของแสง โดยมุมตกกระทบเท่ากับมุมโพลาไรซ์หรือเรียกว่ามุมบรูวสเตอร์ การโพลาไรซ์โดยการกระเจิง เมื่อแสงตกกระทบวัสถุใดๆ อิเล็กตรอนในวัตถุนั้นสามารถดูดกลืนและเปล่งแสงบางส่วนออกมาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 การโพลาไรซ์โดยให้แสงผ่านแผ่นโพลารอยด์



รูปที่ 2.1 ภาพแสดงการโพลาไรซ์ ผ่านแผ่นโพลารอยด์

แผ่นโพลารอยด์มีโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นแผ่นพลาสติกที่ถูกยืดให้โมเลกุลยาวเรียงตัวในแนวขนานกัน เมื่อแสงผ่านแผ่นโพลารอยด์ สนามไฟฟ้าที่มีทิศตั้งฉากกับแนวการเรียงตัวของโมเลกุล จะสามารถผ่านแผ่นโพลารอยด์ออกไปได้ ส่วนสนามไฟฟ้าที่มีทิศขนานกับแนวการเรียงตัวของโมเลกุล จะถูกโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ดูดกลืน สามารถเรียกแนวที่ตั้งฉากกับแนวการเรียงตัวของโมเลกุลนี้ว่า ทิศของโพลาไรส์ ดังนั้นแสงที่สนามไฟฟ้ามีทิศขนานกับทิศของโพลาไรส์ สามารถผ่านแผ่นโพลารอยด์ได้แต่ แสงที่สนามไฟฟ้ามีทิศตั้งฉากกับทิศของโพลาไรส์ จะถูกแผ่นโพลารอยด์ดูดกลืนเมื่อแสงไม่โพลาไรส์ผ่านแผ่นโพลารอยด์ สนามไฟฟ้าของแสงไม่โพลาไรส์ที่มีทิศตั้งฉากกับทิศของโพลาไรส์จะถูกดูดกลืน และสนามไฟฟ้าที่มีทิศขนานกับทิศของโพลาไรส์ เมื่อให้แสงไม่โพลาไรส์ผ่านแผ่นโพลารอยด์สองแผ่นที่วางขนานกัน ความสว่างของแสงจะมากที่สุด เมื่อทิศของโพลาไรส์ของแผ่นโพลารอยด์ทั้งสองอยู่ขนานกัน และความสว่างจะน้อยที่สุด เมื่อทิศของโพลาไรส์ของแผ่นโพลารอยด์ทั้งสองตั้งฉากกัน โดย Malus's law

$$I = E^2$$

$$E_0^2 = E_x^2 + E_y^2$$

โดยเฉลี่ย E_x และ E_y มีค่าเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_0^2 = 2E_y^2$$

$$E^2 = 0 + E_y^2$$

$$E^2 = E_y^2$$

$$E^2 = \frac{1}{2}E_0^2$$

$$I_1 = \frac{1}{2}I_0$$

ถ้า

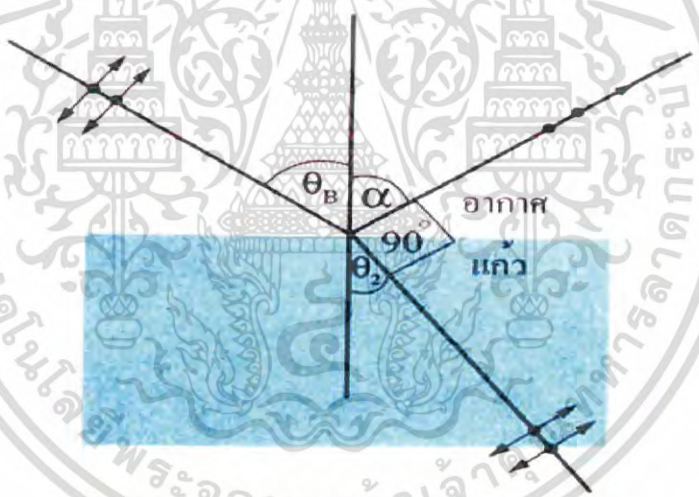
$$E_0^2 = (E_0 sin\theta)^2 + (E_0 cos\theta)^2$$

$$E = E_0 cos\theta$$

$$E^2 = E_0^2 cos^2\theta$$

$$I = I_0 cos^2\theta$$

2.1.2 โพลาไรเซชันโดยการสะท้อน



รูปที่ 2.2 ภาพแสดงการโพลาไรซ์ โดยการสะท้อน

มีวิธีอื่นทำแสงโพลาไรส์ คือ การสะท้อนแสง เมื่อให้แสงไม่โพลาไรส์ตกกระทบผิววัตถุ เช่น แก้ว น้ำ หรือกระเบื้อง แสงสะท้อนจะเป็นแสงโพลาไรส์ เมื่อแสงทำมุมตกกระทบเป็นค่าเฉพาะค่าหนึ่ง แสงตกกระทบประกอบด้วยสนามไฟฟ้าสองสนามตั้งฉากกัน คือสนามไฟฟ้าที่ขนานกับผิวแก้วแทนด้วยสัญลักษณ์จุด และสนามไฟฟ้าที่ตั้งฉากกับผิวแก้วแทนด้วยลูกศรสองหัว จากการศึกษาพบว่าถ้าเลือกมุมตกกระทบ θ_B ทำให้แสงสะท้อนทำมุม 90^0 กับแสงหักเหในแท่งแก้วแล้วแสงสะท้อนจะเป็นแสงโพลาไรส์ซึ่งมีสนามไฟฟ้าขนานกับผิวแก้ว เรียกมุมตกกระทบ θ_B นี้ว่า มุมโพลาไรส์ หรือมุมบรูสเตอร์(Brewster's angle) กฎของสเนล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

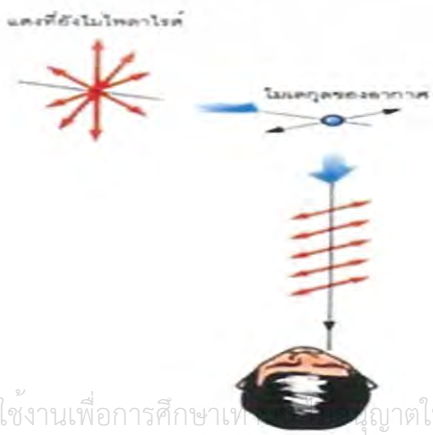
$$n_1 sin\theta_1 = n_2 sin(90^0 - \theta_B)$$
$$n_1 sin_1 = n_2 cos_B$$
$$tan\theta_B = \frac{n_2}{n_1}$$

2.1.3 โพลาไรเซชันโดยการหักเห

รูปที่ 2.3 ภาพแสดงการโพลาไรซ์ โดยการหักเห

เมื่อแสงผ่านเข้าไปในผลึกแคลไซต์หรือควอตซ์ แสงจะมีอัตราเร็วไม่เท่ากันทุกทิศทาง ด้วยเหตุนี้แสงที่ผ่านแคลไซต์จึงหักเหออกเป็น 2 แนว ดังรูป รังสีหักเหทั้งสองแนวเป็นแสงโพลาไรส์ โดยมีสนามไฟฟ้าของรังสีหักเหแต่ละรังสีตั้งฉากกัน ซึ่งแสดงด้วยลูกศรและจุด รังสีที่แทนด้วยจุด เรียกว่า รังสีธรรมดามีอัตราเร็วเท่ากันทุกทิศทาง รังสีที่แทนด้วยลูกศร เรียกว่า รังสีพิเศษ มีอัตราเร็วในผลึกต่างกันในทิศที่ต่างกัน

2.1.4 โพลาไรเซชันโดยการกระเจิงของแสง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.4 ภาพแสดงการโพลาไรซ์ โดยการกระเจิงของแสง

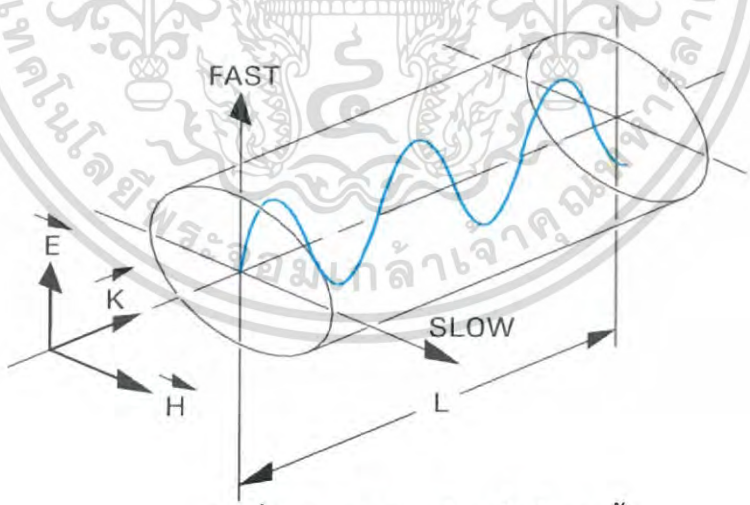
แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นแสงไม่โพลาไรส์กระทบโมเลกุลของอากาศ สนามไฟฟ้าของแสงจะทำให้อิเล็กตรอนในโมเลกุลเคลื่อนที่ ถือได้ว่าแสงอาทิตย์มีแนวของสนามไฟฟ้าในแนวดิ่งและแนวระดับดัง เมื่อแสงที่มีสนามไฟฟ้าในแนวระดับกระทบโมเลกุลของอากาศ อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปมาในแนวระดับ และในขณะเดียวกันสนามไฟฟ้าในแนวดิ่ง ก็จะทำให้อิเล็กตรอนในโมเลกุลของอากาศเคลื่อนที่ไปมาในแนวดิ่ง อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ในแนวระดับจะให้แสงโพลาไรส์ในแนวระดับ ส่วนอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ในแนวดิ่งจะให้แสงโพลาไรส์ในแนวดิ่ง เราสามารถตรวจสอบแสงโพลาไรส์นี้ได้ โดยให้ผู้สังเกตมองท้องฟ้าผ่านแผ่นโพลารอยด์ แล้วหมุนแผ่นโพลารอยด์ไปรอบๆ จะพบว่าความสว่างของแสงเปลี่ยนไป แสดงว่าแสงจากท้องฟ้าส่วนหนึ่งมีแสงโพลาไรส์ปนอยู่ด้วย สามารถหาการกระจายของแรงในวัสดุ การหาความเข้มข้นของสารละลาย -ระนาบ การบิดไปของระนาบแสงโพลาไรซ์ ความรู้เรื่องโพลาไรเซชันของแสง ได้นำไปใช้ในการผลิตแว่นตาโพลารอยด์เพื่อช่วยลดปริมาณแสงสะท้อนจากวัตถุมาเข้าตา รวมทั้งมีการนำแผ่นโพลารอยด์ไปใช้กับกล้องถ่ายรูป แสงที่กระเจิงออกมานั้นจะเป็นแสงไม่โพลาไรซ์ในแนวเดิม แต่แสงที่ตั้งฉากกับแสงแนวเดิมนั้นจะเป็นแสงที่โพลาไรซ์ และสำหรับในทิศทางอื่นๆนั้น แสงจะเป็นแสงโพลาไรซ์บางส่วน $(I\alpha\frac{1}{\lambda^4})$ การกระเจิงของแสงมี 2 ลักษณะ คือ เกิดจากอนุภาคขนาดใหญ่ เทียบกับความยาวคลื่นแสง เมื่ออนุภาคใหญ่เกินขนาดอาจเกิดการดูดกลืนคลื่นแสงเฉพาะความยาวคลื่นได้ หรือ เกิดจากอนุภาคขนาดเล็ก เทียบกับความยาวคลื่นแสง การที่เรามองเห็นท้องฟ้าเป็นสีน้ำเงินหรือฟ้านั้น เพราะว่าแสงสีน้ำเงินเกิดการกระเจิงกับโมเลกุลของอากาศได้ดีกว่าและ สามารถวิเคราะห์แรงเค้นโดยโพลาไรเซชัน วัตถุโปร่งใสบางชนิด เช่น แก้ว หรือ พลาสติก จะเป็นตัวกลางสมลักษณ์ (isotropic) แต่ถ้าถูกอัดถูกดึง จะแสดงเป้นตัวกลางอสมลักษณ์ (anisotropic) อ่อนๆ โดยมีแกนทัศน์อยู่ในทิศของแรงกระทำ เมื่อนำไปส่องระหว่างตัวทำแสงโพลาไรซ์ และตัววิเคราะห์ แสงจะผ่านไปได้มากบ้างน้อยบ้างไม่เท่ากัน ทำให้มองเห็นเป็นริ้ว จากริ้วเหล่านี้ทำให้ทราบว่าส่วนไหนของวัตถุได้รับแรงกระทำมากหรือน้อย เมื่อวิศวกรต้องการทราบการกระจายแรงในเครื่องมือหรือผลิตภัณฑ์ เขาจะสร้างแบบจำลองจากพลาสติก แล้วนำไปวิเคราะห์ แรงเค้นโดยส่องผ่านแสง โพลาไรซ์ เพื่อจะทราบได้ ว่าส่วนไหนจะได้ รับแรงมากหรือน้อย

2.2 Wave plate

Waveplates ออฟติคัล เรียกอีกอย่างว่า แผ่นคลื่น หรือ แผ่นรองหน่วง เป็นแผ่นโปร่งใสที่จะใช้ในการจัดการสถานะโพลาไรซ์ของคานแสง แผ่นแกนมี แกนที่ช้า และ แกนหมุนเร็ว ทั้งสองแบบตั้งฉากกับทิศทางของลำแสง และ ต่อกันและกัน ความเร็วเฟส ของแสงจะสูงขึ้นเล็กน้อยสำหรับ ขั้ว ตามแนวแกนที่รวดเร็ว ค่าความล่าช้าของแสงที่ออกแบบมา ความแตกต่างของความล่าช้าของเฟสสำหรับทิศทางโพลาไรซ์สองทิศทาง จะทำได้เฉพาะในช่วงความยาวคลื่นที่จำกัด และในช่วงมุมที่จำกัด เป็นคริสตัลที่สามารถเปลี่ยนสถานะของแสง และส่วนประกอบทางแสง ปฏิกิริยาของแสงกับอะตอมหรือโมเลกุลของวัสดุขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น กับการกระจายตัวของวัสดุ ผลคือการเปลี่ยน

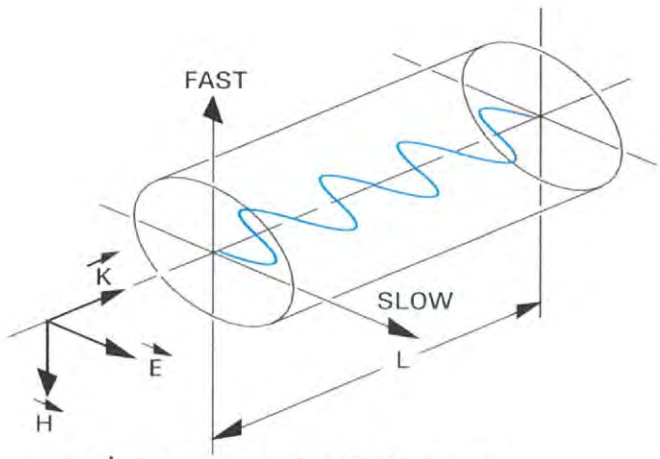
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบการหักเหของแสง (birefringence) การจัดเรียงอะตอมของคริสตัลอย่างเป็นระเบียบ ส่งผลให้ความถี่ เรโซแนนซ์ต่างกัน กลับกันเราสามารถ ใช้การบิดเบือนเพื่อปรับเปลี่ยนสถานะโพลาไรซ์ของแสง ที่เรียกว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือจานชะลอ หรือแผ่นคลื่นหรือตัวหน่วงสั้น ความเร็วของรังสีเอกซ์และธรรมดาผ่านวัสดุที่ใช้ แรงบิดจะแปรผกผันกับดัชนีหักเหของแสง ความแตกต่างของความเร็ว ทำให้เกิดความแตกต่างของเฟสเมื่อทั้งสองก้อนรวมกันใหม่ ชนิดที่พบได้มากที่สุดคือ แผ่นสี่คลื่น $\left(\frac{\pi}{4}\right)$ ซึ่งความแตกต่างของความล่าช้าของเฟสระหว่างทิศทางคือ $\left(\frac{\pi}{2}\right)$ และแผ่น ครึ่งคลื่น $\left(\frac{\pi}{2}\right)$ ซึ่งความแตกต่างของความล่าช้าของเฟสระหว่างทิศทาง คือ π ซึ่งสอดคล้องกับระยะการแพร่กระจายที่ระยะห่างของ $\frac{\pi}{4}$ หรือ $\frac{\pi}{2}$ ในกรณีของลำแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นที่เกิดขึ้นนี้จะให้ค่า $\alpha = \frac{2\pi d}{\lambda}(n_e nn)$ โดยที่ α คือความแตกต่างของค่าความหนา d ของwaveplate, n_e คือดัชนีการหักเหของค่าสัมบูรณ์, n_0 คือดัชนีการหักเหของรังสีแกมมา, λคือความยาวคลื่น ที่ความยาวคลื่นใด ๆ ความแตกต่างของเฟสจะขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นรับคลื่น กรณีที่สำคัญ เมื่อลำแสงเป็นเชิงเส้นขั้วและทิศทางโพลาไรซ์อยู่ตามแกนใดแกนหนึ่งของwaveplateขั้วจะไม่เปลี่ยนแปลง ถ้าขึ้นไม่ตรงกับแกนใด ๆ และเป็นแผ่นครึ่งคลื่น โพลาไรซ์จะอยู่ในแนวเส้นตรง แต่ทิศทางโพลาไรซ์จะถูกหมุน แต่ถ้าโพลาไรซ์ที่เกิดขึ้นอยู่ที่มุม 45^0 กับแกนแผ่นสี่คลื่น จะสร้างสถานะของโพลาไรเซอร์วงกลม โดยโพลาไรซ์อินพุทอื่น ๆ นำไปสู่สถานะโพลาไรซ์รูปไข่หรือวงรี



รูปที่ 2.5 แสดงแกนโพลาไรซ์ แกนตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงแกนโพลาไรซ์ แกนนอน

ความแตกต่างของจำนวนความยาวคลื่นที่แสดงในรูปจะบ่งชี้ว่าอัตราส่วนของดัชนีหักเห $\frac{n}{n_{slow}}=\frac{2}{3}$ มีความแตกต่างมากกว่าปกติ ค่าคงที่ของเฟส k สามารถเขียนเป็น $\frac{2\pi fn}{c}$ เรเดียนต่อเมตร เพื่อให้คลื่นความถี่ f จะได้รับการเปลี่ยนเฟสของเรเดียน $\phi=\frac{2\pi fnL}{c}$ ระยะทาง L ผ่านคริสตัล ดังนั้นการเปลี่ยนเฟสของคลื่นใน รูปที่5 $\phi_{fast}=\frac{2\pi fn_{fast}L}{c}$ และสำหรับคลื่นใน รูปที่6 $\phi_{slow}=\frac{2\pi fn_{slow}L}{c}$ ความแตกต่างระหว่างการเปลี่ยนแปลงสองเฟสนี้เรียกว่าการ หน่วงเวลา $\varphi=\frac{2\pi f\left(n_{slow}-n_{fast}\right)L}{c}$ ค่าของ φ ในสูตรนี้เป็นเรเดียน แต่โดยทั่วไปจะแสดงใน wavelengths หรือ waves โดย full-wave $(\varphi=2\pi)$, half-wave $(\varphi=\pi)$, quarter-wave $\left(\varphi=\frac{\pi}{2}\right)$ ดังนั้นคริสตัลที่แสดงในรูป เป็นแผ่นคลื่น $\frac{4}{3}$ นั่นคือจะทำให้คลื่นของคลื่นช้าลงโดยคลื่น $\frac{4}{3}$ ของคลื่น เมื่อเทียบกับคลื่นเร็ว

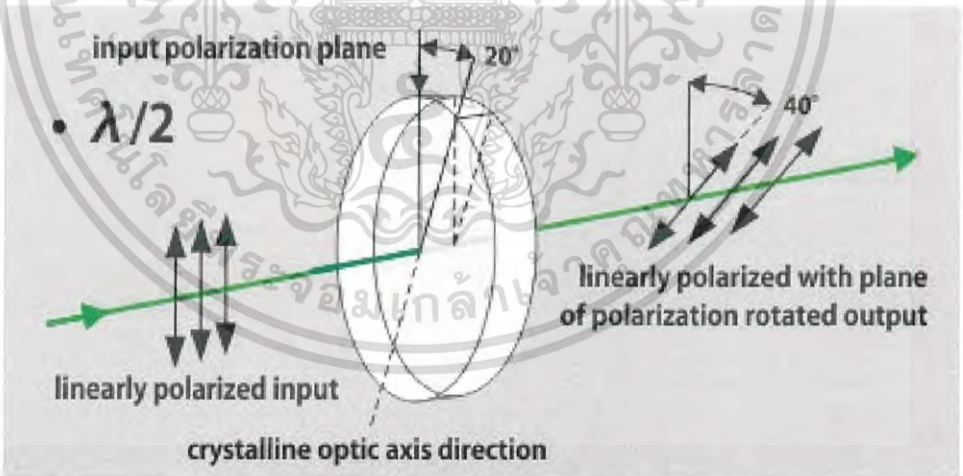
ประเภทของ waveplates ที่ให้ค่าความเบี่ยงเบนต่ำ เป็นระยะความล่าช้าของเฟสระหว่างสองทิศทางของโพลาไรซ์เป็น π สำหรับแผ่นครึ่งคลื่น เพื่อการจัดการที่ละเอียด สามารถกำจัดโดยการปูนจานสั่งซื้อเป็นศูนย์ ไปยังวัสดุที่ไม่มีแรงบิด(แก้ว) แต่ให้ความมั่นคงทางกล ทำให้ค่า ความเสียหาย ลดลง คำสั่ง waveplates แบบหลายคำสั่ง จะทำเพื่อให้การเปลี่ยนเฟสสัมพัทธ์มีขนาดใหญ่กว่าค่าที่ต้องการ พลังงานแสง สูงกว่า มีการปรับความแตกต่างของความหนาเพื่อให้ได้การเปลี่ยนแปลงเฟสที่ต้องการ สามารถทำงานในช่วงความยาวคลื่นกว้าง นอกจากนี้ยังสามารถสร้าง waveplates ได้ ด้วยการผสมผสานวัสดุที่มี การกระจายตัวของสีต่างๆ เช่นควอทซ์และ MgF_2 ซึ่งมีความ หนืดต่ำ เกือบตลอดช่วงสเปกตรัมที่กว้างมากหลายร้อยนาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ waveplates แบบ dual-wavelength ซึ่งมีค่า retardanceที่กำหนดไว้อย่างชัดเจนที่ความยาวคลื่นที่แตกต่างกันโดยสิ้นเชิง ในเรื่องของ การแปลงความถี่เชิงเส้น จำเป็นต้องมีลักษณะดังกล่าวเช่น ความถี่สามเท่า

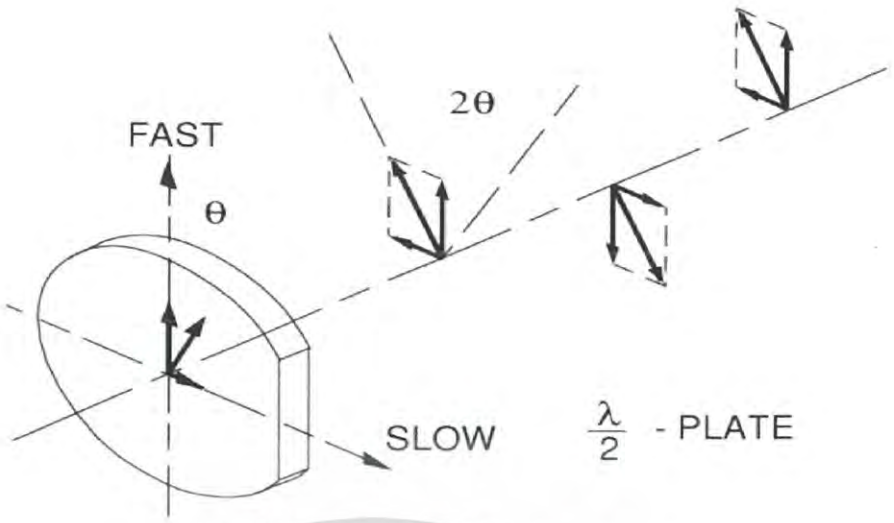
วัสดุควรมีความโปร่งใสสูงในบริเวณความยาวคลื่นที่สนใจ ความไวของเฟส retardance กับอุณหภูมิ และมุมขึ้นอยู่กับการออกแบบ waveplates ที่มีคุณภาพสูง มีความหนืด การสะท้อนแสงพื้นผิว สามารถทำให้ลดลงได้ด้วย การเคลือบป้องกันการสะท้อนแสง ความเสียหายทางแสง มีความสำคัญสำหรับการใช้งานในระบบ เลเซอร์ พัลซิ่ง Waveplates บางตัวมีที่ครอบ ซึ่งทำให้ง่ายต่อการหมุนแผ่นด้วยมุมที่กำหนดไว้อย่างชัดเจน เพื่อดูการวางแนวแกนที่รวดเร็วและช้า ดังนั้นบางครั้งก็ต้องใช้วิธีการอื่น เช่นการเปลี่ยนทิศทางโพลาไรซ์ของลำแสงเลเซอร์ สารชะลอและสารหน่วง ที่มีฟังก์ชันพื้นฐานเช่นเดียวกับ waveplates ใช้ประโยชน์จากการเปลี่ยนแปลงเฟสที่ขึ้นกับช่วงการ สะท้อนภายในทั้งหมด หลักการนี้ใช้งานบรอแบนด์ เครื่องชดเชยแบบ Babinet-Soleil ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักที่ประกอบด้วย คู่ของวัสดุเสริมทรงกลมสามารถใช้เป็นแผ่นผนังที่มีระดับความล่าช้า มีหลายประเภทของ ตัวควบคุมโพลาไรซ์ไฟเบอร์ที่ มีหน้าที่คล้ายกัน คริสตัลไฟฟ้าและอุปกรณ์คริสตัลเหลว สามารถนำมาใช้เพื่อ ผลิตไฟฟ้าได้ด้วยคลื่นไมโครเวฟหรือที่เรียกว่า สารชะลอการใช้งาน

2.2.1 แผ่นครึ่งคลื่น half – wave plate $\left(\frac{\lambda}{2}\right)$



รูปที่ 2.7 ภาพแสดง half – wave plat

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



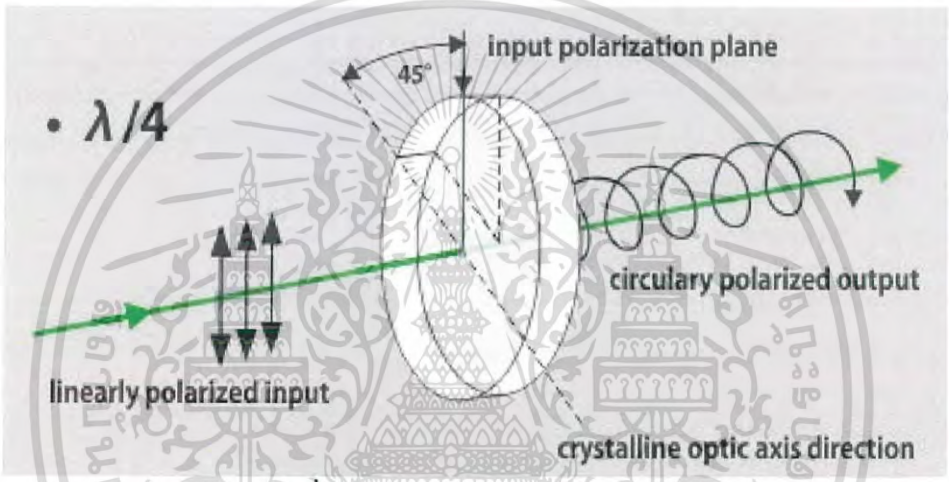
รูปที่ 2.8 ภาพแสดง half – wave plate

แผ่นคลื่นครึ่งคลื่นสามารถใช้เพื่อหมุนสถานะโพลาไรซ์ของแสงโพลาไรซ์ระนาบตามที่แสดงในรูป แผ่นคลื่นครึ่งคลื่นมีประโยชน์มาก ในการหมุนระนาบ โพลาไรเซชันจากเลเซอร์ขั้วไปยังระนาบที่ต้องการโดยเฉพาะเลเซอร์ที่มีขนาดใหญ่เกินไป เลเซอร์ไอออนขนาดใหญ่จะเป็นโพลาไรซ์ในแนวตั้ง หากต้องการได้รับโพลาไรซ์ในแนวนอนให้วางแผ่นครึ่งคลื่นในลำแสงด้วยแกนความเร็ว หรือช้า 45^0 ลงในแนวตั้ง แผ่น $\frac{\pi}{2}$ ความหนาของคลื่นครึ่งหนึ่งอยู่ที่ความแตกต่างของเฟสคือ $\frac{1}{2}$ ความยาวคลื่น ($\frac{1}{2}$, Zero order) หรือความยาวคลื่น [$\frac{(2n+1)\lambda}{2}$ หลายคำสั่ง] ที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือแผ่นครึ่งคลื่น $(\varphi = \pi)$ และแผ่นสี่คลื่น $\left(\varphi = \frac{\pi}{2}\right)$ แผ่นคลื่นครึ่งคลื่นสามารถใช้ในการหมุนระนาบของแสงโพลาไรซ์ตามที่แสดงในรูปที่8. สมมุติว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นคลื่นที่เกิดขึ้นบนแผ่นคลื่น และระนาบโพลาไรเซชันอยู่ที่มุม θ เทียบกับแกนเร็ว ดูส่วนตามแกนเร็วและช้าตามที่แสดง หลังจากผ่านจานแล้วให้ดูในส่วนคลื่นที่เร็วผ่านค่าสูงสุด เนื่องจากส่วนที่ช้าจะชะลอตัวลงครึ่งคลื่น มีค่าสูงสุด อยู่ที่ 180^0 จากเฟสหรือชี้ไปที่แกนช้า ถ้าเราดูตามคลื่นต่อไปเราจะเห็นว่าส่วนที่ช้ายังคงอยู่ที่ 180^0 จากเฟสที่ช้าเมื่อเทียบกับส่วนที่เร็ว อธิบายถึงคลื่นระนาบโพลาไรซ์แต่ทำให้มุม θ อยู่ฝั่งตรงข้ามของแกนเร็ว คลื่นระนาบเดิมจะถูกหมุนโดยผ่านมุม 2θ สามารถได้ผลลัพธ์ที่เหมือนกัน ถ้าคลื่นที่เกิดขึ้นทำให้มุม θ ขึ้นกับแกนที่ช้า แผ่นครึ่งคลื่นมีประโยชน์มากในการหมุนระนาบโพลาไรเซชันจากเลเซอร์ขั้วไปยังระนาบที่ต้องการ โดยเฉพาะเลเซอร์ขนาดใหญ่เกินไป เลเซอร์ไอออนขนาดใหญ่ที่สุด จะเป็นโพลาไรซ์ในแนวตั้ง เช่นเพื่อให้ได้ข้อมูลโพลาไรเซชันในแนวนอนให้วางแผ่นคลื่นครึ่งคลื่นในแกนเร็วหรือช้าแนวตั้ง ถ้าเกิดว่าแผ่นครึ่งคลื่นของคุณไม่มีแกนที่ทำเครื่องหมายไว้หรือถูกบดบังให้วางโพลาไรซ์เซอร์ลงในลำแสงก่อนแล้วจึงปรับทิศทางของมันเพื่อให้ได้โพลาไรเซชันตามแนวนอนจากนั้นใส่แผ่นครึ่งคลื่น หมุนรอบแกนลำแสงเพื่อให้แสงหายไปจะได้หนึ่งในแกน จากนั้นหมุนจานครึ่งคลื่นประมาณ 45^0 รอบแกนลำแสงในทิศทางใดทิศทางหนึ่งจากตำแหน่งนี้จะหมุนขั้วของ

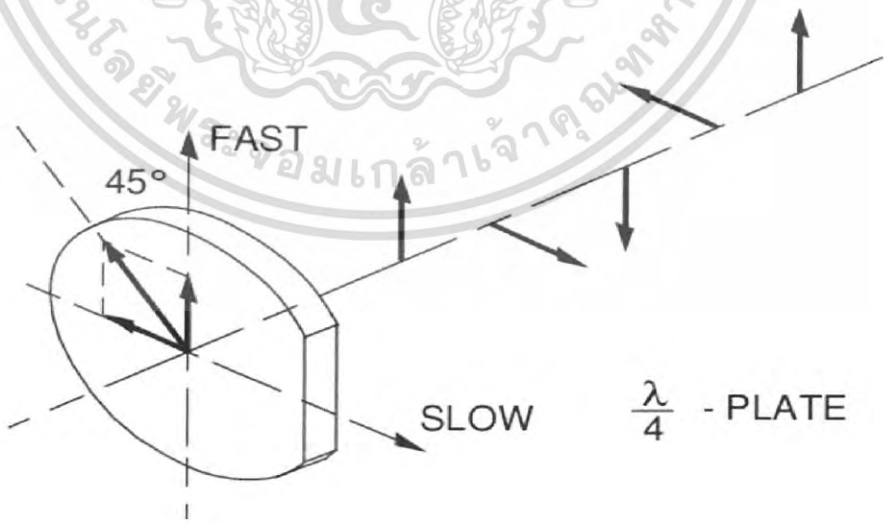
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำแสงไป 90^0 สามารถตรวจสอบได้โดยหมุน polarizer 90^0 เพื่อดูว่าการสูญเสียเกิดขึ้นอีกครั้ง หากต้องการมุมอื่น แค่หมุนจานคลื่นไปครึ่งทางตามที่ต้องการ แผ่นรองรับคลื่นที่ปรับมุมได้คือ RSP-1T หรือ GM-1RA ถ้า polarizer ไม่ให้การสูญเสียที่ดี หมายความว่าแผ่นคลื่น ไม่ได้เป็นแผ่นครึ่งคลื่นที่ความยาวคลื่นในการดำเนินงาน สามารถแก้ไขข้อผิดพลาดเล็ก ๆ ในการหน่วงเวลาได้โดยการหมุนจานคลื่นไปเป็นจำนวนเล็กน้อยรอบแกนที่เร็วหรือช้า การหมุนรอบแกนเร็วจะลดการหน่วงเวลาขณะที่การหมุนรอบแกนช้าช่วยเพิ่มความล่าช้า สามารถใช้ทั้งสองวิธีและใช้ polarizer ตรวจสอบ

2.2.2 แผ่นสี่คลื่น quarter – wave plate $\left(\frac{\lambda}{4}\right)$



รูปที่ 2.9 ภาพแสดง quarter – wave plate



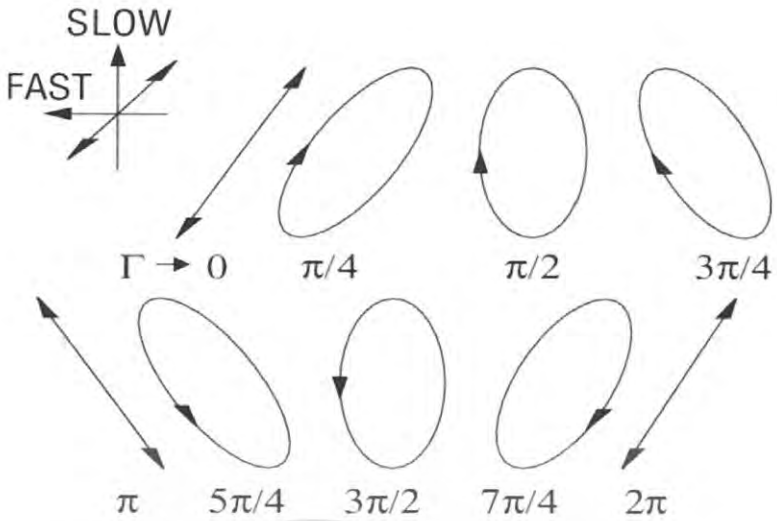
รูปที่ 2.10 ภาพแสดง quarter – wave plate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นสี่คลื่นใช้ในการเปลี่ยนแสงโพลาไรซ์ให้เป็นวงกลมในทางกลับกัน เมื่อต้องการทำเช่นนี้ เราจะต้องปรับทิศทางคลื่น เราสามารถทำเช่นนี้ได้โดยกำหนดทิศทางของคลื่นโพลาไรซ์ที่กำลังเกิดขึ้นที่ 45^0 ไปที่แกนเร็วหรือช้า ตามที่แสดงในรูป เมื่อแผ่น $\frac{\pi}{4}$ มีการผ่านคู่ เช่นกระจกเงาจะทำหน้าที่เป็น $\frac{\pi}{2}$ ใช้กันอย่างกว้างขวางใน isolators, Q-switches เป็นต้นความหนาของ waveplate อยู่ที่ความแตกต่างของเฟสคือ $\frac{1}{4}$ ความยาวคลื่น $\frac{\pi}{4}$, Zero order หรือความหลากหลายของ [$\frac{(2n+1)\lambda}{4}$ หลายคำสั่ง] แผ่นสี่คลื่นใช้ในการเปลี่ยนแสงโพลาไรซ์ระนาบเป็นแสงโพลาไรซ์เป็นวงกลมและในทางกลับกัน เมื่อต้องการทำเช่นนี้เราจะต้องปรับทิศทางจานคลื่นเพื่อให้จำนวนคลื่นที่กระเพื่อมเร็วและช้ามีความตื่นเต้น เราสามารถทำเช่นนี้ได้โดยการกำหนดทิศทางคลื่นคลื่นโพลาไรซ์ที่เกิดขึ้นที่ 45^0 ไปยังแกนที่เร็วหรือช้าดังรูป

ในอีกฟากหนึ่งของแผ่นเราตรวจสอบคลื่นอีกครั้งในจุดที่ส่วนประกอบของขั้วที่มีการกระจายตัวอยู่ในระดับสูงสุด เมื่อถึงจุดนี้ช้าจะผ่านจุดศูนย์และได้รับการชะลอตัวโดยคลื่น 90ในเฟส แต่ส่วนแกนเร็วจะลดลงและส่วนแกนช้าจะเพิ่มขึ้น ถ้าเราตรวจสอบปลายของเวกเตอร์ไฟฟ้าทั้งหมดเราพบว่ามีร่องรอยของเกลียวโดยมีระยะเวลาเพียงหนึ่งความยาวคลื่น นี้อธิบายถึง แสงโพลาไรซ์แบบวงกลม ไฟสัญญาณขวาจะแสดงในรูป เกลียว wraps ในความรู้สึกตรงข้ามสำหรับแสงขั้วซ้ายมือ คุณอาจสร้างแสงโพลาไรซ์ด้านซ้ายโดยการหมุนแผ่นคลื่นหรือระนาบโพลาไรซ์ไปที่ 90^0 การตั้งค่าแผ่นคลื่นเพื่อสร้างแสงโพลาไรซ์แบบวงกลมดำเนินการตามที่เราอธิบายไว้สำหรับการหมุน 90^0 โดยใช้แผ่นคลื่นครึ่งคลื่น ใส่ polarizer ในลำแสงเพื่อหาระนาบโพลาไรเซชัน จากนั้นใส่แผ่นสี่คลื่นระหว่างแหล่งกำเนิดและ polarizer และหมุนแผ่นคลื่นรอบแกนลำแสงเพื่อหาทิศทางที่แสงมีความเข้มสูงสุด จากนั้นหมุนแผ่นคลื่น 45^0 จากตำแหน่งนี้ ทำให้แสงผ่าน polarizer ครึ่งหนึ่ง อีกครึ่งหนึ่งถูกดูดกลืนหรือหักเหขึ้นอยู่กับชนิดของโพลาไรซ์ที่ใช้ คุณสามารถตรวจสอบคุณภาพของแสงโพลาไรซ์แบบวงกลมได้โดยการหมุน polarizer ความเข้มของแสงที่ผ่านโพลาไรซ์จะยังคงเดิม ถ้ามันแตกต่างกันบ้างก็หมายความว่าแสงเป็น ขั้ว หรือ รูปไข่ หรือ วงรี คุณสามารถแก้ไขปัญหานี้ โดยการเอียงแผ่นคลื่นเกี่ยวกับแกนเร็วหรือช้าในขณะที่หมุน polarizer เพื่อตรวจหาค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แสดงแนวการหมุนของโพลาไรซ์

2.2.3 การประยุกต์ใช้ Wave Plate

แผ่นคลื่นสองแบบที่พบบ่อยที่สุดคือแผ่นครึ่งคลื่นและแผ่นสี่คลื่นการแยกแสงสามารถใช้แผ่นสี่คลื่นในตัวแยกแสงซึ่งก็คืออุปกรณ์ที่ช่วยลดการสะท้อนที่ไม่พึงประสงค์ อุปกรณ์ดังกล่าวใช้แผ่นสี่เหลี่ยมและตัวแยกแสงแบบโพลาไรซ์ (polarizing beamsplitter cube) การล้างข้อมูลโพลาไรเซชัน ระบบมักจะต้องมีการสะท้อนหลายอย่างจากกระจกโลหะไม่มีการเปลี่ยนแปลงในสถานะโพลาไรซ์ของการสะท้อน ถ้าเกิดลำแสงตามปกติบนกระจก หรือถ้าระนาบโพลาไรเซชันอยู่ในปกติกับระนาบของการเกิด ถ้าทิศทางโพลาไรเซชันในบางมุมกับระนาบของการเกิดการสะท้อนมักจะทำให้เกิดการเปลี่ยนเฟสเล็กๆ ระหว่างองค์ประกอบขนาน และตั้งฉาก มักจะมีการสูญเสียไปบ้าง คลื่นสะท้อนที่เกิดขึ้นจะไม่เป็นขั้วทางระนาบจะมีโพลาไรซ์เป็นรูปไข่เนื่องจากสามารถกำหนดได้โดยการใส่ polarizer และหมุน ellipticity เล็กๆ นี้มักจะถูกลบออกโดยการใส่แผ่นคลื่นเต็มรูปซึ่งโดยทั่วไปจะไม่ทำอะไรเลยและเอียงเล็กน้อยเกี่ยวกับแกนเร็วหรือช้าเพื่อเปลี่ยนการหน่วงเล็กน้อยเพื่อยกเลิกการ ellipticity

2.2.4 วัสดุแผ่นเวฟและการใช้งาน

คริสตัลตามธรรมชาติจะมีความสามารถในการกัดกร่อนและสามารถนำมาใช้เป็นแผ่นคลื่น เช่น แคลไซต์และผลึกควอตซ์ มีความคงทนและมีคุณภาพทางแสงสูง ความแตกต่างของดัชนีการหักเหของแสง $\left(n_{slow} - n_{fast}\right)$ มีขนาดใหญ่มากจนแผ่นครึ่งคลื่น จะไม่สามารถใช้งานได้บางเกินไป นอกจากนี้จะทำให้เกิดการสึกกร่อนในวัสดุ isotropic ตามความเครียด ส่วนใหญ่จะมีความเครียดจากความเค้นที่นำมาใช้ในการผลิต วัสดุแผ่นคลื่นโพลีเมอร์สามารถใช้ได้กับการชะลอคลื่นครึ่งหรือสี่คลื่น วัสดุนี้มีคุณภาพสูงจานคลื่นมีความเที่ยงตรงแม่นยำ แผ่นคลื่นแบบหลายใบ ที่เหมาะกับการขัดหรือตัดแผ่นบางมาก คือการใช้วัสดุที่มีความทนทาน เช่นคริสตัลควอตซ์ และแผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นสูงเพื่อให้ได้แผ่นคลื่นขนาด 15.5 มิลลิเมตร ความหนา 1 มิลลิเมตร ทำหน้าที่เหมือนกับแผ่นครึ่งคลื่นที่ความยาวคลื่นในการออกแบบ ความยาวคลื่นแสง มีการเปลี่ยนแปลงการหน่วงเวลาจะเปลี่ยนไปได้เร็วกว่าแผ่นครึ่งคลื่น

การเปลี่ยนแปลงได้มาจากคำนิยามของ ϕ

$$\phi = (2m+1)\pi\left(\frac{\delta f}{f_0}\right)$$
$$\approx -(2m+1)\pi\left(\frac{\delta\lambda}{\lambda_0}\right)$$

โดยที่ f_0 เป็นความถี่ที่ต้องการ λ_0 ความยาวคลื่น m เป็นลำดับของแผ่นคลื่น และอัตราการเปลี่ยนแปลงของความล่าช้าด้วยความถี่ $\frac{\sigma\phi}{\sigma f}$ จะเป็น $(2m+1)$ เท่าของแผ่นครึ่งคลื่น

Zero-Order Wave Plates เทคนิคสำหรับแผ่นครึ่งคลื่นโดยยังคงรักษาคุณภาพแสง การสร้างแผ่นควอทซ์ผลึกที่แข็งแรง โดยการรวมคลื่นสองแผ่นที่มีความล่าช้าแตกต่างกันไปครึ่งหนึ่งของคลื่นการเปลี่ยนแปลงการชะลอตัวด้วยความถี่หรือความยาวคลื่นจะลดลง แผ่นคลื่นเหล่านี้เหมาะสำหรับใช้ในระบบที่ใช้แหล่งกำเนิดรังสีแบบปรับได้เช่นเลเซอร์ไดโอดหรือแหล่งแสงสีขาว

2.2.5 Dichroic Polarizers

กลไกของโพลาไรซ์ใน polarizer dichroic คือการดูดกลืนแสงและการส่งผ่านรังสีที่เกิดขึ้น แก้ว Polarcor ประกอบด้วยผลึกเงินซึ่งจะดูดซับแสงที่ขั้วตามแนวแกนของคริสตัลและส่งผ่านแสงโพลาไรเซชันแบบแนวตั้งฉากกับแกนนี้ คุณสมบัติ โพลาเรเตอร์ มีลักษณะตามข้อกำหนดต่อไปนี้ k_1 ความสามารถในการส่งผ่านหรือการสูญเสียที่ส่งผ่านคลื่นเชิงเส้นที่มีโพลาไรซ์เชิงเส้นเพื่อให้มีการส่งผ่านสูงสุด, k_2 ความสามารถในการถ่ายเทหรือการปิดกั้นเล็กการส่งผ่านแสงเชิงเส้นด้วย polarizer ที่มีการส่งผ่านขั้นต่ำ สามารถหาค่า k_1 และ k_2 ได้โดยตรงคือ $\frac{k_1}{k_2}$ อัตราส่วนการส่องผ่านหรือความคมชัดหลัก, T_T การส่งผ่านข้อมูลคือการส่งผ่านของโพลาไรเซอรอบเดียวในแสงที่ไม่เป็นโพลาไรซ์ unpolarized $\frac{(k_1+k_2)}{2}$, H_0 การถ่ายทอดผ่าน $\frac{(k_1 2+k_2 2)}{2}$ คือการส่งผ่านของสองโพลาไรเซอรที่เหมาะสำหรับการส่งสูงสุดในแสงที่ไม่เป็นรูปเป็นส่วน ๆ H_{90}: การส่องผ่านที่ปิด $k_1 k_2$ คือการส่งผ่านของโพลาไรซ์สองแบบที่ให้ความสำคัญกับการส่งผ่านต่ำสุดในแสงที่ไม่เป็นไปตามที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

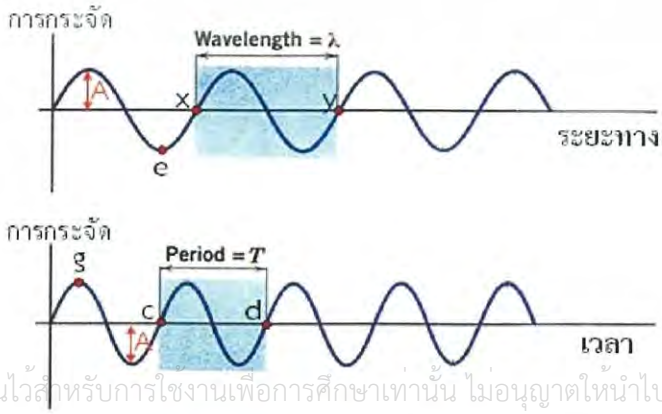
2.3 หลักการของเลนส์

ความรู้เรื่องเลนส์เป็นสิ่งจำเป็นในบทนี้จากหลักการพื้นฐานของออพติกเกี่ยวกับการสะท้อนและการส่งผ่านของแสง ในเลนส์ออปติคอลค่าคงที่และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่น ในบทนี้เพื่อช่วยในการทำความเข้าใจพฤติกรรมของแสงจะอธิบายได้ด้วยการมองเห็นกระบวนการแพร่กระจายของคลื่นแสง เลนส์คือวัตถุที่ทำจากแก้วชนิด มีลักษณะกลม ผิวเรียบ แบ่งได้ 2 ชนิด คือ เลนส์นูนและเลนส์เว้าใช้ทำหน้าที่รับภาพและรับแสงจากภายนอก คุณสมบัติของเลนส์มีความแตกต่าง ที่ขนาดของความยาวโฟกัส หรือความยาวระยะชัด“F”ความยาวโฟกัส คือความยาวระยะทางที่วัดได้จากเลนส์แผ่นฟิล์มที่อยู่ บนกล่องพื้นที่ราบมีรังสีแสงสว่างผ่านเลนส์เข้าไปสร้างภาพคมชัด บนแผ่นฟิล์มวัดจากแกนมุม ของเลนส์ขนาดที่โฟกัส ตั้งไว้ระยะที่ไกลสุดซึ่งภาพของภาพวัตถุจะปรากฏชัดที่สุด โดยปกติระยะความยาวของเลนส์มาตราฐานมีความยาวของเส้นทแยงมุมของภาพที่ปรากฏบนฟิล์ม ของกล้องถ่ายภาพความยาวโฟกัสของเลนส์จะมีผลต่อการถ่ายภาพคือ เลนส์ถ่ายภาพใดก็ตามที่มีความยาวโฟกัสของเลนส์ ยิ่งยาวยิ่งทำให้มุมของการถ่ายภาพแคบและ ช่วยย่นระยะของทางที่มองเห็นใกล้เข้ามาเลนส์ดังกล่าว ความยาวของโฟกัสของเลนส์มีผลต่อการถ่ายภาพ คือ ทำให้มุมของภาพกว้างหรือแคบได้ ทำให้ความชัดมีมากหรือน้อยลงได้

2.3.1 การจัดแสง

จากปกติที่รู้แสงจะมีลักษณะเป็นคลื่นและมีคุณสมบัติทางแม่เหล็กไฟฟ้า อธิบายโดยการใช้ไซน์เวฟ เมื่อแสงเข้าสู่ตัวกลาง แสงจะแสดงพฤติกรรมที่ซับซ้อนเนื่องจากการหักเหหรือการดูดซับของแสง แสดงได้จากค่าดัชนีหักเหและสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง สามารถตรวจสอบได้จากการแพร่กระจายของดัชนีหักเห

2.3.2 ส่วนประกอบของคลื่น

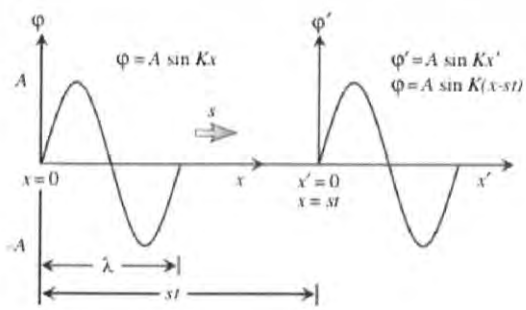


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.12 แสดงส่วนประกอบของคลื่น

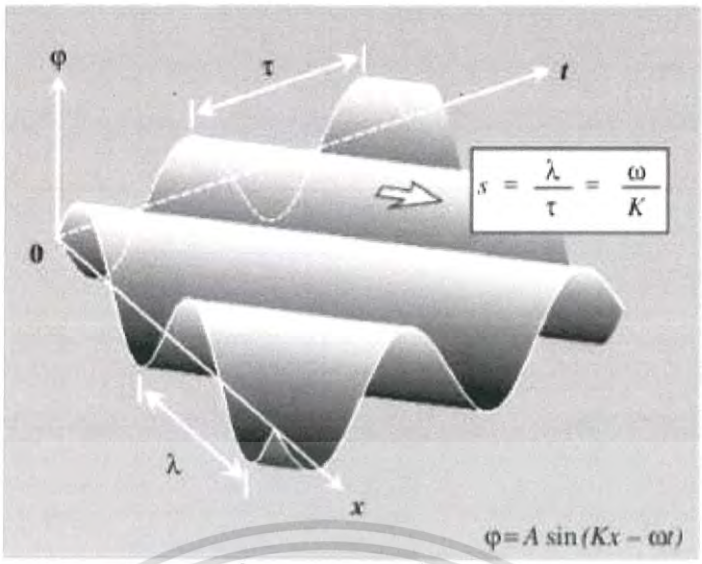
สันคลื่น (Crest) เป็นตำแหน่งสูงสุดของคลื่น ที่จุด g, ท้องคลื่น (Crest)เป็นตำแหน่งต่ำสุดของคลื่น ที่จุด e แอมพลิจูด (Amplitude)เป็นระยะการกระจัดมากสุด วัดจากระดับไปถึงสันคลื่นหรือท้องคลื่น สัญลักษณ์ A, ความยาวคลื่น (wavelength)มีค่าเท่ากับระยะระหว่างสันคลื่นหรือท้องคลื่นที่อยู่ถัดกัน หรือระยะระหว่าง 2 ตำแหน่งบนคลื่นที่ที่เฟสตรงกัน (inphase) ความยาวคลื่นแทนด้วยสัญลักษณ์ λ (Lamda) มีหน่วยเป็นเมตร (m) ระยะ xy, ความถี่ (frequency) หมายถึง จำนวนลูกคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งใด ๆ ในหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที หรือ เฮิรตซ์ (Hz) จาก cd โดย $f = \frac{1}{T}$, คาบ (period) หมายถึง ช่วงเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งใด ๆ ครบหนึ่งลูกคลื่น มีหน่วยเป็นวินาทีต่อรอบ โดย $T = \frac{1}{f}$, หน้าคลื่น (wave front) เป็นแนวเส้นที่ลากผ่านตำแหน่งที่มีเฟสเดียวกันบนคลื่น อัตราเร็วของแบ่งได้เป็น อัตราเร็วเฟสเป็นอัตราเร็วคลื่นที่เคลื่อนที่ไปแบบเชิงเส้น ซึ่งอัตราเร็วคลื่นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน $v = \frac{s}{t} = \frac{\lambda}{T} = f\lambda$ อัตราเร็วของอนุภาคตัวกลางเป็นการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์มอนิก ไม่ว่าจะเป็นคลื่นชนิดตามขวางหรือตามยาวสมการที่ใช้ อัตราเร็วที่สันคลื่นกับท้องคลื่น เป็นศูนย์ อัตราเร็วอนุภาคขณะผ่านแนวสมดุล มีอัตราเร็วมากที่สุด อัตราเร็วอนุภาคขณะมีการกระจัด **y** ใดๆ จากแนวสมดุล $v = \omega A = 2\pi fA = \frac{2\pi}{T}A$ อัตราเร็วคลื่นในน้ำขึ้นกับความลึกของน้ำ ถ้าให้น้ำลึก **d** จะได้ความสัมพันธ์ $v\alpha\sqrt{d}$ อัตราเร็วคลื่นในเส้นเชือกขึ้นอยู่กับแรงตึงเชือก (**T**) และค่าคงตัวของเชือก (**u**) ซึ่งเป็นค่ามวลต่อความยาวเชือก $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$, $v\alpha\sqrt{T}$

2.3.3 คลื่นหนึ่งมิติ



รูปที่ 2.13 แสดงคลื่น 1 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 แสดงคลื่น 1 มิติ

ค่า $K = \frac{2\pi}{\lambda}$ ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดค่าดัชนีหักเห

$$,T = \frac{\lambda}{s}, F = \frac{1}{T}, \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi F,\ s = \frac{\omega}{K} = \lambda F$$

โดยสมการทั่วไป สมการคลื่น 1 มิติ คือ

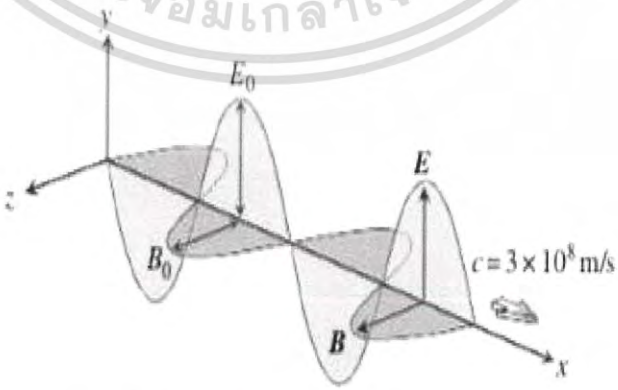
$$\varphi = A\ sin\ (Kx - \omega t)$$

โดยที่ $(Kx - \omega t)$ คือเฟสเมื่อเฟสเริ่มต้น

$$\delta = \frac{\pi}{2} \text{ และ } sin\ (x + \frac{\pi}{2}) = cos\ (x)$$

จะได้ $\varphi = A\ sin\ (Kx - \omega t + \delta)$

2.3.4 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



รูปที่ 2.15 แสดงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงให้เห็นว่า $E = B = 0$ เป็นคลื่นตามขวาง โดยที่ E ตั้งฉากกับ B และความยาวคลื่นแสงไม่ขึ้นอยู่กับค่าความเร็วแสง C โดย $C = 2.99792 \times 10^8\, m/s$ สามารถแสดงเป็นสมการคลื่น1มิติได้เป็น $E = E_0 exp[i(\omega t - Kx + \delta)]$, $B = B_0 exp\,[i(\omega t - Kx + \delta)]$ โดยที่ $E = cB$ ต่อมามีการเสนอว่าแสงเป็น อนุภาค เรียกว่า โฟตอน โดย พลังงานโฟตอน $En = h\nu = \hbar\omega$ $= \frac{h}{2\pi}$, เลขคลื่น $W = \frac{1}{\lambda}$ จากค่าคงที่ในตารางค่าคงที่ เขียนสมการใหม่ได้เป็น

ตารางที่ 2.1 ตารางค่าคงที่

Speed of light	c	$2.99792 \times 10^8\, m/s$
Planck's constant	h $= \frac{h}{2\pi}$	$6.62607 \times 10^{-34}\, J \cdot s$ $1.05457 \times 10^{-34}\, J \cdot s$
Free-space permittivity	ε_0	$8.85419 \times 10^{-12}\, F/m$
Electron charge*	e	$1.60218 \times 10^{-19}\, C$
Free-electron mass	m_0	$9.10938 \times 10^{-31}\, kg$

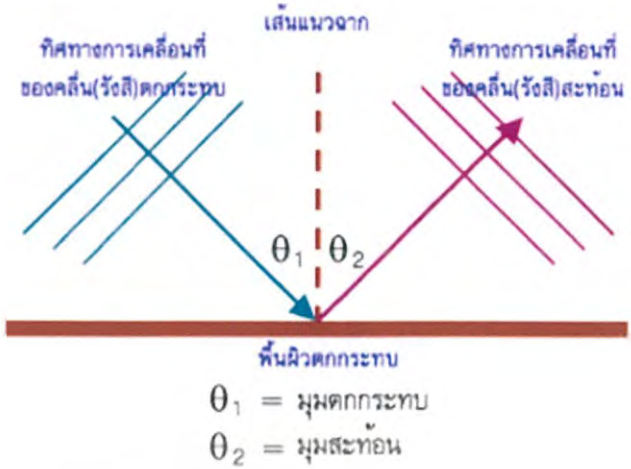
*$1eV = 1.60218 \times 10^{-19}\, J.$

$$En = \frac{1}{1.60218 \times 10^{(-19)}} \frac{hc}{\lambda} = \frac{1.23984 \times 10^{(-6)}}{\lambda} eV$$

2.3.5 สมบัติของคลื่น

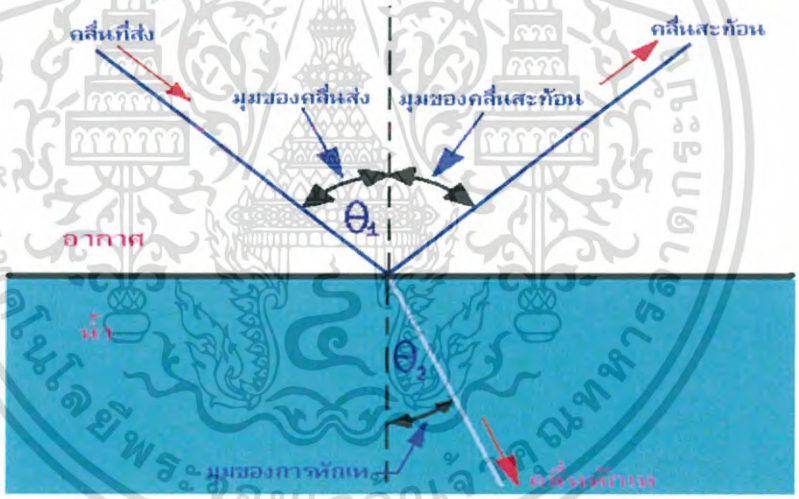
การสะท้อน (reflection) เกิดจากคลื่นเคลื่อนที่ไปกระทบสิ่งกีดขวางแล้วเปลี่ยนทิศกลับสู่ตัวกลางเดิมกฎการสะท้อนคลื่น มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อนเสมอ รังสีตกกระทบ เส้นปกติ รังสีสะท้อน อยู่ในระนาบเดียวกัน ผลของการสะท้อนของคลื่น ความถี่ของคลื่นสะท้อนมีค่าเท่ากับความถี่ของคลื่นตกกระทบ อัตราเร็วและความยาวคลื่นของคลื่นสะท้อนมีค่าเท่ากับอัตราเร็วและความยาวคลื่นของคลื่นตกกระทบ ถ้าการสะท้อนไม่สูญเสียพลังงาน จะได้แอมพลิจูดของคลื่นสะท้อนมีค่าเท่ากับแอมพลิจูดของคลื่นตกกระทบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 แสดงการสะท้อน

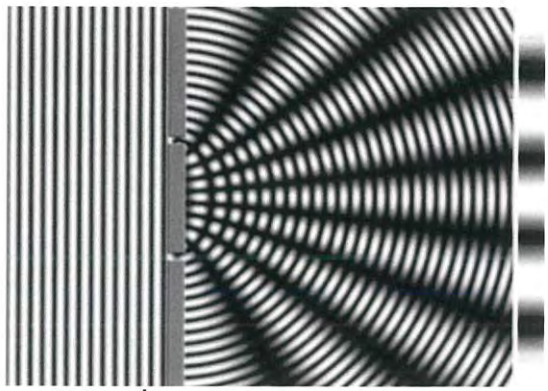
การหักเห (refraction) เกิดจากคลื่นเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง แล้วทำให้อัตราเร็วและทิศของเคลื่อนเปลี่ยนไป



รูปที่ 2.17 แสดงการหักเห

การแทรกสอด (interference) เกิดจากคลื่นน้ำสองขบวนเคลื่อนที่มาพบกัน แล้วเกิดการซ้อนทับกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 แสดงการแทรกสอด

การเลี้ยวเบน (diffraction) เกิดจากคลื่นเคลื่อนที่ไปพบสิ่งกีดขวาง แล้วเคลื่อนที่อ้อมไปด้านหลังของสิ่งกีดขวาง

รูปที่ 2.19 แสงการเลี้ยวเบน

การถ่ายโอนพลังงานของคลื่น สิ่งที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับคลื่นคือพลังงาน เช่น เมื่อโยนก้อนหินลงไปในน้ำ พลังงานจนลน์จากก้อนหินจะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานของคลื่นน้ำ

รูปที่ 2.20 แสดงการถ่ายโอนพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 ดรรชนีหักเห

การหักเหของแสงเกิดขึ้นเมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีดัชนีหักเหแตกต่างกันเช่น การมองลงไปในน้ำ โดยดัชนีหักเห n เมื่อไม่มีการดูดกลืนแสงในตัวกลางจะแสดงสมการได้เป็น

$$n=\frac{c}{s},K=\frac{\omega n}{c}=\frac{2\pi n}{\lambda}$$

ถ้า $n=1$ จะได้สมการเป็น

$$E=E_{t0}exp[i(\omega t-Kx+\delta)]=E_{t0}\,exp\left[i\,(\omega t-\frac{2\pi n}{\lambda}x+\delta)\right]$$

ดัชนีหักเห N เมื่อมีการดูดกลืนแสงในตัวกลาง ถ้า $N=n-ik$ จะได้สมการเป็น

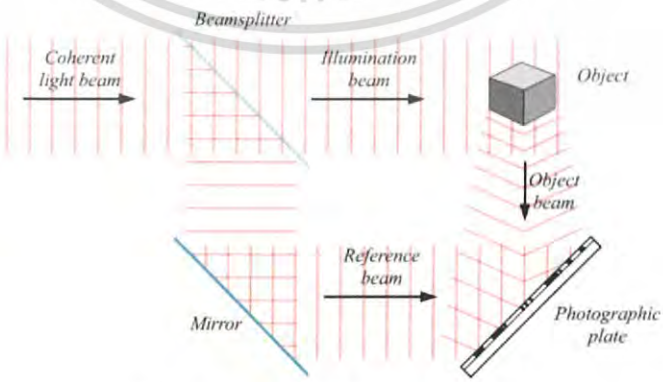
$$E=E_{t0}\,exp\,[i\,(\omega t-\frac{2\pi N}{\lambda}x+\delta)]=E_{t0}\,exp(-\frac{2\pi k}{\lambda}x)exp[i(\omega t-\frac{2\pi n}{\lambda}x+\delta)]$$

สมการความเข้มแสงของเบียร์ คือ

$$I=i_0\,exp(-\alpha d)\text{ โดยที่ }\alpha=\frac{4\pi k}{\lambda}$$

2.4 โฮโลกราฟี

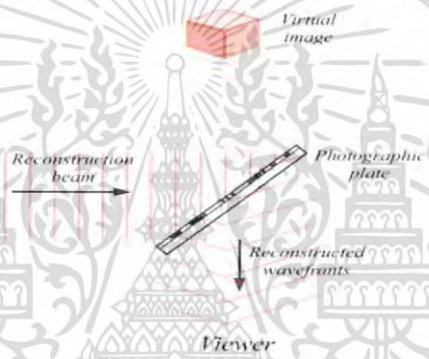
โดยปกติโฮโลแกรมคือการบันทึกภาพสามมิติ ของสนามแสงใช้เพื่อแสดงภาพ 3มิติ ภาพโฮโลแกรมไม่ได้เป็นภาพและโดยปกติจะมองไม่เห็นเมื่อมองภายใต้ แสงแวดล้อมแบบกระจาย เป็นการบันทึกการแทรกสอดของแสง ของรูปแบบสุ่ม ความทึบ ความหนาแน่น หรือพื้นผิวของวัตถุ เมื่อมีแสงสว่างเพียงพอรูปแบบการแทรกสอดจะกระจายแสงไปสู่การทำซ้ำของสนามแสงเดิม และวัตถุที่อยู่ในภาพนั้นดูเหมือนจะยังคงอยู่ที่เดิมแสดง ความหมายของความลึกของภาพ รูปแบบการถ่ายภาพสามมิติต้องใช้แสงเลเซอร์ เพื่อให้แสงสว่างแก่วัตถุและเพื่อดูภาพสามมิติที่เสร็จสมบูรณ์ มีรายละเอียดระดับจุลภาค การถ่ายภาพสามมิติเป็นเทคนิคที่ช่วยให้สนามแสงที่กระจัดกระจายออกจากวัตถุจะถูกบันทึกและสร้างใหม่ภายหลังเมื่อสนามแสงเดิมไม่มีอยู่อีกต่อไปเนื่องจากไม่มีวัตถุต้นฉบับ



รูปที่ 2.21 แสดงวิธีสร้างภาพโฮโลแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการถ่ายภาพสามมิติแบบเลเซอร์ภาพโฮโลแกรมจะถูกบันทึกโดยใช้เลเซอร์ ซึ่งมีคุณสมบัติโคฮีเรนต์ คือ เป็นแสงสีเดียว (มีค่าความยาวคลื่นเดียว) มีเฟสเดียวกัน มีทิศทางแน่นอน มีความเข้มสูง สามารถใช้สร้างรูปแบบการแทรกสอดลงบนแผ่นฟิล์มหรือสื่อบันทึกอื่น ๆ ที่มีขนาดปานกลาง ในการจัดแสงทั่วไปลำแสงเลเซอร์จะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนซึ่งเรียกว่า ลำแสงวัตถุ และอีกอันหนึ่งเป็นลำแสงอ้างอิง ลำแสงวัตถุถูกขยายเพื่อให้แสงสว่างแก่วัตถุ สิ่งที่ใช้บันทึกตั้งอยู่บริเวณที่แสงนี้ หลังจากถูกสะท้อนหรือกระกระจายบนวัตถุโดยจะกระทบกับวัตถุ ลำแสงอ้างอิงถูกขยายและทำเพื่อส่องแสงโดยตรงบนวัตถุกับแสงที่มาจากวัตถุเพื่อสร้างรูปแบบการรบกวนที่ต้องการ เช่นเดียวกับการถ่ายภาพแบบเดิมการถ่ายภาพสามมิติ ต้องใช้เวลาในการถ่ายภาพที่เหมาะสม เพื่อให้สิ่งที่บันทึกมีผลต่อภาพอย่างถูกต้อง ซึ่งแตกต่างจากการถ่ายภาพแบบเดิม ๆ ในระหว่างการรับแสงและบันทึกวัตถุจะต้องคงที่โดยไม่มีการเคลื่อนไหว



รูปที่ 2.22 แสดงการสร้างโฮโลแกรมจากการแทรกสอด

เมื่อเทียบกับ การถ่ายภาพ ภาพสามมิติอาจเข้าใจได้ดีขึ้นโดยการตรวจสอบความแตกต่างจากภาพถ่ายธรรมดา ภาพสามมิติหมายถึงการบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับแสงที่มาจากฉากเดิมที่กระจัดกระจายอยู่ในช่วงของทิศทางมากกว่าจากทิศทางเดียวเช่นเดียวกับรูปถ่าย ฉากนี้สามารถมองจากมุมต่างๆได้ราวกับว่ามันยังคงอยู่ ภาพสามารถบันทึกได้โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงธรรมดา (แสงแดดหรือแสงไฟฟ้า) ในขณะที่ต้องใช้เลเซอร์ในการบันทึกภาพโฮโลแกรม จำเป็นต้องใช้เลนส์ในการถ่ายภาพเพื่อบันทึกภาพในขณะที่การถ่ายภาพสามมิติแสงจากวัตถุจะกระจัดกระจายไปยังสื่อบันทึกโดยตรง การบันทึกภาพสามมิติต้องใช้ลำแสงที่สอง (ลำแสงอ้างอิง) ไปยังสื่อบันทึก ภาพสามารถมองเห็นได้ในช่วงกว้างของสภาพแสงในขณะที่โฮโลแกรมสามารถมองเห็นได้เฉพาะรูปแบบการส่องสว่างเท่านั้น รูปถ่ายเป็นภาพสองมิติที่สามารถทำซ้ำได้เฉพาะผลสามมิติขั้นต้นในขณะที่ช่วงการดูภาพที่ทำซ้ำของโฮโลแกรมจะเพิ่ม ตัวชี้นำการรับรู้ในเชิงลึก มากขึ้นซึ่งมีอยู่ในฉากต้นฉบับ ภาพวาดได้อย่างชัดเจนแผนที่ออกสนามแสงของฉากเดิม พื้นผิวโฮโลแกรมที่พัฒนาแล้วประกอบด้วยรูปแบบสุ่มที่ดูดีซึ่งดูเหมือนจะไม่มีความสัมพันธ์กับฉากที่บันทึกไว้

การบันทึกโฮโลแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

1.กระจกเงา

2.กล้องดิจิทัล

3. Beam splitter

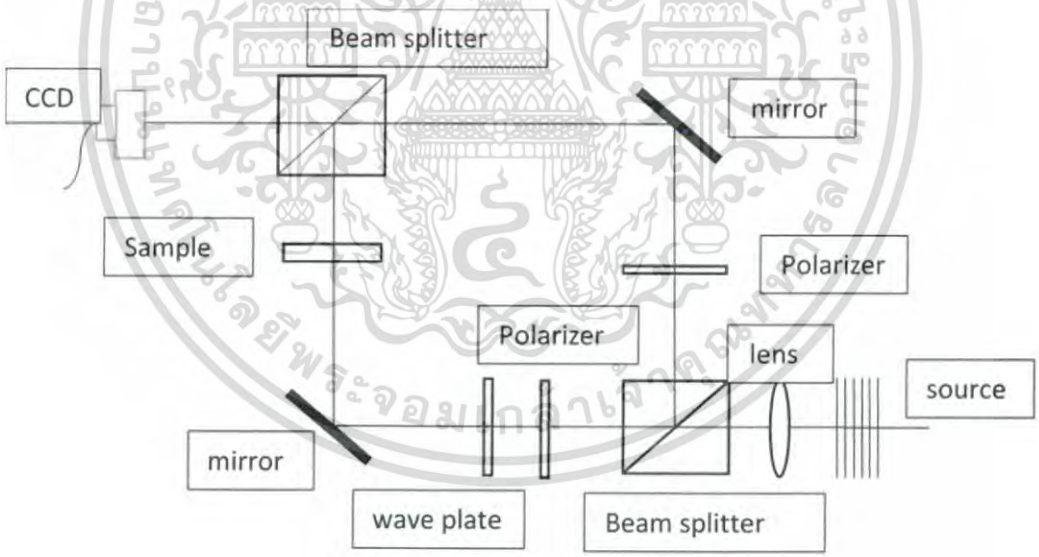
4. Polarizer

5. Half-wave plate

6. quarter – wave plate

7. Sample

3.2 วิธีการและการทดลอง

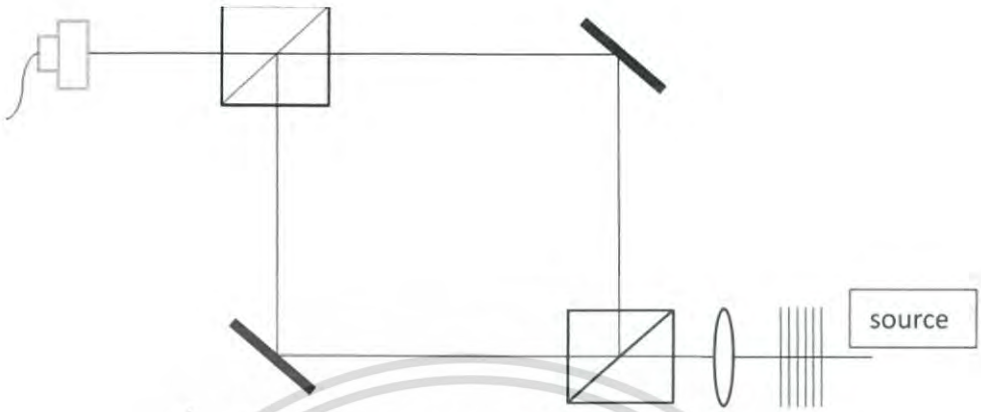


รูปที่ 3.1 แสดงรูปแบบการจัดแสง

ขั้นตอนที่ 1 ทำการจัดแสงตามรูปแบบของ Mach-Zehnder interferometer จนทำให้เกิดริ้วของการแทรกสอดระหว่างแสงทั้งสองลำ โดยการยิงเลเซอร์ผ่านเลนส์เพื่อจัดแสงให้กลายเป็นแสงขนานที่มีขนาดเท่ากันตลอดการจัดแสง เมื่อได้แสงขนานแล้วเราจะแยกแสงออกเป็นสองทางโดยใช้ตัวแยกแสง คือ Beam splitter แล้วจัดแสงให้สะท้อนกับกระจกดังรูป เพื่อให้แสงกลับมารวมกันที่

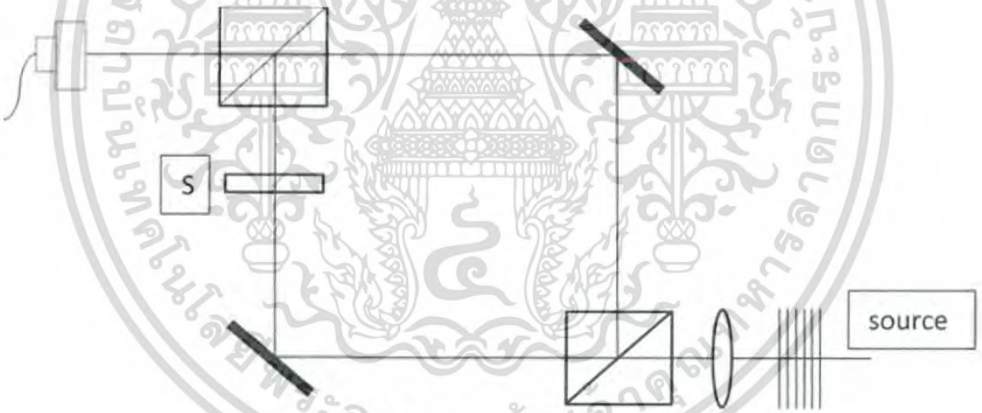
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Beam splitter จะทำให้เกิดการแทรกสอดระหว่างแสงทั้งสองลำ ทำให้ได้ริ้วการแทรกสอด แล้วทำการบันทึกภาพ



รูปที่ 3.2 แสดงรูปแบบของ Mach-Zehnder interferometer

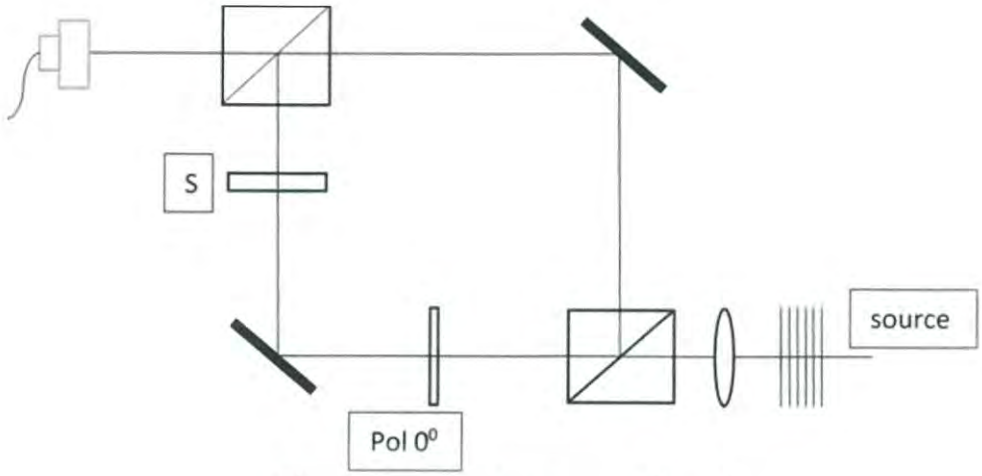
ขั้นตอนที่ 2 ทำการใส่ตัวอย่างเข้าไปในไดอะแกรมในแขนวัตถุประสงค์(object beam) เพื่อทำการถ่ายภาพและพิจารณภาพที่เกิดขึ้น แล้วบันทึก



รูปที่ 3.3 แสดงการใส่ ตัวอย่าง

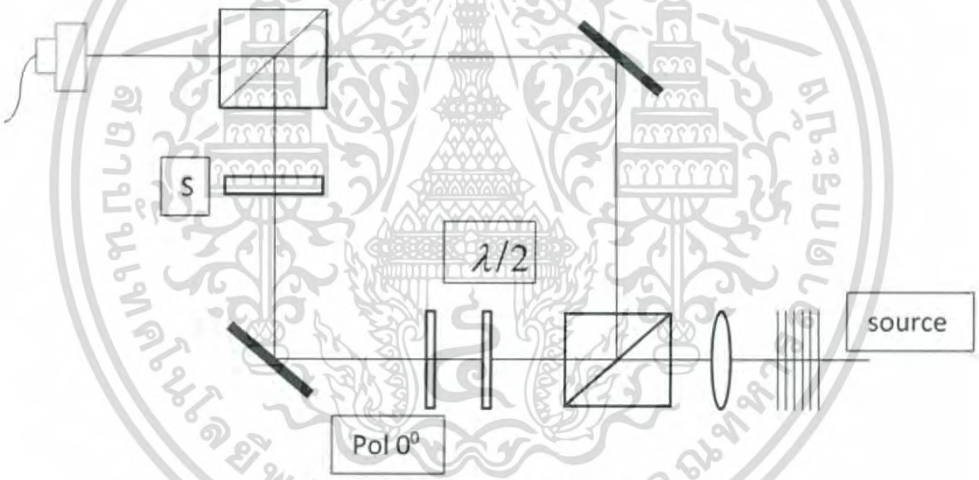
ขั้นตอนที่ 3 ใส่ Polarizer ที่มุม 0^0 ที่แขนวัตถุประสงค์(object beam) คือทำให้มุมโพลาไรซ์ตั้งฉากกัน หรือทำให้มีการดูดกลืนแสงมากที่สุด แล้วบันทึกภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดง การใส่ Polarizer ที่มุม 0^0

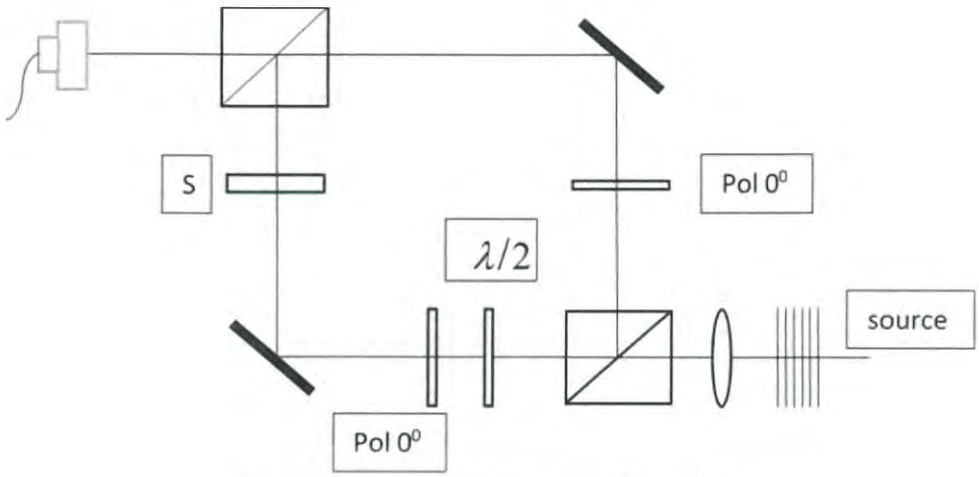
ขั้นตอนที่ 4 ใส่ Half-wave plate ที่แขนวัตถุประสงค์ (object beam) เพื่อทำการชะลอเฟส และทำให้เกิดโพลาไรซ์เซชั่นแบบวงกลม แล้วบันทึกภาพ



รูปที่ 3.5 แสดงการใส่ Half-wave plate

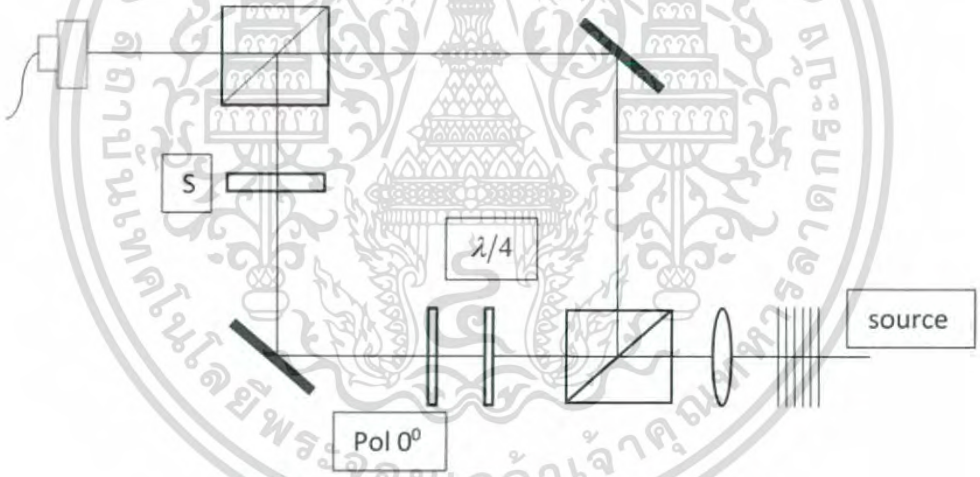
ขั้นตอนที่ 5 ใส่ Polarizer ที่แขนอ้างอิง(reference beam) แล้วทำการปรับมุมโพลาไรซ์ที่แขนวัตถุประสงค์ (object beam) ไปเรื่อยๆที่ละ 10^0แล้วดูภาพที่เกิดขึ้น แล้วบันทึกภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงการใส่ Polarizer ที่แขนอ้างอิง

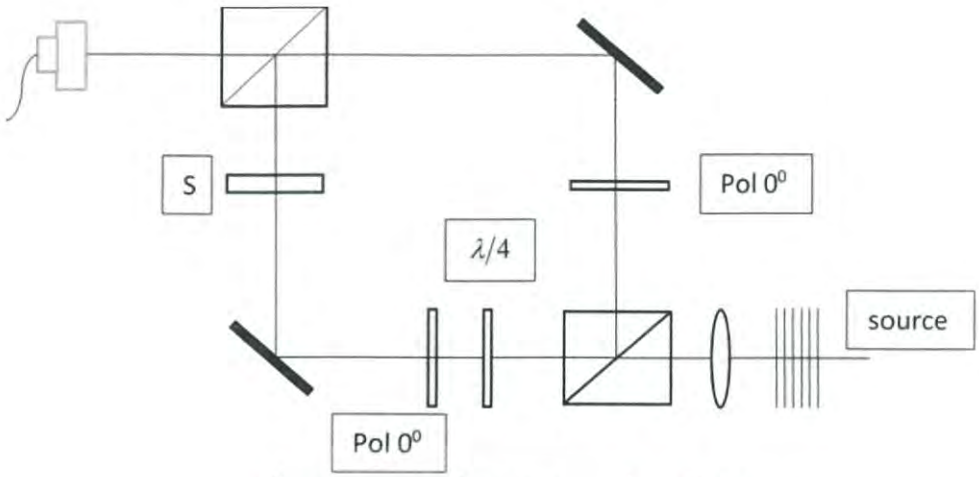
ขั้นตอนที่ 6 นำ Polarizer ที่แขนอ้างอิง(reference beam) ออก และเปลี่ยน Half-wave plate เป็น quarter – wave plate เพื่อทำการชะลอเฟสและทำให้เกิดโพลาไรซ์เซชั่นแบบวงรีแล้ว ทำการบันทึกภาพภาพ



รูปที่ 3.7 แสดงการใส่ quarter – wave plate

ขั้นตอนที่ 7 ใส่ Polarizer ที่แขนอ้างอิง(reference beam) แล้วทำการปรับมุมโพลาไรซ์ที่แขนวัตถุประสงค์(object beam) ไปเรื่อยๆที่ละ 10^0แล้วดูภาพที่เกิดขึ้น แล้วบันทึกภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงการใส่ Polarizer ที่แขนอ้างอิง

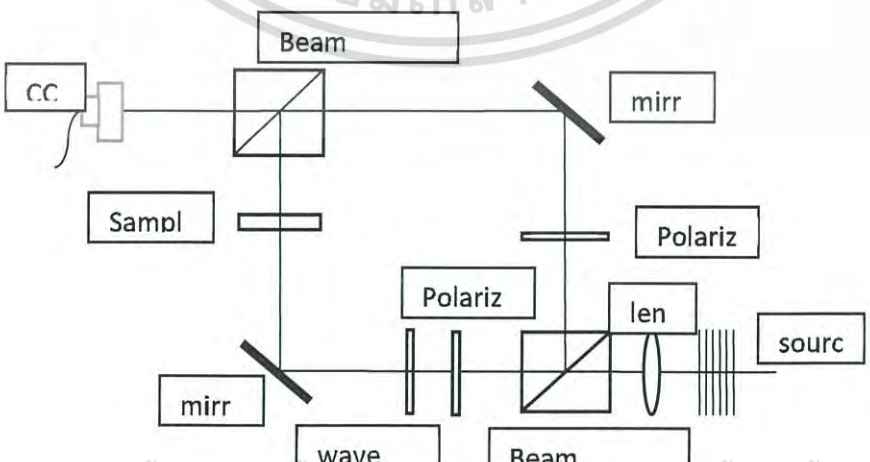
3.3 บันทึกภาพ

จะเป็นการบันทึกภาพ ที่เกิดจากการแทรกสอดของแสง เป็นการบันทึกเฟสและแอมพลิจูดของภาพโดยใช้กล้องCCD แล้วนำภาพที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบเพื่อศึกษาผลที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

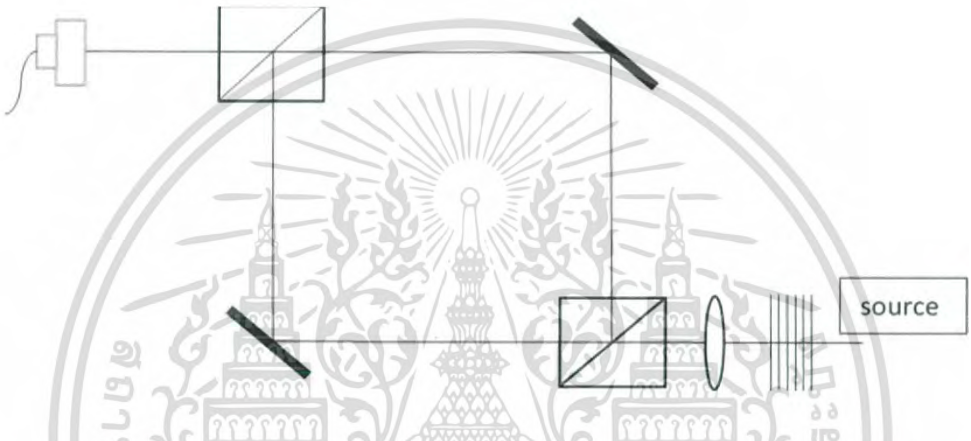
งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการสร้างภาพจากการโพลาไรซ์ และหลักการสร้างภาพโฮโลแกรม โดยโฮโลแกรม คือภาพที่บันทึกจากการแทรกสอดของแสงสองลำ ซึ่งภาพที่ได้จะเป็นภาพ3มิติ ซึ่งต่างจากภาพ2มิติทั่วไป สร้างจากกระบวนการฮอโลกราฟี ที่ช่วยให้แสงกระจายจากวัตถุที่จะบันทึกแล้วทำการสร้างขึ้นใหม่ แบ่งได้ 2 แบบ คือ 1. ภาพฮอโลแกรมที่สามารถมองเห็นได้ด้วยการส่อง ด้วยแสงสว่างจากธรรมชาติ 2. ภาพฮอโลแกรมที่สามารถมองเห็นได้ด้วยการส่องด้วยแสงเลเซอร์ หรือแสงที่มีสภาพหน้าคลื่นสอดคล้องกันในระดับหนึ่ง สำหรับงานวิจัยนี้ เราจะใช้แสงโพลาไรซ์ในการสร้างภาพโฮโลแกรม เพื่อดูผลลัพธ์ว่าภาพที่ได้มีความคมชัดหรือแตกต่างจากปกติอย่างไร ปรากฏการณ์ที่แสดงให้เห็นว่า แสงเป็นคลื่นตามขวาง คือ ปรากฏการณ์ โพลาไรเซชัน ประกอบด้วยสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กที่สั่นตั้งฉากกันในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศการแผ่ของคลื่นแสงธรรมดาที่ไม่โพลาไรส์ เวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าที่สั่นในทุกทิศทาง แสงโพลาไรส์ เวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าจะสั่นในแนวใดแนวหนึ่งเท่านั่น เช่น ในแนวดิ่ง แนวราบ โพลาไรซ์เซชั่น มี3แบบแบบเชิงเส้น แบบวงกลม และแบบวงรี โดยวิธีการสร้างโพลาไรซ์เซชั่นมีหลายวิธีเช่น การโพลาไรซ์ โดยให้แสงผ่านแผ่โพลารอยด์ซึ่งมีคุณสมบัติยอมให้แสงผ่านได้เฉพาะที่ระนาบหรือตรงกันกับแกนของการทะลุผ่านของแผ่นโพลารอยด์ การโพลาไรซ์ด้วยการสะท้อนวัตถุโปร่งใส จนเกิดการสะท้อนและการหักเหของแสง โดยมุมตกกระทบเท่ากับมุมโพลาไรซ์หรือเรียกว่ามุมบรูวสเตอร์ การโพลาไรซ์โดยการกระเจิงเมื่อแสงตกกระทบวัสดุใดๆ อิเล็กตรอนในวัตถุนั้นสามารถดูดกลืนและเปล่งแสงบางส่วนออกมาได้ เมื่อได้แสงโพลาไรซ์แล้วเราจะทำการจัดแสงตามไดอะแกรมเพื่อสร้าง สร้างภาพโฮโลแกรม และวิเคราะห์หาสาเหตุการเปลี่ยนแปลงของรูปภาพ



รูปที่ 4.1 รูปแบบการจัดแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

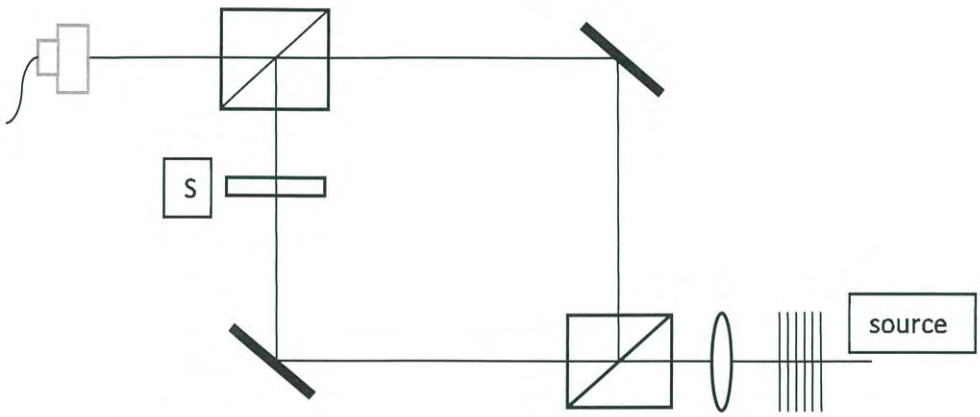
จากรูปแบบการทดลอง จะทำการจัดแสงโดยการใช้เลเซอร์ ยิงผ่านเลนส์เพื่อทำการขยายแสง และทำให้เกิดลำแสงขนาน จากนั้นก็จัดให้แสงผ่านตัวแยกแสงออกเป็นสองลำ แล้วนำแผ่นโพลารอยด์มาวางขั้นทั้งสองข้างเพื่อทำการสร้างแสงโพลาไรซ์ในมุมที่ต้องการ แล้วทำการรวมแสงที่ทำการโพลาไรซ์แล้วอีกครั้งให้ผ่านตัวอย่างที่จะทำการถ่ายภาพ ตามลำดับการจัดแสงในบทที่3 เมื่อแสงที่ผ่านตัวอย่างแล้วจะเกิด การแทรกสอดกันระหว่างแสงทั้งสองลำเราจะทำการบันทึกภาพด้วยกล้องดิจิทัล จากที่กล่าวมา จะทำการจัดแสง เพื่อนำภาพที่ได้มาเปรียบเทียบกัน เพื่อดูความแตกต่างของภาพ



รูปที่ 4.2 แสดงรูปแบบของ Mach-Zehnder interferometerภาพที่ได้จะเป็นภาพที่เกิดจากการแทรกสองของแสงทั้งสองลำที่ถูกแยกและถูกรวมโดย Beam splitter จนทำให้เกิดเป็นริ้วการแทรดของแสงเกิดขึ้น

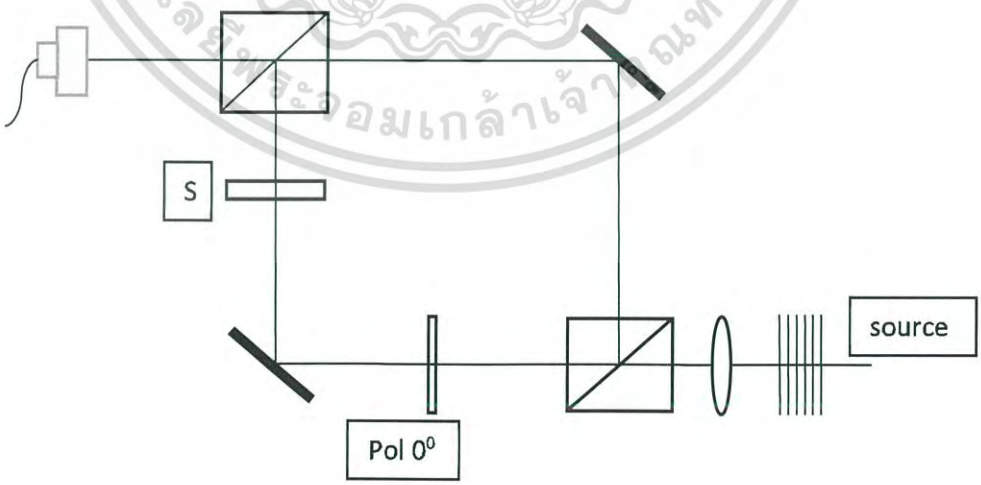
รูปที่ 4.3 แสดงการเกิดริ้วการแทรกสอดของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



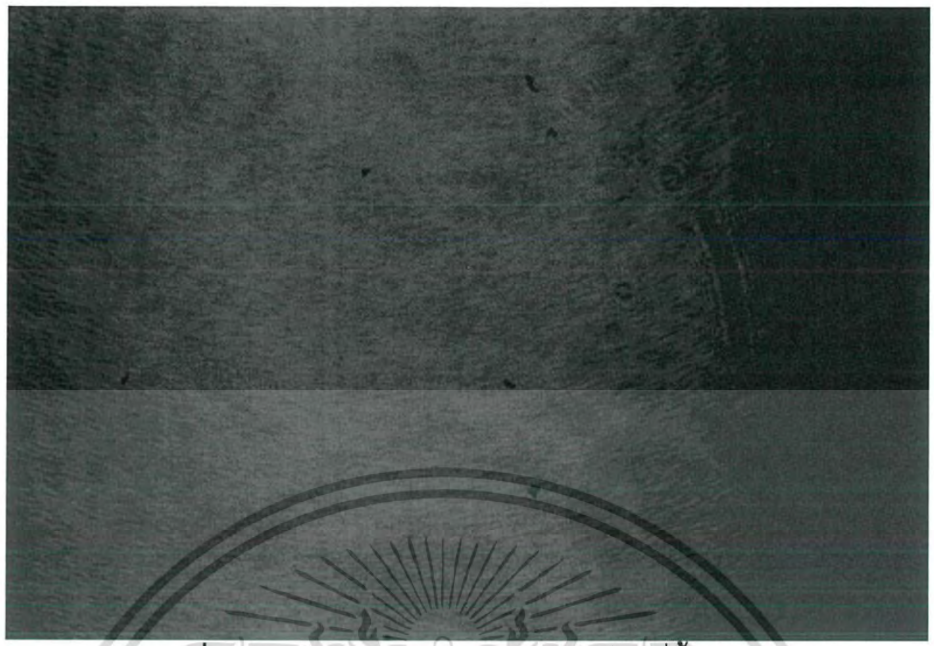
รูปที่ 4.4 แสดงรูปแบบของ Mach-Zehnder interferometer

รูปที่ 4.5 แสดงรูปวัตถุที่ทำการถ่ายภาพ

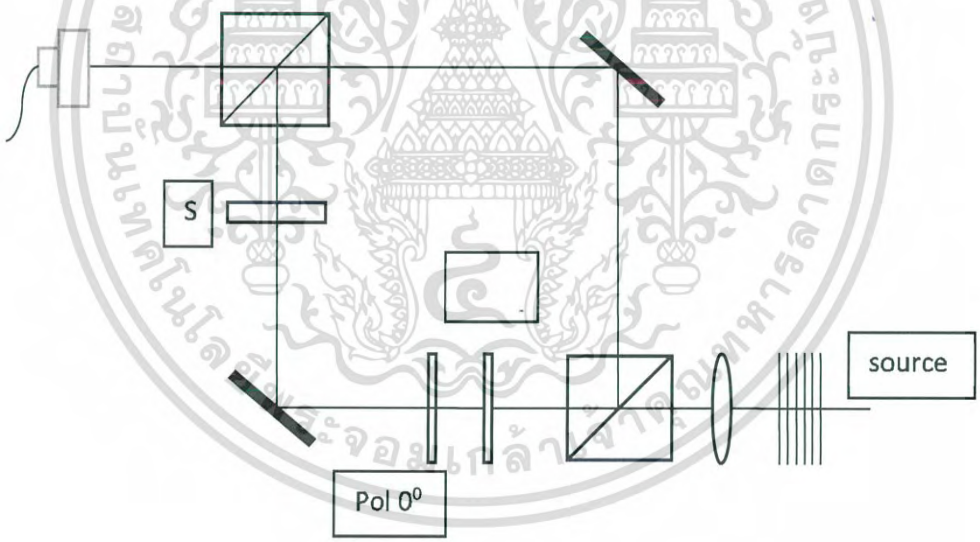


รูปที่ 4.6 แสดง การใส่ Polarizer ที่มุม 0^0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

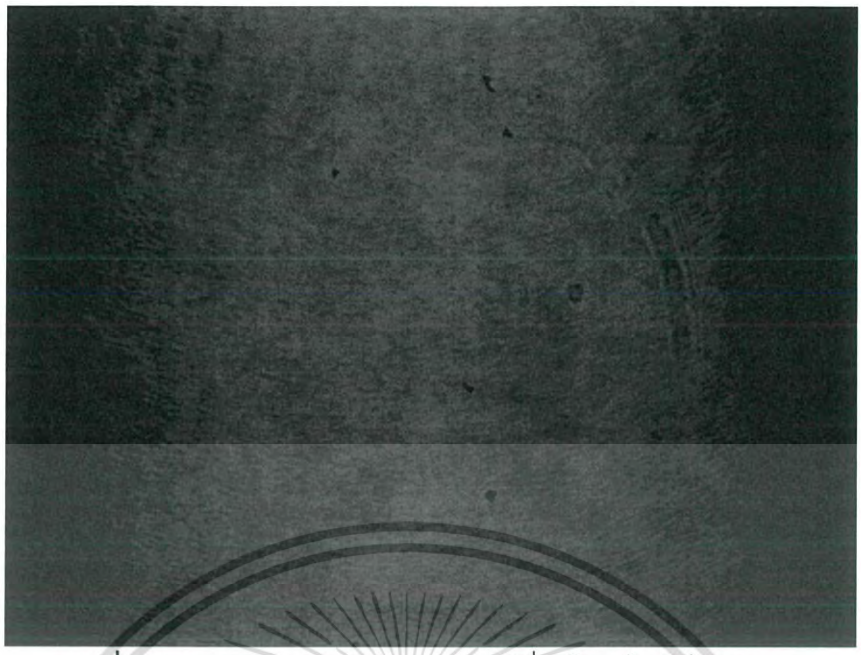


รูปที่ 4.7 แสดงการรวมแสงของมุมโพลาไรซ์ที่ตั้งฉากกัน

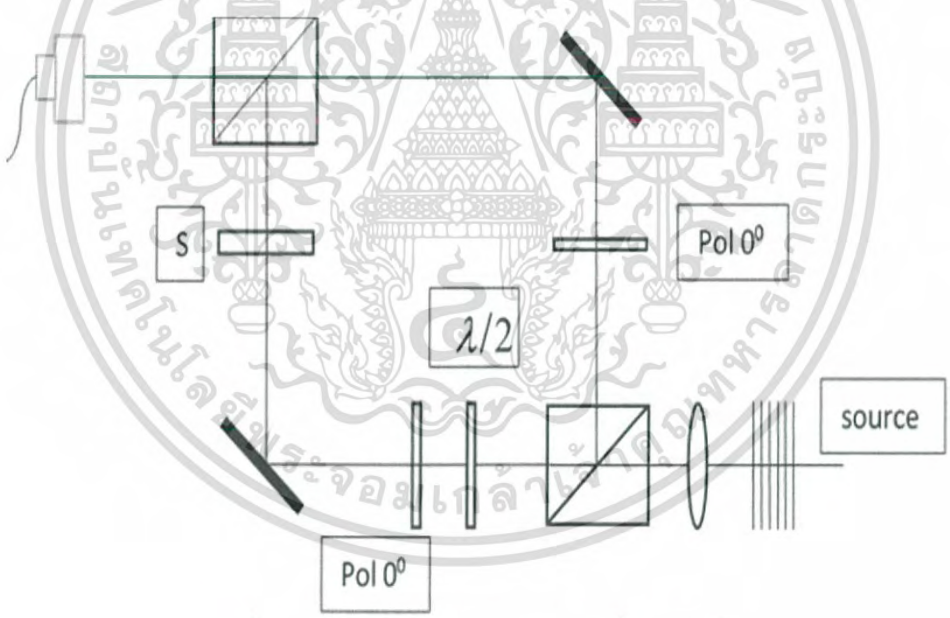


รูปที่ 4.8 แสดงการใส่ Half-wave plate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

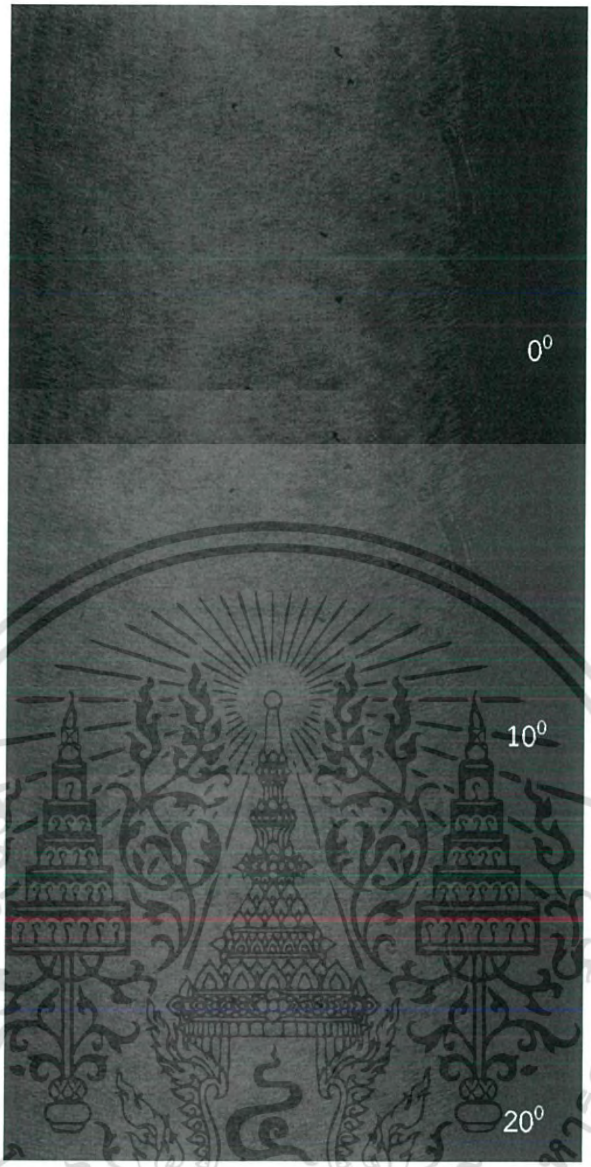


รูปที่ 4.9 แสดงการชะลอเฟสและการเปลี่ยนโพลาไรซ์เป็นวงกลม

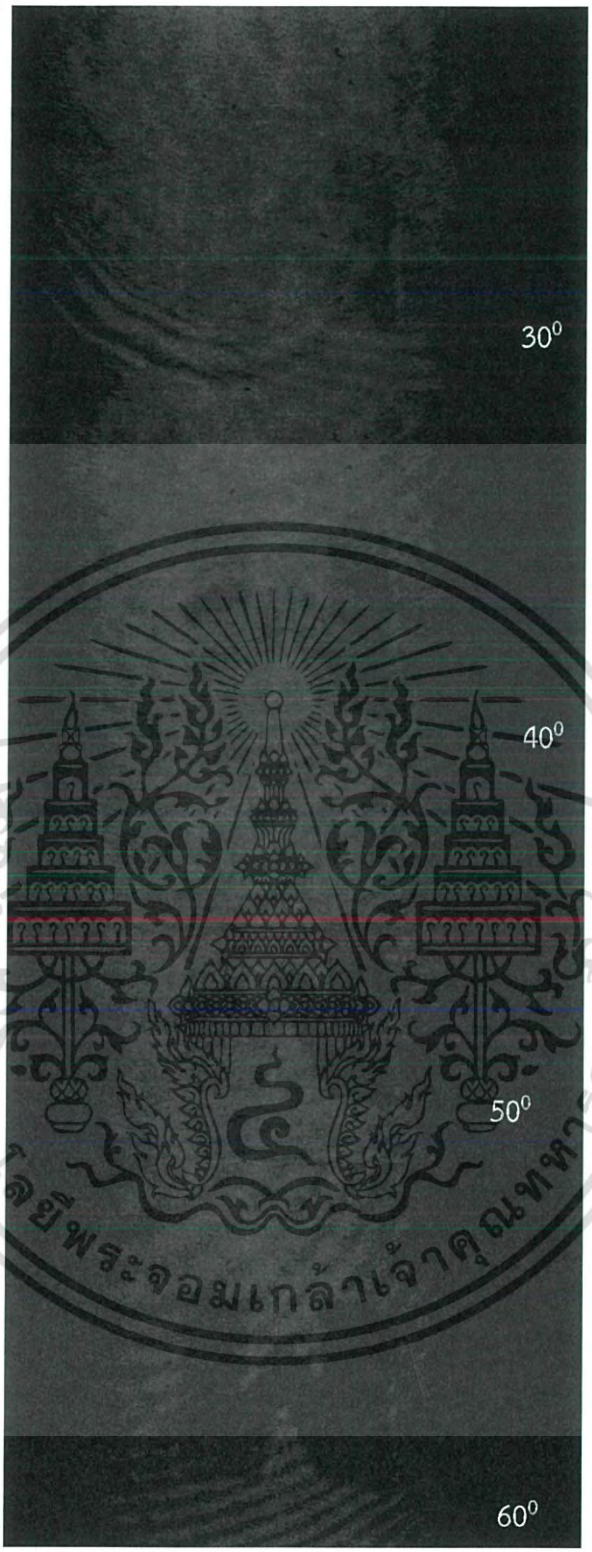


รูปที่ 4.10 แสดงการใส่ Polarizer ที่แขนอ้างอิง

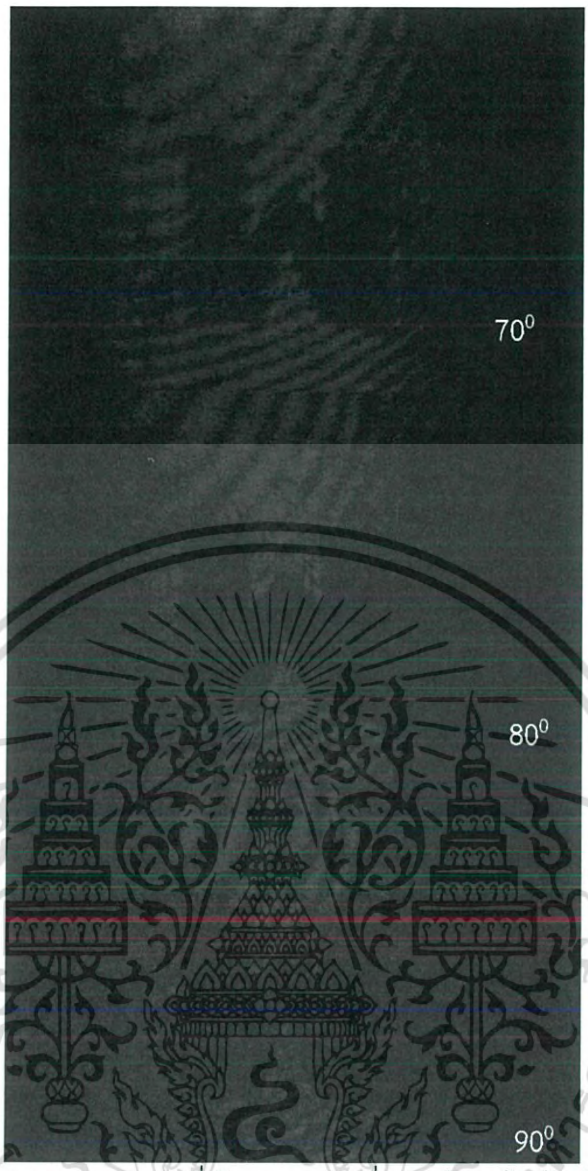
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

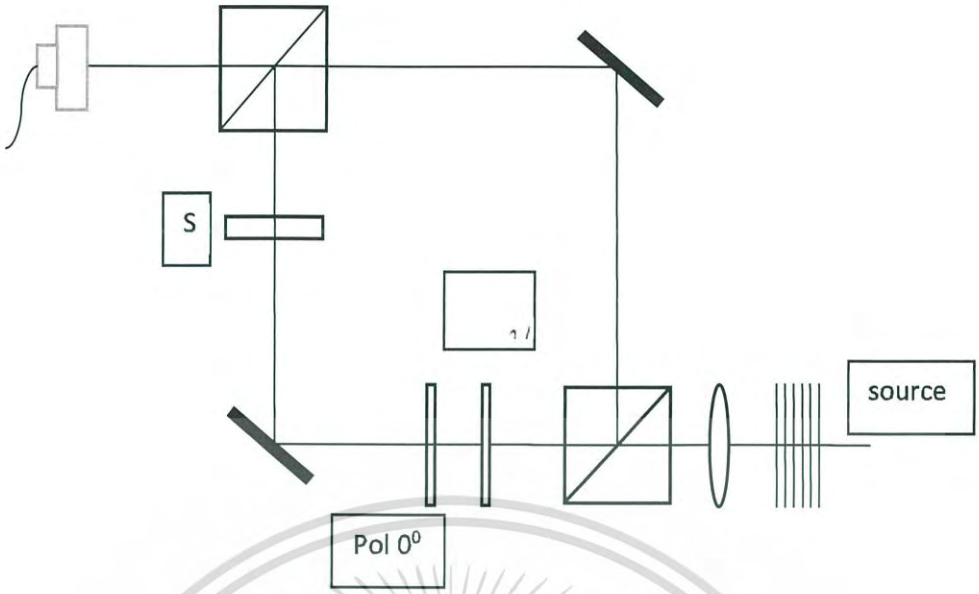


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงภาพที่เกิดจากการเปลี่ยนมุมโพลาไรซ์ไปเรื่อยๆ

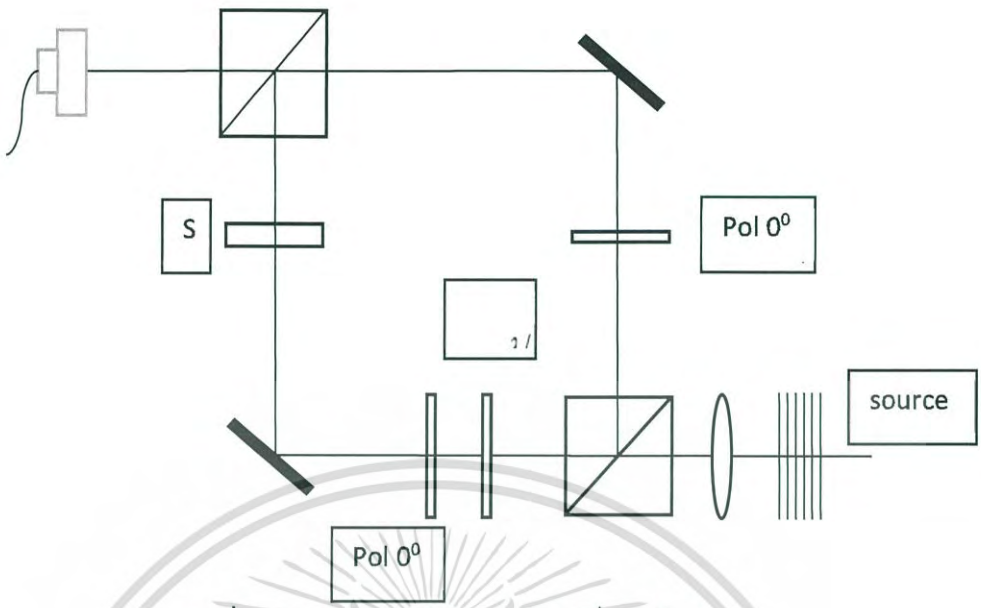
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



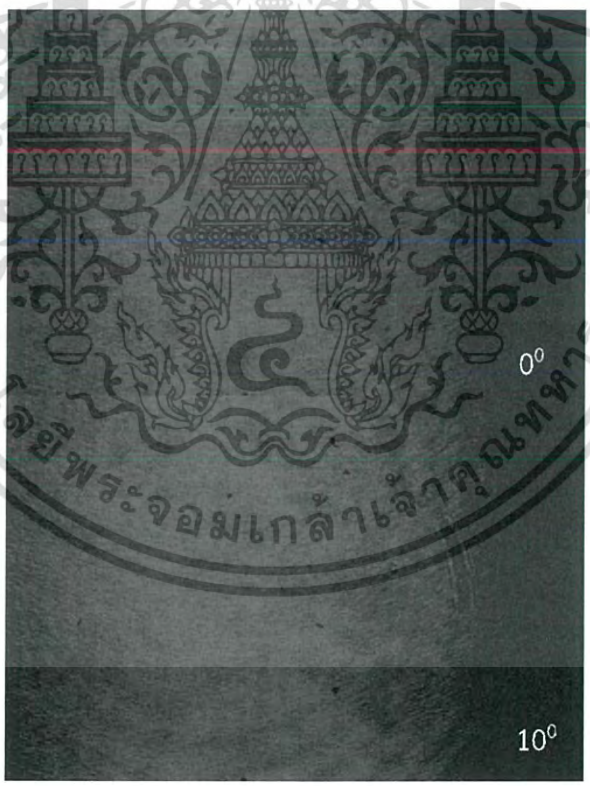
รูปที่ 4.12 แสดงการใส่ quarter – wave plate

รูปที่ 4.13 แสดงการชะลอเฟสและการเปลี่ยนโพลาไรซ์เป็นวงรี

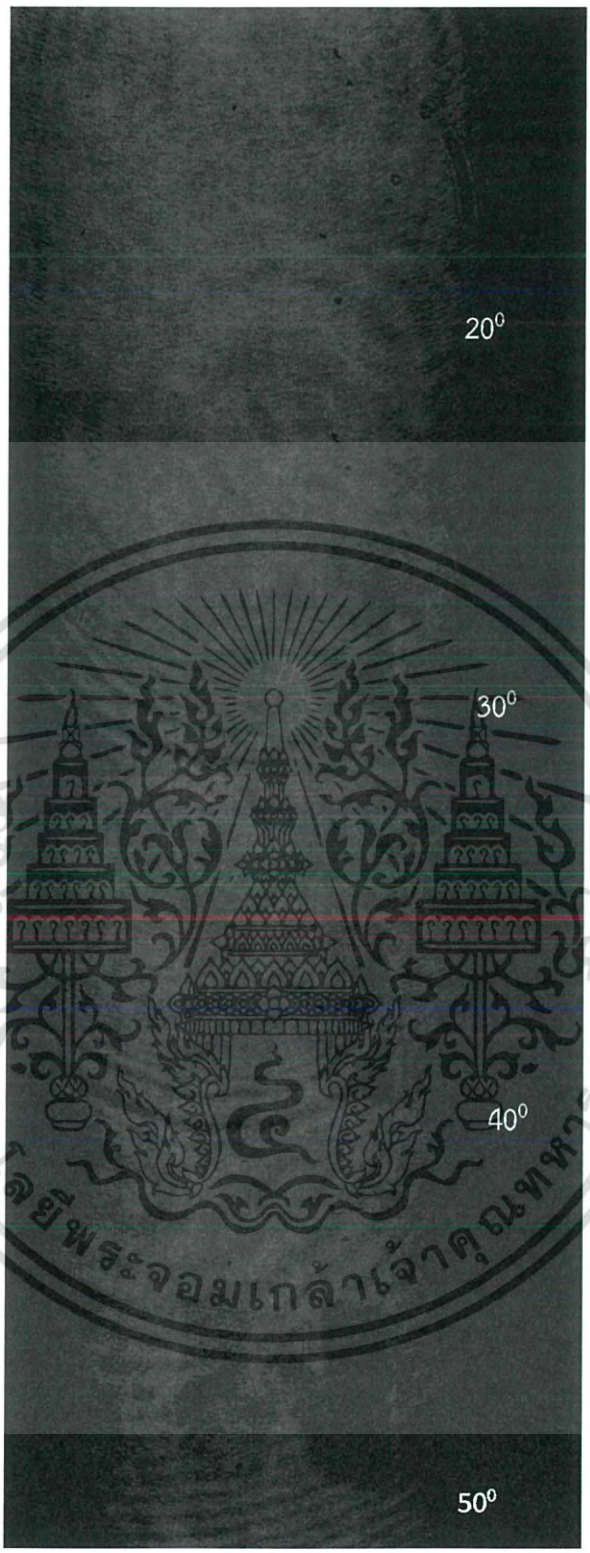
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



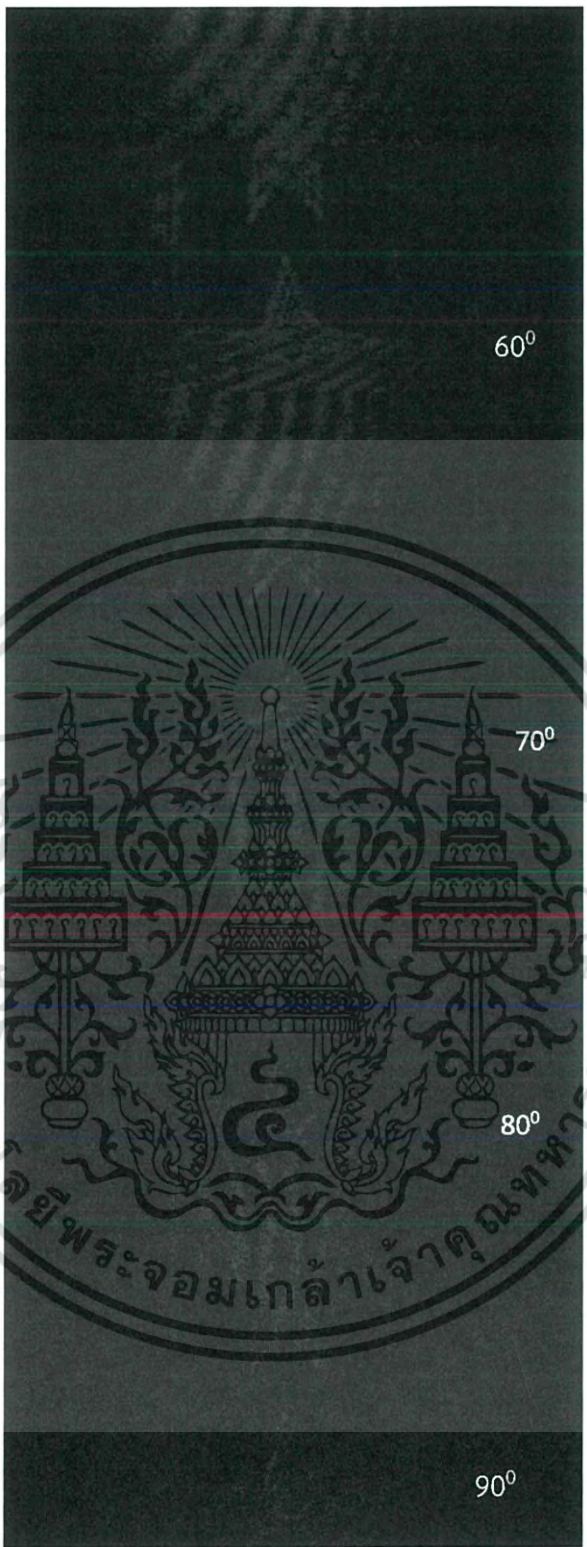
รูปที่ 4.14 แสดงการใส่ Polarizer ที่แขนอ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงภาพที่เกิดจากการเปลี่ยนมุมโพลาไรซ์ไปเรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

โครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาและเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการสร้างภาพโพลาไรซ์เซชั่นจากดิจิทัลโฮโลกราฟี โดยการออกแบบการทดลองเพื่อดูภาพที่เกิดขึ้น ซึ่งได้แบ่งไว้เป็น 2 แบบ คือ กำหนดให้มีมุมโพลาไรซ์แบบวงกลม และกำหนดให้มีมุมโพลาไรซ์แบบวงรี

เมื่อเราได้ทำการทดลองจัดแสงตามระบบแล้วผลการทดลองที่ได้จากการจัดแสงทั้งสองรูปแบบ จะเห็นได้ว่าภาพที่ได้ จะเป็นภาพจริงที่กลับบนลงล่างและกลับซ้ายไปขวา และภาพที่ได้เป็นภาพสามมิติ คือบันทึกแอมพลิจูดความกว้างความยาวของภาพและเฟสที่เป็นระยะความคมชัดของภาพได้ และเราสามารถนำภาพมา เข้าโปรแกรมแมทแลป เพื่อหาระยะเฟส ที่มีความคมชัดของภาพของภาพมากที่สุดได้ และจากการจัดแสงทั้งสองรูปแบบ ภาพที่มีความคมชัดมากที่สุดคือภาพที่การจัดแสงของมุมโพลาไรซ์ให้ขนานกัน คือการบันทึกภาพแสงโพลาไรซ์สองลำที่มีแนวโพลาไรซ์แนวเดียวกัน ภาพที่ได้จะมีความชัดมากกว่าภาพที่ถ่ายจากแสงโพลาไรซ์แนวตั้งฉากกัน ภาพจากรูปที่มุม 90^0 จะเห็นได้ว่าภาพที่ได้จะมีความคมชัดมากที่สุด เพราะเกิดจากมุมที่ขนานกันของโพลาไรซ์ทำให้มีการดูดกลืนแสงน้อยที่สุด และตามคุณสมบัติของโพลาไรซ์ลารแทรกสดภาพที่ได้จึงมีความคมชัดมากที่สุดในมุมนี้

จากการทดลองผลที่ได้ทำให้รู้ว่า โพลาไรเซชั่นช่วยในการลดความเข้มแสง และกรองแสงในส่วนที่ไม่ต้องการทิ้งไป และการใสแผ่นคลื่น เพื่อช่วยปรับเฟสให้ได้มุมที่เหมาะสมกับการถ่ายภาพและแผ่นคลื่นยังช่วยดูดกลืนแสงที่ไม่ต้องการออกได้ ทำให้ได้ภาพที่ชัดมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] H. Fujiwara, J. Koh, P. I. Rovira, and R. W. Collins. 2000. **Assessment of effective-mediumtheories in the analysis of nucleation and microscopic surface roughness evolution for semiconductor thin films**

[2] H. Fujiwara, M. Kondo, and A. Matsuda. 2001. **Real-time spectroscopic ellipsometry studies of the nucleation and grain growth processes in microcrystalline silicon thin films**

[3] H. Fujiwara, M. Kondo, and A. Matsuda. 2003. **Interface-layer formation in microcrystalline Si:H growth on ZnO substrates studied by real-time spectroscopic ellipsometry and infrared spectroscopy**

[4] Tristan Colomb, Pia Dahlgren, Didier Beghuin, Etienne Cuche, Pierre Marquet, and Christian Depeursinge. 2002. **Polarization imaging by use of digital holography**

[5] ชัยกานต์ เลียวหิรัญ. 2554. **โพลาไรเซชัน (Polarization).** [online]. Available: http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/287/6/17/physics-pdf1/lecture-8-53.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้