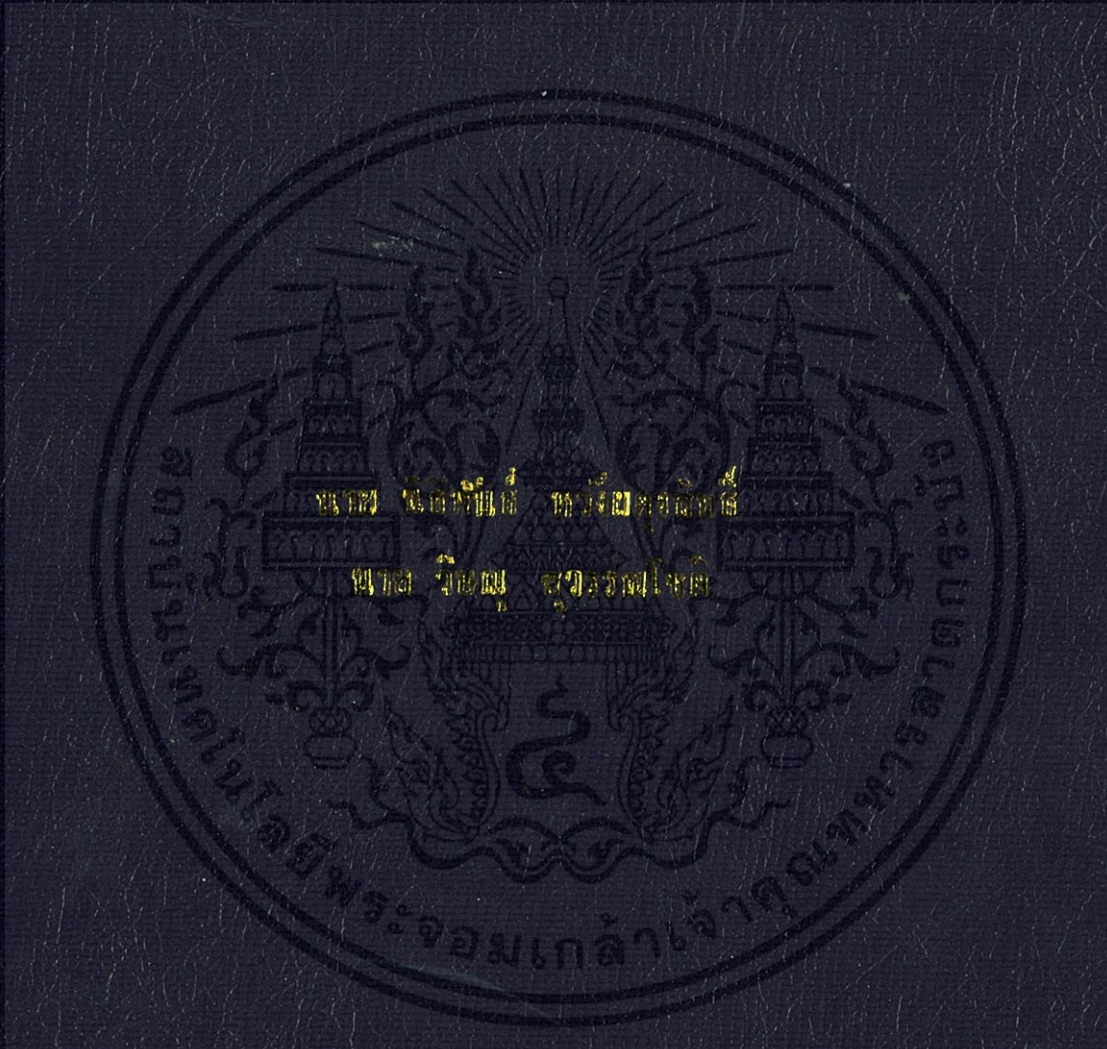


การสร้างแผ่นกรating โดยใช้วิธีการโฮโลกราฟีด้วยวิธีสร้างบนแผ่นใสโดยเทคนิค  
CREATION OF GRATING BASE ON HOLOGRAPHIC METHOD



ได้รับอนุญาตให้พิมพ์และเผยแพร่โดยกองบริหารงานวิจัยและพัฒนาระบบงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ตามงานวิจัยที่ผลิตขึ้นปีงบประมาณ ๒๕๕๗  
ภายใต้โครงการวิจัยที่ ๒๕๕๗-๒๕๕๘  
จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในโครงการวิจัยที่ ๒๕๕๗-๒๕๕๘  
ปีงบประมาณ ๒๕๕๗

การศึกษาวิธีการสร้างเกรตติงด้วยวิธีถ่ายภาพโฮโลแกรม  
CREATION OF GRATING BASE ON HOLOGRAPHIC METHOD



นาย นิธิพันธ์ หวังผดุงสิทธิ์  
นาย วิษณุ สุวรรณโชติ

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ไปยังที่อื่นของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

# CREATION OF GRATING BASE ON HOLOGRAPHIC METHOD



MR.NITIPHAN

WANGPHADUNGSIT

MR.WITSANU

SUWANNACHOT

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE  
IN APPLIED PHYSICS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ DEPARTMENT OF PHYSICS อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลง FACULTY OF SCIENCE ใดๆของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


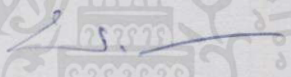
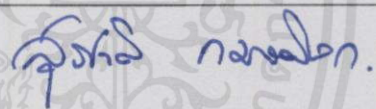
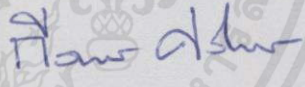
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2014

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาวิธีการสร้างเกรตติงด้วยวิธีถ่ายภาพโฮโลแกรม  
 CREATION OF GRATING BASE ON HOLOGRAPHIC METHOD

ชื่อนักศึกษา นาย นิธิพันธ์ หวังผดุงสิทธิ์ รหัสนักศึกษา 54050547  
 นาย วิษณุ สุวรรณโชติ รหัสนักศึกษา 54050597

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์  
 ภาควิชา ฟิสิกส์  
 ปีการศึกษา 2557  
 อาจารย์ที่ปรึกษา อ.กীরยुทธ์ ศรีนวลจันทร์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา  
 ฟิสิกส์ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.ประธาน บุรณศิริ	
อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง	
อ.สุรชาติ กมลดีลก	
อ.กীরยुทธ์ ศรีนวลจันทร์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาวิธีการสร้างเกรตติงด้วยวิธีถ่ายภาพโฮโลแกรม CREATION OF GRATING BASE ON HOLOGRAPHIC METHOD
ชื่อนักศึกษา	นาย นิธิพันธ์ หวังผดุงสิทธิ์ รหัสนักศึกษา 54050547 นาย วิษณุ สุวรรณโชติ รหัสนักศึกษา 54050597
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.กฤษฎ์ ศรีนวลจันทร์

### บทคัดย่อ

ในการศึกษาวิธีการทำเกรตติงด้วยวิธีถ่ายภาพโฮโลแกรมซึ่งจะเป็นภาพอินเตอร์เฟอโรเมทรี จะเป็นการดำเนินการบนแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์และในการพัฒนาเกรตติงนี้จะเป็นการทำในห้องมืด โดยการสร้างเกรตติงโดยการถ่ายภาพบนแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์จะมีการใช้เทคนิคการถ่ายภาพโฮโลแกรม โดยจะมีขั้นตอนการฉายแสงเลเซอร์เข้าไปในการถ่าย ซึ่งแสงเลเซอร์ที่ใช้คือ ฮีเลียม-นีออน เลเซอร์ (He-Ne laser) มีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร โดยลำแสงนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ลำแสง ได้แก่ ลำแสงอ้างอิง และลำแสงวัตถุ ซึ่งลำแสงทั้งสองจะเกิดการชนกันของลำแสงไปตกกระทบบนแผ่นฟิล์ม ซึ่งความกว้างบนเกรตติงจะมีความแตกต่างกันตามค่าเฉลี่ยของมุมลำแสงทั้งสอง ช่วงความกว้างของเกรตติงจะมีค่าเป็น  $D = 4.73971$  ไมโครเมตร หรือ 2109.83 เส้นต่อเซนติเมตร

เมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ ผลการทดลองที่ได้รับการยืนยันจากการส่องกล้องจุลทรรศน์คอนโฟคอล (fluorescence microscope) และกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) โดยผลการศึกษาพบว่าเราสามารถใช่วิธีนี้ในการสร้างเกรตติงด้วยวิธีถ่ายภาพบนแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์โดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพโฮโลแกรมขึ้นมาได้

คำสำคัญ : เกรตติง, วิธีโฮโลแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	CREATION OF GRATING BASE ON HOLOGRAPHIC METHOD		
Name	Mr.Nitiphan Wangphadungsit	Student ID	54050547
	Mr.Witsanu Suwannachot	Student ID	54050597
Degree	Bachelor of Science, in Applied Physics		
Department	Physics		
Academic Year	2014		
Advisor	Mr.Keerayoot Srinuanjan		

### Abstract

This project, we studied how to make a grating by holographic method which the image of an interferometry is performed on a polymer film and then developed in dark room. The grating was create on a holographic film, by the following procedures, by the He-Ne laser (632.8 nm), The beam is split into two beams, the Reference beam and the object beam. The two beams are colliding together and Captured on film, respectively. The grating width were vary by mean of the path difference by mean of the angle between reference and object beam. The grating range is  $d = 4.73971 \mu\text{m}$  or 2109.83 line/cm

Compared to other methods The results were confirmed by the outpouring of microscopic confocal McCall (fluorescence microscope) and Scanning Electron Microscope (Scanning Electron Microscope, SEM) The study found that we can use this method to create the grating. With shooting on film Polymer using imaging techniques holographic up.

**Keywords :** GRATING, HOLOGRAPHIC METHOD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการการศึกษาวิธีการสร้างเกรตติ้งด้วยวิธีถ่ายภาพโฮโลแกรมจะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ถ้าไม่ได้รับสนับสนุนและความร่วมมือจากหลายๆ ฝ่าย ที่ช่วยผลักดันให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

ขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และสถาบันการศึกษาในอดีต ที่ให้โอกาสดีๆทางการศึกษาแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ฟิสิกส์ประยุกต์ที่ได้เกื้อหนุนสถานที่ และอำนวยความสะดวกต่างๆ จนโครงการนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยอบรม สั่งสอน ชี้แนะแนวทางที่ดีแก่ข้าพเจ้าเสมอมา

ขอขอบพระคุณ อ.กฤษฎ์ ศรีนวลจันทร์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยแนะนำ ให้คำปรึกษาและความเอาใจใส่ แนะนำแนวทางในการทำโครงการ และช่วยเหลือเป็นอย่างดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่เคารพรักอย่างยิ่ง ซึ่งคอยเลี้ยงดูข้าพเจ้าเป็นอย่างดี ให้โอกาสทางการศึกษาอย่างเต็มที่ และให้กำลังใจเสมอมา ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากรายงานเล่มนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบให้กับบิดามารดาซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่คณะผู้จัดทำ

นาย นิธิพันธ์

หวังผดุงสิทธิ์

นาย วิษณุ

สุวรรณโชติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีในการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 เกรตติง	3
2.2 การแทรกสอดของแสง	4
2.3 การเลี้ยวเบนของแสง	7
2.4 โฮโลแกรม (Hologram)	10
2.5 หลักการเกิดภาพโฮโลแกรม	10
2.6 การบันทึกภาพโฮโลแกรม (Recording a hologram)	12
2.7 ไมเคิลสันอินเตอร์ฟีโรมิเตอร์ (Michelson Interferometer)	13
2.8 หลักการของไมเคิลสันอินเตอร์ฟีโรมิเตอร์	14
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	
3.1 ศึกษาหลักที่เกี่ยวข้องที่ใช้สำหรับการสร้างเกรตติงด้วยวิธีถ่ายภาพโฮโลแกรม	18
3.2 การออกแบบระบบที่ใช้สำหรับการสร้างเกรตติงด้วยวิธีถ่ายภาพโฮโลแกรม	18
3.2.1 ศึกษาและออกแบบระบบการสร้างเกรตติงโดยวิธีถ่ายภาพโฮโลแกรม	18
3.2.2 การจัดระบบและอุปกรณ์ในการถ่ายภาพโฮโลแกรม	19
3.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างเกรตติงที่ได้จากการถ่ายภาพโฮโลแกรม	23
3.4 การพิสูจน์ตัวอย่างเกรตติงที่ได้จากการถ่ายภาพโฮโลแกรม	23
3.5 วิธีการทดลองงานวิจัย	24
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล</b>	
4.1 การคำนวณหาความกว้างของแถบมืดแถบสว่าง	25
4.2 กล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอล (fluorescence microscope)	30
4.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)	34

## สารบัญ(ต่อ)

หน้า

### บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลองการศึกษาวีธีการสร้างเกรตติงด้วยวิธีถ่ายภาพโฮโลแกรม	35
5.2 ข้อเสนอแนะ	35
บรรณานุกรม	36
ภาคผนวก	37
ภาคผนวกก	38
ภาคผนวกข	40



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการแต่ละขั้นตอน	2
2.1 ความยาวคลื่นของแสงสีต่างๆ	4
4.1 ค่าการคำนวณความกว้างของแถบมืดแถบสว่าง	26
4.2 ตารางเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณกับการวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอล (fluorescence microscope)	30
4.3 ตารางเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณกับการวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)	34



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสงที่ผ่านเกรตติงจะเลี้ยวเบนและแทรกสอดแบบเสริมกันที่ $P$	3
2.2 ภาพการแทรกสอดของยัง	5
2.3 การแทรกสอดของคลื่นแสงเมื่อผ่านสลิตคู่	5
2.4 แสดงเส้นตรง $S_1Q$ ขนานกับ $S_2Q$ เมื่อ $D \gg d$	7
2.5 การวิเคราะห์การเกิดแถบมืดแถบสว่างต่างๆ บนฉากเมื่อแสงผ่านสลิตเดี่ยว	8
2.6 การแบ่งสลิตเดี่ยวเป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน เพื่อหาแถบมืดที่ 2	9
2.7 หลักการเกิดภาพโฮโลแกรม : การแทรกสอดของ object wave ( $O$ ) กับ coherent reference wave ( $R$ ) a.การบันทึกภาพ b.การสร้างภาพ	11
2.8 แอมพลิจูด และเฟสของการส่งผ่าน ของฟังก์ชันของความหนาแน่นของพลังงาน $W$ สำหรับ แอมพลิจูด และเฟสของโฮโลแกรม	13
2.9 ไมเคิลสันอินเตอร์เฟอริเตอร์	14
2.10 พิจารณาแนวทางเดินแสงทั้งหมด	15
2.11 รูปแบบของริ้วการแทรกสอดวงกลม	16
3.1 ระบบในการสร้างเกรตติงด้วยวิธีถ่ายภาพโฮโลแกรมโดยใช้หลักการของ ไมเคิลสันอินเตอร์เฟอริเตอร์	18
3.2 แหล่งกำเนิดแสง	19
3.3 Microscope 25x	20
3.4 กระจกสะท้อน	20
3.5 ตัวกลางแยกลำแสง	21
3.6 Holographic sheet film	21
3.7 Developer / Replenisher	22
3.8 Manual Fixing Bath	22
4.1 ภาพแผ่นฟิล์มหลังจากการถ่ายโฮโลแกรม	
4.1.1 แผ่นฟิล์มที่ 1	27
4.1.2 แผ่นฟิล์มที่ 2	27
4.1.3 แผ่นฟิล์มที่ 3 60.30857 เส้น/เซนติเมตร	27
4.1.4 แผ่นฟิล์มที่ 4 129.96981 เส้น/เซนติเมตร	27
4.1.5 แผ่นฟิล์มที่ 5 246.71689 เส้น/เซนติเมตร	27
4.1.6 แผ่นฟิล์มที่ 6 380.87927 เส้น/เซนติเมตร	27
4.1.7 แผ่นฟิล์มที่ 7 733.37805 เส้น/เซนติเมตร	28
4.1.8 แผ่นฟิล์มที่ 8 744.02074 เส้น/เซนติเมตร	28
4.1.9 แผ่นฟิล์มที่ 9 909.78869 เส้น/เซนติเมตร	28
4.1.10 แผ่นฟิล์มที่ 10 941.39425 เส้น/เซนติเมตร	28
4.1.11 แผ่นฟิล์มที่ 11 1140.70280 เส้น/เซนติเมตร	28
4.1.12 แผ่นฟิล์มที่ 12 1802.80709 เส้น/เซนติเมตร	28

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1.13	แผ่นฟิล์มที่ 13 2073.06690 เส้น/เซนติเมตร	29
4.1.14	แผ่นฟิล์มที่ 14 2109.83255 เส้น/เซนติเมตร	29
4.1.15	แผ่นฟิล์มที่ 15 908.49867 เส้น/เซนติเมตร	29
4.1.16	แผ่นฟิล์มที่ 16 684.67968 เส้น/เซนติเมตร	29
4.2	ภาพแผ่นฟิล์มหลังจากการถ่ายโฮโลแกรมโดยการมองด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอล (fluorescence microscope)	
4.2.1	แผ่นฟิล์มที่ 1 20.47383 เส้น/เซนติเมตร	31
4.2.2	แผ่นฟิล์มที่ 2 34.30531 เส้น/เซนติเมตร	31
4.2.3	แผ่นฟิล์มที่ 3 66.76235 เส้น/เซนติเมตร	31
4.2.4	แผ่นฟิล์มที่ 4 157.04339 เส้น/เซนติเมตร	31
4.2.5	แผ่นฟิล์มที่ 5 260.75619 เส้น/เซนติเมตร	31
4.2.6	แผ่นฟิล์มที่ 6 431.87216 เส้น/เซนติเมตร	31
4.2.7	แผ่นฟิล์มที่ 7 109.68119 เส้น/เซนติเมตร	32
4.2.8	แผ่นฟิล์มที่ 8 827.47207 เส้น/เซนติเมตร	32
4.2.9	แผ่นฟิล์มที่ 9 82.89926 เส้น/เซนติเมตร	32
4.2.10	แผ่นฟิล์มที่ 10 971.65991 เส้น/เซนติเมตร	32
4.2.11	แผ่นฟิล์มที่ 11 4552.35204 เส้น/เซนติเมตร	32
4.2.12	แผ่นฟิล์มที่ 12 187.40044 เส้น/เซนติเมตร	32
4.2.13	แผ่นฟิล์มที่ 13 465.76618 เส้น/เซนติเมตร	33
4.2.14	แผ่นฟิล์มที่ 14 2276.17602 เส้น/เซนติเมตร	33
4.2.15	แผ่นฟิล์มที่ 15 1675.04187 เส้น/เซนติเมตร	33
4.2.16	แผ่นฟิล์มที่ 16 1481.84737 เส้น/เซนติเมตร	33
4.3	ภาพแผ่นฟิล์มหลังจากการถ่ายโฮโลแกรมโดยการมองด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) , แผ่นฟิล์มที่10	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยี โฮโลแกรม (Hologram) เข้ามาเกี่ยวข้องในการสร้างเครื่องมือหรืออุปกรณ์ในหลายๆด้าน โดยรูปแบบของภาพที่สร้างขึ้นจะมีความชัดลึก มีความนูนหลุดออกมาจากรอบ โฮโลแกรมถูกสร้างขึ้นด้วยกระบวนการที่เรียกว่า โฮโลกราฟี (Holography) โดยโฮโลกราฟีเป็นเทคนิคที่ช่วยให้แสงกระจายจากวัตถุที่บันทึกและได้ถูกสร้างขึ้นใหม่เพื่อให้ปรากฏภาพของวัตถุนบนแผ่นฟิล์ม โฮโลแกรมแบ่งได้เป็นประเภทใหญ่ๆได้ 2 ประเภท คือ White-light hologram และ Hologram's Arrangement System ซึ่งในการนำเทคโนโลยีการถ่ายภาพโฮโลแกรมเข้ามานั้นสามารถนำมาใช้ในการศึกษาวิธีการสร้างเกรตติงด้วยวิธีการถ่ายภาพโฮโลแกรมได้อีกด้วย

การศึกษาวิธีการสร้างเกรตติงด้วยวิธีการถ่ายภาพโฮโลแกรมจะมีความสำคัญมาก เนื่องจากการถ่ายภาพโฮโลแกรมนั้น ทำได้โดยการยิงเลเซอร์ผ่านกระจกที่สะท้อนแสงบางส่วน จากนั้นแสงบางส่วนซึ่งจะทำหน้าที่เป็น Reference Beam ไปตกบนแผ่นฟิล์ม โดยในการทำเกรตติงด้วยวิธีถ่ายภาพโฮโลแกรมจะเกี่ยวข้องกับการแทรกสอดของแสง ซึ่งจะสามารถนำเข้ามาใช้ในการสร้างเกรตติงด้วยวิธีถ่ายภาพโฮโลแกรมนี้นี้ได้

ในโครงงานฉบับนี้เป็นการศึกษาวิธีการสร้างเกรตติงด้วยวิธีการถ่ายภาพโฮโลแกรม โดยในการสร้างเกรตติงนั้น จะต้องสามารถวัดช่องความห่างของเกรตติงได้ หลักจากที่ใช้วิธีการถ่ายภาพด้วยโฮโลแกรมในการทำเกรตติงได้แล้ว

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาหลักการถ่ายภาพโฮโลแกรม
- 2) เพื่อศึกษาวิธีการสร้างเกรตติงด้วยวิธีการถ่ายภาพโฮโลแกรม
- 3) เพื่อศึกษาหลักการทำงานของเกรตติง
- 4) เพื่อวัดช่องความห่างของเกรตติง

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) สามารถเข้าใจถึงหลักการถ่ายภาพโฮโลแกรม
- 2) มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการสร้างเกรตติงด้วยวิธีการถ่ายภาพโฮโลแกรม
- 3) สามารถวัดช่องความห่างของเกรตติงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีในการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

- ขั้นตอนที่ 1      เสนองงานวิจัย
- ขั้นตอนที่ 2      ศึกษารายละเอียด ทฤษฎี และข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการงานวิจัย
- ขั้นตอนที่ 3      ตั้งสมมติฐาน และเตรียมการทดลอง
- ขั้นตอนที่ 4      ทำการทดลองและประเมินผลการทดลอง
- ขั้นตอนที่ 5      ปรับปรุงการทดลองในส่วนที่ผิดพลาด
- ขั้นตอนที่ 6      สรุปการทำวิจัย และแนวทางในการพัฒนาต่อในอนาคต

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการแต่ละขั้นตอน

ลำดับ	เดือน												
	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	
ขั้นตอนที่ 1													
ขั้นตอนที่ 2													
ขั้นตอนที่ 3													
ขั้นตอนที่ 4													
ขั้นตอนที่ 5													
ขั้นตอนที่ 6													

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้รับความรู้เกี่ยวกับหลักการถ่ายภาพโฮโลแกรมในแบบต่างๆที่สามารถนำมาใช้ในการสร้างเกรตติงได้
- 2) สามารถเข้าใจถึงความผิดพลาดในการทำการทดลอง และวิธีการปรับปรุงการทดลองส่วนที่ผิดพลาด
- 3) สามารถนำผลจากการทำการทดลองไปใช้งานได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

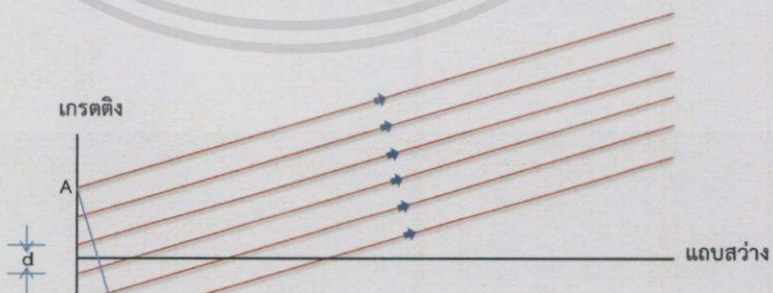
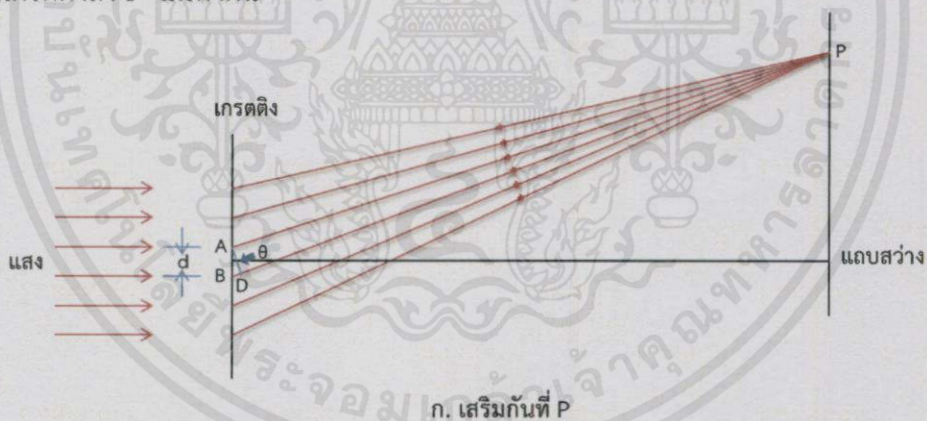
## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 เกรตติง

เกรตติงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบสเปกของแสงและหาความยาวของคลื่นแสง โดยอาศัยคุณสมบัติการแทรกสอดของคลื่น ลักษณะของเกรตติงจะเป็นแผ่นวัสดุบางที่ถูกแบ่งออกเป็นช่องขนานซึ่งอยู่ชิดกันมาก โดยทั่วไปใน 1 เซนติเมตร แบ่งออกเป็น 10,000 ช่อง ซึ่งจำนวนช่องของเกรตติงอาจมี 100 ถึง 10,000 ช่อง/cm ในการทดลอง ถ้าเราให้แสงจากดวงอาทิตย์หรือแสงขาวจากหลอดไฟส่องผ่านเกรตติง เราจะเห็นสเปกตรัมของแสงอาทิตย์หรือแสงขาวออกเป็น 7 สี โดยเกรตติงถูกพัฒนามาจากสลิตคู่ด้วยการเพิ่มจำนวนช่องทั้งสองให้มากขึ้น

เมื่อให้แสงความยาวคลื่นเดียวตกกระทบเกรตติง แสงบางส่วนจะเบนออกจากแนวไปปรากฏบนฉากเป็นแถบสว่างเล็กๆ แถบสว่างนี้เกิดจากการแทรกสอดของแสงจากช่องอื่นๆทุกช่อง ถ้าลำแสงขนานตกตั้งฉากกับเกรตติง ช่องต่างๆเหล่านี้จะเป็นแหล่งกำเนิดแสงอาพันธ์ที่ให้คลื่นแสงทุกคลื่นที่มีเฟสตรงกัน การหาตำแหน่งของแถบสว่างนั้น โดยจะถือว่าฉากอยู่ไกลจากเกรตติงมากจนแสงและช่องแต่ช่องของเกรตติง ซึ่งเคลื่อนที่ไปที่ฉากสามารถประมาณได้ว่าเป็นแสงขนาน ถ้าพิจารณาช่อง 2 ช่องที่อยู่ติดกัน เมื่อช่องแต่ละช่องเป็นแหล่งกำเนิดแสง โดยใช้เหตุผลเดียวกับการแทรกสอดของสลิตคู่ โดยจากรูป 2.1 จะเป็นการพิจารณาตำแหน่ง  $P$  ซึ่งเป็นแถบสว่างที่ 1 ระยะทางที่แสงจากช่องแต่ละช่องของเกรตติงถึง  $P$  ไม่เท่ากัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ผู้อื่นนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ข. P อยู่ไกลมากจนแสงที่ออกจากช่องต่างๆ อาจถือได้ว่าขนานกัน

รูปที่ 2.1 แสงที่ผ่านเกรตติงจะเลี้ยวเบนและแทรกสอดแบบเสริมกันที่  $P$

ผลต่างระหว่างระยะทางที่แสงเคลื่อนที่ไปถึง  $P$  และช่อง 2 ช่องที่อยู่ถัดกัน เช่น  $A$  กับ  $B$  หรือ  $B$  กับ  $C$  หรือ  $C$  กับ  $D$  จะเท่ากับ  $d \sin \theta$  เมื่อ  $d$  คือระยะห่างระหว่างช่อง ถ้า  $P$  เป็นแถบสว่างที่  $n$  ผลต่างของระยะทางดังกล่าวจะเท่ากับ  $n\lambda$  ดังนั้น สรุปเงื่อนไขสำหรับแถบสว่างที่ตำแหน่งใดๆ เป็น

$$d \sin \theta = n\lambda \text{ เมื่อ } n = 0, 1, 2, \dots \quad (2.1)$$

เมื่อ  $d$  คือ ระยะระหว่างช่อง  
 $\theta$  คือ มุมที่เบนไปจากแถบสว่างกลาง  
 $\lambda$  คือ ความยาวคลื่นแสง  
 $n$  คือ จำนวนเต็มบวก

จากสมการ  $d \sin \theta = n\lambda$  จะเห็นว่าถ้าให้แสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆ กับแผ่นเกรตติง แถบสว่างของแสงแต่ละความยาวคลื่นจะเกิด ณ ตำแหน่งๆ ต่างกัน ดังนั้น ถ้าให้แสงขาวผ่านเกรตติง จะพบแถบสว่างของแสงสีต่างๆ กันจะเกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆ กัน เพราะแสงสีต่างๆ มีความยาวคลื่นต่างกัน เช่น แสงสีม่วงมีความยาวคลื่นน้อยที่สุดและแสงสีแดงมีความยาวคลื่นมากที่สุด การเรียงแถบสีต่างๆ โดยแยกออกตามความยาวคลื่นของแสงเรียกว่า สเปกตรัม (spectrum) เช่น สเปกตรัมที่ได้จากการให้แสงอาทิตย์ผ่านปริซึมซึ่งจะแสดงว่าแสงอาทิตย์ประกอบด้วยสีต่างๆ มารวมกัน หรือกล่าวได้ว่า แสงอาทิตย์หรือบางครั้งเรียกแสงขาวเกิดจากการรวมตัวของแสง ที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกัน

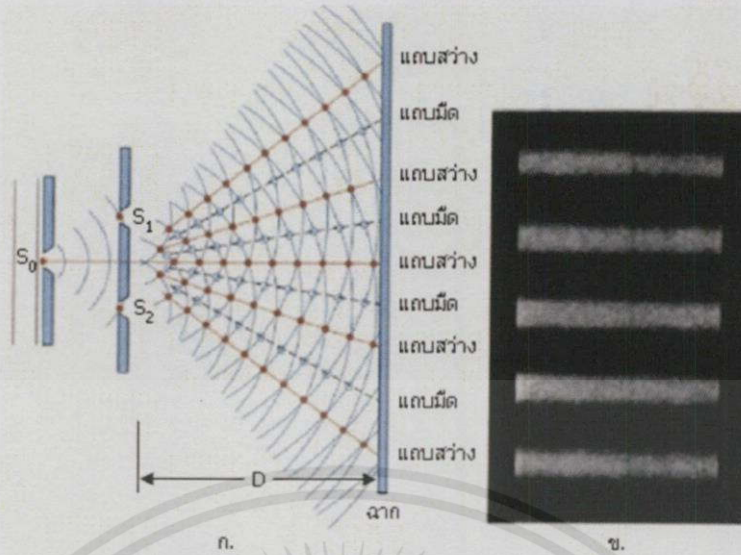
ตารางที่ 2.1 ความยาวคลื่นของแสงสีต่างๆ

แสงสี	ความยาวคลื่นนาโนเมตร
ม่วง	380 – 450
น้ำเงิน	450 – 500
เขียว	500 – 570
เหลือง	570 – 590
แสด	590 – 610
แดง	610 – 760

## 2.2 การแทรกสอดของแสง

ในปี พ.ศ.2344 โทมัส ยัง (Thomas Young) ได้พิสูจน์โดยการทดลองพบว่าแสงเป็นคลื่น เพราะ แสงมีสมบัติการแทรกสอด เช่นเดียวกับคลื่นน้ำ คลื่นเสียง และคลื่นชนิดอื่นๆ โดยโทมัส ยังได้ทำการทดลองการแทรกสอดของแสง โดยให้แสงสีเดียวผ่านช่องแคบ 1 แสงจาก  $S_1$  และ  $S_2$  เคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งบนฉากบริเวณที่เกิดแถบมืด เพราะแสงแทรกสอดแบบหักล้าง และบริเวณที่เกิดแถบสว่างเพราะแสงจาก  $S_1$  และ  $S_2$  แทรกสอดแบบเสริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับนักเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะฉิวใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

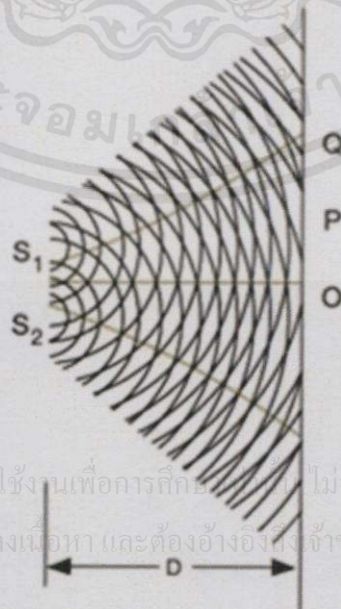


รูปที่ 2.2 ภาพการแทรกสอดของยัง

เมื่อให้แสงสว่างผ่านสลิตคู่ จะเห็นแถบมืดและแถบสว่างสลับกันบนฉาก และเมื่อระยะระหว่างสลิตเปลี่ยน ขนาดของแถบสว่างและแถบมืดจะเปลี่ยน และระยะระหว่างแถบมืดกับแถบสว่างก็เปลี่ยนด้วย

การเห็นแถบมืดและแถบสว่างสลับกันไปนี้ แสดงว่าความสว่าง ณ ตำแหน่งต่างๆ บนฉากมีค่าไม่เท่ากัน ทำนองเดียวกันกับการได้ยินเสียงดังก้องสลับกันไป เพราะคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดอาพันธ์แทรกสอดกัน และการแทรกสอดแบบเสริมและหักล้างของคลื่นน้ำจากแหล่งกำเนิดอาพันธ์เช่นกัน ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าแสงที่ออกจากสลิตทั้งสองแทรกสอดกันขึ้นในลักษณะเดียวกับการแทรกสอดของคลื่นเสียงและคลื่นน้ำ

เมื่อแสงผ่านสลิตคู่จะมีการแทรกสอดของแสงบนฉากทำให้เกิดแถบมืดแถบสว่าง การหาแถบมืดและแถบสว่างเหล่านี้ อาจทำได้โดยพิจารณาว่าสลิตทั้งสองเป็นแหล่งกำเนิดอาพันธ์ 2 แหล่ง และใช้หลักการแทรกสอดของคลื่นน้ำมาอธิบายการแทรกสอดของคลื่นแสงดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 การแทรกสอดของคลื่นแสงเมื่อผ่านสลิตคู่

จากรูป 2.3 สลิต  $S_1$  และ  $S_2$  ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงอาพันธ์ แสงจากสลิตทั้งสองจะแทรกสอดกัน และปรากฏภาพการแทรกสอดบนฉาก พิจารณาที่จุด  $O$  บนฉากระยะ  $S_1O, S_2O$  เท่ากัน แสงจะมีเฟสตรงกันทำให้เกิดการแทรกสอดแบบเสริมกัน ปรากฏเป็นแถบสว่างที่  $O$  ณ ตำแหน่งอื่นๆ บนฉากถัดจากจุด  $O$  ออกไป คลื่นแสงจาก  $S_1$  และ  $S_2$  ที่มาถึงฉากจะมีเฟสต่างกันที่ละน้อยจนกระทั่งเฟสต่างกันเท่ากับ  $180$  องศา ที่จุด  $P$  คลื่นแสงจะหักล้างกันหมดทำให้จุด  $P$  เป็นตำแหน่งของแถบมืดแถบแรก นับจากแถบสว่างกลางที่  $O$  เพราะระยะทางที่คลื่นทั้งสองเคลื่อนที่มาถึงจุด  $P$  นี้จะต่างกันเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น

นั่นคือ

$$S_1P - S_2P = \lambda/2$$

เมื่อ  $\lambda$  เป็นความยาวคลื่นแสงที่ผ่านสลิต  
สำหรับจุด  $Q$  ซึ่งเป็นตำแหน่งของแถบสว่างแรกที่อยู่ถัดจากแถบสว่างกลางที่  $O$  ออกไป ระยะทางที่คลื่นจาก  $S_1$  และ  $S_2$  เคลื่อนที่มาถึงฉากจะต่างกันเท่ากับความยาวคลื่นพอดี  
นั่นคือ

$$S_1Q - S_2Q = \lambda$$

ในทำนองเดียวกันจะเห็นว่า ถ้าระยะทางที่คลื่นจาก  $S_1$  และ  $S_2$  เคลื่อนที่ถึงฉากต่างกันเท่ากับ  $3\lambda/2$  ก็จะทำให้เกิดแถบมืดที่สองถัดจากแถบสว่างกลาง และถ้าระยะทางต่างกัน  $2\lambda$  ก็จะได้แถบสว่างที่สองถัดจากแถบสว่างกลาง จึงสรุปได้ว่า ถ้าตำแหน่งของแถบสว่างและแถบมืดใดๆ ถัดจากแถบสว่างกลางออกไปเป็น  $X$  และ  $Y$  ตามลำดับ

ถ้า  $S_1X - S_2X = \lambda, 2\lambda, 3\lambda, \dots$  ที่ตำแหน่ง  $X$  จะสว่าง

ถ้า  $S_1Y - S_2Y = \lambda/2, 3\lambda/2, 5\lambda/2, \dots$  ที่ตำแหน่ง  $Y$  จะมืด

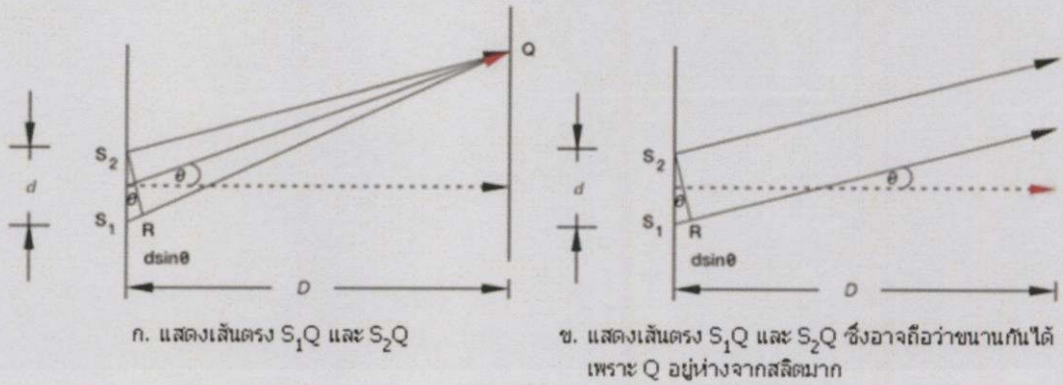
เราสามารถหาตำแหน่งแถบมืด และแถบสว่างบนฉากได้ โดยการคำนวณจากรูป 2.4 ก. เมื่อพิจารณาผลต่างระหว่างระยะจาก  $S_1$  และ  $S_2$  ไปยังตำแหน่ง  $Q$  พิจารณารูป 2.4 ก. กำหนดให้  $R$  เป็นจุดบน  $S_1Q$  โดย  $RQ = S_2Q$

ดังนั้น

$$S_1Q - S_2Q = S_1R$$

ตามปกติฉากจะอยู่ห่างจากสลิตเป็นระยะ  $D$  ซึ่งไกลมากเมื่อเทียบกับระยะห่าง  $d$  ระหว่างสลิตทั้งสอง เมื่อพิจารณาจุด  $Q$  บนฉากซึ่งเป็นตำแหน่งของแถบสว่างแรกเมื่อนับจากแถบสว่างกลางที่  $O$  จึงอาจประมาณได้ว่า  $S_1Q$  และ  $S_2Q$  เป็นเส้นขนานที่ต่างก็ทำมุม  $\theta$  กับแนวกลาง ดังรูป 2.4 ข. ลากเส้นตั้งฉาก  $S_2R$  จะได้มุม  $S_1S_2R$  เท่ากับ  $\theta$  โดยประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงเส้นตรง  $S_1Q$  ขนานกับ  $S_2Q$  เมื่อ  $D \gg d$

จากรูป  $\Delta S_1S_2R$   $S_1R = d \sin \theta$

ดังนั้น  $S_1Q - S_2Q = d \sin \theta$

นั่นคือ ตำแหน่งของแถบสว่างแรกนับจากแนวกลางจะเกิดขึ้นเมื่อ

$$d \sin \theta = \lambda$$

ในทำนองเดียวกัน สำหรับแถบสว่างอื่นๆ ที่ตำแหน่งถัดออกไปจะเกิดขึ้นเมื่อ

$$d \sin \theta = \lambda, 2\lambda, 3\lambda, \dots$$

จึงสรุปได้ว่า สำหรับแถบสว่าง

$$d \sin \theta = n\lambda \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (2.2)$$

และเมื่อพิจารณาในทำนองเดียวกันสำหรับกรณีแถบมืดจะได้เงื่อนไขในการเกิดแถบมืดคือ

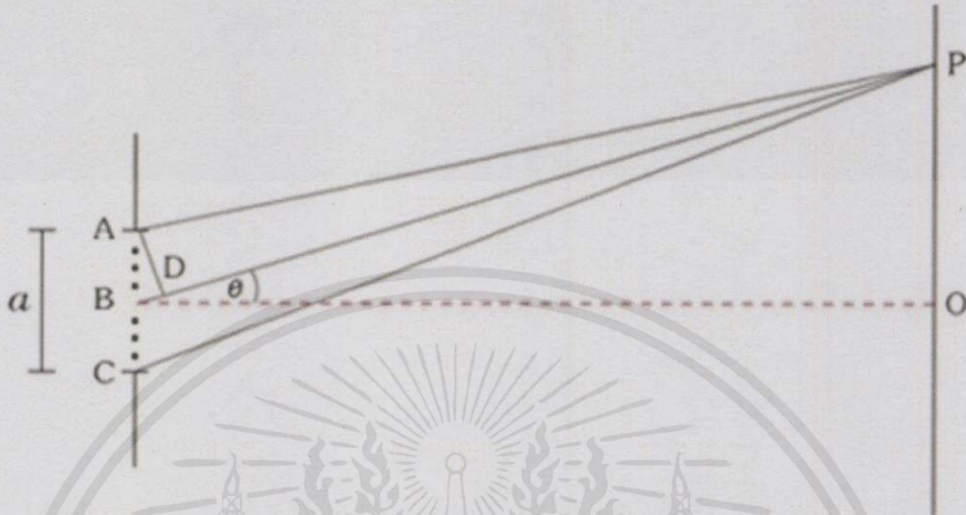
$$d \sin \theta = (n + 1/2)\lambda \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (2.3)$$

### 2.3 การเลี้ยวเบนของแสง

คลื่นผิวน้ำและคลื่นเสียงสามารถเคลื่อนที่อ้อมสิ่งกีดขวางไปด้านหลังของสิ่งกีดขวางได้ นี่เป็นสมบัติการเลี้ยวเบนของคลื่น แสงก็สามารถเลี้ยวเบนได้เช่นกัน กริมัลดี (Francesco Maria Grimaldi) เป็นผู้เห็นสมบัติการเลี้ยวเบนของแสงในปี พ.ศ.2203 ได้เป็นคนแรก

เมื่อให้แสงผ่านสลิตที่แคบ (คือความยาวมากกว่าความกว้างของสลิต) จะเกิดปรากฏการณ์การเลี้ยวเบนมีผลทำให้แถบสว่างกลางมีขนาดกว้างกว่าสลิต นอกจากนี้ ถัดจากแถบสว่างกลางออกไปทั้งสองข้างยังมีแถบสว่างและแถบมืดสลับกันไป ซึ่งสามารถอธิบายเมื่อใช้แสงความยาวคลื่นเดียวจากหลอดไฟส่องผ่านสลิตเดียว โดยให้หลอดไฟอยู่ห่างจากสลิตเป็นระยะทางที่ไกลมากเมื่อเทียบกับความกว้างของสลิต เราจึงอาจประมาณได้ว่าคลื่นแสงที่มาจากกระบอกสลิตนั้นเป็นคลื่นระนาบ และโดยใช้ของฮอยเกนส์ที่ถือว่าทุกๆ จุดบนสลิตจะทำหน้าที่เสมือนแหล่งกำเนิดคลื่นอาพันธ์ใหม่และคลื่นจากแหล่งกำเนิดเหล่านี้เมื่อพบกันจะแทรกสอดแบบเสริมหรือหักล้าง จึงทำให้เกิดแถบมืด แถบสว่าง โดย

แถบสว่างกลางจะกว้างและสว่างมากที่สุด อนึ่งถ้าความกว้างของสลิตเพิ่ม ความกว้างของแถบสว่างจะแคบลง แต่ถ้าความกว้างของสลิตแคบลง ความกว้างของแถบสว่างกลางก็จะเพิ่มขึ้น ส่วนแถบสว่างที่อยู่ถัดไปจะมีความสว่างลดลงๆ ตามลำดับ การเกิดแถบมืดแถบสว่าง ณ ตำแหน่งต่างๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 2.5 การวิเคราะห์การเกิดแถบมืดแถบสว่างต่างๆ บนฉากเมื่อแสงผ่านสลิตเดี่ยว

สำหรับสาเหตุการเกิดแถบสว่างที่ O ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางฉากที่อยู่ไกลจากสลิต อธิบายได้ดังนี้ตามรูป 2.5 ตามหลักการของฮอยเกนส์ ทุกจุดบนสลิตเดี่ยว AC จะทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีเฟสตรงกันและกระจายแสงออกโดยรอบ O ห่างจากทุกคู่ จุดบน AB และ AC เท่ากัน ดังนั้น คลื่นแสงจากทั้งสองส่วนนี้จึงแทรกสอดแบบเสริมกันตลอดเวลา จุด O จึงเป็นจุดกึ่งกลางของแถบสว่างในการหาตำแหน่งของแถบมืดนั้น จะเริ่มพิจารณาแถบมืดที่ 1 คือ P ในรูป 2.5 ให้แบ่งสลิตเดี่ยวออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆกัน แล้วพิจารณาคลื่นแต่ละคู่ที่มาหักล้างกันที่จุด P ให้จุด B เป็นจุดกึ่งกลางระหว่าง A กับจุด C ถ้าระยะทางที่คลื่นจาก B และ A เคลื่อนที่ถึงฉากที่จุด P ต่างกันเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น คลื่นทั้งสองที่ P จะมีเฟสต่างกัน 180 องศา จึงทำให้เกิดการแทรกสอดแบบหักล้างกัน และพิจารณาคลื่นคู่อื่นๆ ที่ออกจากแหล่งกำเนิดซึ่งอยู่ถัดจาก A และ B ลงมาเป็นระยะเท่าๆกัน เมื่อคลื่นเหล่านั้นเคลื่อนที่มาถึงจุด P คลื่นแต่ละคู่จะมีเฟสต่างกัน 180 องศา ดังนั้นจุด P จะเป็นตำแหน่งที่คลื่นทั้งหมดแทรกสอดแบบหักล้างกัน จุด P เป็นจุดมืด เมื่อลาก AD ตั้งฉากกับ BP ระยะ BD จะเท่ากับผลต่างของ BP กับ AP

$$BP - AP = BD$$

ถ้าให้มุม  $PBO = \theta$  และ P อยู่ไกลมาก ดังนั้น มุม  $BAD = \theta$  ด้วย  
พิจารณารูปสามเหลี่ยม ABD

จะได้  $AB \sin \theta = BD$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
และ  $BP - AP = \frac{\lambda}{2}$  ( $\lambda$  เป็นความยาวคลื่นแสง)  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นคือ  $AB \sin \theta = \lambda/2$

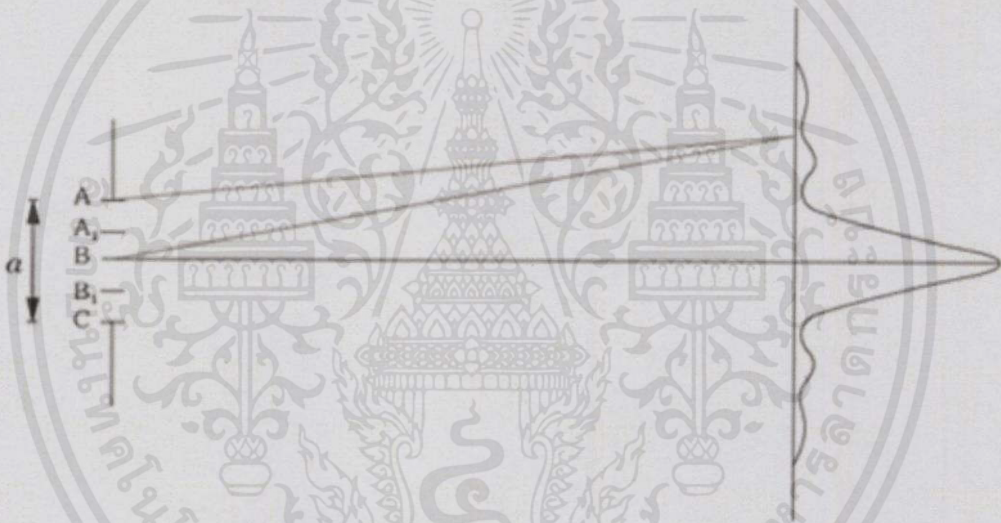
ถ้ากำหนดให้ความกว้างของสลิตเดี่ยว =  $a$

จะได้  $AB = a/2$

ดังนั้น  $a/2 \sin \theta = \lambda/2$

จะได้  $a \sin \theta = \lambda$

ในการหาแถบมืดที่ 2 ที่  $Q$  พิจารณาแบ่งความกว้างของสลิตเป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน คือให้  $A_1$  และ  $B_2$  เป็นจุดแบ่งครึ่ง  $AB$  ตามลำดับ ดังรูป 2.5



รูปที่ 2.6 การแบ่งสลิตเดี่ยวเป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน เพื่อหาแถบมืดที่ 2

ในช่วง  $AA_1$  และ  $A_1B$  พิจารณาคลื่นจากแหล่งกำเนิดแสง  $A$  กับ  $A_1$  และทุกคู่ที่อยู่ถัดจาก  $A$  และ  $A_1$  ลงมาเท่ากัน เมื่อแทรกสอดแบบหักล้างกันที่  $Q$  และในทำนองเดียวกันสำหรับคลื่นจากแหล่งกำเนิดแสงทุกคู่ ในช่วง  $BB_1$  และ  $B_1C$  ดังนั้น เมื่อพิจารณาในทำนองเดียวกับการหาแถบมืดที่  $P$  จะได้

$$a/4 \sin \theta = \lambda/2$$

นั่นคือ  $a \sin \theta = 2\lambda$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้ด้วยอำนาจหน้าที่ของงานวิจัยและพัฒนาของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ไม่สามารถสรุปเงื่อนไขข้อห้ามสำหรับการใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจาก วว. ได้

หรือถ้าจะหาแถบมืดที่ 3 ให้แบ่งสลิตออกเป็น 6 ส่วนเท่ากัน แล้วใช้วิธีการเดียวกับข้างต้น

ไม่ว่าการสามารถสรุปเงื่อนไขข้อห้ามสำหรับการใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจาก วว. ได้

เดี่ยวเบนเมื่อแสงผ่านสลิตเดี่ยวได้ดังนี้

$$a \sin \theta = n\lambda \quad (\text{เมื่อ } n = 1, 2, 3, \dots) \quad (2.4)$$

ปรากฏการณ์การเลี้ยวเบนของแสงโดยสลิตเดี่ยวและการแทรกสอดของแสงโดยสลิตคู่จะเกิดขึ้นพร้อมกันเสมอ เมื่อพิจารณาแถบมืดและแถบสว่างจากสลิตคู่จะพบว่าอยู่ใกล้กันยิ่งกว่าของสลิตเดี่ยว เนื่องจากแสงเลี้ยวเบนเมื่อผ่านสลิตแต่ละช่อง โดยมีแถบมืดและแถบสว่างเหมือนกับเหตุการณ์ที่เห็นจากการที่แสงผ่านสลิตเดี่ยวแล้วแสงที่เลี้ยวเบนโดยสลิตทั้งสองนี้ก็จะแทรกสอดกันทำให้ได้แถบมืดและแถบสว่างขนาดเล็กเกิดภายในแถบสว่างจากสลิตเดี่ยว

## 2.4 โฮโลแกรม (Hologram)

การเกิดภาพโฮโลแกรม แตกต่างจากการเกิดภาพทั่วไป คือ ภาพทั่วไป ภาพของวัตถุถูกบันทึกลงบนฟิล์ม ส่วนภาพโฮโลแกรม ภาพของแสงสะท้อนจากวัตถุบันทึกลงบนผิวของวัตถุเอง ในการสร้างภาพสามมิติของวัตถุ ฟิล์มจะบันทึกทั้ง amplitude และ phase ของแสง เพื่อให้สามารถบันทึกภาพได้ จึงต้องขยายขนาดของลำแสงเลเซอร์ก่อน ให้สามารถฉายไปตกกระทบครอบคลุมทั่วทั้งวัตถุและฟิล์มทั้งหมด และแบ่งแสงออกเป็น 2 ลำ คือ Object beam และ Reference beam โดยใช้ Beam splitter แล้ว ทำให้แสงทั้ง 2 ลำ เกิดการแทรกสอดกันบนแผ่นฟิล์ม

## 2.5 หลักการเกิดภาพโฮโลแกรม

การถ่ายภาพ Hologram ต้องใช้แสง Coherent light ซึ่งประกอบด้วย Coherence light 2 ชนิด คือ

1. Temporal Coherence
2. Spatial Coherence

Temporal Coherence เป็นฟังก์ชันของ Spectral line width (ความกว้างของเส้นสเปกตรัมของแสง,  $\Delta\nu$ ) สามารถหาคุณสมบัติเฉพาะ (Characterised) ได้จาก Coherence length และ Coherence time

ความสำคัญในการถ่ายภาพโฮโลแกรม คือ ความต่างของเส้นทางแสง (Path difference) ของ Object beam และ Reference beam ไม่ควรต่างกันเกิน  $1:10$  ของ Coherence length รวมทั้ง ความยาวของ Coherence length ของแสงที่ใช้ เพื่อความชัดเจนของจุดโฟกัสของการ Reconstructed hologram

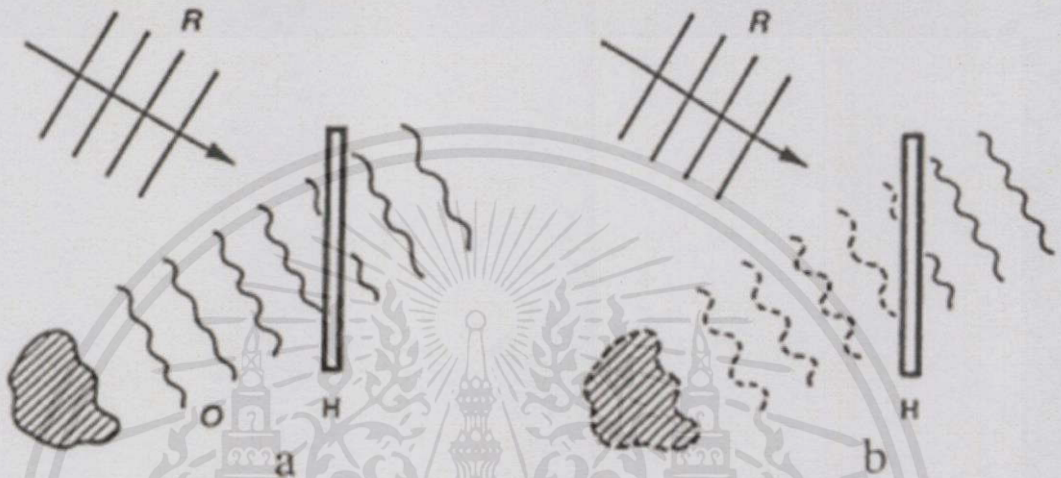
สำหรับ Spatial Coherence เมื่อแสงที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดที่จุดและมุมต่างกัน สามารถพิจารณาได้ว่า จะมีโอกาสเกิดการแทรกสอดได้ทุกๆตำแหน่ง ที่แสงมากระทบกันได้จึงหว่าพอดี แสง Coherent ในอุดมคติซึ่งมีความยาวไม่สิ้นสุด ไม่สามารถเกิดได้

ความสัมพันธ์ของ Coherence length (L) หาได้จาก

$$L = c/\Delta\nu$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง  $\Delta\nu$  ยังมี คือ ความกว้างของเส้นสเปกตรัม (Spectral line width) ที่มีการนำไปใช้ (สามารถใช้ Michelson interferometer หา coherence length ได้)

ในภาพทั่วไป เราบันทึกภาพที่เป็น 3 มิติ เราจะได้ภาพ 2 มิติ ลงบนฟิล์มเท่านั้น ในขณะที่การถ่ายภาพโฮโลแกรม เป็นการสร้างภาพ 3 มิติอย่างแท้จริง สามารถทำได้โดยบันทึกสนามคลื่น ทั้ง 3 มิติของแสงที่กระเจิงออกมาจากวัตถุผ่านแสง (รูปที่ 2.7) โดย Object beam กับ Reference beam ทำให้เกิดรูปแบบของการแทรกสอด ซึ่งบันทึกรายละเอียดของ Optical density (Amplitude hologram) หรือการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีหักเห (Phase hologram) ณ ตำแหน่งต่างๆ บนฟิล์มโฮโลแกรม



รูปที่ 2.7 หลักการเกิดภาพโฮโลแกรม : การแทรกสอดของ object wave (O) กับ coherent reference wave (R) a.การบันทึกภาพ b.การสร้างภาพ

เมื่อนำฟิล์มที่ล้างแล้วมาส่องดูด้วยแสงเลเซอร์ในทิศทางเดิม แสงจากวัตถุดั้งเดิมจะสะท้อนให้เกิดภาพหลังฟิล์มโฮโลแกรม (จะสังเกตเห็นภาพวัตถุในตำแหน่งเดิม) ภาพที่เห็น ณ ตำแหน่งเดิมของวัตถุ เป็นภาพจริงบนอีกด้านหนึ่งของฟิล์มโฮโลแกรม

สำหรับการพิจารณาเชิงปริมาณของภาพโฮโลแกรม แหล่งกำเนิดจะอยู่ในรูปของ Complex function

$$E_{(x,y,z,t)} = E_{0(x,y,z)} e^{i\varphi(x,y,z,t)} \tag{2.5}$$

ส่วนจริงของ complex function คือ electrical field vector ของคลื่นแสง

$$I = \langle E \cdot E^* \rangle \tag{2.6}$$

โดย \* = Complex-Conjugated

ค่าที่แน่นอน คำนวณโดยใช้คณิตศาสตร์ เพื่อให้ได้ผลที่แน่นอน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญสำหรับ

เอกสารนี้เป็นการศึกษาโฮโลแกรม โดยเงื่อนไขเริ่มต้นคือ การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

1) ค่า Time-dependence  $e^{i\omega t}$  เท่ากันทุกๆคลื่น (เมื่อ  $\omega = 2\pi f, f =$  ความถี่ของแสง) ดังนั้น ในการคำนวณ หาความเข้มแสงส่วนนี้สามารถตัดออกได้ เพราะค่าเวลาเฉลี่ยเท่ากัน จาก  $T = 1/f$

2) พิจารณา Hologram เป็นแบบ plane hologram (ความหนาของแผ่นฟิล์ม มีค่าน้อยกว่า ความยาวคลื่นแสงมากๆ) ดังนั้นภาพโฮโลแกรม วางตัวในระนาบ  $z = 0$

ซึ่งทั้ง 2 ข้อ ทำให้การพิจารณาคำนวณหาค่า Volume hologram มีความง่ายขึ้น เนื่องจากความหนาของแผ่นฟิล์ม มีค่าน้อยกว่า ความยาวคลื่นแสงมาก

## 2.6 การบันทึกภาพโฮโลแกรม (Recording a hologram)

คลื่นวัตถุ (Object wave) กับคลื่นอ้างอิง (Reference wave) รวมตัวกันบนแผ่น Hologram plane ( $z = 0$ ) และมีผลต่อตำแหน่งของการเกิดรูปแบบการแทรกสอด มีความเข้มแสง ( $I$ ) เป็น

$$O = O_0(x, y)e^{i\psi(x, y)} \quad (2.7)$$

$$R = R_0(x, y)e^{i\psi(x, y)} \quad (2.8)$$

การรวมตัวของสมการข้างบน

$$E = O + R$$

$$\begin{aligned} I &= (1/T) \int_0^T E \cdot E^* dt \\ &= (1/T) \int_0^T (O + R) \cdot (O + R)^* dt \end{aligned} \quad (2.9)$$

เมื่อ  $T =$  เวลาในการ *expose*

เนื่องจากไม่มีส่วนของเวลามาเกี่ยวข้อง ดังกล่าวมาข้างต้น จะได้

$$\begin{aligned} I &= (O + R)(O + R)^* \\ &= O \cdot O^* + R \cdot R^* + O \cdot R^* + R \cdot O^* \\ &= I_o + I_R + O_o \cdot R_o \cdot e^{i(\psi - \varphi)} + O_o \cdot R_o \cdot e^{-i(\psi - \varphi)} \end{aligned} \quad (2.10)$$

ภาพโฮโลแกรมที่ล้างแล้ว มีตำแหน่งเชิงต้น ขึ้นอยู่กับ amplitude ของการส่งผ่าน

$$\begin{aligned} \tau_{(x, y)} &= E_a / E_e \\ &= T_{(x, y)} e^{i\varphi(x, y)} \end{aligned} \quad (2.11)$$

เมื่อ  $E_a$  คือ Amplitude ของแสงที่แปลงออกมา

$E_e$  คือ Amplitude ของแสงตกกระทบ

$\tau$  คือ Complex transmission

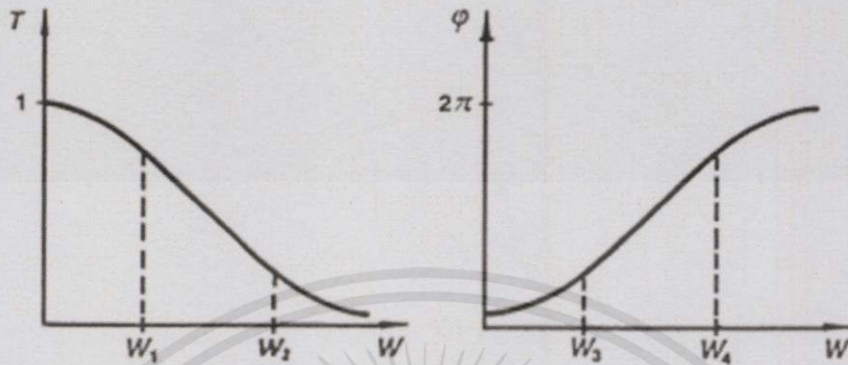
$T$  คือ ค่าสัมบูรณ์ของการส่งผ่าน

$\varphi$  คือ เฟสของการส่งผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าการส่งผ่านขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของพลังงาน ( $W$ ) , ความเข้มแสง ( $I$ ) , และเวลาในการฉายแสง  $t_B$  (รูปที่ 2.8)

เวลาในการฉาย และอัตราส่วนของความหนาแน่นของพลังงานของ object beam และ reference beam ต้องเลือกช่วงค่าการส่งผ่านที่อยู่ในขอบเขตเชิงเส้นของฟังก์ชัน (รูปที่ 2.8) คือ ระหว่าง  $W_1$  และ  $W_2$  ในแอมพลิจูดการส่งผ่าน หรือ ระหว่าง  $W_3$  และ  $W_4$  ในเฟสการส่งผ่าน



รูปที่ 2.8 แอมพลิจูด และเฟสของการส่งผ่าน ของฟังก์ชันของความหนาแน่นของพลังงาน  $W$  สำหรับ แอมพลิจูด และเฟสของโฮโลแกรม

จากเหตุผลดังกล่าว เราตั้งสมมติฐานของการส่งผ่านของภาพโฮโลแกรม ดังนี้

1. เลือกความเข้มแสงของ reference wave ( $I_R$ ) และเวลาในการฉายแสง ( $t_B$ ) ให้เกิดการส่งผ่านภายในบริเวณที่เป็นเส้นตรงของกราฟคุณสมบัติเฉพาะ
2.  $I_0 \ll I_R$  เป็นจริง ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของความเข้ม จะเหลืออยู่ในบริเวณที่เป็นเส้นตรงของกราฟ

ภายใต้เงื่อนไขเริ่มต้นดังกล่าว เราสามารถพิจารณาได้ว่า ค่าของ amplitude transmission คือ  $\tau$  ( $\varphi = \text{const.}$ )

$$\tau_{(x,y)} = a + b \cdot I_{(x,y)} \quad ; \quad a, b = \text{const.} \quad (2.12)$$

ภายใต้เงื่อนไข  $\varphi \ll \pi/2$  สามารถกระจายสมการในรูป exponential ได้เป็นรูปเส้นตรง คือ

$$\tau = (1 + i\alpha) + i\beta I_{(x,y)} \quad ; \quad \alpha, \beta = \text{const.} \quad (2.13)$$

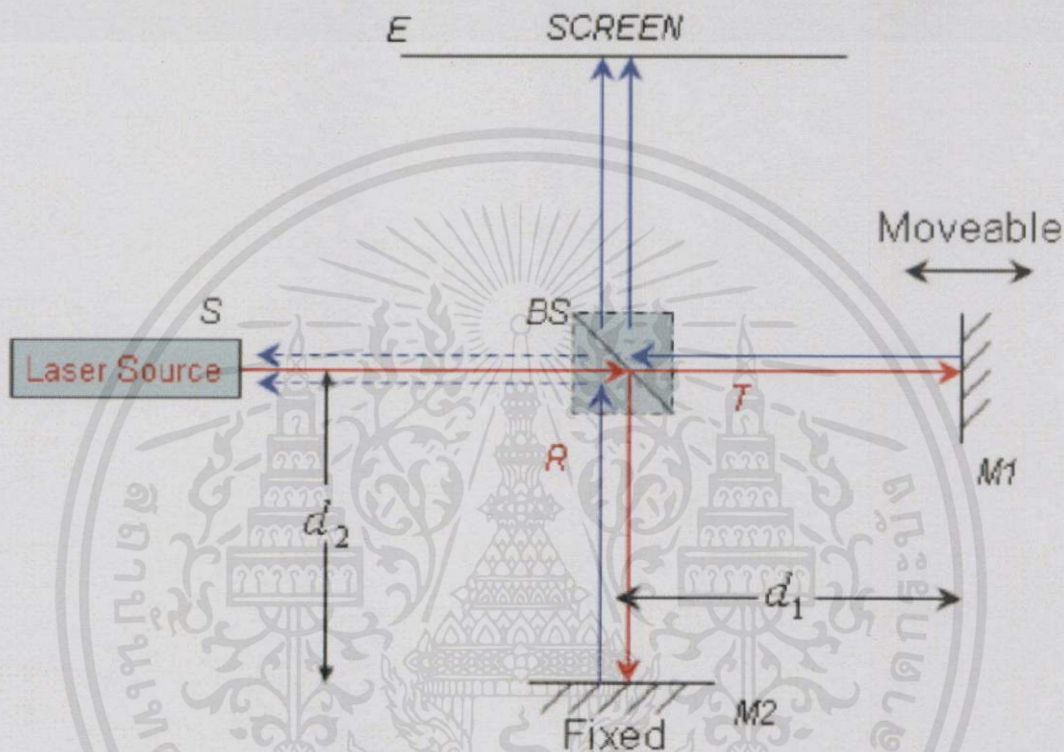
ค่าคงที่  $a, b$  และ  $\alpha, \beta$  เป็นฟังก์ชันของคุณลักษณะของฟิล์ม และน้ำยาล้างฟิล์ม

## 2.7 ไมเคิลสันอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์ (Michelson Interferometer)

ไมเคิลสันอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่อาศัยหลักการแทรกสอดของคลื่นแสงสองขบวน คลื่นที่แทรกสอดกันจะเกิดเป็นริ้วการแทรกสอด (Fringe) ลำแสงทั้งสองขบวนต้องเป็นแสงโคฮีเรนต์และกำเนิดจากแหล่งกำเนิดเดียวกันถึงจะสามารถสังเกตเห็นริ้วการแทรกสอดที่เกิดได้โดยอาศัยหลักการทางแสงของอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์ สามารถวัดระยะทางในเทอมของความยาวคลื่นได้ โดยอาศัยการนับริ้วการแทรกสอด ของคลื่นแสงสองขบวนที่แทรกสอดกัน

## 2.8 หลักการของไมเคิลสันอินเตอร์เฟอริมิเตอร์

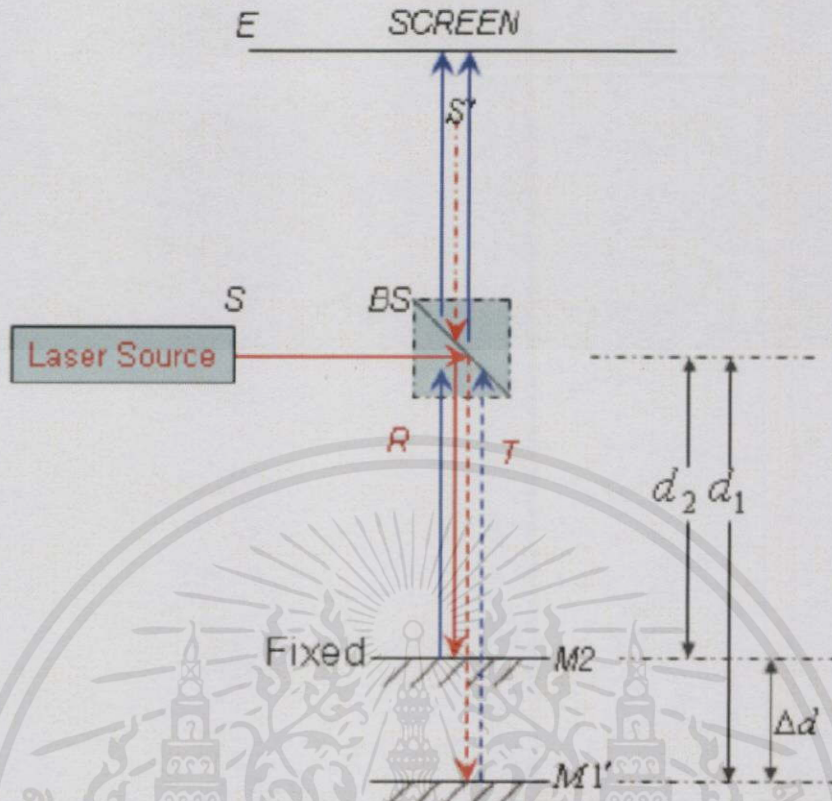
จากแหล่งกำเนิดแสงโคฮีเรนต์เดียวกันลำแสงจะถูกแยกออกเป็นแสงสองขบวนโดย *BS* (Beam Splitter) โดยปกติ ลำแสงส่วนหนึ่งจะสะท้อน (Reflected-*R*) และอีกส่วนหนึ่งจะถูกส่งผ่าน (Transmitted-*T*) โดย Beam Splitter-*BS* กระบวนการแทรกสอดของแสงโดยหลักของไมเคิลสันอินเตอร์เฟอริมิเตอร์ เป็นการแทรกสอดแบบแบ่งแอมพลิจูด



รูปที่ 2.9 ไมเคิลสันอินเตอร์เฟอริมิเตอร์

ในหลักพื้นฐานของไมเคิลสันอินเตอร์เฟอริมิเตอร์ รูปที่ 2.9 แหล่งกำเนิดแสง *S* จะถูกแบ่งลำแสง 50% โดย *BS* ที่วางขวาง 45 องศากับลำแสง ลำแสงที่ถูกส่งผ่านจะเดินทางไปตกกระทบบนกระจก *M1* และสะท้อนกลับมายัง *BS* และส่วนหนึ่งหักเหเป็นมุม 90 องศาไปตกกระทบบนฉาก *E* (แสงอีกส่วนหนึ่งจะส่งผ่านไปยังแหล่งกำเนิดแสง แต่เราจะไม่สนใจในกรณีนี้) ลำแสงจากแหล่งกำเนิดส่วนที่สะท้อนจาก *BS* จะเดินทางไปตกกระทบบนกระจก *M2* และจะสะท้อนกลับมาอีกครั้งโดยกระจกแสงที่สะท้อนจากกระจกส่วนหนึ่งจะส่งผ่าน *BS* ไปตกกระทบบนฉากที่จุด *E* (แสงอีกส่วนหนึ่งจะสะท้อนไปยังแหล่งกำเนิดแสง แต่เราจะไม่สนใจในกรณีนี้) แสงทั้งสองขบวนที่ไปตกกระทบบนฉากที่จุด *E* จะเกิดการแทรกสอดกันเป็นริ้วการแทรกสอดขึ้นที่ฉาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้



รูปที่ 2.10 พิจารณาแนวทางการเดินทางแสงทั้งหมด

จากรูปที่ 2.10 พิจารณาแนวทางการเดินทางแสงทั้งหมด ช่วยให้สามารถเข้าใจความต่างของทางเดินแสงเสมือนกับมองเข้าไปใน BS จากด้านเลเซอร์ แทนที่กระจก  $M_1$  ด้วยภาพเสมือน (virtual image)  $M_1'$  และแทนแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์  $S$  ด้วย แหล่งกำเนิดแสงเสมือน  $S'$  เมื่อมองเข้าไปใน BS ในตำแหน่งของ  $M_2$  ระวังการแทรกสอดที่เกิดขึ้นมาจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน ที่เป็นผลจากการสะท้อน และความแตกต่างของระยะกระจก  $M_2$  และ  $M_1'$  แทนค่าความต่างของระยะห่างทั้งสองด้วย  $\Delta d$  สมมติให้  $M_1$  เคลื่อน ดังนั้นเมื่อเลื่อน  $M_1$  จะทำให้ความแตกต่างระยะทางเดินแสงระหว่างจุดที่รังสีสะท้อนจาก  $M_1'$  และ  $M_2$  เป็น  $2\Delta d$  สมมุติว่ามีคลื่นสองขบวน

$$u_1 = U_1 e^{i\phi_1} \quad (2.14)$$

$$u_2 = U_2 e^{i\phi_2} \quad (2.15)$$

เคลื่อนที่มาซ้อนทับกัน (Overlap) จากทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะได้ผลรวมของสนามรวมเป็น

$$u = u_1 + u_2 \quad (2.16)$$

เนื่องจากความเข้มแสงเป็นปฏิภาคกับกำลังสองของแอมพลิจูด

ดังนั้นจากสมการที่ (2.15) จะได้

$$I = |u|^2 = |u_1 + u_2|^2 \quad (2.17)$$

$$I = U_1^2 + U_2^2 + 2U_1U_2 \cos(\phi_1 - \phi_2) \quad (2.18)$$

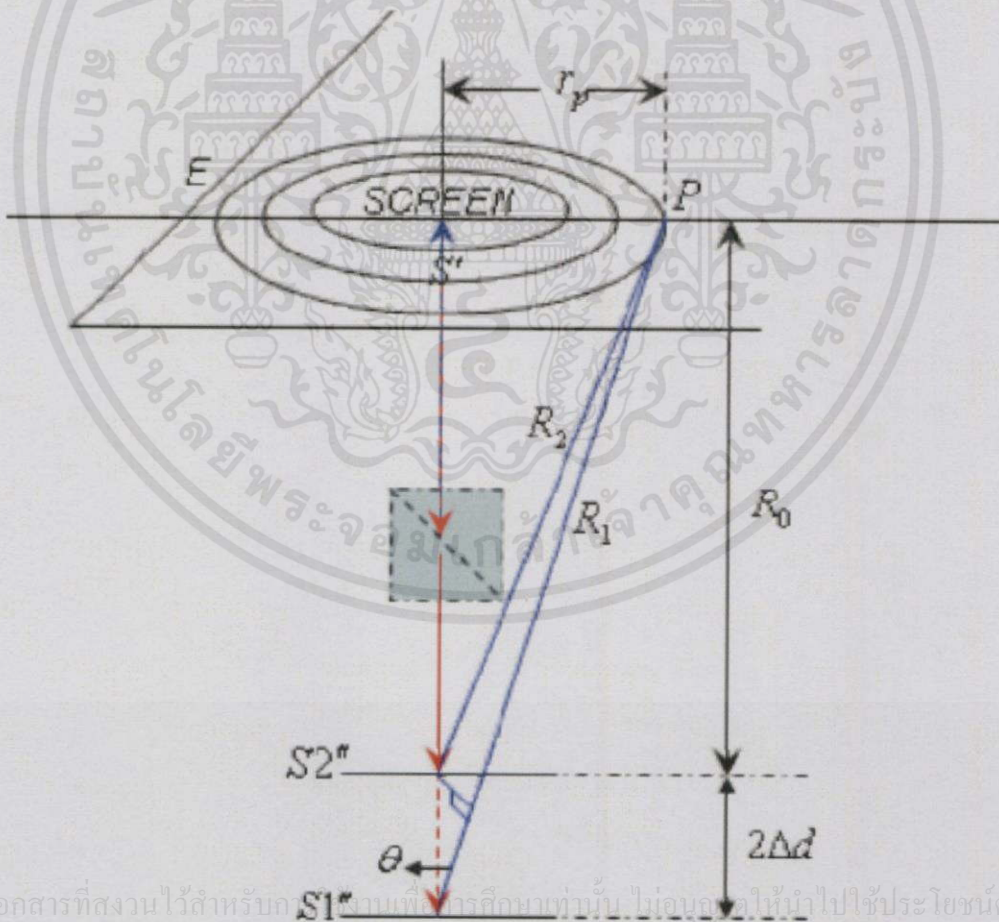
$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta\phi \tag{2.19}$$

เมื่อ  $\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2$

เนื่องจากไมเคิลสันอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์นั้น เป็นการแทรกสอดแบบแบ่งแอมพลิจูด (Amplitude division) และ Beam Splitter ที่ใช้เป็นแบบแบ่งแสง 50:50 ดังนั้น  $I_1 = I_2$  ดังนั้น จากสมการที่ (2.18) จะได้

$$I = 4I_0 \cos^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) \tag{2.20}$$

สมการที่ (2.19) เป็นทอมที่เราสนใจในการพิจารณารี้วการแทรกสอดที่เกิดขึ้นพิจารณา รูปที่ 2.11 ลักษณะทางเรขาคณิตของรี้วการแทรกสอดวงกลมเกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นจุด เราเขียนให้อยู่ในระนาบเดียวกันทั้งหมด ดังนั้นจากแหล่งกำเนิดแสง S แทนด้วยแหล่งกำเนิดแสง เสมือน S' ในรูปแบบที่สะท้อนใน BS การสะท้อนของ M1' จะได้ S1'' ในขณะที่การสะท้อนของ M2 จะได้ S2'' ความแตกต่างระหว่างทางเดินแสง R1 และ R2 ของการแทรกสอดทำให้เกิดรี้วการแทรกสอดวงกลมขึ้นในระนาบที่ฉาก E พิจารณาที่จุด P บนรี้วการแทรกสอดวงกลม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภาควิชาฟิสิกส์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ลงบนสื่อออนไลน์ใดๆทั้งปวง เว้นแต่จะได้รับอนุญาตจากเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
รูปที่ 2.11 รูปแบบของรี้วการแทรกสอดวงกลม

$$(R_1 - R_2) = 2\Delta d \cos\theta \quad (2.21)$$

ที่จุดกลางของฉากจะเป็นริ้วสว่าง เมื่อความต่างระยะทางเดินแสงเป็นจำนวนเต็มของความยาวคลื่น เงื่อนไขสำหรับความเข้มแสงสูงสุดที่จุดกลางฉากเขียนเป็นความสัมพันธ์ดังสมการ

$$2\Delta d = m\lambda \quad (2.22)$$

เมื่อ  $m$  คือ อันดับของริ้วการแทรกสอด ดังนั้น

$$\Delta d = \frac{m\lambda}{2} \quad (2.23)$$

ถ้าระยะห่างระหว่าง  $M_1'$  กับ  $M_2$  เป็นระยะ  $\Delta d$  จะทำให้ริ้วการแทรกสอดที่จุดศูนย์กลางหดตัวเข้าหรือขยายตัวออกที่ละริ้วการแทรกสอด จะสามารถนับจำนวนริ้วการแทรกสอดได้ ถ้ากำหนดขีดอ้างอิงไว้โดยการนับจำนวนริ้วการแทรกสอดที่เปลี่ยนไป  $\Delta m$  ก็จะสามารถคำนวณหาระยะทางที่กระจกเลื่อนไปได้จากสมการที่ (2.22) โดยที่เราทราบค่าความยาวคลื่นที่แน่นอนของแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการศึกษาเกี่ยวกับการสร้างเกรตติงโดยวิธีถ่ายภาพโฮโลแกรมนั้น จะมีการนำเอาทฤษฎีของไมเคิลสันอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์เข้ามาใช้ในกระบวนการสร้างเกรตติงด้วยวิธีถ่ายภาพโฮโลแกรม โดยจะมีรายละเอียดในการดำเนินการดังนี้

#### 3.1 ศึกษาหลักที่เกี่ยวข้องที่ใช้สำหรับการสร้างเกรตติงด้วยวิธีถ่ายภาพโฮโลแกรม

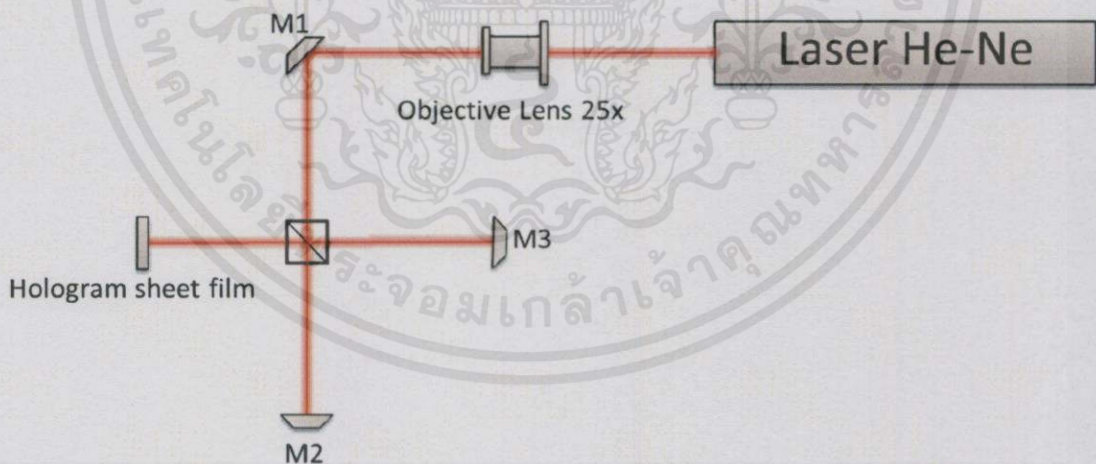
ในการศึกษาเกี่ยวกับการสร้างเกรตติงโดยวิธีถ่ายภาพโฮโลแกรม โดยการใช้กระบวนการของไมเคิลสันอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์จะมีรายละเอียดของการดำเนินงาน โดยจะขึ้นอยู่กับการศึกษาและการออกแบบระบบในการที่จะสร้างเกรตติงด้วยวิธีถ่ายภาพโฮโลแกรม

#### 3.2 การออกแบบระบบที่ใช้สำหรับการสร้างเกรตติงด้วยวิธีถ่ายภาพโฮโลแกรม

ในการออกแบบระบบสำหรับการสร้างเกรตติงโดยวิธีถ่ายภาพโฮโลแกรม มีการนำเอาหลักทฤษฎีและกระบวนการของไมเคิลสันอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ เข้ามาใช้ในระบบที่สร้างขึ้น จะมีการดำเนินการดังนี้

##### 3.2.1 ศึกษาและออกแบบระบบการสร้างเกรตติงโดยวิธีถ่ายภาพโฮโลแกรม

ในหลักการของไมเคิลสันอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการถ่ายภาพโฮโลแกรม เพื่อใช้ในการสร้างเกรตติง โดยระบบที่สร้างขึ้นจะเป็นดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ระบบในการสร้างเกรตติงด้วยวิธีถ่ายภาพโฮโลแกรมโดยใช้หลักการของไมเคิลสันอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์

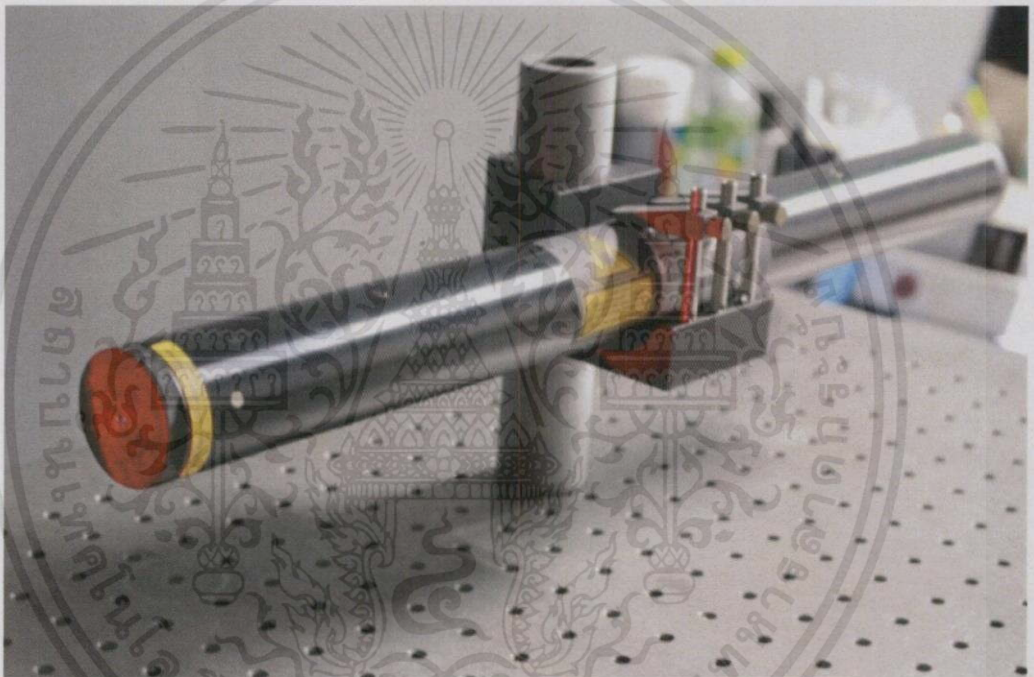
จากรูปที่ 3.1 แสงจากแหล่งกำเนิดแสงฮีเลียมนีออน(He-Ne Laser) จะเดินทางเข้าสู่ Objective Beam จะทำให้เกิดการขยายขนาดของลำเลเซอร์ จากนั้นจะเดินทางเข้าสู่กระจก M1 แล้วทำให้เกิดการสะท้อนเข้าสู่ตัวกลางแยกลำแสง (Beam Splitter) ชนิด 50:50 ลำแสงจะแยกออกเป็น 2 ส่วนที่ตั้งฉากกัน โดยลำแสงส่วนที่ 1 เป็นลำแสงที่เกิดจากการส่งผ่านของตัวกลางแยก

ลำแสงจะเดินทางไปยังกระจก M2 และสะท้อนกลับมายังตัวกลางแยกลำแสง จากนั้นแสงจะเดินทางไปยังฉากรับภาพ(Screen) ลำแสงส่วนที่ 2 เป็นลำแสงที่เกิดจากการสะท้อนของตัวกลางแยกลำแสง โดยแสงจะเดินทางไปที่ยังกระจก M3 และสะท้อนกลับมายังตัวกลางแยกลำแสงและแสงจะเดินทางไปยังฉากรับภาพเช่นกัน เนื่องจากลำแสงทั้งสองมีการเคลื่อนที่เป็นระยะทางที่ไม่เท่ากัน จึงทำให้ลำแสงทั้งสองเกิดการแทรกสอดกัน โดยมีเฟสต่างกันทำให้เกิดเป็นริ้วแถบมืดแถบสว่างที่ฉากรับแสง โดยการเปลี่ยนแปลงริ้วของการแทรกสอดจะเกิดขึ้นเมื่อปรับระยะของกระจก M2 เมื่อปรับระยะของกระจก M2 แล้ว จะทำให้เกิดริ้วการแทรกสอดเปลี่ยนแปลง

### 3.2.2 การจัดระบบและอุปกรณ์ในการถ่ายภาพโฮโลแกรม

ในการศึกษาวิธีการสร้างเกรตติงโดยวิธีถ่ายภาพโฮโลแกรม มีอุปกรณ์ดังนี้

- แหล่งกำเนิดแสง (Light Source)

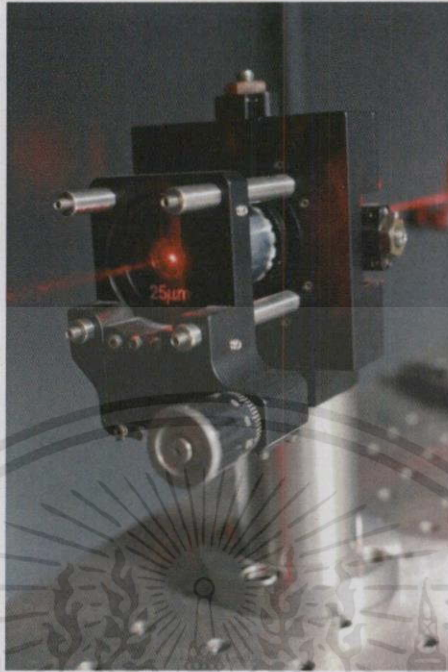


รูปที่ 3.2 แหล่งกำเนิดแสง

ในการทดลองจะทำการใช้เลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดแสง เนื่องจากเลเซอร์มีคุณสมบัติที่มีความเป็นโคฮีเรนต์และมีทิศทางเดียวที่แน่นอน ซึ่งสอดคล้องกับเงื่อนไขและหลักการแทรกสอดของแสง โดยในโครงงานนี้จะใช้ฮีเลียมนีออนเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร กำลัง 1 มิลลิวัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

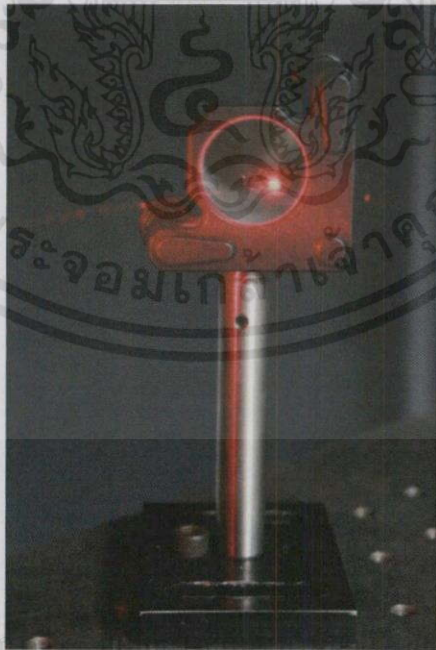
- Microscope Objective Lens



รูปที่ 3.3 Microscope 25x

ในการทดลองจะใช้ในการขยายขนาดลำเลเซอร์

- กระจกสะท้อน (Mirror)

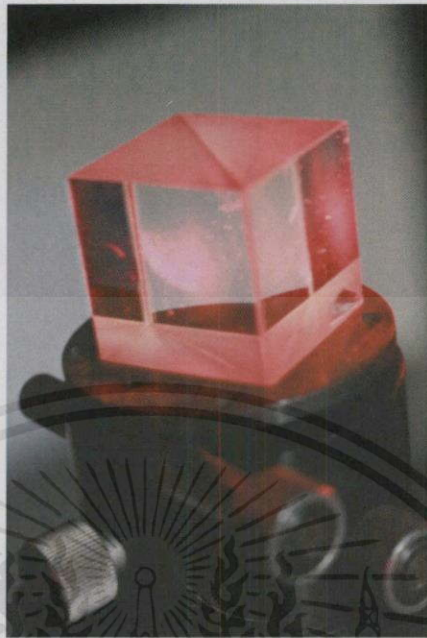


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงรูปที่ 3.4 กระจกสะท้อนข้างของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจกสะท้อนเป็นตัวที่ใช้สำหรับสะท้อนลำเลเซอร์ของระบบ

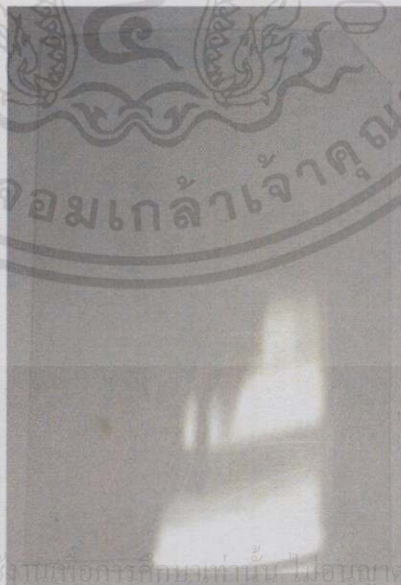
- ตัวกลางแยกลำแสง (Beam Splitter)



รูปที่ 3.5 ตัวกลางแยกลำแสง

ตัวกลางแยกลำแสงเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการแยกลำแสงเป็นลำแสงส่งผ่านและลำแสงสะท้อน ซึ่งความเข้มของลำแสงทั้งสองจะมีค่าเท่ากัน โดยตัวกลางแยกลำแสงจะมีหน้าที่ในการแยกลำแสงออกเป็น 2 ส่วน เพื่อให้ลำแสงทั้งสองเดินทางไปยังสะท้อนที่กระจกสะท้อนที่มีระยะทางที่แตกต่างกัน

- แผ่นฟิล์มโฮโลแกรม (Holographic sheet film)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในที่อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงรูปที่ 3.6 Holographic sheet film

เป็นแผ่นฟิล์มที่เปรียบเสมือนฉากรับภาพที่แสงเดินทางมาจากตัวกลางแยกลำแสง

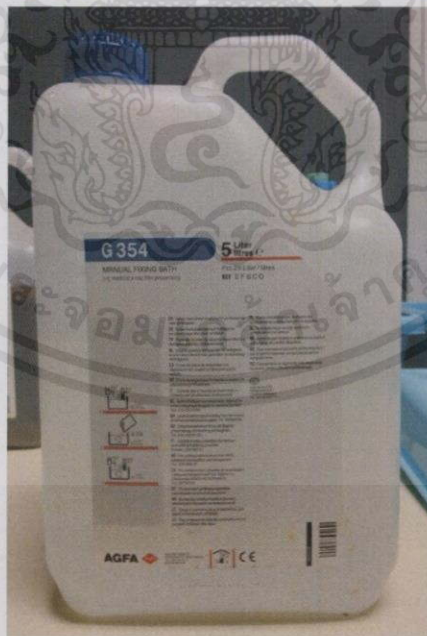
- Developer / Replenisher



รูปที่ 3.7 Developer / Replenisher

น้ำยาสารเคมีที่ใช้ในการล้างแผ่นฟิล์มไฮโลแกรม

- Manual Fixing Bath



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการรูปที่ 3.8 Manual Fixing Bath กรุณาได้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
น้ำยาสารเคมีที่ใช้หยุดปฏิกิริยาของสารเคมี Developer / Replenisher

### 3.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างเกรตติงที่ได้จากการถ่ายภาพโฮโลแกรม

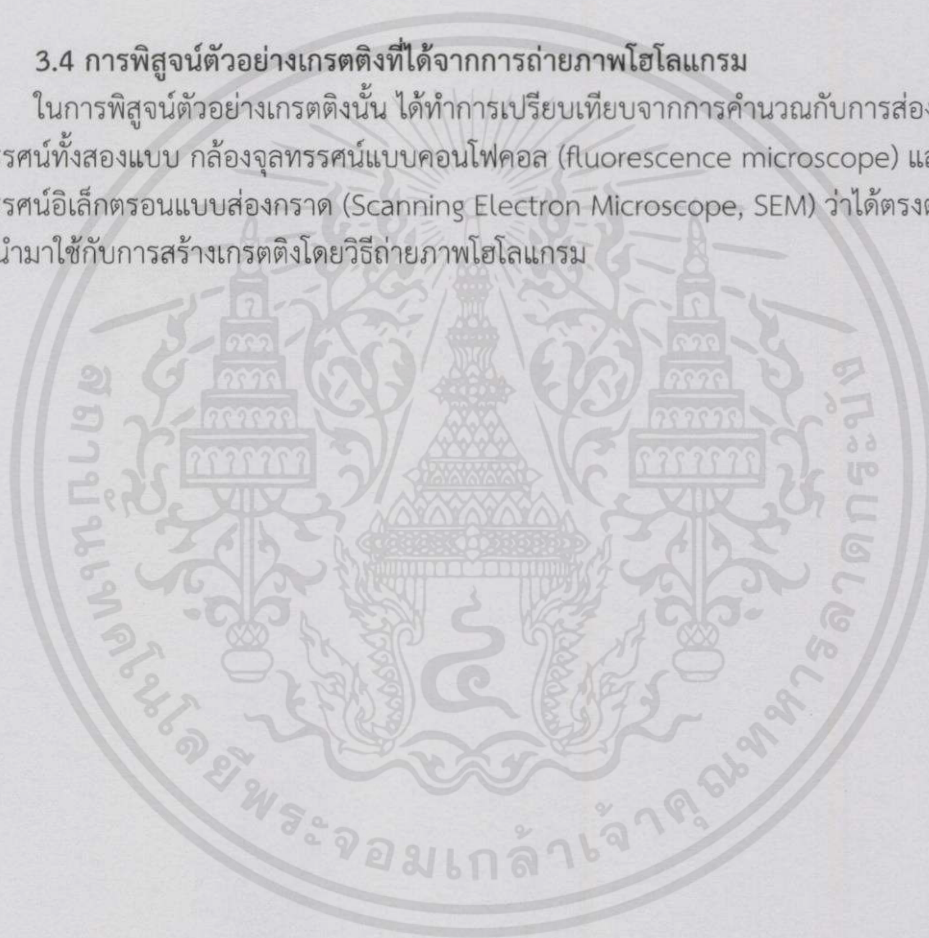
ในการวิเคราะห์ตัวอย่างเกรตติงนั้น จะสามารถทำได้จากการเตรียมอุปกรณ์ ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาค่าความกว้างของช่องว่างระหว่างแถบมืดและแถบสว่างได้จากสมการ

$$n\lambda = d \sin \theta$$

- เมื่อ  $d$  คือ ระยะระหว่างช่อง  
 $\theta$  คือ มุมที่เบนไปจากแถบสว่างกลาง  
 $\lambda$  คือ ความยาวคลื่นแสง  
 $n$  คือ จำนวนเต็มบวก

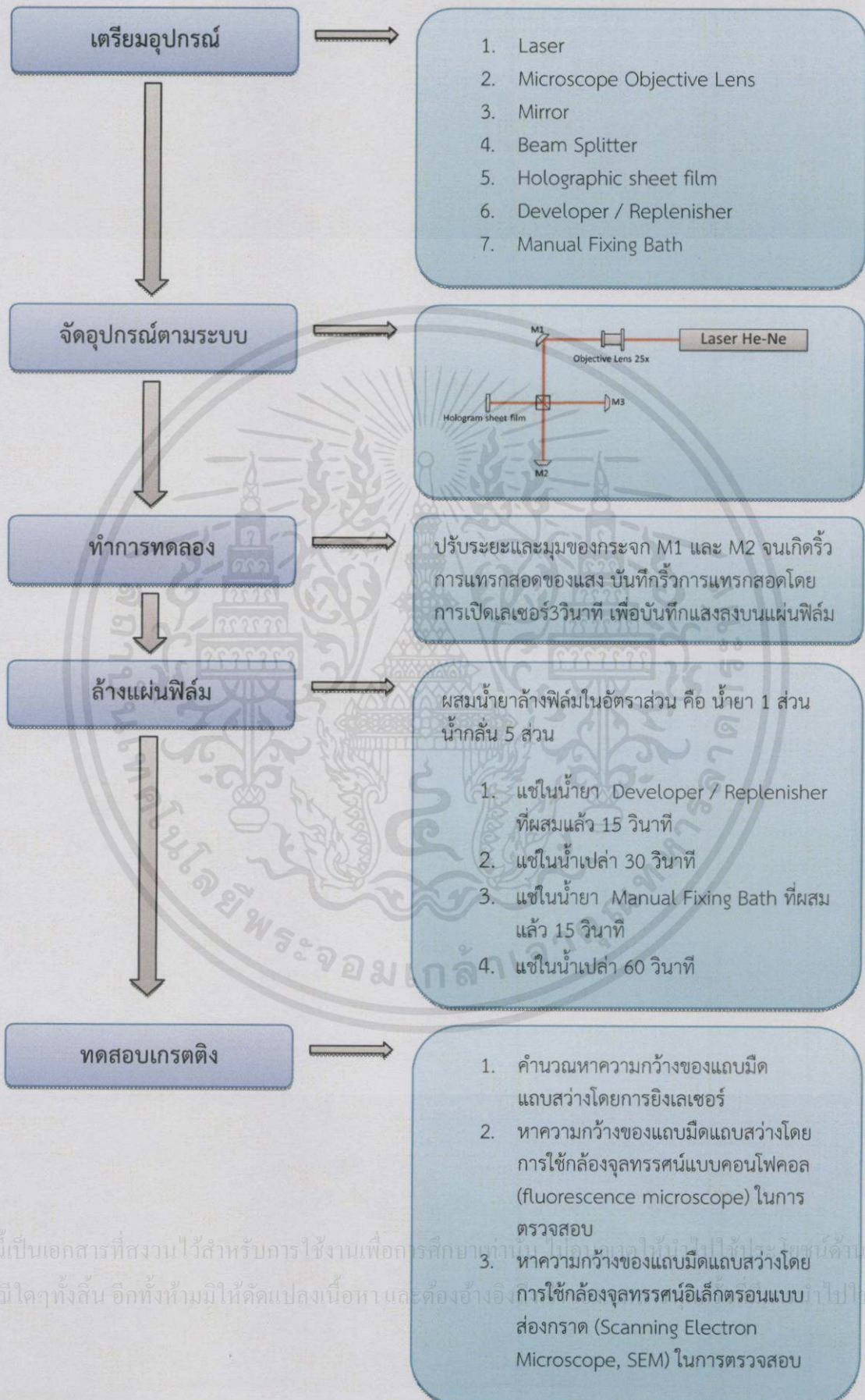
### 3.4 การพิสูจน์ตัวอย่างเกรตติงที่ได้จากการถ่ายภาพโฮโลแกรม

ในการพิสูจน์ตัวอย่างเกรตติงนั้น ได้ทำการเปรียบเทียบจากการคำนวณกับการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ทั้งสองแบบ กล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอล (fluorescence microscope) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ว่าได้ตรงตามทฤษฎีที่เรานำมาใช้กับการสร้างเกรตติงโดยวิธีถ่ายภาพโฮโลแกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.5 วิธีการทดลองงานวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิง

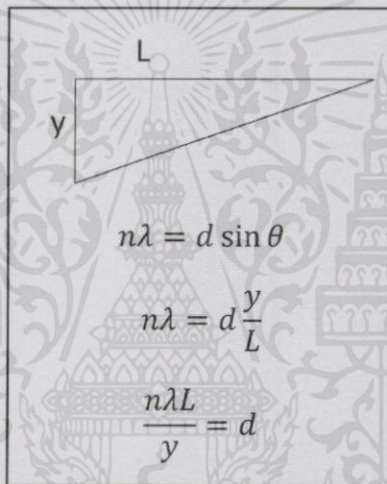
## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ตัวอย่างเกรตติงที่ผลิตโดยใช้หลักการถ่ายภาพโฮโลแกรม สามารถวิเคราะห์ความเป็นเกรตติงจากความกว้างของแถบมืดแถบสว่าง แบ่งออกเป็น 3 ตอน คือ การคำนวณหาความกว้างของแถบมืดแถบสว่าง ,ใช้กล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอล (fluorescence microscope) และ ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ,SEM)

#### 4.1 การคำนวณหาความกว้างของแถบมืดแถบสว่าง

ในการคำนวณหาความกว้างของแถบมืดแถบสว่างจากทฤษฎี จะคำนวณได้จากสูตร



$$n\lambda = d \sin \theta \quad (4.1)$$

- เมื่อ  $d$  คือ ระยะระหว่างช่อง  
 $\theta$  คือ มุมที่เบนไปจากแถบสว่างกลาง  
 $\lambda$  คือ ความยาวคลื่นแสง  
 $n$  คือ จำนวนเต็มบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

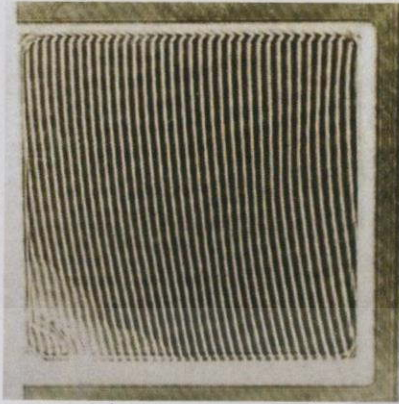
ตารางที่ 4.1 ค่าการคำนวณความกว้างของแถบมืดแถบสว่าง

แผ่นฟิล์มแผ่นที่	ระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลาง (m)	ค่าจากการคำนวณ ( $line/cm.$ )
1	-	-
2	-	-
3	$0.187 \times 10^{-2}$	60.30857
4	$0.403 \times 10^{-2}$	129.96981
5	$0.765 \times 10^{-2}$	246.71689
6	$1.181 \times 10^{-2}$	380.87927
7	$2.274 \times 10^{-2}$	733.37805
8	$2.307 \times 10^{-2}$	744.02074
9	$2.821 \times 10^{-2}$	909.78869
10	$2.919 \times 10^{-2}$	941.39425
11	$3.537 \times 10^{-2}$	1140.70280
12	$5.590 \times 10^{-2}$	1802.80709
13	$6.428 \times 10^{-2}$	2073.06690
14	$6.542 \times 10^{-2}$	2109.83255
15	$2.817 \times 10^{-2}$	908.49867
16	$2.123 \times 10^{-2}$	684.67968

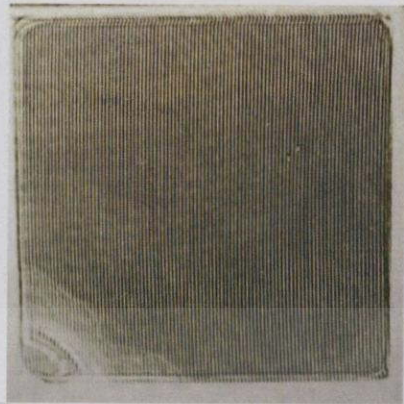
ในการคำนวณหาค่าความกว้างของแถบมืดแถบสว่างจากทฤษฎี อาจทำให้เห็นได้ไม่ชัดว่า ความกว้างของแถบมืดแถบสว่างที่คำนวณได้นั้นเป็นจริงตามทฤษฎีหรือไม่ จึงได้นำเอาแผ่นเกรตติง ตัวอย่างไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอล (fluorescence microscope) และ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) เพื่อทำการเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 ภาพแผ่นฟิล์มหลังจากการถ่ายโฮโลแกรม



รูปที่ 4.1.1 แผ่นฟิล์มที่ 1



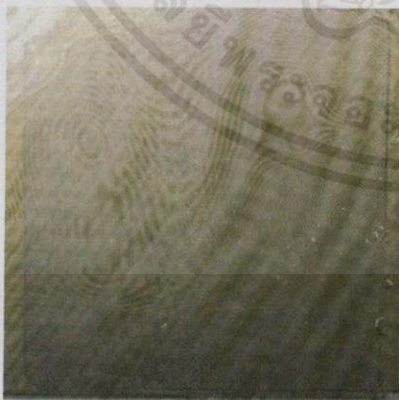
รูปที่ 4.1.2 แผ่นฟิล์มที่ 2



รูปที่ 4.1.3 แผ่นฟิล์มที่ 3  
60.30857 เส้น/เซนติเมตร



รูปที่ 4.1.4 แผ่นฟิล์มที่ 4  
129.96981 เส้น/เซนติเมตร

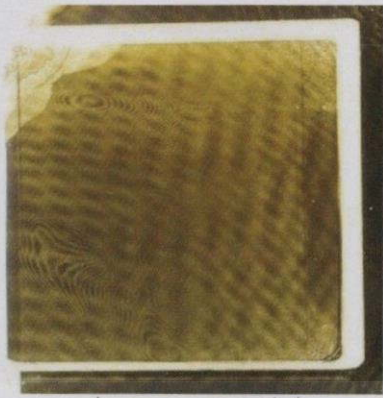


รูปที่ 4.1.5 แผ่นฟิล์มที่ 5

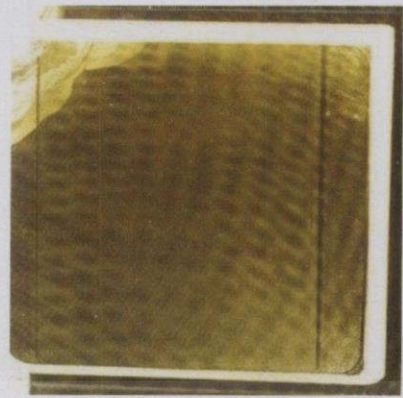


รูปที่ 4.1.6 แผ่นฟิล์มที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 246.71689 เส้น/เซนติเมตร เพื่อการศึกษาเท่านั้น 380.87927 เส้น/เซนติเมตร โยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1.7 แผ่นฟิล์มที่ 7  
733.37805 เส้น/เซนติเมตร



รูปที่ 4.1.8 แผ่นฟิล์มที่ 8  
744.02074 เส้น/เซนติเมตร



รูปที่ 4.1.9 แผ่นฟิล์มที่ 9  
909.78869 เส้น/เซนติเมตร



รูปที่ 4.1.10 แผ่นฟิล์มที่ 10  
941.39425 เส้น/เซนติเมตร

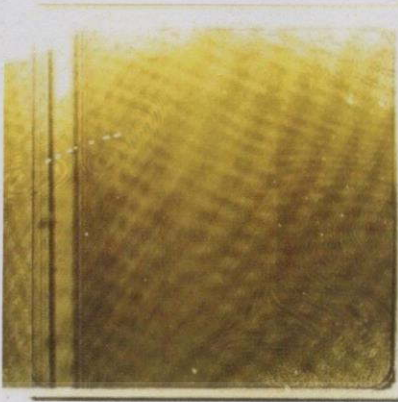


รูปที่ 4.1.11 แผ่นฟิล์มที่ 11  
1140.70280 เส้น/เซนติเมตร

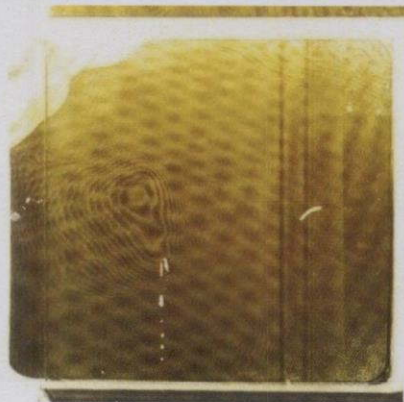


รูปที่ 4.1.12 แผ่นฟิล์มที่ 12  
1802.80709 เส้น/เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1.13 แผ่นฟิล์มที่ 13  
2073.06690 เส้น/เซนติเมตร



รูปที่ 4.1.14 แผ่นฟิล์มที่ 14  
2109.83255 เส้น/เซนติเมตร



รูปที่ 4.1.15 แผ่นฟิล์มที่ 15  
908.49867 เส้น/เซนติเมตร



รูปที่ 4.1.16 แผ่นฟิล์มที่ 16  
684.67968 เส้น/เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 กล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอล (fluorescence microscope)

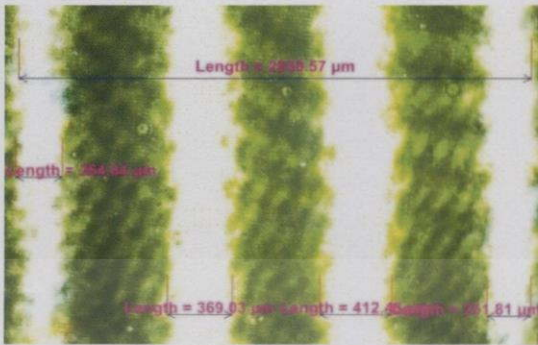
ตารางที่ 4.2 ตารางเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณกับการวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอล (fluorescence microscope)

แผ่นฟิล์มแผ่นที่	ค่าจากการคำนวณ ( $line/cm.$ )	ค่าจากกล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอล ( $line/cm.$ )
1	-	20.47383
2	-	34.30531
3	60.30857	66.76235
4	129.96981	157.04339
5	246.71689	260.75619
6	380.87927	431.87216
7	733.37805	109.68119
8	744.02074	827.47207
9	909.78869	82.89926
10	941.39425	971.65991
11	1140.70280	4552.35204
12	1802.80709	187.40044
13	2073.06690	465.76618
14	2109.83255	2276.17602
15	908.49867	1675.04187
16	684.67968	1481.84737

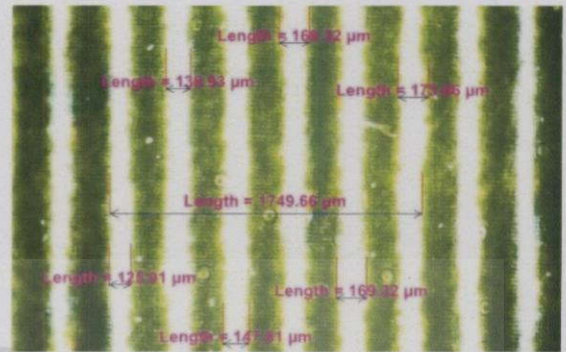
ในการนำตัวอย่างไปส่องกล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอลนั้นจะเป็นการใช้เทคนิคทางแสงบริเวณจุดโฟกัส (Focal point) ในการถ่ายภาพตัวอย่างเพื่อเพิ่มความละเอียด และความคมชัดของภาพที่ได้ออกมา โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบจุดและรูขนาดเล็กเพื่อกำจัดแสงบริเวณนอกจุดโฟกัส โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์ชนิดนี้จะใช้กระจกในการสแกนลำแสงเลเซอร์แบบเชิงเส้นในแกน  $x$  และแกน  $y$  ให้ทั่วทั้งชิ้นบนตัวอย่าง โดยในการบันทึกภาพกล้องจุลทรรศน์นี้สามารถบันทึกภาพได้ด้วยความเร็วมากกว่า 50 ภาพต่อวินาที ซึ่งภาพที่ได้จะมีความละเอียดที่ค่อนข้างสูง แต่อาจจะไม่เท่ากับ ความละเอียดในการส่อง SEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

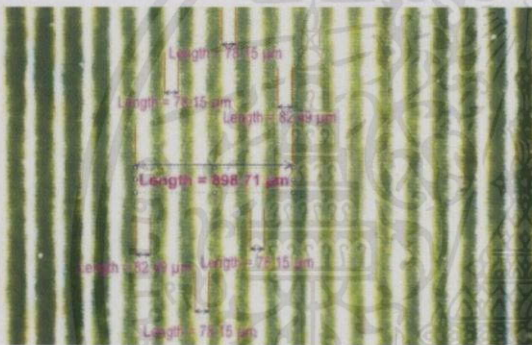
รูปที่ 4.2 ภาพแผ่นฟิล์มหลังจากการถ่ายโฮโลแกรมโดยการมองด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอล (fluorescence microscope)



รูปที่ 4.2.1 แผ่นฟิล์มที่ 1  
20.47383 เส้น/เซนติเมตร



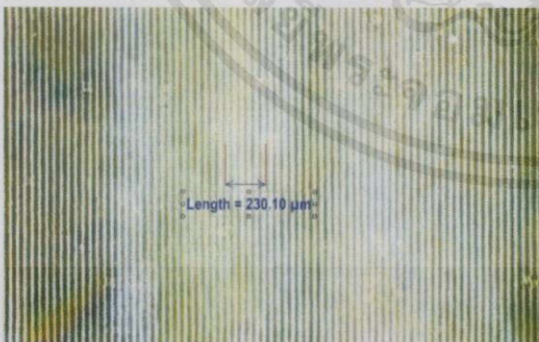
รูปที่ 4.2.2 แผ่นฟิล์มที่ 2  
34.30531 เส้น/เซนติเมตร



รูปที่ 4.2.3 แผ่นฟิล์มที่ 3  
66.76235 เส้น/เซนติเมตร



รูปที่ 4.2.4 แผ่นฟิล์มที่ 4  
157.04339 เส้น/เซนติเมตร

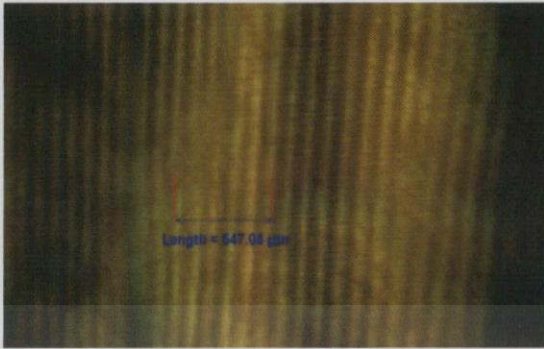


รูปที่ 4.2.5 แผ่นฟิล์มที่ 5  
260.75619 เส้น/เซนติเมตร

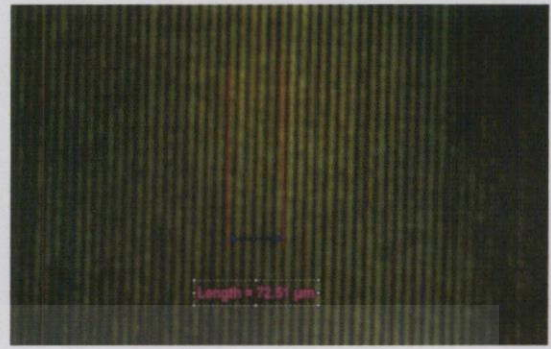


รูปที่ 4.2.6 แผ่นฟิล์มที่ 6  
431.87216 เส้น/เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะมิได้จาทังสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



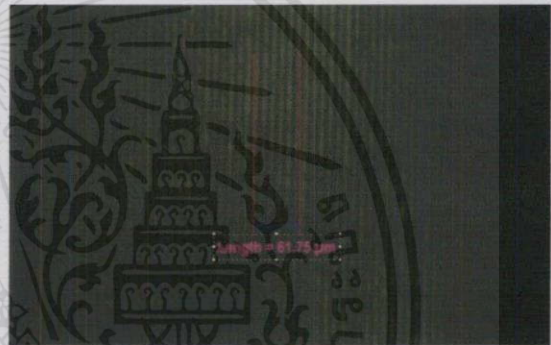
รูปที่ 4.2.7 แผ่นฟิล์มที่ 7  
109.68119 เส้น/เซนติเมตร



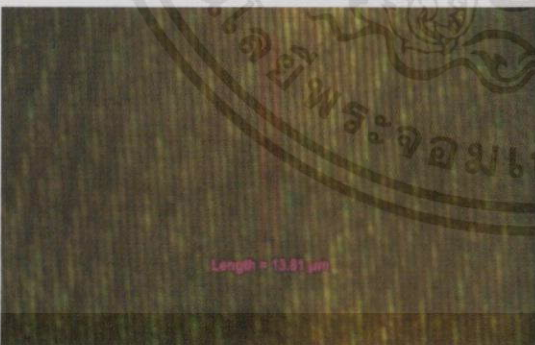
รูปที่ 4.2.8 แผ่นฟิล์มที่ 8  
827.47207 เส้น/เซนติเมตร



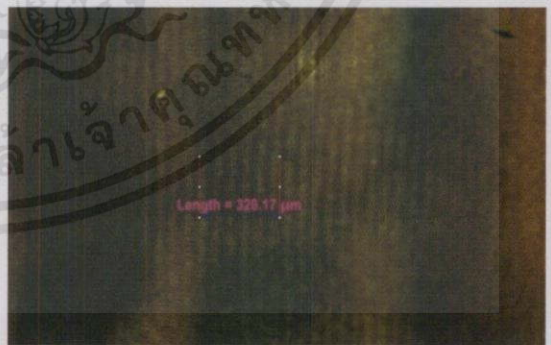
รูปที่ 4.2.9 แผ่นฟิล์มที่ 9  
82.89926 เส้น/เซนติเมตร



รูปที่ 4.2.10 แผ่นฟิล์มที่ 10  
971.65991 เส้น/เซนติเมตร

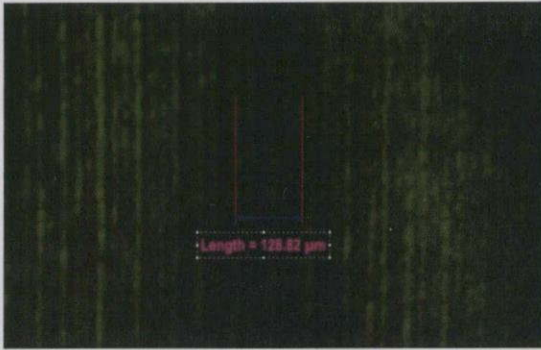


รูปที่ 4.2.11 แผ่นฟิล์มที่ 11  
4552.35204 เส้น/เซนติเมตร

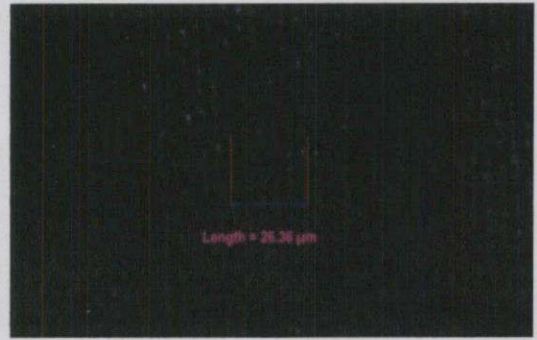


รูปที่ 4.2.12 แผ่นฟิล์มที่ 12  
187.40044 เส้น/เซนติเมตร

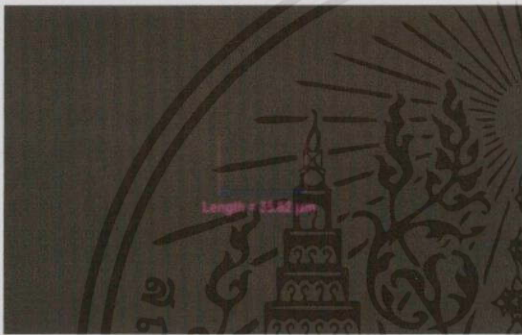
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.13 แผ่นฟิล์มที่ 13  
465.76618 เส้น/เซนติเมตร



รูปที่ 4.2.14 แผ่นฟิล์มที่ 14  
2276.17602 เส้น/เซนติเมตร



รูปที่ 4.2.15 แผ่นฟิล์มที่ 15  
1675.04187 เส้น/เซนติเมตร



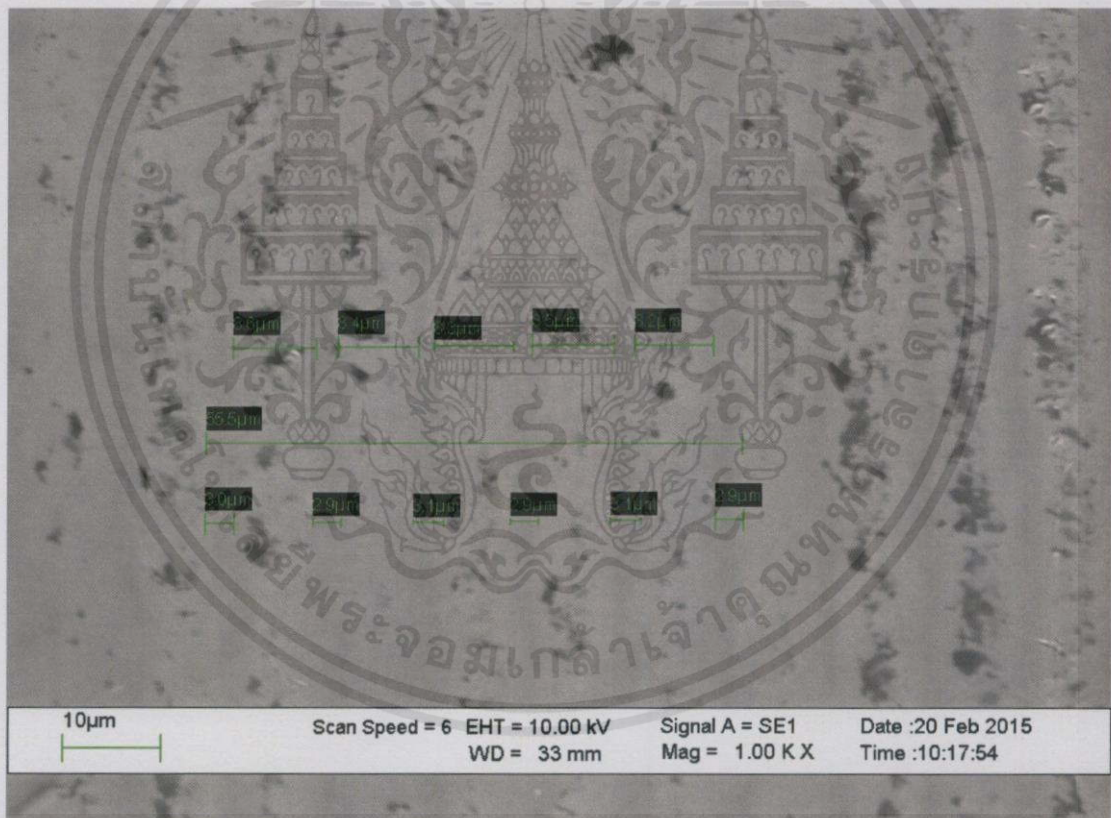
รูปที่ 4.2.16 แผ่นฟิล์มที่ 16  
1481.84737 เส้น/เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ตารางที่ 4.3 ตารางเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณกับการวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

แผ่นฟิล์มแผ่นที่	ค่าจากการคำนวณ ( $line/cm.$ )	ค่าจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ( $line/cm.$ )
10	941.39425	1090.90909

ในการนำตัวอย่างไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดหรือ SEM นั้น จะต้องเป็นตัวอย่างที่สามารถนำไฟฟ้าได้จึงจะสามารถใช้งานได้ จึงมีการนำตัวอย่างไปเคลือบทอง เพื่อที่จะทำให้ตัวอย่างของเราสามารถนำไฟฟ้าได้ โดยในการส่อง SEM นี้ มีจุดประสงค์เพื่อหาระยะห่างระหว่างช่องของแถบมืดแถบสว่างบนเกรตติง ซึ่งในการส่อง SEM นั้นจะมีความละเอียดในระดับไมโครเมตร ซึ่งมีกำลังขยายที่ค่อนข้างสูง ทำให้เราสามารถวัดความกว้างของช่องว่างในเกรตติงได้ตามค่าในตาราง



รูปที่ 4.3 ภาพแผ่นฟิล์มหลังจากการถ่ายโฮโลแกรมโดยการมองด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) , แผ่นฟิล์มที่ 10 1090.90909 เส้น/เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลองการศึกษาวิธีการสร้างเกรตติงด้วยวิธีถ่ายภาพโฮโลแกรม

จากการทดลองหาวิธีการสร้างเกรตติงโดยวิธีการถ่ายภาพโฮโลแกรมได้ศึกษาการเกิดริ้วของ  
ทฤษฎีไมเคิลสันอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ และทฤษฎีการถ่ายภาพโฮโลแกรม สามารถสรุปได้ว่าระยะห่าง  
ของริ้วแถบมืดแถบสว่างขึ้นอยู่กับการจัดระบบในการถ่ายภาพโฮโลแกรม ระยะในการจัดวางตำแหน่ง  
ของอุปกรณ์ การทำมุมของอุปกรณ์ ซึ่งทั้งหมดนี้จะทำให้มีผลกับการเกิดระยะห่างของริ้ว

ในการทดลองหาวิธีการสร้างเกรตติงโดยวิธีการถ่ายภาพโฮโลแกรม สามารถจัดอุปกรณ์ได้ริ้ว  
แถบมืดแถบสว่างดีที่สุดที่ค่า 2,109.83255 เส้นต่อเซนติเมตร และได้นำเกรตติงที่สร้างขึ้นที่มีค่า  
941.39425 เส้นต่อเซนติเมตร ไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ทั้งสองตัว เปรียบเทียบกับค่าที่ได้ทำการ  
คำนวณไว้ พบว่า การใช้กล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอล อ่านได้ค่า 971.65991 เส้นต่อเซนติเมตร  
ให้ค่าที่มีความใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณไว้มากกว่ากล้องจุลทรรศน์อิเล็กทรอนิกส์แบบส่องกราดที่อ่านได้  
ค่า 1,090.90909 เส้นต่อเซนติเมตร เหตุที่ทำให้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กทรอนิกส์แบบส่องกราดมีจำนวนริ้ว  
ของเกรตติงที่เกินไปจากที่คำนวณไว้ อาจเป็นเนื่องมาจากที่ต้องเคลือบทองลงบนแผ่นฟิล์ม ซึ่ง  
กระบวนการนี้อาจทำให้ริ้วของเกรตติงมีการเปลี่ยนแปลงไปได้

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองของงานวิจัยนี้ในการจัดอุปกรณ์ควรให้ฉากรับภาพอยู่ใกล้ๆ กับ Beam  
Splitter ให้มากที่สุด จะทำให้บันทึกริ้วของแถบมืดแถบสว่างได้ดียิ่งขึ้น และริ้วจะมีความคมชัดมาก  
ขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งงานวิจัยยังสามารถนำไปพัฒนาประสิทธิภาพของเกรตติงที่สร้างด้วยวิธีการ  
ถ่ายภาพโฮโลแกรมได้ต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

วิโรจน์ สุตาธรรม. (ม.ป.ป.). ไมเคิลสันอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์ (หน้า 1-4). กรุงเทพฯ:  
เกษมบัณฑิตมหาวิทยาลัย.

เกรตติง. [Online].Available : [http://www.myfirstbrain.com/student\\_view.aspx?ID=75793](http://www.myfirstbrain.com/student_view.aspx?ID=75793)

ประวัติฮอโลแกรม.

[Online].Available : <http://www.azure.co.th/index.php/about-hologram/hologram-history/>

Diffraction Grating.

[Online].Available : <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>

Eric Weisstein's World of Physics.

[Online].Available : <http://scienceworld.wolfram.com/physics/>

Holography.

[Online].Available : <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>

Michelson Interferometer.

[Online].Available : <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/michel.html>

Optical. [Online].Available : <http://pirun.ku.ac.th/~fsciwr/optical/optical.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติของการเกิดภาพโฮโลแกรม

โฮโลแกรมนี้ถูกค้นพบโดยเดนนิส กาบอร์ (Dennis Gabor, 1900-1979) วิศวกรไฟฟ้าชาวฮังการี ในวันอีสเตอร์ ปี ค.ศ. 1947 โดยกาบอร์ได้ค้นพบหลักการของฮอโลกราฟีโดยบังเอิญ ในระหว่างที่พัฒนาปรับปรุงคุณภาพของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่บริษัท British Thomson-Houston ที่เมือง Rugby ประเทศอังกฤษ จากการค้นพบนี้ กาบอร์ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ ในปี ค.ศ. 1971 เทคนิคที่คิดค้นเดิมยังใช้อยู่ในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ที่เป็นที่ยุติกันในเรื่องภาพสามมิติอิเล็กตรอน แต่ภาพสามมิติเป็นเทคนิคแสงซึ่งไม่ได้มีการพัฒนาอย่างจริงจัง จนกระทั่งมีการพัฒนาของเลเซอร์ในปี 1960

โฮโลแกรมแสงที่ใช้ได้จริงชิ้นแรกนั้นบันทึกอยู่ในรูปของวัตถุ 3D ซึ่งถูกสร้างขึ้นในปี 1962 โดย Yuri Denisyuk ในสหภาพโซเวียต และโดย Emmett Leith และ Juris Upatnieks ที่ University of Michigan ประเทศ USA ความก้าวหน้าในเทคนิคการประมวลผลโฟโตเคมีคัลเป็นการผลิต เพื่อแสดงภาพโฮโลแกรมที่มีคุณภาพสูง ซึ่งทำได้สำเร็จโดย Nicholas J. Phillips

โฮโลแกรมแบ่งได้เป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 2 ประเภท คือ white-light hologram ซึ่งภาพโฮโลแกรมที่บันทึกนั้น สามารถมองเห็นได้ด้วยการส่องสว่าง ด้วยแสงสว่างจากธรรมชาติ และอีกประเภทหนึ่งคือ ภาพโฮโลแกรม ที่ต้องถูกส่องสว่างด้วยแสงเลเซอร์ หรือแสงที่มีสภาพหน้าคลื่นสอดคล้องกันในระดับหนึ่ง ถึงจะมองเห็นภาพ 3 มิติได้

นอกจากนี้ ยังอาจแบ่งโฮโลแกรมออกได้เป็น transmission hologram, reflection hologram, image-plane hologram, และอื่นๆ อีกหลายประเภท

ที่โฮโลแกรมหลายชนิดนั้นสามารถทำได้ การส่งผ่านของโฮโลแกรมเช่นการผลิตโดย Leith และ Upatnieks ซึ่งถูกทำให้มองเห็นได้โดยส่องแสงเลเซอร์ผ่านวัตถุ และมองภาพที่ถูกสร้างขึ้นใหม่จากโฮโลแกรมด้านตรงข้ามของแหล่งที่มา การปรับแต่งภายหลังการ หรือ "การส่งผ่านแถบสี" โฮโลแกรม ช่วยให้แสงสว่างโดยแสงสีขาวมากกว่าโดยเลเซอร์ แถบสีโฮโลแกรมเห็นได้ทั่วไปในปัจจุบันบนบัตรเครดิต ซึ่งเป็นคุณลักษณะด้านความปลอดภัยและในการบรรจุสินค้า รุ่นนี้ของการส่งผ่านแถบสีโฮโลแกรมเกิดขึ้นโดยทั่วไป เป็นรูปแบบผิวในฟิล์มพลาสติกและวัตถุรวมเคลือบอะลูมิเนียมสะท้อนแสงที่ให้แสงสว่างจาก "ด้านหลัง" เพื่อสร้างภาพของวัตถุชนิดอื่น ๆ ของโฮโลแกรม เช่น การสะท้อนหรือ Denisyuk โฮโลแกรม คือสามารถทำสำเนาภาพหลากสี ใช้แหล่งไฟแสงสว่างสีขาวด้านเดียวกันของโฮโลแกรมเหมือนเป็นผู้มองเห็น

หนึ่งในความก้าวหน้าล่าสุดซึ่งมีศักยภาพมากที่สุดที่สุดในประวัติศาสตร์ระยะสั้น ๆ ของโฮโลกราฟีได้รับการผลิตของเลเซอร์แบบ solid-state ที่มีต้นทุนต่ำ เช่นที่พบในการบันทึก DVD เป็นล้านและใช้ในการใช้งานทั่วไปอื่น ๆ ซึ่งบางครั้งยังมีประโยชน์สำหรับภาพสามมิติ นั่นคือ ถูกและกะทัดรัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## PFG-01 HOLOGRAPHIC PLATES Technical Specifications

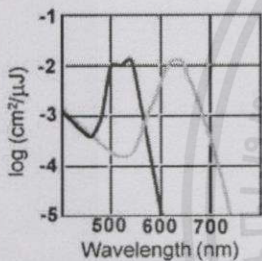
### Integraf LLC

Holography Supplies & Resources  
218 Main Street #674  
Kirkland, WA 98033 USA

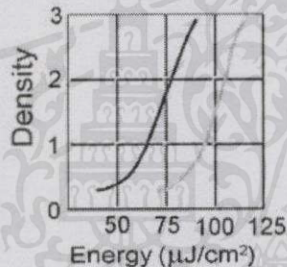
Ph: (425) 821-0772  
Fx: (425) 821-0773  
Email: info@integraf.com  
Website: <http://www.integraf.com>

### DESCRIPTION & SPECIFICATIONS

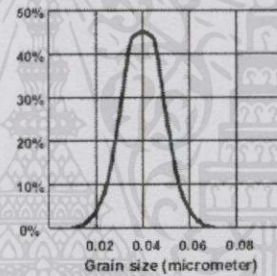
Fine-grained red sensitive holographic plates and film designed for transmission or reflection hologram recording. Average grain size is 40 nm, resolving power more than 3000 lines/mm, spectral sensitivity range 600-680 nm (including 633 nm, 647 nm), and emulsion thickness 7 $\mu$ m. The refractive index is 1.61 and the mass per unit surface of silver halide is 2.7g/cm<sup>2</sup>.



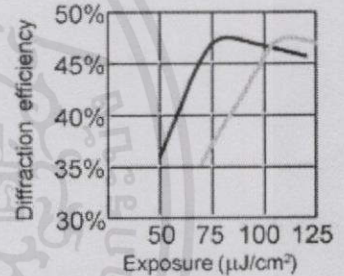
Spectral Sensitivity curves for VRP-M\* (left) and PFG-01 (right).



Characteristic Curves for VRP-M and PFG-01.



Grain Size Distribution Curve for VRP-M and PFG-01.



Diffraction Efficiency Curves for VRP-M and PFG-01.

\*VRP-M is the green-sensitive (488nm, 514nm, 526nm, 532nm) equivalent of the red-sensitive PFG-01. In each of the above graphs, the darker curve on the left represents VRP-M and the lighter curve on the right represents PFG-01.

### SIZES

Plates available in different sizes:

- 2.5"x2.5" (63x63mm)
- 4"x5" (102x127mm)
- 8"x10" (203x254mm)
- 12"x16" (300x406mm)
- Custom sizes also available upon request.

Film available in different sizes:

- 4"x5" (102x127mm)
- 7.9"x9.7" (200x250mm)
- 12"x16" (300x400mm)
- 1mx10m
- Custom sizes also available upon request.

### RECOMMENDED PROCESSING

The most commonly used developer and processing chemical used today for PFG-01 is the JD-2 developer, available from Integraf LCC the Photographer's Formulary. Details can be found at [http://www.holokits.com/jd-2\\_holography\\_developer.htm](http://www.holokits.com/jd-2_holography_developer.htm). Kodak D-19 and other processes also possible. Other technical details and specifications are available upon request.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้