

การวัดความยาวคลื่นแสงโดยใช้วิธีไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์

A METHOD OF COHERENT CHARACTERISTIC GAUGING BY  
MICHELSON INTERFEROMETER



โครงการพิเศษเป็นฉันทนงของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การวัดความยาวโคฮีเรนต์ด้วยวิธีไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์  
A METHOD OF COHERENT CHARACTERISTIC GAUGING BY  
MICHELSON INTERFEROMETER



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**THE INVESTIGATION OF EVIDENCE USING THE INFRARED  
DIGITAL SLR MODIFIED CAMERA**



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

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**ACADEMIC YEAR 2013**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การวัดความยาว โคฮีเรนต์ด้วยวิธีไมเคลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์  
A METHOD OF COHERENT CHARACTERISTIC GAUGING BY  
MICHELSON INTERFEROMETER

ชื่อนักศึกษา นางสาวชุตินา จิตรธรรม  
นางสาวสุภารัตน์ จันทร์แก้ว

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา ฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สุรชาติ กมลฉิลก

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชา  
ฟิสิกส์ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.เกียรติยศ ศรีนวลจันทร์	
ดร.ประธาน บุณศิริ	
อาจารย์ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง	
อาจารย์สุรชาติ กมลฉิลก	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การวัดความยาวโคฮีเรนซ์ด้วยวิธีไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวชุตินา	จิตรธรรม
	นางสาวสุภารัตน์	จันทร์แก้ว
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต	
สาขาวิชา	ฟิสิกส์	
ปีการศึกษา	2556	
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุรชาติ กมลฉิลก	

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการวัดความยาวโคฮีเรนซ์ด้วยวิธีไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ โดยในการทดลองจะใช้เลเซอร์ต่างชนิดเป็นแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งประกอบด้วย He-Ne Laser YVO<sub>4</sub> Laser และ Laser Diode ที่มีค่าความยาวคลื่นแตกต่างกันเมื่อแสงเดินทางผ่านมายังตัวแยกลำแสง (Beam Splitter) แสงจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ลำ เข้าสู่กระจกและสะท้อนมายังฉากรับแสง จากนั้นเลื่อนระยะกระจกเพื่อหาความยาวโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์แต่ละชนิดแล้วนำมาเปรียบเทียบกัน ผลการทดลองได้ชี้ให้เห็นว่า He-Ne Laser (TEM<sub>00</sub>) มีความยาวโคฮีเรนซ์มากที่สุดคือ 30.2 cm และ Laser Diode ในย่านสีแดงมีความยาวโคฮีเรนซ์น้อยที่สุดคือ 2.68 cm

**คำสำคัญ:** ไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ , เลเซอร์ฮีเลียมนีออน , เลเซอร์วาวีไอ4 , เลเซอร์ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Project Title</b>	A METHOD OF COHERENT CHARACTERISTIC GAUGING BY MICHELSON INTERFEROMETER
<b>Student</b>	Miss. Chutima Jitham Miss. Sudarat Jankeaw
<b>Degree</b>	Bachelor of Science
<b>Major Program</b>	Physics
<b>Academic Year</b>	2014
<b>Project Advisor</b>	Mr.Surachart Kamoldilok

### ABSTRACT

This special project is a study to method of coherent characteristic gauging by michelson interferometer. In experiments using the laser as a light source position. Consisting of gas laser , solid-state laser and semiconductor laser with the different wavelengths of light passed through the beam splitter light is divided into two beams into the mirror and reflect the screen . Then scroll to coherent characteristic each type of laser in order to compare. The fair result to show the He-Ne Laser ( $TEM_{00}$ ) have the most coherent is 30.2 cm and Laser Diode in blue have least coherent is 2.68 cm

**Keywords:** Michelson interferometer , He-Ne Laser ,  $YVO_4$  Laser , Laser Diode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาจาก อาจารย์สุรชาติ กมลดิกล ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองตลอดจนอุปการะทุนสนับสนุนและการให้คำปรึกษาทางวิชาการที่ดีตลอดมา รวมไปถึงการปลูกฝังสิ่งที่ตั้งามให้กับลูกศิษย์ทุกคน

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ความช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษนี้ แนะนำแนวทางในการนำเสนอรายงาน

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้องทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลืออุปการะทุน ในการศึกษาเล่าเรียน และเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

นางสาวชุติมา จิตรธรรม  
นางสาวสุดารัตน์ จันทร์แก้ว

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	IX
คำย่อและสัญลักษณ์	X
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 ทฤษฎีไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์	4
2.1.1 หลักการพื้นฐานของไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์	4
2.2 ทฤษฎีโคฮีเรนซ์ของแสง	6
2.2.1 คุณสมบัติโคฮีเรนซ์ของแสงเลเซอร์	6
2.3 เลเซอร์ก๊าซ ( Gas Laser )	7
2.3.1 กระบวนการเปล่งและดูดกลืนแสง	7
2.3.2 เลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ( Helium – Neon Laser )	8
2.4 เลเซอร์ของแข็ง ( Solid-State Laser )	9
2.4.1 กระบวนการปั๊มด้วยแสง	9
2.4.2 แสงแบบไม่เป็นเชิงเส้น ( Nonlinear Optics )	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.3 เลเซอร์ Nd:YVO <sub>4</sub>	9
2.5 เลเซอร์ไดโอด ( Laser Diode )	10
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	
3.1 การศึกษาคุณสมบัติความเป็นโคฮีเรนต์ของแสงเลเซอร์และศึกษาระบบ ไมเคิลสันอินเตอร์เฟอริมิเตอร์	11
3.1.1 คุณสมบัติโคฮีเรนต์ของแสงเลเซอร์	11
3.1.2 ระบบไมเคิลสันอินเตอร์เฟอริมิเตอร์	12
3.2 ออกแบบการทดลอง	12
3.2.1 วัดโคฮีเรนต์ของเลเซอร์ก๊าซในการทดลองใช้เลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ( He-Ne Laser :: Multi-Mode )	12
3.2.2 วัดโคฮีเรนต์ของเลเซอร์ก๊าซในการทดลองใช้เลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ( He-Ne Laser :: TEM <sub>00</sub> )	13
3.2.3 วัดโคฮีเรนต์ของเลเซอร์ของแข็งในการทดลองใช้เลเซอร์ Nd:YVO <sub>4</sub>	13
3.2.4 วัดโคฮีเรนต์ของเลเซอร์สารกึ่งตัวนำในการทดลองใช้เลเซอร์ไดโอด (Laser Diode น้ำเงิน)	14
3.2.5 วัดโคฮีเรนต์ของเลเซอร์สารกึ่งตัวนำในการทดลองใช้เลเซอร์ไดโอด ( Laser Diode สีแดง )	14
3.3 วิธีการทดลอง	15
3.3.1 การทดลองตอนที่ 3.2.1 วัดโคฮีเรนต์ของเลเซอร์ก๊าซในการทดลอง ใช้เลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ( He-Ne Laser Multi-Mode )	15
3.3.2 การทดลองตอนที่ 3.2.2 วัดโคฮีเรนต์ของเลเซอร์ก๊าซในการทดลอง ใช้เลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ( He-Ne Laser :: TEM <sub>00</sub> )	16

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.3 การทดลองตอนที่ 3.2.3 วัด โคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ของแข็งในการทดลอง ใช้เลเซอร์ Nd:YVO <sub>4</sub> ( Nd:YVO <sub>4</sub> Laser )	17
3.3.4 การทดลองตอนที่ 3.2.4 วัด โคฮีเรนซ์ของเลเซอร์สารกึ่งตัวนำในการทดลอง ใช้เลเซอร์ไดโอด ( Laser Diode สีน้ำเงิน )	18
3.3.5 การทดลองตอนที่ 3.2.5 วัด โคฮีเรนซ์ของเลเซอร์สารกึ่งตัวนำในการทดลอง ใช้เลเซอร์ไดโอด ( Laser Diode สีแดง )	18
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล</b>	
4.1 ผลการวัดความยาว โคฮีเรนซ์ของแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ต่างชนิด	20
4.2 รูปที่ได้จากการทดลองการวัดความยาว โคฮีเรนซ์ของเลเซอร์	25
<b>บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 การศึกษาระบบ ไมเคลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย	27
5.2 การวัดความยาว โคฮีเรนซ์ของแสง โดยใช้ไมเคลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์	28
5.2.1 ผลการวัดความยาว โคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ฮีเลียมนีออน He-Ne Laser (Multi-Mode)	28
5.2.2 ผลการวัดความยาว โคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ฮีเลียมนีออน He-Ne Laser ( TEM <sub>00</sub> )	28
5.2.3 ผลการวัดความยาว โคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ Nd:YVO <sub>4</sub> Laser (Second Harmonic)	29
5.2.4 ผลการวัดความยาว โคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ไดโอด(สีน้ำเงิน)	29
5.2.5 ผลการวัดความยาว โคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ไดโอด(สีแดง)	29
5.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดลอง	29
5.4 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการดำเนินงานวิจัย	29
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>31</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินโครงการ	3
4.1.1 ผลการทดลองวัดความยาวโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ฮีเลียมนีออน He-Ne Laser (Multi-Mode)	21
4.1.2 ผลการทดลองวัดความยาวโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ฮีเลียมนีออน He-Ne Laser (TEM <sub>00</sub> )	21
4.1.3 ผลการทดลองวัดความยาวโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ Nd:YVO <sub>4</sub> (Second Harmonic)	22
4.1.4 ผลการทดลองวัดความยาวโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ไดโอด (สีน้ำเงิน) Laser Diode (Blue)	23
4.1.5 ผลการทดลองวัดความยาวโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ไดโอด (สีแดง) Laser Diode (Red)	23
4.1.6 รูปแบบตารางผลการทดลองในงานวิจัยและวิธีการคำนวณ	24



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ไมเคลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์	4
2.2 รูปแบบของรีวการแทรกสอดแบบวงกลม	5
2.3 การเปล่งแสงแบบถูกเร้า (Stimulated Emission)	7
3.1 ระบบไมเคลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์	12
3.2 ระบบไมเคลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์	15
3.3 รูปการเกิดการแทรกสอดของแสง	15
3.4 เลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ( He-Ne Laser :: TEM <sub>00</sub> )	16
3.5 การจัดอุปกรณ์ของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ( He-Ne Laser :: TEM <sub>00</sub> )	16
3.6 เลเซอร์ Nd:YVO <sub>4</sub> ( Nd:YVO <sub>4</sub> Laser )	17
3.7 การจัดการอุปกรณ์เลเซอร์ Nd:YVO <sub>4</sub> ( Nd:YVO <sub>4</sub> Laser )	17
3.8 เลเซอร์ไดโอด ( Laser Diode สีน้ำเงิน )	18
3.9 เลเซอร์ไดโอด ( Laser Diode สีแดง )	19
4.1 การแทรกสอดของเลเซอร์ที่ระยะเริ่มต้น	25
4.2 การแทรกสอดของเลเซอร์เมื่อเลื่อนกระจกออกจากระยะเริ่มต้น	25
4.3 แสงเลเซอร์ไม่เกิดการแทรกสอดกันเมื่อพ้นจากระยะความยาวโคฮีเรนซ์	26
5.1 ระบบการทดลองการวัดความยาวโคฮีเรนซ์ด้วยวิธีไมเคลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์	28

## คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	ความหมาย
BS	Beam Splitter
$\lambda$	ความยาวคลื่น (nm)
$\Delta\lambda$	ความกว้างสเปกตรัม (nm)
L	ความยาวโคฮีเรนต์ (cm)
$\bar{L}$	ค่าเฉลี่ย (cm)
S.D, $\sigma$	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
$\sigma_L$	ค่าความไม่แน่นอน



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

เลเซอร์ (LASER ย่อมาจากคำว่า Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) ในทางฟิสิกส์ คือ อุปกรณ์ที่ให้กำเนิดลำแสง ที่มีลักษณะเฉพาะ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่รวมกันระหว่างกลศาสตร์ควอนตัมกับอุณหพลศาสตร์ ซึ่งพลังงานแสงเลเซอร์ สามารถมีคุณสมบัติได้หลากหลาย ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ในการออกแบบ เลเซอร์ส่วนมากจะเป็นลำแสงที่มีขนาดเล็ก มีการเบี่ยงเบนน้อย (low-divergence beam) และสามารถระบุมุมความยาวคลื่นได้ง่าย โดยดูจากสีของเลเซอร์ ถ้าอยู่ในสเปกตรัมที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (visible spectrum) ซึ่งเลเซอร์นี้อาจกล่าวได้ว่าเป็นการรวมพลังงานแสงที่ส่งออกมาจากหลายความยาวคลื่นเข้าด้วยกัน

เลเซอร์ จะหมายความรวมถึงการให้พลังงานผ่านทางสื่อกลางแสง ซึ่งสื่อกลางแสงอาจเป็นได้ทั้งของแข็ง แก๊ส สารกึ่งตัวนำ หรืออิล็กตรอนอิสระที่มีคุณสมบัติสามารถนำแสงได้ ในรูปแบบที่ง่ายที่สุด ออปติคัล คาวิตี (Optical cavity) จะประกอบไปด้วยกระจก 2 อัน ที่จะจัดเรียงแสงเข้าด้วยกันครั้งแล้วครั้งเล่า โดยที่แต่ละครั้งจะผ่านสื่อกลางแสง โคนหนึ่งในกระจกนั้น (Output coupler) จะส่งลำแสงออกมา

ลำแสงเลเซอร์ ที่ผ่านทางสื่อกลางแสงจะมีความยาวคลื่นเฉพาะ และมีพลังงานเพิ่ม ซึ่งกระจกนี้จะพยายามทำให้แสงส่วนมาก สามารถผ่านทางสื่อกลางแสงให้ได้ และออกมาเป็นลำแสงเลเซอร์ กระบวนการเหนี่ยวนำลำแสงเพื่อเพิ่มพลังงานนี้ จะใช้พลังงานไฟฟ้าหรือแสงในหลายความยาวคลื่น ซึ่งในการทดลองแต่ละครั้ง ความยาวคลื่นของแสงในแต่ละความยาวคลื่น จะส่งผลโดยตรงต่อคุณสมบัติ รูปร่าง และความยาวคลื่นของลำแสงเลเซอร์ที่สร้างออกมา

การค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับเลเซอร์ เกิดขึ้นครั้งแรกเมื่อเดือนพฤษภาคม ปี 1960 โดย ทีโอดอร์ ไมแมน (Theodore Maiman) ที่สถาบันวิจัย ฮิวจ์ (Hughes Research Laboratories) ทุกวันนี้เลเซอร์กลายเป็นอุตสาหกรรมที่ทำรายได้หลายพันล้านดอลลาร์ ผลผลิตจากงานวิจัยเลเซอร์ และกลายเป็นอุปกรณ์ที่มีใช้กันอย่างแพร่หลาย มีให้เห็นอย่างเช่น แผ่นซีดี แผ่นดีวีดี เครื่องเล่นดีวีดี เครื่องอ่านบาร์โค้ด อุปกรณ์ตัดโลหะด้วยเลเซอร์ ฯลฯ จะเห็นได้ว่าเลเซอร์มีการใช้กันอย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นด้านวิทยาศาสตร์ ด้านอุตสาหกรรม ด้านการแพทย์ หรือแม้กระทั่งด้านการทหาร ก็เพราะว่าเลเซอร์สามารถควบคุมความยาวคลื่นตามที่ต้องการได้ แสงเลเซอร์เกิดขึ้นได้จากการเปล่งแสงแบบถูกเร้า (Stimulated Emission) โดยที่โฟตอน (Photon) จะมีความเป็นระเบียบสูง เกิดเป็นคลื่นแสงมีลักษณะที่พร้อมเพรียงกัน และมีการขยายสัญญาณแสงด้วยแควิตี้แสง โฟตอนจึงมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น โดยแสงมีความเข้มสูงและวิ่งในทิศทางที่แน่นอน ซึ่งเป็นแนวตั้งฉากกับกระจกที่ใช้ทำเป็น

แคววี่ที่เท่านั้น ค้งนั้นแสงเลเซอร์จึงมีคุณสมบัติที่สำคัญอยู่ 4 ประการ คือ

- เป็นแสงสีเดี่ยว (มีค่าความยาวคลื่นเดี่ยว)
- มีเฟสเดียวกัน (มีหน้าคลื่น)
- มีทิศทางแน่นอน (เป็นลำแสง)
- มีความเข้มสูง (จำนวนโฟตอนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่สูง)

โดยคุณสมบัติทั้ง 4 นี้ถูกเรียกรวมกันว่า คุณสมบัติโคฮีเรนต์ (Coherent) ค้งนั้นเลเซอร์จึงเป็นแหล่งกำเนิดแสงแบบโคฮีเรนต์ (Coherent Light Source) โดยจุดเด่นทั้ง 4 ข้อนี้มีส่วนสำคัญที่ทำให้แสงเลเซอร์เกิดประโยชน์ในด้านประยุกต์วิธีใช้งาน ซึ่งการที่แสงเลเซอร์มีค่าความยาวคลื่น (Wavelength) ที่มีความแน่นอนจึงทำให้เลเซอร์ถูกใช้เป็นมาตรฐาน สำหรับงานที่ต้องการความแม่นยำสูงได้แก่ การเก็บบันทึกและอ่านข้อมูลในแผ่นซีดีและดีวีดี การผ่าตัดด้วยระยะภายใน การประดิษฐ์เครื่องมือวัดระยะทางและความเร็ว

การใช้เลเซอร์ในการวัด นับ ทดสอบ ตรวจสอบการควบคุม ทั้งในกระบวนการผลิตและในงานวิทยาศาสตร์ เช่น การตรวจสอบยางล้อเครื่องบินโดยไม่ทำลาย โดยวิธีโฮโลกราฟี (holography) การวัดปริมาณมลภาวะเพื่อหาปริมาณของสารต่างๆในบรรยากาศ เนื่องจากเลเซอร์มีความยาวคลื่นคงที่และเป็นลำแสงขนานจึงถูกนำมาใช้เป็นมาตรฐานการวัดที่ละเอียดแม่นยำ เช่น การวัดขนาดของสิ่งของ การวัดระยะทางทั้งใกล้และไกล โดยอาศัยหลักการของการแทรกสอด

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาการแทรกสอดของแสง โดยวิธีไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ (Michelson interferometer)
2. ใช้วิธีไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ ในการวัดความยาวโคฮีเรนต์ของแสงเลเซอร์ที่เกิดจากตัวกลางต่างๆกัน

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

สำหรับงานโครงการงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการแทรกสอดของแสงเลเซอร์ โดยใช้วิธีไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ (Michelson interferometer) ออกแบบระบบการวัดการแทรกสอดของแสงเลเซอร์ เมื่อศึกษาการแทรกสอดของเลเซอร์แล้ว จากนั้นทำการวัดความยาวโคฮีเรนต์ของแสงเลเซอร์ที่เกิดจากตัวกลางที่ต่างกัน เนื่องจากมีดัชนีหักเหของตัวกลางแต่ละชนิดที่แตกต่างกันออกไป เปรียบเทียบผลของเลเซอร์แต่ละชนิด

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. แผนการดำเนินงานสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือทรัพย์สินทางปัญญาของผู้จัดทำให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาข้อมูลต่างๆของเลเซอร์

ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบการวัด โคฮีเรนซ์เลเซอร์

ขั้นตอนที่ 3 จัดซื้ออุปกรณ์ ตรวจสอบคุณภาพและประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่จะทำการวิจัย

ขั้นตอนที่ 4 ทำการติดตั้งระบบวัดตามที่ออกแบบไว้

ขั้นตอนที่ 5 ปรับเปลี่ยนสีเลเซอร์ และวัด โคฮีเรนซ์สีใหม่

ขั้นตอนที่ 6 สร้าง diagram ของระบบที่ออกแบบ

ขั้นตอนที่ 7 สรุปการทำโครงการวิจัยและแนวทางการพัฒนาต่อไปในอนาคต

## 2) ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินโครงการวิจัย

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินโครงการ

เดือน ขั้นตอน	มี.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1	■	■	■							
2		■	■	■						
3			■	■	■					
4				■	■	■	■			
5					■	■	■	■		
6								■	■	
7										■

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. ได้ข้อมูลเกี่ยวรายละเอียดกับ โคฮีเรนซ์แต่ละสีของเลเซอร์
2. เพิ่มทักษะในการออกแบบการจัดการวัด โคฮีเรนซ์เลเซอร์
3. ได้เทคนิคการจัดแสงเลเซอร์
4. เพื่อเป็นข้อมูลเปรียบเทียบ โคฮีเรนซ์เลเซอร์ สำหรับผู้สนใจทั่วไป

## บทที่ 2

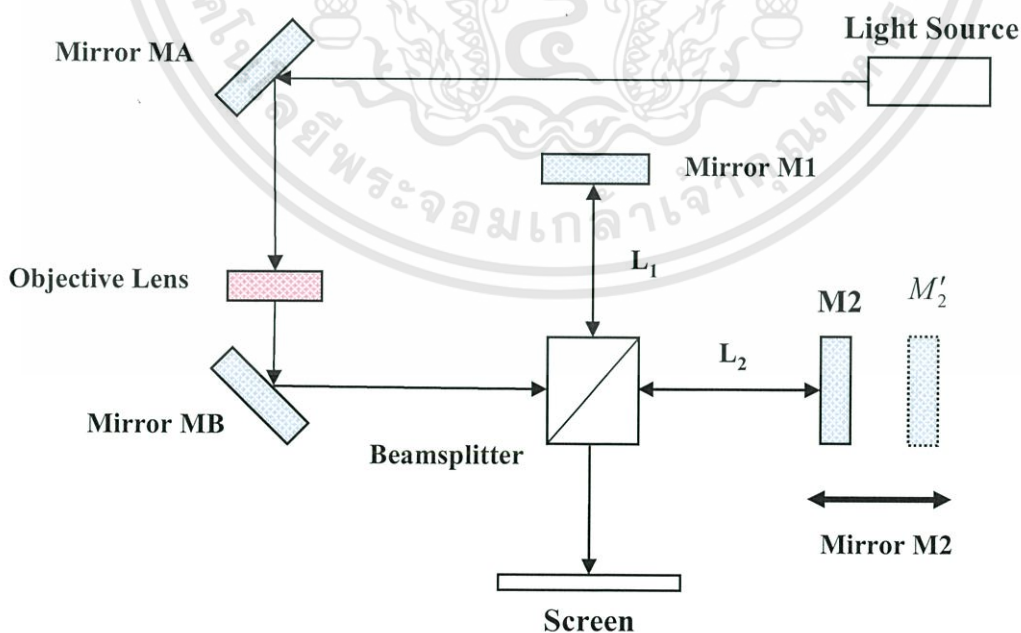
# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ทฤษฎีไมเกิดสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์

ไมเกิดสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่อาศัยหลักการแทรกสอดของคลื่นแสงสองขบวน คลื่นที่แทรกสอดกันจะเกิดเป็นริ้วการแทรกสอด (Fringe) ถ้าแสงทั้งสองขบวนต้องเป็นแสงโคฮีเรนต์ และกำเนิดจากแหล่งกำเนิดเดียวกันถึงจะสามารถสังเกตริ้วการแทรกสอดที่เกิดได้ โดยอาศัยหลักการทางแสงของอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์สามารถวัดระยะทางในเทอมของความยาวคลื่นได้ โดยอาศัยการนับริ้วการแทรกสอดของคลื่นแสงสองขบวนที่แทรกสอดกัน

#### 2.1.1 หลักการพื้นฐานของไมเกิดสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์

จากแหล่งกำเนิดแสงโคฮีเรนต์เดียวกันลำแสงจะถูกแยกออกเป็นแสงสองขบวน โดย BS (Beam Splitter) โดยปกติลำแสงส่วนหนึ่งจะสะท้อน (Reflected-R) และอีกส่วนหนึ่งจะถูกส่งผ่าน (Transmitted T) โดย Beam Splitter-BS กระบวนการแทรกสอดของแสงโดยหลักของไมเกิดสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์เป็นการแทรกสอดแบบแบ่งแอมพลิจูด



รูปที่ 2.1 ไมเกิดสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์

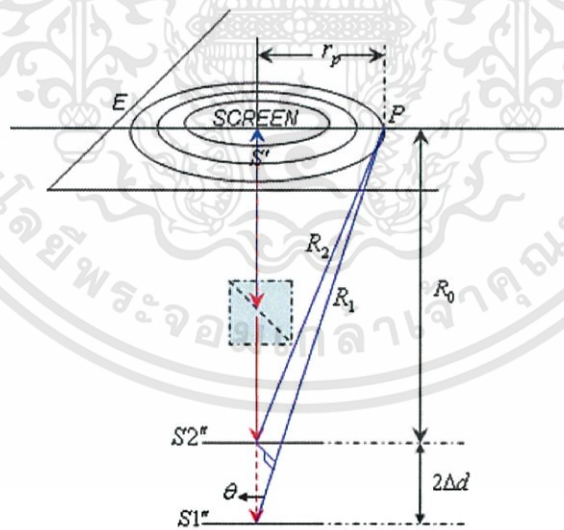
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องเรียนเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในหลักพื้นฐานของไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ รูปที่ 2.1 แหล่งกำเนิดแสง  $S$  จะถูกแบ่งลำแสง 50% โดย  $BS$  ที่วางขวาง 45 องศากับลำแสง ลำแสงที่ถูกส่งผ่านจะเดินทางไปตกกระทบกระจก  $M1$  และสะท้อนกลับมายัง  $BS$  และส่วนหนึ่งหักเหเป็นมุม 90 องศาไปตกกระทบบนฉาก  $E$  (แสงอีกส่วนหนึ่งจะส่งผ่านไปยังแหล่งกำเนิดแสงแต่เราจะไม่สนใจในกรณีนี้) ลำแสงจากแหล่งกำเนิดส่วนที่สะท้อนจาก  $BS$  จะเดินทางไปตกกระทบกระจก  $M2$  และจะสะท้อนกลับมาอีกครั้งโดยกระจก แสงที่สะท้อนจากกระจกส่วนหนึ่งจะส่งผ่าน  $BS$  ไปตกกระทบฉากที่จุด  $E$  (แสงอีกส่วนหนึ่งจะสะท้อนไปยังแหล่งกำเนิดแสงแต่เราจะไม่สนใจในกรณีนี้) แสงทั้งสองขบวนที่ไปตกกระทบฉากที่จุด  $E$  จะเกิดการแทรกสอดกันเป็นริ้วการแทรกสอดขึ้นที่ฉาก

เนื่องจากไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์นั้น เป็นการแทรกสอดแบบแบ่งแอมพลิจูด (Amplitude division) และ Beam Splitter ที่ใช้เป็นแบบแบ่งแสง 50:50 ดังนั้น  $I_1 = I_2$  จะได้เป็นสมการ

$$I = 4I_0 \cos^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) \quad (1)$$

สมการที่ (1) เป็นเทอมที่เราสนใจในการพิจารณา ริ้วการแทรกสอดที่เกิดขึ้น



รูปที่ 2.2 รูปแบบของริ้วการแทรกสอดแบบวงกลม

พิจารณารูปที่ 2.2 ลักษณะทางเรขาคณิตของริ้วการแทรกสอดแบบวงกลมเกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นจุด เราเขียนให้อยู่ในระนาบเดียวกันทั้งหมด ดังนั้นจากแหล่งกำเนิดแสง  $S$  แทนด้วยแหล่งกำเนิดแสงเสมือน  $S'$  ในรูปแบบที่สะท้อนใน  $BS$  การสะท้อนของ  $M1'$  จะได้  $S1''$  ในขณะที่การสะท้อนของ  $M2$  จะได้  $S2''$  ความแตกต่างระหว่างทางเดินแสง  $R1$  และ  $R2$  ของไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแทรกสอดทำให้เกิดริ้วการแทรกสอดแบบวงกลมขึ้นในระนาบที่ฉาก  $E$  พิจารณาที่จุด  $P$  บนริ้วการแทรกสอดแบบวงกลม

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

ที่จุดกลางของฉากจะเป็นริ้วสว่าง เมื่อความต่างระยะทางเดินแสงเป็นจำนวนเต็มของความยาวคลื่น เงื่อนไขสำหรับความเข้มแสงสูงสุดที่จุดกลางฉากเขียนเป็นความสัมพันธ์ดังสมการ

$$2\Delta d = n\lambda \quad (3)$$

เมื่อ  $n$  อันดับของริ้วการแทรกสอด ดังนั้น

$$\Delta d = \frac{\Delta n \lambda}{2} \quad (4)$$

ถ้าระยะห่างระหว่าง  $M_1'$  กับ  $M_2$  เป็นระยะ  $\Delta d$  จะทำให้ริ้วการแทรกสอดที่จุดศูนย์กลางหดตัวเข้าหรือขยายตัวออกที่ละริ้ว จะสามารถนับจำนวนริ้วการแทรกสอดได้ ถ้ากำหนดขีดอ้างอิงไว้โดยการนับจำนวนริ้วการแทรกสอดที่เปลี่ยนไป  $\Delta n$  ก็จะสามารถคำนวณหาระยะทางที่กระจกเลื่อนไปได้จากสมการที่ (4) โดยที่เราทราบค่าที่แน่นอนของความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้

## 2.2 ทฤษฎีโคฮีเรนซ์ของแสงเลเซอร์

### 2.2.1 คุณสมบัติโคฮีเรนซ์ของแสงเลเซอร์

แสงเลเซอร์เกิดขึ้นจากการเปล่งแสงถูกเร้าโฟตอนจึงมีความเป็นระเบียบสูง คลื่นแสงมีลักษณะที่พร้อมเพรียงกัน และเมื่อมีการขยายสัญญาณแสงด้วยแควิตี้แสงโฟตอนจึงมีจำนวนมากหรือแสงมีความเข้มสูงและวิ่งในทิศทางที่แน่นอน คือตั้งฉากกับกระจกที่ใช้ทำเป็นแควิตี้เท่านั้น จึงมีลักษณะเป็นลำแสง หากเปรียบเทียบกับกองทหารก็เป็นหน่วยทหารที่มีระเบียบเดินแถวเป็นหน้ากระดานด้วยจังหวะการเดินที่พร้อมเพรียงกันและก้าวเท่าๆกันเดินไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นแสงเลเซอร์จึงมีคุณสมบัติเด่นหลักๆ 4 ประการคือ

1. เป็นแสงสีเดียว (มีค่าความยาวคลื่นเดียว)
2. มีเฟสเดียวกัน (มีหน้าคลื่น)
3. มีทิศทางแน่นอน (เป็นลำแสง)
4. มีความเข้มสูง (จำนวนโฟตอนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่สูง)

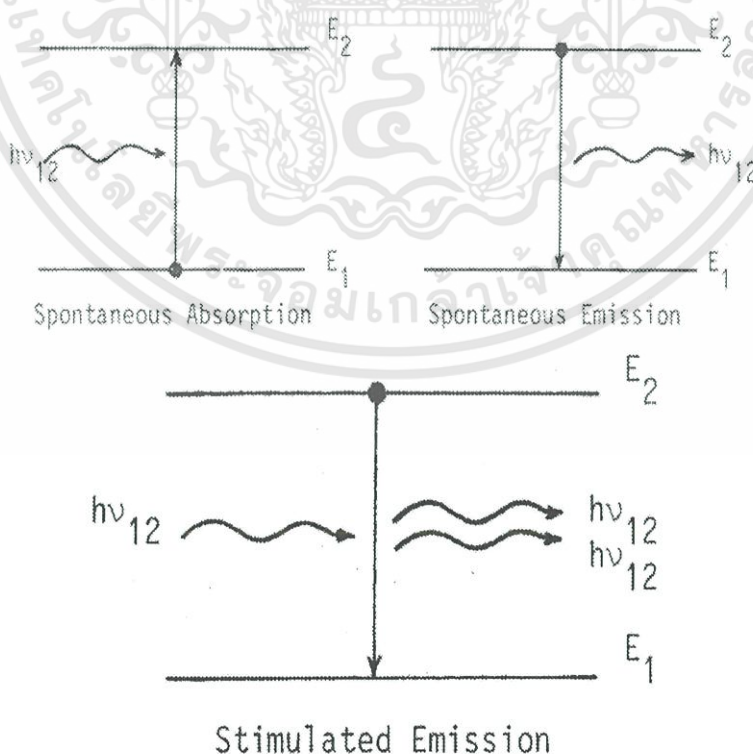
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติทั้ง 4 นี้เรียกรวมๆกันว่า คุณสมบัติโคฮีเรนต์ (Coherent) เลเซอร์จึงเป็นแหล่งกำเนิดแสงแบบโคฮีเรนต์ (Coherent Light Source) นั่นเอง จุดเด่นทั้ง 4 นี้มีส่วนสำคัญที่ทำให้แสงเลเซอร์เกิดประโยชน์ในด้านประยุกต์ เช่น การที่แสงเลเซอร์มีค่าความยาวคลื่นที่แน่นอนจึงทำให้เลเซอร์ถูกใช้เป็นมาตรฐาน และใช้ในงานที่ต้องการความแม่นยำสูง ได้แก่ การวัดระยะทาง หนาคลื่นที่เป็นระเบียบของแสงเลเซอร์ถูกนำมาใช้เพื่อบันทึกข้อมูลของภาพสามมิติ ลักษณะเป็นลำแสงมีประโยชน์ต่อการนำร่องการสื่อสารและความเข้มสูงของแสงเลเซอร์มีที่ใช้งานด้านเจาะตัดเชื่อมวัสดุได้ รวมทั้งการผ่าตัดด้วยแสงเลเซอร์ในการแพทย์อีกด้วย

## 2.3 เลเซอร์ก๊าซ (Gas Laser)

เลเซอร์ก๊าซ หลังจากที่มีการประดิษฐ์เลเซอร์ก๊าซฮีเลียม-นีออน (He-Ne) การขยายตัวของก๊าซอื่นๆ หลายชนิดพบว่าการขยายแสงที่มีความเป็นโคฮีเรนต์ หรือ ความสอดคล้องกัน เลเซอร์ก๊าซใช้ก๊าซที่แตกต่างกันจำนวนมากที่ได้รับการสร้างขึ้นและนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ที่หลากหลาย ฮีเลียม-นีออนเลเซอร์ (He-Ne Laser) สามารถทำงานที่จำนวนของความยาวคลื่นที่แตกต่างกันได้ แต่ส่วนใหญ่จะถูกออกแบบมาที่ความยาวคลื่น 633 นาโนเมตร

### 2.3.1 กระบวนการเปล่งและดูดกลืนแสง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 2.3 การเปล่งแสงแบบถูกเร้า (Stimulated Emission)  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปล่งแสงแบบถูกเร้า (Stimulated Emission) ระบบอะตอมหรือโมเลกุลที่ใช้ทำเลเซอร์จะมีชั้นพลังงานต่างๆ อยู่ โดยที่มีชั้นพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการเกิดแสงเลเซอร์อยู่ ๒ ชั้นพลังงาน โดยปกติอะตอมหรือโมเลกุลจะอยู่ที่ชั้นพลังงานต่ำ (E1) เสมอ เพราะมีเสถียรภาพกว่าเมื่อมีการป้อนพลังงานให้แก่ระบบอะตอมหรือโมเลกุล เช่น การฉายแสงที่มีพลังงานที่พอดีกับผลต่างระหว่างชั้นพลังงานทั้งสอง (E2 - E1) อะตอมและโมเลกุลจะถูกกระตุ้นให้ขึ้นไปอยู่ที่ชั้นพลังงานที่สูงกว่า (E2) ปรากฏการณ์เช่นนี้คือ การดูดกลืนแสง (Absorption)

เมื่ออะตอมหรือโมเลกุลมีพลังงานสูงขึ้นเนื่องจากการดูดกลืนแสงแล้ว จะคงสภาพเช่นนั้นได้ด้วยระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น เพราะสถานะที่พลังงานสูง (E2) นี้ไม่เสถียร เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง อะตอมและโมเลกุลเหล่านั้นก็จะตกกลับมาอยู่ที่ชั้นพลังงานต่ำ (E1) ตามเดิม โดยคายพลังงานออกมาเท่ากับผลต่างระหว่างชั้นพลังงานทั้งสอง (E2 - E1) หรือเปล่งแสงกลับออกมานั่นเอง การเปล่งแสงเช่นนี้เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติของอะตอมและโมเลกุลนั้นๆ จึงเรียกปรากฏการณ์เช่นนี้ว่า การเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง (Spontaneous Emission)

แต่การเปล่งแสงแบบถูกเร้า (Stimulated Emission) ซึ่งเป็นกลไกหลักของเลเซอร์นั้น เริ่มต้นจากการดูดกลืนแสงเพื่อให้อะตอมหรือโมเลกุลขึ้นไปอยู่ที่ชั้นพลังงานสูงเช่นกัน แทนที่จะให้อะตอมหรือโมเลกุลตกลงมาเอง เมื่อเวลาผ่านไปจะมีการฉายแสงเข้าไปในระบบอะตอมหรือโมเลกุลที่มีพลังงานเท่ากับผลต่างของชั้น พลังงานทั้งสอง (E2 - E1) แต่แสงที่ฉายเข้าไปนี้ ไม่ถูกดูดกลืนโดยระบบ แสงนี้เร่งเร้าให้อะตอมหรือโมเลกุลคายพลังงานก่อนเวลา แสงที่เปล่งออกมากับแสงที่เราจึงออกมาจากระบบพร้อมกันมีพลังงานเท่ากัน และมีความพร้อมเพรียงกันทั้งทิศทาง การเคลื่อนที่ และเฟสของคลื่นแสง

### 2.3.2 เลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ( Helium – Neon Laser )

เป็นเลเซอร์ก๊าซชนิดแรก ประกอบด้วยก๊าซฮีเลียม (He) และนีออน (Ne) ในอัตราส่วนประมาณ 10:1 แหล่งกำเนิดพลังงานที่กระตุ้นให้เกิดประชากรผกผัน (มักเรียกอีกชื่อว่า pumping source) ที่ใช้จะเป็น electrical discharge คือทำให้มีอิเล็กตรอนวิ่งผ่านและชนกับก๊าซที่บรรจุอยู่ในหลอดเลเซอร์ แสงเลเซอร์ที่ได้จะเป็นสีแดง ที่มีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร (หรือ  $632.8 \times 10^{-9}$  เมตร) และมีกำลังประมาณ 0.5 – 50 มิลลิวัตต์ ผู้สร้างสามารถเลือกการเปลี่ยนชั้นพลังงานของอะตอมให้เกิดเป็นเลเซอร์สีเขียว และอินฟราเรด ได้ แต่ไม่นิยม เพราะแสงดังกล่าวเกิดยากกว่าและต้องใช้ต้นทุนสูง

## 2.4 เลเซอร์ของแข็ง ( Solid-State Laser )

เลเซอร์ชนิดนี้จะใช้ตัวกลางที่เป็นของแข็ง โดยเลเซอร์ตัวแรกที่ถูกสร้างขึ้นโดย ทีโอดอร์ ไมแมน (Theodore Maiman) ก็เป็นของแข็งด้วยเช่นกัน ของแข็งที่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบสำคัญของเลเซอร์ มีทั้ง เลเซอร์ทับทิม เลเซอร์แฮ็ค เลเซอร์แก้ว ฯลฯ โดยจะมีการใส่สารเจือปนลงไปในวัสดุดังกล่าวด้วย ทับทิมจะใช้โครเมียมเป็นสารเจือปนส่วนแฮ็คและแก้วจะใช้นีโอดีเนียมเป็นสารเจือปน

### 2.4.1 กระบวนการปั๊มด้วยแสง

การปั๊มพลังงานของเลเซอร์ของแข็งจะทำโดยใช้หลอดไฟซินอน หรือหลอดไฟทังสแตน ฉาย โดยมี Optical Cavity ทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนแสง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการปั๊มพลังงาน ตัวสะท้อนแสงนี้มีลักษณะเป็นกระบอกที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปวงรี และมีการวางหลอดไฟ และตัวกลางเลเซอร์ไว้ที่ตำแหน่งของจุดโฟกัสของวงรี

### 2.4.2 แสงแบบไม่เป็นเชิงเส้น ( Nonlinear Optics )

แสงเลเซอร์ (LASER) ย่อมาจากคำว่า Light Amplification by Stimulate Emission of Radiation เป็นแสงที่ผลิตขึ้นโดยไปกระตุ้นอะตอมของธาตุ หรือสารประกอบบางชนิดด้วยพลังงานแสง เช่น อะตอมของ โครเมียมในผลึกทับทิม อะตอมของกำซัลไฟเลียม เป็นต้น โดยที่ความหมายของเลเซอร์ตามหลักวิชาการคือ การขยายแสงโดยการปล่อยรังสีที่ถูกกระตุ้น แสงเลเซอร์เป็นแสงที่มีความถี่หรือความยาวคลื่นเดียว ซึ่งหมายความว่ามีความถี่เดียว และในการเคลื่อนที่ รังสีของแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจำนวนมาก ซึ่งประกอบเป็นลำแสงเลเซอร์นั้นจะเคลื่อนไปด้วยกันอย่างพร้อมเพรียงกันโดยตลอดตามภาษาวิชาการเราจะกล่าวว่าแสงเลเซอร์เป็นแสงที่โมโนโครเมติก (MONOCHROMATIC)

แสงเลเซอร์เป็นแสงที่มีความยาวคลื่นเพียงหนึ่งเดียว (แสงจากหลอดไฟฟ้า แสงหรือเทียนนั้นประกอบด้วยคลื่นที่มีความยาวคลื่น ต่างๆ มากมาย) และนอกจากการมีคุณสมบัติเป็นแสง "บริสุทธิ์" แล้ว มันยังมีคุณสมบัติพิเศษอีกประการหนึ่งคือ คลื่นที่ส่งออกมาจาก อุปกรณ์เลเซอร์ จะเรียงตัวทยอยออกมาอย่างเป็นระเบียบ ดังนั้น หากเราโฟกัสแสง เลเซอร์มันจะมีความเข้มสูงมากกว่าความเข้มแสงที่ผิวดวงอาทิตย์ถึงพันล้านเท่า การมีความเข้มสูงเช่นนี้ ทำให้มันสามารถเปลี่ยนคุณสมบัติของตัวกลางที่มันเคลื่อนที่ผ่านได้ ดังนั้น เราจึงเห็นปรากฏการณ์ที่แสงเลเซอร์สีแดง หลังจากผ่านแท่งแก้วแล้วกลายเป็นแสง เลเซอร์สีม่วงได้ วิทยาการด้าน Non-linear Optics นี้ กำลังเป็นวิทยาการที่สำคัญมากในงานวิทยาศาสตร์ปัจจุบัน

### 2.4.3 เลเซอร์ Nd : YVO<sub>4</sub> ( Nd : YVO<sub>4</sub> Laser )

เป็นหนึ่งในผลึกมีประสิทธิภาพมากที่สุดของเลเซอร์ ในปัจจุบันไดโอดเลเซอร์เป็นเลเซอร์สถานะของแข็ง กระบวนการปล่อยก๊าซที่มีขนาดใหญ่เข้ามาส่วนที่ *lasing* ความยาวคลื่นค่าการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมประสิทธิ์การดูดกลืนสูงและแบนด์วิดท์กว้าง การดูดซึมที่ความยาวคลื่นจะปั๊มเลเซอร์เกณฑ์และเหนี่ยวนำให้เกิดความเสียหายสูงเช่นเดียวกับที่ดีทางกายภาพ แสงและสมบัติทางกลให้  $Nd:YVO_4$  คริสตัลที่ดีสำหรับการใช้พลังงานที่สูงและมีเสถียรภาพ และไดโอดค่าใช้จ่ายที่มีประสิทธิภาพสูง เลเซอร์สถานะของแข็ง ความคืบหน้าล่าสุดได้แสดงให้เห็นว่า  $Nd:YVO_4$  IR สามารถผลิตที่มีประสิทธิภาพและมีเสถียรภาพ, สีเขียว, สีน้ำเงิน กับการออกแบบของ  $Nd:YVO_4$  และผลึกสองเท่า ความถี่เมื่อเทียบกับ  $Nd:YAG$  และ  $Nd:YLF$  สำหรับการใช้เลเซอร์ไดโอดสูบน้ำ,  $Nd:YVO_4$  เลเซอร์มีข้อดีของการพึ่งพาที่ลดลงในความยาวคลื่นปั๊มและการควบคุมอุณหภูมิของเลเซอร์ไดโอดวงกว้าง การดูดซึมอย่างมีประสิทธิภาพความลาดชันสูงกว่าเกณฑ์ *lasing* ต่ำกว่าชั่วเป็นเส้นตรง เอาท์พุทปล่อยก๊าซเรือนกระจกและโหมดเดียว สำหรับการใช้งานในการออกแบบที่มีขนาดกะทัดรัดมากขึ้น และเอาท์พุทเดียวยาวโหมดมีความจำเป็น  $Nd:YVO_4$  แสดงให้เห็นถึงข้อได้เปรียบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงอื่น ๆ ที่ใช้กันทั่วไปผลึกเลเซอร์ ไดโอดเลเซอร์สูบน้ำ  $Nd:YVO_4$  เลเซอร์ขนาดกะทัดรัดและความถี่สองเท่าของสีเขียวเลเซอร์สีแดงหรือสีน้ำเงิน จะเป็นเครื่องมือเลเซอร์ที่เหมาะสมสำหรับการใช้เครื่องจักรในการประมวลผลวัสดุสเปกโทรสโกปตรวจสอบเวเฟอร์แสดงแสงสีการวินิจฉัยทางการแพทย์, การพิมพ์เลเซอร์และมากที่สุด การใช้งานอย่างแพร่หลาย

## 2.5 เลเซอร์ไดโอด (Laser Diode)

เลเซอร์ไดโอดเป็นเลเซอร์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ ซึ่งทำจากสารประกอบ เช่น GaAs (แกลเลียมอาร์เซไนด์) GaAlAs (แกลเลียมอะลูมิเนียมอาร์เซไนด์) In GaAsP (อินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ฟอสไฟด์) ซึ่งมีค่าแถบพลังงานต่างๆ กัน จึงเป็นตัวกำหนดค่าความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ เลเซอร์ไดโอดแต่ละชนิดจึงมีการใช้งานที่แตกต่างกันตามลักษณะ และคุณสมบัติของค่าความยาวคลื่นนั้นๆ เช่น เลเซอร์ไดโอดที่ให้สีแดง จะใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นต้น การปั๊มพลังงานของเลเซอร์ชนิดนี้ จะทำโดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านรอยต่อ P-N ทำให้เกิดการรวมตัวกันของพาหะนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำ และมีการขยายความเข้มด้วย Optical Cavity ทำให้เกิดแสงเลเซอร์ขึ้น

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยเรื่องการวัดความยาวโคฮีเรนซ์ด้วยวิธีไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ มีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาคุณสมบัติความเป็น โคฮีเรนซ์ของแสงเลเซอร์และศึกษาระบบไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์

ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบการทดลองและการเก็บผลการทดลอง

ขั้นตอนที่ 3 ทำการทดลอง, วิเคราะห์และวิจารณ์ผลการทดลอง ซึ่งในแต่ละขั้นตอน มีรายละเอียดดังนี้

### 3.1 การศึกษาคุณสมบัติความเป็นโคฮีเรนซ์ของแสงเลเซอร์และศึกษาระบบไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์

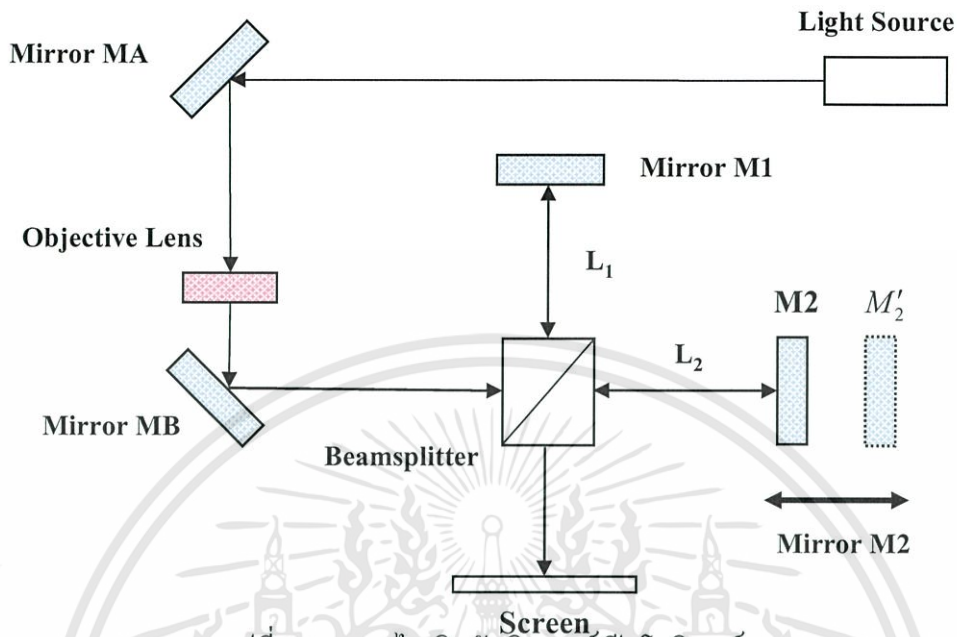
#### 3.1.1 คุณสมบัติโคฮีเรนซ์ของแสงเลเซอร์

แสงเลเซอร์เกิดขึ้นจากการเปล่งแสงถูกเร้าโฟตอนจึงมีความเป็นระเบียบสูง คลื่นแสงมีลักษณะที่พร้อมเพรียงกัน และเมื่อมีการขยายสัญญาณแสงด้วยแควิตี้แสงโฟตอนจึงมีจำนวนมากหรือแสงมีความเข้มสูงและวิ่งในทิศทางที่แน่นอน คือตั้งฉากกับกระจกที่ใช้ทำเป็นแควิตี้เท่านั้น จึงมีลักษณะเป็นลำแสง หากเปรียบเทียบกับกองทหารก็เป็นหน่วยทหารที่มีระเบียบเดินแถวเป็นหน้ากระดานด้วยจังหวะการเดินที่พร้อมเพรียงกันและก้าวเท่าๆกันเดินไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นแสงเลเซอร์จึงมีคุณสมบัติเด่นหลักๆ 4 ประการ คือ

1. เป็นแสงสีเดียว (มีค่าความยาวคลื่นเดียว)
2. มีเฟสเดียวกัน (มีหน้าคลื่น)
3. มีทิศทางแน่นอน (เป็นลำแสง)
4. มีความเข้มสูง (จำนวนโฟตอนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่สูง)

คุณสมบัติทั้ง 4 นี้เรียกรวมๆกันว่า คุณสมบัติโคฮีเรนซ์ (Coherent) เลเซอร์จึงเป็นแหล่งกำเนิดแสงแบบ โคฮีเรนซ์ (Coherent Light Source)

### 3.1.2 ระบบไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์



รูปที่ 3.1 ระบบไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์

### 3.2 ออกแบบการทดลอง

ในการทดลองงานวิจัยนี้เป็นการทดลองเกี่ยวกับการวัดความเป็นโคฮีเรนต์ของเลเซอร์แต่ละชนิด โดยใช้วิธีไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ในการวัดโคฮีเรนต์ของเลเซอร์ ดังนั้นการออกแบบการทดลองจึงเป็นแบ่งได้ดังนี้

- 3.2.1 วัดโคฮีเรนต์ของเลเซอร์ก๊าซในการทดลองใช้เลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ( He-Ne Laser )
- 3.2.2 วัดโคฮีเรนต์ของเลเซอร์ของแข็งในการทดลองใช้เลเซอร์ Nd:YVO<sub>4</sub>
- 3.3.3 วัดโคฮีเรนต์ของเลเซอร์สารกึ่งตัวนำในการทดลองใช้เลเซอร์ไดโอด ( Laser Diode )

#### 3.2.1 วัดโคฮีเรนต์ของเลเซอร์ก๊าซในการทดลองใช้เลเซอร์ฮีเลียม-นีออน

( He-Ne Laser :: Multi-Mode )

ทำการวัดโคฮีเรนต์ของเลเซอร์ก๊าซหรือเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน โดยใช้ระบบไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ในการทดลอง

- อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เลเซอร์ฮีเลียม-นีออน
2. กระจก 4 อัน
3. เลนส์วัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 4. ตัวแยกแสง (Beam Splitter) การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. รางเลื่อนกระจก

## 6. ฉาก

- การบันทึกผลการทดลอง

ในการทดลองแต่ละครั้งนั้น จะทำการบันทึกชนิดของเลเซอร์ ระยะของการเลื่อนกระจก และผลที่ได้จากการวัดแสง โคฮีเรนทีลง ในตารางบันทึกผล

### 3.2.2 วัดโคฮีเรนทีของเลเซอร์ก๊าซในการทดลองใช้เลเซอร์ฮีเลียม-นีออน

( He-Ne Laser :: TEM<sub>00</sub>)

ทำการวัด โคฮีเรนทีของเลเซอร์ก๊าซหรือเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน โดยใช้ระบบไมเคิลสัน อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ในการทดลอง

- อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เลเซอร์ฮีเลียม-นีออน
2. กระจก 4 อัน
3. เลนส์วัตถุ
4. ตัวแยกแสง (Beam Splitter)
5. รางเลื่อนกระจก
6. ฉาก

- การบันทึกผลการทดลอง

ในการทดลองแต่ละครั้งนั้น จะทำการบันทึกชนิดของเลเซอร์ ระยะของการเลื่อนกระจก และผลที่ได้จากการวัดแสง โคฮีเรนทีลง ในตารางบันทึกผล

### 3.2.3 วัดโคฮีเรนทีของเลเซอร์ของแข็งในการทดลองใช้เลเซอร์ Nd:YVO<sub>4</sub>

ทำการวัด โคฮีเรนทีของเลเซอร์ของแข็งหรือเลเซอร์Nd:YVO<sub>4</sub> โดยใช้ระบบไมเคิลสัน อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ในการทดลอง

- อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เลเซอร์ Nd:YVO<sub>4</sub>
2. กระจก 4 อัน
3. เลนส์วัตถุ
4. ตัวแยกแสง (Beam Splitter)
5. รางเลื่อนกระจก

## 6. ฉาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การบันทึกผลการทดลอง

ในการทดลองแต่ละครั้งนั้น จะทำการบันทึกชนิดของเลเซอร์ ระยะของการเลื่อนกระจก และผลที่ได้จากการวัดแสงโคฮีเรนท์ลงในตารางบันทึกผล

### 3.2.4 วัดโคฮีเรนท์ของเลเซอร์สารกึ่งตัวนำในการทดลองใช้เลเซอร์ไดโอด

( Laser Diode สีน้ำเงิน )

ทำการวัดโคฮีเรนท์ของเลเซอร์สารกึ่งตัวนำหรือเลเซอร์ไดโอด โดยใช้ระบบไมเคิลสัน อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ในการทดลอง

- อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เลเซอร์ไดโอด
2. สวิตช์เปิด-ปิดเลเซอร์ไดโอด
3. กระจก 4 อัน
4. เลนส์วัตถุ
5. ตัวแยกแสง (Beam Splitter)
6. รางเลื่อนกระจก
7. ฉาก

- การบันทึกผลการทดลอง

ในการทดลองแต่ละครั้งนั้น จะทำการบันทึกชนิดของเลเซอร์ ระยะของการเลื่อนกระจก และผลที่ได้จากการวัดแสงโคฮีเรนท์ลงในตารางบันทึกผล

### 3.2.5 วัดโคฮีเรนท์ของเลเซอร์สารกึ่งตัวนำในการทดลองใช้เลเซอร์ไดโอด ( Laser Diode สีแดง )

ทำการวัดโคฮีเรนท์ของเลเซอร์สารกึ่งตัวนำหรือเลเซอร์ไดโอด โดยใช้ระบบไมเคิลสัน อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ในการทดลอง

- อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เลเซอร์ไดโอด
2. สวิตช์เปิด-ปิดเลเซอร์ไดโอด
3. กระจก 4 อัน
4. เลนส์วัตถุ
5. ตัวแยกแสง (Beam Splitter)
6. รางเลื่อนกระจก
7. ฉาก

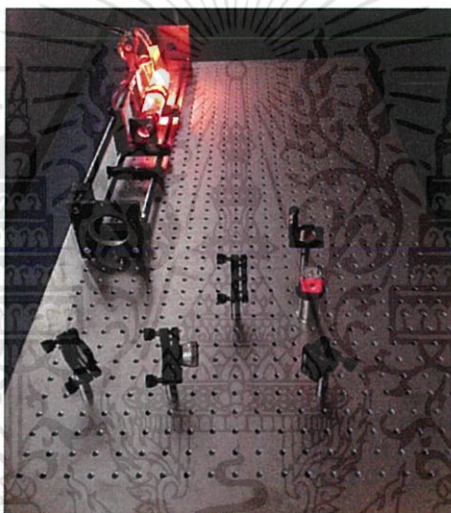
- การบันทึกผลการทดลอง

ในการทดลองแต่ละครั้งนั้น จะทำการบันทึกชนิดของเลเซอร์ ระยะของการเลื่อนกระจก และผลที่ได้จากการวัดแสงโคฮีเรนต์ลงในตารางบันทึกผล

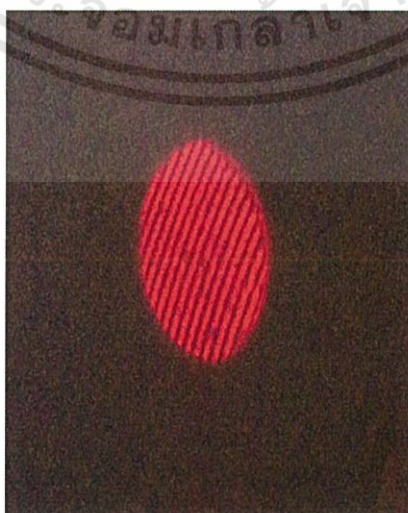
### 3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การทดลองตอนที่ 3.2.1 วัดโคฮีเรนต์ของเลเซอร์ก๊าซในการทดลองใช้เลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ( He-Ne Laser :: Multi-Mode )

1. ออกแบบระบบทางเดินแสงในการทดลองนี้ใช้ระบบไมเคิลสันอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์
2. จัดระบบให้แสงออกตรงตามทฤษฎีดังนี้



รูปที่ 3.2 ระบบไมเคิลสันอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์



รูปที่ 3.3 รูปการเกิดการแทรกสอดของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปิดเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนให้แสงเดินทางมาที่กระจกตัวที่ (M1) แล้วผ่านเลนส์วัตถุ เมื่อแสงเดินทางผ่านเลนส์วัตถุแสงก็จะขยายและเดินทางสู่กระจกตัวที่2 (M2) จากนั้นแสงจะเดินทางไปยังตัวแยกแสง (Beam Splitter) โดยแสงจะแยกออกเป็น2ทาง ซึ่งจะไปสะท้อนกับกระจกตัวที่3และ4 ตามลำดับมายังฉากรับแสง

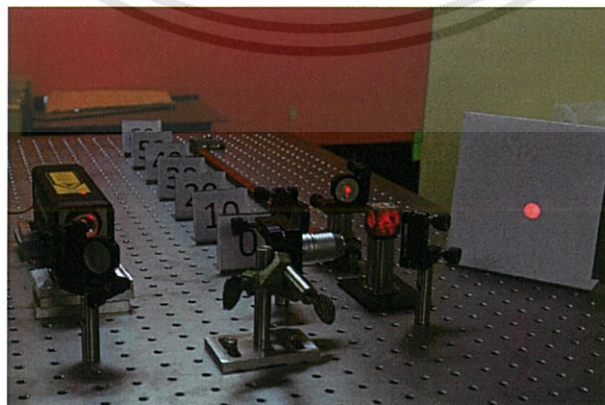
3. เลื่อนกระจกตัวที่4 (M4) ไปตามรางเพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์

### 3.3.2 การทดลองตอนที่ 3.2.2 วัดโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ก๊าซในการทดลองใช้เลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ( He-Ne Laser :: TEM<sub>00</sub>)

1. ออกแบบระบบทางเดินแสงในการทดลองนี้ใช้ระบบไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์
2. จัดระบบให้แสงออกตรงตามทฤษฎีดังนี้



รูปที่ 3.4 เลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ( He-Ne Laser :: TEM<sub>00</sub>)



รูปที่ 3.5 การจัดอุปกรณ์ของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ( He-Ne Laser :: TEM<sub>00</sub>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปิดเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนให้แสงเดินทางมาที่กระจกตัวที่ (M1) แล้วผ่านเลนส์วัตถุ เมื่อแสงเดินทางผ่านเลนส์วัตถุแสงก็จะขยายและเดินทางสู่กระจกตัวที่ 2 (M2) จากนั้นแสงจะเดินทางไปยังตัว แยกแสง (Beam Splitter) โดยแสงจะแยกออกเป็น 2 ทาง ซึ่งจะไปสะท้อนกับกระจกตัวที่ 3 และ 4 ตามลำดับมายังฉากรับแสง

3. เลื่อนกระจกตัวที่ 4 (M4) ไปตามรางเพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์

### 3.3.3 การทดลองตอนที่ 3.2.3 วัดโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ของแข็งในการทดลองใช้เลเซอร์ Nd:YVO<sub>4</sub> ( Nd:YVO<sub>4</sub> Laser )

1. ออกแบบระบบทางเดินแสงในการทดลองนี้ใช้ระบบ ไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์
2. จัดระบบให้แสงออกตรงตามทฤษฎีดังนี้



รูปที่ 3.6 เลเซอร์ Nd:YVO<sub>4</sub> ( Nd:YVO<sub>4</sub> Laser )



รูปที่ 3.7 การจัดการอุปกรณ์เลเซอร์ Nd:YVO<sub>4</sub> ( Nd:YVO<sub>4</sub> Laser )

เปิดเลเซอร์ Nd:YVO<sub>4</sub> ให้แสงเดินทางมาที่กระจกตัวที่ (M1) แล้วผ่านเลนส์วัตถุ เมื่อแสงเอกซเดินทางผ่านเลนส์วัตถุแสงก็จะขยายและเดินทางสู่กระจกตัวที่ 2 (M2) จากนั้นแสงจะเดินทางไปยังการค่า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแยกแสง (Beam Splitter) โดยแสงจะแยกออกเป็น 2 ทาง ซึ่งจะไปสะท้อนกับกระจกตัวที่ 3 และ 4 ตามลำดับมายังฉากรับแสง

3. เลื่อนกระจกตัวที่ 4 (M4) ไปตามรางเพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์

**3.3.4 การทดลองตอนที่ 3.2.4 วัดโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์สารกึ่งตัวนำในการทดลองใช้เลเซอร์ไดโอด ( Laser Diode สีน้ำเงิน )**

1. ออกแบบระบบทางเดินแสงในการทดลองนี้ใช้ระบบไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์
2. จัดระบบให้แสงออกตรงตามทฤษฎีดังนี้



รูปที่ 3.8 เลเซอร์ไดโอด ( Laser Diode สีน้ำเงิน )

เปิดเลเซอร์ไดโอด ( Laser Diode สีน้ำเงิน ) ให้แสงเดินทางมาที่กระจกตัวที่ (M1) แล้วผ่านเลนส์วัตถุ เมื่อแสงเดินทางผ่านเลนส์วัตถุแสงก็จะขยายและเดินทางสู่กระจกตัวที่ 2 (M2) จากนั้นแสงจะเดินทางไปยังตัวแยกแสง (Beam Splitter) โดยแสงจะแยกออกเป็น 2 ทาง ซึ่งจะไปสะท้อนกับกระจกตัวที่ 3 และ 4 ตามลำดับมายังฉากรับแสง

3. เลื่อนกระจกตัวที่ 4 (M4) ไปตามรางเพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์

**3.3.5 การทดลองตอนที่ 3.2.5 วัดโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์สารกึ่งตัวนำในการทดลองใช้เลเซอร์ไดโอด ( Laser Diode สีแดง )**

1. ออกแบบระบบทางเดินแสงในการทดลองนี้ใช้ระบบไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์
2. จัดระบบให้แสงออกตรงตามทฤษฎีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 เลเซอร์ไดโอด ( Laser Diode สีแดง )

เปิด เลเซอร์ไดโอด ( Laser Diode สีแดง ) ให้แสงเดินทางมาที่กระจกตัวที่ (M1) แล้วผ่านเลนส์วัตถุ เมื่อแสงเดินทางผ่านเลนส์วัตถุแสงก็จะขยายและเดินทางสู่กระจกตัวที่2 (M2) จากนั้นแสงจะเดินทางไปยังตัวแยกแสง (Beam Splitter) โดยแสงจะแยกออกเป็น2 ทาง ซึ่งจะไปสะท้อนกับกระจกตัวที่3และ4 ตามลำดับมายังฉากรับแสง

3. เลื่อนกระจกตัวที่4 (M4) ไปตามรางเพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของโคฮีเรนซ์ของ เลเซอร์

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในการทดลองงานวิจัยได้มีการออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์เพื่อหาความยาวโคฮีเรนซ์ โดยใช้เลเซอร์ต่างสถานะเป็นแหล่งกำเนิด ซึ่งประกอบด้วยสถานะก๊าซ สถานะของแข็ง และสถานะกึ่งตัวนำ โดยให้แสงที่ออกจากแหล่งกำเนิดเดินทางผ่านกระจกเพื่อให้แสงสะท้อนไปยัง Objective Lens จากนั้นแสงจะเดินทางไปยัง Beam Splitter (BS) ทำให้ลำแสงแยกเป็น 2 ลำ สะท้อนกระจกมายังฉากรับแสง โดยค่าที่วัดได้นั้นสามารถนำมาคำนวณหาความกว้างของสเปกตรัม (Spectral Width) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ได้ดังนี้

#### 4.1 ผลการวัดความยาวโคฮีเรนซ์ของแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ต่างชนิด

จากการทดลอง วัดความยาวโคฮีเรนซ์ของแสงโดยใช้ไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ โดยแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้วัด ได้แก่

- He-Ne Laser (Multi-Mode)
- He-Ne Laser ( $TEM_{00}$ )
- Nd:YVO<sub>4</sub> Laser (Second Harmonic)
- Laser Diode

โดยการทดลองแรกทำการวัดความยาวโคฮีเรนซ์ของแสงสีแดงจากเลเซอร์ฮีเลียมนีออน ที่มีความยาวคลื่น 632.8 nm ซึ่งผลที่ได้ แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1.1 ผลการทดลองวัดความยาวโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ฮีเลียมนีออน

He-Ne Laser (Multi-Mode)

Power : 4 mW

แหล่งกำเนิด	ความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) (nm)	ความกว้างของสเปกตรัม ( $\Delta\lambda$ ) (nm)	ความยาวโคฮีเรนซ์ (cm)
He-Ne Laser (Multi-Mode)	632.8	0.0069	6.00
			5.50
			6.00
			6.00
			5.50

ค่าเฉลี่ย (cm)	Standard deviation (S.D)	Uncertainty (cm)
5.80	0.15	$\pm 0.007$

จากตารางที่ 4.1.1 วัดความยาวโคฮีเรนซ์ของแสงสีแดงจากเลเซอร์ฮีเลียมนีออน (Multi-Mode) ที่มีความยาวคลื่น 632.8 nm พบว่า จากการทดลองวัดความยาวโคฮีเรนซ์ของแสงสีแดงจากเลเซอร์ฮีเลียมนีออน (Multi-Mode) มีค่าเท่ากับ 5.8 cm  $\pm 0.007$  และเมื่อคำนวณค่าความกว้างของสเปกตรัม ( $\Delta\lambda$ ) มีค่าเท่ากับ 0.0069 nm

ตารางที่ 4.1.2 ผลการทดลองวัดความยาวโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ฮีเลียมนีออน

He-Ne Laser ( $TEM_{00}$ )

Power : 1 mW

แหล่งกำเนิด	ความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) (nm)	ความกว้างของสเปกตรัม ( $\Delta\lambda$ ) (nm)	ความยาวโคฮีเรนซ์ (cm)
He-Ne Laser ( $TEM_{00}$ )	632.8	0.0013	29.00
			31.00
			31.00
			30.00
			30.00

ค่าเฉลี่ย (cm)	Standard deviation (S.D)	Uncertainty (cm)
30.20	0.75	±0.340

จากตารางที่ 4.1.2 วัดความยาวโคฮีเรนซ์ของแสงสีแดงจากเลเซอร์ฮีเลียมนีออน( TEM<sub>00</sub> ) ที่มีความยาวคลื่น 632.8 nm พบว่า จากการทดลองวัดความยาวโคฮีเรนซ์ของแสงสีแดงจากเลเซอร์ฮีเลียมนีออน( TEM<sub>00</sub> ) มีค่าเท่ากับ 30.2 cm ±0.34 และเมื่อคำนวณค่าความกว้างของสเปกตรัม ( $\Delta\lambda$ ) มีค่าเท่ากับ 0.0013 nm เมื่อเทียบกับเลเซอร์ฮีเลียมนีออน( TEM<sub>00</sub> ) ทั่วไปที่มีค่าความกว้างของสเปกตรัม ( $\Delta\lambda$ ) มีค่าเท่ากับ 0.02 nm ซึ่งเลเซอร์ในการทดลองมีค่าความกว้างสเปกตรัมที่แคบกว่าเลเซอร์ฮีเลียมนีออนที่ขายตามท้องตลาดทั่วไป

ตารางที่ 4.1.3 ผลการทดลองวัดความยาวโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ Nd:YVO<sub>4</sub>  
Nd:YVO<sub>4</sub> Laser (Second Harmonic)

Power : 10 mW

แหล่งกำเนิด	ความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) (nm)	ความกว้างของสเปกตรัม ( $\Delta\lambda$ ) (nm)	ความยาวโคฮีเรนซ์ (cm)
Nd:YVO <sub>4</sub> Laser (Second Harmonic)	473	0.0021	11.00
			11.00
			10.50
			11.00
			11.00

ค่าเฉลี่ย (cm)	Standard deviation (S.D)	Uncertainty (cm)
10.90	0.20	±0.100

จากตารางที่ 4.1.3 วัดความยาวโคฮีเรนซ์จาก Nd:YVO<sub>4</sub> Laser (Second Harmonic) ที่มีความยาวคลื่น 473 nm พบว่า จากการทดลองวัดความยาวโคฮีเรนซ์จาก Nd:YVO<sub>4</sub> Laser (Second Harmonic) มีค่าเท่ากับ 10.9 cm ±0.1 และเมื่อคำนวณค่าความกว้างของสเปกตรัม ( $\Delta\lambda$ ) มีค่าเท่ากับ 0.0021 nm เอกสารที่ส่งไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1.4 ผลการทดลองวัดความยาวโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ไดโอด ( สีนํ้าเงิน )

Laser Diode ( สีนํ้าเงิน )

Power : 5mW

แหล่งกำเนิด	ความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) (nm)	ความกว้างของสเปกตรัม ( $\Delta\lambda$ ) (nm)	ความยาวโคฮีเรนซ์ (cm)
Laser Diode ( สีนํ้าเงิน )	445-450	0.0027	7.50
			8.00
			7.00
			7.50
			7.50

ค่าเฉลี่ย (cm)	Standard deviation (S.D)	Uncertainty (cm)
7.50	0.32	$\pm 0.140$

จากตารางที่ 4.1.4 วัดความยาวโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ไดโอด ( สีนํ้าเงิน ) ที่มีความยาวคลื่น 445-450 nm พบว่า จากการทดลองวัดความยาวโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ไดโอด ( สีนํ้าเงิน ) มีค่าเท่ากับ 7.5 cm  $\pm 0.14$  และเมื่อคำนวณค่าความกว้างของสเปกตรัม ( $\Delta\lambda$ ) มีค่าเท่ากับ 0.0027 nm ซึ่งเลเซอร์ไดโอดสีนํ้าเงินจะมีช่วงการกระจายของความยาวคลื่นที่แคบ ทำให้ความยาวโคฮีเรนซ์ที่มีค่ามากและความกว้างของสเปกตรัมมีช่วงแคบลง

ตารางที่ 4.1.5 ผลการทดลองวัดความยาวโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ไดโอด ( สีแดง )

Laser Diode ( สีแดง )

Power : 5 mW

แหล่งกำเนิด	ความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) (nm)	ความกว้างของสเปกตรัม ( $\Delta\lambda$ ) (nm)	ความยาวโคฮีเรนซ์ (cm)
Laser Diode ( สีแดง )	630-680	0.0158	2.50
			2.70
			2.50
			3.00
			2.70

ค่าเฉลี่ย (cm)	Standard deviation (S.D)	Uncertainty (cm)
2.68	0.18	$\pm 0.080$

จากตารางที่ 4.1.5 การวัดความยาวโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ไดโอด ( สีแดง ) ที่มีความยาวคลื่น 630-680 nm พบว่า จากการทดลองวัดความยาวโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ไดโอด ( สีแดง ) มีค่าเท่ากับ 2.68 cm  $\pm 0.08$  และเมื่อคำนวณค่าความกว้างของสเปกตรัม ( $\Delta\lambda$ ) มีค่าเท่ากับ 0.0158 nm ซึ่งเลเซอร์ไดโอดสีแดงจะมีช่วงการกระจายของความยาวคลื่นที่กว้างประมาณ 30 nm ทำให้ความยาวโคฮีเรนซ์ที่มีค่าน้อยและความกว้างของสเปกตรัมมีช่วงกว้างขึ้น

#### 4.1.6 รูปแบบตารางผลการทดลองในงานวิจัยและวิธีการคำนวณ

แหล่งกำเนิด	ความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) (nm)	ความกว้างของสเปกตรัม ( $\Delta\lambda$ ) (nm)	ความยาวโคฮีเรนซ์ (cm)	ค่าเฉลี่ย (cm)	Standard deviation (S.D)	Uncertainty
การทดลอง	การทดลอง	คำนวณ	การทดลอง	การทดลอง	คำนวณ	คำนวณ

จะเห็นได้ว่าในช่องของตารางจะมีค่าที่ได้จากการทดลอง และค่าที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี ค่าที่ได้จากการทดลองมีดังนี้

- แหล่งกำเนิด
- ความยาวคลื่น ( $\lambda$ )
- ความยาวโคฮีเรนซ์ ( $L$ )
- ค่าเฉลี่ย ( $\bar{L}$ )

ค่าที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎีมีดังนี้

- ความกว้างของสเปกตรัม ( $\Delta\lambda$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานที่ถูกต้องเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Standard Deviation , S.D ( $\sigma$ )

$$\text{คำนวณได้จาก } \sigma = \left( \sqrt{\frac{\sum (L_i - \bar{L})^2}{n}} \right)$$

ซึ่ง  $n$  คือจำนวนครั้งที่ทำการทดลอง

- Uncertainty ( $\sigma_{\bar{L}}$ )

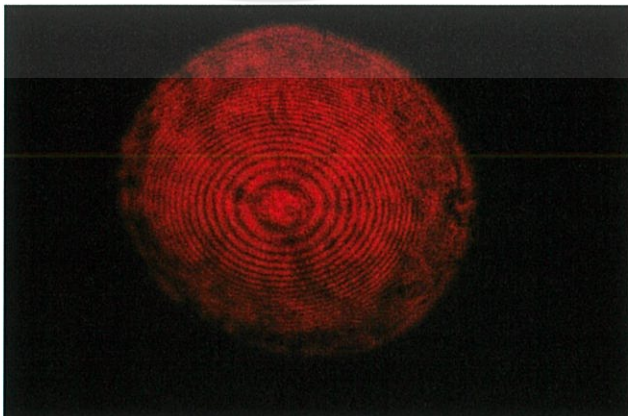
$$\text{คำนวณได้จาก } \sigma_{\bar{L}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

ซึ่งจากสูตรนี้จะเป็นตัวบอกว่า ค่าที่วัดได้จากการทดลอง  $n$  ครั้ง คือ  $\bar{L} \pm \sigma_{\bar{L}}$

#### 4.2 รูปที่ได้จากการทดลองการวัดความยาวโคฮีเรนต์ของเลเซอร์



รูปที่ 4.1 การแทรกสอดของเลเซอร์ที่ระยะเริ่มต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.2 การแทรกสอดของเลเซอร์เมื่อเลื่อนกระจกออกจากระยะเริ่มต้น  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสงเลเซอร์ไม่เกิดการแทรกสอดกันเมื่อพ้นจากระยะความยาวโคฮีเรนซ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

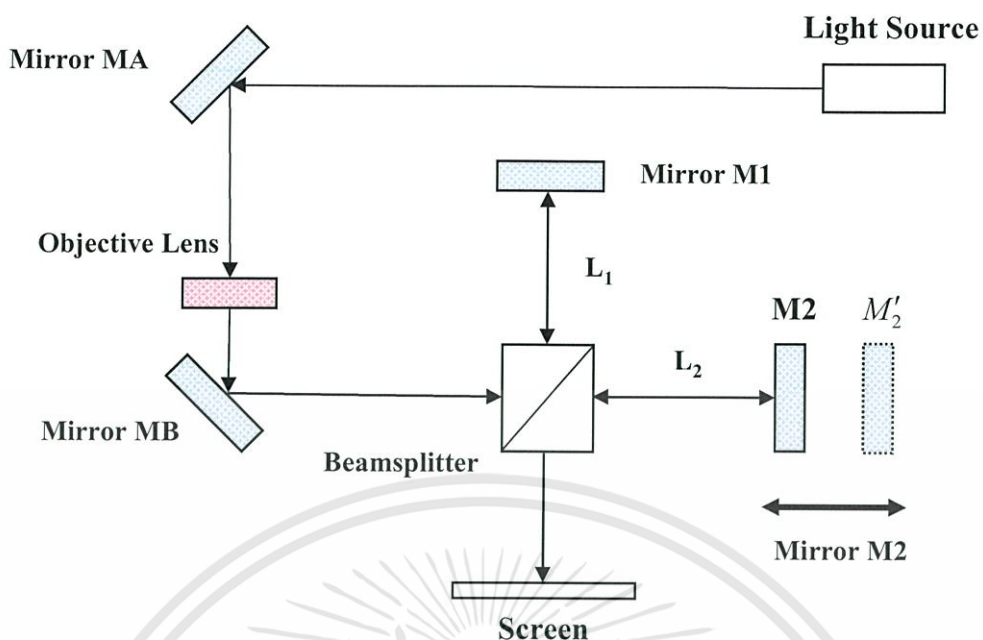
### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและประยุกต์ใช้ไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์เป็นอุปกรณ์ในการวัดความยาวโคฮีเรนซ์ของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่างๆ โดยเนื้อหาที่ทำการศึกษาคือ การศึกษาทฤษฎีของการวัดทางแสงโดยอาศัยหลักการไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ จากหนังสือหรือเอกสารต่างๆ ดำเนินการจัดสร้างระบบไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ เป็นชุดทดลอง โดยจัดวางระบบบนบอร์ดทดลอง และประยุกต์ใช้ไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์วัดความยาวโคฮีเรนซ์ของแสงจากแหล่งกำเนิดแสง ได้แก่ เลเซอร์ก๊าซ (ฮีเลียมนีออนเลเซอร์) เลเซอร์ของแข็ง (เลเซอร์ Nd:YVO<sub>4</sub>) และ เลเซอร์ไดโอด เป็นต้น

#### 5.1 การศึกษาระบบไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

จากการศึกษาระบบไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ พบว่าระบบนี้สามารถนำมาประยุกต์เป็นเครื่องมือที่จะนำมาใช้ในการวัดระยะทางของแสงได้อย่างละเอียดและแม่นยำ โดยอาศัยหลักการแทรกสอดของแสงอาพันธ์จากแหล่งกำเนิดแสง โดยแสงจากแหล่งกำเนิดจะถูกแยกออกเป็น 2 ส่วน และให้แสงในแต่ละส่วนเดินทางไปเป็นระยะทางที่เท่ากัน จากนั้นจะจัดให้แสงทั้งสองแทรกสอดกันเกิดเป็นริ้วของการแทรกสอด และสามารถวัดความยาวโคฮีเรนซ์ของแสงที่เกิดขึ้นได้อย่างสะดวกรวดเร็ว

หลักการใช้ไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์เป็นเครื่องมือในการวัดความยาวโคฮีเรนซ์ของแสง โดยการจัดสร้างระบบการแทรกสอดแบบไมเคิลสันลงบนบอร์ดการทดลอง โดยให้ระยะห่างระหว่าง Beamsplitter กับกระจกทั้งสอง(แขน) มีค่าเท่ากัน(ตำแหน่งสมดุล) ซึ่งจะทำให้ค่าความเข้มแสงที่ได้จากการแทรกสอดมีค่าสูงสุด ปรับให้ลำแสง 2 ลำแสงซ้อนทับกันให้ปรากฏเห็นริ้วการแทรกสอด จากนั้นขยับเลื่อนกระจก M<sub>2</sub> ดังรูป



รูปที่ 5.1 ระบบการทดลองการวัดความยาว โคฮีเรนซ์ด้วยวิธีไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์

จะเห็นได้ว่าไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถใช้วัดความยาวโคฮีเรนซ์ที่ได้โดยตรง พร้อมทั้งมีความสามารถในการวัดความยาวโคฮีเรนซ์ของแสงได้ดีและค่าที่วัดได้จากไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีความถูกต้องน่าเชื่อถือ และใช้การบันทึกภาพการแทรกสอดที่เกิดขึ้นด้วยกล้องดิจิทัลทำให้กระบวนการทำงานนี้มีความสะดวกมากขึ้น

## 5.2 การวัดความยาวโคฮีเรนซ์ของแสงโดยใช้ไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์

งานวิจัยส่วนนี้เป็นการประยุกต์ใช้ไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ วัดความยาวโคฮีเรนซ์ของแสงจากแหล่งกำเนิดแสง 3 ชนิด ได้แก่ เลเซอร์ก๊าซ(ฮีเลียมนีออนเลเซอร์) เลเซอร์ของแข็ง (เลเซอร์ Nd:YVO<sub>4</sub>) และเลเซอร์ไดโอด ตามลำดับ จากผลการทดลองการประยุกต์ใช้ไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ วัดความยาวโคฮีเรนซ์ของแสงจากแหล่งกำเนิดแสง จึงได้ผลการทดลองดังนี้

### 5.2.1 ผลการวัดความยาวโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ฮีเลียมนีออน He-Ne Laser (Multi-Mode)

Power : 4 mW ความยาวคลื่น 632.8 nm ความยาวโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ฮีเลียมนีออนเฉลี่ยได้ 5.8 cm  $\pm 0.007$  และเมื่อคำนวณค่าความกว้างของสเปกตรัม ( $\Delta\lambda$ ) มีค่าเท่ากับ 0.0069 nm

### 5.2.2 ผลการวัดความยาวโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ฮีเลียมนีออน He-Ne Laser (TEM<sub>00</sub>)

Power : 1 mW ความยาวคลื่น 632.8 nm ความยาวโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ฮีเลียมนีออนเฉลี่ยได้ 30.2 cm  $\pm 0.34$  และเมื่อคำนวณค่าความกว้างของสเปกตรัม ( $\Delta\lambda$ ) มีค่าเท่ากับ 0.0013 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 ผลการวัดความยาวโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ Nd:YVO<sub>4</sub> Laser (Second Harmonic) Power : 10 mW ความยาวคลื่น 473 nm ความยาวโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ Nd:YVO<sub>4</sub> เฉลี่ยได้ 10.9 cm ±0.1 และเมื่อคำนวณค่าความกว้างของสเปกตรัม ( $\Delta\lambda$ ) มีค่าเท่ากับ 0.0021 nm

5.2.4 ผลการวัดความยาวโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ไดโอด ( สีน้ำเงิน ) Power : 5mW ความยาวคลื่น 445-450 nm ความยาวโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ไดโอดสีน้ำเงินเฉลี่ยได้ 7.5 cm ±0.14 และเมื่อคำนวณค่าความกว้างของสเปกตรัม ( $\Delta\lambda$ ) มีค่าเท่ากับ 0.0027 nm

5.2.5 ผลการวัดความยาวโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ไดโอด ( สีแดง ) Power : 5 mW ความยาวคลื่น 630-680 nm ความยาวโคฮีเรนซ์ของเลเซอร์ไดโอดสีแดงเฉลี่ยได้ 2.68 cm ±0.08 และเมื่อคำนวณค่าความกว้างของสเปกตรัม ( $\Delta\lambda$ ) มีค่าเท่ากับ 0.0158 nm

ดังนั้นผลการทดลองวัดความยาวโคฮีเรนซ์ของแสงดังตารางที่ 4.1 ถึง 4.5 ทำให้ทราบค่าความยาวโคฮีเรนซ์ของแสงที่มีแหล่งกำเนิดต่างกัน ซึ่งจากการทดลองจะพบว่าเลเซอร์ก๊าซมีความยาวโคฮีเรนซ์สูงกว่าเลเซอร์แบบของแข็ง เนื่องจากมีแถบสเปกตรัมที่แคบกว่าจึงทำให้วัดความยาวโคฮีเรนซ์ที่ความยาวคลื่นหนึ่งๆ ได้ยาวกว่าเลเซอร์ของแข็ง  
ความเป็นโคฮีเรนซ์ซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของแสง และสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการศึกษาต่อ หรือพัฒนาเพิ่มเติมทางด้านทัศนศาสตร์ และมาตรวิทยาได้

### 5.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดลอง

จากการทดลองได้พบปัญหาที่เกิดขึ้นดังนี้

- ห้องที่ใช้ทำการทดลองมีหลายปัจจัยที่ทำให้พื้นห้องสั่นสะเทือนซึ่งทำให้โต๊ะที่ทำการทดลองสั่นสะเทือนไปด้วยจึงส่งผลโดยตรงกับการทดลอง
- การจัดระบบไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ให้แสงแทรกสอดกันจนเกิดริ้วการแทรกสอดต้องมีความละเอียดและรอบคอบ เพราะหากไม่ละเอียดอาจทำให้ริ้วการแทรกสอดไม่เกิด
- ริ้วการแทรกสอดที่เกิดขึ้นมีลักษณะไม่สมมาตร 100%
- ริ้วการแทรกสอดที่เกิดขึ้นมีความคมชัดระดับหนึ่ง ส่งผลให้การวัดระยะโคฮีเรนซ์ของแสงอาจเกิดการคลาดเคลื่อน

### 5.4 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการดำเนินงานวิจัย

- ระบบไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์มีความละเอียดในการทดลอง ต้องอยู่ในห้องทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ควรทำการทดลองบนโต๊ะการทดลองที่ได้มาตรฐานเท่านั้น เพื่อป้องกันการล้นสะเทือกจากสภาพแวดล้อมภายนอก
- ควรจะพึงการเทียบเปรียบเลเซอร์ที่ต่างชนิดกันมากขึ้น
- ควรวัดและเก็บค่าการทดลองให้มีความละเอียด เพื่อให้เห็นข้อแตกต่างที่ชัดเจนมากขึ้นและสะดวกในการทำไปใช้งานหรือศึกษาต่อ
- สเกลในการทดลองที่ใช้วัดในการทดลองควรมีความละเอียด เพื่อที่จะอธิบายการเกิดโคฮีเรนซ์ได้อย่างชัดเจน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Hjell J. Gasvik, Optical Metrology 2nd ed. John Wiley & Sons
- [2] “Interference” On-line Internet. Available:  
<http://scienceworld.wolfram.com/physics/Interference.html>
- [3] “Michelson Interference” On-line Internet. Available:  
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/michel.html>
- [4] “Biography of A. Michelson ” On-line Internet. Available:  
<http://www.sciences.univnantes.fr/physique/enseignement/english/histori.html>

