

รายงานโครงการวิจัยด้วยเงินรายได้คณะประจำปีงบประมาณ 2545

เรื่อง

การพัฒนาระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์เพื่ออุตสาหกรรม



RCIT

OD

ISI

CI

๑๙๖๑๕

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 54542

วัน,เดือน,ปี 21 ส.ค. 2548

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีโอกาสได้ใช้

b.....
i.....

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์เป็นสิ่งที่ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรมและการผลิตต่างๆ เพื่อให้เกิดความก้าวหน้าในวงการอุตสาหกรรมที่ใช้เลเซอร์เป็นปัจจัยหลักในการผลิต เราจึงทำการพัฒนาระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์เพื่อให้ได้เลเซอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง รวมไปถึงการศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่จะทำให้ได้เลเซอร์ที่มีกำลังสูงขึ้น คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ในงานวิจัยนี้ ได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อสามารถนำไปใช้ประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมเช่น การตัด เจาะ วัสดุได้ ส่วนประกอบหลักของระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ได้แก่ หลอดเลเซอร์ กระจกสะท้อนแสง ระบบระบายความร้อนสำหรับหลอดเลเซอร์ ระบบควบคุมการไหลของแก๊ส ระบบจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง ซึ่งแต่ละส่วนจะได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

Abstract

In the present, CO₂ Laser is widely used in manufacturing and industrial. In order to develop the industrial using laser, we have to improve the efficiency of the laser system and research the factors provide the higher power of CO₂ laser. In this research, we have attempted to present the development of CO₂ laser system for application in cutting, drilling material such as wood, metals, ceramic and fabric also. The main parts of the system are laser tube, a couple of mirrors, cooling system for laser tube, gas flow controller and high voltage power supply. To reach the higher efficiency of the laser output, we have to improve these parts of laser system.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ประสบกับปัญหาและอุปสรรคต่างๆ มากมาย และการแก้ไขปัญหาเหล่านี้จะไม่สามารถผ่านพ้นไปได้หากขาดท่านเหล่านี้

ผศ.ดร. วราวุฒิ	เถาถัดดา	ที่กรุณาอนุเคราะห์ป้อนข้อมูล
รศ.ดร. พิเชษฐ	ลิ้มสุวรรณ	ที่กรุณาอนุเคราะห์แก้ไขที่ผิดพลาด
ผศ. อนุพงษ์	ตรงประภา	ที่กรุณาอนุเคราะห์ตัวปรับแรงดัน
อาจารย์อัศวิน	เรณูสวัสดิ์	สำหรับความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์ทางแสง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 วิธีการดำเนินงานและขอบข่ายการทำงาน	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ประวัติของคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์	3
2.2 กระบวนการเกิดเลเซอร์ (The Lasing Process)	4
2.3 องค์ประกอบพื้นฐานของเลเซอร์ (Fundamental Requirement for Lasing)	5
2.4 ประชากรผกผันของคาร์บอนไดออกไซด์ (The CO ₂ population inversion)	7
2.5 ลำดับขั้นตอนของกระบวนการเกิดเลเซอร์ (The lasing sequence)	8
2.6 คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ (Carbon dioxide Laser)	11
2.7 ตัวสั่นพ้องเชิงทัศน (Optical Resonators)	13
2.8 การพัฒนาคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์	20
บทที่ 3 การดำเนินการสร้างระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์	
3.1 โครงสร้างของระบบเลเซอร์	21
3.2 ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงดันสูง	23
3.3 หลอดเลเซอร์	23
3.4 ระบบของกระจกและวิธีการจัดกระจก	24
3.5 ระบบสุญญากาศ	26
3.6 ระบบการระบายความร้อน	27
3.7 การเติมแก๊สเข้าสู่ระบบ	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 การวัดกำลังของเลเซอร์	31
4.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความดันของระบบกับกำลังของเลเซอร์	32
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	35
ข้อเสนอแนะ	36
เอกสารอ้างอิง	37



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2-1 การเกิดการปลดปล่อยพลังงานแบบถูกกระตุ้น (Stimulated emission)	5
รูปที่ 2-2 โครงสร้างพื้นฐานของคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ (CO ₂ laser)	6
รูปที่ 2-3 ระดับพลังงานของระบบคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	7
รูปที่ 2-4 การเกิดเลเซอร์ในเรโซเนเตอร์	10
รูปที่ 2-5 โหมดการสั่นของคาร์บอนไดออกไซด์ (Vibrational modes for CO ₂)	11
รูปที่ 2-6 โหมดการสั่นของไนโตรเจน (Vibrational mode for N ₂)	13
รูปที่ 2-7 ตัวสันพ้องเชิงทัศนประกอบด้วยกระจกโค้ง 2 บาน	13
รูปที่ 2-8 ตัวอย่างของเรโซเนเตอร์ที่มีเสถียรภาพ และเรโซเนเตอร์ที่ไม่มีเสถียรภาพ (แสดงการสะท้อนของแสง)	15
รูปที่ 2-9 รูปแบบและชนิดของตัวสันพ้องเชิงทัศน	16
รูปที่ 2-10 แผนภาพแสดงการมีเสถียรภาพสำหรับตัวสันพ้องเชิงทัศน (ทุกๆ เรโซเนเตอร์ที่ตกอยู่ในพื้นที่สีดำคือเรโซเนเตอร์ที่มีเสถียรภาพ)	17
รูปที่ 2-11 ตัวสันพ้องเชิงทัศนที่ไม่มีเสถียรภาพแบบกระจกนูน-กระจกเว้า	19
รูปที่ 3-1 โครงสร้างของระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์	22
รูปที่ 3-2 โครงสร้างทั้งหมดของระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ที่สร้างขึ้น	22
รูปที่ 3-3 หม้อแปลงไฟฟ้า	23
รูปที่ 3-4 หลอดเลเซอร์ทั้งด้านบนและด้านล่าง	24
รูปที่ 3-5 วิธีการจัดแนวกระจกที่ใช้เป็นตัวสันพ้องเชิงทัศน	25
รูปที่ 3-6 การจัดแนวระบบเลเซอร์ในขณะที่ทำการทดลอง	26
รูปที่ 3-7 ปี่มสุญญากาศแบบโรตารี	27
รูปที่ 3-8 ระบบระบายความร้อนของหลอดเลเซอร์	28
รูปที่ 3-9 เภยวัดความดันชนิดบิวคอง	29
รูปที่ 4-1 การเกิดเลเซอร์บนฉาก	30
รูปที่ 4-2 รอยไหม้ที่เกิดจากเลเซอร์บนฉาก	31
รูปที่ 4-3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันของระบบกับกำลังของเลเซอร์	33

สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1 การศึกษาผลของความดันที่มีต่อการเพิ่มกำลังของเลเซอร์

หน้า

32



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของงานวิจัย

เป็นเวลามากกว่า 30 ปีแล้ว ที่ระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ (CO₂ laser) ได้มีการค้นพบและพัฒนาเรื่อยมา ในระหว่างช่วงเวลาดังกล่าวนั้นคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ ได้ถูกใช้เป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญที่ใช้ในงานด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น ฟิสิกส์, เคมี, วิศวกรรม และที่สำคัญในปัจจุบัน คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ไม่ได้หยุดการพัฒนาอยู่ที่การเป็นอุปกรณ์กำเนิดแสงเท่านั้นแต่ยังสามารถเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนที่ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการตัด เจาะ แผ่นโลหะ, พลาสติก และไม้อีกด้วย

สำหรับประเทศที่มีการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมอย่างเช่น สหรัฐอเมริกา, ญี่ปุ่น และประเทศต่างๆ ได้มีการนำคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์เข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตในเชิงพาณิชย์กันอย่างกว้างขวาง และนับวันจะยิ่งเพิ่มปริมาณในการใช้งานมากขึ้น แต่สำหรับอุตสาหกรรมภายในประเทศ การผลิตระบบเลเซอร์ขึ้นมาใช้เองในโรงงานอุตสาหกรรมนับว่ายังเป็นเรื่องที่มีข้อจำกัดอยู่ เช่น ในด้านบุคลากรที่มีความรู้และอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการผลิต และในการนำเข้าเครื่องเลเซอร์มาจากต่างประเทศก็ยังมีราคาสูงมาก และอาจมีปัญหาในเรื่องของการขาดบุคลากรที่จะคอยซ่อมบำรุง ดังนั้นการศึกษาการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์เพื่อใช้ในการอุตสาหกรรม จึงนับว่าเป็นเรื่องที่น่าสนใจอย่างยิ่ง ที่จะทำการศึกษาและนำความรู้ที่ได้ไปใช้เพื่อรองรับอุตสาหกรรมที่ต้องใช้เลเซอร์เป็นส่วนประกอบในกระบวนการการผลิต

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์
2. ทดสอบประสิทธิภาพของคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ที่ผลิตได้
3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพและต้นทุนในการสร้างเลเซอร์กับที่สั่งซื้อจากต่างประเทศ

1.3 วิธีการดำเนินงานและขอบข่ายการทำงาน

ในงานวิจัยนี้ได้ทำศึกษาและสร้างระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์โดยการกระตุ้นอะตอมของแก๊สผสมด้วยไฟฟ้าแรงดันสูง โดยการจ่ายแก๊สแบบ slow-axial flow

ขั้นตอนการทำงาน

1. ศึกษาทฤษฎีและส่วนประกอบของระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์
2. ศึกษาและออกแบบระบบต่างๆ ในคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์
3. ติดตั้งระบบ
4. ทำการปรับกระจก (alignment) เลเซอร์
5. ทำการทดลองเปลี่ยนอัตราการจ่ายแก๊สเพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อเอาต์พุต (output) ของเลเซอร์และนำข้อมูลที่ได้อามาวิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1 เข้าใจถึงหลักการเกิดเลเซอร์ชนิดแก๊ส โดยเฉพาะ คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์
- 1.4.2 ทราบถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกำลังของเลเซอร์ที่ออกมา
- 1.4.3 เกิดความชำนาญในการปรับเทียบกระจกเพื่อทำให้เกิดเลเซอร์

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติของคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์

อินฟราเรดเลเซอร์ที่ปล่อยจากคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ถูกเผยแพร่ครั้งแรกในรายงานการวิจัยของพาเทล (Patel) ในปี 1964 และถูกพัฒนาโดยลิกาย (Legay) และลิกาย-ซัมแมร์ (Legay-Sommaire) ในปี 1964 ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เนื่องจากการส่งผ่านพลังงานการสั่น (vibration energy) จากไนโตรเจน (N_2) แก่คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยที่ไนโตรเจนจะถูกกระตุ้นกลายเป็นโมเลกุลไนโตรเจนที่เกิดการสั่นและเข้าไปกระตุ้นคาร์บอนไดออกไซด์ให้เกิดการสั่น โดยเลเซอร์จะปล่อยออกมาจากระดับการหมุน (rotational levels) ที่สถานะ (00^0_1) ไปยังระดับการหมุนของสถานะการสั่น (vibrational states) ที่ต่ำกว่า

ในตอนต้นของการวิจัยจะใช้เลเซอร์ต่อเนื่อง (continuously operating laser : CW) กำลัง 1 มิลลิวัตต์-200 มิลลิวัตต์ ต่อมาพบว่าเมื่อเติมไนโตรเจนเข้าไป จะทำให้ประสิทธิภาพของเลเซอร์เพิ่มขึ้นจาก 10^{-6} ไปที่ราวๆ 10^{-3} และเมื่อทำการหล่อเย็น (cooling) แก๊สให้มีอุณหภูมิ -60 องศาเซลเซียส จะทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 5%

ความก้าวหน้าครั้งสำคัญเกิดขึ้นเมื่อเติมฮีเลียม (He) เข้าไป ทำให้ค่าเอาต์พุต (output) ของเลเซอร์ต่อเนื่องมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 106 วัตต์ โดยประสิทธิภาพอยู่ที่ประมาณมากกว่า 6% จะเห็นได้ว่าภายในระยะเวลาไม่กี่ปี กำลังของเลเซอร์ต่อเนื่องที่ได้จากคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์เพิ่มจาก 1 มิลลิวัตต์ เป็น 10^2 วัตต์ และประสิทธิภาพเพิ่มจาก 10^{-6} ไปเป็น 6×10^{-2}

เมื่อ 1969 มีการประดิษฐ์เลเซอร์ต่อเนื่องที่ได้จากคาร์บอนไดออกไซด์ (CW CO_2 laser) ที่มีความยาว 750 ฟุต ซึ่งให้เอาต์พุต 8.8 กิโลวัตต์ ขึ้นมา ในเวลาต่อมาการพัฒนาการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าแรงดันสูง (electric discharge) และแก๊สไดนามิก (gas dynamic) เลเซอร์ ทำให้เลเซอร์มีเอาต์พุต (output) ถึง 100 กิโลวัตต์

ในปี 1969 เป็นจุดหักเหที่สำคัญที่ทำให้การพัฒนาเลเซอร์ต่อเนื่อง (CW) กำลังสูงและพัลส์คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ เนื่องจากปลายปีนั้น โบเลีย (Beaulieu) ได้มีรายงานว่า การปลดปล่อยพลังงาน (emission) ของคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ สามารถทำได้ด้วยความดันบรรยากาศ และเหนือขึ้นไปโดยการกระตุ้นแก๊สตามขวาง ดังนั้นก็จะเกิดการดิสรจันที่ตั้งฉากกับแกนแสง (optical axis) นี่เป็นการนำไปสู่การสร้างสิ่งประดิษฐ์ที่มีหลักการการทำงานที่ขึ้นอยู่กับการสร้างประจุไฟฟ้าที่อาศัย

การกระตุ้นด้วยลำอิเล็กตรอนหรือที่เรียกกันว่า โวลูมเมตริก โฟโตไอออไนเซชัน (Volumetric photoionization) โดยไม่ต้องอาศัยการคิซซาร์จทางไฟฟ้าดังที่เคยได้ใช้กันในการกระตุ้นให้เกิดเลเซอร์เลย จากที่กล่าวมาข้างต้น จะทำให้ได้มีลิเซชันพัลส์เลเซอร์ (millisecond pulses) ที่มีพลังงานในย่านกิโกลูล

ในช่วง 10 ปีหลังจากที่มีการประดิษฐ์คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์โดยพาเทล ได้มีความพยายามที่จะเพิ่มกำลังของเลเซอร์ ซึ่งผลที่ได้ก็นำมาใช้ในอุปกรณ์และการวิจัยด้านต่างๆ

2.2 กระบวนการเกิดเลเซอร์ (The Lasing Process)

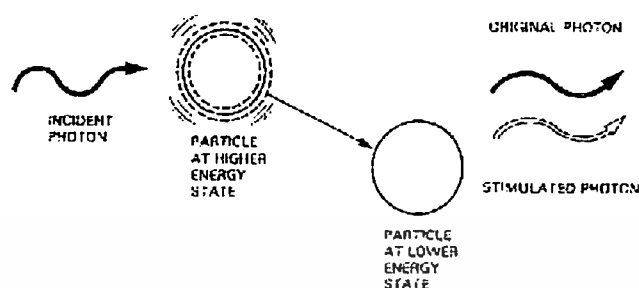
หัวใจของการกำเนิดเลเซอร์ก็คือ ความสามารถของโฟตอนที่จะสามารถกระตุ้นการปลดปล่อยโฟตอนตัวอื่นๆ ได้ดีแค่ไหน ซึ่งโฟตอนแต่ละตัวจะมีค่าความยาวคลื่นเดียวกัน และทิศทางการเดินทางก็ต้องเหมือนกับโฟตอนที่มากระตุ้นด้วย

จากทฤษฎีควอนตัม อะตอมและโมเลกุลทั้งหลายจะมีระดับพลังงานที่มีค่าไม่ต่อเนื่อง (discrete energy level) และสามารถเปลี่ยนจากระดับหนึ่งไปเป็นอีกระดับหนึ่งได้โดยการกระโดดแบบไม่ต่อเนื่อง พลังงานที่ใช้ในการกระโดดก็ได้มาจากการดูดกลืนหรือการปลดปล่อยรังสีไฟฟ้าแม่เหล็ก (electromagnetic) ของอะตอมนั่นเอง ความถี่ของการแผ่รังสีและความแตกต่างระหว่างระดับพลังงานนั้นเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวในแต่ละอะตอม และธาตุแต่ละชนิดก็จะมีค่าดังกล่าวไม่เหมือนกัน* (*ความยาวคลื่น λ ของโฟตอนแต่ละตัว เกี่ยวข้องกับพลังงาน E จาก $\lambda = ch/E$)

ที่สภาวะปกติ อะตอมหรือโมเลกุลส่วนใหญ่จะยังคงสงบนิ่งอยู่ที่ระดับพลังงานต่ำสุดของมัน หรือที่เรียกว่า สภาวะพื้น (ground state) แต่หากอนุภาคเหล่านี้ถูกกระตุ้นให้ขึ้นไปอยู่ที่ระดับพลังงานสูงขึ้น (โดยการฉายแสงที่มีความเข้มสูง, การให้ประจุไฟฟ้าหรือวิธีอื่นๆ) จากนั้นพวกมันจะตกกลับสู่สภาวะพื้นพร้อมกับปล่อยแสงไม่อาพันธ์ (incoherent) ออกมา (แสงดังกล่าวเป็นแสงที่พบเห็นได้แสงที่มาจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ และแสงจากหลอดไฟฟาริมถนนทั่วไป) แต่ในเลเซอร์แควิตี (laser cavity) โฟตอนที่ถูกปล่อยออกมาจะถูกขังอยู่ระหว่างกระจกสองบาน ซึ่งจะบังคับให้มันเคลื่อนที่กลับไป-กลับมา อยู่ในแควิตีดังกล่าวและเมื่อใดก็ตามที่โฟตอนตัวหนึ่งเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปใกล้อนุภาคตัวอื่นแล้วกระตุ้นให้เกิดโฟตอนความยาวคลื่นเหมือนกันออกมาอนุภาคตัวที่สองที่หลุดออกมานี้ก็จะไปกระตุ้นให้เกิดโฟตอนที่เหมือนกันทุกประการไม่ว่าจะเป็นความยาวคลื่น, เฟส และเป็นอาพันธ์ตามตำแหน่งกันกับโฟตอนตัวแรกได้อีกด้วย ซึ่งการเกิดดังกล่าวนี้จะเกิดต่อไปเรื่อยๆ และสิ่งนี้จึงเป็นส่วนหนึ่งของการเติบโตของคลื่นภายในช่องแควิตี (cavity) ดังกล่าว (ดังรูปที่

2-1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-1 การเกิดการปลดปล่อยพลังงานแบบถูกกระตุ้น (Stimulated emission)

กระบวนการเกิดเลเซอร์นี้ จะเริ่มต้นขึ้นได้เมื่อให้โฟตอนที่มีจำนวนมากพอและถ้าหากกระเจกบานหนึ่งสามารถส่องผ่านแสงได้บางส่วนแล้วเราจะได้ลำแสงที่มีความเข้มสูง, เป็นระเบียบ และมีความเป็นอาพันธ์ถูกปลดปล่อยออกมา

ซึ่งเลเซอร์ที่ปลดปล่อยออกมาจะมีลักษณะดังนี้

1. ความยาวคลื่นเดียว (monochromaticity) แสงส่วนใหญ่มีความยาวคลื่นเดียว โดยมีค่าพลังงานเป็น

$$\Delta E = E_i - E_k$$

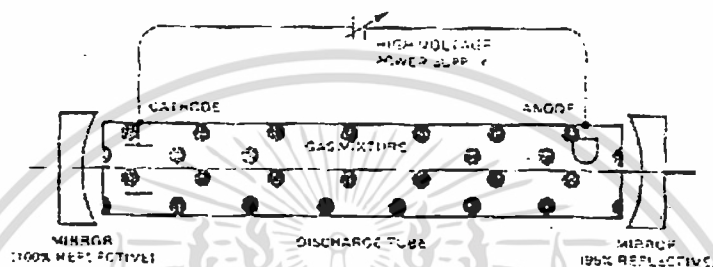
2. การอาพันธ์ (coherence) เป็นแสงอาพันธ์
3. ทิศทาง (directionality) เป็นแสงที่ปลดปล่อยออกมามีทิศทางที่แน่นอน และมีการบานออก (divergence) ต่ำมาก คือแสง ไม่ค่อยบานออก
4. ความเจิดจ้า (brightness) เป็นแสงที่มีความเข้มสูง

2.3 องค์ประกอบพื้นฐานของเลเซอร์ (Fundamental Requirement for Lasing)

การผลิตแสงเลเซอร์ต้องมียุคประกอบพื้นฐาน 3 อย่างด้วยกันคือตัวกลางเลเซอร์ (laser medium) ซึ่งจะให้อะตอม, ไอออน หรือโมเลกุลที่จะทำให้เกิดการขยายของลำแสง (light amplification), แหล่งกำเนิดพลังงานเพื่อจะกระตุ้นสารเลเซอร์ และตัวสั้นพ้องเชิงทัศน (optical resonator) ที่จะทำให้เกิดการสะท้อนกลับไปกลับมาของแสงที่ทำให้เกิดการขยายของคลื่นแสงนั้น ในรูปแบบการจตุกรณขั้นพื้นฐานที่ใช้ในการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์

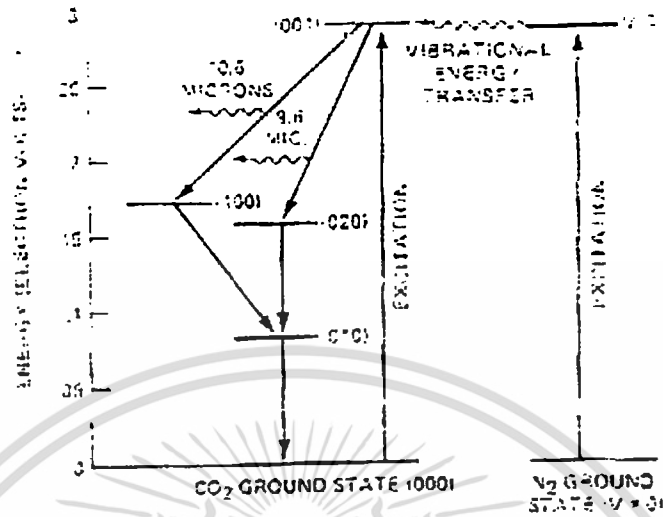
ไม่ว่าวัสดุทุกชนิดจะสามารถนำมาให้เป็นตัวกลางเลเซอร์ (laser medium) หรือสารเลเซอร์ (active medium) ได้ เนื่องจากตัวกลางที่เหมาะสมจะนำมาใช้เป็นสารเลเซอร์นั้น เมื่อถูกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระตุ้นจะต้องมีคุณสมบัติทำให้เกิดประชากรผกผัน (population inversion) ซึ่งสภาวะประชากรผกผันนี้ เป็นสภาวะที่จำเป็นในการให้เกนสุทธิ (net gain) ในการกำเนิดแสงเลเซอร์ หมายความว่า โฟตอนทั้งหลายที่กำเนิดจากสารเลเซอร์หรือ ตัวกลางเลเซอร์นั้น จะต้องมีย่านวนมากกว่าที่ถูกดูดกลืนนั่นเอง



รูปที่ 2-2 โครงสร้างพื้นฐานของคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ (CO₂ laser)

ในรูปที่ 2-3 กระบวนการกระตุ้น (excitation) จะเริ่มจากทางฝั่งขวามือ โดยโมเลกุลของก๊าซไนโตรเจน และจะถูกถ่ายโอนไปยังโมเลกุลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทางด้านบนซ้าย และที่ระดับพลังงานสูงของคาร์บอนไดออกไซด์เอง จะเริ่มเกิดกระบวนการปลดปล่อย (emission) คลื่นแสงที่ความยาวคลื่นได้สองค่าคือ 10.6 และ 9.6 ไมโครเมตร ลงมาอยู่ที่เส้นแสดระดับพลังงานตามในรูป การเกิดประชากรผกผัน จะเกิดขึ้นตรงนี้ เนื่องจากในตอนนี้ จำนวนอนุภาคที่เข้ามาจับจองสภาวะพลังงานระดับสูง (ในรูปคือเส้น 100 และ 020) มีมากกว่าที่ระดับพลังงานต่ำ



รูปที่ 2-3 ระดับพลังงานของระบบคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)

สัดส่วนประชากรดังกล่าวนี้มีความสำคัญอย่างมากเนื่องจากอนุภาคที่ระดับต่ำนั้นมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานแสงได้ ซึ่งจะมีผลต่อการเกิดแสงเลเซอร์ และเฉพาะอนุภาคที่ระดับพลังงานสูงเท่านั้นที่จะมีส่วนให้เกิดโฟตอนแก่ระบบ

2.4 ประชากรผกผันของคาร์บอนไดออกไซด์ (The CO₂ population inversion)

จากรูปที่ 2-3 จะเห็นได้ว่าโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์สามารถเข้าไปจับจองระดับพลังงานอื่นๆ ที่ไม่ใช่ระดับพลังงานสถานะพื้นอย่างชั่วคราวได้หลายสถานะ เมื่อโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์คายพลังงานจากระดับ 001 ในรูป มันจะตกกลับลงมาที่ระดับพลังงานกลางคือ 100 หรือ 020 พลังงานที่ถูกปลดปล่อยออกมาโดยการทรานซิชันนี้จะมีควมยาวคลื่นได้ 2 ค่าไม่ว่าจะเป็น 10.6 หรือ 9.6 ไมโครเมตร ขึ้นอยู่กับขนาดของช่วงการกระโดดจาก 001 ถึง 020 ดังนั้น ในการนำไปใช้ประโยชน์จะใช้แสงเลเซอร์ที่มีควมยาวคลื่น 10.6 ไมโครเมตร และถ้าพูดถึงลำของคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ (CO₂ laser beam) ก็หมายถึงแสงเลเซอร์ที่มีควมยาวคลื่น 10.6 ไมโครเมตร

แหล่งกำเนิดไฟฟ้าควมต่างศักย์สูง ถูกนำมาใช้ในการกระตุ้นโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อให้มันมีระดับพลังงานสูงขึ้น ในสถานะที่สิ่งแวดล้อมของระบบมีแต่ก๊าซ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์ แต่ละโมเลกุลจะได้รับพลังงานให้ไปอยู่ระดับพลังงานต่างๆ เกลี่ยกันไป แต่ที่ระดับพลังงานต่ำๆ จะมีจำนวนโมเลกุลมาอยู่กันมากที่สุด จึงทำให้ไม่เกิดประชากรผกผัน เพื่อให้เกิดประชากรผกผัน เราจึงต้องทำการปรับปรุงตัวกลางคาร์บอนไดออกไซด์บางอย่าง ซึ่งก็คือ การผสมก๊าซไนโตรเจนลงไปนั่นเอง [และนอกจากนั้น ยังผสมก๊าซฮีเลียม (He) ลงไปด้วย แต่จุดประสงค์ไม่ใช่เพื่อให้เกิดประชากรผกผัน แต่เพื่อให้สภาพความนำความร้อน (thermal conductivity) เพิ่มขึ้น] จากรูป 2-3 จะพบว่าสภาวะระดับพลังงานสูงของโมเลกุลไนโตรเจนจะใกล้เคียงกันมากกับระดับ 001 ของคาร์บอนไดออกไซด์-โมเลกุล ดังนั้น โมเลกุลของไนโตรเจนบางตัวจึงสามารถไปเสริมจำนวนประชากรที่ระดับ 001 ของ คาร์บอนไดออกไซด์โมเลกุลได้โดยการถ่ายโอนพลังงาน และเนื่องจากก๊าซทั้งสองจะไม่มีระดับพลังงานที่ตรงกันที่ระดับพลังงานต่ำๆ เลย ดังนั้น โมเลกุลของไนโตรเจนจึงจะถ่ายโอนพลังงานให้กับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 001 เท่านั้น จึงทำให้เกิดจำนวนประชากรเพิ่มขึ้นที่ระดับ 001 ซึ่งเป็นปัจจัยให้เกิดประชากรผกผันนั่นเอง

เมื่อเกิดประชากรผกผันขึ้นสำเร็จแล้ว การกำเนิดโฟตอนก็จะเกิดขึ้นเรื่อยๆ ไป จนกระทั่งถึงสภาวะสมดุล ซึ่งสภาวะดังกล่าวนี้เกิดขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของอัตราการตกกลับ (decay rate) ที่ระดับพลังงานสูง พร้อมกับการเพิ่มขึ้นของจำนวนโฟตอน ผลก็คือ จำนวนประชากรที่ระดับพลังงานสูงจะลดลง แต่จะไปเพิ่มขึ้นที่ระดับพลังงานต่ำ การเกิดสมดุลจะเกิดขึ้นเมื่อจำนวนของโมเลกุลที่ระดับพลังงานสูงมีมากกว่าที่ระดับพลังงานต่ำ เมื่อพลังงานที่ได้ออกมามากกว่าพลังงานที่สูญเสียไปแล้ว แสงเลเซอร์ก็จะออกมา

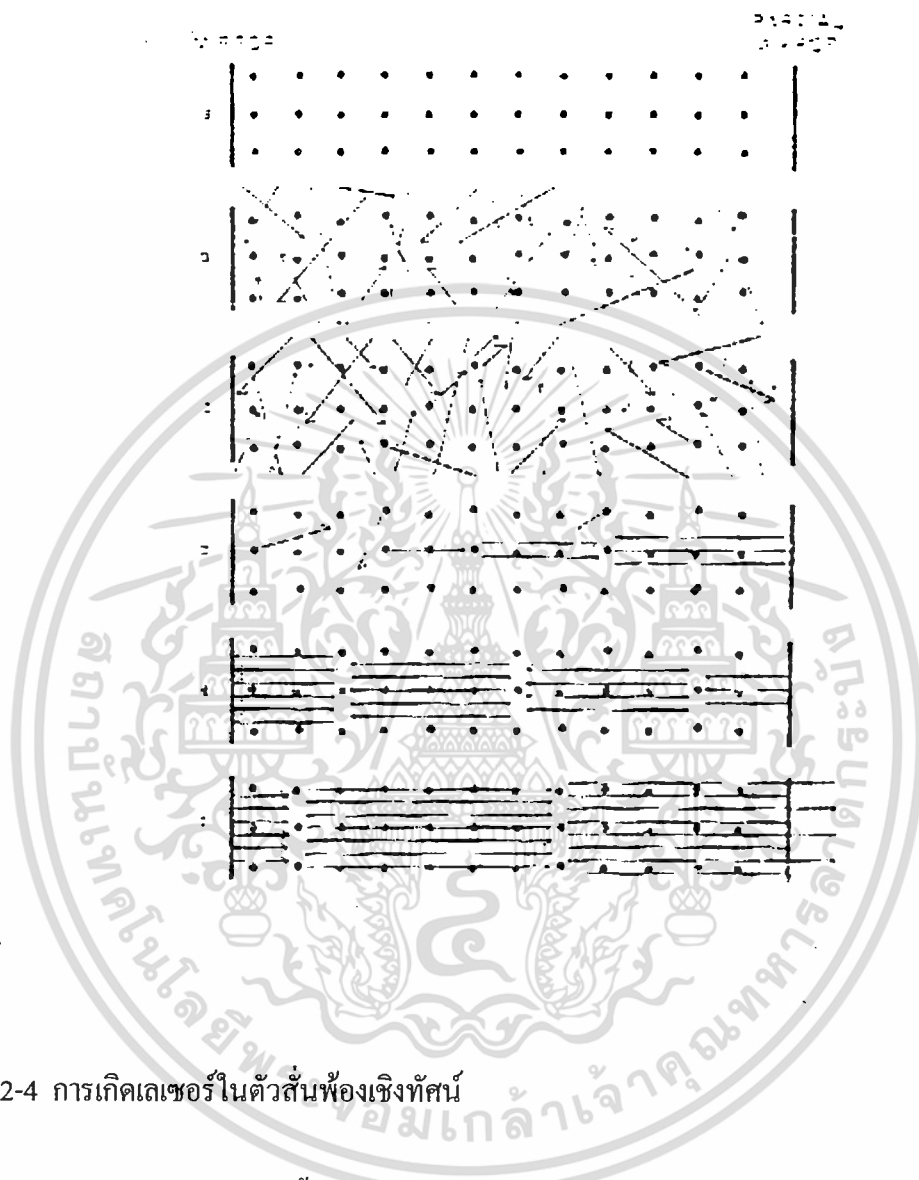
2.5 ลำดับขั้นตอนของกระบวนการเกิดเลเซอร์ (The lasing sequence)

ตัวสั่นพ้องเชิงทัศน (resonator) (ในรูปที่ 2-2) เป็นตัวกำหนดคุณลักษณะทุกอย่างของลำแสงเลเซอร์ ยกเว้นความยาวคลื่น ในกรณีของคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ เรโซเนเตอร์จะประกอบไปด้วย หลอดแก้วทึบไฟ ที่มีกระจก 2 บานที่ปลายแต่ละด้าน และการจัดวางก็ต้องทำอย่างเที่ยงตรงด้วย กระจกบานหนึ่งจะมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน 100% สำหรับความยาวคลื่น 10.6 ไมโครเมตร ในขณะที่อีกบานหนึ่ง จะสะท้อนแสงเพียงบางส่วน เช่น 85% คลื่นแสงที่ถูกสร้างขึ้นในเรโซเนเตอร์จะสะท้อนกลับไปมาถึงหลายร้อยรอบ (แต่ละรอบเรียกว่า หนึ่งราวนด์ทริป (round trip)) โดยที่การเดินทางของแสงกลับไปมาหลายร้อยรอบนี้จะเกิดขึ้นในเวลาเพียงไม่กี่ไมโครวินาที ในแต่ละรอบพลังงานการแผ่รังสีบางส่วน (ในตัวอย่างนี้คือ 15%) จะถูกส่งผ่านออกไปทางด้านกระจกที่มีค่าการสะท้อน 85% จึงทำให้เกิดเอาท์พุทออกมาเป็นแสงเลเซอร์ ถ้าเลเซอร์ที่สร้างออกมาเป็นพัลส์ (pulse

mode) การปล่อยลำแสงจะออกมาเป็นช่วงๆ สั้นๆ แต่ถ้าเป็นแบบต่อเนื่อง (continuous wave) แสงที่ออกมาก็จะออกต่อเนื่องกัน

ในรูปที่ 2-4 แสดงภาพในกระบวนการเกิดเลเซอร์ตั้งแต่เริ่มต้นไปจนถึงได้ลำแสงที่มีเสถียรภาพออกมาในรูป (a) โมเลกุลของก๊าซจะอยู่ที่สถานะพื้น เนื่องจากยังไม่มีกระแสไฟฟ้าเข้าไป และเมื่อใส่กระแสเข้าไปกระตุ้นตัวกลางเลเซอร์ โมเลกุลทั้งหลายก็จะถูกกระตุ้นให้มีระดับพลังงานสูงขึ้น และโฟตอนก็จะถูกปล่อยออกมาอย่างต่อเนื่อง (b,c) หากโฟตอนที่ถูกปล่อยออกมานั้นไปชนกับโมเลกุลที่อยู่สถานะกระตุ้น (d) ก็จะเกิดกระบวนการขยายลำแสง (จำนวนโฟตอน) ขึ้น เนื่องจากโมเลกุลเหล่านี้จะถูกกระตุ้นให้ปล่อยโฟตอนที่มีลักษณะเหมือนกันกับโฟตอนเดิมและก็จะเดินทางไปในทิศเดียวกันด้วย การปลดปล่อยดังกล่าวนี้จะดำเนินต่อไปเรื่อยๆ เนื่องจากโฟตอนที่เกิดใหม่ทุกตัวก็สามารถทำให้เกิดโฟตอนตัวอื่นได้เช่นเดียวกัน โฟตอนสามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางใดก็ได้ แต่โฟตอนที่เคลื่อนที่ขนานไปกับแกนของหลอดเลเซอร์ก็จะไปกระทบกับกระจกปลายหลอดและถูกสะท้อนกลับมาในทิศตรงข้าม (e)





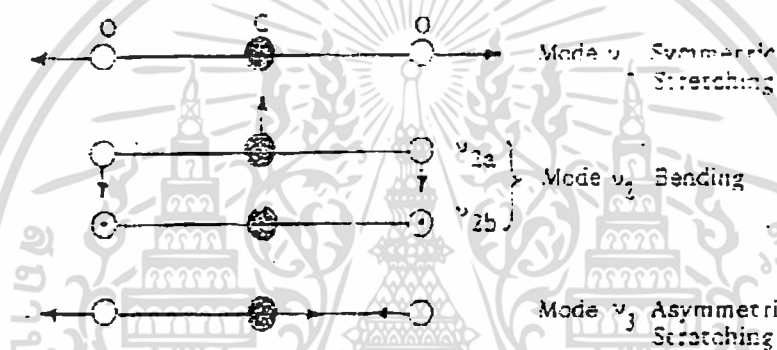
รูปที่ 2-4 การเกิดเลเซอร์ในตัวสั้นพองเชิงทัศน

นั่นคือ โฟตอนเหล่านี้จะกำเนิดคลื่นแสงที่มีความถี่เดียวและมีความเป็นอาพันธ์ออกมา ระหว่างที่มันถูกกักเอาไว้ในหลอด โดยการเคลื่อนที่ไปกลับระหว่างกระจก 2 บาน มันก็จะไปกระตุ้นการปลดปล่อยโฟตอนที่เหมือนๆ กันออกมาจำนวนมากมาย เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ไปเรื่อยๆ และโฟตอนบางตัวในนี้ (f) จะทะลุกระจกที่สะท้อนเพียงบางส่วนออกมา ซึ่งจะปรากฏออกมาให้เห็นในรูปของลำแสงที่เป็นเส้นตรง ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ทรายใดที่ยังคงเกิดประชากรผกผันอยู่ในโมเลกุลของสารเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ (Carbon dioxide Laser)

คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์เป็นเลเซอร์ที่ได้จากส่วนผสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โมเลกุลเกิดประชากรผกผัน สำหรับโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วย อะตอม 3 อะตอม (triatomic molecule) จะมีการเรียงตัวของอะตอมทั้ง 3 ในแนวเส้นตรงเดียวกัน โดยมีอะตอมคาร์บอนอยู่ตรงกลาง ระหว่างอะตอมของออกซิเจน 2 ตัว โดยที่อะตอมทั้งสามตัว มีแบบของการสั่น (mode of vibration) อย่างอิสระซึ่งกันและกันได้ 3 แบบ (ดังรูปที่ 2-5) คือ



รูปที่ 2-5 โหมดการสั่นของคาร์บอนไดออกไซด์ (Vibrational modes for CO_2)

1. โหมดการสั่นตามยาวแบบมีสมมาตรในการสั่น (Symmetrical longitudinal mode) (แทนด้วย ν_1)

การสั่นแบบนี้ อะตอมของออกซิเจนทั้งสองตัว จะสั่นในแนวเส้นตรงเดียวกัน แต่มีทิศทางตรงข้ามกันด้วยความถี่ ν_1 แต่ระดับพลังงานของการสั่นแบบนี้ (vibration state) เขียนแทนด้วย 100, 200, 300,... โดยที่ สถานะถูกกระตุ้นที่ 1 (1^{st} excited state) ของ ν_1 คือระดับ 100 ซึ่งมีพลังงานศักย์ 1388 cm^{-1} (0.17 อิเล็กตรอนโวลต์) สำหรับระยะห่างของระดับพลังงานระหว่างแต่ละคู่ของสถานะถูกกระตุ้น (excited state) เช่น 100-200, 200-300,... เท่ากับ $1388 / \text{เซนติเมตร}$

2. โหมดการสั่นแบบหักงอ (Bending mode) (แทนด้วย ν_2)

การสั่นแบบนี้อะตอมของออกซิเจนทั้งสองตัว และอะตอมของคาร์บอนจะสั่นตั้งฉากกับแนวเส้นตรง ซึ่งเชื่อมระหว่างอะตอมทั้งสาม ซึ่งยังแบ่งเป็น 2 แบบ (two fold degenerate) คือเมื่อทิศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

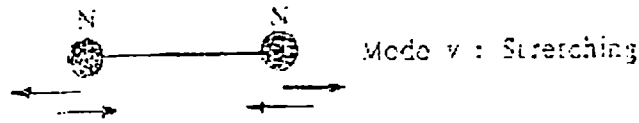
การสั่นของอะตอมทั้งสามอยู่ในระนาบของกระดาษ และตั้งฉากกับระนาบของกระดาษด้วยความถี่เท่ากัน เท่ากับ V_2 แต่ละระดับของการสั่นแบบหักงอนี้แทนด้วย 010, 020, 030,... โดยที่สถานะถูกกระตุ้นที่ 1 ของ V_2 คือที่ระดับ 010 ซึ่งมีพลังงานศักย์ 677 /เซนติเมตร (0.08 อิเล็กตรอนโวลต์) สำหรับระยะห่างของระดับพลังงานระหว่างแต่ละคู่ของสถานะถูกกระตุ้นเท่ากับ 667 /เซนติเมตร

3. โหมดการสั่นตามยาวแบบไม่มีสมมาตรในการสั่น (Asymmetrical longitudinal mode) (แทนด้วย V_3)

การสั่นแบบนี้ อะตอมของออกซิเจนทั้งสองตัว จะสั่นในทิศเดียวกันตลอดเวลาด้วยความถี่ V_3 แต่ละ ระดับของการสั่นแบบนี้แทนด้วย 001, 002, 003,... โดยสถานะถูกกระตุ้นที่ 1 ของ V_3 คือ 001 ซึ่งมีพลังงานศักย์ 2349 /เซนติเมตร (0.29 อิเล็กตรอนโวลต์) สำหรับระยะห่างของระดับพลังงานระหว่างแต่ละคู่ของสถานะถูกกระตุ้นเท่ากับ 2349 /เซนติเมตร

ระดับพลังงานเนื่องจากการสั่น (vibration level) คาร์บอนไดออกไซด์โมเลกุลที่กล่าวแล้วข้างต้น สามารถเขียนแทนได้ด้วย เลขควอนตัม n_1, n_2, n_3 ซึ่งเป็นตัวบอกแบบของการสั่นทั้งสามแบบ คือ n_1 แทนการกระตุ้น (excitation) ของโหมดการสั่นตามยาวแบบมีสมมาตรในการสั่น V_{1a}, n_2 แทนการกระตุ้นของ two fold degenerate ของโหมดการสั่น V_{2a} และ V_{2b} และ n_3 แทนการกระตุ้น ของโหมดการสั่นตามยาวแบบไม่มีสมมาตรในการสั่น V_3 สำหรับโหมดเบนดิง V_2 ซึ่งมี 2 แบบ n_2 อาจเขียนแทนด้วย n_2' โดยที่ตัวยก L คือเลขควอนตัมโมเมนตัมเชิงมุม (angular momentum quantum number) จะมีค่าดังนี้ $1 = n_2, n_2-2, \dots, 1, 0$ โดยที่ค่า 1 แต่ละค่าจะเกี่ยวข้องกับระดับพลังงานย่อย เช่น ถ้า $n_2 = 1$ ค่า 1 ที่เป็นได้คือ $1 = 1$ ค่าเดียว แต่ถ้า $n_2 = 2$ จะได้ค่า $1 = 2, 0$ และแสดงว่ามีระดับพลังงานย่อย 2 ระดับ และถ้าโมเลกุลไม่มีการสั่นแบบอื่นในขณะเวลาเดียวกันนี้ สถานะเหล่านี้จะเขียนแทนได้เป็น $(01'0)$ และ $(02'0), (02^0)$ ตามลำดับ

สำหรับโมเลกุลในโตรเจนซึ่งเป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยอะตอม 2 อะตอม (diatomic molecule) จะมีการสั่นได้เพียงแบบเดียวคือโหมดตามยาว (longitudinal mode) หรือโหมดตามขวาง (stretching mode) ดังแสดงในรูป 1-6 ดังนั้น ระดับพลังงานเนื่องจากการสั่นของไนโตรเจนโมเลกุลสามารถเขียนแทนได้ด้วยเลขควอน -ตัม (quantum number), v โดยที่ $v = 0, 1, 2, \dots$ สำหรับ สถานะพื้น (ground state) แทนด้วย $v = 0$ และสถานะกระตุ้นที่ 1 $v = 1$ ซึ่งมีพลังงานศักย์เท่ากับ 2331 /เซนติเมตร

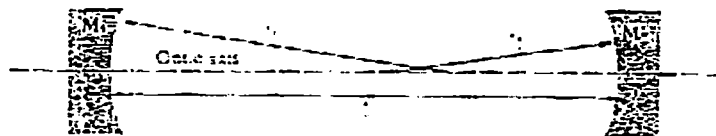


รูปที่ 2-6 โหมดการสั่นของไนโตรเจน (Vibrational mode for N_2)

2.7 ตัวสั่นพ้องเชิงทัศน (Optical Resonators)

การที่จะทำให้เกิดการปลดปล่อยแบบถูกกระตุ้น (stimulated emission) ภายในตัวกลางเลเซอร์ ก็เนื่องจากการให้ ตัวกลางเลเซอร์วางอยู่ระหว่างกระจก 2 อัน แล้วทำให้โฟตอนเกิดการสะท้อนไปมาผ่านตัวกลางเลเซอร์ระหว่างกระจกทั้งสอง ในที่สุดจะเกิดการเพิ่มขยายจำนวนโฟตอนขึ้นภายในตัวกลางเลเซอร์ และถูกปล่อยออกมาเป็นลำแสงเลเซอร์ทางกระจกด้านใดด้านหนึ่ง ซึ่งกระจกทั้งสองนั้นเรียกว่าตัวสั่นพ้องเชิงทัศน ในหัวข้อนี้จะพิจารณาถึง ตัวสั่นพ้องเชิงทัศนแบบต่างๆ ซึ่งใช้ในการสร้างเลเซอร์

พิจารณาตัวสั่นพ้องเชิงทัศนในรูป 2-7 ซึ่งประกอบด้วยกระจกโค้ง (spherical mirror) 2 อัน โดยมีจุดศูนย์กลางความโค้งอยู่บนเส้นตรงเดียวกันเรียกว่า แกนแสง (optical axis) กระจก M_1 และ M_2 มีรัศมีความโค้ง r_1 และ r_2 ตามลำดับ และอยู่ห่างกันเป็นระยะ L จากการกำหนดเครื่องหมายของรัศมีความโค้ง r มีเครื่องหมายเป็นบวกถ้าจุดกึ่งกลางของกระจกอยู่ทางด้านเดียวกับเลเซอร์แควิตี (laser cavity) และมีเครื่องหมายเป็นลบถ้าอยู่ในทิศตรงข้ามกับเลเซอร์แควิตี (ในรูปที่ 2-7 r_1 และ r_2 เป็นบวกทั้งคู่)

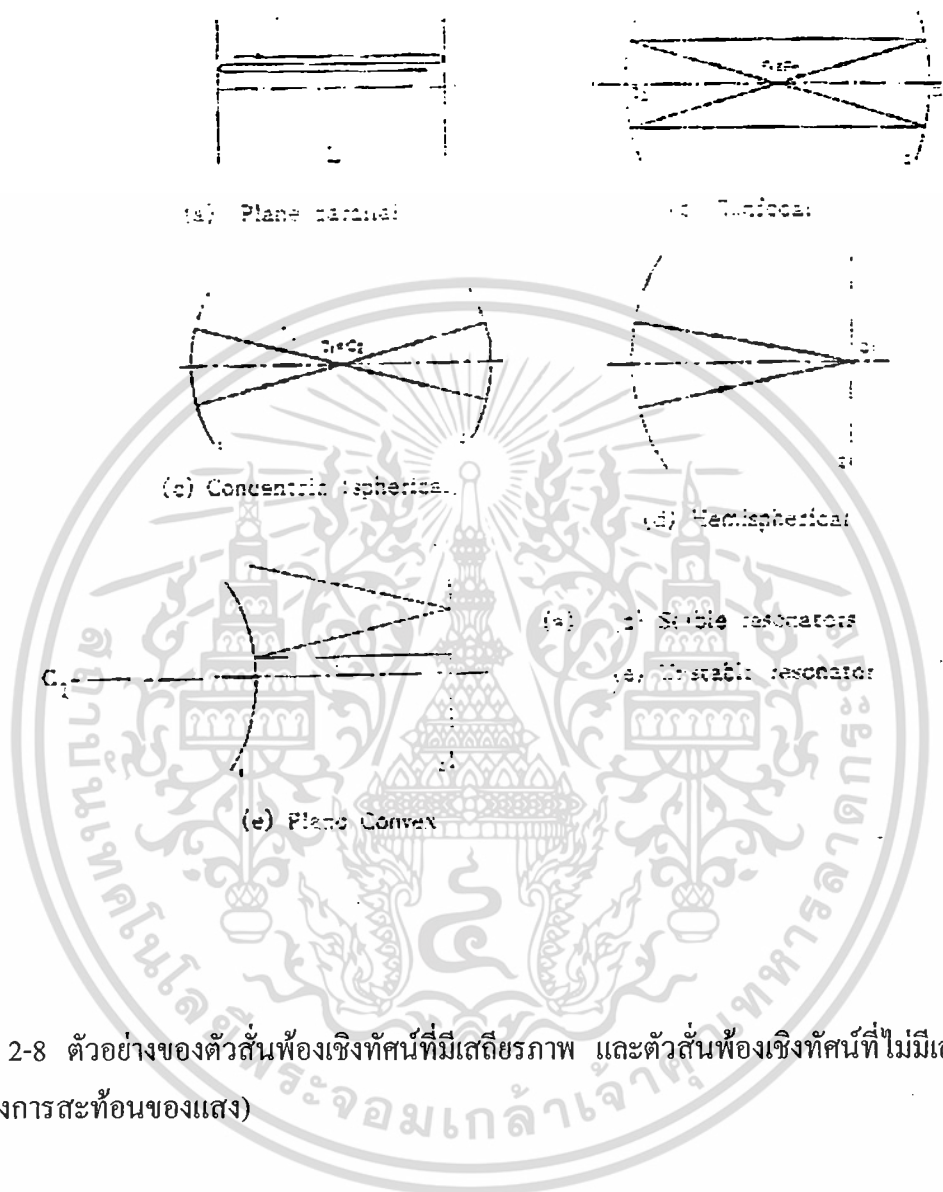


รูปที่ 2-7 ตัวสั่นพ้องเชิงทัศนประกอบด้วยกระจกโค้ง 2 บาน

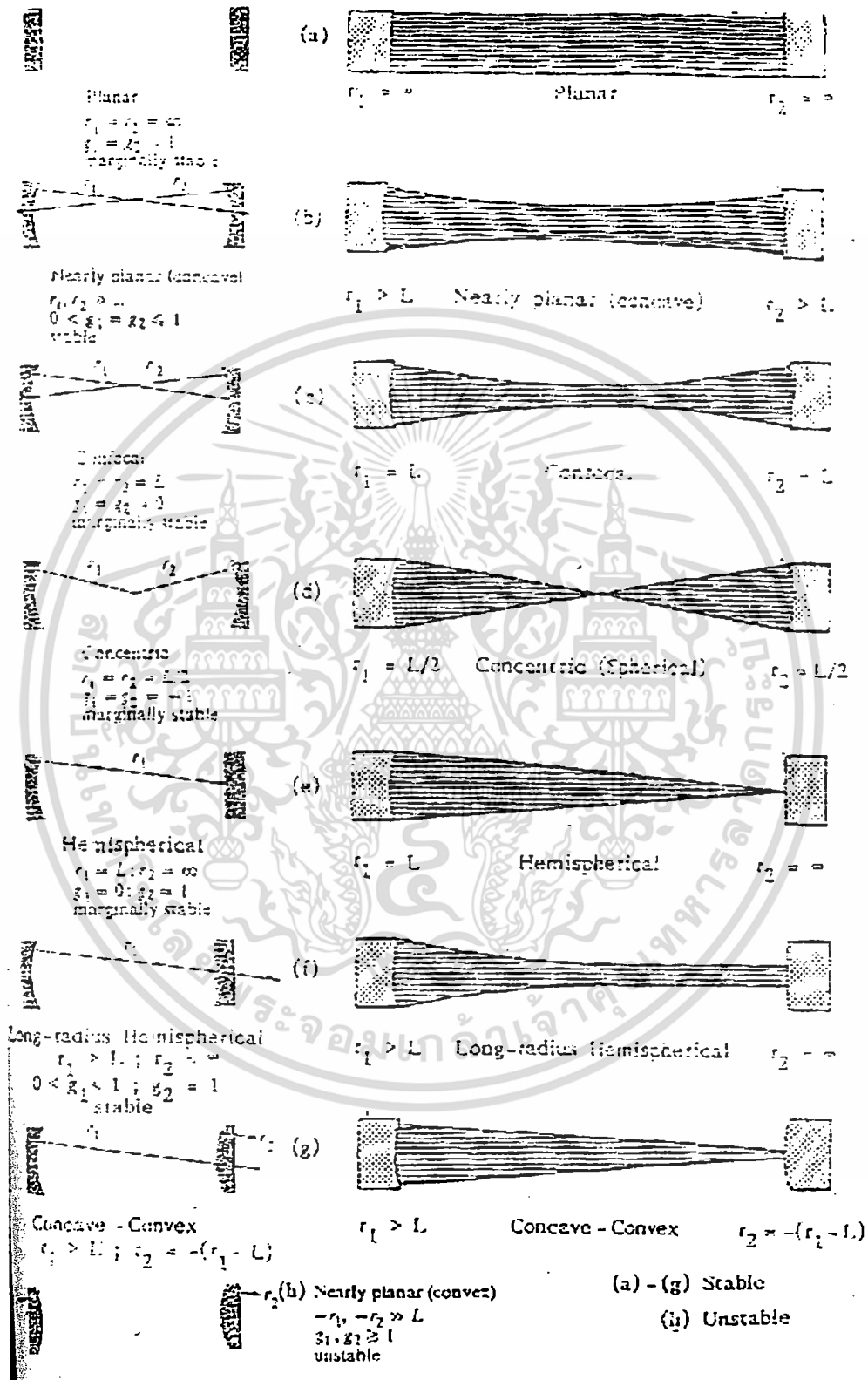
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตอนเริ่มต้นเมื่อให้ลำแสงตกกระทบขนานและใกล้กับแกนทางแสง แล้วค่อยๆ เอียงเป็นมุมทีละน้อย ลำแสงสะท้อนกลับไปมาหลายครั้งในบริเวณตัวสั่นพ้องเชิงทัศนหลังจากที่แสงสะท้อนกลับไปมาหลายๆครั้งหากลำแสงยังคงอยู่ใกล้กับแกนทางแสง จะถือว่าตัวสั่นพ้องเชิงทัศนนั้นมีการสูญเสียต่ำ ในทางกลับกันหากแสงเริ่มบานออกจากแกนทางแสง จะถือว่าตัวสั่นพ้องเชิงทัศนนั้นมีการสูญเสียสูง

จากวิธีการดังกล่าวข้างต้น โดยการเปลี่ยนระยะ L และรัศมีความโค้ง r_1, r_2 ไปเรื่อยๆ ก็สามารถหา r_1, r_2 ของกระจกแต่ละคู่ที่สามารถสะท้อนแสงได้หลายๆ ครั้ง โดยมีการสูญเสียน้อย ซึ่งเหมาะสำหรับใช้เป็น optical resonator ได้ และคู่ของกระจกเหล่านี้เรียกว่าตัวสั่นพ้องเชิงทัศนที่มีเสถียรภาพ (Stable resonators) ในทางกลับกันคู่ของกระจกที่มีการสูญเสียสูงเนื่องจากการสะท้อนหลายๆ ครั้ง ไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวสั่นพ้องเชิงทัศนได้ ซึ่งเรียกว่า ตัวสั่นพ้องเชิงทัศนที่ไม่มีเสถียรภาพ (Unstable resonators) รูปที่ 2-8 แสดงการสะท้อนกลับไปกลับมาของตัวสั่นพ้องเชิงทัศนที่มีเสถียรภาพ และตัวสั่นพ้องเชิงทัศนที่ไม่มีเสถียรภาพ



รูปที่ 2-8 ตัวอย่างของตัวสันพ้องเชิงทัศนที่มีเสถียรภาพ และตัวสันพ้องเชิงทัศนที่ไม่มีเสถียรภาพ (แสดงการสะท้อนของแสง)



รูปที่ 2-9 รูปแบบและชนิดของตัวสันพ้องเชิงทัศน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

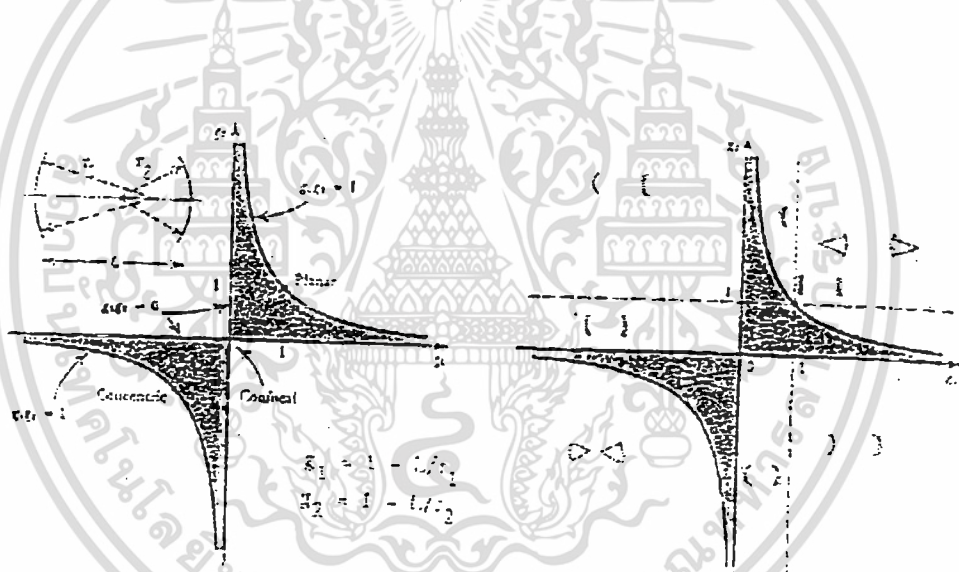
เอ.อี. ซีแมน (A.E. Siegman) ได้แสดงวิธีวิเคราะห์การหาตัวสั้นพ้องเชิงทัศนซึ่งสรุปเงื่อนไขต่างๆ ได้ดังนี้

ให้ $g_1 = 1 - L/r_1$, $g_2 = 1 - L/r_2$

เมื่อ $0 < g_1 g_2 < 1$ เงื่อนไขสำหรับการมีเสถียรภาพ (stable condition)

และ $g_1 g_2 < 0$ หรือ $g_1 g_2 > 1$ เงื่อนไขสำหรับการไม่มีเสถียรภาพ (unstable condition)

ส่วนค่า $g_1 g_2 = 0$ หรือ 1 เป็นรอยต่อระหว่างการมีเสถียรภาพ (stability) และการไม่มีเสถียรภาพ (instability) ซึ่งเรียกว่ากึ่งเสถียรภาพ-กึ่งไม่เสถียรภาพ (marginally stable) รูปที่ 2-9 แสดงรูปแบบของตัวสั้นพ้องเชิงทัศนแบบต่างๆ และจากสมการการหาตัวสั้นพ้องเชิงทัศน เราสามารถเขียนแผนภาพแสดงการมีเสถียรภาพ (stability diagram) สำหรับตัวสั้นพ้องเชิงทัศน ในเทอมของ g_1 และ g_2 ซึ่งตัวสั้นพ้องเชิงทัศนใดๆ แทนด้วยจุดบน ระนาบ $g_1 g_2$ ของรูปที่ 2-10



รูปที่ 2-10 แผนภาพแสดงการมีเสถียรภาพสำหรับตัวสั้นพ้องเชิงทัศน

(ทุกๆ ตัวสั้นพ้องเชิงทัศนที่ตกอยู่ในพื้นที่สีดำคือเรโซเนเตอร์ที่มีเสถียรภาพ)

รูปที่ 2-9 (a) – (g) เป็นตัวสั้นพ้องเชิงทัศนที่มีเสถียรภาพ 7 แบบที่นิยมใช้เป็นกระจกเลเซอร์สำหรับเลเซอร์โดยทั่วไปในแต่ละโคออร์ดิเนตของตัวสั้นพ้องเชิงทัศนพื้นที่ที่เป็นเงาสีดำหมายถึง “โหมควอลูม (mode volume)” ซึ่งหมายถึงปริมาตรภายในตัวกลางเลเซอร์ที่อยู่ภายนอก mode volume จะไม่มีส่วนช่วยในการทำให้เกิดเลเซอร์ ในการเลือกเลเซอร์ควอดริหรือ ตัวสั้นพ้องเชิงทัศนเพื่อใช้กับเลเซอร์ชนิดหนึ่งชนิดใดนั้น จะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบ 3 อย่างคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การสูญเสียเนื่องจากการเลี้ยวเบนของแสง (Diffraction loss)
- โหมดควอลูม (Mode volume)
- ง่ายต่อการปรับจูน (alignment)

จากแผนภาพรูปที่ 2-10 จะเห็นว่าตัวสั่นพ้องเชิงทัศนแบบระจกราบ (planar) หรือระนาบขนาน (plane-parallel), แบบโฟกัสร่วม (confocal) และ แบบศูนย์กลางร่วม/ทรงกลม (concentric/spherical) อยู่ตรงรอยต่อระหว่างตัวสั่นพ้องเชิงทัศนที่มีเสถียรภาพ และตัวสั่นพ้องเชิงทัศนที่ไม่มีเสถียรภาพพอดี ดังนั้นทั้งสามแบบนี้จึงยากต่อการปรับจูนเพราะถ้าการปรับจูนผิดพลาด (misalignment) เพียงนิดเดียวจะทำให้เกิดตัวสั่นพ้องเชิงทัศนที่ไม่มีเสถียรภาพทันที และจะมีผลทำให้ไม่เกิดการปล่อยแสงเลเซอร์ สำหรับข้อดี, ข้อเสีย และการใช้งานตัวสั่นพ้องเชิงทัศนแต่ละแบบจะกล่าวโดยย่อ ดังนี้

ตัวสั่นพ้องเชิงทัศนแบบระจกราบ (a) เป็นตัวสั่นพ้องเชิงทัศนแบบง่ายที่สุด และเป็นแบบแรกที่ใช้เป็นตัวสั่นพ้องเชิงทัศนซึ่งเรียกว่าแฟบริ-เพอโรต์ อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ (Fabry-Perot Interferometer) ถึงแม้ว่าจะเป็นตัวสั่นพ้องเชิงทัศนที่มีโหมดควอลูมสูงที่สุด แต่ก็มี การสูญเสียเนื่องจากการเลี้ยวเบนของแสงสูงที่สุดเช่นกัน และยิ่งกว่านั้นยังยากต่อการปรับจูน ดังนั้นในปัจจุบันจึงไม่นิยมใช้ตัวสั่นพ้องเชิงทัศนแบบขนานกับเลเซอร์เกือบทุกชนิด ยกเว้นพัลส์โซลิดสเตตเลเซอร์ (pulsed solid state lasers) เพราะมีโหมดควอลูมมาก ทำให้ประสิทธิภาพของการใช้สารเลเซอร์สูง

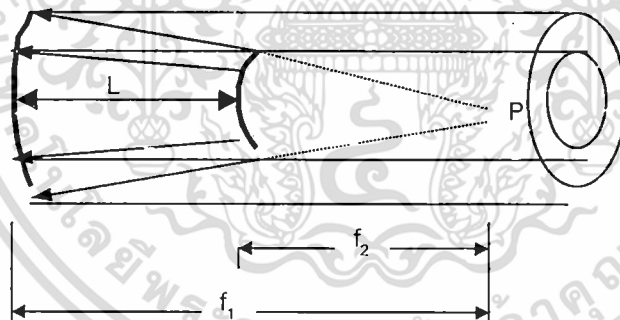
ตัวสั่นพ้องเชิงทัศนแบบทรงกลม (Spherical resonator) (d) เป็นแบบที่ตรงข้ามกับแบบขนาน คือมีโหมดควอลูมและสูญเสียเนื่องจากการเลี้ยวเบนของแสงต่ำที่สุด แต่การปรับจูนได้ง่ายที่สุด เนื่องจากตัวสั่นพ้องเชิงทัศนแบบนี้มี mode volume น้อย ดังนั้นจึงสามารถใช้ได้เฉพาะเลเซอร์ที่มีเกนสูง เช่น เลเซอร์ต่อเนื่องที่ได้จากตัวกลางที่เป็นของเหลว (CW dye lasers) เท่านั้น ส่วนเลเซอร์แบบอื่นๆ โดยทั่วไปจะไม่ใช้แบบนี้

ตัวสั่นพ้องเชิงทัศนแบบโฟกัสร่วม (Confocal) (c) ถือว่าเป็นแบบกึ่งกลางระหว่างแบบระจกราบกับแบบทรงกลม คือมีโหมดควอลูมค่อนข้างสูงและสูญเสียเนื่องจากการเลี้ยวเบนของแสงจะค่อนข้างสูงด้วยการปรับจูนจะง่ายกว่าแบบขนาน จึงสามารถใช้ได้กับเลเซอร์ต่อเนื่องทุกชนิด แต่อย่างไรก็ตามการปรับจูนแบบนี้ไม่นิยมใช้ในเชิงพาณิชย์

ตัวสั่นพ้องเชิงทัศนแบบครึ่งทรงกลม (Hemispherical) (e) จะมีสมบัติคล้ายๆ กับแบบทรงกลมแต่มีข้อได้เปรียบกว่าคือ ราคาจะถูกกว่าเพราะด้านหนึ่งของตัวสั่นพ้องเชิงทัศนเป็นผิวขนานไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการฝนให้เป็นผิวโค้ง โดยทั่วไปแบบนี้นิยมใช้กับฮีเลียม-นีออนเลเซอร์ (He-Ne laser) กำลังต่ำๆ เพราะต้องการให้มีการสูญเสียเนื่องจากการเลี้ยวเบนของแสงต่ำและมีราคาถูก

ตัวสั้นพ้องเชิงทัศนแบบครึ่งทรงกลมรัศมียาว (Long-radius hemispherical) (f) เป็นแบบที่ปรับปรุงจากแบบครึ่งทรงกลม คือทำให้มีโหมควอลูมสูงขึ้น แต่ราคายังคงถูก ดังนั้นจึงเป็นแบบที่ใช้อย่างกว้างขวางมากที่สุดกับเลเซอร์ต่อเนื่อง (ยกเว้นฮีเลียม-นีออนเลเซอร์กำลังต่ำ) และโดยทั่วไป $r_1 > 2L$

ตัวสั้นพ้องเชิงทัศนแบบกระจกเว้า-กระจกนูน (Concave-convex) (g) โดยปกติแบบนี้จะใช้กับคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์กำลังสูงเท่านั้น เพราะที่ไม่ต้องการให้เลเซอร์กำลังสูงทะลุผ่านกระจก r_2 (หรือ output window) ออกมา เนื่องจากว่ากระจกดังกล่าวอาจดูดกลืนพลังงานความร้อนของลำแสงเลเซอร์และเสียหายได้ ดังนั้นในทางปฏิบัติ r_2 แทนที่จะเป็นกระจกธรรมดา ก็จะเป็นกระจกสะท้อนแบบนูน (convex) ซึ่งสะท้อนแสงได้ 100% เช่นเดียวกับกระจก r_1 แต่มีขนาดเล็กกว่า ดังรูปที่ 2-11 ดังนั้นลำแสงเลเซอร์จะผ่านออกมาเป็นรูปวงแหวน จะเห็นได้ว่าการสะท้อนของแสงระหว่างกระจกทั้งสองในที่สุดจะ diverge ผ่านออกมาทางกระจกนูน ซึ่งตามรูปที่ 2-11 จะถือว่าเป็นตัวสั้นพ้องเชิงทัศนที่ไม่มีเสถียรภาพนั่นเอง สำหรับรูป (g) ซึ่งเป็นตัวสั้นพ้องเชิงทัศนที่ไม่มีเสถียรภาพแบบ (concave-convex unstable resonator) ก็ใช้หลักการสะท้อนคล้ายกับรูปที่ 2-11 เช่นกัน



รูปที่ 2-11 ตัวสั้นพ้องเชิงทัศนที่ไม่มีเสถียรภาพแบบกระจกเว้า-กระจกนูน

2.8 การพัฒนาคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์

หลังจากปี ค.ศ.1996 เป็นต้นมา ได้มีการพัฒนาคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์เป็นแบบต่างๆ เช่น Slow-axial flow CO₂ laser, Fast-axial flow CO₂ laser, Transverse excited atmospheric (TEA) CO₂ Sealed-off CO₂ laser และ Waveguide CO₂ laser นอกจากนั้นยังสามารถทำให้เลเซอร์ทำงานได้ ทั้งแบบต่อเนื่อง (CW) และแบบเป็นพัลส์ (pulsed) ทั้งยังสามารถกระตุ้นโมเลกุลของแก๊สโดยใช้ไฟฟระแสตรงแรงสูง (high voltage dc discharge) อย่างไรก็ตามในที่นี่จะกล่าวถึงเฉพาะระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ที่เกี่ยวข้องกับในงานวิจัยนี้เท่านั้น คือ แบบ Slow-axial flow CO₂ laser

Slow-axial flow CO₂ laser

หลักการของระบบนี้คือ หลอดเลเซอร์เป็นแก้วถูกหุ้มด้วยท่อแก้วหรือท่อพี.วี.ซี. อีกชั้นหนึ่ง เพื่อเป็นทางให้น้ำ สามารถเข้าไประบายความร้อนจากหลอดเลเซอร์ ภายในหลอดเลเซอร์จะถูกดูดเอาอากาศออกโดยปั๊มสุญญากาศ (rotary vacuum pump) แล้วใส่แก๊สผสม (CO₂, N₂, He) เข้าไป หลังจากนั้นจึงจ่ายไฟแรงสูงกระแสตรงให้แก่หลอดเลเซอร์ แก๊สจะไหลผ่านหลอดเลเซอร์เนื่องจากการดูดอากาศออกของปั๊มสุญญากาศ โดยทั่วไปความเร็วของแก๊สน้อยกว่า 10 เมตร/วินาที สำหรับ Slow-axial flow และความดันของแก๊สในขณะที่เกิดการคายประจุ (discharge) ของแก๊สในหลอดค่อนข้างต่ำคือไม่เกิน 10 มิลลิบาร์ นอกจากนี้การระบายความร้อนของแก๊สภายในหลอดเกิดขึ้นโดยการถ่ายเทความร้อนของแก๊สจากตรงกลางหลอดไปยังผนังท่อแก้วไปสู่ น้ำที่อยู่รอบหลอดซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบคอนดัคชันคู่กลึง (conduction cooling) เนื่องจากว่าแก๊สมีการนำความร้อน (thermal conductivity) ต่ำ ทำให้การระบายความร้อนซ้ำประสิทธิภาพของเลเซอร์แบบ Slow-axial flow จึงต่ำ ดังนั้นกำลังของเลเซอร์แบบนี้จึงมีขีดจำกัด คือจะได้กำลังไม่เกิน 75 วัตต์ ต่อความยาวของหลอด 1 เมตร และถ้าความยาวของหลอดเพิ่มขึ้นจะยิ่งทำให้ประสิทธิภาพของหลอดลดลง ดังนั้นระบบเลเซอร์แบบนี้กำลังจะไม่เกิน 400 วัตต์ เพราะฉะนั้นจะต้องใช้หลอดเลเซอร์ที่ยาวมากๆ

บทที่ 3

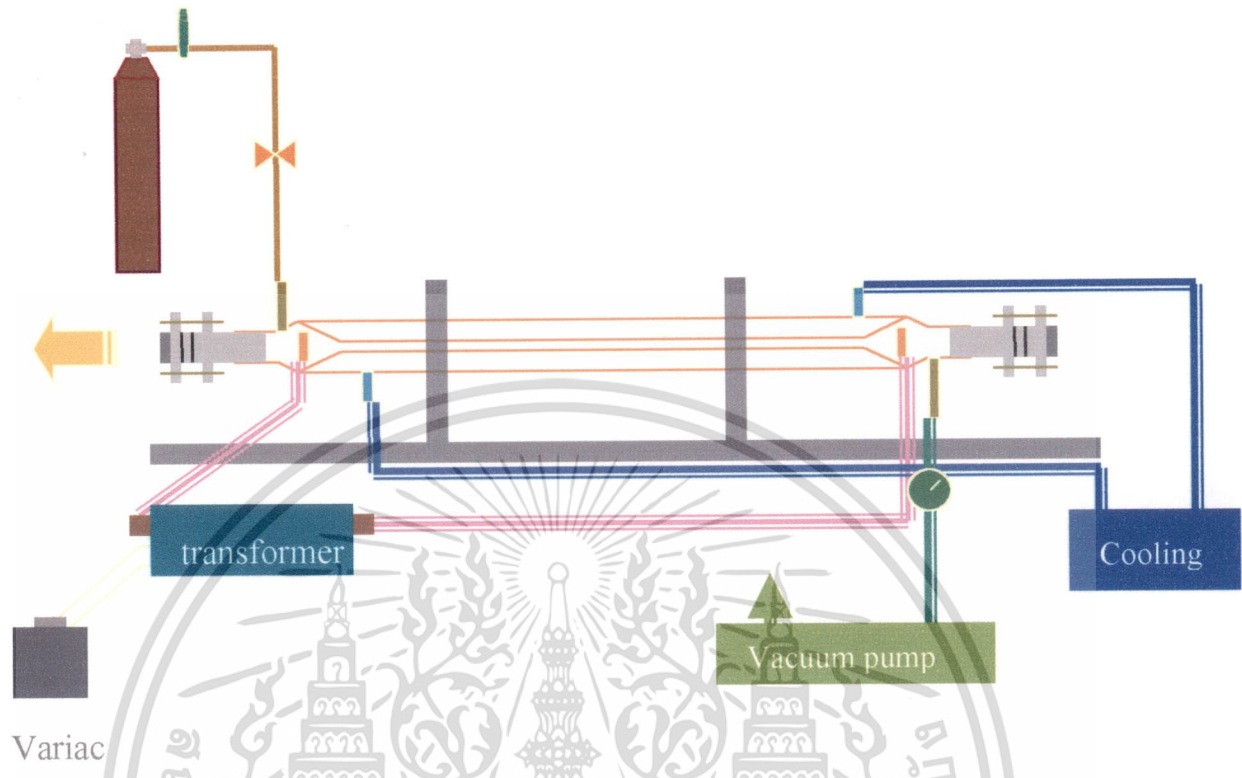
การดำเนินการสร้างระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์

ระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ในโครงการนี้เป็นเลเซอร์แบบต่อเนื่องในระบบ Slow-axial flow ซึ่งให้กำลังของแสงเลเซอร์ได้ประมาณ 10 วัตต์ ที่ความเร็วของแก๊สในระบบประมาณไม่เกิน 10 เมตรต่อวินาที โดยระบบเลเซอร์ประกอบด้วยระบบย่อยๆ

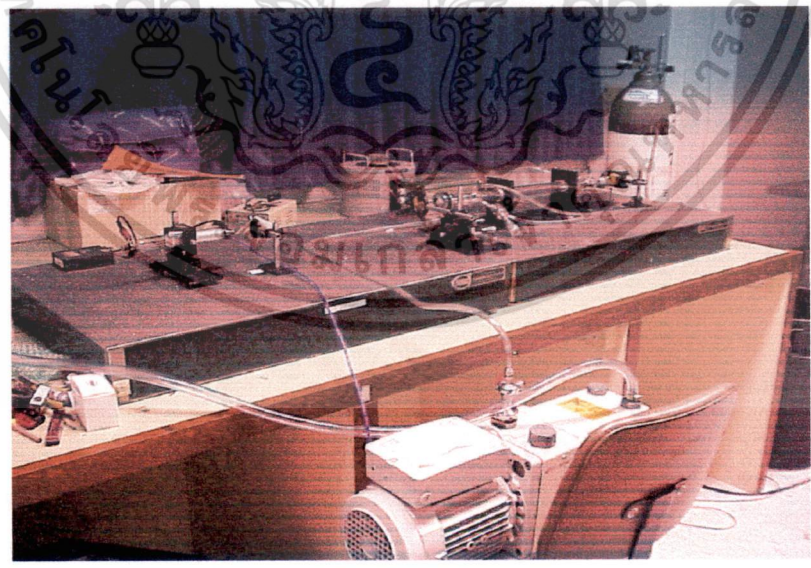
- 3.1 โครงสร้างของระบบเลเซอร์
- 3.2 ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงดันสูง
- 3.3 หลอดเลเซอร์
- 3.4 ระบบของกระจกและวิธีการจัดกระจก
- 3.5 ระบบสุญญากาศ
- 3.6 ระบบการระบายความร้อน
- 3.7 การเติมแก๊สเข้าสู่ระบบ

3.1 โครงสร้างของระบบเลเซอร์

โครงสร้างของระบบเลเซอร์ในโครงการนี้เป็นเลเซอร์ในระบบ Slow-axial flow ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3-1 จากรูปจะเห็นว่าหลอดเลเซอร์ที่ทำจากแก้วไพเร็กซ์ (Pyrex) มีความยาว 60 เซนติเมตร ตั้งอยู่บนฐานรองอะครีลิก (acrylic) ที่มีขนาดกว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 80 เซนติเมตร ที่ปลายทั้งสองด้านของหลอดเลเซอร์จะต่ออยู่กับตัวปรับกระจกเลเซอร์ที่มีกระจกเลเซอร์ติดอยู่โดยที่ตัวปรับกระจกนี้สามารถปรับระนาบของกระจกได้ ในงานวิจัยนี้ใช้กระจกหน้าที่มีค่าการสะท้อน 95 % และกระจกหลังมีค่าการสะท้อน 100% ตัวหลอดเลเซอร์จะต่ออยู่กับระบบระบายความร้อน ซึ่งจะต่อเข้ากับระบบระบายความร้อน โดยใช้ปั๊มน้ำสูบน้ำจากถังน้ำเข้าสู่แจ็กเก็ตของหลอดแล้วระบายออกลงสู่ถังตามเดิม นอกจากนั้นช่องที่แก๊สเข้าจะต่ออยู่กับถังแก๊สที่หัวถังจะติดโฟลว์มิเตอร์ (flow meter) เพื่อวัดอัตราการไหลของแก๊สที่เข้าสู่หลอด ที่ตัวหลอดจะติดเกจวัดความดันใช้วัดความดันภายในหลอด ส่วนช่องที่แก๊สออกจะต่อกับระบบปั๊มสุญญากาศเพื่อสูบเอาอากาศออก และให้แก๊สไหลเข้าเพื่อให้ระบบเป็นแบบ slow-axial flow ที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสองของหลอดเลเซอร์จะต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง 15000 โวลต์



รูปที่ 3-1 โครงสร้างของระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์



รูปที่ 3-2 โครงสร้างทั้งหมดของระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงสูง

ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงสูง จะใช้ไฟฟ้าที่มีแรงดัน 220 โวลต์ ต่อเข้ากับตัวปรับแรงดันปรับค่าได้ (variable voltage transformer) แล้วต่อเข้ากับหม้อแปลง (transformer) ซึ่งจะแปลงไฟฟ้าและทวีแรงดันจนมีค่าแรงดันประมาณ 15 กิโลโวลต์ หม้อแปลง (transformer) จะมีลักษณะดังรูปที่ 3-3



รูปที่ 3-3 หม้อแปลงไฟฟ้า

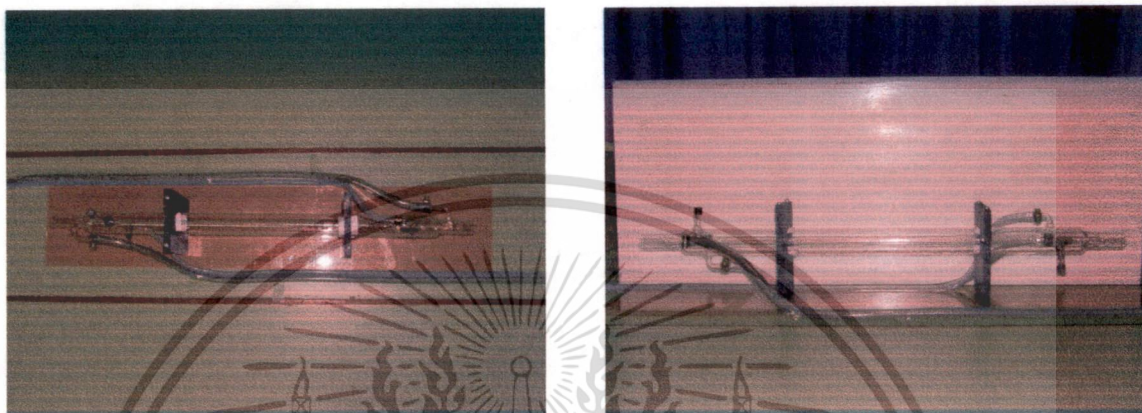
3.3 หลอดเลเซอร์

หลอดเลเซอร์เป็นส่วนที่ให้แก๊สผสมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์, ไนโตรเจนและฮีเลียม ไหลผ่านแล้วทำให้เกิดการคายประจุ (discharge) ของแก๊สด้วยไฟฟ้าแรงดันสูง ส่งผลให้โมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ถูกกระตุ้นและปล่อยพลังงานความยาวคลื่น 10.6 ไมโครเมตร ออกมา ดังนั้นหลอดเลเซอร์ควรมีคุณสมบัติดังนี้

- ทนความร้อนสูง
- เป็นฉนวนทางไฟฟ้าที่ดี
- สามารถใช้ร่วมกับระบบสุญญากาศได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโครงการนี้จึงใช้หลอดเลเซอร์ที่ทำจากท่อแก้วไพเร็กซ์ (pyrex) เพราะเป็นฉนวนทางไฟฟ้าที่ดีและทนความร้อนได้ถึง 500 องศาเซลเซียส อีกทั้งยังสามารถใช้กับระบบสุญญากาศได้ หลอดเลเซอร์มีลักษณะเป็น



รูปที่ 3-4 หลอดเลเซอร์ทั้งด้านบนและด้านล่าง

หลอดสองชั้น ยาว 60 เซนติเมตร หลอดชั้นนอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร หลอดชั้นในมีทางน้ำเข้าและออก ใช้เป็นระบบระบายความร้อนให้หลอดชั้นใน ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดชั้นในประมาณ 8 มิลลิเมตร ใช้เป็นหลอดคิสซาร์จของแก๊ส มีทางแก๊สเข้าและออก โดยทางที่แก๊สออกจะต่ออยู่กับปั๊มสุญญากาศ

3.4 ระบบของกระจกและวิธีการปรับกระจก

กระจกที่ใช้เป็นตัวสั้นพ้องเชิงทัศนในงานวิจัยนี้จะประกอบด้วยกระจก 2 บาน อยู่ในตัวปรับกระจก และตัวปรับกระจกนี้จะต่ออยู่กับปลายทั้งสองด้านของหลอดเลเซอร์ กระจกทั้งสองจะทำหน้าที่สะท้อนลำโฟตอนให้เคลื่อนที่กลับไปมาภายในหลอดเลเซอร์ เมื่อโฟตอนมีความเข้มมากพอจะมีเลเซอร์ทะลุผ่านออกมาที่กระจกด้านหน้า ในงานวิจัยนี้ใช้กระจกหลังที่มีค่าการสะท้อนเป็น 100% มีรัศมีความโค้งเป็น 1.2 เมตร และกระจกหน้าเป็นกระจกราบมีค่าการสะท้อน 95% ดังนั้นตัวสั้นพ้องเชิงทัศน (optical resonator) ที่ใช้มีคุณสมบัติดังนี้

$$\text{ระยะระหว่างกระจก (L)} = 0.60 \text{ เมตร}$$

$$\text{รัศมีความโค้งของกระจกด้านหน้า (r}_1\text{)} = \text{อนันต์}$$

$$\text{รัศมีความโค้งของกระจกด้านหลัง (r}_2\text{)} = 1.2 \text{ เมตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

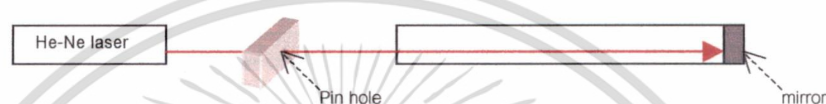
จากสมการ $g_1 = 1 - L/r_1$, $g_2 = 1 - L/r_2$

$$g_1 = 1$$

$$g_2 = 0.5$$

$g_1 g_2 = 0.5$ ซึ่งเป็นสถานะที่เสถียรดังรูปที่ 2-10

วิธีการปรับกระจก สามารถทำได้โดยจัดระบบดังรูปที่ 3-5



รูปที่ 3-5 วิธีการจัดแนวกระจกที่ใช้เป็นตัวส่งพ้องเชิงทัศน

1. นำแหล่งกำเนิดฮีเลียม-นีออนเลเซอร์ (He-Ne laser) มาวางในแนวขนานกับหลอดคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ที่ติดกระดาษขาวไว้ที่ปลายทั้งสองด้าน
2. นำแผ่นกระดาษที่เจาะรูเล็กๆ มาวางไว้ระหว่างแหล่งกำเนิดกับหลอดเลเซอร์ เพื่อให้แสงจากฮีเลียม-นีออนเลเซอร์ผ่านเข้าไปตามความยาวของหลอดเลเซอร์ ถ้าแสงยังไม่ตกตรงตำแหน่งศูนย์กลางของหลอดเลเซอร์ให้ปรับระดับของฮีเลียม-นีออนเลเซอร์จนกระทั่งจุดสว่างของฮีเลียม-นีออนเลเซอร์ตกที่จุดศูนย์กลางของหลอดเลเซอร์โดยสังเกตได้จากกระดาษที่ติดไว้
3. นำแผ่นกระดาษที่ติดไว้ ออก
4. วางกระจกบานแรกไว้ที่ปลายด้านหลังของหลอดเลเซอร์ดังรูปที่ 3-5
5. ให้ลำฮีเลียม-นีออนเลเซอร์ส่องผ่านช่องเล็กๆ (pin hole) เข้าไปในหลอดที่จะใช้ทำคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ ไปสะท้อนกระจกบานหลัง จากนั้นทำการปรับเบื้องต้นที่ตัวยึดกระจกจนกว่าลำเลเซอร์จะสะท้อนกลับ ผ่านช่องเล็กๆ ไปยังจุดเดิมจากแหล่งกำเนิด
6. ส่วนกระจกอีกด้านก็ทำวิธีการเช่นเดียวกันนี้ โดยนำกระจกมาวางไว้ด้านหน้าของหลอดเลเซอร์ให้ลำฮีเลียม-นีออนเลเซอร์ผ่านช่องเล็กๆ เข้าไปสะท้อนกระจกแล้วทำการปรับเบื้องต้นที่ตัวยึดกระจกจนกว่าลำเลเซอร์จะสะท้อนกลับ ไปยังจุดเดิมจากแหล่งกำเนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ทำให้ฮีเลียม-น็อนเลเซอร์, ช่องเล็กๆ (pin hole), หลอดเลเซอร์และกระจกทั้งสองบาน อยู่ใน แนวเดียวกัน และเมื่อระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ทำงานแล้วจะต้องทำการปรับกระจกอีกครั้งเพื่อให้ได้เลเซอร์ออกมา



รูปที่ 3-6 การจัดแนวระบบเลเซอร์ ในขณะที่ทำการทดลอง

3.5 ระบบสุญญากาศ

ในระบบสุญญากาศจะต่อปั๊มสุญญากาศแบบโรตารี (rotary vacuum pump) เข้ากับหลอดเลเซอร์ เพื่อให้หลอดเลเซอร์เป็นสุญญากาศก่อน โดยปั๊มสุญญากาศแบบโรตารีนี้มีความสามารถดูดอากาศออกได้ถึงความดัน 10^{-2} มิลลิบาร์ ปั๊มสุญญากาศที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นปั๊มสุญญากาศของบริษัท Edward รุ่น RV 12 ซึ่งมีความเร็วในการปั๊ม 12 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ดังรูปที่ 3-7

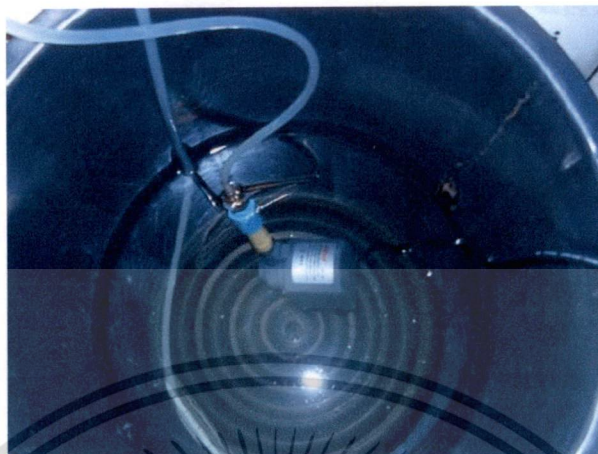
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-7 ปัมสุญญากาศ

3.6 ระบบระบายความร้อน

เนื่องจากแก๊สที่ไหลผ่านหลอดเลเซอร์ เมื่อถูกจ่ายด้วยศักดาไฟฟ้าแรงสูงและสร้างให้เกิดแสงเลเซอร์ซึ่งเป็นรังสีความร้อนแล้ว ภายในหลอดเลเซอร์ยังเกิดพลาสมาดิสชาร์จ (plasma discharge) ซึ่งทำให้หลอดเลเซอร์เกิดความร้อนสะสมอยู่ภายในหลอด ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเลเซอร์ลดลง และหลอดอาจแตกได้ จึงต้องมีระบบระบายความร้อนให้กับหลอดเลเซอร์ โดยที่ระบบระบายความร้อนนี้เป็นระบบหมุนเวียน กล่าวคือ ระบบปั๊มน้ำจะต่ออยู่กับหลอดเลเซอร์ ปั๊มน้ำจะทำหน้าที่สูบน้ำเข้าและออกจากหลอดโดยผ่านถังบรรจุน้ำเพื่อระบายความร้อนให้กับหลอดเลเซอร์ ซึ่งมีอัตราการสูบน้ำอยู่ที่ 2000 ลิตร/ชั่วโมง ดังรูปที่ 3-8

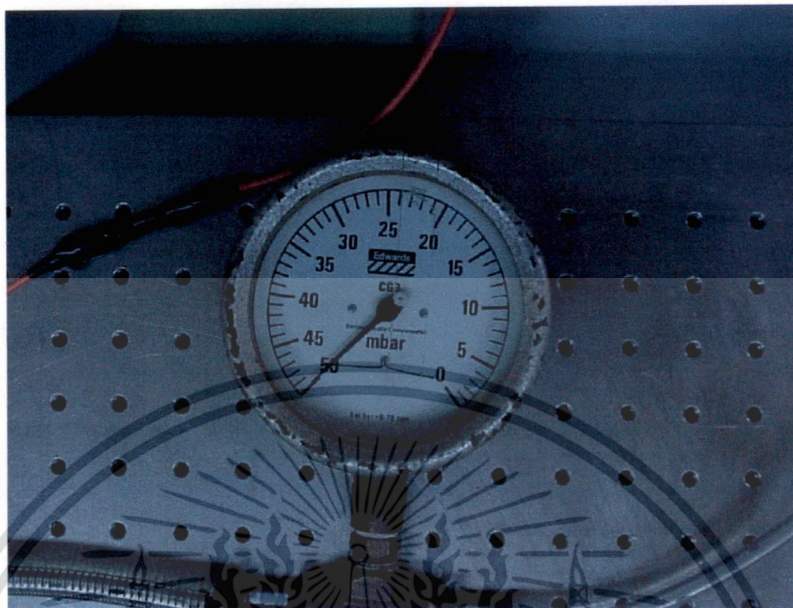


รูปที่ 3-8 ระบบระบายความร้อนของหลอดเลเซอร์

3.7 การเติมแก๊สเข้าสู่ระบบ

ในระบบแก๊สของคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ ประกอบด้วยแก๊สผสมของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), ไนโตรเจน (N_2), ฮีเลียม (He) ในอัตราส่วน 6:23:71 โดยที่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารเลเซอร์ (active medium) แก๊สไนโตรเจนเป็นตัวช่วยทำให้โมเลกุลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดประชากรผกผันและเกิดการปล่อยแสงเลเซอร์ ส่วนแก๊สฮีเลียมผสมเข้าไปเพื่อช่วยถ่ายเทความร้อนภายในหลอดเลเซอร์ให้เร็วขึ้น ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของการเกิดเลเซอร์ดีขึ้น

สำหรับการควบคุมการไหลของแก๊สนั้น จะมีวาล์วควบคุมการไหลและเกจวัดความดันของแก๊สผสมภายในถัง วาล์วควบคุมการไหลของแก๊สนั้นจะติดอยู่ที่หัวถัง มีหน่วยวัดอัตราการไหลของแก๊สเป็น ลิตร/นาที ส่วนที่หลอดเลเซอร์จะติดเกจวัดความดันชนิดบัวดอง (Bourdon gauge) ทำหน้าที่วัดความดันของแก๊สที่อยู่ภายในหลอดเลเซอร์



รูปที่ 3-9 เกจวัดความดันชนิดบัวทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

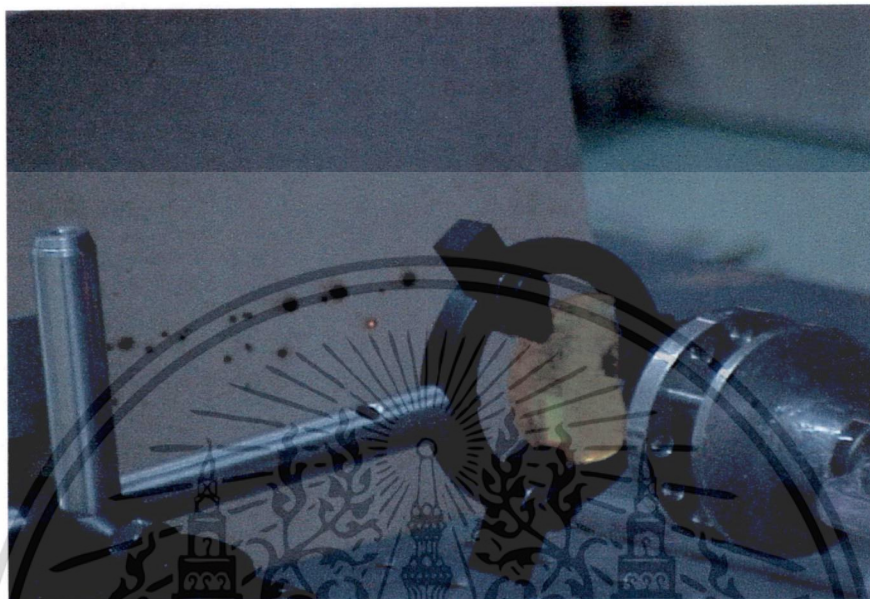
ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการสร้างระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์แบบต่อเนื่อง แบบ slow-axial flow ที่ความดันของระบบอยู่ในช่วง 20-30 มิลลิบาร์ โดยการดิสชาร์จ แก๊สผสมทำให้เกิดเลเซอร์ออกมา นอกจากนี้ยังได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความดันของระบบกับกำลังของเลเซอร์ที่ได้โดยเปลี่ยนค่าความดันของระบบแล้วสังเกตกำลังของเลเซอร์จากเครื่องวัดกำลังของเลเซอร์ และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ป้อนให้ระบบเลเซอร์กับกำลังที่ได้ออกมา



รูปที่ 4.1 การเกิดเลเซอร์บนฉาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 รอยไหม้ที่เกิดจากเลเซอร์บนฉาก

4.1 การวัดกำลังของเลเซอร์

ในงานวิจัยนี้กำลังของเลเซอร์ (laser output power) สามารถวัดได้โดยตรงโดยใช้หัววัดกำลังของเลเซอร์ชนิดเทอร์โมไพล์ (thermopile) ของบริษัท Coherent โดยที่หัววัดนี้จะต่ออยู่กับมัลติมิเตอร์ของบริษัท Hewlett Packard รุ่น 972A หัววัดกำลังนี้จะแสดงผลของการวัดออกมาเป็นค่าความต่างศักย์ ซึ่งจากคู่มือของหัววัดนี้เมื่อนำมาเทียบเป็นกำลังจะได้ 0.7 โวลต์ เท่ากับ 1 วัตต์ เช่น มัลติมิเตอร์อ่านค่าได้ 1 โวลต์ กำลังของเลเซอร์จะเป็น

$$0.7 \text{ v} = 1 \text{ W}$$

$$1 \text{ v} = \frac{1}{0.7} = 1.4 \text{ W}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความดันของระบบกับกำลังของเลเซอร์

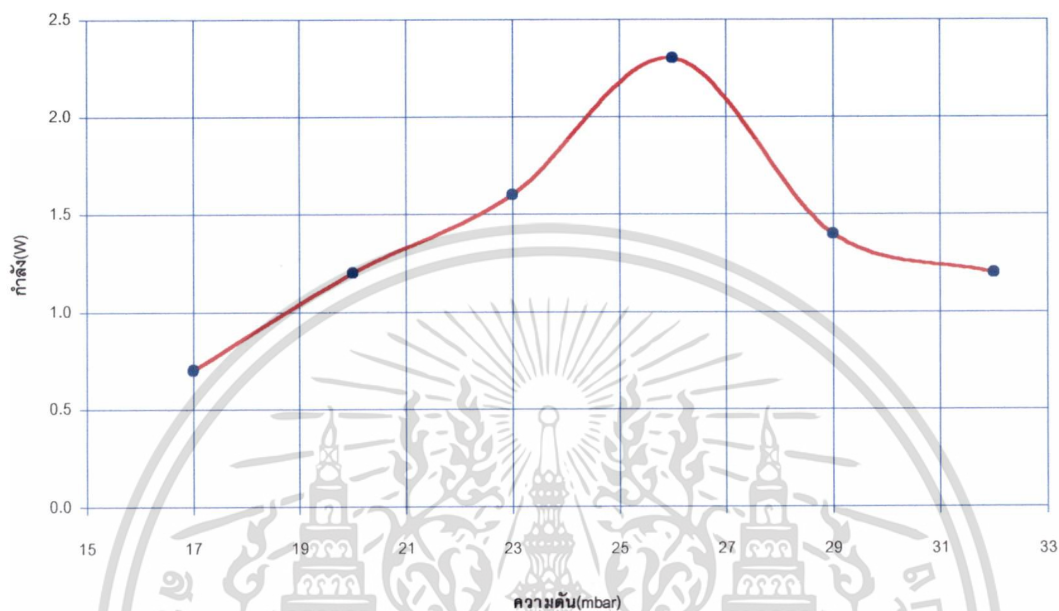
การทดลองในตอนนี้จะทำการศึกษาผลของความดันที่มีต่อกำลังของแสงเลเซอร์โดยใช้แก๊สผสมที่มีส่วนผสมของแก๊สฮีเลียม, คาร์บอนไดออกไซด์, แก๊สไนโตรเจน ($\text{He}/\text{CO}_2/\text{N}_2$) เป็น 71%:6%:23% ตามลำดับ แก๊สทั้ง 3 ชนิดถูกผสมอยู่ในถังเดียวกันโดยบริษัทไทยอินดัสตรีลแก๊ส จำกัด (TIG) การทดลองนี้ทำการดิสชาร์จที่กระแส 20 มิลลิแอมแปร์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การศึกษาผลของความดันที่มีต่อการเพิ่มกำลังของเลเซอร์

ความดัน (mbar)	กำลัง (w)
17	0.7
20	1.2
23	1.6
26	2.3
29	1.4
32	1.2

หมายเหตุ กำลังของเลเซอร์ที่ปรากฏในตารางที่ 4.1 ได้ทำการคำนวณจากค่าความต่างศักย์ที่ปรากฏจากมัลติมิเตอร์เรียบร้อยแล้ว

จากตารางที่ 4.1 สามารถนำมาเขียนกราฟระหว่างความดันและกำลังของเลเซอร์ได้ดังนี้



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันของระบบกับกำลังของเลเซอร์

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับความดันภายในหลอดเลเซอร์ ในขณะที่กระแสที่จ่ายให้หลอดเลเซอร์มีค่าคงที่ จะมีค่าความดันค่าหนึ่งที่ทำให้ได้กำลังของเลเซอร์มากที่สุด หากค่าความดันมีค่าสูงหรือต่ำกว่านั้นกำลังของเลเซอร์จะมีค่าลดลงไป พิจารณาสมการระยะปลดการชนเฉลี่ย

$$\bar{\lambda} = \frac{kT}{4\sqrt{2} \pi r^2 p} \quad (4.1)$$

เมื่อ r = รัศมีโมเลกุลของแก๊ส
 p = ความดันของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 4.1 จะพบว่าเมื่อระบบมีความดันต่ำเกินไปค่าระยะปลอดการชนเฉลี่ย (mean free path) ของแก๊สจะมีค่ามาก ส่งผลให้โมเลกุลของแก๊สเกิดการชนกันได้ยาก ในขณะที่เมื่อระบบมีความดันสูงเกินไป ช่วงระยะปลอดการชนเฉลี่ยของแก๊สจะม่น้อย จนทำให้เมื่อเกิดการชนกันจะไม่สามารถถ่ายเทพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งสองสามเหตุนี้เป็ผลทำให้กำลังของเลเซอร์ลดลง ซึ่งจากการทดลองค่าความดันของระบบที่พอเหมาะที่ทำให้เลเซอร์มีกำลังสูงที่สุดคือ 26 มิลลิบาร์



บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์แบบต่อเนื่อง ในระบบ slow-axial flow ของแก๊สผสม (คาร์บอนไดออกไซด์, ไนโตรเจน และฮีเลียม) ซึ่งแก๊สจะเคลื่อนที่ด้วยแรงดูดจากปั๊มสุญญากาศแบบโรตารี ผ่าน โฟลว์มิเตอร์และเกจวัดความดัน โดยก่อนที่จะทำการเติมแก๊สเข้าสู่ระบบ จะต้องให้ระบบมีความดันต่ำกว่า 10^{-1} มิลลิบาร์เสียก่อน แล้วจึงปล่อยแก๊สผ่านหลอดเลเซอร์ ซึ่งเป็นท่อสองชั้น ที่ชั้นในเป็นท่อคิซาร์จแก๊ส และชั้นนอกเป็นส่วนของการระบายความร้อนจากตัวหลอดเลเซอร์ด้วยน้ำ

ส่วนของตัวส่งพียงเชิงทัศนจะมีลักษณะแบบครึ่งทรงกลมรัศมียาว (long-radius hemispherical) กล่าวคือกระจกด้านหน้าเป็นแบบกระจกราบ มีค่าการสะท้อน 95% ทำจากซิงค์เทลไนด์ (ZnSe) เคลือบด้วยสารกันสะท้อน ส่วนกระจกหลังเป็นแบบกระจกเว้า มีค่ารัศมีความโค้ง เป็น 1.5 เมตร ทำจากซิลิกอน (Si) เคลือบด้วยทองเพื่อให้สะท้อนแสงได้ดีที่ย่านความยาวคลื่น 10.6 μm และการคิซาร์จแก๊สจะทำผ่านระบบจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง โดยการปรับตัวปรับแรงดัน (variable voltage transformer) ที่ต่อกับหม้อแปลง ไปสู่ขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง จะทำให้เกิดสภาวะกระตุ้นและปลดปล่อยโฟตอนให้เคลื่อนที่ในตัวส่งพียงเชิงทัศนทำให้เกิดการขยายของโฟตอน เมื่อโฟตอนมีความเข้มมากพอเลเซอร์จะถูกส่งผ่านออกมาจากกระจกหน้าซึ่งมีค่าการสะท้อน 95%

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัจจัยด้านความดันของระบบที่มีผลต่อกำลังของเลเซอร์ จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับความดันภายในหลอดเลเซอร์ (โดยการเพิ่มอัตราการเติมแก๊สผสม) ในขณะที่แรงดันที่จ่ายให้กับหลอดเลเซอร์มีค่าคงที่ จะมีค่าความดันค่าหนึ่งที่ทำให้ได้กำลังของเลเซอร์มากที่สุด หากค่าความดันมีค่าสูงหรือต่ำกว่าค่านั้นกำลังของเลเซอร์มีค่าลดลงไป ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากเมื่อระบบมีความดันต่ำเกินไป ค่าระยะปลอดการชนเฉลี่ย (mean free path) ของแก๊สจะมีค่ามาก ส่งผลให้แก๊สเกิดการชนกัน (เกิดการถ่ายทอดพลังงานกัน) ได้ยาก ในขณะที่เมื่อระบบมีความดันสูงเกินไป ค่าระยะปลอดการชนเฉลี่ยของแก๊สจะมีค่าน้อยจนทำให้เมื่อเกิดการชนกันจะไม่สามารถถ่ายทอดพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งสองสาเหตุนี้เป็นผลทำให้กำลังของเลเซอร์ลดลง ซึ่งจากการทดลองนี้ค่าความดันของระบบที่พอเหมาะทำให้เลเซอร์มีกำลังมากที่สุดคือ 26 มิลลิบาร์

ข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษาควรปรับปรุงระบบจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงให้เป็นแบบกระแสตรง เนื่องจากกระแสตรงจะสามารถกระตุ้นให้เกิดการดิสชาร์จของแก๊สได้สม่เสมอมากกว่า ทำให้ได้เลเซอร์ที่มีประสิทธิภาพดีกว่า
2. ปรับปรุงให้ระบบจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงสามารถจ่ายแรงดันและกระแสได้สูงกว่านี้
3. ปรับปรุงตัวจับยึดกระจกให้มีรูปแบบที่ง่ายต่อการปรับระนาบกระจกให้ดียิ่งขึ้น
4. เปลี่ยนสายยางที่ใช้ในระบบสุญญากาศให้เป็นสายยางที่ใช้กับระบบสุญญากาศโดยเฉพาะเพื่อป้องกันการรั่วของระบบ



เอกสารอ้างอิง

1. The engineering staff of coherent LASERS : Operation, Equipment, Application, and Design p. 2-8 McGrawhill, 1980
2. Duley W.W. CO₂ Lasers Effects and Applications p.1-3 Academic Press, Inc. 1976
3. Duley W.W. CO₂ Lasers Effects and Applications p.15 –18 Academic Press, Inc. 1976
4. ภูมิศักดิ์ น้อยนิตย์ “การพัฒนาระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2535
5. ศ. ทิพยวรรณ คคล้ายบุญมี “การศึกษาแหล่งกำเนิดไอออนชนิดฮอโลแคโทดแมกนีตรอน” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง, 2544