

คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์แบบที่สวารค์ตามแนวแกน

AXIAL DISCHARGE CO₂ LASERS



วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตเจ้าคุณทหาร-ลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2525

๑๙๙๖

๙ ๒๘๒ ๓

๒๕๒๕

๑๑

๐๑๖๐๕๐๗

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	vii
บทคัดย่อ	viii
Abstract	ix
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎี	5
2.1 บทนำ	5
2.2 กลไก CO ₂ เลเซอร์	5
2.2.1 ระดับชั้นพลังงานของ CO ₂ และการส่งผ่านเลเซอร์	5
2.2.2 การยกกระตุ้นพลังงานของ CO ₂ โมเลกุล	8
2.3 เสถียรภาพของกระจกสะท้อนเลเซอร์	10
2.4 เนื้อสารทางออกเลเซอร์	12
2.5 อุปกรณ์วัดโฟโตรีเลคทริก	13
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างระบบ CO ₂ เลเซอร์และอุปกรณ์อื่น ๆ ...	15
3.1 บทนำ	15
3.2 หลอดเลเซอร์	18
3.2.1 :การกำหนดขนาดหลอดเลเซอร์และหลอดระบายความร้อน	18
3.3 ฐานเลเซอร์	19
3.4 อุปกรณ์ส่วนหัวเครื่องกำเนิดเลเซอร์และข้อต่อส่วนกลางหลอดเลเซอร์	20

3.4.1	ส่วนหัวที่ปรับได้	20
3.4.2	ส่วนหัวที่ปรับไม่ได้	25
3.4.3	ขอตอส่วนกลางหลอดเลเซอร์	32
3.5	ระบบจลาจกษณ	32
3.6	ระบบจ่ายไฟฟ้แรงสูง	34
3.7	ระบบเครื่องคูกอญากาศ	36
3.8	การสร้งกรจกษณ	36
3.8.1	การช้กรจกษณแบบเรียม	36
3.8.2	การเคลอมฉวหนากรจกษณ	37
3.9	การสร้งทางออกเลเซอร์	39
3.9.1	การช้ผลึก NaCl	40
3.10	การสร้งอุปกรณว้รังสีความร้อน	41
3.10.1	อุปกรณว้กแบบโพโรเลคทรีค	41
3.10.2	อุปกรณว้กแบบแคลอรีมíteออร์	41
บทที่ 4	การทดลองและการวิเคราะห์ผล	44
4.1	บทนำ	44
4.2	การเตรียมชุกเครื่องกำเนคเลเซอร์	44
4.2.1	การปรับกรจกษณให้ขนาน	44
4.2.2	การปรับการทำงานชุกกำเนคเลเซอร์	46
4.3	การวัดค่าต่าง ๆ และการทดลองสอบกำล้งเลเซอร์	48
4.3.1	การวัดอัตรากษณ CO_2 : N_2 : He	48
4.3.2	การวัดอัตรากการไหลกษณ	48
4.3.3	การวัดกำล้งที่ป้อนให้ก้เครื่องกำเนคเลเซอร์	49
4.3.4	การวัดกำล้งเลเซอร์	50
4.3.5	การหาประสิทธิภาพเครื่องกำเนคเลเซอร์	52
4.3.6	การทดสอบกำล้งเลเซอร์	52

	หน้า
4.4 ข้อมูลการทดลอง	54
4.5 การวิเคราะห์ผล	58
4.5.1 เปรียบเทียบตารางข้อมูลการทดลองที่ 4.4/1, 4.4/2 และ 4.4/3	58
4.5.2 สรุปการใช้ระบบกระจกสะท้อนตามเงื่อนไขเสถียรภาพ	60
บทที่ 5 สรุป วิจัยและเสนอแนะ	62
5.1 บทนำ	62
5.2 สรุปและวิจารณ์ระบบชุดเครื่องกำเนิดเลเซอร์	62
5.3 สรุปเงื่อนไขที่เหมาะสม	66
5.4 ขอเสนอแนะ	67
เอกสารอ้างอิง	68
ภาคผนวกที่ 1 เงื่อนไขวิกฤติสำหรับการออกสปีดขึ้นของเลเซอร์	70
ภาคผนวกที่ 2 การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบกระจกสะท้อน	73
ภาคผนวกที่ 3 ข้อมูลเพิ่มเติมของเนื้อสารทางออกเลเซอร์	76
ภาคผนวกที่ 4 การเลือกใช้ผิวสะท้อนของโลหะ	80
ภาคผนวกที่ 5 ขบวนการทำความสะอาด	81
ภาคผนวกที่ 6 ข้อควรระวังเกี่ยวกับเลเซอร์ทั่ว ๆ ไป	82

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.4/1 แสดงคุณสมบัติเนื้อสารทางออกเลเซอร์เมื่อใช้กับรังสีความร้อน	12
3.4.1/1 แสดงรายละเอียดชิ้นส่วนหัวที่ปรับโคไจจำนวน 2 ชุด	25
3.4.2/1 แสดงรายละเอียดชิ้นส่วนหัวที่ปรับไม่โคไจจำนวน 2 ชุด	29
3.4.3/1 แสดงรายละเอียดชิ้นส่วนขอตอส่วนกลางหลอดเลเซอร์ จำนวน 1 ชุด	32
4.4/1 แสดงข้อมูลการทดสอบเครื่องกำเนิดเลเซอร์รูปที่ 3.1/1 (ก) ที่มีขนาดความยาวเครื่อง 0.75 เมตร	55
4.4/2 แสดงข้อมูลการทดสอบเครื่องกำเนิดเลเซอร์รูปที่ 3.1/1 (ข) ที่มีขนาดความยาวเครื่อง 1.20 เมตร	56
4.3/3 แสดงข้อมูลการทดสอบเครื่องกำเนิดเลเซอร์รูปที่ 3.1/1 (ค) ที่มีขนาดความยาวเครื่อง 2.35 เมตร	57
5.1 แสดงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกที่เคลือบผิวโลหะชนิดต่าง ๆ	80

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1.2/1	แสดงการป้อนกลับและการขยายของการแพร่รังสีบนแนวแกนเลเซอร์	3
2.2.1/1	แสดงโมดการออสซิลเลชันของ CO_2 โมเลกุล	5
2.2.1/2	แสดงระบัพพลังงานการส่งผ่านเลเซอร์ $00^0_1 - 10^0_0$	7
2.3/1	ไดอะแกรมแสดงเสถียรภาพระบบกระจกสะท้อน	11
2.5/1	ก) แสดงโครงสร้างขั้วไฟฟ้าที่ปลายทั้งสอง	14
	ข) แสดงโครงสร้างขั้วไฟฟ้าที่ผิวหน้าทั้งสองข้างของโทโรอิดเลททริก	14
3.1/1(ก, ข, ค)	แสดงภาพถ่ายระบบชุกเครื่องกำเนิดเลเซอร์ทั้ง 3 ขนาด	15-16
3.1/2	ไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบระบบชุกเครื่องกำเนิดเลเซอร์	17
3.2.1/1	แสดงภาพถ่ายหลอดเลเซอร์ทั้งหมด	18
3.3/1	แสดงภาพถ่ายฐานที่ใช้กับเครื่องกำเนิดเลเซอร์ทั้ง 3 ขนาด	19
3.4/1	แสดงการกระจายชิ้นส่วนต่างๆ ตามแบบแปลนหมายเลข 1	21
3.4.1/1	แสดงการออกแบบส่วนหัวที่ปรับได้ ตามแบบแปลนหมายเลข 2	22
3.4.1/2	แสดงการออกแบบรายละเอียดส่วนหัวที่ปรับได้ ตามแบบแปลนหมายเลข 3	23
3.4.1/3	แสดงภาพถ่ายส่วนหัวที่ปรับได้ จำนวน 2 ชุก	24
3.4.2/1	แสดงการออกแบบส่วนหัวที่ปรับไม่ได้ ตามแบบแปลนหมายเลข 4	26
3.4.2/2	แสดงการออกแบบรายละเอียดส่วนหัวที่ปรับไม่ได้ตามแบบแปลนหมายเลข 5	27
3.4.2/3	แสดงภาพถ่ายส่วนหัวที่ปรับไม่ได้ จำนวน 2 ชุก	28
3.4.3/1	แสดงการออกแบบซอกต่อส่วนกลางหลอดเลเซอร์ ตามแบบแปลนหมายเลข 6	30
3.4.3/2	แสดงภาพถ่ายซอกต่อส่วนกลางหลอดเลเซอร์ จำนวน 1 ชุก	31
3.5/1(ก, ข)	แสดงไดอะแกรมและภาพถ่ายส่วนประกอบระบบจ่ายก๊าซผสม	33
3.6/1(ก, ข)	แสดงไดอะแกรมและภาพถ่ายส่วนประกอบระบบจ่ายไฟฟ้าแรงสูง	35
3.8.1/1	แสดงภาพถ่ายการชุกกระจกสะท้อนควยผงอลูมินา	37
3.8.2/1	แสดงภาพถ่ายเครื่องระเหยสาร	38

รูปที่		หน้า
3.9/1	แสดงภาพถ่ายการปลูกผลึก NaCl ด้วยวิธีการระเหยสารละลาย	39
3.9/2	แสดงภาพถ่ายผลึก NaCl ที่ได้สร้างขึ้นเป็นทางออกเลเซอร์	40
3.10.1/1(ก,ข)	แสดงโคอะแกรมและภาพถ่าย ส่วนประกอบอุปกรณ์ วัดรังสีความร้อนโดยโซไฟโรอิเล็กทริก	42
3.10.2/1(ก,ข)	แสดงโคอะแกรมและภาพถ่าย ส่วนประกอบอุปกรณ์ วัดกำลังแบบแคลอริมิเตอร์	43
4.2.1/1	แสดงโคอะแกรมการใช้ He-Ne เลเซอร์กับแนวศูนย์กลางท่อ	44
4.2.2/1	แสดงภาพถ่ายการใช้ NaCl เป็นทางออกเลเซอร์	46
4.2.2/2	แสดงภาพถ่ายการใช้ปรับกระจกสะท้อนขณะเครื่องกำลังทำงาน	47
4.3.3/1	แสดงภาพถ่ายการวัดแรงดันไฟฟ้าด้วยหัววัดไฟฟ้าแรงสูง	49
4.3.4/1	แสดงภาพถ่ายการวัดกำลังเลเซอร์	50
4.3.4/2	กราฟแสดงค่ากำลังเลเซอร์ที่ระยะทางต่างๆกันของเครื่องรูป 3.1/1ค ..	51
4.3.5/1(ก,ข)	แสดงภาพถ่ายการทดสอบกำลังเลเซอร์	53
4.5.2/1	กราฟแสดงจุดในพื้นที่เงื่อนไขเสถียรภาพของเครื่องรูปที่	61
	รูปที่ 3.1/1(ก,ข,ค)	61
4.5.2/2	แสดงภาพถ่ายโมด TEM ₁₀ ของกำลังเลเซอร์	61
2.1	แสดงวิธีการเมทริกซ์สำหรับการหาเงื่อนไขเสถียรภาพกระจกสะท้อน	73
3.1 - 3.6	กราฟแสดงช่วงการส่งผ่านความยาวคลื่นต่างๆที่เนื้อสารทางออก NaCl, KCl, KBr, CsI และ KRS-5	76-79

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่อง CO_2 เลเซอร์แบบที่ซาร์คตามแนวแกน สำเร็จจุลวงด้วยความช่วยเหลือของ ดร. คาเนียด บริน ที่ท่านได้เอาใจใส่แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ อย่างดียิ่งมาโดยตลอด และยังได้รับความช่วยเหลือคำแนะนำ สัมภาษณ์โครงการวิจัยเรื่อยมาจาก รศ.ดร. โกศล เพ็ชรสุวรรณ รศ.ดร. สิทธิชัย โภคยอุคม, ผศ. สมเกียรติ ศุภเกษ ดร. พีระศักดิ์ วรสุนทรโรสด และ ดร. คานีโนะริ ซาโตะ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ในความกรุณาของท่านไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณในความอนุเคราะห์ที่ผู้วิจัยได้รับเกี่ยวกับการกลึงเชื่อม จากโรงปฏิบัติการโลหะ การทำฐานไม้จากโรงปฏิบัติการไม้ และความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์วิจัยจาก ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ลาดกระบัง ระบบกระจกสะท้อนจาก คุณสุริยะ อึ้งรัตนวงษ์ ห้องแล็บโฮย่าเลนส์ สารเคมีและอุปกรณ์จากภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ลาดกระบัง หัววัดไฟฟ้าแรงสูงจากภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง การช่วยเหลือต้นแบบจาก นายวิจิตร ทนคัมภีรวิาท การถ่ายภาพจาก นายสมชัย วงษ์เมตตา และนายสมศักดิ์ ชุ่มช่วย การช่วยเหลือประกอบอุปกรณ์วิจัยจากนายฉลอง พุ่มผกา และนายเอกสิทธิ์ จริยะวิสุทธิ และขอขอบคุณทุกท่านที่ได้ให้การช่วยเหลือ ซึ่งไม่ได้กล่าวนาม ณ โอกาสนี้

พร้อมกันนี้ ขอขอบคุณ คุณ บุษกร ก้อนนิล และคุณ จินคาร์ตัน สุพัตตะเวช ที่ได้กรุณาช่วยพิมพ์ และจัดเรียงต้นฉบับรายงานวิทยานิพนธ์ ให้สำเร็จจุลวงไปด้วยดี

สมศักดิ์ เชียร์ศิริกุล

บทคัดย่อ

คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์นิยมนำใช้กันมากในอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะใช้ประโยชน์ในประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเหมาะสมที่จะใช้ศึกษาในคณะวิศวกรรมศาสตร์ ดังนั้นการวิจัยนี้จึงได้สร้างเลเซอร์แบบทึดซาร์จตามแนวแกนที่มีความยาวแตกต่างกัน 3 ขนาด โดยใช้เทคนิคและวัสดุที่หาง่าย กำลังเลเซอร์ที่ได้เป็นแบบต่อเนื่อง และเป็นสัดส่วนกับระยะความยาวการทึดซาร์จ ทางออกเลเซอร์ได้ใช้ผลึกโซเดียมคลอไรด์เป็นทางผ่านรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่น 10.6 ไมโครเมตร โดยมีกระจกสะท้อนชิ้นหนึ่งเป็นกระจกเรียบทำด้วยโลหะทองแดง ที่ศูนย์กลางของกระจกถูกเจาะรูให้มีขนาด 2 มิลลิเมตร สำหรับกระจกสะท้อนอีกชิ้นหนึ่งเป็นกระจกโค้งทำด้วยแก้ว มีรัศมีความโค้ง 3 เมตร ที่ผิวหน้ากระจกสะท้อนทั้งสองจะถูกเคลือบด้วยโลหะทอง และได้ทำการปรับระนาบกระจกสะท้อนให้ขนานโดยการใช้ ซีลีเนียม-ไอออนเลเซอร์เลเซอร์ที่ถูกสร้างขึ้น โค้ชหลอดที่ทำด้วยโพเร็กซ์ มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.85 เซนติเมตร โดยหลอดที่ใช้มีความยาว 3 ขนาด ดังนี้ 0.45 , 0.90 และ 2.05 เมตร มีอัตราการไหลเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก๊าซภายในหลอดน้อยกว่า 100 เท่าใน 1 นาที อัตราของก๊าซผสมที่ใช้ในช่วงหัวไปของ คาร์บอนไดออกไซด์ : ไนโตรเจน : ซีลีเนียม เป็น 1 : 1 : 3 จะใช้ความดันของก๊าซทั้งหมดน้อยกว่า 20 มิลลิเมตรปรอท แรงดันไฟฟ้าและกระแสทึดซาร์จจะถูกเรกติไฟร์แบบเต็มคลื่น ที่มีองค์ประกอบของกระแสสลับปนกับกระแสตรง ประมาณ 50 มิลลิแอมแปร์ และศักดาไฟฟ้าประมาณ 2085, 3400 และ 9300 โวลต์ตามลำดับ กำลังเลเซอร์ที่ออกมาจะถูกตรวจวัดด้วยอุปกรณ์โพโรอิเล็กทริก และได้ใช้อุปกรณ์แคลอริมิเตอร์ที่สร้างขึ้นเป็นพิเศษวัดกำลังเลเซอร์

ABSTRACT

CO₂ lasers are the most used in industry so that the range of possible applications in Thailand indicates this type of laser as the most appropriate for study in a faculty of engineering. Axial discharge lasers of three different lengths have been constructed, using locally available techniques and materials. Power output is continuous and proportional to the discharge length. A NaCl crystal which can transmit electromagnetic radiation of wave length 10.6 μm is used as a window. One mirror was planar, gold plated copper, the other was concave (radius 3 m.), gold plated glass. Output was through a 2 mm. hole in the planar mirror. The resonator was aligned with He - Ne laser.

The laser was constructed using pyrex tubing of diameter 2.85 cm. in the three length 0.45 ; 0.90 and 2.05 m. Gas flow rate was less than 100 change per minute of the gas volume. Gas mixture were generally in the range CO₂ : N₂ :: He :: 1 : 1 : 3, with an overall gas pressure of less than 20 mmHg. The discharge currents and voltages were fully wave rectified a.c. with a d.c. current component of about 50 ma. and voltages component of about 2085, 3400, and 9300 V.

Power output was detected by a pyroelectric detector and measured by a specially constructed calorimeter.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

การวิวัฒนาการของก๊าซเลเซอร์ ได้เริ่มขึ้นในปี ค.ศ. 1954 โดย โทคอน , ซิกเกอร์ และทาร์ว (Gordon, Zeiger and Townes) ได้สร้างไมโครเวฟ แอมโมเนีย เมซอร์ (Microwave Ammonia Maser) ขึ้น ซึ่งได้มีการพัฒนาเรื่อยมา จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1964 เพเทล (Patel) ได้สร้างเลเซอร์ [12] ที่มีความยาวคลื่นต่อเนื่อง 10.6 ไมโครเมตร ในระยะเริ่มแรกขององค์ประกอบของเลเซอร์ ประกอบด้วยก๊าซ CO_2 และ N_2 มีประสิทธิภาพกำลังที่ออกมาไม่มากนัก ต่อมาได้มีการพัฒนาจนพบว่า ถ้าผสมก๊าซ He เข้าไปในองค์ประกอบของ CO_2 และ N_2 ทำให้ประสิทธิภาพกำลังเลเซอร์เพิ่มขึ้นประมาณ 30 % ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาจนสามารถสร้างเลเซอร์ชนิดนี้ ให้มีกำลังแบบต่อเนื่องได้เป็นกิโลวัตต์ (kw) โดยได้พยายามใช้เทคนิคการสร้างแบบต่าง ๆ อย่างเช่น เทคนิคการไหลของก๊าซและเทคนิคขั้วไฟฟ้า เป็นต้น

เลเซอร์ (LASER = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นในช่วงแสง (Light) ที่เกิดจาก อิเล็กตรอน อะตอม หรือโมเลกุลที่ระดับต่ำ (Low Level : N_1) ได้รับความป้อนพลังงานที่เหมาะสม เพื่อจะให้มีการดูดกลืนพลังงาน ยกกระดับพลังงาน (Energy Level) ของอิเล็กตรอน อะตอม หรือโมเลกุลไปอยู่ในระดับสูง (High Level : N_2) ที่สภาวะสมดุลย์ความร้อนจำนวนของ N_1 และ N_2 ในสองระดับพลังงานสามารถแสดงได้โดยสมการ

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp - \frac{(E_2 - E_1)}{KT} \quad (1.1)$$

เมื่อ	E_1	แทนระดับพลังงานที่ระดับต่ำ
	E_2	แทนระดับพลังงานที่ระดับสูง
	k	เป็นค่าคงที่ของโบลทซ์มานน์ (Boltzmann's Constant)
	T	เป็นอุณหภูมิของเนื้อสารมีหน่วยเป็น องศาเคลวิน (K°)

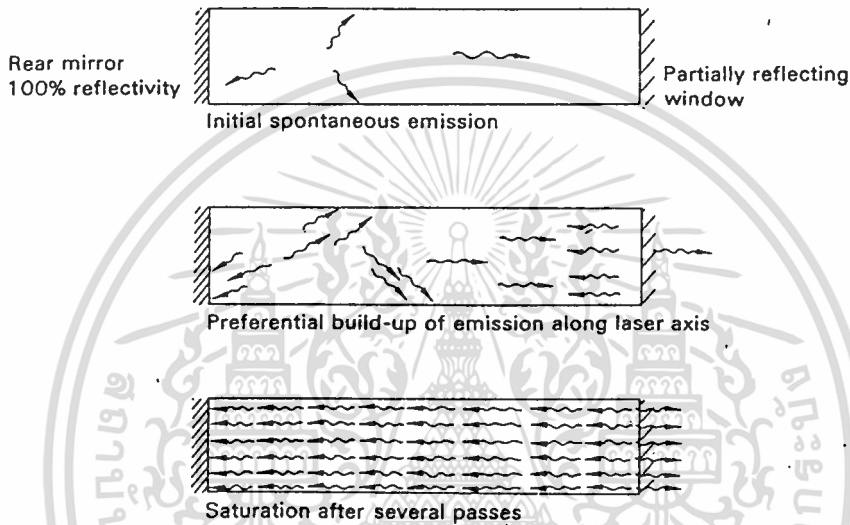
จะได้ว่าในสภาวะที่ไม่สมดุลที่เป็นไปตาม $N_2 > N_1$ เนื้อสารจะแสดงพฤติกรรมในการขยาย (Amplifier) ในกรณีนี้กล่าวได้ว่ามีจำนวนการกลับ (Population Inversion) ของอะตอมหรือโมเลกุลในเนื้อสารและจะเรียกเนื้อสารในขณะนั้นว่า เนื้อสารปฏิกิริยา (Active Material) อะตอมที่ระดับ E_2 จะไม่สามารถอยู่ในสภาวะปกติได้ ดังนั้นจะมีการส่งผ่านความถี่เพื่อจะลดระดับพลังงานลงสู่ระดับต่ำ และสามารถแสดงสมการความถี่ได้ดังนี้

$$\nu_{12} = \frac{E_2 - E_1}{h} \quad (1.2)$$

เมื่อ h เป็นค่าคงที่ของพลังค์ (Planck's Constant) การส่งผ่านความถี่ที่มีการขยายนี้จะเรียกว่า การปล่อยโดยสิ่งเร้า (Stimulated Emission) ซึ่งความถี่ที่ปล่อยออกมาจะมีช่วงกว้างความถี่แคบมากเกือบจะมีความยาวคลื่นเดียวและความยาวคลื่นจะแตกต่างกันตามชนิดของเลเซอร์ ที่อยู่ในช่วงที่มองเห็น (Visible) และช่วงที่มองไม่เห็น (Invisible)

สำหรับกรณีเลเซอร์ การเกิดออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) จะถูกสร้างจากการปล่อยรังสีโดยไร้สิ่งเร้า (Spontaneous Emission) [8] ดังแสดงในรูปที่ 1.2/1 เมื่อโฟตอน (Photon) ที่ถูกปล่อยโดยไร้สิ่งเร้า จะไปทำให้เริ่มขบวนการขยาย ซึ่งอาศัยหลักการป้อนกลับ (Feedback) โดยใ้ควางเนื้อสารที่มีการขยายระหว่างกระจกสะท้อนคู่ขนาน ทำให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเคลื่อนที่กลับไปกลับมาในทิศทางที่ตั้งฉากกับกระจก การเคลื่อนที่ของคลื่น ลักษณะนี้ภายในโพรงแสง (Optical Cavity) จะมีการกระจาย (Distribution) ที่ให้โครงสร้างแบบโหมด (Mode Structure) [5] และคลื่นจะมีการขยายในระหว่างเคลื่อนที่ผ่านเนื้อสารแต่ละครั้ง

ซึ่งอัตราการขยาย (Gain) ของเนื้อสาร มีการขยายมากกว่าการสูญเสียในโพรงแสง ที่เป็นไปตามเงื่อนไขวิกฤต (Threshold Condition) [ได้กล่าวเพิ่มเติมในภาคผนวกที่ 1] จึงทำให้เลเซอร์สามารถเกิดขึ้นได้



รูปที่ 1.2/1 แสดงการป้อนกลับและการขยายของการแพร่รังสีบนแนวแกนเลเซอร์

เมื่อเลเซอร์ขานออกจากโพรงแสง จะแสดงพฤติกรรมของลำแสงเป็นไปตามการกระจายของลำแสงเกาส์เซียน (Gaussian Beam) และคุณลักษณะของเลเซอร์จะสามารถแบ่งคุณสมบัติออกได้เป็น [11]

- ก) เลเซอร์เกือบจะมีความยาวคลื่นเดียวในอุดมคติ (Monochromatic)
- ข) เลเซอร์แสดงเป็นสเปเชียล โคฮีเร้น (Spatial Coherence) สูงมาก
- ค) เลเซอร์แสดงความเป็นเทมโพอะเรล โคฮีเร้น (Temporal Coherence) สูงมาก

1.2 วิศวะประสงค้งานวิจัยเลเซอร์

เลเซอร์ได้มีการพัฒนาการหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 จนกระทั่งในปัจจุบันนี้ เทคโนโลยีทางเลเซอร์ ที่เกิดจากการสร้างเลเซอร์ในสภาวะของแข็ง ของเหลว ใ้ถูกประยุกต์ใช้งานในต่างประเทศอย่างมากมาย แพบทุกด้านอย่างเช่น ทางอุตสาหกรรม ทางสื่อสาร ทางการแพทย์ ทางอาหาร และอื่น ๆ อีกมาก แต่ในประเทศไทยเลเซอร์ยังเป็นวิชาการที่ใหม่ ดังนั้นจึงทำให้ขาดเทคโนโลยีที่จะพัฒนาขึ้นใ้งานใ้เป็นประโยชน์ภายในประเทศอย่างแท้จริง ในปัจจุบันพบว่า การนำเลเซอร์มาใช้งานต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศทั้งอื่น ซึ่งเครื่องเหล่านี้มีราคาสูงมาก ถ้าหากเป็นเช่นนี้เรื่อยไปทำให้เทคโนโลยีการพัฒนาเลเซอร์เป็นไปอย่างล่าช้า และจะไม่สามารถพัฒนาเทคโนโลยีขั้นสูงใ้

ค้วยเหตุค้งกล่าว ทางคณะวิศวกรรมศาสตร์ ลาคกระบึง เล็งเห็นว่าการพัฒนาเลเซอร์ขึ้นใ้งานจะมีประโยชน์ต่อประเทศมาก ดังนั้นจึงใ้จัดตั้งโครงการวิจัยค้คว้าเกี่ยวกับเลเซอร์สำหรับการสร้าง CO₂ เลเซอร์ก็เป็นส่วนหนึ่งของโครงการ ที่ใ้วิจัยค้คว้าเกี่ยวกับการสร้าง การออกแบบ การจัดหาอุปกรณ์ที่เหมาะสม การหาเทคนิคอย่างง่าย ๆ มาใช้งาน โดยลดการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายใ้มากที่สุด ที่ฐานและเทคนิคในการสร้างเลเซอร์แบบนี้จะนำไปสู่เทคโนโลยีขั้นสูง ในการที่จะพัฒนาใ้กำลังเลเซอร์สูงเพิ่มมากขึ้นต่อไปในอนาคต จะทำให้สามารถนำไปใช้งานใ้วงการอุตสาหกรรม เช่นการตัด เจาะ เชื่อม วงการแพทย์ เกี่ยวกับค้ควาผ่าตัด และการสื่อสาร เป็นต้น

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 บทนำ

การสร้างอุปกรณ์เครื่องกำเนิดเลเซอร์ที่ใช้การผสมของก๊าซ CO_2 , N_2 และ He ที่ใช้ความกดดันต่ำกว่าบรรยากาศ เพื่อให้โมเลกุลของก๊าซ CO_2 ปล่อยกำลังเลเซอร์ออกมาอย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิภาพ

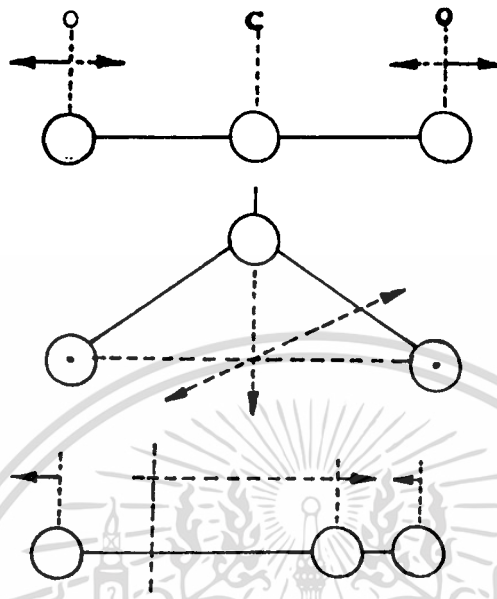
ดังนั้นในการพัฒนาการก่อสร้าง จะต้องทำการศึกษารูปแบบทางฟิสิกส์ของระบับันพลังงานในการเกิดเลเซอร์ของก๊าซดังกล่าว ระบบกระจกสะท้อนคู่ขนาน เพื่อให้มีเสถียรภาพในโพรงแสงทางออกของเลเซอร์ที่สามารถให้ความยาวคลื่น 10.6 ไมโครเมตรผ่านโคเจนเกียมจะเป็นไปตามอุดมคติ จะทำให้สามารถพัฒนา กำลังเลเซอร์ออกมาได้มากที่สุด และกำลังเลเซอร์จะถูกวัดด้วยสารไพโรอิเล็กทริก (Pyroelectric) ที่สามารถใช้งานโคเซ็นตวากในอุณหภูมิห้อง

2.2 กลไก CO_2 เลเซอร์

2.2.1 ระบับันพลังงานของ CO_2 และการส่งผ่านเลเซอร์

ลักษณะการทำงานของ CO_2 เลเซอร์จะเป็นโมเลกุลเลเซอร์ ที่มีโมเลกุล CO_2 เป็นไตรอะตอมมิก (Triatomic) โมเลกุลแบบสมมาตรเชิงเส้นจะมีสเปกตรัม (Spectrum) อยู่ในช่วงรังสีความร้อนโครงสร้างระบับันพลังงานการด้น (Vibration Energy Level) สามารถแสดงได้ 3 โมค โดยมีแต่ละโมคเป็นควอนไทซ์ (Quantize) ที่ให้ฮาโมนิคออสซิลเลชัน (Harmonic Oscillation) ที่แน่นอน [1] เป็นอิสระซึ่งกันและกัน ดังแสดงในรูปที่

2.2.1/1



Symmetric Stretching mode
 $\nu_1 = 1337 \text{ cm}^{-1}$

Bending Mode
 ν_{2a}
 $\nu_{2b} = 667 \text{ cm}^{-1}$

Asymmetric Stretching mode
 $\nu_3 = 2349 \text{ cm}^{-1}$

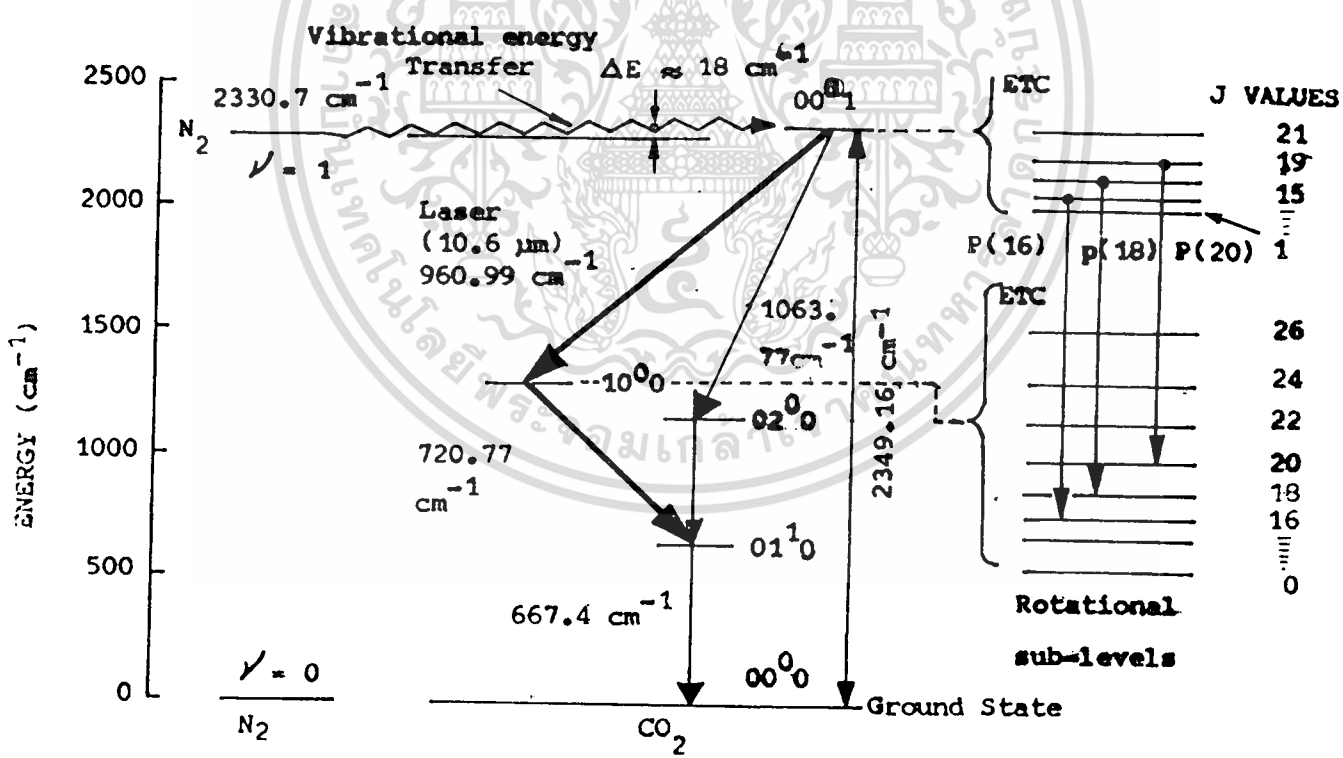
รูปที่ 2.2.1/1 เป็นรูปแสดงโมดของการสั่นของ CO_2 โมเลกุล

1. ซิมเมตริก.ซทเว็ชชิงโมด (Symmetric Stretching mode) ของความถี่ ν_1 มีออกซิเจน O_2 สองอะตอมเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้าม ซึ่งกันและกัน ในขณะที่คาร์บอน C อะตอมหยุดนิ่งแทนสเตท (State) ควบ ($n_1 0 0$)
 2. เบนด์จิงโมด (Bending mode) ประกอบด้วยการสั่น 2 แบบ ความถี่ ν_{2a} และ ν_{2b} ซึ่งอะตอม O_2 มีการสั่นใน 2 ระนาบ ที่ทำให้เส้นเชื่อมระหว่างอะตอม O_2 และ อะตอม C ที่ศูนย์กลางตั้งฉากแทนสเตทควบ ($0 n_2^1 0$)
 3. อะซิมเมตริก.ซทเว็ชชิงโมด (Asymmetric Stretching mode) ของความถี่ ν_3 ซึ่งอะตอม O_2 จะเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกันเสมอ แทนสเตทควบ ($0 0 n_3$)
- ทั้งนี้การยกระดั้มการสั่นของ CO_2 โมเลกุลจะแสดงโมด 3 โมดของการสั่นได้ด้วยควอนตัมมีเบอร์ (Quantum number)

$$(n_1 n_2 n_3)$$

เมื่อ $1 = n_2, n_2 - 2, \dots, -1, 0$ โดย 1 จะขึ้นอยู่กับเมตริกซ์โมเมนต์เท่านั้น

เนื่องจากแต่ละระดับชั้นพลังงานของ CO_2 โมเลกุลจะถูกแบ่งเป็นระดับชั้นพลังงานย่อยไปลักษณะอนุกรม และที่ระดับย่อยนี้จะเป็นอิสระกับการเคลื่อนที่หมุน (Rotate) ซึ่งระดับพลังงานการหมุนจะเป็นควอนไทซ์ เมื่อได้กำหนดค่าให้สัญลักษณ์ ควอนตัมมีเบอร์การหมุนเป็น J ที่แสดงค่าได้คือ 0 หรือ เลขจำนวนเต็ม เมื่อมีการส่งผ่านการสั่นการหมุน (Vibration Rotation) ให้ค่า $\Delta J = +1, \Delta J = 0$ และ $\Delta J = -1$ สามารถเขียนสัญลักษณ์แทนได้เป็น $P(J), Q(J)$ และ $R(J)$ ตามลำดับ [7] ดังแสดงในรูปที่ 2.2.1/1 เมื่อพิจารณาการส่งผ่านการหมุนของ $P(20)$ จะให้ความยาวคลื่น 10.6 ไมโครเมตร

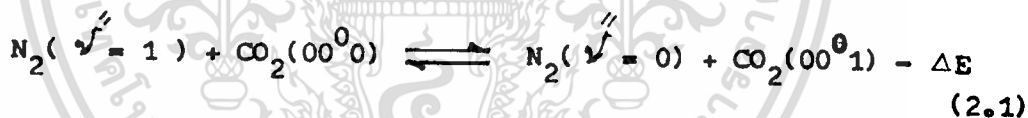


รูปที่ 2.2.1/2 แสดงระดับพลังงานการส่งผ่านเลเซอร์ 00⁰1 - 10⁰0

2.2.2 การยกกระชับพลังงานของ CO_2 โมเลกุล

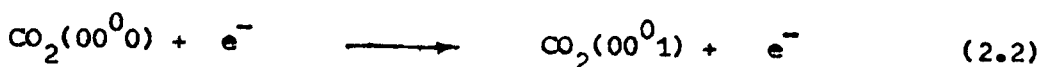
ในก๊าซผสมของ CO_2-N_2 สามารถให้ CO_2 โมเลกุลถูกยกกระชับพลังงานได้สองลักษณะ ประการแรกเป็นการชนแบบไม่ยืดหยุ่น (inelastic collision) กับอิเล็กตรอนที่มีพลังงานต่ำ ประการที่สองเป็นการถ่ายเทพลังงานก้ำพอน (Resonant energy transfer) จาก N_2 โมเลกุลที่มีการยกกระชับพลังงานการสั่น เนื่องจาก N_2 เป็น ไฮโมโนนิวเคลียร์ โดอะทอมมิก (Homo nuclear diatomic) โมเลกุลแบบสมมาตร และไม่มีองค์ประกอบของอิเลคทริกไดโพล (Electric dipole) เมื่อ N_2 โมเลกุลที่ยกกระชับของการสั่นในอิเล็กทรอนิกส์ต่ำสุดที่เกิดจากการคัสซาร์ท โดยจะยกกระชับการสั่นครั้งแรกของสเปก N_2 ($v'' = 1$) ที่มีค่าพลังงานศักย์ของระดัการสั่นอยู่เหนือระดัการสั่นต่ำสุด (ground state)

2330.7 cm^{-1} ระดัพลังงานของการสั่น นี้จะใกล้เคียงกับ ระดัการสั่น CO_2 โมเลกุลแบบอะซิมเมตริก. ซทเว็ซซิงโมดิสเตท 00^0_1 ระดัพลังงานมีค่า 2349.16 cm^{-1} ดังแสดงในรูปที่ 2.2-1/2 ดังนั้นเมื่อเกิดการชนกันระหว่าง N_2 ที่สเปก ($v'' = 1$) กับ CO_2 ที่สเปก (00^0_0) จะมีการถ่ายเทพลังงานเพื่อยกกระชับ การสั่นของ CO_2 โมที่สเปก (00^0_1) จะสามารถแสดง การถ่ายเทระดัพลังงานได้โดยสมการ [4]



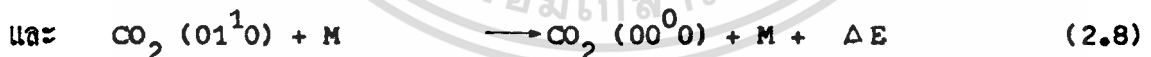
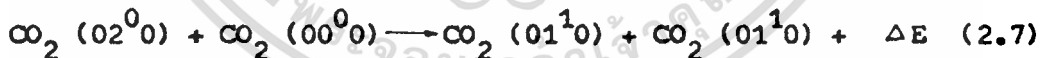
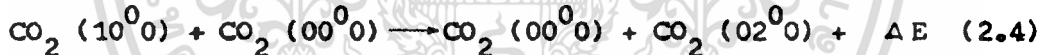
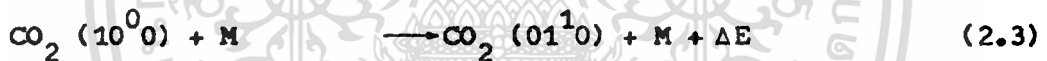
พลังงานจลน์ที่เกิดจากการชน จะเป็นส่วนเล็กของพลังงาน ΔE (18 cm^{-1}) พลังงานส่วนนี้จะน้อยกว่าพลังงานความร้อนของโมเลกุล ที่เกิดจากการคัสซาร์ทมีค่าประมาณ 200 cm^{-1}

บางส่วนของ CO_2 โมเลกุลที่ระดั 00^0_1 จะยกกระชับพลังงานการสั่นแบบอิเลคตรอนอิมแพค (Electron Impact) ที่สามารถแสดงได้โดยสมการ



เมื่อ CO_2 โมเลกุลมีระดับพลังงานการสั่นที่ (00^0_1) โดยปกติเมื่ออะตอมหรือโมเลกุลยกระดับพลังงานขึ้นมาอยู่ในระดับที่สูงกว่า จะไม่มีเสถียรภาพในระดับพลังงาน ทำให้โมเลกุลพยายามลดระดับพลังงานกลับสู่ระดับพลังงานต่ำสุดตามเดิม ช่วงเวลาที่โมเลกุลระดับพลังงานสูงกว่าสามารถอยู่ได้ เราเรียกว่าเวลาชีวิต (life time) สำหรับเวลาชีวิตของการแผ่รังสีที่ระดับสูงของ CO_2 ที่เกิดขึ้นโดยไม่ได้อาศัยสิ่งเร้า t_{spont} ประมาณ 3 วินาที แต่การปล่อยเลเซอร์ออกมาของระดับ (00^0_1) จะมีเวลาชีวิตประมาณ 0.4 มิลลิวินาที ที่ความกดดันต่ำ

ความยาวคลื่นของเลเซอร์ที่ปล่อยออกมาจาก $(00^0_1) \longrightarrow (10^0_0)$ จะมีค่า 10.6 ไมโครเมตร และจะมีเลเซอร์บางส่วนที่ปล่อยออกมาจาก $(00^0_1) \longrightarrow (02^0_0)$ จะมี 9.6 ไมโครเมตร สำหรับโมเลกุลที่ระดับต่ำ (10^0_0) และ (02^0_0) จะลดระดับพลังงานลงสู่ระดับต่ำสุด โดยการลดระดับพลังงานจาก $(10^0_0) \longrightarrow (02^0_0)$, $(10^0_0) \longrightarrow (01^1_0)$, $(02^0_0) \longrightarrow (01^1_0)$ และ $(01^1_0) \longrightarrow (00^0_0)$ จะสามารถแสดงการถ่ายเทระดับพลังงานได้จากสมการต่อไปนี้



ซึ่ง M จะเป็น CO_2 หรือโมเลกุลและอะตอมของก๊าซอื่นที่เหมาะสมก็ได้

เมื่อในระบบมีเฉพาะก๊าซ CO_2 เพียงชนิดเดียว จะมี CO_2 โมเลกุลที่ระดับ (10^0_0) , (02^0_0) และ (01^1_0) อยู่เป็นจำนวนมากทำให้ประสิทธิภาพของกำลังเลเซอร์ต่ำ เมื่ออุณหภูมิของก๊าซเพิ่มขึ้นจะมีโมเลกุลของ CO_2 ที่ระดับดังกล่าวถูกคลื่นความร้อน เพื่อยกระดับพลังงานไปอยู่ที่ระดับที่สูงกว่า ทำให้ประสิทธิภาพยิ่งลดลงไปอีก

ดังนั้นจึงได้ผสมก๊าซฮีเลียม (He) เข้าไปเพื่อที่จะลดโมเลกุลระดับพลังงานต่ำลงสู่ระดับต่ำสุดให้มาก และลดอุณหภูมิภายในก๊าซ โดยที่ He ชนกับ CO_2 ที่ระดับต่ำและรับถ่ายเทของพลังงานจาก CO_2 เหล่านั้นทำให้ He ยกกระดับพลังงานไปอยู่ที่ระดับพลังงานสูงกว่าก๊าซ He นี้เคลื่อนที่แบบสุ่มได้เร็วมาก เมื่อชนกับผนังท่อเลเซอร์จะถ่ายเทพลังงานความร้อนให้กับท่อ He ก็จะได้ลดระดับพลังงานต่ำสุดตามเดิม การเพิ่มก๊าซ He เข้าไปในก๊าซผสมของ CO_2 - N_2 จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงมาก

2.3 เสถียรภาพของกระจกสะท้อนเลเซอร์ (Stability of Laser Resonator)

ระบบกระจกสะท้อนมีความสำคัญในการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในโพรง อาจจะมีการสูญเสียบางส่วน ถ้ามีการเบี่ยงเบน (Diffraction) สนามออกจากระบบแสง การขจัดปัญหาดังกล่าว ควรออกแบบการใช้กระจกสะท้อนคู่ขนานที่เหมาะสมในระบบ เพื่อให้สนามอยู่ภายในโพรงแสงเท่านั้น

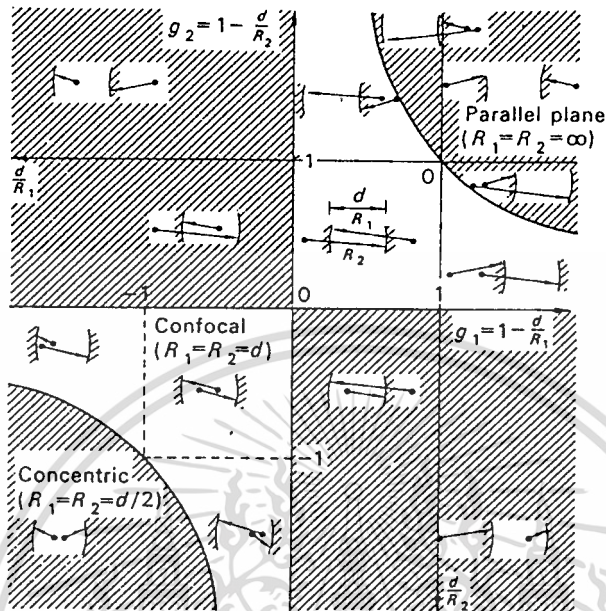
เมื่อวิเคราะห์ระบบที่กำหนดให้ระยะกระจกสะท้อนคู่ขนานห่างกัน L รัศมีความโค้งของกระจก R_1 และ R_2 สามารถแสดงเงื่อนไขเสถียรภาพ (Stability condition) ที่ทำให้ระบบมีการสูญเสียน้อย [เพิ่มเติมในภาคผนวกที่ 2] โดยจะกำหนด พารามิเตอร์ (parameter) ในระบบกระจกสะท้อนแทนรูปแบบทั่ว ๆ ไปของเงื่อนไขข้างต้น ได้ 2 เทอม ดังแสดงในสมการ

$$g_1 = 1 - \frac{L}{R_1} \quad ; \quad g_2 = 1 - \frac{L}{R_2} \quad (2.9)$$

กรณีระบบกระจกที่มีเสถียรภาพกำหนดได้เมื่อ $2, 5, 10$]

$$0 \leq g_1 g_2 \leq 1 \quad (2.10)$$

ได้เขียนโคอะแกรม (Diagram) เงื่อนไขสมการ (2.10) ดังแสดงในรูปที่ 2.3/1



รูปที่ 2.3/1 แสดงโคออร์ดิเนตเสถียรภาพระบบกระจกสะท้อน

ที่ไคระนามของ โคออร์ดิเนต (Co-ordinate) g_1 และ g_2 แทนเสถียรภาพ (Stable) และไม่เสถียรภาพ (Unstable) ของระบบกระจก จะใช้พื้นที่ที่ไม่ได้แฉงเงาทั้งหมดแทนเงื่อนไขเสถียรภาพ และนอกจาก พื้นที่ข้างต้นจะเป็นเงื่อนไขที่ไม่มีเสถียรภาพ

สนามของโมดในระบบกระจกที่มีเสถียรภาพจะมีความเข้มใกล้แนวแกนระบบมากกว่าระบบที่ไม่มีเสถียรภาพ และการสูญเสียเบี่ยงเบนในระบบที่ไม่มีเสถียรภาพ จะมากกว่าระบบที่มีเสถียรภาพ ที่จุดบนแนวเส้น $(1, 1)$ กับ $(-1, -1)$ ทำมุม 45° กับแกน g_1 และ g_2 ในแนวเส้นนี้จะให้สมการ $g_1 = g_2$ โดยมีรัศมีความโค้งของกระจก $R_1 = R_2 = \infty$ จะเป็นรอยต่อระหว่างระบบเสถียรภาพและไม่เสถียรภาพ เราจะเรียกว่าขอบเสถียรภาพ (Marginally Stable) ในระบบที่มีการสูญเสียเล็กน้อย

2.4 เนื่อสารทางออกเลเซอร์ [22]

สารที่ใช้เป็นทางออกกำลังเลเซอร์ ได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วทั้งสารที่เป็นของแข็ง และเทคโนโลยีของฟิล์มหนา (Thickness) หลาย ๆ ชั้น เพื่อให้สามารถใช้งานได้อัตราที่สูงสุด ดังนั้นเมื่อพิจารณาเนื่อสารทางออกในคุณสมบัติของเลเซอร์ จะสรุปคุณลักษณะได้ดังนี้ [4]

1. สัมประสิทธิ์การดูดกลืนต่ำ (Low absorption coefficient) ที่ความยาวคลื่นเลเซอร์
2. มีสภาพนำความร้อนสูง (High thermal conductivity)
3. มีความจุความร้อนมาก (High heat capacity)
4. มีเสถียรภาพทางเคมี (Chemical stability)
5. สัมประสิทธิ์ของการแผ่ความร้อนต่ำ (Low coefficient of thermal expansion)
6. เหมาะสมสำหรับการเคลื่อนสารที่เป็นฉนวนไฟฟ้า
7. มีคุณสมบัติในการชักเป็นเงาได้ดีมาก
8. ครรชนของการสะท้อนจะไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ

ตารางที่ 2.4/1 แสดงคุณสมบัติเนื่อสารทางออกเลเซอร์เมื่อใช้กับรังสีความร้อน

Material	Thermal expansion coefficient ($\times 10^6 / ^\circ\text{C}$)	Thermal conductivity ($\times 10^{-2} \text{ W/cm}^\circ\text{C}$)	Heat capacity (J/cm^3)	Absorption coefficient at $10.6 \mu\text{m}$ (cm^{-1})	Chemical stability
NaCl	38.9	6.5	1.845	1.34×10^{-3}	-
KCl	36	6.5	1.347	4.83×10^{-4}	-
KBr	43	4.8	1.197	5×10^{-3} (estimated)	-
CsBr	47	0.96	1.171	4.4×10^{-3}	-
CsI	47	1.13	0.9094	1.3×10^{-3}	-
KRS-5 (TlBr-TlI)	58	0.54		5×10^{-3}	+
ZnS	6.7	26		0.38	+
ZnSe	7.7	13	2.646	6×10^{-3} (estimated)	+
CdTe	4.5	7	1.224	1.2×10^{-3}	+
GaAs	5.7	37	1.420	1.2×10^{-3}	+
Si	4.2	120	1.58	2.5	+
Ge	6	59	1.652	(3.6×10^{-2})	+

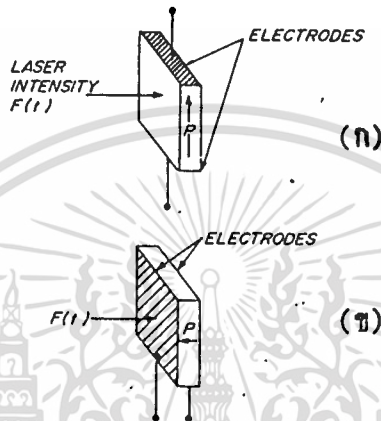
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรากฏว่าไม่มีเนื้อสารใดที่มีพฤติกรรมตามคุณสมบัติข้างต้นได้ครบถ้วน ดังนั้นในการใช้งานจึงควรเลือกสารที่เหมาะสม เพื่อให้มีการสูญเสียกำลังเลเซอร์น้อย จึงได้แสดงข้อมูลสารที่พิจารณาไว้ในตารางที่ 2.4/1 ข้อมูลที่แสดงนี้เป็นสารที่ส่งผ่าน (Transmit) กำลังเลเซอร์ที่ความยาวคลื่น 10.6 ไมโครเมตร ที่มีการใช้กันทั่วไป โดยที่มีเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านความยาวคลื่นแตกต่างกันออกไป [ได้กล่าวเพิ่มในภาคผนวกที่ 3] จะพบได้ว่า KBr จะมีการดูดกลืนความยาวคลื่น 10.6 ไมโครเมตร ต่ำที่สุด แต่สารกึ่งตัวนำเช่น CdTe, ZnSe และ GaAs จะมีสัมประสิทธิ์การแผ่ความร้อนต่ำกว่าสารที่เป็นค่าง (alkali halide) สารกึ่งตัวนำจะสามารถชดเชยได้มากกว่าสารที่เป็นค่าง เป็นสารที่ไม่ดูดกลืนความชื้นเข้าไปในเนื้อสาร เนื้อสารนี้จะมีสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิในเนื้อสารเพิ่มขึ้น ฉะนั้นในงานวิจัยมักใช้สารจำพวกค่าง อย่างเช่น KCl, NaCl และ KBr เป็นเนื้อสารทางออกเลเซอร์

2.5 อุปกรณ์วัดโพโรอิเล็กทริก [4, 9, 13]

เนื่องจากจะมีสารบางอย่างมีคุณสมบัติพิเศษที่ให้ โพลาริเซชัน (polarization) ทางไฟฟ้าที่ถาวรได้ โดยมีผลขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ดังนั้นสารที่มีพฤติกรรมเป็นโพโรอิเล็กทริก เมื่อคิกซ์ไฟฟ้าในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของ โพลาริเซชัน ทำให้ระนาบมีประจุไฟฟ้าเกิดขึ้น โดยปกติประจุเหล่านี้ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ในกรณีสถิต (Static Condition) แต่เมื่ออุณหภูมิของสารถูกเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ทำให้โพลาริเซชันมีการเปลี่ยนแปลงเกิดประจุที่ผิวหน้า ประจุเหล่านี้จะถูกตรวจวัดเพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.5/1

สำหรับสารที่เป็นโพโรอิเล็กทริก เช่น ไตรไกลซีน ซัลเฟต (Triglycine sulfate : TGS) ลิเทียม ซัลเฟต (Lithium sulfate)



รูปที่ 2.5/1 ก) แสดงโครงสร้างขั้วไฟฟ้าที่ปลายทั้งสอง

ข) แสดงโครงสร้างขั้วไฟฟ้าที่ผิวหน้าทั้งสองของอุปกรณ์พิโซอิเล็กทริก

ขั้วไฟฟ้าของแต่ละด้านถูกเคลือบพื้นที่ A ที่ระนาบตั้งฉากกับขนาดและทิศทาง Vector \vec{P} และสารจะเกิดคลื่นรังสีในระนาบที่แสดงดังรูป 2.5/1 ถ้าความต้านทาน $R < R'$ (เป็นความต้านทานรั่วของเนื้อสาร) วางครอบระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง จะได้แรงดันไฟฟ้า ดังแสดงในสมการ

$$V(t) = AR \frac{dP}{dt} = AR \left(\frac{dP}{dT} \right) \left(\frac{dT}{dt} \right) \quad (2.11)$$

เมื่อ $\frac{dP}{dT}$ เป็นสัมประสิทธิ์พิโซอิเล็กทริก (Pyroelectric Coefficient)

ความต่างศักย์ที่วัดได้ ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงโพลาริเซชัน และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

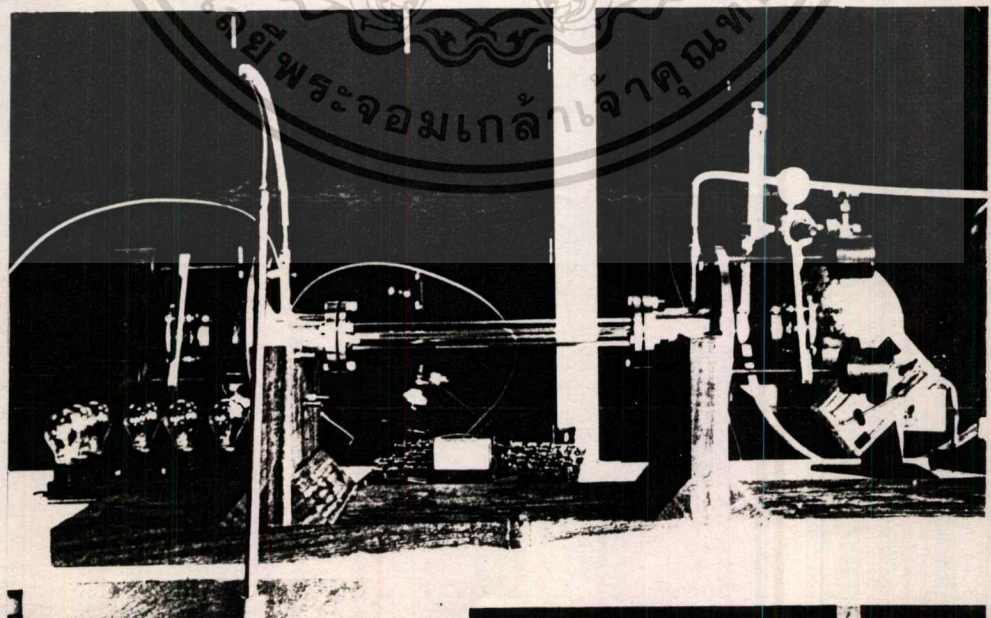
บทที่ 3

การออกแบบ และการสร้างระบบ CO₂ เลเซอร์และอุปกรณ์อื่นๆ

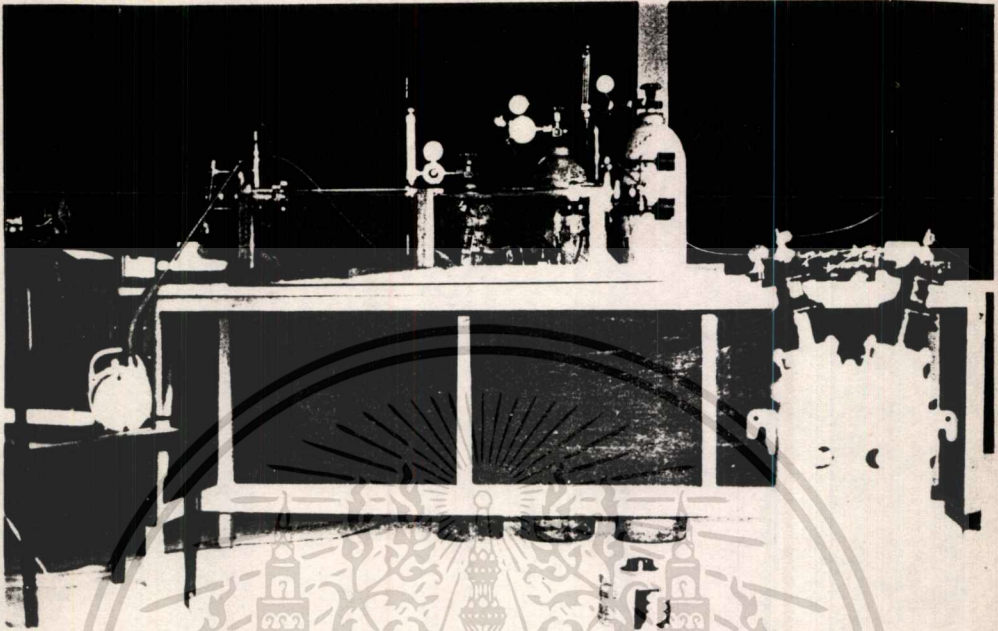
3.1 บทนำ

การออกแบบระบบเครื่องกำเนิดเลเซอร์แบบ คิวซาร์ทตามแนวแกนที่มีแนวคิวซาร์ท อยู่ในทิศทางเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของก๊าซผสม [15] ก๊าซเลเซอร์ที่ไคจะเป็นแบบคลื่นต่อเนื่องที่เป็นสัดส่วน โดยตรงกับความยาวของระยะทางคิวซาร์ท การออกแบบจึงไค้คำนึงถึงการเพิ่มกำลังเลเซอร์ให้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในระยะเวลาสั้น ทำให้การออกแบบส่วนต่างๆ พิจารณาถึงผลการค้นคว้าและวิจัยที่รวบรวมไค้เป็นหลักเกณฑ์สำคัญ

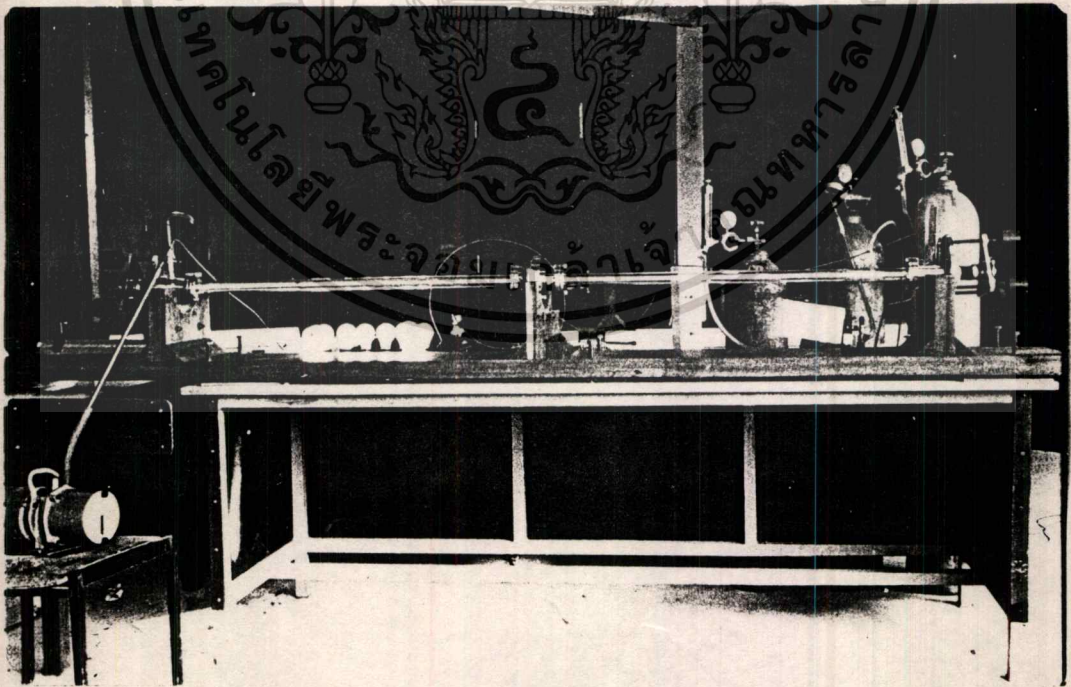
ดังนั้นจึงไค้สร้างเครื่องกำเนิดเลเซอร์ที่มีความยาว 3 เมตร ดังที่ไค้แสดงในรูปที่ 3.1 /1 (ก,ข,ค) โดยใช้ส่วนหัวเครื่องกำเนิดเลเซอร์ ระบบจ่ายก๊าซ CO₂ : N₂ : He ระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้า ระบบสูญญากาศแบบโรตารีปั๊ม (Rotary Pump) ชุดกระจกสะท้อนผลึกทางออกเลเซอร์ และอุปกรณ์วัดรังสีความร้อนชุดเดียวกันโดยตลอด สำหรับระบบเครื่องเลเซอร์ที่สร้างขึ้นจะมีโครงสร้างพื้นฐานเหมือนกันทั้งหมด ดังที่ไค้แสดงในรูปที่ 3.1/2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.1/1 (ก) ภาพถ่ายแสดงเครื่องต้นแบบเลเซอร์ มีความยาว 0.75 เมตร
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

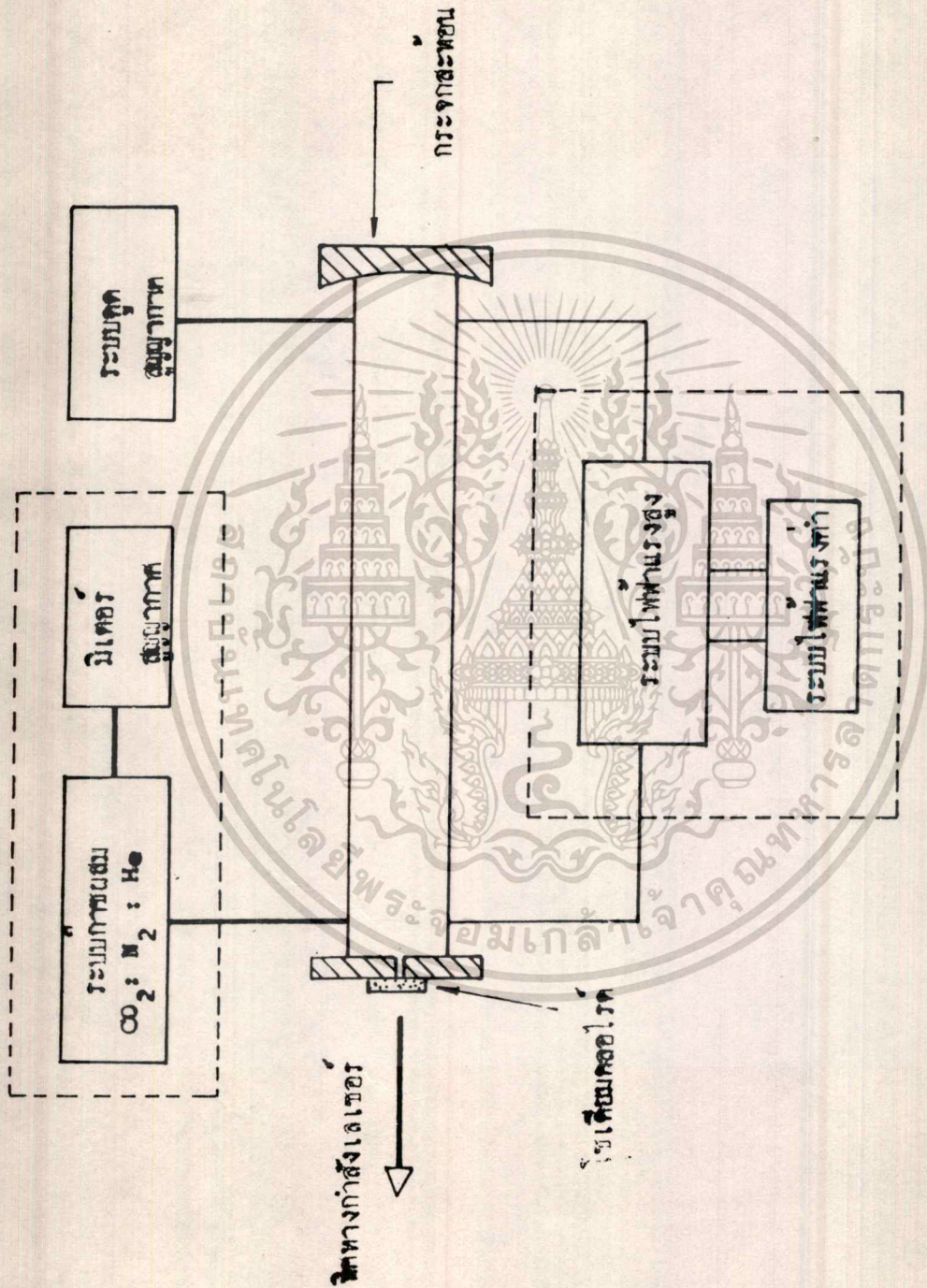


รูปที่ 3.1/1(ข) ภาพถ่ายแสดงการพัฒนาในระยะที่สอง เครื่องมีความยาว 1.20 เมตร



รูปที่ 3.1/1(ค) ภาพถ่ายแสดงการพัฒนาในระยะสุดท้าย เครื่องมีความยาว 2.35 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1/2 โดอะแกรมแสดงส่วนประกอบระบบสุกเครื่องกำเนิดเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

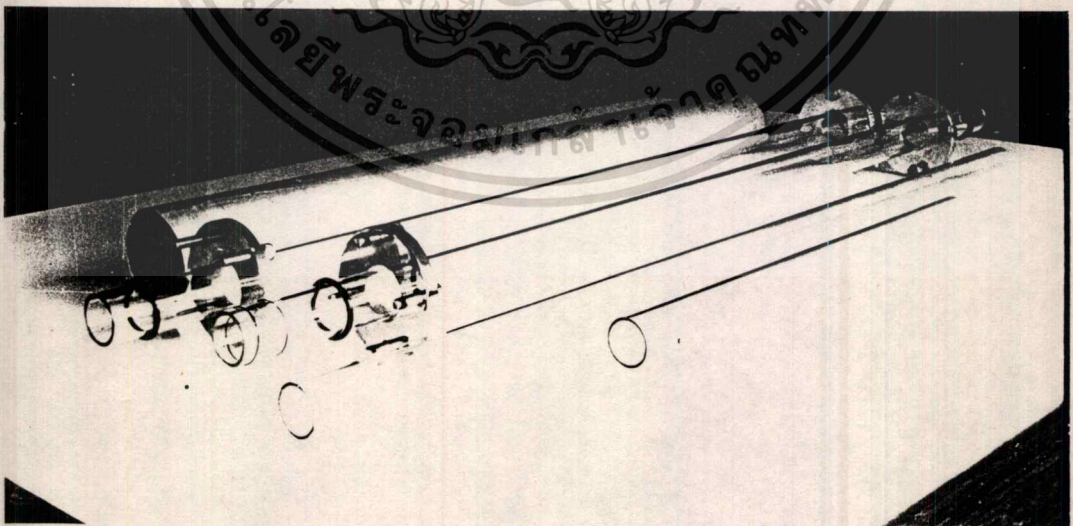
3.2 หลอดเลเซอร์ 4 พิจารณาการออกแบบหลอดเลเซอร์ระบบที่มีอัตรากาจรไหลของก๊าซภายในหลอดฯ สามารถแบ่งการพิจารณาหลอดเลเซอร์ได้ 2 กรณี คือ เส้นผ่าศูนย์กลาง และความยาวของหลอด

ความยาวของหลอด จากหลักการทำงานของเลเซอร์ สังเกตได้ว่าตัวกลางขยายที่ทำให้เกิดการพลังงานของเลเซอร์มีการขยาย จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความยาวของหลอด

เส้นผ่าศูนย์กลางของหลอด จะสามารถกำหนดความกดดันของก๊าซ และกระแสไอศจารึกใหม่ ค่าสูงสุดได้ตามความเหมาะสม การกระจายอุณหภูมิของก๊าซภายในหลอดจากแนวแกนไปข้าง จะแตกต่างกันไปตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ซึ่งจะมีผลกับตัวแปรในการเพิ่มประสิทธิภาพของกำลังเลเซอร์

3.2.1 การกำหนดขนาดหลอดเลเซอร์และหลอดระบายความร้อน

การสร้างท่อใช้หลอดแก้วทนความร้อนที่ทำจาก ไพเร็กซ์ (Pyrex) เพื่อให้ทนความร้อนที่เกิดจากการทำไอศจารึก หลอดมีความยาว 0.45 เมตร จำนวน 1 ท่อ 0.90 เมตร จำนวน 1 ท่อ และ 1 เมตร จำนวน 2 ท่อ และหลอดเหล่านี้จะใช้กับเครื่องเลเซอร์ รูปที่ 3.1/1(ก, ข, ค) ตามลำดับ เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 2.85 เซนติเมตร หนา 0.3 เซนติเมตร เท่ากันทั้ง 4 ท่อ ดังแสดงในรูปที่ 3.2.1/1

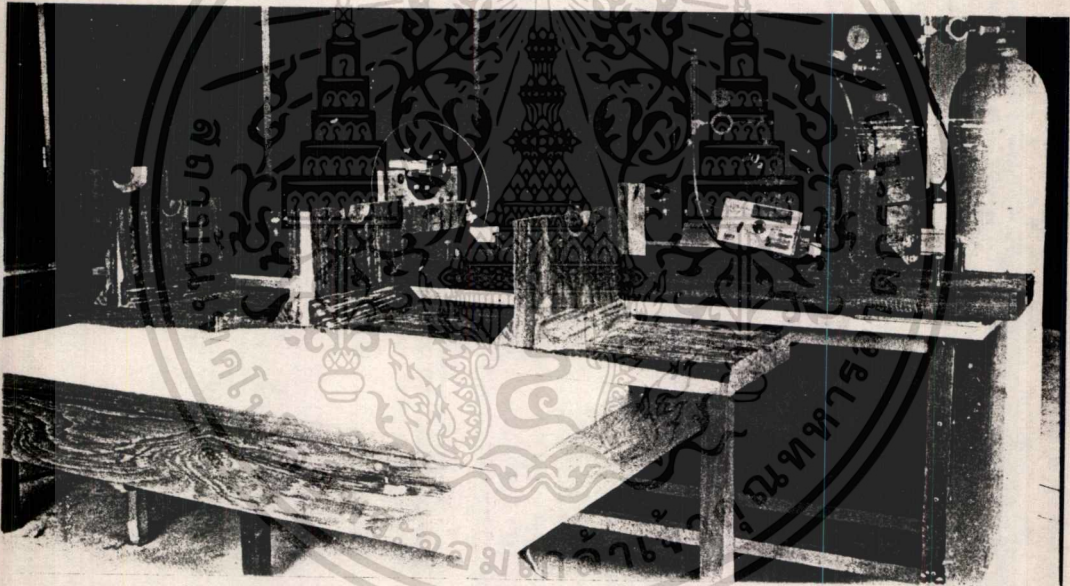


รูปที่ 3.2.1/1 แสดงภาพถ่ายหลอดเลเซอร์ทั้งหมด

การระบายความร้อนของหลอด ได้ใช้ท่ออลูมิเนียมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 7.5 เซนติเมตร หนา 0.15 เซนติเมตร ความยาวที่ใช้จะต้องให้ห่างจากหลอดแก้วอย่างน้อยข้างละ 8 เซนติเมตร มีทางน้ำเข้าและออก 2 ทาง และที่ปลายทั้งสองของท่อระบายจะเชื่อมกับหลอดเลเซอร์ ๓ ค่ายกาวยาง

3.3 ฐานเลเซอร์

ใช้สำหรับรองรับเครื่องกำเนิดเลเซอร์ ทำด้วยไม้เนื้อแข็งที่แห้งสนิท ฐานที่สร้างจะต้องมีความแข็งแรง น้ำหนักมาก เพื่อให้เครื่องมีเสถียรภาพของตำแหน่งที่แน่นอน จึงได้แสดงฐานที่สร้างใช้กับเครื่องเลเซอร์ทั้ง 3 ขนาด ในรูปที่ 3.3/1



รูปที่ 3.3/1 แสดงภาพถ่ายฐานที่ใช้กับเครื่องกำเนิดเลเซอร์ 3 ขนาด

โดยใช้ไม้หนากว้าง 30 เซนติเมตร หนา 5 เซนติเมตร ซึ่งเครื่องเลเซอร์ รูปที่ 3.1/1 (ก,ข) ใช้ฐานร่วมกัน สำหรับฐานเครื่อง รูปที่ 3.1/1(ค) ที่ตำแหน่งจุดกึ่งกลางของฐาน จะมีแท่นเสริมขึ้นอีกซुकหนึ่ง เพื่อใช้รองรับข้อต่อหลอดแก้ว เนื่องจากฐานซुकนี้มีน้ำหนักมาก จึงได้ตั้งนอกรอบระดับ 4 ซुक จำนวน 8 ตัว คัดนอกแต่ละตัวให้ห่างกัน 1 เมตร

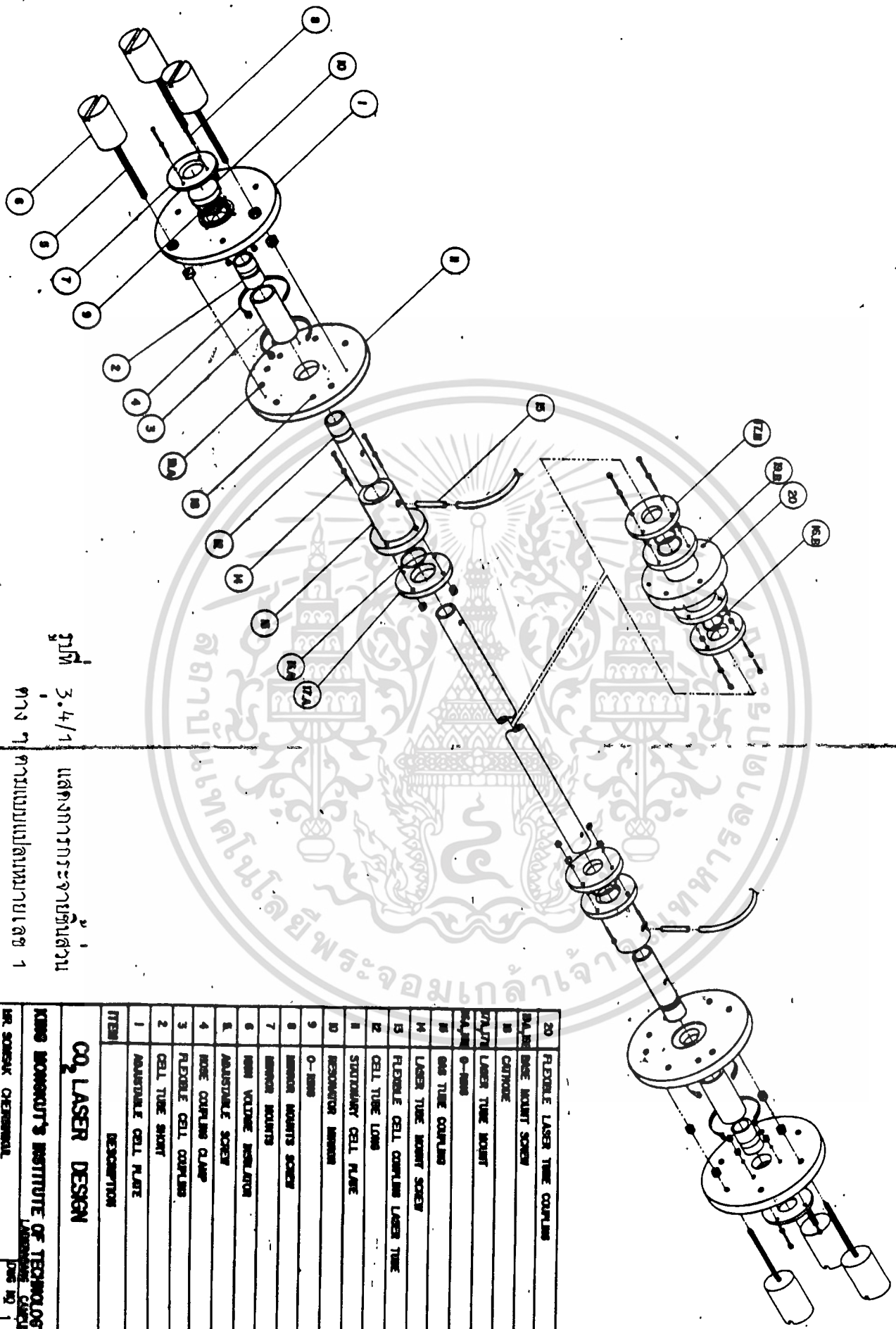
3.4 อุปกรณ์ส่วนหัวเครื่องกำเนิดเลเซอร์ และขั้วต่อส่วนกลางหลอดเลเซอร์

การออกแบบที่คำนึงถึงความสำคัญของแนวแกนแสงจะต้องอยู่ในแนวกึ่งกลางของส่วนหัวเลเซอร์ และใช้เทคนิคของระบบสูญญากาศ ในการออกแบบขั้วต่อส่วนต่าง ๆ จะช่วยให้ดอกประกอบที่สะดวกไม่ทำให้ส่วนใดส่วนหนึ่งเสียหาย การออกแบบส่วนหัวเลเซอร์จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 3.4/1 ส่วนแรกจะเป็นส่วนหัวที่ปรับได้ และส่วนที่สองจะเป็นส่วนหัวที่ปรับไม่ได้ เมื่อประกอบเสร็จแล้ว จุดต่อของส่วนทั้งสองจะห่างกัน 0.25 เซนติเมตร ทั้งนี้เพื่อให้สามารถเปลี่ยนมุมเล็กน้อยของส่วนหัวที่ปรับได้อย่างสะดวก

3.4.1 ส่วนหัวที่ปรับได้

ประกอบด้วยแผ่นนำไฟฟ้าที่ปรับได้ (1 Adjustable Cell Plate) ที่มีรูปร่างดังรูปที่ 3.4.1/1 จะมีสกรูปรับ (5 Adjustable Screws) จำนวน 3 ตัว ติดในแผ่นลักษณะให้เป็นสามเหลี่ยมคางหมู ที่ปลายข้างหนึ่งของสกรูจะหุ้มด้วยฉนวนไฟฟ้าแรงสูง (6 High Voltage Insulator) จะมีไว้สำหรับปรับกระจกสะท้อน (10 Resonator Mirror) ที่ปลายทั้งสองข้างของหลอดเลเซอร์ไขชนกัน โดยกระจกสะท้อนจะวางอยู่บนวงแหวนยาง (9 "0" ring) ที่ทาด้วยกรีสสูญญากาศ (Vacuum Grease) ติดกับด้านหนึ่งของแผ่นนำไฟฟ้า (1) และนิ้วนํ้ากระจกสะท้อนอีกด้านหนึ่ง จะถูกวางทับด้วยแป้นติดกระจก (7 Mirror Mounts) ดังแสดงในรูปที่ 3.4.1/2 จะมีสกรูแป้นติดกระจก (8 Mirror Mount Screws) 4 ตัวทำหน้าที่กดแป้นกระจกให้แนบสนิทกับวงแหวนยาง เพื่อที่จะไม่ให้เกิดรอยร้าวที่จุดนี้ สำหรับอีกด้านหนึ่งของแผ่นนำไฟฟ้า (1) จะเชื่อมด้วยท่อนำไฟฟ้าสั้น (2 Cell tube short) ให้อยู่ในแนวตั้งฉาก เป็นส่วนเชื่อมกับส่วนหัวที่ปรับไม่ได้ โดยส่วนเชื่อมนี้จะห่อหุ้มด้วยขั้วต่ออย่าง (3 Flexible Cell Coupling) ที่บริเวณนิ้วนํ้ารอยต่อจะหาคายกรีสสูญญากาศ และจะถูกยึดด้วยสายรัดท่อ (4 Hose Coupling Clamps) เพื่อที่จะช่วยให้ขั้วต่อไม่หลุดออกจากกันในขณะที่ทำการปรับกระจกสะท้อน

เนื่องจากในการสร้างมีชิ้นส่วนของส่วนหัวที่ปรับได้จำนวนมาก ดังนั้นจึงได้แสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 3.4.1/1



รูปที่ 3.4/1 แสดงการกระจายชิ้นส่วน
ต่างๆ ตามแบบแปลนหมายเลข 1

ITEM	DESCRIPTION
20	FLEXIBLE LASER TUBE COUPLING
19	BASE MOUNT SCREW
18	CAPNUT
17A/17B	LASER TUBE MOUNT
16A/16B	O-RINGS
15	GAS TUBE COUPLING
14	LASER TUBE MOUNT SCREW
13	FLEXIBLE CELL COUPLING LASER TUBE
12	CELL TUBE LONG
11	STANDARD CELL FLARE
10	RESPONATOR MIRROR
9	O-RINGS
8	MIRROR MOUNTS SCREW
7	MIRROR MOUNTS
6	HIGH VOLTAGE INSULATOR
5	ADJUSTABLE SCREW
4	HOSE COUPLING CLAMP
3	FLEXIBLE CELL COUPLING
2	CELL TUBE SHORT
1	ADJUSTABLE CELL FLARE

CO₂ LASER DESIGN

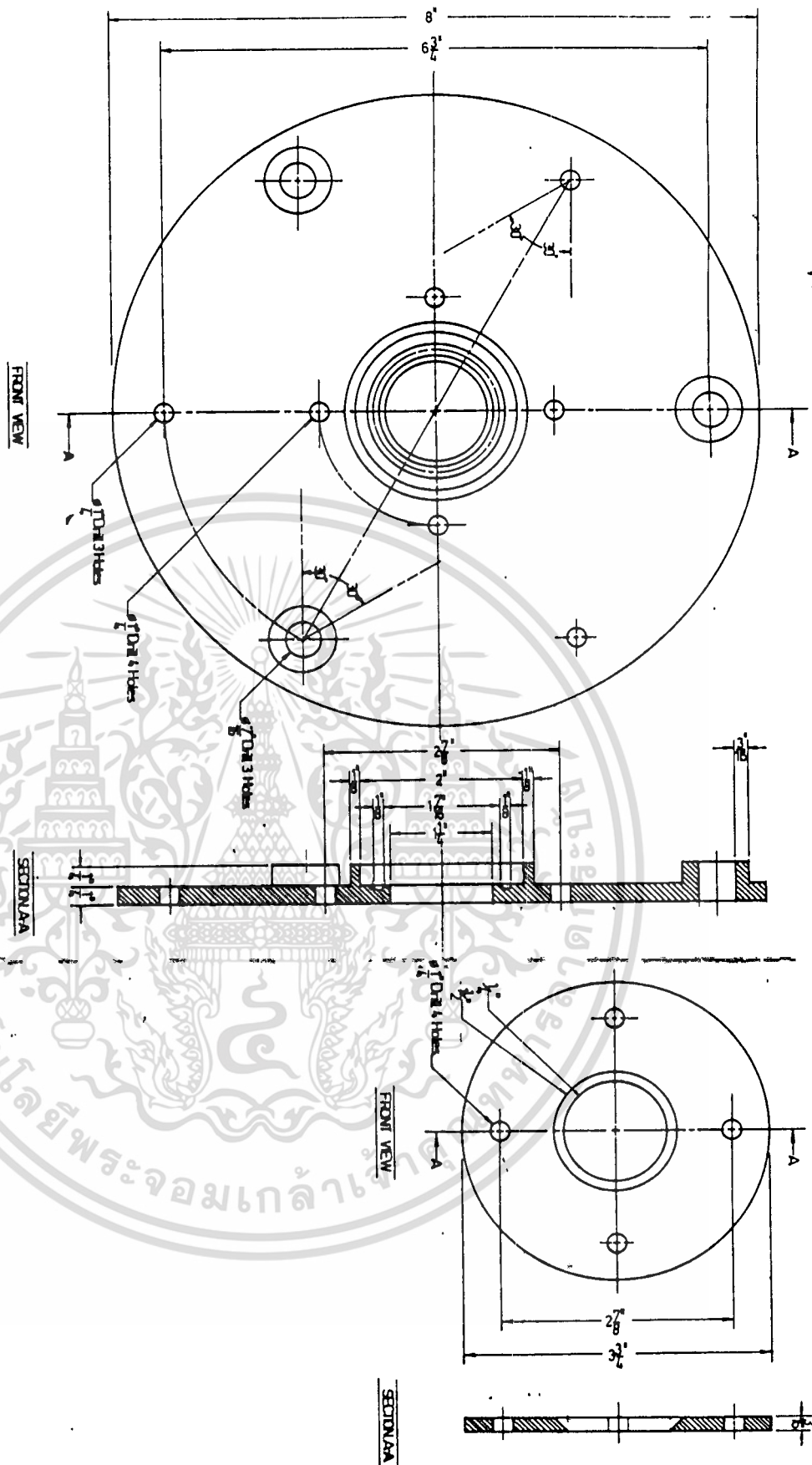
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LASER ENGINEERING CENTER
DMS NO. 1

MR. SOMSAK CHEERANAL
DATE

FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRONICS

SCALE 1:50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

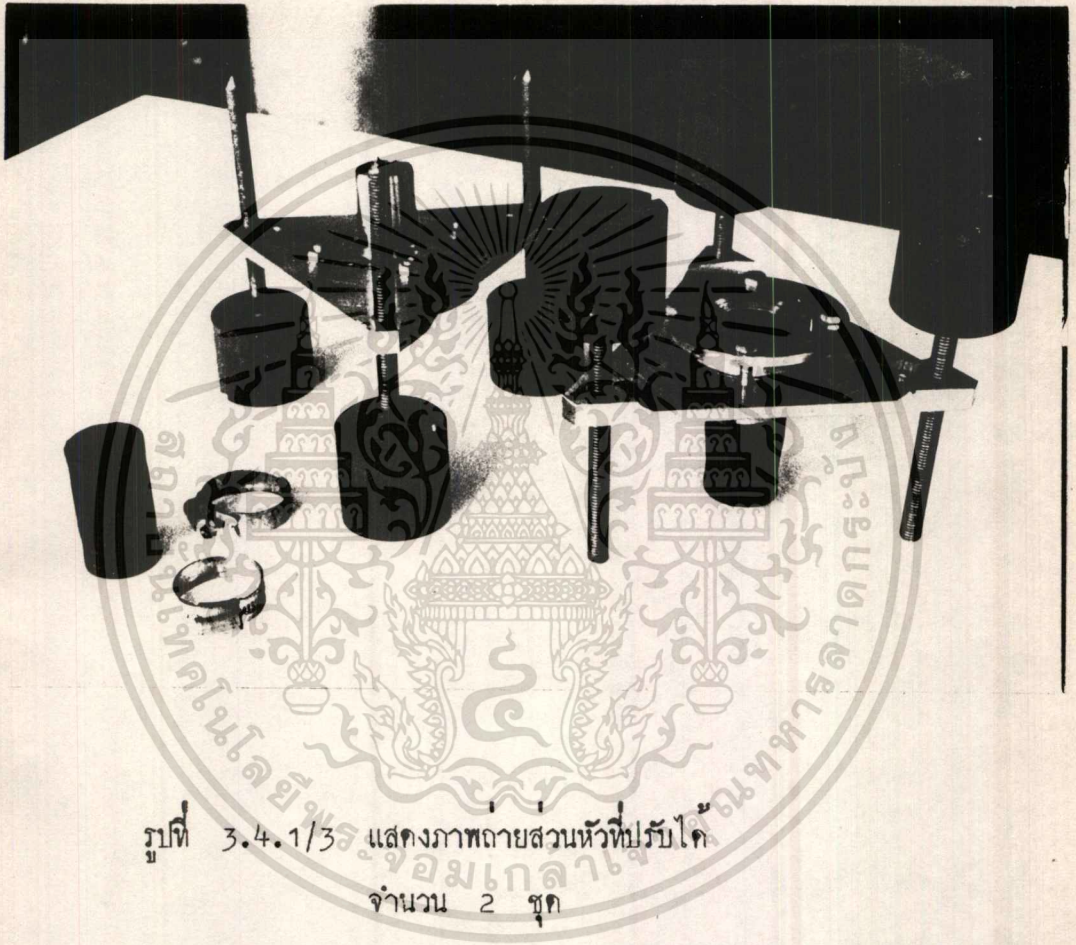


รูปที่ 3.4.1/2 แสดงการออกแบบรายละเอียดส่วนหัวที่ปรับได้

ความแบบแปลนหมายเลข 3

7	MIRROR MOUNTS
1	ADJUSTABLE CELL PLATE
CO₂ LASER DESIGN	
KASAB MONSIEUR'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY	
MR. SOMSAK CHENSIRAKUL	DATE: 1981
FACULTY OF ENGINEERING	SCALE: 1:1
DEPARTMENT OF ELECTRONICS	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



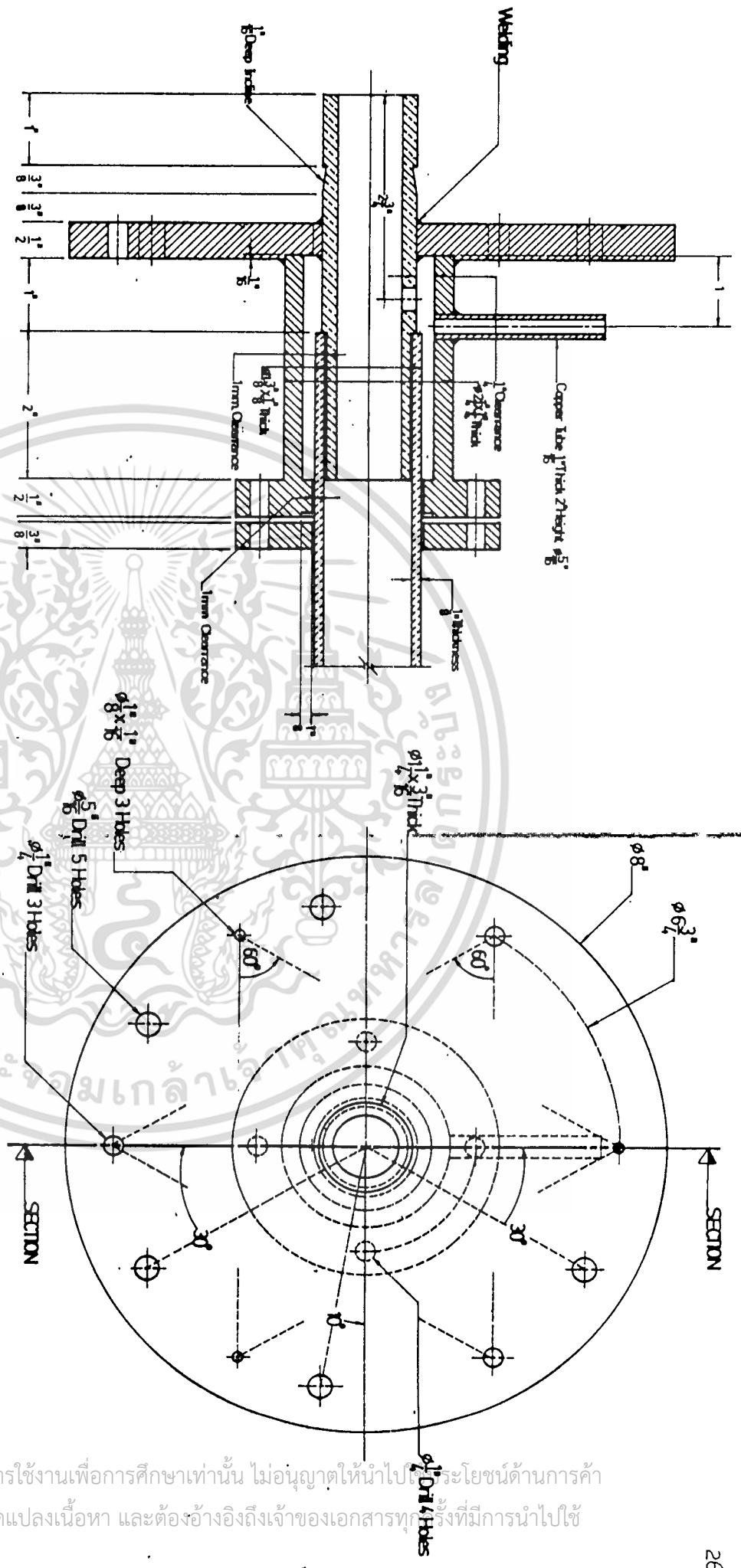
รูปที่ 3.4.1/3 แสดงภาพถ่ายส่วนหัวที่ปรับได้
จำนวน 2 ชุด

ตารางที่ 3.4.1/1 ได้แสดงรายละเอียดชิ้นส่วนหัวที่ปรับไค้จำนวน 2 ชุด

ตำแหน่ง	รายชื่อตำแหน่ง	ชนิดวัสดุ	จำนวน	หมายเหตุ
1	แผ่นนำไฟฟ้าที่ปรับไค้	เหล็ก	2 แผ่น	ต้องชุบโครเมียมเพื่อป้องกันสนิม
2	ท่อนำไฟฟ้าสั้น	ทองแดง	2 ท่อ	เชื่อมติดกับแผ่นนำไฟฟ้า (1) ควยลวดเชื่อมเงิน
3	ซอกท่อหยาง	ยาง	2 ท่อ	ต้องทำควยเนื้ออย่างลวนๆที่ไม่แข็งจนเกินไป สามารถทนความร้อนและน้ำมันได้
4	สายรัดท่อ	เหล็ก	4 ชิ้น	
5	สกรูปรับ	เหล็ก	6 แหง	
6	ฉนวนไฟฟ้าแรงสูง	เบ็กเกอร์ไรท์	6 แหง	สามารถทนศักดาไฟฟ้าแรงสูงทะลุผ่านได้ 30 KV
7	แผ่นติดกระจก	เหล็ก	2 แผ่น	ต้องชุบโครเมียม
8	สกรูแผ่นติดกระจก	เหล็ก	8 ชุด	
9	วงแหวนยาง	ยาง	2 เส้น	สามารถทนความร้อน ทนน้ำมัน และแรงกด ได้
10	กระจกสะท้อน	ทองแดง	2 ชิ้น	กล่าวรายละเอียดไว้ในหัวข้อ การสร้าง กระจกสะท้อน

3.4.2 ส่วนหัวที่ปรับไค้

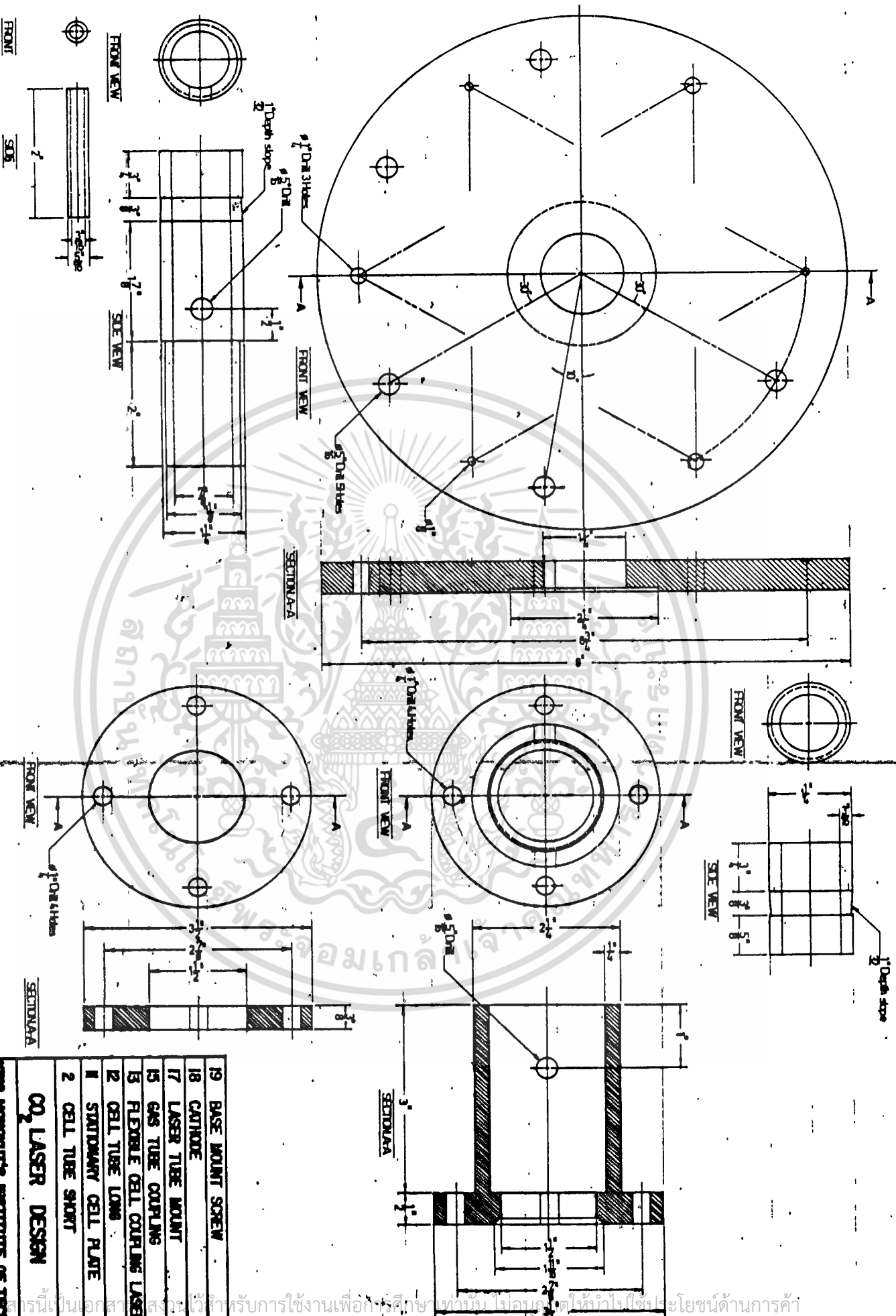
ประกอบด้วยแผ่นนำไฟฟ้าที่ปรับไค้ (11 Stationary Cell Plate) ดังที่ไค้แสดงไว้ในรูปที่ 3.4.2/1 จะมีท่อนำไฟฟ้ายาว (12 Cell tube long) เชื่อมทั้งฉากกับแผ่นนำไฟฟ้า (11) โดยให้ปลายข้างหนึ่งยื่นออกมาต่อกับท่อนำไฟฟ้าสั้น (2) สำหรับปลายอีกข้างหนึ่งจะถูกสวมเข้าภายในท่อเลเซอร์ ซึ่งส่วนที่จะทำหน้าที่เป็นขั้วคัสซาร์ค และบริเวณที่อยู่ภายนอกท่อเลเซอร์จะเจาะรูไว้เพื่อให้เป็นทางเข้าและออกของก๊าซผสมจะมีซอกท่อหลอดเลเซอร์ (13 Flexible Cell Coupling laser tube) ล้อมรอบภายนอกท่อนำไฟฟ้ายาว (12) ให้มีระยะห่างเท่ากับหลอด ซึ่งจะเชื่อมส่วนนี้ให้ทั้งฉากกับแผ่นนำไฟฟ้า (11) และเชื่อมซอกท่อ (15 Gas Coupling) เข้าไปด้วย



ภาพที่ 3.4.2/1 แสดงการออกแบบส่วนหัวที่ประกอบเข้าด้วยกันโดยเลข 4

19	BASE MOUNT SCREW
18	CATHODE
17	LASER TUBE MOUNT
15	GAS TUBE COUPLING
13	FLEXIBLE CELL COUPLING LASER TUBE
12	CELL TUBE LONG
11	STATIONARY CELL PLATE
CO₂ LASER DESIGN	
KINGDOM MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY	
Lampang Campus	
MR. SOMSAK CHEERANOL	DRAW NO. 4.
FACULTY OF ENGINEERING	DATE
DEPARTMENT OF ELECTRONICS	SCALE 1:1

การนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การบริการอื่น ๆ อีกที่ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- 19 BASE MOUNT SCREW
- 18 CATHODE
- 17 LASER TUBE MOUNT
- 15 GAS TUBE COUPLING
- 13 FLEXIBLE CELL COUPLING LASER TUBE
- 12 CELL TUBE LONG
- 11 STATUARY CELL PLATE
- 2 CELL TUBE SHORT

CO₂ LASER DESIGN

KONG MONSURI'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LAMPANG CAMPUS	
MR. SOMKAT OCHERONGKOL	DATE: 5
FACULTY OF ENGINEERING	
DEPARTMENT OF ELECTRONICS	PAGE: 181

รูปที่ 3.4.2/2 แสดงการออกแบบรายละเอียดส่วนหัวที่ปรับไปเพื่อความเหมาะสมโดยหมายเลข 5



รูปที่ 3.4.2/3 แสดงภาพถ่ายส่วนหัวที่ปรับไม่ได้
จำนวน 2 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

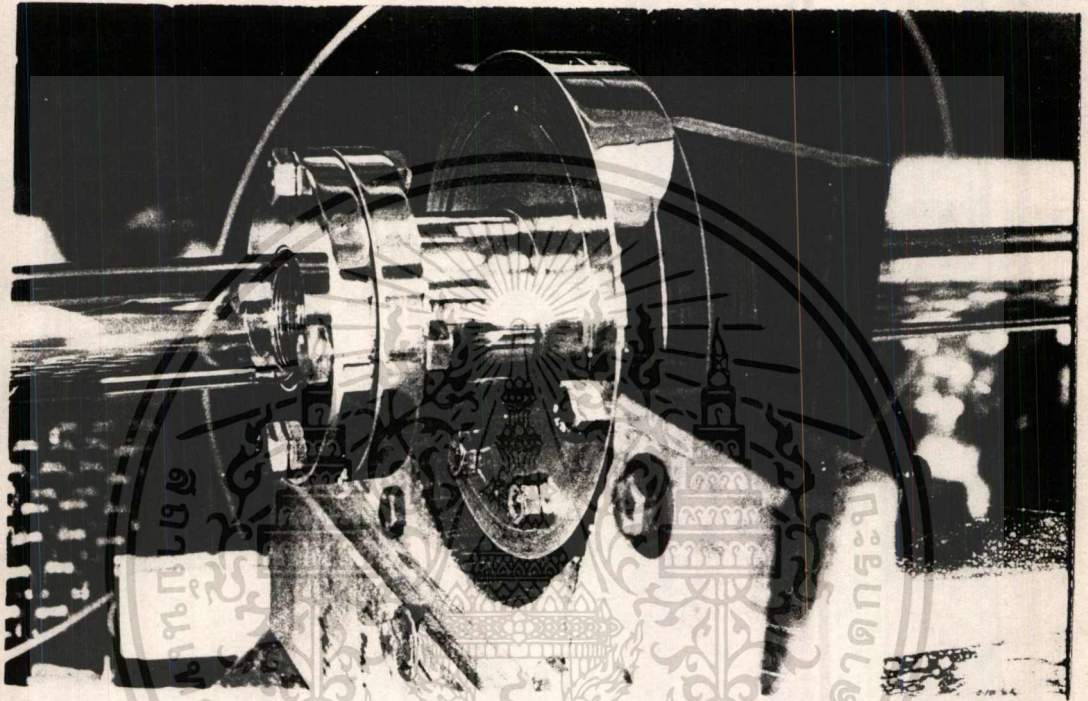
สำหรับหลอดเลเซอร์ที่สวมเข้าไปภายใน จะมีวงแหวนยาว (16 A " 0 " ring) สวมอยู่รอบนอกหลอดติดกับปลายท่อซอกอ (13) จะถูกยึดด้วยแผ่นติดหลอดเลเซอร์ (17 Laser tube Mounts) ที่มีสกรูแผ่นติดหลอด (14 laser tube Mounts Screws) จำนวน 4 ชุด ทำหน้าที่กวดวงแหวน (16 A) ให้แนวสปีทรีเวอรอยต่อตั้งแสดงในรูปที่ 3.4.2/2

สปีทรีเวอแผ่นนำไฟฟ้า (11) จะมีขั้วไฟฟ้า (18 Cathode) กับแหล่งพลังงานไฟฟ้า แรงสูงจากภายนอก และยังเป็นส่วนที่ใช้ยึดติดกับฐานเลเซอร์ โดยใช้สกรูติดฐาน (19 A Base Mount Screws)

สำหรับรายละเอียดชิ้นส่วนของส่วนหัวที่ปรับไม่ไ้แสดงไว้ที่ตาราง 3.4.2/1

ตารางที่ 3.4.2/1 ไล่แสดงรายละเอียดส่วนหัวที่ปรับไม่ไ้จำนวน 2 ชุด

ตำแหน่ง	รายชื่อตำแหน่ง	ชนิดวัสดุ	จำนวน	หมายเหตุ
11	แผ่นนำไฟฟ้าที่ปรับไม่ไ้	เหล็ก	2 แผ่น	ต้องชุบโครเมียม
12	หอนำไฟฟ้ายาว	ทองแดง	2 ท่อ	
13	ท่อซอกอหลอดเลเซอร์	เหล็ก	2 ท่อ	ที่ปรับสปีทรีเวอรอยต่อวงแหวนยาว (16 A) จะต้องเรียบมาก แล้วชุบโครเมียม
14	สกรูแผ่นติดหลอดเลเซอร์	เหล็ก	8 ชุด	
15	ซอกอการ	ทองแดง		
16 A	วงแหวนยาง	ยาง	2 วง	
17 A	แผ่นติดหลอดเลเซอร์	เหล็ก	2 แผ่น	ต้องชุบโครเมียม
18	ขั้วไฟฟ้า	เหล็ก	2 ชุด	
19 A	สกรูติดฐาน	เหล็ก	8 ชุด	



รูปที่ 3.4.3/2 แสดงภาพถ่ายของท่อส่วนกลางหลอดเลเซอร์
จำนวน 1 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 ข้อต่อส่วนกลางหลอดเลเซอร์

ได้ออกแบบเป็นพิเศษสำหรับเครื่อง รูปที่ 3.1/1 (ค) เป็นส่วนต่อที่มีความสำคัญในการสร้างเครื่องเลเซอร์ที่มีความยาวมาก แนวทางในการออกแบบส่วนนี้จะเหมือนกับส่วนหัวทุกประการ ดังแสดงในรูปที่ 3.4.3/1 จะประกอบด้วย ข้อต่อหลอดเลเซอร์ที่ปรับไม่ได้ (20 Flexible Laser tube Coupling) หลอดเลเซอร์ที่เข้าไปภายในทั้งสองข้างจะได้รับการประสานรอยต่อเหมือนกับส่วนหัวที่ปรับไม่ได้

บริเวณส่วนกลางของข้อต่อนี้ (20) เป็นส่วนที่ยึดติดกับส่วนกลางฐานเลเซอร์ โดยใช้สกรูทึกรูฐาน (19 B Base Mount Screws) สำหรับขันส่วนข้อต่อส่วนกลางหลอดเลเซอร์ (20) ได้ แสดงรายละเอียดไว้ที่ตาราง 3.4.3/1

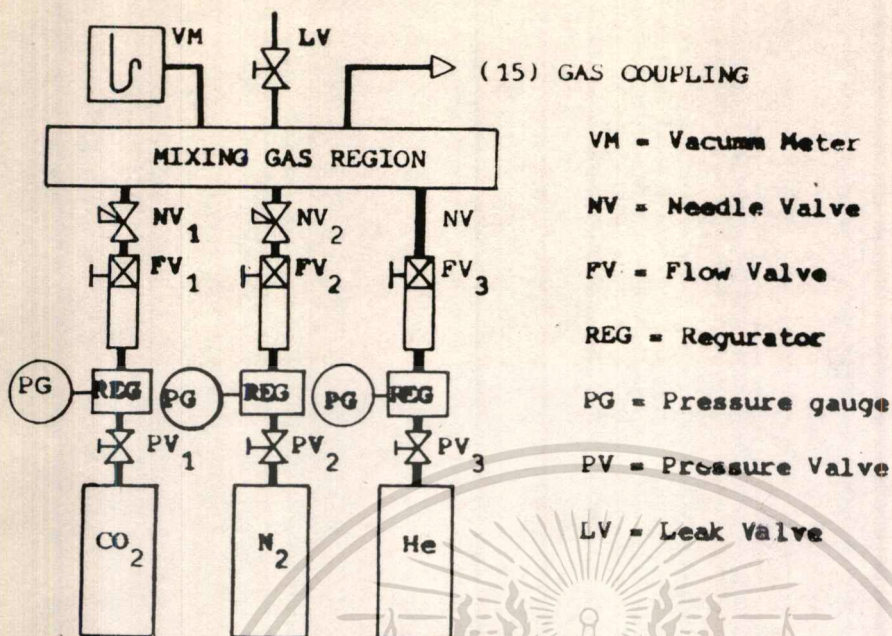
ตารางที่ 3.4.3/1 แสดงรายละเอียดชิ้นส่วนข้อต่อส่วนกลางหลอดเลเซอร์จำนวน 1 ชุด

ตำแหน่ง	ชื่อตำแหน่ง	ชนิดวัสดุ	จำนวน	หมายเหตุ
20	ข้อต่อหลอดเลเซอร์ที่ปรับไม่ได้	เหล็ก	1 ชุด	ภายในโพรงข้อต่อจะต้องล้างให้เรียบและที่ผิวบริเวณรอยต่อวงแหวนยาง (16 B) จะต้องเรียบมากแล้วชุบโครเมียม
17 B	แฉกยึดข้อต่อหลอดเลเซอร์	เหล็ก	2 แฉก	ชุบโครเมียม
16 B	วงแหวนยาง	ยาง	2 วง	ขนาดเท่ากับของส่วนหัวที่ปรับไม่ได้
19 B	สกรูทึกรูฐาน	เหล็ก	4 ชุด	

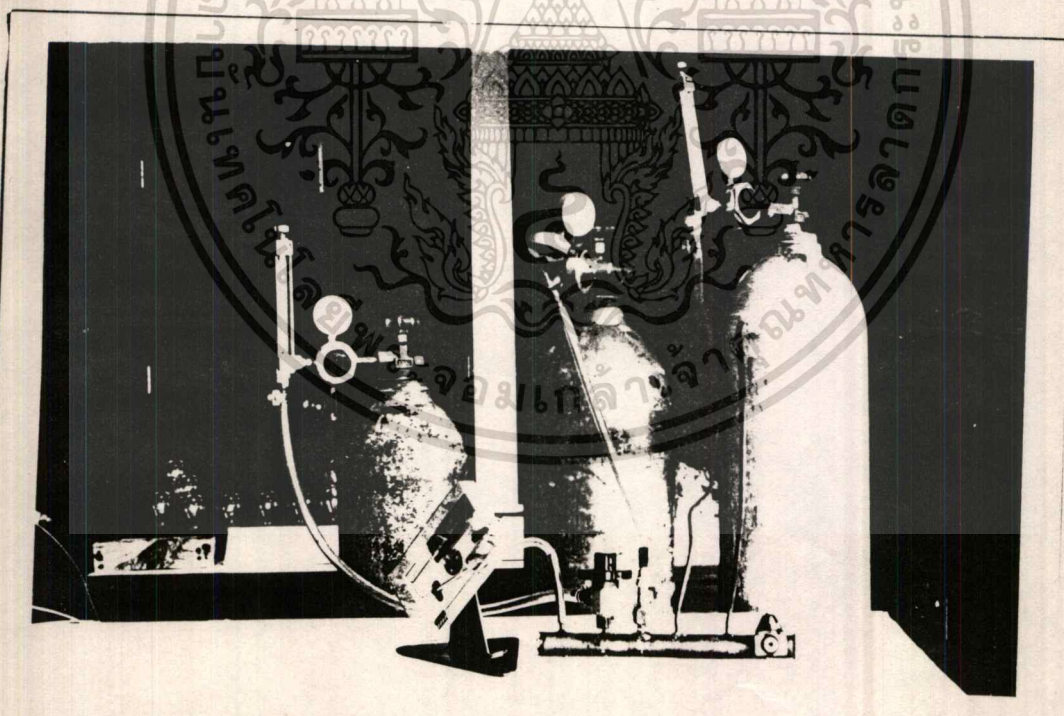
3.5 ระบบจ่ายก๊าซผสม

เป็นระบบที่ต้องคำนึงถึงจุดที่บริเวณข้อต่อให้มากที่สุด เพราะอุปกรณ์บางอย่างจะเหมาะสมที่ใช้กับส่วนที่มีความกดดันต่ำเท่านั้น จึงได้แสดงระบบจ่ายก๊าซผสมในรูปที่ 3.5/1 (ก , ข) ซึ่งก๊าซ CO_2 , N_2 และ He ไต่บรรจุในถังสำเร็จรูปเป็นเกรทที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ที่หัวถังก๊าซจะประกอบด้วย วาล์วความกดดัน (PV) และวาล์วปรับอัตราการไหล (FV) โดยที่ก๊าซ CO_2 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5/1 (ก) โตะแก๊วแสดงส่วนประกอบระบบจ่ายก๊าซผสม



รูปที่ 3.5/1 (ข) แสดงภาพถ่ายส่วนประกอบระบบจ่ายก๊าซผสม

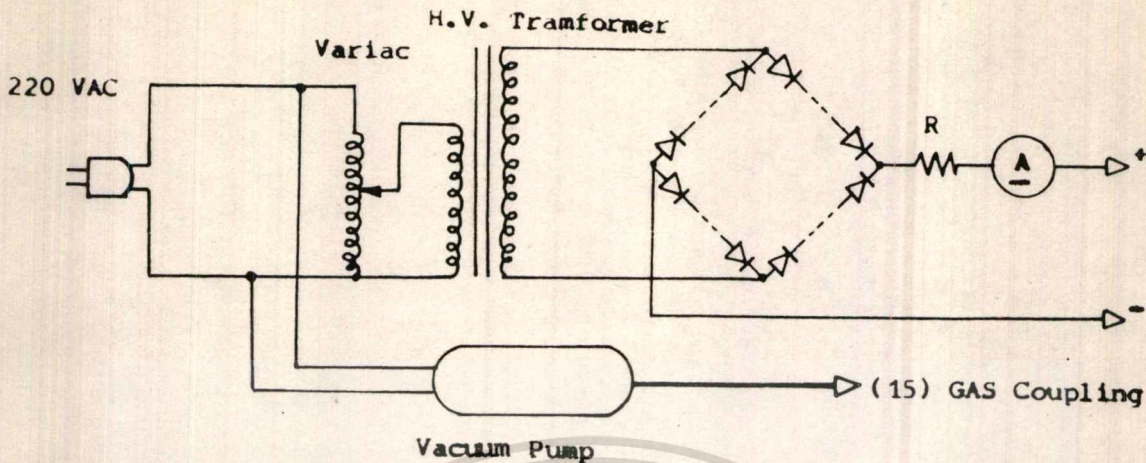
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ N_2 จะใช้สายยางพลาสติกทำหน้าที่เป็นท่อก๊าซ เชื่อมระหว่างปลายวาล์วกับอิทธิกรการไหลกับวาล์ว ปลายเข็ม (NV) ที่สามารถควบคุมการไหลของก๊าซอย่างละเอียด ให้ความกักกันภายในท่อได้ตั้งแต่ 0 - 10 มิลลิเมตรปรอท แต่สำหรับก๊าซ He ใช้ความกักกันของก๊าซมากพอสมควร จึงใช้วาล์วกับอิทธิกรการไหลควบคุมความกักกันที่ใช้ แต่จะปรับได้ไม่ละเอียดมาก ก๊าซทั้งสามชนิดจะผ่านไปในท่อผสมก๊าซทำควยท่อทองแดงกลวง เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 2.54 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร ทน 0.15 เซนติเมตร จะมีวาล์วปล่อยอากาศเข้า (LV) เชื่อมต่อกับส่วนที่ใช้ในขณะปิดเครื่องสุญญากาศ และจะตรวจเช็คความดันของก๊าซผสมได้จากมิเตอร์วัดสุญญากาศ (VM) จะเป็นมิเตอร์ที่ถูกบรรจุควยปรอท และก๊าซผสมเหล่านี้จะถูกนำทางพอนำก๊าซไปยังท่อทอหลอดเลเซอร์ (15)

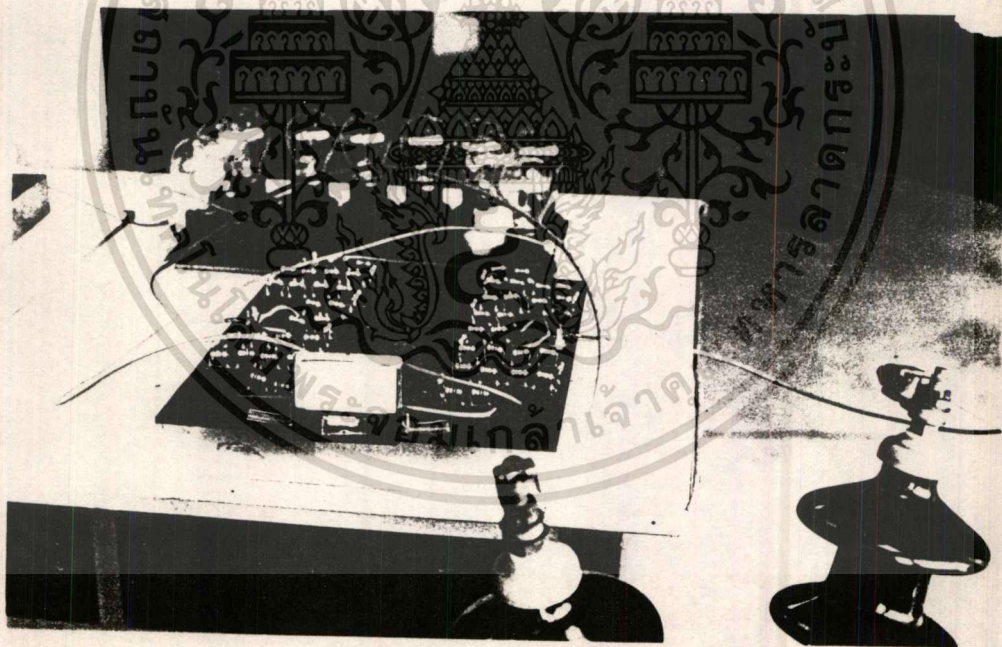
3.6 ระบบจ่ายไฟฟ้าแรงสูง

อุปกรณ์ส่วนนี้มีความสำคัญมากในการทำให้เกิดกระแสที่สสารรัก มีผลต่อการยกกระตัมพลังงานของอะตอมหรือโมเลกุล โดยตรง กระแสที่สสารรักจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลเซอร์ และความกักกันของก๊าซที่ใช้

ดังนั้นในการออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงที่ใช้กับเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 2.85 เซนติเมตร ความยาวมากที่สุด 2.05 เมตรมีความกักกัน 20 มิลลิเมตรปรอท จะประกอบควยหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง (High Voltage Tranformer) ดังแสดงในรูปที่ 3.6/1 (ก , ข) ใช้กับศักดาไฟฟ้าที่เข้า 240 โวลต์ ให้ศักดาไฟฟ้าออกมา 15,000 โวลต์ กระแสสูงสุด 200 มิลลิแอมแปร์ ทอวงจรร่วมกับเวริเอค (Variac) ที่ใช้เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้า 0 - 240 โวลต์ กระแสสูงสุดให้ 25 แอมแปร์ ทำการควบคุมหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงให้ได้ศักดาไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการที่สสารรักที่เกิดจากกระแสตรง เมื่อย่านซิลิคอนไดโอด (Silicon Diode) ทอแบบบริค (Bridge) ซึ่งไดโอดแต่ละแถวที่มีจำนวน 20 ตัว ทออนุกรมกัน เพื่อให้จะให้ทันศักดาไฟฟ้าแรงสูงที่ตกคร่อมระหว่างชุดไดโอด โดยได้ใช้ไดโอดเบอร์ BY 127 ของ ITT จะมีบาลาสต์ริสเซอร์ (Ballast Resistor) ที่ใช้หลอดไฟ 20 วัตต์ จำนวน 10 ทวง ทออนุกรมกัน สามารถทนพลังงาน 200 วัตต์ ทออนุกรมกับวงจร เพื่อป้องกันไม่ให้กระแสไหลมากเกินไปกว่าการใช้งานจริง และกระแสที่ผ่านหลอดที่สสารรักจะถูกวัดควยมิเตอร์ที่วัดกระแสได้สูงสุด 200 มิลลิแอมแปร์



รูปที่ 3.6/1 (ก) โดระแกรมแสดงส่วนประกอบระบบจ่ายไฟฟ้าแรงสูง



รูปที่ 3.6/1 (ข) แสดงภาพถ่ายส่วนประกอบระบบจ่ายไฟฟ้าแรงสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 ระบบเครื่องสูญอากาศ (Vacuum Pump)

จะเป็นอุปกรณ์ช่วยใ้ภายในหลอดเลเซอร์มีความกักตัว สามารถควบคุมอัตราการไหลของก๊าซช่วยกำจัดก๊าซที่จะทำให้ประสิทธิภาพกำลังเลเซอร์ลดลง และยังระบายความร้อนของก๊าซในขณะที่เครื่องกำลังทำงาน เครื่องเลเซอร์ที่สร้างขึ้น เป็นระบบอัตราการไหลช้า ที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาตรภายในหลอดน้อยกว่า 100 เท่าใน 1 นาที

ดังนั้นเครื่องสูญอากาศที่ใช้กับเครื่องเลเซอร์ รูป 3.1/1 (ก,ข,ค) เป็นชนิดโรตารีปั๊มที่สามารถดูดอากาศออกจากหลอดเลเซอร์ ได้ความกักตัวมากกว่า 0.09 มิลลิเมตรปรอท เครื่องสูญอากาศนี้ใช้ของบริษัทเอ็คเวิร์กรุ่น SPEEDIVAC 2 มีความสามารถไหลที่มีอัตราการไหล 45 ลิตรต่อนาที ที่ความกักตัว 10 มิลลิเมตรปรอท

3.8 การสร้างกระจกสะท้อน

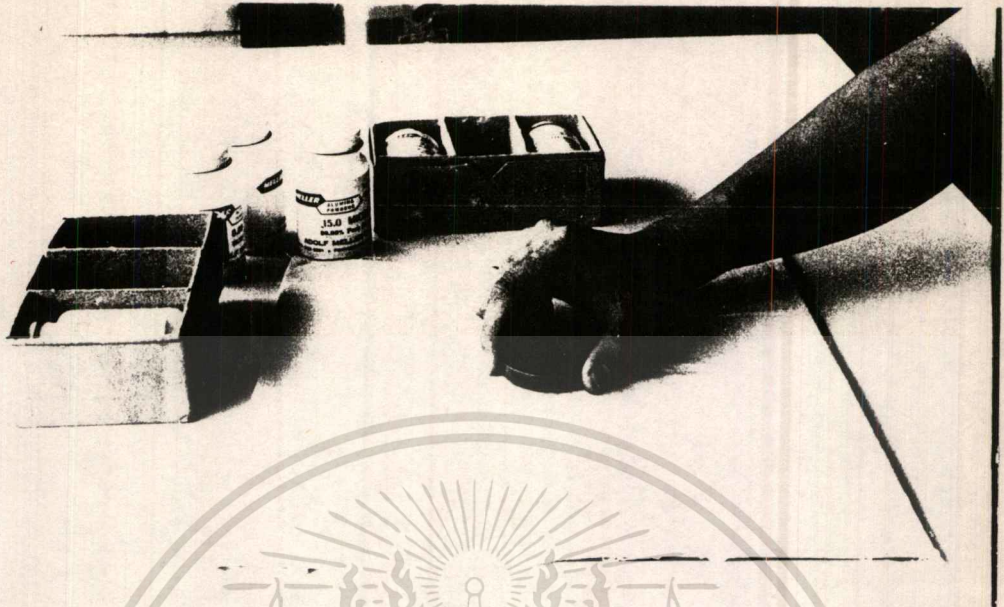
การสร้างกระจกสะท้อนที่ทำจากโลหะ จะเหมาะสมเลเซอร์กำลังสูง เมื่อมีความร้อนบางส่วนที่ผิวกระจกสะท้อนถูกคลื่นเอาไว้ ความร้อนจะกระจายเข้าไปในเนื้อโลหะได้เร็ว ซึ่งจะเป็นส่วนระบายความร้อนให้กระจกสะท้อนในการสร้างกระจกสะท้อนแบบเรียบได้เลือกให้ใช้โลหะทองแดง ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ความหนา 1 เซนติเมตร โดยผิวหน้าของโลหะจะถูกทำให้เรียบโดยใช้เครื่องกลึง

สำหรับการสร้างกระจกโค้ง [14] ที่ทำด้วยโลหะจะมีความยุ่งยากมากดังนั้น จึงสร้างกระจกโค้งด้วยแก้ว ใ้รับการขัดผิวหน้าให้มีรัศมีความโค้ง 3 เมตร จากเครื่องมือในห้องแล็บทำเลนส์

3.8.1 การขัดกระจกสะท้อนแบบเรียบ

การขัดเป็นสิ่งสำคัญมากในการสร้างกระจกสะท้อนในระบบเลเซอร์มีกำลังของเลเซอร์ที่ออกมาหรืออ่อน ซึ่งความเรียบของผิวหน้ากระจกจะลกดำลังที่สูญเสียเนื่องจากคลื่นที่กระจก การที่จะให้ผิวหน้ากระจกสะท้อนเรียบโดยการขัดด้วยมือ จะต้องใช้เวลาในการขัดนานมาก และกระทำใ้ยากพอสมควร แต่ถาใช้เครื่องขัดช่วยในการขัด [23] จะทำให้ผิวหน้าของกระจกที่ขัดมีผิวหน้าการสะท้อนใกล้เคียงกับการสะท้อนในอุดมคติ

สำหรับการขัดกระจกสะท้อนแบบเรียบใ้แสดงไว้ที่รูป 3.8.1/1



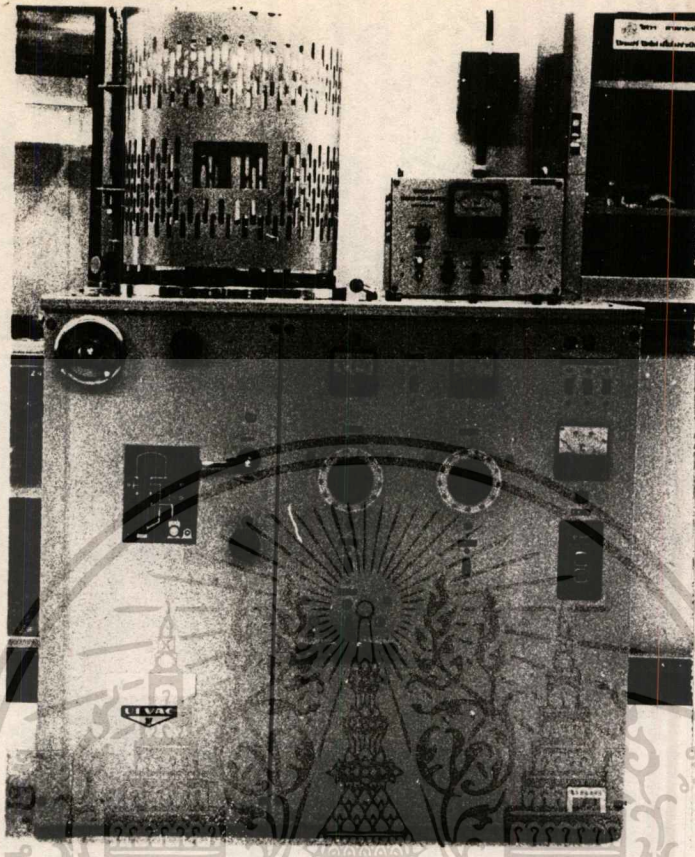
รูปที่ 3.8.1/1 แสดงภาพถ่ายการชักกระຈກสะທ່ອນคว້យຜຽງອຸລຸມິນາ

เมื่อผิวหน้าของโอโหะเป็นรณนามอย่างหยาบ จะถูกชักบนกระຈກซิลิกอนคาร์ไบด์ (Silicon Carbide) ที่มีความละเอียด 30 ไมโครเมตร ชักผิวหน้าให้เรียบจนรอยกลิ้งบนทองแดงไม่มีเหลืออยู่ จากนั้นจะนำมาชักบนผ้าสักกะหลาดคว້ຍຜຽງອຸລຸມິນາ ที่มีความละเอียดเบอร์ 15, 8, 3, 1, 0.3 และ 0.06 ไมโครเมตร ซึ่งการชักคว້ຍຜຽງອຸລຸມິນາ ที่มีความละเอียดแต่ละขนาดจะก่อให้เกิดความเรียบของผิวว่ามีมากที่สุดที่ผงชักเบอร์นั้น ๆ จะสามารถให้ความเรียบได้ แล้วจึงจะเปลี่ยนผงชักที่มีความละเอียดเบอร์ต่อไป จากนั้นนำกระຈກสะທ່ອນตรวจสอบความเรียบของผิวหน้าคว້ຍຜຽງອຸລຸມິນາ (Microscope) ที่มีกำลังขยายมากกว่า 200 เท่า เมื่อได้ผิวหน้ากระຈກสะທ່ອນเรียบเพียงพอแล้ว จะมีการทำความสะอาดผิวหน้า เพื่อที่จะเคลือบผิวหน้า

3.8.2 การเคลือบผิวหน้ากระຈກสะທ່ອນ

การเคลือบกระຈກสะທ່ອນที่ติดตั้งอาศัยเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงพอสมควร ซึ่งเมื่อทำการเคลือบผิวกระຈກสะທ່ອນคว້ຍຜຽງອຸລຸມິນາ 19 99.9 % ผิวหน้าทองที่เคลือบก็ยังคงความบริสุทธิ์ ความเป็นเงาวาว และเรียบเหมือนกับพื้นผิวของกระຈກสะທ່ອນเดิมก่อนจะเคลือบในการเคลือบผิวนี้ได้ใช้เครื่องระเหยสาร (Evaporation) ช่วยเคลือบผิวกระຈກสะທ່ອນ ดังแสดงในรูปที่ 3.8.2/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8.2/1 แสดงภาพถ่ายเครื่องระเหยสาร

หลักการเครื่องระเหยสาร [18] จะเป็นการทำให้สารที่ใช่เคลื่อนไ้กับความร้อนจนถึงจุดกลายเป็นไอของสาร ทำให้ไอของสารนั้นเคลื่อนที่ไปทุกทิศ จนกระทบผิวหน้าของสารที่จะเคลือบ ภายใต้สภาวะความดัน $10^{-5} - 10^{-7}$ มิลลิเมตรปรอท เพื่อให้ไอสารมีความบริสุทธิ์ของเนื้อสารเพียงอย่างเดียว แต่บางครั้งมีผลของความสะอาดผิวหน้าสารที่ใช่ และลดความร้อนที่ทำจากทั้งสแตนดีย์ เพราะผิวหน้าอาจจะมีส่วนบางอย่างเกาะอยู่ เช่น ไขมัน เกือบ หรือโลหะบางชนิด ดังนั้นสารที่ใช่จะผ่านขบวนการทำความสะอาดผิวหน้า [ได้กล่าวเพิ่มเติมในภาคผนวกที่ 6]

เมื่อเครื่องระเหยสารอยู่ในสภาวะพร้อมที่จะเคลือบสารในความกดดันที่กำหนด ผู้เคลือบสารต้องใช้เวลาความชำนาญที่เคยทำอยู่เป็นประจำทำการระเหยสารให้เคลือบอยู่บนผิวหน้ากระจกสะท้อน โดยจะยังคงค้างสารที่ใช่เคลือบให้อยู่บนขดลวดความร้อนเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อผิวหน้าเคลือบทองเรียบร้อยแล้ว จะนำกระจกสะท้อนแบบเรียบเจาะรูที่ศูนย์กลางของ กระจกด้วยเครื่องกลึง ให้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ซึ่งการเจาะต้องการความระมัดระวังมาก

3.9 การสร้างทางออกเลเซอร์

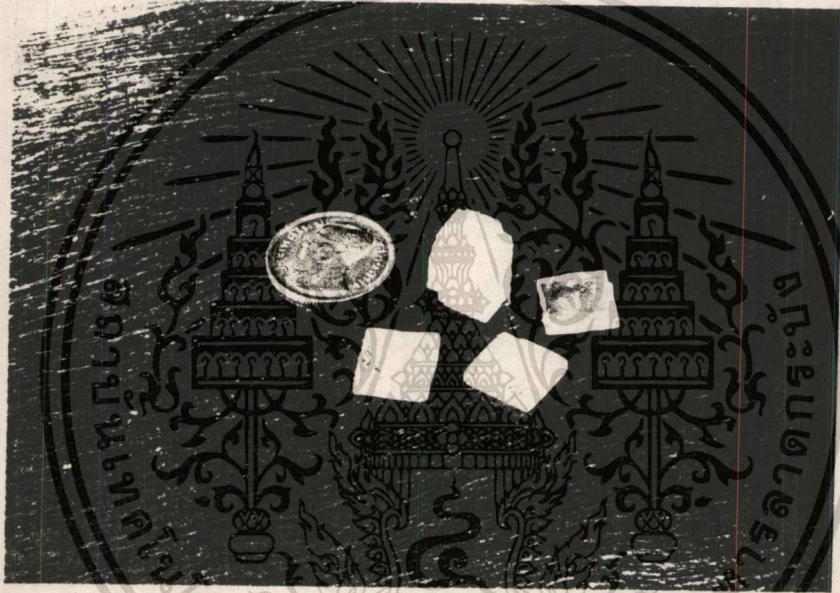
ทางออกกำลังของ CO_2 เลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 10.6 ไมโครเมตรสามารถใช้ได้กับ สารหลายชนิด (กล่าวไว้ในบทที่ 2) แต่หลักการและวิธีการสร้างแต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป จากการพิจารณาหลักการสร้างสารต่าง ๆ จะพบได้ว่าการสร้างผลึกของ โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เป็นวิธีที่ใช้หลักการธรรมดาและง่ายที่สุด สารที่ใช้ในการปลูกผลึกได้สะดวก ซึ่งหลักการสร้างได้ใช้วิธีการระเหยสารละลายที่อิ่มตัว [16] ดังแสดงในรูปที่ 3.9/1



รูปที่ 3.9/1 แสดงภาพถ่ายการปลูกผลึก NaCl ด้วยวิธีการระเหยสารละลาย

การสร้างผลึก NaCl ด้วยวิธีดังกล่าวสามารถนำมาใช้งานได้ จะต้องใช้ความบริสุทธิ์ของเกลือ แกรทแล็บ ทำละลายอิ่มตัวในน้ำบริสุทธิ์ที่มีความต้านทาน 18.5 เมกกะโอมห์ สารละลายทั้งหมดจะถูก ใส่ไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 75°C มีความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิอยู่ในช่วง $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ประมาณ

ใ้ว่าการระเหยของน้ำในสารละลายอิ่มตัวอยู่ในช่วงที่มีเสถียรภาพ ในช่วงแรกจะใช้เวลาในการสร้างเม็ดผลึกรูปเดี่ยวประมาณ 12 ชั่วโมง เลือกเม็ดผลึกรูปเดี่ยวที่ดีที่สุดจำนวน 2 - 3 เม็ด ใช้เป็นเม็ดผลึกล่อในการสร้างเม็ดผลึกรูปเดี่ยวที่มีขนาดใหญ่ต่อไปในช่วงที่สอง จะใช้เม็ดผลึกผูกด้วยเส้นผม ใส่ลงในสารละลายอิ่มตัว จะต้องควบคุมอัตราการระเหยของน้ำในสารละลายอิ่มตัวไม่ให้เร็วมากเกินไป การปลูกผลึกจะใช้เวลาประมาณ 10 วัน จะได้เม็ดผลึกขนาดประมาณ $1.2 \times 1.2 \times 1.2$ เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่นำมาใช้งานเป็นทางออกกำลังเลเซอร์โคคังแสงในรูปที่ 3.9/2



รูปที่ 3.9/2 แสดงภาพถ่ายผลึก NaCl ที่ได้สร้างขึ้นเป็นทางออกเลเซอร์

3.9.1 การชักผลึก NaCl ความเร็วของผลึกทางออกกำลังเลเซอร์จะทำให้ลดการกระจายและการคุกคลืนกำลังเลเซอร์ที่ผ่านเนื้อผลึก ดังนั้นการชักผลึกใหม่มีความเร็วจึงมีความสำคัญ

เมื่อได้สร้างผลึกขนาดตามต้องการ ผลึกจะถูกชักด้วยเลเซอร์ให้มีความหนา 4 มิลลิเมตร จากนั้นนำแผ่นผลึกชักด้วยผงซักฟอกในน้ำนัมเบอร์ 15, 8, 3, 1 ไมโครเมตร ตามหลักการเช่นเดียวกับการชักกระจกสะท้อนแต่เป็นการชักแห้ง ซึ่งการชักผลึกนี้จะต้องชักในห้องที่ควบคุมความชื้นในบรรยากาศ ให้น้อยกว่าความชื้นในบรรยากาศปกติ เพื่อจะทำให้การชักผลึกมีความสมบูรณ์มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

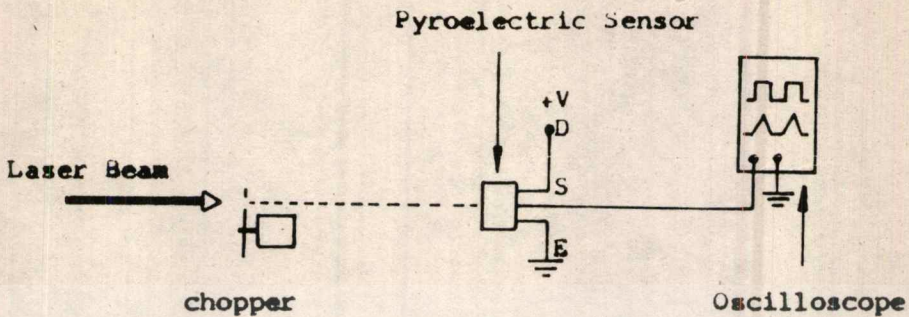
3.10 การสร้างอุปกรณ์วัดรังสีความร้อน

3.10.1 อุปกรณ์วัดแบบไพโรอิเล็กทริก จะเป็นสารที่มีการตอบสนองกับรังสีความร้อนเร็วมาก สามารถใช้ได้โดยที่ไม่ต้องระบายความร้อน ใช้งานได้ดีกับความยาวคลื่นแบบพัลส์ และตอบสนองที่ดีเมื่อพัลส์มีความถี่ต่ำ

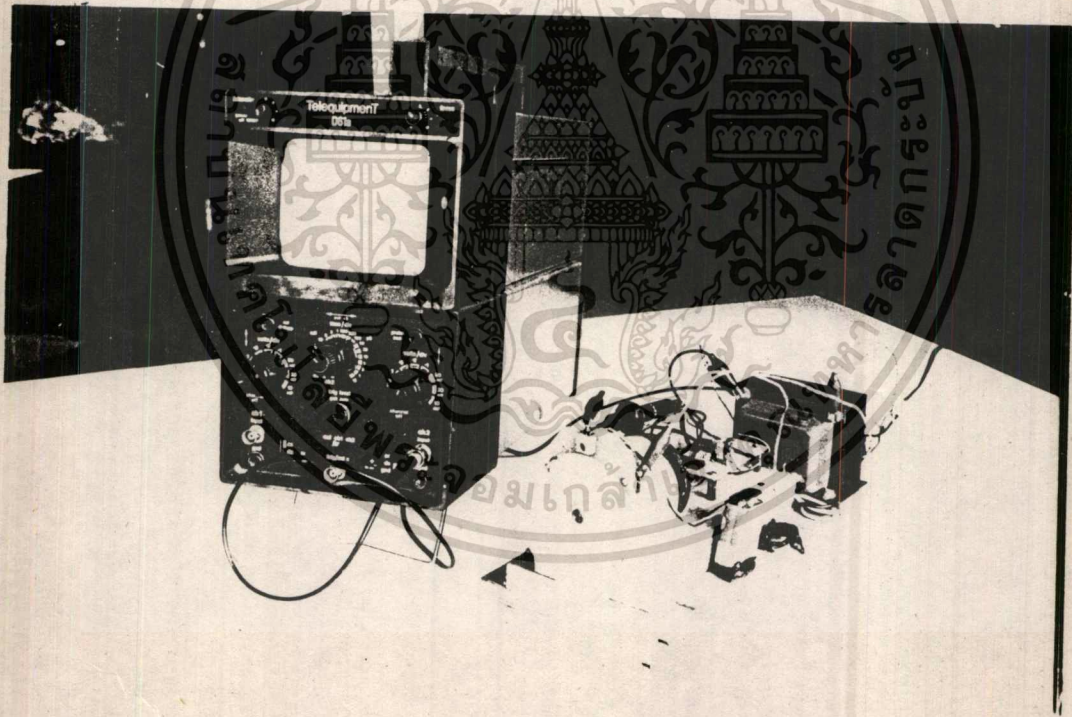
จึงได้ใช้อุปกรณ์ไพโรอิเล็กทริกของบริษัท มูระตะ (MURATA) เป็นหัววัดอินฟาเรดรุ่น IRA - FOOIP ที่สามารถวัดช่วงกว้างของคลื่นได้ตั้งแต่ 1 - 20 ไมโครเมตร เมื่อป้อนศักดาไฟฟ้าตรง 5 - 15 โวลต์ ใช้งานในช่วงอุณหภูมิ - 20 - 70 องศาเซลเซียส และได้ทำการประกอบชุดอุปกรณ์วัดดังรูปที่ 3.10.1/1 (ก,ข) โดยได้ใช้อินдукชันมอเตอร์ (Induction Motor) ที่ความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที ติดแผ่นอลูมิเนียมกลม ที่สามารถติดคลื่นต่อเนื่องให้เป็นคลื่นแบบพัลส์ที่มีความถี่ 20 เฮิรตซ์ ส่งไปยังไพโรอิเล็กทริก ที่ได้รับการไบอัสจากถ่านไฟฉาย 9 โวลต์ และจะวัดสัญญาณพัลส์ที่จุด 8 และ 9 ด้วยโพรบ (Probe) ที่ต่อไปยังออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)

3.10.2 อุปกรณ์วัดกำลังแบบแคลอริมิเตอร์ [9]

การวัดกำลังแบบแคลอริมิเตอร์ จะสามารถสร้างได้ง่ายที่มีใช้งานไม่ยุ่งยาก ซึ่งได้ใช้หลักการวัดอุณหภูมิเมื่อให้ความร้อนกระจายเข้าไปในเนื้อโลหะ ในเวลาที่กำหนด โดยการวัดอุณหภูมิ ใช้เทอร์โมคัปเปิล ของการเชื่อมกันระหว่างโลหะ 2 ชนิดที่เหมาะสม ดังแสดงอุปกรณ์ในรูปที่ 3-10.2/1 (ก,ข) ได้ใช้แท่งโลหะทองแดงเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.4 ซม. ยาว 5.2 ซม. เจาะให้เป็นรูปกรวยที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 2 ซม. ลึก 5 ซม. ที่แท่งทองแดงจะเจาะรูใส่เทอร์โมคัปเปิล ที่ประกอบด้วย Pt/13%Rh - Pt วัดอุณหภูมิตั้งแต่ 0° - 1600° องศาเซลเซียส โดยจะอ่านค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากคิเจอร์นเทอร์โมมิเตอร์ จะมีลวดความร้อนมาตรฐาน 25 วัตต์ของ Antex ที่จะประกอบเข้าไปได้ 3 ชุด มีพลังงานความร้อนทั้งหมด 75 วัตต์ ลวดความร้อนที่เปลี่ยนค่าความร้อนได้โดยใช้เวรีเอค ที่ปรับศักดาไฟฟ้าตั้งแต่ 0 - 240 โวลต์ ภายนอกของทองแดงจะห่อหุ้มด้วยฉนวนของพอลิเอทิลีน และท่อ พี.วี.ซี. (PVC)

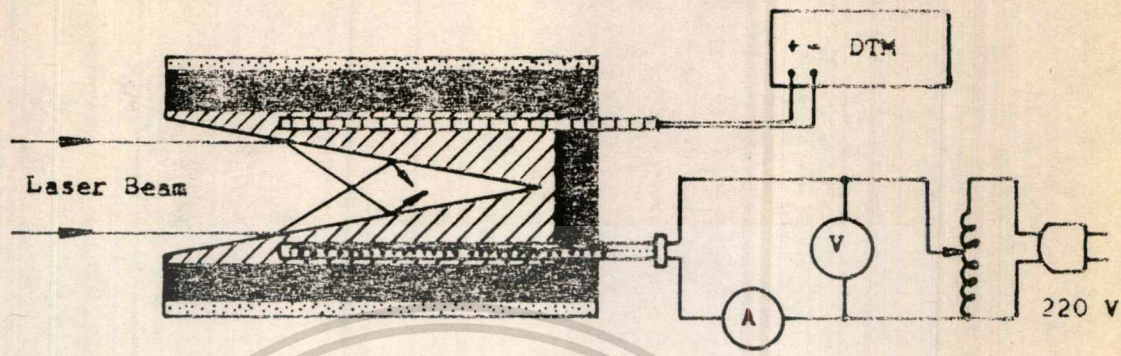


รูปที่ 3.10.1/1 (ก) โคอะแกรมแสงส่วนประกอบอุปกรณ์วัดรังสีความร้อนโดยใช้ไพโรอิเล็กทริก



รูปที่ 3.10.1/1 (ข) แสดงภาพถ่ายส่วนประกอบอุปกรณ์วัดรังสีความร้อนโดยใช้ไพโรอิเล็กทริก

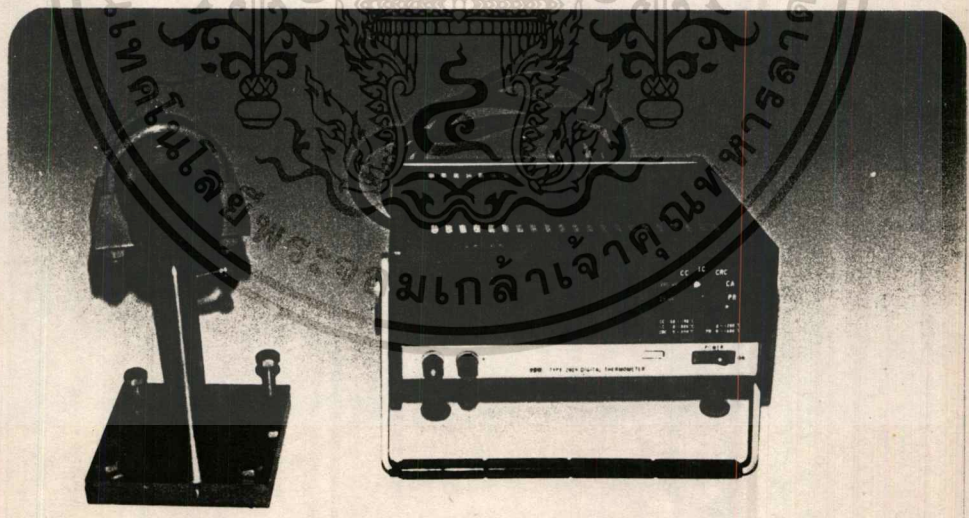
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Insulator
 P.V.C.
 Copper

Thermocouple
 Heater, DTM = Digital Thermometer

รูปที่ 3.10.2/1 (ก) โครงสร้างแสงส่วนประกอบ อุปกรณ์วัดกำลังแบบแคลอริมิเตอร์



รูปที่ 3.10.2/1 (ข) แสดงภาพรายละเอียดส่วนประกอบ อุปกรณ์วัดกำลังแบบแคลอริมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง และการวิเคราะห์ผล

4.1 บทนำ

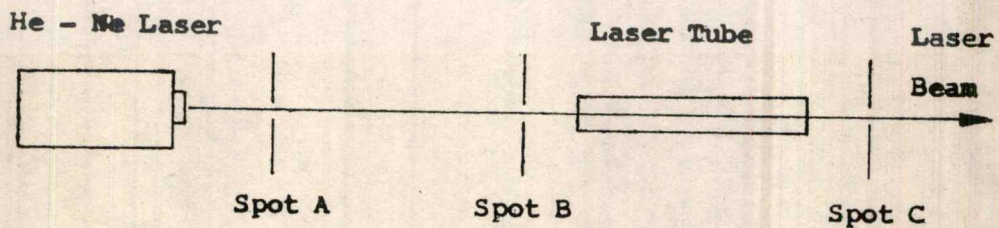
การสร้างอุปกรณ์กำเนิดเลเซอร์ เมื่อใช้เทคนิคและวัสดุที่ทาง่ายจะมีขีดความสามารถที่จำกัด ทั้งนี้ในการทดสอบเครื่องมือที่ก่อสร้างขึ้น ต้องมีการเตรียมการประกอบเครื่องมือ ให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในที่นี้จะมีความสำคัญ ในการปรับกระจกสะท้อนให้ขนาน การปรับอัตราส่วนก๊าซผสม $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He}$ และการปรับกระแสตรง

สำหรับการทดลองเพื่อหาข้อมูลขีดความสามารถ ต้องใช้วิธีการวัดที่เหมาะสม จะทำให้ได้ข้อมูลที่แท้จริง เพื่อนำผลข้อมูลการวิเคราะห์มาสรุป ผลการสร้างและทดลอง

4.2 การเตรียมชุดเครื่องกำเนิดเลเซอร์

4.2.1 การปรับกระจกสะท้อนให้ขนาน

สิ่งสำคัญในการสร้างเลเซอร์ แบบกึ่งซาร์ตามแนวแกน ต้องคำนึงถึงกระจกสะท้อนให้ขนาน ซึ่งจะทำให้เกิดการออสซิลเลชันภายในท่อเลเซอร์ สังเกตได้ว่าการปรับกระจกสะท้อนให้ขนานกันนั้นกระทำไต่ยาก จะต้องใช้เทคนิคบางอย่างประกอบกับการปรับกระจกสะท้อน เพื่อให้การปรับกระจกง่ายขึ้นเช่นการใช้ $\text{He} - \text{Ne}$ เลเซอร์ ความยาวคลื่น 0.6328 ไมโครเมตร เป็นเลเซอร์ที่สามารถมองเห็นลำแสงได้ และมีกำลังเป็นมิลลิวัตต์ ช่วยในการปรับระนาบกระจกสะท้อนให้ขนานกันดังแสดงในรูปที่ 4.2.1/1



รูปที่ 4.2.1/1 แสดงโคะแกรมการใช้ $\text{He} - \text{Ne}$ เลเซอร์
ปรับแนวศูนย์กลางท่อเลเซอร์

แนวความคิดในการใช้ ฮีเลียม-นีออน เลเซอร์ ในการปรับกระจกสะท้อน เนื่องจาก เลเซอร์ที่ออกมาจะมีการกระจายตัว เมื่อให้กระทบผิวโลหะแล้วสะท้อนกลับ ขนาดของลำแสง ยังคงมีขนาดเล็ก ความเข้มจึงมากเพียงพอที่จะทำให้รู้ถึงผลต่างๆที่เกิดขึ้น ในขณะที่ปรับกระจกสะท้อน ดังนั้นเมื่อปล่อยลำแสงเลเซอร์ผ่านเข้าไปในศูนย์กลางท่อเลเซอร์ที่ทำการปรับกระจกสะท้อน เมื่อแสงตกกระทบกระจกสะท้อนแล้วสะท้อนกลับพบแนวแสงเดิม กระจกสะท้อนที่ปรับจะตั้งฉากกับ กระจกสะท้อนของ He - Ne เลเซอร์ ซึ่งวิธีในการปรับกระจกสะท้อนให้ขนานกัน จะสรุปได้ ดังต่อไปนี้

- 1) ใช้แผ่นพลาสติกทึบแสง กกลม หน้า 1 มิลลิเมตร เจาะรูตรงกลางแผ่นให้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร จำนวน 3 แผ่น
- 2) แผ่นพลาสติกที่ A จะถูกวางให้ห่างจากตัวเลเซอร์ เป็นระยะ 90 เซนติเมตร และแผ่นพลาสติกที่เหลือจะวางที่ตำแหน่ง B และ C ซึ่งเป็นตำแหน่งของกระจกสะท้อนที่จะปรับให้ขนานกัน
- 3) วางแหล่งกำเนิด He - Ne เลเซอร์ ให้ห่างจากเลเซอร์ที่จะทำการปรับเป็นระยะ 3.5 - 5 เมตร ปรับให้แสงเลเซอร์ทะลุผ่านรูของแผ่นพลาสติก B และ C และแสงนี้จะผ่านศูนย์กลางของท่อเลเซอร์
- 4) นำแผ่นพลาสติกที่ C ออก แต่แผ่นพลาสติก A และ B ยังคงอยู่ที่ตำแหน่งเดิม
- 5) ทำการประกอบกระจกสะท้อน ด้วยความระมัดระวัง ปรับสกรูปรับ (5) จนกระทั่งแสงสะท้อนกลับแนวเดิม ไปกระทบแผ่นพลาสติกที่ตำแหน่ง A แสดงว่าการปรับกระจกสะท้อนอยู่ในระนาบที่ตั้งฉากกับลำแสงเลเซอร์
- 6) ทำให้ภายในหลอดเลเซอร์เป็นสุญญากาศ แล้วทำการปรับกระจกสะท้อนให้สะท้อนแสงกลับไปยังตำแหน่งเดิมอีกครั้งหนึ่ง แสดงว่าการปรับกระจกสะท้อนได้กระทำเรียบร้อยแล้วชุดหนึ่ง
- 7) ทำการปรับกระจกสะท้อนอีกชุดหนึ่ง จะกระทำเช่นเดียวกับวิธีการข้างต้นทุกประการ เมื่อกระจกสะท้อนทั้งสองชุดได้รับการปรับระนาบให้ขนานกันเรียบร้อยแล้ว กระจกสะท้อนคู่นี้จะขนานกันหรือคลาดเคลื่อนเล็กน้อย ขึ้นอยู่กับความละเอียดและการตั้งข้อสังเกต ในแต่ละขั้นตอน

4.2.2 การปรับการทำงานของชุดกำเนิดเลเซอร์

เมื่อเครื่องกำเนิดเลเซอร์พร้อมที่จะทำงาน หลังจากปรับกระจกสะท้อนให้ขนานเรียบร้อยแล้ว จะนำผลึก NaCl มาติดตั้งที่ กระจกสะท้อนแบบเรียบ ให้ตรงรูที่เจาะไว้ โดยมีวงยางเป็นส่วนเชื่อมระหว่างผลึกและกระจกสะท้อน ดังแสดงในรูปที่ 4.2.2/1



รูปที่ 4.2.2/1 ภาพถ่ายแสดงการใส่ผลึก NaCl เป็นทางออกเลเซอร์

จากนั้นจึงเริ่มดูดอากาศภายในห้องกำเนิดเลเซอร์ออก ให้ได้ความกดดันภายในต่ำที่สุดตามความสามารถของเครื่องดูดสูญญากาศที่จะดูดออกได้ จากการตรวจสอบที่มีเตอร์สูญญากาศจะวัดได้ 0.1 มิลลิเมตรปรอท ใช้เวลาในการดูดอากาศออกประมาณ 10 - 15 นาที ทำการปล่อยก๊าซ CO_2 ผ่านวาล์วปลายเข็มให้มีความดัน 0.5 มิลลิเมตรปรอท ปล่อยก๊าซ N_2 ให้มีความดัน 1 มิลลิเมตรปรอท ปล่อยก๊าซ He ให้มีความกดดัน 4 มิลลิเมตรปรอท เมื่อได้ก๊าซผสมอยู่ในอัตราส่วนที่กำหนด ทำการป้อนพลังงานไฟฟ้าให้กับโมเลกุลของก๊าซ โดยคอยปรับเวริเอค

จนทำให้เกิดการเกิดสารที่มีเสถียรภาพ กระแสคิซาร์ที่ไซประมาณ 50 มิลลิแอมแปร์ เมื่อกำลังเลเซอร์ถูกปล่อยออกมา กำลังที่ออกมาจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความละเอียดในการปรับกระจกสะท้อนให้ขนาน ดังนั้นจะต้องปรับกระจกสะท้อนอีกครั้งหนึ่ง ในขณะที่เครื่องกำเนิดเลเซอร์กำลังทำงาน ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.2.2/2



รูปที่ 4.2.2/2 ภาพถ่ายแสดงการปรับกระจกสะท้อนขณะเครื่องทำงาน

การปรับกระจกสะท้อนครั้งนี้ จะติดตั้งเครื่องมือในการวิจัยรังสีความร้อน ที่มีความยาวคลื่น 10.6 ไมโครเมตร [การสร้างได้แสดงไว้ในหัวข้อ 3.10.1] ให้อุปกรณ์วัดโพโรอิเล็กทริก อยู่ในแนวของลำแสงเลเซอร์ที่ถูกปล่อยออกมา โดยตั้งให้ห่างจากเลเซอร์ เป็นระยะทางอย่างน้อย 1.5 เมตร เมื่อเครื่องเริ่มทำงานจะทำการปรับกระจกสะท้อน ในตำแหน่งที่ไซปรับกระจก (5) จนกระทั่งสัญญาณที่ได้จากเครื่องตรวจจับรังสีความร้อนมีค่ามากที่สุด โดยจะดูค่าของสัญญาณได้จาก ออสซิลโลสโคป การปรับกระจกครั้งใหม่จะทำการปรับกระจกทั้งสองข้างจนได้กำลังเลเซอร์ออกมามากที่สุด จากนั้นจะทดลองหาอัตราส่วนการผสมของก๊าซที่เหมาะสมของเครื่องต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การวัดค่าต่างๆ และการทดสอบกำลังเลเซอร์

4.3.1 การวัดอัตราส่วนผสม $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He}$

การทดลองหาอัตราส่วนการผสมของประกอบของก๊าซ CO_2 , N_2 และ He มีความจำเป็นสำหรับระบบ CO_2 เลเซอร์ที่มีก๊าซไหลตามแนวอน ในระบบนี้อัตราส่วนการผสมก๊าซที่เหมาะสมจะเป็นพารามิเตอร์ส่วนหนึ่ง ที่จะสามารถทำให้กำลังเลเซอร์ออกมาสูงสุดได้ การเปลี่ยนอัตราส่วนการผสมจะกระทำในขณะที่เครื่องทำงาน ซึ่งอัตราส่วนผสม $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He}$ จะต้องมีหลักการปรับที่ที่ เพื่อลดความผิดพลาดของข้อมูล

การปรับการผสมเริ่มแรก จะปรับความดันของก๊าซ CO_2 ให้มีค่าคงที่ โดยจะเริ่มที่ความดันตั้งแต่ 0.5 มิลลิเมตรปรอท จากนั้นก็ทำการปรับอัตราการไหลของ N_2 ที่ลดน้อย เพื่อให้ได้อัตราส่วน $[\text{CO}_2 : \text{N}_2]$ ที่จะให้กำลังเลเซอร์ออกมาได้ที่สูงที่สุดค่าหนึ่ง และทำการปรับก๊าซ He จนกระทั่งได้อัตราการผสม $[\text{CO}_2, \text{N}_2] : [\text{He}]$ ที่ทำให้ระบบปล่อยกำลังเลเซอร์ออกมามากที่สุด ซึ่งค่าความดันของก๊าซที่เหมาะสมแต่ละชนิด จะอ่านได้จากมิเตอร์วัดสุญญากาศ

4.3.2 การวัดอัตราการไหลของก๊าซผสม

เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซใน 1 นาที ซึ่ง การเปลี่ยนปริมาตรก๊าซนี้ช่วยลดองค์ประกอบของก๊าซบางชนิด และอุณหภูมิภายในท่อกำเนิดเลเซอร์ จะทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเลเซอร์ การวัดอัตราการไหลของก๊าซโดยอาศัยหลักการแทนที่น้ำของก๊าซ

การทดลอง คือต่อท่อนำก๊าซที่เข้าจากพลาสติก ที่ตำแหน่งทางออกก๊าซของเครื่องสุญญากาศ ทั้งนี้เพื่อจะให้ก๊าซผสมที่ออกมาไปแทนที่น้ำในเบเกอร์ขนาด 500 ซี ซี แล้วทำการจับเวลาในการแทนที่น้ำ ผลจากการทดลองสามารถวัดได้ 250 ซี ซี ในเวลา 1 นาที ที่ความดันบรรยากาศ (760 มิลลิเมตรปรอท) ซึ่งจะสามารถคำนวณหาอัตราการไหลของก๊าซผสมที่ความดันต่ำได้จากสมการ

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad (4.1)$$

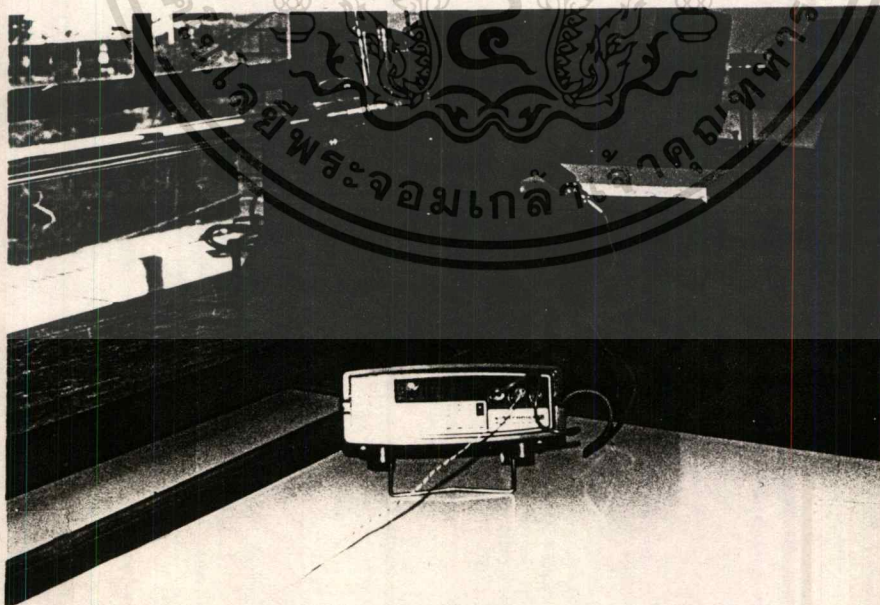
เมื่อ P เป็นความดันของก๊าซ และ V เป็นปริมาตรของก๊าซ

เลเซอร์ที่ไ้สร้างขึ้น 3 ขนาด ดังแสดงในรูปที่ 3.1/1 (ก,ข,ค) ใช้เครื่องดูดสูญญากาศ ที่สามารถดูดปริมาตรของก๊าซไ้ 45 ลิตร ต่อนาที ที่ความดัน 10 มิลลิเมตรปรอท ทำการดูดก๊าซผสมในปริมาตรหลอดเลเซอร์ 478.6 , 765.8 และ 1499.8 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ความดันก๊าซขณะที่เครื่องเลเซอร์กำลังทำงาน จะสามารถหาอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ใน 1 นาที ไ้จากสมการ

$$\text{การเปลี่ยนแปลงปริมาตรก๊าซใน 1 นาที} = \frac{\text{อัตราการไหลของก๊าซผสมใน 1 นาที}}{\text{ปริมาตรของหลอดเลเซอร์}} \quad (4.2)$$

4.3.3 การวัดกำลังที่ป้อนให้กับ เครื่องกำเนิดเลเซอร์

การหาค่ากำลังไฟฟ้า ที่ป้อนให้กับตัวกำเนิดเลเซอร์ จะไ้จากผลคูณของค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมอยู่ระหว่างขั้วคัสซาร์ค กับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวกลางการขยาย จึงไ้แสดงการวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูง ดังรูปที่ 4.3.3/1



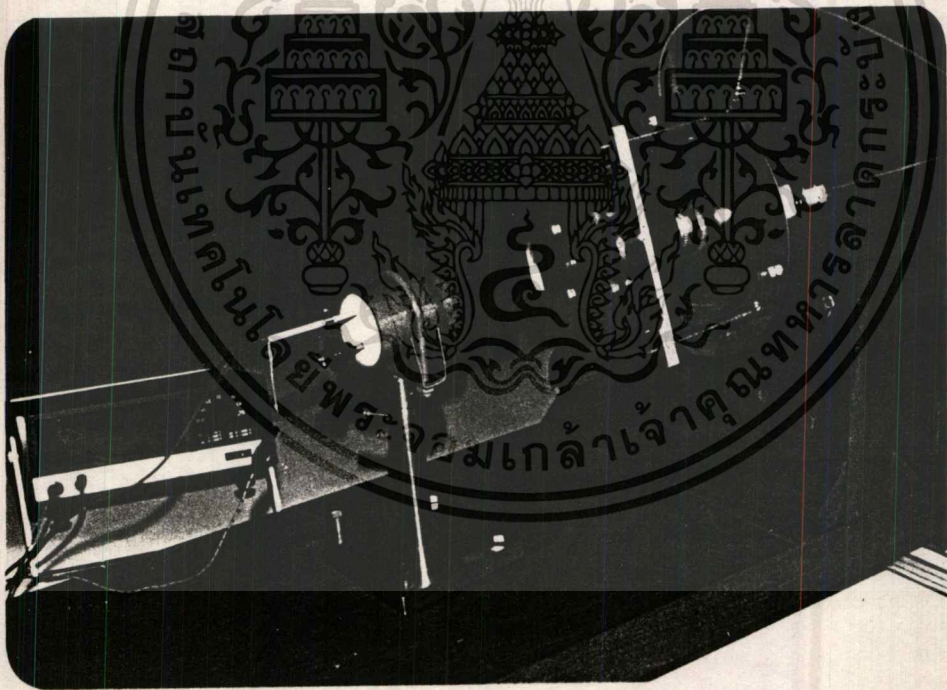
รูปที่ 4.3.3/1 ภาพแสดงการวัดแรงดันไฟฟ้าสูงด้วยหัววัดแรงดันไฟฟ้าสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองวัดแรงดันไฟสูง ได้ใช้หัววัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูงซึ่งสามารถวัดแรงดันสูงสุดได้ 30 กิโลโวลต์ โดย หัววัดแรงดันจะวัดแรงดันไฟฟ้าจริงลดลง 100 เท่า และจะอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า จากคิิจิตอลมัลติมิเตอร์

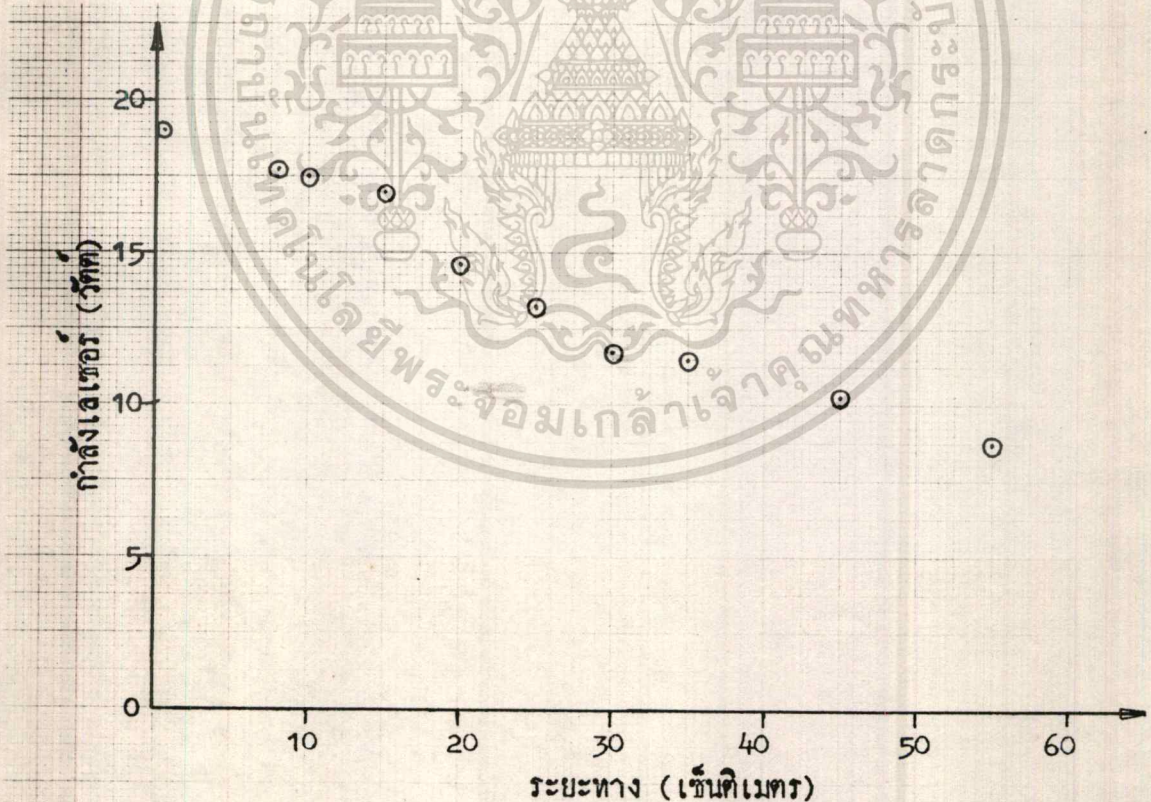
4.3.4 การวัดกำลังเลเซอร์

การสร้างเลเซอร์ได้ทำการพัฒนาให้กำลังเลเซอร์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เพื่อความสะดวกในการวัดกำลังเลเซอร์ จึงได้ใช้หลักการของแคลอริมิเตอร์ (กล่าวการสร้างไว้ในหัวข้อ 3.10.2) ซึ่งกำลังของ CO_2 เลเซอร์ ที่มีความยาวคลื่นอยู่ในย่านรังสีความร้อน (ความยาวคลื่นอย่างต่อเนื่อง) อุปกรณ์แคลอริมิเตอร์ จึงวัดกำลังเลเซอร์ในลักษณะเปรียบเทียบค่าของอุณหภูมิที่กระจายในเนื้อโลหะ ในเวลาที่จำกัดค่าหนึ่ง การวัดได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.3.4/1

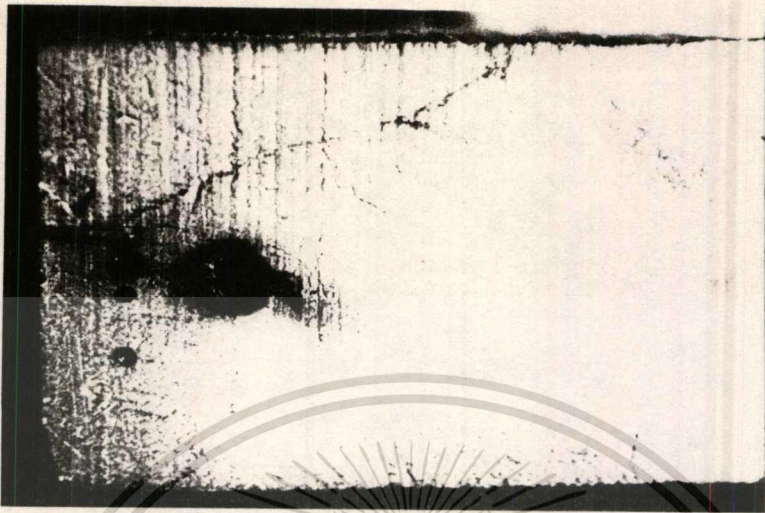


รูปที่ 4.3.4/1 แสดงภาพถ่ายการวัดกำลังเลเซอร์

จะให้ส่วนหน้ากรวยทองแดงห่างจากทางออกเลเซอร์ เป็นระยะทางต่าง ๆ กัน เพื่อจะหาจุดที่เหมาะสมในการวัดกำลังเลเซอร์ ให้ได้ถูกต้องตามความเป็นจริงมากที่สุด ดังที่ได้แสดงผลการวัดกำลังระยะทางต่าง ๆ กันในรูปที่ 4.3.4/2 เมื่อเครื่องเลเซอร์ทำงาน กำลังที่ออกมาอย่างต่อเนื่อง จะผ่านเข้าไปในกรวยที่ได้รับการเคลือบผิวกรวยด้วยสารที่ดูดกลืนรังสีความร้อนที่มีสีทำให้กำลังเลเซอร์เข้าไปในกรวย 3 นาที จะทราบค่าอุณหภูมิที่กระจายอยู่ในเนื้อโลหะ คิวบิกเทอร์โมมิเตอร์ที่ฝังอยู่ภายในเนื้อโลหะ โดยอ่านค่าจากดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ เมื่อทราบค่าอุณหภูมิที่เครื่องวัดได้อย่างแน่นอน จากนั้นจะป้อนกำลังไฟฟ้าเข้าไปที่หลอดความร้อนซึ่งฝังอยู่ในเนื้อโลหะเช่นกัน ซึ่งความร้อนนี้จะเปลี่ยนค่าไปเรื่อย ๆ จากการควบคุมของเวรีเอค จนกระทั่งอ่านค่าอุณหภูมิและเวลาที่ใส่ป้อนความร้อนเข้าไปในเนื้อสารโลหะ เท่ากับกรณีในการป้อนกำลังเลเซอร์ คำนวณหากำลังไฟฟ้าที่ใช้จากกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในหลอดความร้อน จะประมาณได้ว่าใกล้เคียงกับ กำลังเลเซอร์ที่ให้ออกมา และทำการวัดกำลังเลเซอร์ โดยวิธีข้างต้นหลาย ๆ ครั้ง จนค่าที่วัดได้ถูกต้อง



รูปที่ 4.3.4/2 แสดงกราฟค่าความสัมพันธ์ของกำลังเลเซอร์ที่ระยะทางต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดเลเซอร์ รูปที่ 3.1/1 ค



รูปที่ 4.3.6/1 (ก) ภาพถ่ายแสดงกำลังเลเซอร์ รูปที่ 3.1/1 ข
 เหนือไหมไม้ที่ระยะ 12 เซนติเมตร สามารถเผาไหม้ได้ลึก
 3 มิลลิเมตร ในเวลา 30 วินาที



รูปที่ 4.3.6/1 (ข) ภาพถ่ายแสดงกำลังเลเซอร์ รูปที่ 3.1/1 ค
 เจาะพลาสติกหนา 3 มิลลิเมตร ที่ระยะ 9 เซนติเมตร
 ในเวลา 5 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตารางข้อมูลที่ 4.4/1 แสดงข้อมูลการทดสอบเครื่องกำเนิดเลเซอร์รูปที่ 3.1/1(ก) ที่มีขนาดความยาวเครื่อง 0.75 เมตร

รายละเอียด	จำนวน	หน่วย
ศักดาไฟฟ้าสับวีกที่เวริเอค	45	โวลต์
กระแสไฟฟ้าสับวีกที่เวริเอค	3.9	แอมแปร์
กำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในระบบ	175.5	วัตต์
ศักดาไฟฟ้าตรงก่อนคิซซาร์ค	3128	โวลต์
ศักดาไฟฟ้าตรงหลังคิซซาร์ค	2085	โวลต์
กระแสไฟตรงที่ไหลผ่านหรือกลางการขยาย	50	มิลลิแอมแปร์
กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ตัวกลางการขยาย	128.35	วัตต์
ความก่อกวนก๊าซ CO ₂ ในตัวกลาง	3.3	มิลลิเมตรปรอท
ความก่อกวนก๊าซ N ₂ ในตัวกลาง	3.4	มิลลิเมตรปรอท
ความก่อกวนก๊าซ He ในตัวกลาง	10	มิลลิเมตรปรอท
ความดันก๊าซผสม	< 16.7	มิลลิเมตรปรอท
ค่าประมาณอัตราส่วนก๊าซ CO ₂ : N ₂ : He	1 : 1 : 3	
ค่าประมาณกำลังเลเซอร์ที่ได้อัตราการไหลของก๊าซผสม	> 11.23	วัตต์/นาฬิกา
อัตราส่วนการเบี่ยงปริมาณก๊าซในหลอด	> 23.5	เท่าของปริมาณ ใน 1 นาฬิกา
ประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดเลเซอร์	1.56	เปอร์เซ็นต์
ความยาวระยะทางการคิซซาร์ค	0.45	เมตร
เส้นผ่าศูนย์กลางหลอดคิซซาร์ค	2.85	เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางข้อมูลที่ 4.4/2 แสดงข้อมูลการทดลองเครื่องกำเนิดเลเซอร์รูปที่ 3.1/1(ข) ที่มีขนาดความยาวเครื่อง 1.20 เมตร

รายละเอียด	จำนวน	หน่วย
ศึกษาไฟฟ้าสถิตย์ที่เวรีเอค	80	โวลต์
กระแสไฟฟ้าสถิตย์ที่เวรีเอค	5.6	แอมแปร์
กำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในระบบ	448	วัตต์
ศึกษาไฟฟ้าตรงก่อนคิส์ชาร์ท	5213	โวลต์
ศึกษาไฟฟ้าตรงหลังคิส์ชาร์ท	3400	โวลต์
กระแสไฟตรงที่ไหลผ่านตัวกลางการขยาย	75	มิลลิแอมแปร์
กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ตัวกลางการขยาย	313.95	วัตต์
ความกดดันก๊าซ CO ₂ ในตัวกลาง	3.5	มิลลิเมตรปรอท
ความกดดันก๊าซ N ₂ ในตัวกลาง	3.5	มิลลิเมตรปรอท
ความกดดันก๊าซ He ในตัวกลาง	10	มิลลิเมตรปรอท
ความดันก๊าซผสม	< 17	มิลลิเมตรปรอท
ค่าประมาณอัตราส่วนก๊าซ CO ₂ : N ₂ : He	1 : 1 : 2.9	
ค่าประมาณกำลังเลเซอร์ที่ได้	14	วัตต์
อัตราการไหลของก๊าซผสม	> 11.23	ลิตร/นาที่
อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาตรก๊าซในหลอด	> 14:4	เท่าของปริมาตร ใน 1 นาที่
ประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดเลเซอร์	4.45	เปอร์เซ็นต์
ความยาวระยะทางการคิส์ชาร์ท	90	เมตร
เส้นผ่าศูนย์กลางหลอดคิส์ชาร์ท	2.85	เซนติเมตร

ตารางข้อมูลที่ 4.4/3 แสดงข้อมูลการทศของเครื่องกำเนิดเลเซอร์รุ่นที่ 3.1/1(ค) ที่มีขนาดความยาวเครื่อง 2.35 เมตร

รายละเอียด	จำนวน	หน่วย
ศักดาไฟฟ้าสวิตช์ที่เวรีเอค	188	โวลต์
กระแสไฟฟ้าสวิตช์ที่เวรีเอค	3.85	แอมแปร์
กำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในระบบ	723.8	วัตต์
ศักดาไฟฟ้าตรงก่อนคิซซาร์ค	11100	โวลต์
ศักดาไฟฟ้าตรงหลังคิซซาร์ค	9300	โวลต์
กระแสไฟตรงที่ไหลผ่านคิซกลางการขยาย	50	มิลลิแอมแปร์
กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้คิซกลางการขยาย	572.5	วัตต์
ความกักคืนก๊าซ CO ₂ ในคิซกลาง	4.7	มิลลิเมตรปรอท
ความกักคืนก๊าซ N ₂ ในคิซกลาง	5	มิลลิเมตรปรอท
ความกักคืนก๊าซ He ในคิซกลาง	> 10	มิลลิเมตรปรอท
ความดันก๊าซผสม	< 20	มิลลิเมตรปรอท
ค่าประมาณอัตราส่วนก๊าซ CO ₂ : N ₂ : He	1 : 1 : > 2.12	
ค่าประมาณกำลังเฮเซอร์ที่ได้	19	วัตต์
อัตราการไหลของก๊าซผสม	> 9.38	ลิตร/นาที
อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาตรก๊าซในหลอด	> 6.25	เท่าของปริมาตร ใน 1 นาที
ประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดเลเซอร์	3.3	เปอร์เซ็นต์
ความยาวระยะทางการคิซซาร์ค	2.05	เมตร
เส้นผ่าศูนย์กลางหลอดคิซซาร์ค	2.85	เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การวิเคราะห์ผล

4.5.1 เปรียบเทียบตารางข้อมูลการทดลองที่ 4.4/1 , 4.4/2 และ 4.4/3

พิจารณากระแสก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อเครื่องเลเซอร์ทั้ง 3 ขนาดที่ได้สร้างขึ้นใช้หลอดแก้วที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.85 เซนติเมตร เท่ากันทั้งหมด กระแสก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไหลผ่านก๊าซผสม $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He}$ ภายในหลอด จะกำหนดอัตรา CO_2 โมเลกุลที่จะถูกยกกระตุ้นพลังงาน โดยการยกกระตุ้นอิเล็กตรอนและการชนกับ N_2 โมเลกุลที่ถูกยกกระตุ้นพลังงาน ในการทดลองได้เพิ่มกระแสคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นเรื่อยๆ ทำให้อัตราการขยายเพิ่มขึ้น จนกระทั่งได้กำลังเลเซอร์ออกมาสูงสุดที่ค่ากระแสคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำสุด 50 มิลลิแอมป์ แต่ขบวนการยกกระตุ้นพลังงานแบบการถ่ายเทพลังงานที่ให้โมเลกุลของก๊าซ CO_2 มีการชนกับ N_2 ที่เกิดจากการที่คาร์บอนไดออกไซด์จะมีความร้อนเกิดขึ้น ทำให้กระแสไหลเพิ่มขึ้น ในตัวกลางการขยาย ทำให้ข้อมูลที่ 4.4/2 ต้องใช้กระแสคาร์บอนไดออกไซด์ 75 มิลลิแอมป์ ถ้ากระแสที่ใช้นามากกว่า 75 มิลลิแอมป์ จะทำให้กำลังเลเซอร์ลดลง เพราะมีผลทำให้เกิดความร้อนเพิ่มขึ้นในแนวแกนหลอดเลเซอร์ ดังนั้นกระแสคาร์บอนไดออกไซด์ที่ให้กำลังเลเซอร์ ออกมาสูงสุดของแต่ละระบบ จะขึ้นอยู่กับ เส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลเซอร์ และกระแสคาร์บอนไดออกไซด์จะแปรผัน กับกระแสที่ผ่านเวริเอค โดยสังเกตจากตารางข้อมูลที่ 4.4/2 เมื่อใช้กระแสคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น กระแสที่ผ่านเวริเอคก็จะเพิ่มขึ้นด้วย แต่ประสิทธิภาพของกำลังเลเซอร์ที่ออกมาไม่ได้เพิ่มขึ้น ซึ่งจะเป็นการป้อนกำลังไฟฟ้าให้เพิ่มขึ้นอย่างไม่มีประโยชน์

พิจารณาอัตราส่วนก๊าซ $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He}$ การทดลองได้ปรับอัตราส่วนผสม $\text{CO}_2 : \text{N}_2$ ให้ได้ประมาณ 1:1 จะได้กำลังเลเซอร์ออกมาสูงสุด แต่เมื่อทำการปรับ N_2 โดยการให้ CO_2 มีค่าแน่นอนดังที่ได้แสดงในตารางข้อมูลทั้งสาม จนได้อัตราส่วนก๊าซผสมมากกว่า 1 : 1 หรือน้อยกว่า 1 : 1 จะได้กำลังเลเซอร์ลดลง สามารถอธิบายได้ว่า การเพิ่มจำนวน N_2 โมเลกุลเป็นสาเหตุให้อุณหภูมิของก๊าซเพิ่มขึ้น ซึ่งผลนี้จะไปเพิ่มอัตรารีแลกซ์ชัน (Relaxation) และลดจำนวนการกลับผ่านมากที่ระดับ 00^0_1 ทำให้เพิ่มจำนวนโมเลกุลที่ระดับ 10^0_0 เมื่อได้ทดสอบปรับ CO_2 โดยกำหนดค่าที่แน่นอนของ N_2 ตามตารางข้อมูล จนได้อัตราส่วนก๊าซผสม มากกว่า 1 : 1 หรือน้อยกว่า 1 : 1 กำลังเลเซอร์จะลดลงเช่นกัน ที่เป็นเช่นนี้เพราะจำนวนโมเลกุล CO_2 เพิ่มขึ้นและเพิ่มอัตราที่เคย์ ของระดับ 00^0_1 เป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มอุณหภูมิของก๊าซ และการชนกันระหว่าง $\text{CO}_2 (00^0_1) \rightarrow \text{CO}_2$ เพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเพิ่มก๊าซ He เข้าไปในส่วนผสมของ $\text{CO}_2 : \text{N}_2$ เมื่อใช้อัตราส่วนประมาณ 1 : 1 : 3 กำลังเลเซอร์ที่ไค้เพิ่มขึ้น สามารถอธิบายได้ว่า He จะช่วยระบายความร้อนให้กับอนุภาค CO_2 โดยการลดเวลาเร็กเซชันที่ระบนี้ สำหรับการเพิ่ม He ให้มากกว่า 1 : 1 : 3 ไค้ทำการวัดกำลังเลเซอร์ ปรากฏว่ากำลังที่วัดไค้ไม่ไค้เพิ่มขึ้น

พิจารณาอัตราการไหลของก๊าซ จากการที่ใช้เครื่องสุญญากาศที่มีความสามารถในการดูดอากาศไค้ 45 ลิตรต่อนาที อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาตรก๊าซในหลอดจึงน้อยกว่า 100 เท่าของปริมาตรใน 1 นาที ซึ่งผลนี้จะเป็นเพียงลดปริมาณการแตกตัวของ CO_2 โมเลกุลเป็น CO และ O_2 ให้น้อยลง แต่ไม่สามารถระบายความร้อนโดยการพา (Convective Cooling) ซึ่งเกิดจากการคัสซาร์ค เมื่อปริมาณ CO และ O_2 ที่เกิดขึ้นลดจำนวนลง ทำให้ระบบสามารถเพิ่มประสิทธิภาพกำลังเลเซอร์ [20]

สำหรับค่าความดันของก๊าซ CO_2 , N_2 และ He จะมีค่าไม่เท่ากันทั้ง 3 ตารางข้อมูลเป็นผลเนื่องจาก อัตราการไหลของก๊าซในหลอดเลเซอร์ทั้ง 3 ขนาดไม่เท่ากัน ทำให้สรุปไค้ว่า เมื่ออัตราการไหลของก๊าซมีค่าลดลง ความดันของก๊าซที่ใช้จะมีค่าเพิ่มขึ้น

พิจารณากำลังเลเซอร์ ในระบบ CO_2 เลเซอร์ที่ไม่มีข้อบกพร่องในเงื่อนไขต่าง ๆ ไค้กำลังเลเซอร์ออกมา 80 วัตต์ต่อเมตร เมื่อระบบมีความยาวน้อยกว่า 3 เมตร แต่ในระบบเลเซอร์ที่สร้างขึ้นทั้ง 3 ขนาดไค้กำลังเลเซอร์ออกมาน้อยมาก แสดงว่าระบบกำเนิดเลเซอร์ยังไม่สมบูรณ์ ถ้าสังเกตตารางข้อมูลที่ 4.4/1 และ 4.4/2 เห็นไค้ว่ากำลังเลเซอร์แตกต่างกันมาก ที่เป็นเช่นนี้เพราะเครื่องกำเนิดเลเซอร์ทั้งสองขนาดนี้ไค้ใช้กระจกสะท้อนชุดเดียวกัน ผิวหน้าของกระจกสะท้อนที่ไค้ไค้รับความเสียหายเนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นภายในหลอด ทำให้กระจกสะท้อนไม่สามารถมีการสะท้อนคลื่นไค้ได้อย่างสมบูรณ์ เมื่อความยาวระยะทางการคัสซาร์คแตกต่างกันเพียง 2 เท่า ไค้กำลังเลเซอร์ที่ออกมาแตกต่างกันมากกว่า 2 เท่า สามารถอธิบายไค้ว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่กลับไค้กลับมากลับมาในโพรงแสง เมื่อคลื่นกระทบกระจกสะท้อน กระจกสะท้อนจะถูกกลืนบางส่วนไค้ และส่วนที่เหลือจะสะท้อนกลับไค้ในระหว่างทางของการเคลื่อนที่ในแนวโพรงคลื่นจะมีการขยายตลอดเวลา ซึ่งอัตราการขยายมีค่ามากกว่าการดูดกลืนของกระจกสะท้อน แสดงว่าเลเซอร์แบบคัสซาร์คตามแนวแกนจะเป็นสัดส่วนกับความยาวระยะคัสซาร์ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกำลังเลเซอร์ รูป 3.1/1(ค) มีกำลังน้อยกว่า 2 เท่าของกำลังเลเซอร์ รูป 3.1/1(ข) ทั้งที่ใช้ความยาวระยะที่สสารมากกว่า 2 เท่า เพราะได้ใช้กระจกสะท้อนต่างชุดกัน ซึ่งกระจกสะท้อนของรูป 3.1/1(ค) นี้ได้ทำจากแก้ว ซึ่งเมื่อทดสอบผิวหน้ากระจกสะท้อนด้วย He - Ne เลเซอร์ จะเห็นสภาพผิวหน้ากระจกสะท้อนมีรอยขีดข่วนมากกว่าชุดแรก ทำให้เมื่อคลื่นกระทบที่ผิวกระจกจะถูกดูดกลืนเป็นจำนวนมาก

4.5.2 การใช้ระบบกระจกสะท้อนตามเงื่อนไขเสถียรภาพ

การหาค่าเงื่อนไขเสถียรภาพเสถียรภาพของกระจกสะท้อน เครื่องกำเนิดเลเซอร์ที่สร้างขึ้นได้ใช้กระจกสะท้อน 2 ชิ้น ชิ้นแรกเป็นกระจกโค้งมีรัศมีความโค้ง 3 เมตร ชิ้นที่สองเป็นกระจกเรียบ ซึ่งการกำหนดความยาวของเครื่องรูปที่ 3.1/1 (ก, ข, ค) ได้กำหนดอยู่ในเงื่อนไขเสถียรภาพตามสมการ (2.10) โดยเครื่องรูป 3.1/1 ก และรูป 3.1/1 ข ได้ใช้ระบบกระจกสะท้อนให้อยู่ในสภาวะแบบ ฮีมิ-คอนโฟคัล (Hemi-confocal) [10] ซึ่งมี $R_1 = \infty$ และ $R_2 \gg L$ เมื่อเครื่องที่สร้างขึ้นมีระยะห่างระหว่างกระจกสะท้อน 0.75 เมตร และ 1.20 เมตร จะมีค่าตามสมการเงื่อนไขเสถียรภาพเท่ากับ 0.75 และ 0.6 ตามลำดับ

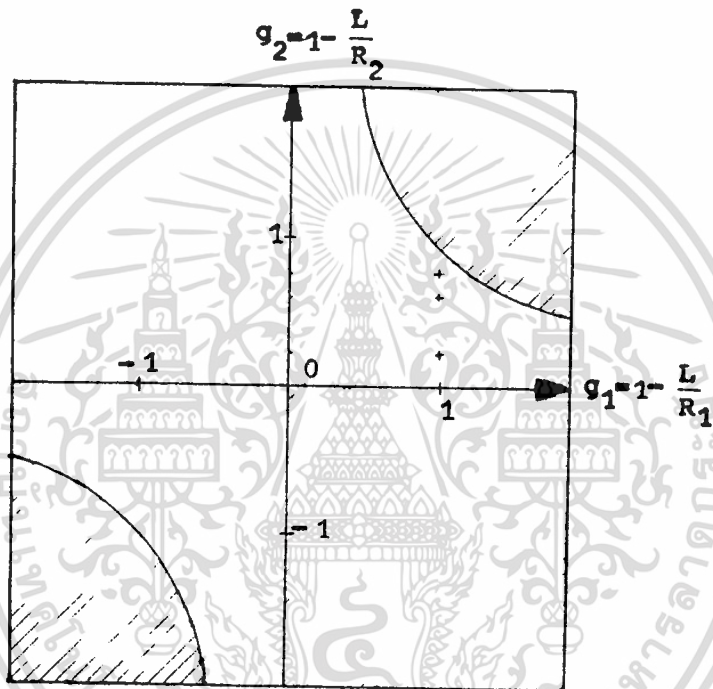
สำหรับเครื่องรูป 3.1/1(ค) ได้ใช้ระบบกระจกสะท้อนให้อยู่ในสภาวะแบบ ฮีมิ-สเฟียริคัล (Hemi-spherical) ซึ่งมี $R_1 = \infty$ และ $R_2 > L$ โดยเครื่องจะมีระยะห่างระหว่างกระจกสะท้อน 2.35 เมตร จะมีค่าตามสมการเงื่อนไขเสถียรภาพเท่ากับ 0.217

เมื่อนำค่าต่างที่คำนวณตามสมการเงื่อนไขเสถียรภาพของเครื่องทั้ง 3 ชนิด เขียนลงในกราฟเงื่อนไขเสถียรภาพ จะแสดงได้ดังรูปที่ 4.5.2/1

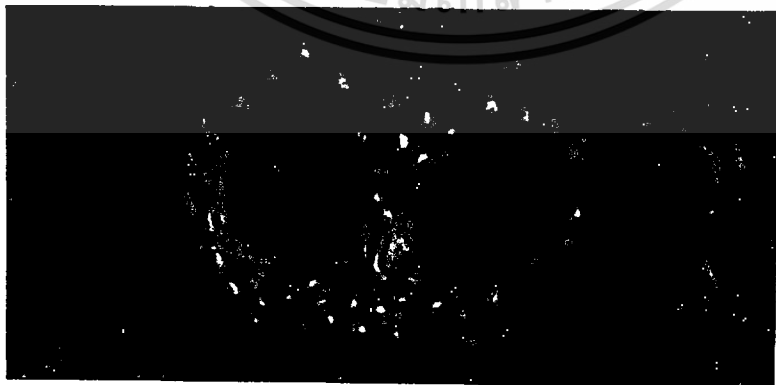
ผลที่เกิดขึ้นเมื่อใช้สภาวะระบบกระจกสะท้อนทั้งสองแบบ

ในระบบกระจกสะท้อน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา ตั้งฉากกับกระจกสะท้อน ทำให้เกิดโครงสร้างแบบโมดตามขวาง (TEM_{mn} = Transverse Electromagnetic Mode) เมื่อมี m และ n เป็นอันดับของโมด

ซึ่งจากการทดลอง ใช้สัณฐานกระจกสะท้อนทั้ง 2 แบบ จะได้กำลังเลเซอร์ออกมา
 โมดเดียว (TEM_{00}) เมื่อใช้สัณฐานแบบ ฮิมิ-สเฟียริคอน และสำหรับสัณฐานแบบ ฮิมิ-คอนโฟคอน
 กำลังเลเซอร์จะมีโมด (TEM_{10}) ดังแสดงในรูปที่ 4.5.2/2 แสดงว่าการใช้สัณฐาน ฮิมิ-
 คอนโฟคอน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในโพรงแสง จะมีค่าของสนามสูงสุดอยู่ 2 ตำแหน่ง [3] ซึ่งไม่ได้
 อยู่ในแนวแกนแสง แต่สัณฐานแบบ ฮิมิ-สเฟียริคอน จะมีค่าของสนามสูงสุดอยู่ในแนวแกน ดังนั้นการ
 ใช้ระบบกระจกสะท้อนดังกล่าวสามารถที่จะให้กำลังเลเซอร์มีโมดก้นทับค่า



รูปที่ 4.5.2/1 แสดงจุดบนกราฟเงื่อนไขเสถียรภาพกระจกสะท้อนของเครื่องรูปที่ 3.1/1 (ก, ข, ค)
 — 2.8 เซนติเมตร —



1.8 เซนติเมตร

รูปที่ 4.5.2/2 ภาพถ่ายแสดงกำลังเลเซอร์โมด (TEM_{10}) เมื่อใช้สัณฐาน ฮิมิ-คอนโฟคอน
 ใต้ทดสอบที่ระยะห่างจากทางออกเลเซอร์ 2 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุป วิจารณ์ และเสนอแนะ

5.1 บทนำ

การวิจัยการสร้าง CO₂ เลเซอร์นี้ได้มีการออกแบบตัดแปลงแก้ไข โดยใช้เทคนิคที่ง่าย ๆ และเลือกใช้วัสดุราคาถูกลงที่เหมาะสม อีกทั้งยังได้นำอุปกรณ์ชุดอื่นมาร่วมทำการทดลองหาข้อมูลต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดเลเซอร์ เพื่อที่จะหาข้อจำกัดการใช้งานของวัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องกำเนิดเลเซอร์ว่าจะมีมากน้อยเพียงใด และจากผลการวิจัยสามารถที่จะสรุปข้อมูลต่าง ๆ วิจารณ์ผลที่เกิดขึ้น และขอเสนอแนะในการพัฒนาเครื่องกำเนิดเลเซอร์ต่อไป

5.2 สรุปและวิจารณ์ชุดเครื่องกำเนิดเลเซอร์

พิจารณาการใช้หลอดเลเซอร์ที่ทำด้วยไฟร์กาส์ สามารถใช้งานที่อุณหภูมิภายในและภายนอกแตกต่างกันน้อยกว่า 350 องศา เซลเซียส อุณหภูมิจะแตกต่างกันน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความหนาของหลอดแก้ว [21] ถ้าออกแบบให้หลอดแก้วหนามากเกินไป จะทำให้ระบบหล่อเลี้ยงความเย็นที่อยู่รอบนอกของหลอดแก้วใช้งานได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพ ทำให้อุณหภูมิของก๊าซภายในแนวแกนหลอดสูงเพิ่มขึ้น จะเป็นผลให้กำลังเลเซอร์ที่ออกมาลดลง สำหรับขนาดของหลอดเลเซอร์ที่ใช้ในการสร้างนี้ สามารถที่จะใช้เป็นขนาดที่ใช้งานจริงได้ และลดระบายความร้อนที่ออกแบบไว้สามารถใช้ได้กับของไหลประเภทน้ำและน้ำมัน

พิจารณาส่วนหัวเครื่องกำเนิดเลเซอร์ ได้ออกแบบให้สามารถถอดประกอบได้ง่ายทุกส่วน โดยใช้เทคนิคระบบสูญญากาศ ในการออกแบบส่วนข้อต่อ สามารถทำให้การสร้างเครื่องกำเนิดเลเซอร์มีความยาว 3 ขนาด ทั้งที่ไค้กล่าวไว้ใหม่ที่ 3 โดยใช้ส่วนหัวของเครื่องกำเนิดเลเซอร์ชุดเดิมทุกครั้ง ตามปกติจุดข้อต่อในระบบสูญญากาศต้องการความเรียบและความสะอาดของผิวหน้า ซึ่งการสร้างนี้ได้ใช้โลหะเหล็ก ในการทำส่วนหัว ดังนั้นจะต้องป้องกันสนิมเหล็กที่จะเกิดขึ้นด้วยการชุบโครเมียม

สำหรับข้อต่อระหว่างส่วนหัวที่ปรับไม่ได้กับส่วนหัวที่ปรับได้ ได้ใช้ข้อต่อท่อไอเสีย ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อที่แข็งแรง มีผิวภายในท่อไม่เรียบ ดังนั้นบริเวณข้อต่อส่วนนี้ จึงเกิดการยวบยารั่วซึมเล็กน้อย เมื่อถูกอากาศภายในหลอดเลเซอร์ออก

สำหรับสกรูที่ใช้ในการปรับกระจกสะท้อน ใ้ค้ออกแบบให้คึดอยุ่บนแผ่นนำไฟฟ้าที่ปรับได้ถ้าสกรูนี้คึดในลักษณะที่ไม่ได้ศูนย์กลาง ทำให้ปลายสกรูมีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งที่แน่นอน เป็นผลให้แนวรอยต่อระหว่างส่วนหัวที่ปรับได้และปรับไม่ได้ไม่ตรงกัน

สำหรับขั้วไฟฟ้าคึดที่แผ่นนำไฟฟ้าที่ปรับไม่ได้ เพื่อที่ใช้ม้นพลังงานให้โมเลกุลของก๊าซ จะเป็นอันตรายแก่ผู้ทดลองมากในขณะทำการปรับกระจกสะท้อนให้ขนาน เพราะส่วนหัวเลเซอร์ทุกส่วนที่ทำด้วยโลหะจะเชื่อมโยงถึงขั้วไฟฟ้า ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยควรจะคึดขั้วไฟฟ้า ที่หลุดแกว่เลเซอร์และจากการทดลองส่วนปลายขั้วไฟฟ้าที่ทำด้วยโลหะทองแดง เมื่อคึดไว้เป็นระยะเวลาหลาย ๆ วันผิวหน้าทองแดงจะมีออกไซด์เกิดขึ้น ซึ่งการทำคิสซาร์คจะกระทำคึดยากขึ้น การแก้ไขปัญหานี้จะทดสอบการคิสซาร์คที่ความกดค้ำ 0.2 มิลลิเมตรปรอท เป็นเวลา 3 นาที เพื่อที่จะทำความสะอาดผิวหน้าขั้วไฟฟ้า จากนั้นจึงทำการคิสซาร์คที่ความกดค้ำในใช้งานจริง สำหรับระบบ CO₂ เลเซอร์ที่ใช้งานจะใช้โลหะทาคินิม (Pt) เป็นขั้วไฟฟ้า ซึ่งโลหะชนิดนี้จะช่วยลดจำนวน CO ที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวของ CO₂ บางส่วน ดังนั้นการใช้โลหะ Pt นี้จะเป็นข้อค้ำที่ใช้ในเลเซอร์ระบบคึด

พิจารณาระบบสูญญากาศภายในเครื่องกำเนิคเลเซอร์ ตามแบบที่สร้างขึ้นจะมีปัญหาพอสมควรในการที่จะรักษาเสถียรภาพ กระจกสะท้อนให้ขนานกันอยู่ตลอดเวลา เพราะระบบกระจกใ้ค้ออกแบบให้อยู่ในส่วนของสูญญากาศด้วย แต่การออกแบบลักษณะนี้จะสะดวกในการที่จะสร้างทางออกของเลเซอร์ค้ำ NaCl ขึ้นใช้เอง โดยขนาดของ NaCl ที่ใช้ไม่จำเป็นต้องมีขนาดใหญ่และยังสามารถที่จะถอดประกอบส่วนของ NaCl ออกเก็บไว้คึดอีกค้ำย นับว่าเป็นวิธีที่เหมาะสมมากที่สุด สำหรับการเริ่มต้นระยะแรก ที่ต้องการพัฒนากำลังเลเซอร์ที่ออกมาให้เพิ่มมากขึ้น และยังคงช่วยลดค้ำใช้จ่ายในการท้าววิจัยลงได้มาก เมื่อระบบกระจก

สะท้อนใค้ออกแบบใช้งานในลักษณะนี้ ถ้าหากกระจกสะท้อนทำด้วยทองคำ ความร้อนของก๊าซผสมภายในหลอดที่เกิดขึ้น เนื่องจากการคัสซาร์คและองค์ประกอบของ CO_2 บางส่วนทำให้ผิวหน้ากระจกสะท้อนเกิดออกไซด์ทองคำขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุให้กระจกเกิดเสียหาย

สำหรับท่อที่จะใช้ส่งผ่านก๊าซผสมเข้าไปในหลอดเลเซอร์ เมื่อพิจารณาตามเทคนิคระบบสุญญากาศ ท่อก๊าซควรจะเป็นท่อที่ใช้กับสุญญากาศโดยเฉพาะ เพราะความกักตันของก๊าซภายในหลอดใ้สั้นน้อยกว่า 20 มิลลิเมตรปรอท การใช้ท่สุญญากาศจะช่วยกำจัดรอยร้าวบริเวณข้อต่อนำก๊าซได้เป็นอย่างดี ทำให้เครื่องสุญญากาศมีประสิทธิภาพการทำงานในระบบที่ขึ้น สำหรับในการทดสอบนี้ได้ใช้ท่ออย่างพิมพ์นา 2 มิลลิเมตร แทนท่อนำก๊าซสุญญากาศ ก็ยังสามารถใช้งานได้

พิจารณาระบบกระจกสะท้อน ใค้ออกแบบทำด้วยโลหะทองคำ ซึ่งมีคุณสมบัติการสะท้อนมีความยาวคลื่น 10.6 ไมโครเมตร ประมาณ 98.9% [ภาคผนวกที่ 4] แต่โลหะทองคำมีข้อเสีย เมื่อผิวหน้าของกระจกที่ถูกขจัดจนเรียบทิ้งไว้ในอากาศเป็นเวลาหลายวันจะทำปฏิกิริยา O_2 ในอากาศ ทำให้ผิวหน้ากระจกหมอง ดังนั้นจึงได้แก้ปัญหาโดยการเคลือบทอง (Au) บริสุทธิ์ที่ผิวหน้าโดยเคลือบผิว Au ให้เป็นแผ่นฟิล์มบางหนา 2 ไมโครเมตร ซึ่งทราบดีแล้วว่า Au ไม่ทำปฏิกิริยากับอากาศ CO_2 , N_2 และ He มีความสามารถในการสะท้อนประมาณ 99.4% แต่การเคลือบผิวหน้าด้วย Au สามารถใช้กับเครื่องกำเนิดเลเซอร์ที่ให้อำนาจเลเซอร์น้อยกว่า 200 วัตต์

สำหรับการเคลือบผิวหน้ากระจกสะท้อน จะใช้ขจัดผิวหน้าให้เรียบ [23] ถ้ามีจุดที่เกิดขึ้นจากการขัดจะต้อมมีขนาดเล็กกว่า $\frac{1}{30}$ ของ 10.6 ไมโครเมตร ซึ่งการขัดผิวหน้าโลหะโดยไม่ใช้เครื่องขัดจะกระทำได้ยากมาก และต้องใช้เวลานาน ดังนั้นจึงใช้แผ่นแก้วแทนโลหะทองคำและขัดแผ่นแก้ว ด้วยเครื่องขัดระบบทำเลนส์ ซึ่งจะทำให้ผิวหน้าแผ่นแก้วไม่เกิดจุดเล็ก ๆ เนื่องจากการขัด

พิจารณาเนื้อสารทางออกเลเซอร์ ใค้ใช้ผลึก NaCl ในการสร้างผลึก โดยหลักการระเหยของน้ำในสารละลายอิ่มตัว การสร้างผลึกโดยวิธีนี้จะสร้างเป็นผลึกรูปเดี่ยวที่สมบูรณ์ให้มีขนาดใหญ่มากกว่า 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ได้ยากมาก เพราะการสร้างใค้ใช้เตาอบขนาดเล็ก ดังนั้นการเตรียมสารละลายอิ่มตัวในภาชนะ จะเตรียมใค้เพียงภาชนะเดี่ยวเท่านั้น เมื่อทำการปลูกผลึกจากเมล็ดผลึกที่เตรียมไว้ให้เป็นผลึกขนาดใหญ่ จำนวนสารเจือในสารละลายอิ่มตัว จะเพิ่มจำนวน

สร้างปรากฏว่าไม่สามารถหักกรวยใหม่เส้นผ่าศูนย์กลางที่ปากกรวยเล็กกว่า 2 เซนติเมตร โดยที่ให้กรวยสูง 5 เซนติเมตร ดังนั้นกรวยโลหะที่สร้างขึ้น จึงมีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของทางออกเลเซอร์มาก และมีเนื้อโลหะในการรับความร้อนมาก จึงทำให้การวัดกำลังเลเซอร์บางครั้งมีความคลาดเคลื่อน ซึ่งการวัดกำลังเลเซอร์จะวัดได้เพียงค่าประมาณ โดยจะต้องทำการวัดซ้ำกันหลายครั้ง ในระยะที่ใกล้ส่วนหัวเลเซอร์มากที่สุด ซึ่งถ้าใช้วัดในระยะทางที่ห่างไกลออกไปจะทำให้วัดค่ากำลังเลเซอร์ผิดพลาดมากยิ่งขึ้น และเครื่องกำเนิดเลเซอร์ที่สร้างขึ้น ไม่ได้ประกอบการระบายความร้อนเข้าไปในระบบอย่างถาวรทำให้การป้อนกำลังเลเซอร์เข้าไปในกรวยต้องใช้เวลาจำกัด เพื่อไม่ให้อุณหภูมิที่หลอดเลเซอร์สูงมากจนอาจทำให้หลอดถูกทำลายได้

5.3 สรุปเงื่อนไขที่เหมาะสม

จากการสร้าง CO_2 เลเซอร์และการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองของเลเซอร์ทั้ง 3 ขนาด โทพยายามใช้อุปกรณ์ส่วนต่าง ๆ ของระบบชุดเดียวกันมาโดยตลอด เพียงแต่เปลี่ยนฐานและหลอดเลเซอร์ เพื่อให้ทราบถึงเงื่อนไขที่จะใช้กับ CO_2 เลเซอร์ตามแนวแกน ผลสรุปของระบบที่ได้สร้างขึ้นมีความสำคัญขึ้นอยู่กับการระบายความร้อน และกระจกสะท้อน ในระบบเปลี่ยนแปลงปริมาตรภายในหลอดน้อยกว่า 100 เท่าใน 1 นาที มีอัตราการไหลของก๊าซในหลอดน้อยกว่า 45 ลิตร ต่อเวลาที่ความกดดัน 10 มิลลิเมตรปรอท เมื่อใช้หลอดเลเซอร์มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.85 เซนติเมตร จะใช้กระแสตรงในการค้ำสารค์ 50 มิลลิแอมแปร์ โดยกระแสสลับป้อนเข้าที่เวริแอก 3.9 แอมแปร์อัตราส่วนของก๊าซผสม $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He}$ ประมาณ 1 : 1 : 3 จะใช้ความกดดันของก๊าซผสม ภายในหลอดน้อยกว่า 20 มิลลิเมตรปรอท และจะต้องใช้ฐานระบบกระจกสะท้อนแบบ อิม-สเฟียร์คอน ที่มีรัศมีความโค้งของกระจกสะท้อนมากกว่าระยะห่างระหว่างกระจกสะท้อนคู่ขนาน

5.4 ข้อเสนอแนะเพื่อการดำเนินงานการพัฒนาเลเซอร์

ชุดกำเนิด CO_2 เลเซอร์ที่สร้างขึ้นเป็นแบบค้ำสารค์ ตามแนวแกน ที่มีอัตราการไหลของก๊าซอย่างช้า ๆ เป็นแบบที่สร้างโดยใช้เทคนิคที่ง่ายและค่าใช้จ่ายต่ำ เพื่อจะศึกษาประสิทธิภาพในด้านเครื่องมือ และการทำงานของ CO_2 เลเซอร์ การสร้างเลเซอร์แบบนี้เป็นเทคนิคแบบหนึ่ง

เท่านั้น ในการที่จะพัฒนาต่อไปสามารถใช้โครงสร้างพื้นฐาน หรือ ใช้หลักการในการสร้างไว้สำหรับการพิจารณาได้ อย่างเช่น ชุดกำเนิดเลเซอร์ที่สร้างขึ้นนี้เป็นแบบคลื่นต่อเนื่องแต่สามารถดัดแปลงให้เป็นแบบพัลส์ได้ เพียงแค่เปลี่ยนตำแหน่งของขั้วไฟฟ้าและแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูง ก็จะทำให้ได้กำลังเลเซอร์เพิ่มมากขึ้น และในกรณีที่จะสร้าง CO₂ เลเซอร์ แบบเวฟไกด์ (Waveguide) ก็สามารถใช้หลักการเดิมโดยสร้างเครื่องกำเนิดเลเซอร์ให้มีขนาดกระทัดรัด และใช้ระบบต่าง ๆ เหมือนชุดเดิม

สำหรับกำลังเลเซอร์แบบคิซซาร์ค คอมพิวเตอร์สามารถนำไปออกแบบใช้งานทางด้านการแพทย์ เกี่ยวกับการผ่าตัด โดยเพิ่มอุปกรณ์ระบบเลนส์ที่เหมาะสมเข้าไปที่ทางออกของเลเซอร์ และถ้าจะออกแบบใช้งานในอุตสาหกรรมการตัดโลหะบางชนิด เมื่อเพิ่มระบบหัวตัดก็จะสามารถใช้งานได้



เอกสารอ้างอิง

1. Amnon Yariv, Quantum Electronic (John Wiley & Sons, New York 1969), P. 210 - 218.
2. Amnon Yariv, Introduction to Optical Electronics (Holt, Rinehart and Winston, New York, 1971), P. 30 - 116.
3. Frank S. Barnes, Laser Theory (IEEE Press, New York, 1972), P. 135 - 170.
4. W.W. Duley, CO₂ Lasers Effects and Applications (Academic Press, New York, 1976) P. 15 - 103
5. H. Kogelnik and T. Li, " Laser Beam and Resonators " Proc. IEEE . 54 (1966). P. 1312 -1329.
6. Orazio Svelto and David C. Hanna, Principle of Lasers (Plenum Press, New York, 1976) P. 114 - 118.
7. Colin S. Willett, Introduction to Gas Lasers : Population Inversion Mechanisms (Pergamon Press, Oxford, 1974) P. 264
8. John E. Harry, Industrial Lasers and their Application (Mc Graw - Hill, London, 1974) P. 11 - 47.
9. S.S. Charschan, Lasers in Industry (Van Nostrand Reinhold, New York, 1972), P. 563
- 10 A. E. Siegman, An Introduction to Lasers and Masers (Mc Graw - Hill, New York, 1971), P. 294 - 343
- 11 Donald C.o' shea, W.Russell Callen and William T. Rhodes, An Introduction to Laser and their Application (Addison - Wesley Publishing, Massachusetts Menlo Park, California, 1977) P. 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. Arthur L. Schawlow, *Lasers and Light* (W.H. Freeman, San Francisco. 1969), P.265 -275
13. John F. Ready, *Effect of High - Power Laser Radiation*, (Academic Press ; New York, 1971) P. 317
14. W.L. Bond, *Crystal Technology* (John Wiley & Sons, New York, 1976), P. 261 - 268
15. C.L. Stong, "The Amateur Scientist" (Scientific American, February, 1969), P. 218 - 224
16. R.A. Laudise, *The Growth of Single Crystals* (Prentice - Hall, Englewood Cliffs, 1970), P. 258 - 270
17. The Harshaw Chemical, *Harshaw Optical Crystals* (1967), P.24 - 58
18. L. Holland F. Inst. P, *Vacuum Deposition of Thin Films* (Chapman and Hall, London, 1966), P. 1 -33
- 19 M. Winer, "Calculated Temperature Dependence of Silver and Gold Absorbtion in IR," *Applied Optic*, 17 (1978) p. 989 - 1990
20. Peter Bletzinger, " Influence of Contaminants on the CO₂ Electric - Discharge Laser, *Laser*," *IEEE, Quantum Electronic*, 11 (1975), P. 317 - 322
21. H. Shields and A.L.S. Smith, " Gas Temperature and cooling in Waveguide CO₂ Laser," *Applied Physics*, 48 (1977),P. 4807 - 4808
22. B.S. Patel, " Optical Suitability of Window Material for CO₂ Laser, " *Applied Optic*, 6 (1977), P. 1232 - 1235
23. J.J. Shaffer and J.D. Butler, " Optical Polisher for toroidal Mirrors " *Applied Optics* 18 (1979) P.3217 - 3219

ภาคผนวกที่ 1

การวิเคราะห์การขยายเลเซอร์

เมื่อจำนวนการกลับในระหว่าง 2 ระดับพลังงานมีค่าที่แน่นอน ระบบสามารถที่จะมีการขยายการแผ่รังสี ซึ่งความถี่จะเป็นไปตามคลื่นความถี่เดียว $\nu = E_2 - E_1/h$ และมีความหนาแน่นอะตอม N_2 (อะตอม/cm³) ในระดับพลังงานที่ 2 และ N_1 เป็นอะตอมในระดับพลังงานที่ 1 ดังนั้นกำลัง (P) ที่ได้จากการปล่อยออกมาเนื่องจากการกระตุ้นเนื่องจากสิ่งเร้า โดยไม่ได้พิจารณาการส่งผ่านการแผ่รังสีโดยวิธีเร้า สามารถแสดงได้โดยสมการ [1]

$$\frac{P}{V} = \frac{(N_2 - N_1) \lambda^2 g(\nu) I \nu}{8\pi \eta^2 t_{spont}} \quad (1.1)$$

เมื่อ $g(\nu)$ เป็นฟังก์ชันรูปร่างสายเส้น (lineshape)
 I เป็นความเข้มของคลื่น
 t_{spont} เป็นเวลาการแผ่รังสีโดยวิธีเร้า
 ν เป็นปริมาตรหัวกลางการขยาย

การขยายพลังงานของอัตราที่ให้โดยสมการ (1.1) สามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของความเข้มคลื่นได้ว่า

$$I(z) = I_0 e^{\gamma(\nu) z} \quad (1.2)$$

เมื่อ $\gamma(\nu)$ เป็นสัมประสิทธิ์การขยาย

$$\frac{d}{dz} I_\nu(z) = (\text{กำลัง/ปริมาตร}) = \gamma(\nu) I(z) \quad (1.3)$$

พิจารณาเปรียบเทียบสมการ (1.2) กับ สมการ (1.3) จะได้

$$\gamma(\nu) = (N_2 - N_1) \frac{\lambda^2 g(\nu)}{8\pi \eta^2 t_{spont}} \quad (1.4)$$

อะตอมหรือโมเลกุลอยู่ในระบบกระจกสะท้อน จะมีการขยายแสงแบบการย้อนกลับ ซึ่งจะมีการขยายภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพรงที่มีกระจกสะท้อนชนกัน ซึ่งกระจกภายในโพรงจะมีการสะท้อน r_1 และ r_2 ที่น้อยกว่า 100% คลื่นแสงจะเคลื่อนที่สะท้อนกลับไปกลับมาทำให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่ออัตราการขยายของการแผ่รังสี โดยสิ่งเร้ามากกว่าการดูดกลืน สามารถที่จะกำหนดเงื่อนไขการออสซิลเลชันได้ว่า

$$e^{(\gamma - \alpha) l} r_1 r_2 = 1 \tag{1.5}$$

เมื่อ α เป็นสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของตัวกลาง

หรือ
$$\gamma_t = \alpha - \frac{1}{l} \ln r_1 r_2 \tag{1.6}$$

ในกรณีที่มีการสูญเสียพลังงานน้อยมากจน $\alpha \approx 0$ กระจกสะท้อนต้องมีการสะท้อนตามคุณสมบัติ ซึ่งได้ว่า $r_1 \approx r_2 \approx 1$ สามารถประมาณค่า

$$\ln r_1 r_2 \approx 1 - r_1 r_2 \tag{1.7}$$

ดังนั้นสมการ (1.6) สามารถเขียนได้ว่า

$$\gamma_t = - \frac{(1 - r_1 r_2)}{l} \tag{1.8}$$

เมื่อให้สมการ (1.4) เทียบกับสมการ (1.8) จะได้เงื่อนไขวิกฤตความหนาแน่นตัวกลาง (threshold inversion Density) ตามสมการ

$$N_2 - N_1 = \frac{8 \pi \eta^2 t_{spont} (1 - r_1 r_2)}{g(\nu) \lambda^2 l} \tag{1.9}$$

สำหรับ $g(\nu)$ พิจารณาเช่นบรอดเทน (Broaden) ของโมเลกุลก๊าซจะอยู่ในกรณีของดอปเปลอร์ (Doppler Effect) ที่จะแสดงได้ว่า [10]

$$g(\nu) = \frac{2 (\ln 2)}{\pi^{1/2} \Delta \nu} \exp \left[-4 (\ln 2) (\nu - \nu_0)^2 / \Delta \nu^2 \right] \tag{1.10}$$

เมื่อ $\Delta\nu_D$ เป็นคุณสมบัติของความกว้างของเส้นสเปกตรัม ที่ห่างจากยอดสูงสุด (Peak) เป็นระยะครึ่งหนึ่ง ที่สามารถแสดงได้โดย

$$\Delta\nu_D = \frac{2\nu_0}{c} \left(\frac{2kT \ln 2}{M} \right)^{1/2} \quad (1.11)$$

เมื่อ τ เป็นอายุขัยของก๊อซ และ M เป็นมวลของสารที่แผ่รังสี

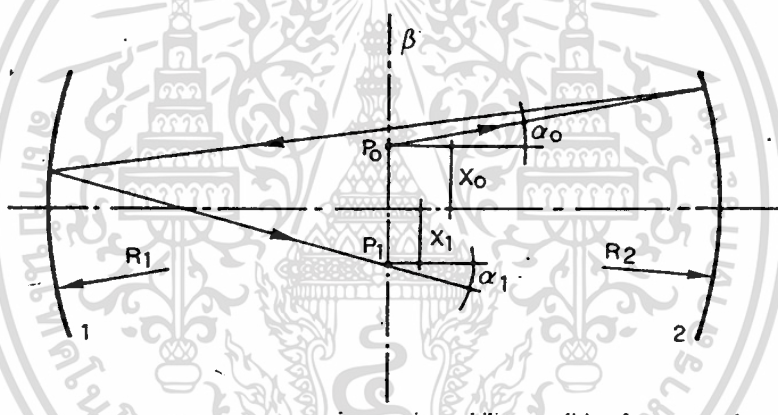
ค่าเงื่อนไขวิฤกตความหนาแน่นก๊อซของก๊อซ ที่ความถี่ความถี่ที่สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของสมการ (1.9), (1.10) และ (1.11) จะได้อสมการ

$$N_2 - N_1 = \frac{8\pi^{3/2} n^2 t_{\text{spont}} (1 - r_1 r_2) (2kT)^{1/2}}{\lambda^3 M} \quad (1.12)$$

ภาคผนวกที่ 2

การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบกระจกสะท้อน

การพิจารณาแสง (Ray) ที่ผ่านไปในระบบแสงหรืออยู่ภายในระบบแสง จะสามารถอธิบายพฤติกรรมได้โดยหลักการของ การย้ายแสงในรูปเมทริก (Ray transfer Matrix) ที่จะสามารถพิสูจน์ได้จากการพิจารณาระบบแสงแบบเรขาคณิต (Geometrical Optics) [6] โดยแสดงรูปร่างโครงสร้างได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงวิธีการเมทริกสำหรับการหาเงื่อนไขเสถียรภาพกระจกสะท้อน

จากรูปได้กำหนดให้แสงที่อยู่ภายในระบบกระจกสะท้อนมีระยะ β ออกจากจุด P_0 หลังจากแสงสะท้อน กระจกที่ 1 และ 2 จะตัดกับระยะ β ที่จุด P_1 ถ้าให้ x_0 และ x_1 เป็นโคออดิเนทของ P_0 และ P_1 ที่กำหนดจากแนวแกนแสง α_0 และ α_1 เป็นมุมของแสงที่วัดเบริขมเทียบกับแนวแกน เมื่อค่า x และ α มีค่าน้อยทำให้ค่า x_1 และ α_1 ได้จากความสัมพันธ์ ABCD เมทริก (ABCD Matrix) กับค่า x_0 และ α ดังแสดง

ได้โดยรูปแบบของเมทริก

$$\begin{vmatrix} x_1 \\ \infty_1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A & B \\ C & D \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x_0 \\ \infty_0 \end{vmatrix} \quad (3.1)$$

ซึ่งขนาดของ A, B, C, และ D จะขึ้นกับโพรงแบบเรขาคณิตเท่านั้นเมื่อแสงออกจากจุด P₁(x₁, ∞₁) หลังจากสะท้อนสองครั้งด้วยระยะทาง B ที่จุด P₂(x₂, ∞₂) จะสามารถกำหนดได้โดย

$$\begin{vmatrix} x_n \\ \infty_n \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A & B \\ C & D \end{vmatrix}^n \begin{vmatrix} x_{n-1} \\ \infty_{n-1} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A & B \\ C & D \end{vmatrix}^n \begin{vmatrix} x_0 \\ \infty_0 \end{vmatrix} \quad (3.2)$$

สำหรับระบบกระจกสะท้อนที่มีเสถียรภาพ ท้องการให้จุดเริ่มต้นใด ๆ ของ (x₀, ∞₀) มีค่าเข้าสู่จุด (x_n, ∞_n) ในขณะที่ค่า n เพิ่มขึ้น จะทำให้รูปแบบการคำนวณเมทริกตั้งสมการ [2]

$$\begin{vmatrix} A & B \\ C & D \end{vmatrix}^n = \frac{1}{\sin(n\theta)} \begin{vmatrix} A \sin(n\theta) - \sin(n-1)\theta & B \sin(n\theta) \\ C \sin(n\theta) & D \sin(n\theta) - \sin(n-1)\theta \end{vmatrix} \quad (3.3)$$

ซึ่ง $\cos \theta = \frac{1}{2} (A + D)$ (3.4)

เมื่อพิจารณาสมการเมทริก (3.3) ว่าเป็นสมการที่หาค่าได้ ค่า θ จะต้องเป็นค่าจริงและทำให้ sin(nθ) หาค่าได้ ในขณะที่ n มีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้ได้สมการ

$$-1 < \frac{(A + D)}{2} < 1 \quad (3.5)$$

การพิจารณาระบบกระจกสะท้อนในโพรงแสง จะใช้หลักการเคียวซ์การที่แสงผ่านระบบเลนส์ที่มีความยาวโฟกัส f₁ และ f₂ จะเหมือนเช่นเคียวซ์ความยาวโฟกัสของกระจก ดังนั้นเมื่อกำหนดให้รัศมีมีความโค้งของกระจกเป็น R₁ และ R₂ จะได้ว่า

$$f_1 = \frac{R_1}{2} \quad f_2 = \frac{R_2}{2} \quad (3.6)$$

ความห่างของเลนส์เหมือนกับความห่างของกระจกที่มีระยะ d ทำให้กำหนด $A B C D$ เมทริกซ์ของกระจกคู่ขนานได้ว่า [5]

$$\begin{array}{l} 1 - \frac{2d}{R_1} \qquad \qquad \qquad 2d - \frac{2d^2}{R_1} \\ -\frac{2}{R_1} - \frac{2}{R_2} + \frac{4}{R_1 R_2} \qquad \qquad \qquad 1 - \frac{2d}{R_1} - \frac{4d}{R_2} + \frac{4d^2}{R_1 R_2} \end{array} \quad (3.7)$$

เมื่อแทนค่าสมการ (3.5) ค่ายค่าใน $A B C D$ เมทริกซ์จากสมการ (3.7) จะทำให้

$$-1 \leq \left(1 - \frac{2d}{R_1} - \frac{2d}{R_2} + \frac{2d^2}{R_1 R_2}\right) \leq 1 \quad (3.8)$$

$$0 \leq \left(1 - \frac{d}{R_1}\right) \left(1 - \frac{d}{R_2}\right) \leq 1 \quad (3.9)$$

เงื่อนไขเสถียรภาพตามสมการ (3.9) จะมีการสูญเสียต่ำ และสามารถจะกำหนด พารามิเตอร์ ในระบบกระจกสะท้อนตามเงื่อนไขข้างต้นได้ว่า

$$g_1 = 1 - \frac{d}{R_1}, \quad g_2 = 1 - \frac{d}{R_2} \quad (3.10)$$

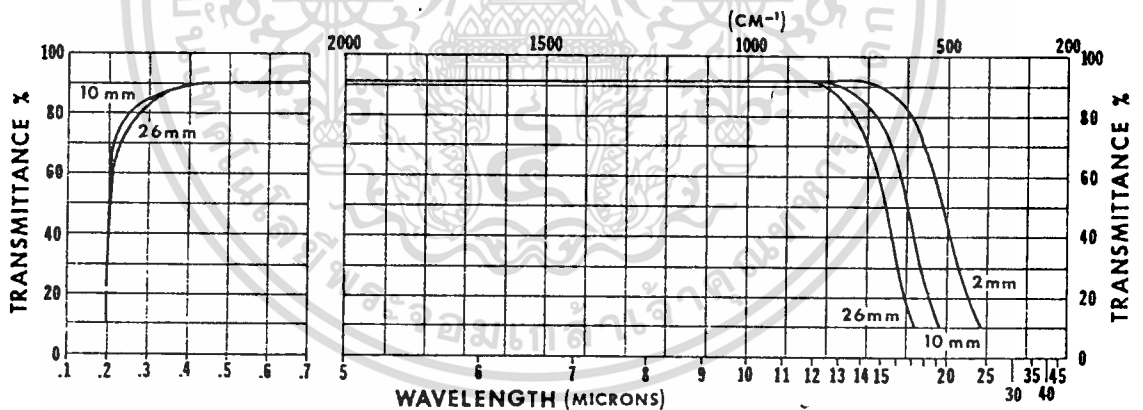
ดังนั้น $0 \leq g_1 g_2 \leq 1$ (3.11)

ภาคผนวกที่ 3

ข้อมูลเพิ่มเติมของเนื้อสารทางออกเลเซอร์

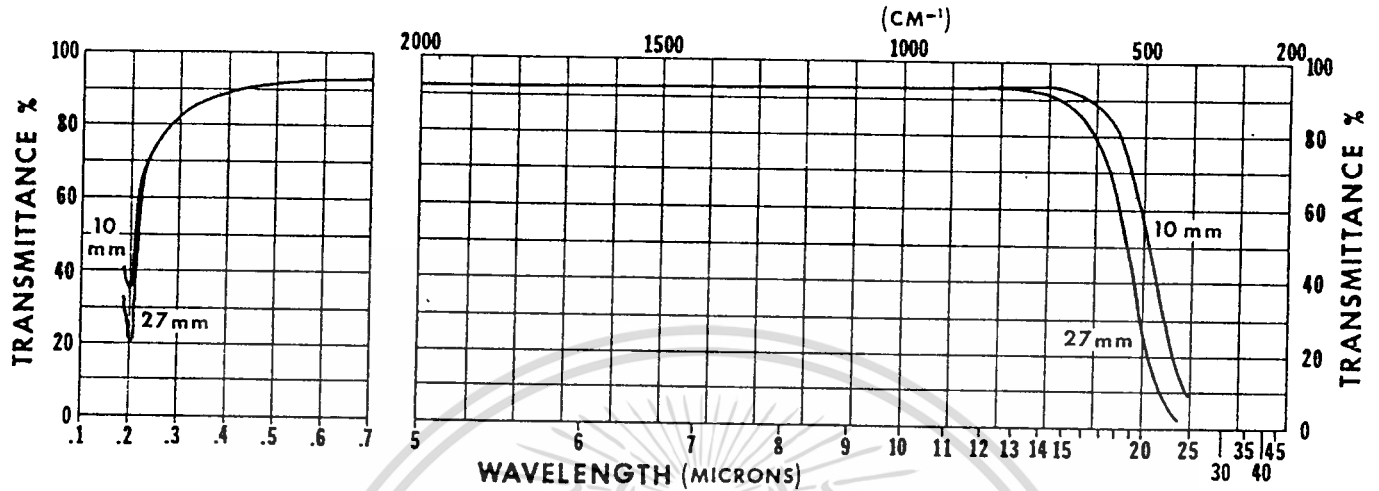
จากหัวข้อ 2.4 ได้กล่าวถึงคุณสมบัติเนื้อสารทางออกเลเซอร์ในอุดมคติ ปรากฏว่าไม่มีเนื้อสารใดเป็นไปตามอุดมคติทุกประการ ฉะนั้นในการเลือกใช้เนื้อสารจะต้องพิจารณาตารางข้อมูล 2.4/1 และรูปกราฟการส่งผ่านความยาวคลื่น 10.6 ไมโครเมตร เพื่อให้ได้สารที่เหมาะสมไปใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้แสดงกราฟการส่งผ่านความยาวคลื่นในเนื้อสารต่างๆ ดังรูปกราฟที่ 4.1 - 4.6 [17]

โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)



รูปที่ 4.1 แสดงกราฟช่วงการส่งผ่านความยาวคลื่นที่ความหนา 2 ,
10 และ 26 มิลลิเมตร ของ NaCl
ช่วงการส่งผ่านจาก 0.172 ไมโครเมตร ถึง 17 ไมโครเมตร

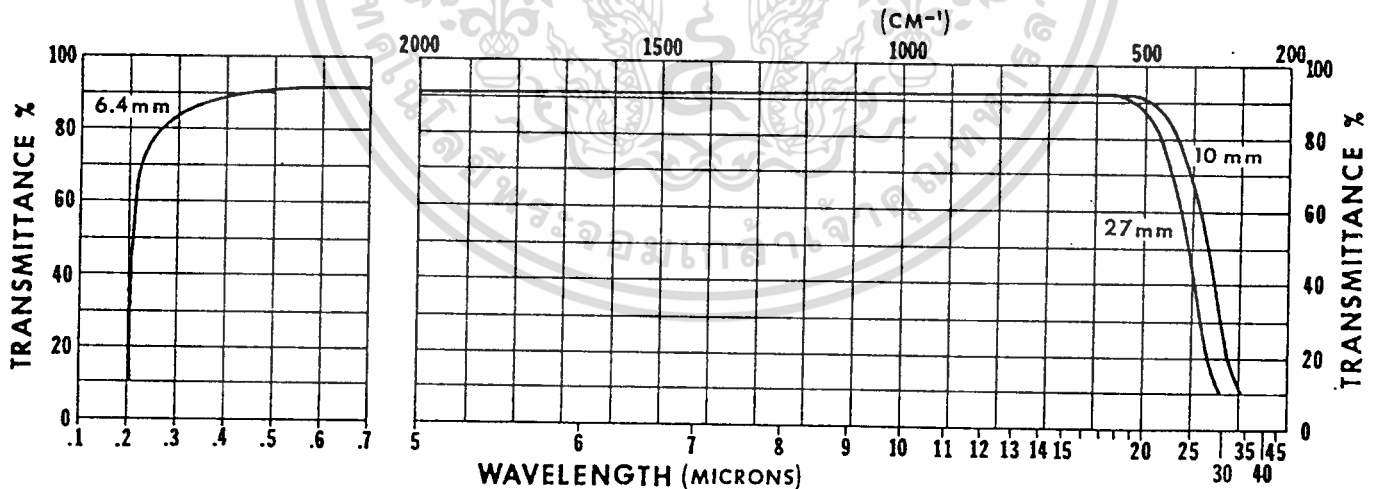
โปรมกตเชียมคลอไรด์ (KCl)



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟช่วงการส่งผ่านความยาวคลื่นที่ความหนา 10 และ 27 มิลลิเมตร ของ KCl

ช่วงการส่งผ่านจาก 0.180 ไมโครเมตรถึง 20 ไมโครเมตร

โปรมกตเชียมโบรมายด์ (KBr)

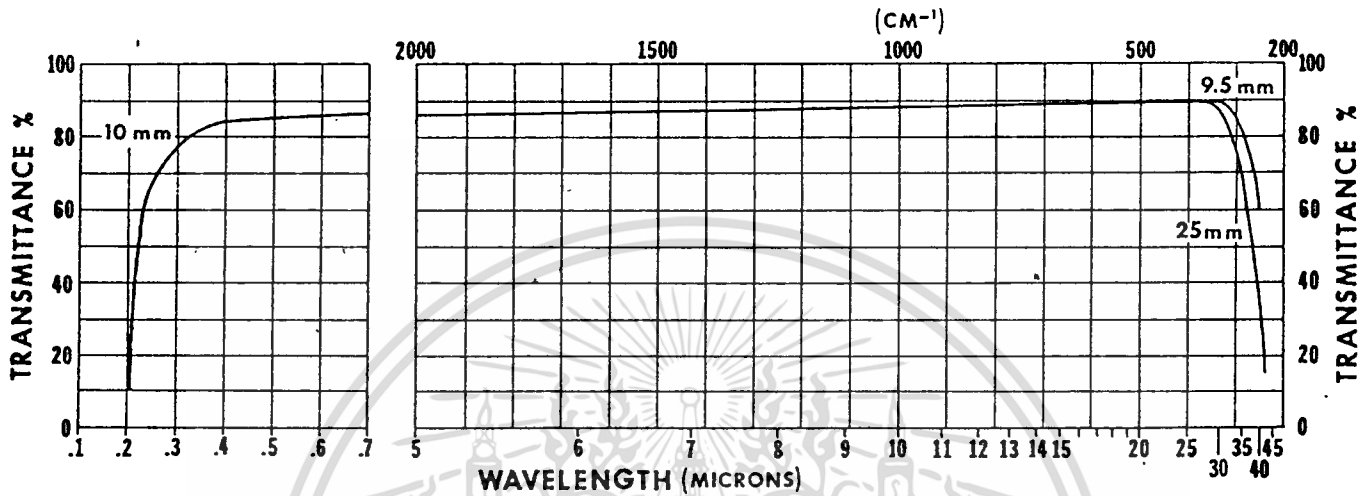


รูปที่ 4.3 แสดงกราฟช่วงการส่งผ่านความยาวคลื่นที่ความหนา 6.4 , 10 และ 27 มิลลิเมตร ของ KBr

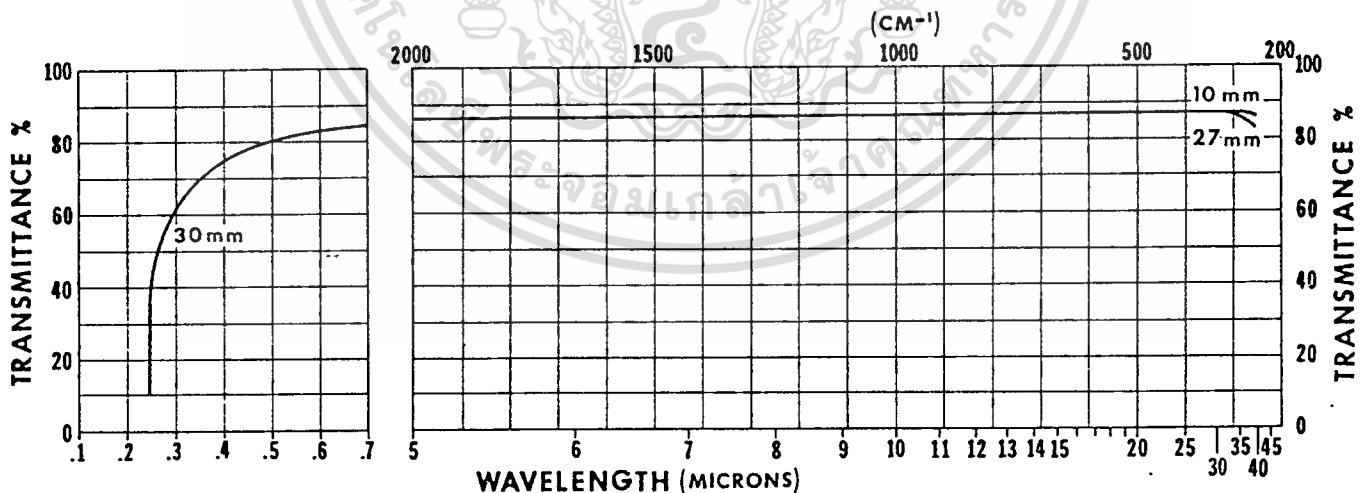
ช่วงการส่งผ่านจาก 0.205 ไมโครเมตร ถึง 25 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซีเซียมโบรมาด (CsBr)

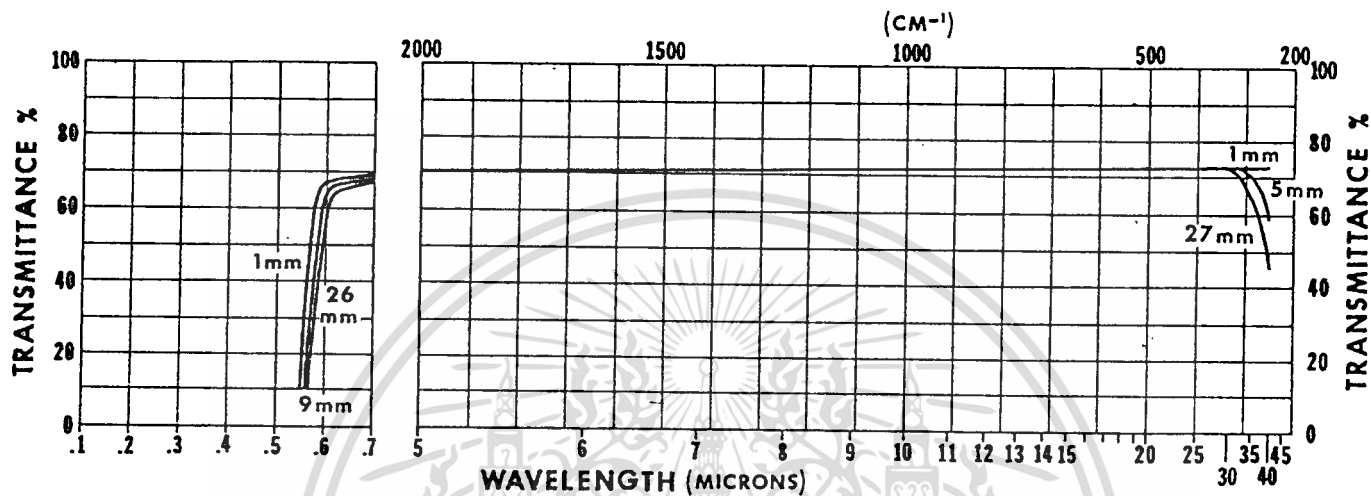


รูปที่ 4.4 แสดงกราฟของการส่งผ่านความยาวคลื่นที่มีความหนา 9.5 ,
10 และ 25 มิลลิเมตร ของ CsBr
ช่วงการส่งผ่านจาก 0.210 ไมโครเมตร ถึง 44 ไมโครเมตร
ซีเซียมไอโอดายด์ (CsI)



รูปที่ 4.5 แสดงกราฟของการส่งผ่านความยาวคลื่นที่มีความหนา 10 ,
27 และ 30 มิลลิเมตร ของ CsI
ช่วงการส่งผ่านจาก 0.235 ไมโครเมตร ถึง 60 ไมโครเมตร

เกลือโบรมไฮไดรคาบ Tl (Br, I) KRS - 5



รูปที่ 4.6 แสดงกราฟของการส่งผ่านความยาวคลื่นที่ความหนา 1 ,
5 , 9 , 26 และ 27 มิลลิเมตร ของ KRS - 5

ช่วงการส่งผ่านจาก 0.6 ไมโครเมตร ถึง 40 ไมโครเมตร

ภาคผนวกที่ 4

การเลือกใช้ผิวสะท้อนของโลหะ [8 , 19]

การชดเชยผิวโลหะให้มีการสะท้อนที่ดีในช่วงความยาวคลื่นความร้อน จะทำได้ยากมากแต่ถ้าผิวของโลหะหรือกระจกได้รับการชดเชยแล้วเคลือบด้วยโลหะที่เหมาะสมกับความยาวคลื่นที่ใช้งาน จะทำให้ผิวที่ได้รับการเคลือบ มีการสะท้อนที่ดีและเหมาะสมใช้กับเลขเซอร์ที่มีกำลังค่า ดังนั้นตารางที่ 5.1 จึงได้แสดงผิวของโลหะแต่ละชนิดที่สามารถสะท้อน ความยาวคลื่นได้แตกต่างกันออกไป

ตารางที่ 5.1 แสดงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกที่เคลือบผิวโลหะชนิดต่างๆ

$\lambda(\mu\text{m})$	Al	Ag	Au	Cu	Rh	Pt
0-220	91.5	28.0	27.5	40.4	57.8	40.5
0-240	91.9	29.5	31.6	39.0	63.2	46.9
0-260	92.2	29.2	35.6	35.5	67.7	51.5
0-280	92.3	25.2	37.8	33.0	70.7	54.9
0-300	92.3	17.6	37.7	33.6	73.4	57.6
0-315	92.4	5.5	37.3	35.5	75.0	59.4
0-320	92.4	8.9	37.1	36.3	75.5	60.0
0-340	92.5	72.9	36.1	38.5	76.9	62.0
0-360	92.5	88.2	36.3	41.5	78.0	63.4
0-380	92.5	92.8	37.8	44.5	78.1	64.9
0-400	92.4	95.6	38.7	47.5	77.4	66.3
0-450	92.2	97.1	38.7	55.2	76.0	69.1
0-500	91.8	97.9	47.7	60.0	76.6	71.4
0-550	91.5	98.3	81.7	66.9	78.2	73.4
0-600	91.1	98.6	91.9	93.3	79.7	75.2
0-650	90.5	98.8	95.5	96.6	81.1	76.4
0-700	89.7	98.9	97.0	97.5	82.0	77.2
0-750	88.6	99.1	97.4	97.9	82.6	77.9
0-800	86.7	99.2	98.0	98.1	83.1	78.5
0-850	86.7	99.2	98.2	98.3	83.4	79.5
0-900	89.1	99.3	98.4	98.4	83.6	80.5
0-950	92.4	99.3	98.5	98.4	83.9	80.6
1-0	94.0	99.4	98.6	98.5	84.2	80.7
1.5	97.4	99.4	99.0	98.5	87.7	81.8
2.0	97.8	99.4	99.1	98.6	91.4	81.8
3.0	98.0	99.4	99.3	98.6	95.0	90.6
4.0	98.2	99.4	99.4	98.7	95.8	93.7
5.0	98.4	99.5	99.4	98.7	96.4	94.9
6.0	98.5	99.5	99.4	98.7	96.8	95.6
7.0	98.6	99.5	99.4	98.7	97.0	95.9
8.0	98.7	99.5	99.4	98.8	97.2	96.0
9.0	98.7	99.5	99.4	98.8	97.4	96.1
10.0	98.7	99.5	99.4	98.9	97.6	96.2
15.0	98.9	99.6	99.4	99.0	98.1	96.5
20.0	99.0	99.6	99.4			
30.0	99.2	99.6	99.4			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ 5

ขบวนการทำความสะอาด

ประเภทของชิ้นส่วน	ขั้นตอนการทำความสะอาด
1. หลอดแก้วไทเทเนียม	1. ล้างภายในหลอดแก้วด้วยแชมพู 2. ล้างด้วยน้ำ D.I. จนสะอาด 3. ล้างด้วยไตรโคลโรเอทิลีน (Trichloroethylene) และ อะซิโตน (Acetone) 4. ล้างด้วยน้ำ D.I. 5. เป่าแห้งด้วยก๊าซ N_2
2. วงแหวนยาง	1. เช็ดผิวหน้าให้สะอาดด้วยอะซิโตน
3. เหล็กชุบโครเมียม	1. เช็ดผิวหน้าให้สะอาดด้วย ไตรโคลโรเอทิลีนหรืออะซิโตน
4. ลวดทอง	1. ล้างในสารละลาย HF 5% 1 นาที 2. ล้างในน้ำ D.I. 1 นาที เป่าแห้งด้วยก๊าซ N_2 3. ล้างในอะซิโตน โดยตั้งอยู่บนเครื่องสับ (Supersonic) 4. ล้างน้ำ D.I. 1 นาที เป่าแห้ง 5. อบจนแห้งสนิท
5. ลวดหึงสเทม	1. ล้างในสารละลาย HF 5% 1 นาที 2. ล้างน้ำ D.I. 1 นาที เป่าแห้ง 3. อบจนแห้งสนิท
6. กระจกสะท้อนทองแดงและแก้ว (ก่อนเคลือบ)	1. ล้างในไตรโคลโรเอทิลีน ๕ นาที 2. สับในสารละลายอะซิโตน 1 นาที 3. ล้างด้วยน้ำ D.I. 1 นาที เป่าแห้ง 4. อบจนแห้งสนิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ 6

ข้อควรระวังเกี่ยวกับเลเซอร์ทั่วไป [13]

1. ไม่ควรมองแหล่งกำเนิดลำแสงเลเซอร์ที่ส่งมาโดยตรง หรือที่สะท้อนมาจากผิวที่เรียบ ซึ่งมีระดับความเข้มของพลังงานสูงเกินไป
2. หลีกเลี่ยงการมองลำแสงเลเซอร์ตามแนวแสง เพื่อป้องกันอันตรายจากการสะท้อนโค
3. ห้องปฏิบัติการเลเซอร์จะต้องมีความสว่างเพียงพอ เพื่อไม่ให้ม่านตาเปิดกว้างมาก ซึ่งจะช่วยลดความเข้มของพลังงานที่อาจจะเข้าสู่ตาได้
4. ควรสวมแว่นตาที่ใช้ กรองความถี่ของเลเซอร์ที่เหมาะสม เพื่อที่จะกรองความเข้มของพลังงานเลเซอร์ให้ลดน้อยลงจนไม่เป็นอันตรายต่อดวงตาอย่างเช่น เพ็กซิกลาส (Plexiglass) จะสามารถป้องกันแสงที่มีความยาวคลื่นของ CO_2 ได้
5. ที่ปลายสุดของลำแสงเลเซอร์จะต้องมีเป้าซึ่งเป็นวัสดุที่ไม่สะท้อนแสง สามารถทนไฟได้ ซึ่งสำหรับเลเซอร์ที่มีกำลังสูงที่บริเวณเป้า ควรจะใส่อุปกรณ์ระบายไอน้ำหรือฮีทซิงค์ที่หนาแน่นมาก และในบริเวณดังกล่าวจะต้องไม่มีใครอยู่ใกล้
6. ควรออกแบบความปลอดภัยของระบบไฟฟ้าแรงสูงและแรงต่ำให้ดีที่สุด เพื่อป้องกันการถูกไฟฟ้าช็อต
7. ควรระวังเป็นพิเศษ เมื่อใช้หลอดเรกติไฟเออร์ (Rectifier) แรงดันสูงที่มากกว่า 15 KV เพราะอาจจะมีประกายไฟสีเอ็กซอออกมาได้
8. ควรระวังแสงอุตราไวโอเลต (Ultra violet) ซึ่งเกิดจากการที่สสารค์ของก๊าซ ซึ่งจะสามารถทะลุผ่านหลอดเลเซอร์ เมื่อใช้วัสดุที่ไม่เหมาะสม อย่างเช่น แสงอุตราไวโอเลตสามารถผ่านท่อควอตซ์ Quarty ได้