

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสร้างคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวาง  
ที่ความดันบรรยากาศ

A CONSTRUCTION OF A TRANSVERSELY EXCITED ATMOSPHERIC  
PRESSURE CARBONDIOXIDE LASER



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2542

ISBN 974-622-549-9

เลขหนังสือพิมพ์ 34215  
เลขเรียกค้น 8.7.ค. 2542

หรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
โดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**A CONSTRUCTION OF A TRANSVERSELY EXCITED ATMOSPHERIC  
PRESSURE CARBONDIOXIDE LASER**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**1999**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน ISBN 974-622-549-9 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 1999**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การสร้างคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์แบบกระตุ้น  
ตามขวางที่ความดันบรรยากาศ

นักศึกษา

นายวิธีร์ ศรีมงคล

รหัสประจำตัว

38061266

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

พ.ศ.

2542

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

รศ.ดร.กอบชัย เคชหาญ

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

รศ.ดร.พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ

### บทคัดย่อ

คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ เป็นเลเซอร์ที่มีลักษณะเป็นพัลส์และมีกำลังสูงมาก วิธีการกระตุ้นให้เกิดแสงเลเซอร์จะใช้สนามไฟฟ้ากระตุ้นในทิศตั้งฉากกับแนวลำแสงที่ออกมา ซึ่งการดิสชาร์จจะเกิดได้ง่ายขึ้นเมื่อเราใช้วงจรพรีไอออนไนซ์เข้าช่วยระบบเลเซอร์ที่สร้างขึ้นมานี้สามารถให้พลังงานได้สูงถึง 1 จูลต่อพัลส์ภายในปริมาตรที่ถูกระตุ้น  $1.4 \times 1.4 \times 30$  ลูกบาศก์เซนติเมตรในอัตราส่วนของแก๊สผสม  $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He}$  1:1.5:2.5 ที่ความดันรวมของแก๊สผสม 1020 มิลลิบาร์ ลักษณะของการดิสชาร์จที่เกิดขึ้นมีความเป็นเอกพันธ์จึงสามารถดิสชาร์จได้ในอัตราส่วนของแก๊สผสม  $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He}$  ได้สูงถึง 2:1:1

<b>Thesis Title</b>	A Construction of a Transversely Excited Atmospheric Carbondioxide Laser
<b>Student</b>	Mr.Witee Srimongkol
<b>Student ID.</b>	38061266
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Programme</b>	Electrical Engineering
<b>Year</b>	1999
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc.Prof.Dr.Kobchai Dejhan
<b>Thesis Co-Advisor</b>	Assoc.Prof.Dr.Pichet Limsuwan

### ABSTRACT

TEA-CO<sub>2</sub> laser is a pulse laser with high peak power. The electric field is used to pump the gas medium in the perpendicular direction to the laser axis with the help of preionization circuit. The volume of laser medium containing in the laser system is  $1.4 \times 1.4 \times 30 \text{ cm}^3$ . The constructed laser system is able to emit laser energy 1 joule per pulse in mixture of CO<sub>2</sub> : N<sub>2</sub> : He for the ratio of 1 : 1.5 : 2.5 at total pressure 1020 mbar. In addition, the homogeneous discharge can be operated at a higher concentration of CO<sub>2</sub> : N<sub>2</sub> : He for the ratio of 2 : 1 : 1

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สามารถสำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือและคำปรึกษาที่มีประโยชน์จากรศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และ รศ.ดร.พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วมจากห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเลเซอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย ขอขอบคุณ Dr.Dowan Zhang Dr.Jiang Yueqing และคุณอัสวิน เรณูสวัสดิ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและความช่วยเหลือทุกสิ่งทุกอย่างในงานวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัว รุ่นพี่ รุ่นน้องและเพื่อนทุกๆ คนที่ทำให้กำลังใจและช่วยเหลือเสมอจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

วิศิษฐ์ ศรีมงคล

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	VIII
สารบัญภาพ .....	IX
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 กล่าวนำ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ .....	1
1.3 หลักการใหม่ของวิทยานิพนธ์ .....	2
1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ .....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีของทรีเอคาร์บอน ไดออกไซด์เลเซอร์ .....	3
2.1 หลักการของเลเซอร์ .....	3
2.1.1 กลไกการกระตุ้นแก๊สคาร์บอน ไดออกไซด์ .....	4
2.1.2 การขยายความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในควาวิดี .....	6
2.1.3 เสถียรภาพของออฟติคัลเรโซเนเตอร์ .....	7
2.2 ประวัติและการพัฒนาที่ทรีเอคาร์บอน ไดออกไซด์ .....	9
2.3 วิธีการสร้างอิเล็กทรอนิกส์เพื่อช่วยในการดิซชาร์จ .....	11
2.3.1 การพรีไอออนไนซ์โดยการสปาร์ต .....	12
2.3.2 การพรีไอออนไนซ์โดยอาศัยโคโรน่า .....	13
2.3.2.1 ระบบ Mesh cathode double discharge .....	14
2.3.2.2 ระบบ Finned-cathode double discharge .....	15
2.3.2.3 ระบบ Trigger-wire/solid-electrode double discharge .....	15
2.3.2.4 ระบบ Mark Bank excitation circuit สำหรับ double discharge .....	16
2.3.2.5 ระบบ Dielectric corona preionization .....	16

# สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3.3 การพรีไอออนไนซ์ด้วยรังสีเอ็กซ์ .....	17
2.3.4 การพรีไอออนไนซ์โดยใช้ลำอิเล็กตรอน .....	17
<b>บทที่ 3 การออกแบบและสร้างระบบที่ฮีเอคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ .....</b>	<b>19</b>
3.1 ช่องเลเซอร์ .....	19
3.1.1 ขั้วไฟฟ้า .....	20
3.1.2 วงจรพรีไอออนไนซ์ .....	20
3.1.3 กระจกเลเซอร์ .....	21
3.1.3.1 กระจกเลเซอร์ด้านหน้า .....	21
3.1.3.2 กระจกเลเซอร์ด้านหลัง .....	21
3.2 ระบบแก๊ส .....	23
3.2.1 ถังแก๊ส .....	23
3.2.2 เกจวัดความดัน .....	23
3.2.3 ป้อนสูญญากาศ .....	23
3.2.4 อุปกรณ์ร่วม .....	23
3.3 วงจรกระตุ้นช่องเลเซอร์ .....	24
3.3.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง .....	24
3.3.2 วงจรจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้ช่องเลเซอร์ .....	24
3.3.2.1 สปรັคแค๊ป .....	25
3.3.2.2 หม้อแปลงกระตุ้นไฟฟ้าแรงดันสูง .....	26
3.3.3 วงจรสร้างสัญญาณกระตุ้น .....	27
3.4 การประกอบระบบที่ฮีเอคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ .....	29
<b>บทที่ 4 การทดลอง ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล .....</b>	<b>30</b>
4.1 การเตรียมระบบเลเซอร์ .....	30
4.1.1 วิธีการจ่ายแก๊สให้กับช่องเลเซอร์ .....	30
4.1.2 การปรับระบบกระจกเลเซอร์ .....	31

# สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.1.3 การทดสอบวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้น .....	32
4.1.4 การทดสอบการทำงานของวงจรกระตุ้นช่องเลเซอร์ .....	32
4.1.5 การวัดพลังงานของเลเซอร์ .....	34
4.2 การทดสอบและศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อพลังงานของ ทีอีเอคาร์บอนไดออกไซด์ เลเซอร์ .....	35
4.2.1 การหาค่าอัตราส่วนของแก๊สผสมที่เหมาะสมกับระบบเลเซอร์ ที่สร้างขึ้น .....	35
4.2.2 ประสิทธิภาพของระบบเลเซอร์ที่สร้างขึ้น .....	37
4.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของเลเซอร์กับเปอร์เซ็นต์ การสะท้อนแสงของกระจกเลเซอร์ด้านหน้า .....	38
4.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของแสงเลเซอร์ กับปริมาณแก๊สไนโตรเจน .....	40
4.2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของแสงเลเซอร์ กับปริมาณของแก๊สฮีเลียม .....	40
4.2.6 การหาค่าไดเวอร์เจนต์ของแสงเลเซอร์ที่ได้จากระบบที่สร้างขึ้น .....	41
4.2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้ระบบเลเซอร์กับพลังงาน ของแสงเลเซอร์ที่ได้รับ .....	42
4.2.8 ลักษณะของการคิซซาร์จที่เกิดขึ้นเมื่อมีวงจรพรีไอออนไนซ์ .....	44
4.2.9 ลักษณะของภาคตัดขวางของแสงเลเซอร์ที่ตรวจสอบได้ .....	45
4.2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างภาคตัดขวางของแสงเลเซอร์กับเปอร์เซ็นต์ การสะท้อนแสงของกระจกเลเซอร์ด้านหน้า .....	46
4.2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างผลของปริมาณการพรีไอออนไนซ์กับพลังงาน ของแสงเลเซอร์และลักษณะภาคตัดขวางของแสงเลเซอร์ที่ได้รับ .....	47
4.2.12 การทดสอบเสถียรภาพของระบบเลเซอร์เมื่อทำงานแบบต่อเนื่อง .....	48
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ .....	50

# สารบัญ(ต่อ)

หน้า

เอกสารอ้างอิง.....	52
ภาคผนวก .....	54
ภาคผนวก ก ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์ .....	55
ประวัติผู้เขียน .....	61



# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงการเปลี่ยนระดับพลังงานของโมเลกุลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์.....	5
4.1 แสดงผลการทดสอบการเกิดการดิซซาร์จในช่องเลเซอร์ .....	34
4.2 แสดงพลังงานของแสงเลเซอร์ที่ได้ที่อัตราส่วนของแก๊สผสมค่าต่างๆ เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้า คร่อมตัวเก็บประจุหลัก .....	36
4.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของพลังงานของแสงเลเซอร์เมื่อการสะท้อนแสงของกระจกเลเซอร์ ด้านหน้ามีค่า 60% , 75% และ 80% .....	39
4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเลเซอร์กับระยะทาง จากช่องเลเซอร์ .....	41
4.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของพลังงานของแสงเลเซอร์เมื่อค่าของตัวเก็บประจุหลักมีค่า 0.01 0.015 และ 0.02 ไมโครฟารัด.....	43
4.6 แสดงลักษณะของภาคตัดขวางของแสงเลเซอร์ที่ตรวจสอบได้เมื่อเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์ การสะท้อนแสงของกระจกเลเซอร์ด้านหน้าเป็น 60, 75 และ 80%.....	47
4.7 แสดงพลังงานของแสงเลเซอร์และภาคตัดขวางของแสงเลเซอร์ที่ตรวจสอบได้ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณการพรีไอออนไนซ์ .....	48
4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของแสงเลเซอร์ที่วัดได้เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น.....	49

# สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงช่วงความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ชนิดต่างๆ .....	3
2.2 แสดงองค์ประกอบของระบบเลเซอร์ .....	4
2.3 แสดงค่าระดับพลังงานของโมเลกุลของคาร์บอน ไดออกไซด์และไนโตรเจนที่เกี่ยวข้องกับการเกิดแสงเลเซอร์ .....	6
2.4 แสดงออฟติคัลเรโซเนเตอร์ที่มีกระจก $M_1$ และ $M_2$ ปิดท้ายระบบมีค่าการสะท้อนกลับ $R_1$ และ $R_2$ ตามลำดับ .....	6
2.5 แสดงไดอะแกรมของเรโซเนเตอร์ที่มีเสถียรภาพซึ่งส่วนที่แรกเงาคือส่วนที่มีเสถียรภาพ.....	8
2.6 แสดงการจัดกระจกเลเซอร์ที่ทำให้ระบบเรโซเนเตอร์มีเสถียรภาพที่เป็นไปได้ .....	9
2.7 แสดงโครงสร้างของทิวเอคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ของโบลิเยร์ .....	10
2.8 แสดงระบบเลเซอร์ที่โครงสร้างของขั้วแคโทดประกอบด้วยสายละลายที่นำไฟฟ้าได้ .....	10
2.9 แสดงโครงสร้างของระบบเลเซอร์ที่ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 อันซึ่งขั้วแคโทดมีตัวเก็บประจุประกอบอยู่ .....	11
2.10 แสดงลักษณะของการวางจุดสปาร์คที่ด้านข้างของขั้วไฟฟ้า .....	12
2.11 ระบบเลเซอร์ที่ใช้การสปาร์คแบบต่อเนื่องช่วยในการดิสชาร์จ .....	13
2.12 แสดงระบบ Mesh cathode double discharge laser .....	14
2.13 แสดงระบบ Finned cathode double discharge laser .....	15
2.14 แสดงระบบ Trigger-wire/solid-electrode double discharge laser .....	15
2.15 แสดงโครงสร้างของ Marx bank excitation circuit สำหรับ double discharge laser .....	16
2.16 แสดงโครงสร้างของระบบ Dielectric corona preionization .....	17
2.17 แสดงระบบ Electron beam controlled CO <sub>2</sub> laser .....	18
3.1 แสดงโครงสร้างของช่องเลเซอร์ .....	19
3.2 แสดงภาคตัดขวางของขั้วไฟฟ้าที่ทำจากอลูมิเนียม .....	20
3.3 แสดงภาคตัดขวางของช่องเลเซอร์ .....	21
3.4 แสดงลักษณะของกระจกเลเซอร์ด้านหน้าและด้านหลัง .....	22
3.5 แสดงโครงสร้างของแควิตีที่มีกระจกเลเซอร์ประกอบอยู่ .....	22
3.6 แสดงแถวความดันที่ใช้ในระบบเลเซอร์ .....	23

## สารบัญญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.7 แสดงปี่มสัญญาณภาคที่ใช้ในระบบเลเซอร์ .....	24
3.8 แสดงแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงสำหรับประจุตัวเก็บประจุหลัก .....	25
3.9 แสดงวงจรซึ่งเกิดคาปาซิเตอร์คิซซาร์จ .....	25
3.10 แสดงสปาร์คแก๊ปรุ่น GP-15B ของบริษัท EG&G .....	26
3.11 แสดงลักษณะการทำงานของสปาร์คแก๊ป .....	26
3.12 หม้อแปลงกระตุ้นไฟฟ้าแรงดันสูงรุ่น TR-1700 ของบริษัท EG&G .....	27
3.13 แสดงวงจรสร้างสัญญาณในการกระตุ้นสปาร์คแก๊ป .....	28
3.14 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจรกระตุ้นช่องเลเซอร์ .....	28
3.15 แสดงระบบเลเซอร์ที่ประกอบเสร็จแล้ว .....	29
4.1 แสดงไดอะแกรมการจ่ายแก๊สให้ช่องเลเซอร์ .....	30
4.2 แสดงการวางอุปกรณ์ในการปรับระนาบกระจกเลเซอร์ .....	31
4.3 แสดงการต่อวงจรเพื่อทดสอบวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้น .....	32
4.4 แสดงการทดสอบการทำงานของวงจรกระตุ้นเลเซอร์ .....	33
4.5 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์วัดพลังงานของแสงเลเซอร์ .....	35
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของเลเซอร์กับแรงดันไฟฟ้าที่อัตราส่วน ของแก๊สผสมต่าง ๆ กัน .....	37
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของเลเซอร์กับแรงดันไฟฟ้า เมื่อกระจกเลเซอร์มีการสะท้อนแสง 60% ,75% และ 80% .....	39
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเลเซอร์กับ ระยะทางจากช่องเลเซอร์ .....	42
4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของแสงเลเซอร์กับแรงดันไฟฟ้าเมื่อตัวเก็บประจุหลัก มีค่า 0.01 0.015 และ 0.02 ไมโครฟารัด.....	44
4.10 แสดงลักษณะของการคิซซาร์จที่เกิดขึ้นภายในช่องเลเซอร์.....	45
4.11 แสดงลักษณะภาคตัดขวางของลำแสงเลเซอร์ที่ตรวจสอบได้ .....	46
4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของแสงเลเซอร์กับระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น เมื่อระบบเลเซอร์ทำงานที่ความถี่ 0.5 Hz.....	49

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 กล่าวนำ

จากทฤษฎีของไอน์สไตน์ ในปี ค.ศ. 1917 ซึ่งอธิบายเกี่ยวกับหลักการของการปลดปล่อยพลังงานแบบกระตุ้นจากอะตอม จากหลักการดังกล่าวได้ถูกศึกษาค้นคว้าและวิจัยจนทำให้ได้แสงที่มีคุณสมบัติพิเศษ คือ มีความถี่เดียว มีทิศทางที่แน่นอน มีค่าความเข้มแสงสูงมาก และมีการบานของแสงน้อยมาก เรียกแสงชนิดนี้ว่า เลเซอร์ (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation หรือ LASER) ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการขยายความเข้มแสงโดยการปลดปล่อยแบบกระตุ้น ในปี ค.ศ. 1960 เลเซอร์เครื่องแรกของโลกได้ถูกสร้างโดย ที เอช ไมมาน (T.H. Maimann) คือ รูบี้เลเซอร์ (Ruby Laser) ส่วนในปี ค.ศ. 1964 คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ (Carbondioxide Laser) เครื่องแรกได้ถูกประดิษฐ์ขึ้นโดยพาเทล (Patel) แห่งห้องปฏิบัติการเบลล์ (Bell Laboratory) ต่อมาได้มีการประดิษฐ์และผลิตเลเซอร์ชนิดต่าง ๆ ออกมามากมาย เช่น ไนโตรเจนเลเซอร์ (Nitrogen Laser) อาร์กอนเลเซอร์ (Argon Laser) ดายเลเซอร์ (Dye Laser) ฮีเลียมนีออนเลเซอร์ (He-Ne Laser) แย็กเลเซอร์ (YAG Laser) เป็นต้น

ระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ที่อาศัยการกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ (Transversely Excited Atmospheric Pressure Carbondioxide Laser) หรือเรียกย่อ ๆ ว่า ทีอีเอ คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ (TEA-CO<sub>2</sub> Laser) แก๊สในระบบเลเซอร์ชนิดนี้ต้องได้รับการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าเป็นพัลส์ระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ความดันบรรยากาศ โดยจะทำการดิสชาร์จด้วยกระแสสูงในช่วงเวลาสั้น ๆ แสงเลเซอร์ที่ได้ออกมาจะมีทิศทางตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า ซึ่งจะมีพัลส์ที่แคบและมีกำลังสูง การกระตุ้นให้เกิดการดิสชาร์จได้ที่ความดันสูงจนถึงความดันบรรยากาศหรือสูงกว่า จำเป็นต้องนำเอาหลักการพรีไอออนไนซ์เข้ามาช่วยเพื่อให้เกิดการดิสชาร์จได้ง่ายและมีความสม่ำเสมอ

### 1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ เพื่อออกแบบและสร้างระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ รวมทั้งศึกษาการทำงานและทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของระบบเลเซอร์ที่สร้างขึ้นมา

### 1.3 หลักการใหม่ของวิทยานิพนธ์

เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปเป็นแบบกระตุ้นตามแนวแกนของหลอด และให้แสงเลเซอร์แบบต่อเนื่อง ซึ่งระบบเลเซอร์ต่อเนื่องแบบนี้จะต้องทำให้ภายในระบบเป็นสูญญากาศก่อนแล้วจึงค่อยบรรจุแก๊สเข้าไปที่ความดันที่เหมาะสม หลังจากนั้นจึงทำการดิสชาร์จซึ่งจะเป็นการดิสชาร์จตามแนวแกนของหลอด และกำลังของเลเซอร์ที่ได้ไม่สูงมากนักเพราะว่าความดันของแก๊สที่ใช้งานนั้นค่อนข้างต่ำ ระบบเลเซอร์แบบต่อเนื่องจะใช้กับงานที่เป็นงานตัดเสี้ยวส่วนใหญ่ ไม่สามารถใช้กับงานเจาะ หรือ แกะสลักของที่แข็งมากๆ ได้

จากปัญหาข้างต้นนี้ การสร้างระบบเลเซอร์ที่มีกำลังสูงจำเป็นต้องเพิ่มความดันของแก๊สในระบบให้สูงขึ้นและต้องการการดิสชาร์จที่เหมาะสม ระบบคาร์บอนไดออกไซด์ที่สร้างในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้สนามไฟฟ้ากระตุ้นช่องเลเซอร์ในทิศทางตั้งฉากกับแนวลำแสงเลเซอร์ที่ออกมา และได้นำเอาหลักการพรีไอออนไนซ์เข้ามาช่วยให้การดิสชาร์จเกิดขึ้นได้ง่ายที่ความดันบรรยากาศหรือสูงกว่า ซึ่งทำให้ได้แสงเลเซอร์มีลักษณะเป็นพัลส์ และมีพลังงานสูง จึงสามารถนำไปใช้กับงานตัด งานเจาะ หรืองานแกะสลักได้

### 1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

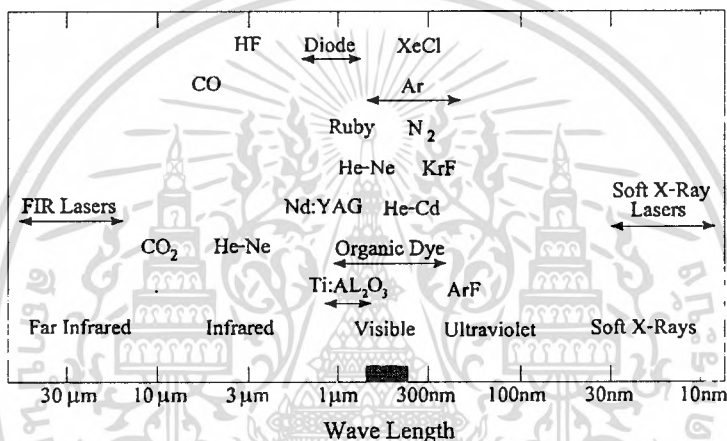
ในงานวิทยานิพนธ์นี้เป็นการออกแบบและสร้างระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ ซึ่งระบบเลเซอร์จะประกอบด้วย ช่องเลเซอร์ วงจรกระตุ้นช่องเลเซอร์ และระบบแก๊ส แล้วทำการทดลองและศึกษาคุณสมบัติของระบบเลเซอร์ที่สร้างขึ้นมา โดยจะทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของเลเซอร์กับแรงดันไฟฟ้าที่อัตราส่วนผสมของแก๊สต่างๆ กัน หาอัตราส่วนของแก๊สผสมที่เหมาะสมที่สุดกับระบบเลเซอร์ที่สร้างขึ้น หาประสิทธิภาพของระบบเลเซอร์ที่สร้างขึ้น หาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของเลเซอร์กับแรงดันไฟฟ้าเมื่อกระแสเลเซอร์มีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงค่าต่าง ๆ กัน หากค่าการบานของเลเซอร์จากระบบเลเซอร์ที่สร้างขึ้น ศึกษาคุณสมบัติการพรีไอออนไนซ์ที่สร้างขึ้น และศึกษาลักษณะของภาคตัดขวางของแสงเลเซอร์ที่ตรวจสอบได้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีของทิวอิเล็การ์บอนไดออกไซด์เลเซอร์

### 2.1 หลักการของเลเซอร์ [1]

แสงเลเซอร์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเกิดจากการขยายความเข้มแสงโดยการปลดปล่อยแบบกระตุ้น แสงเลเซอร์แต่ละชนิดจะมีความยาวคลื่นเฉพาะตัวซึ่งความยาวคลื่นของเลเซอร์ชนิดต่าง ๆ ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงช่วงความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ชนิดต่าง ๆ

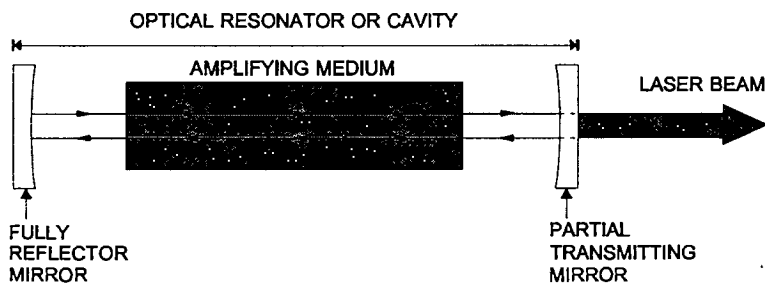
ในการที่จะทำให้เกิดแสงเลเซอร์จะต้องมีองค์ประกอบสำคัญ 3 องค์ประกอบคือ

1. สารตัวกลางเลเซอร์ (laser medium) เป็นสารที่มีคุณสมบัติที่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอะตอมหรือโมเลกุลได้ ซึ่งมีหลายประเภทคือ แก๊ส ของแข็ง ของเหลว หรือสารกึ่งตัวนำ

2. การทำให้เกิดประชากรผกผันขึ้นในสารตัวกลางเลเซอร์ (laser pumping) เป็นการกระตุ้นหรือให้พลังงานแก่สารตัวกลางเลเซอร์ เพื่อกระตุ้นให้อะตอมหรือโมเลกุลในสารตัวกลางเลเซอร์เปลี่ยนระดับพลังงานไปอยู่ในสถานะถูกกระตุ้น (excited state) วิธีการกระตุ้นที่นิยมใช้สำหรับระบบเลเซอร์ทั่วไปมีอยู่หลายแบบ เช่น ใช้แสงความเข้มสูงจากหลอดแฟลช ใช้ไฟฟ้า ใช้เลเซอร์ เป็นต้น

3. แคววิตี (cavity) ประกอบด้วยกระจกเลเซอร์ 2 ชิ้น เพื่อทำหน้าที่ให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากขบวนการปลดปล่อยแบบกระตุ้นสะท้อนกลับไปมาผ่านสารตัวกลางเลเซอร์ จนทำให้เกิดแสงเลเซอร์ออกมาจากระบบ ระบบเลเซอร์อย่างง่ายถูกแสดงไว้ในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบของระบบเลเซอร์

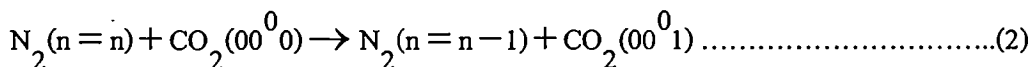
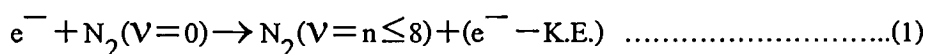
### 2.1.1 กลไกการกระตุ้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ [2]

ในการกระตุ้นสารตัวกลางเลเซอร์จำเป็นต้องจ่ายพลังงานให้กับ โมเลกุลหรืออะตอมเพื่อให้อัตราเปลี่ยนระดับพลังงานไปอยู่ในสถานะถูกกระตุ้น และเมื่อมันตกกลับมาอยู่ในสถานะที่มีระดับพลังงานต่ำกว่าก็จะปลดปล่อยโฟตอน (photon) ออกมาด้วย เมื่อโฟตอนนี้ถูกขยายความเข้มแสงโดยกระจกเลเซอร์จนถึงจุดๆ หนึ่งก็จะทำให้เกิดแสงเลเซอร์ออกมา

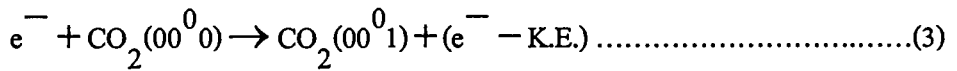
สำหรับในระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์นั้น สารตัวกลางเลเซอร์ที่ใช้จะเป็นแก๊สผสมของ  $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He}$  ซึ่งเราจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับแก๊สเพื่อเป็นการกระตุ้นให้โมเลกุลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เปลี่ยนระดับพลังงานไปอยู่ในสถานะถูกกระตุ้น เพราะว่าการเกิดแสงเลเซอร์ได้เราต้องทำให้สารตัวกลางเลเซอร์อยู่ในสภาวะประชากรผกผัน (inversion population) ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่ปกติก็คือ ต้องทำให้โมเลกุลของสารตัวกลางเลเซอร์ในที่นี้คือ โมเลกุลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไปอยู่ในสถานะถูกกระตุ้นจำนวนมาก ๆ ซึ่งมากกว่าสถานะพื้น เพื่อที่จะได้มีโฟตอนจำนวนมากเกิดขึ้นเมื่อมันเปลี่ยนระดับพลังงานสู่สถานะที่มีระดับพลังงานต่ำกว่า

ขั้นตอนการกระตุ้นโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์จากสถานะพื้น ( $0\ 0^0\ 0$ ) ให้ไปอยู่ในสถานะถูกกระตุ้น ( $0\ 0^0\ 1$ ) จะเริ่มจากเราให้พลังงานไฟฟ้ากับแก๊สจนเกิดการดิสชาร์จจะเป็นการถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน และอิเล็กตรอนเหล่านี้จะถ่ายเทพลังงานให้กับแก๊สผสมอีกทีโดยการชน ซึ่งสามารถอธิบายได้คือ

1. การที่อิเล็กตรอนจะถ่ายเทพลังงานให้กับ โมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์อาจจะมี 2 ทางคือ ทางแรกอิเล็กตรอนจะถ่ายเทพลังงานให้กับโมเลกุลของไนโตรเจนก่อน และโมเลกุลของไนโตรเจนจะถ่ายเทพลังงานให้กับโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์อีกที เนื่องจากสถานะถูกกระตุ้นของ โมเลกุลของไนโตรเจนมีค่าใกล้เคียงกับสถานะถูกกระตุ้นของ โมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ดังแสดงในสมการที่ 1 และ 2



ทางที่สองจะเป็นการที่อิเล็กตรอนถ่ายเทพลังงานให้กับโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ โดยตรง โดยการชนซึ่งแสดงในสมการที่ 3

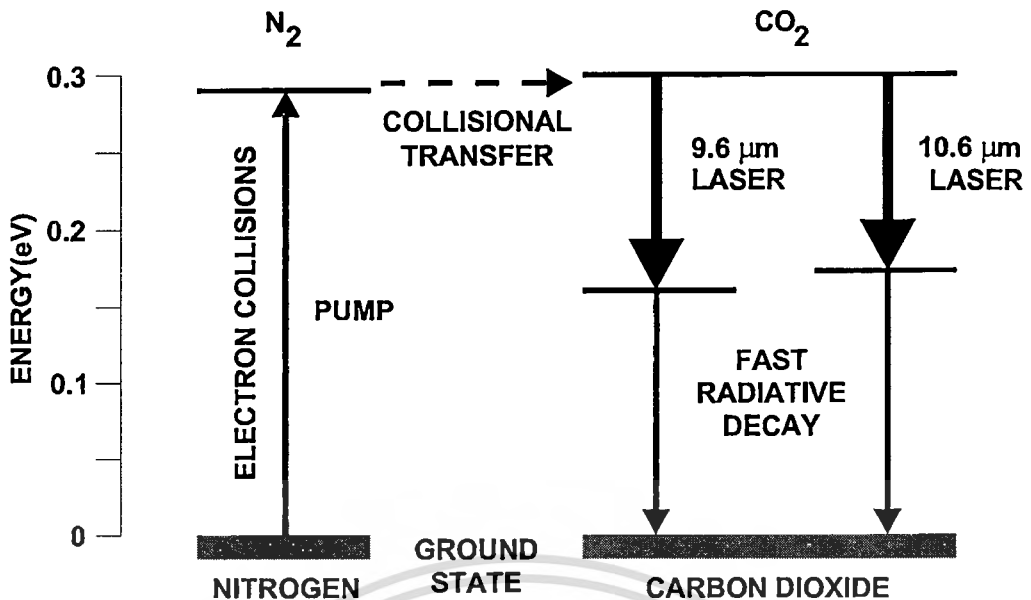


2. เมื่อโมเลกุลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่สถานะกระตุ้นแล้ว ที่สถานะนี้โมเลกุลจะไม่เสถียรและจะตกกลับลงมายังระดับพลังงานที่ต่ำกว่า การที่โมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ตกกลับลงมายังระดับพลังงานที่ต่างกันจะให้โฟตอนที่มีความยาวคลื่นต่างๆ กันตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนระดับพลังงานของโมเลกุลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

Upper state	Vibration transition		Wavelength ( $\mu\text{m}$ )
	Upper state	Lower state	
$00^0_1$	$02^0_0$	9.6	
$00^0_1$	$10^0_0$	10.6	
$01^1_1$	$03^1_0$	11.0	
$01^1_1$	$11^1_0$	11.0	
$14^0_0$	$05^1_0$	13.2	
$21^0_0$	$12^1_0$	13.5	
$14^0_0$	$13^1_0$	16.6	
$03^1_1$	$02^2_1$	17.0	
$24^0_0$	$23^1_0$	17.4	

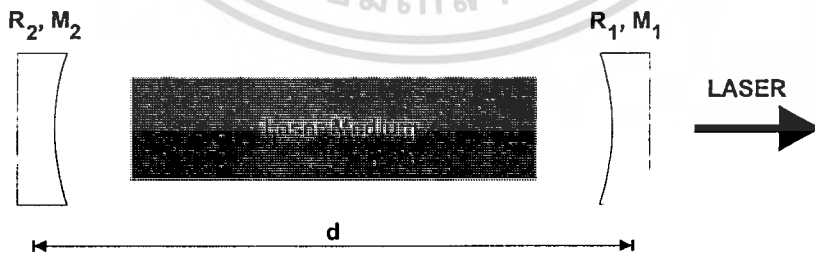
จากตารางที่ 1 จะเห็นว่า จะเกิดโฟตอนที่มีความยาวคลื่นหลายค่าเมื่อโมเลกุลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีการเปลี่ยนระดับพลังงาน แต่การเปลี่ยนระดับพลังงานที่จะทำให้เกิดแสงเลเซอร์คือ การเปลี่ยนระดับพลังงานจากระดับ  $00^0_1$  ไปยัง  $10^0_0$  และ  $00^0_1$  ไปยัง  $02^0_0$  ทำให้ได้โฟตอนที่มีความยาวคลื่น 10.6  $\mu\text{m}$  และ 9.6  $\mu\text{m}$  ตามลำดับ ซึ่งเราควรทำให้เกิดสภาวะประชากรผกผันขึ้นให้สถานะดังกล่าวคือ ควรทำให้สถานะ  $00^0_1$  มีโมเลกุลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนมาก ๆ และทำให้โมเลกุลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณน้อย ๆ ที่สถานะ  $10^0_0$  และ  $02^0_0$  ซึ่งทำได้โดยเติมแก๊สฮีเลียมและเพื่อจะช่วยให้ตกกลับสู่สถานะพื้นเร็วขึ้นซึ่งเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเลเซอร์ให้มากขึ้น ซึ่งขบวนการดังกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงค่าระดับพลังงานของโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจนที่เกี่ยวข้องกับการเกิดแสงเลเซอร์

### 2.1.2 การขยายความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในควิตี้ [3]

ทราบแล้วว่าเมื่อกระตุ้นสารตัวกลางเลเซอร์ โมเลกุลของสารตัวกลางเลเซอร์จะเปลี่ยนระดับพลังงานไปยังสถานะที่ถูกกระตุ้นและให้โฟตอนหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาเมื่อเปลี่ยนกลับสู่ระดับพลังงานที่ต่ำกว่า จะต้องทำการขยายความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยบังคับให้โฟตอนเคลื่อนที่ผ่านสารตัวกลางเลเซอร์หลายๆ ครั้ง ซึ่งจะอาศัยออปติคัลเรโซเนเตอร์ (optical resonator) ซึ่งเป็นระบบทางแสงที่ประกอบด้วยกระจก  $M_1$  และ  $M_2$  ซึ่งส่วนมากจะใช้กระจกโค้งเว้าหรือแบนราบ ผิวขัดเรียบเป็นพิเศษและเคลือบด้วยสารไดอิเล็กตริกที่มีค่าการสะท้อนกลับ  $R_1$  และ  $R_2$  ตามลำดับ และกระจก  $M_1$  และ  $M_2$  วางห่างกันเป็นระยะ  $d$  ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงออปติคัลเรโซเนเตอร์ที่มีกระจก  $M_1$  และ  $M_2$  ปิดท้ายระบบมีค่าการสะท้อนกลับ  $R_1$  และ  $R_2$  ตามลำดับ

กระจก  $M_1$  และ  $M_2$  จะสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการเปลี่ยนระดับพลังงานของโมเลกุลของสารตัวกลางเลเซอร์ กลับไปมาผ่านสารตัวกลางเลเซอร์ซึ่งเป็นการขยายความเข้มของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าให้สูงขึ้น แต่ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเพิ่มถึงค่าหนึ่งเท่านั้นซึ่งเป็นจุดที่เกิดเลเซอร์ (laser oscillation) ที่จุดนี้พลังงานที่เพิ่มให้กับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการปลดปล่อยแบบถูกกระตุ้นในสารตัวกลางเลเซอร์จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานของแสงเลเซอร์ที่ส่งออกมาจากระบบเรโซเนเตอร์

การที่จะทำให้เกิดแสงเลเซอร์ออกจากระบบเรโซเนเตอร์ได้นั้น จะต้องทำให้ค่าเกน (gain) ของระบบมีค่ามากกว่าการสูญเสีย (loss) ของระบบซึ่งเป็นการสูญเสียพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อาจเกิดจากโฟตอนบางส่วนหลุดออกไปจากแนวแกนการสะท้อนของกระจกเลเซอร์ หรือเกิดจากการดูดกลืนและการกระเจิงภายในสารตัวกลางเลเซอร์ ค่าเกนรวมเมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางครบหนึ่งรอบภายในเรโซเนเตอร์ (net round trip gain) แสดงดังสมการที่ 4

$$G = R_1 R_2 \exp[2(\beta - \alpha)d] \dots \dots \dots (4)$$

โดยที่	$R_1, R_2$	เป็นค่าการสะท้อนกลับที่กระจก $M_1$ และ $M_2$
	$\beta$	เป็นค่าเกนของระบบเลเซอร์
	$\alpha$	เป็นค่าการสูญเสียพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเนื่องจากการดูดกลืน (absorbtion) และการกระเจิง (scattering)
	$d$	เป็นความยาวของเรโซเนเตอร์

จากสมการที่ 4 เราจะเห็นว่า ค่า  $G$  จะขึ้นกับค่า  $R_1, R_2$  และ  $L$  ซึ่งเป็นตัวแปรของระบบออปติคัลเรโซเนเตอร์ และถ้าค่า  $G$  เปลี่ยนไปจะมีผลต่อการเกิดเลเซอร์ดังนี้

ถ้า	$G > 1$	จะเกิดเลเซอร์มาก
	$G < 1$	ไม่เกิดเลเซอร์
	$G = 1$	เป็นสภาวะพอดีที่จะทำให้เกิดเลเซอร์ซึ่งค่าเกนจะมีค่าเท่ากับการสูญเสียรวมของพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

### 2.1.3 เสถียรภาพของออปติคัลเรโซเนเตอร์ (Stability of optical resonator)

ในการออกแบบออปติคัลเรโซเนเตอร์ ต้องแน่ใจว่าในขณะที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่สะท้อนกลับไปกลับมาระหว่างกระจกเลเซอร์จะไม่มีคลื่นออก (spilt over) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากระบบเรโซเนเตอร์เพราะจะทำให้เกิดการสูญเสียทางแสงมากซึ่งจะมีผลต่อค่าเกนรวม ( $G$ ) ของระบบ ดังนั้นในการออกแบบออปติคัลเรโซเนเตอร์ให้มีเสถียรภาพดี คือ จะต้องเลือกกระจกเลเซอร์  $M_1$  และ  $M_2$  ซึ่งมีรัศมีความโค้ง  $R_1$  และ  $R_2$  ตามลำดับให้เหมาะสมเพื่อจะส่งผลให้การสะท้อนกลับไปมาของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่ใกล้แนวแกนแสง (optical axis) มากที่สุด เพื่อให้มีการสูญเสียพลังงานน้อย ดังนั้นสิ่งที่ต้องพิจารณาในการออกแบบระบบออปติคัลเรโซเนเตอร์ให้มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสถียรภาพจะต้องพิจารณาตัวแปรในระบบเรโซเนเตอร์คือ รัศมีความโค้งของกระจกทั้งสอง และ ระยะห่างระหว่างกระจกทั้งสอง (d) ซึ่งมีเงื่อนไขของการมีเสถียรภาพ (stability condition) ตาม ความสัมพันธ์ ดังสมการที่ 5 และ 6

$$g_1 = 1 - (d/R_1) \dots\dots\dots(5)$$

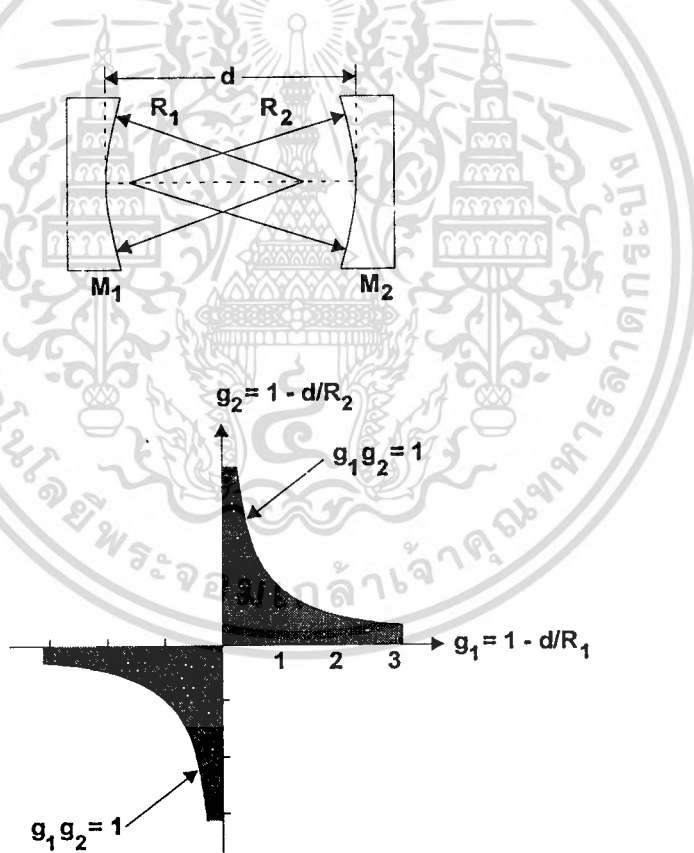
$$g_2 = 1 - (d/R_2) \dots\dots\dots(6)$$

ซึ่งถ้า  $0 < g_1 g_2 < 1$  ระบบเรโซเนเตอร์มีเสถียรภาพ

แต่ถ้า  $g_1 g_2 < 0$  หรือ  $g_1 g_2 > 1$  แสดงว่าระบบเรโซเนเตอร์ไม่มีเสถียรภาพ

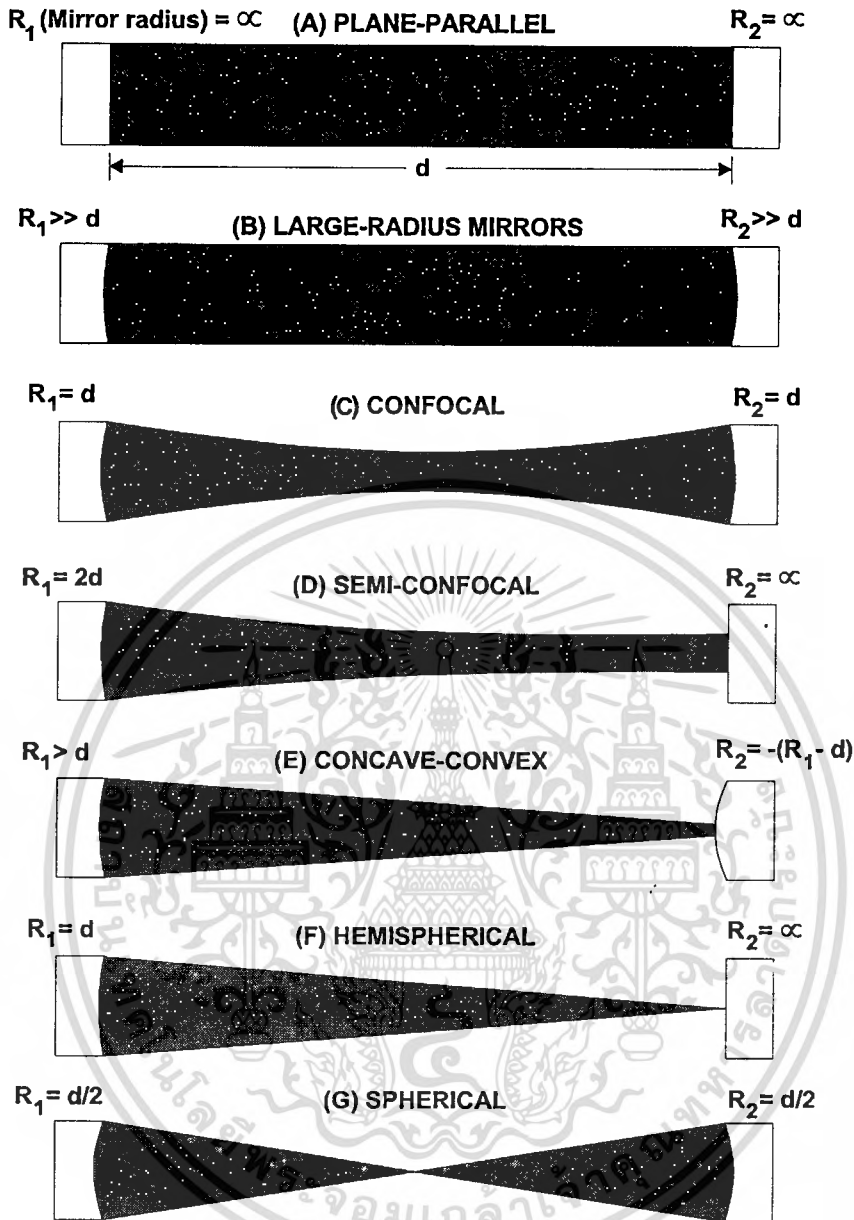
ซึ่งสามารถแสดงเสถียรภาพของระบบเรโซเนเตอร์เมื่อใช้กระจก  $M_1$  และ  $M_2$  ได้ดังรูปที่

2.5 โดยที่พื้นที่ส่วนที่แรเงาจะเป็นส่วนที่มีเสถียรภาพ



รูปที่ 2.5 แสดงไดอะแกรมของเรโซเนเตอร์ที่มีเสถียรภาพซึ่งส่วนที่แรเงาคือส่วนที่มีเสถียรภาพ

รูปแบบของการเลือกใช้กระจกและการจัดระยะระหว่างกระจกอาจมีได้หลาย ๆ แบบ ซึ่ง รูปแบบของการจัดกระจก  $M_1$  และ  $M_2$  ที่ทำให้ระบบเรโซเนเตอร์มีเสถียรภาพนั้นแสดงไว้ในรูปที่ 2.6 ซึ่งพื้นที่ส่วนที่แรเงาคือส่วนที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสะท้อนกลับไปมาระหว่างกระจกทั้งสองบน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



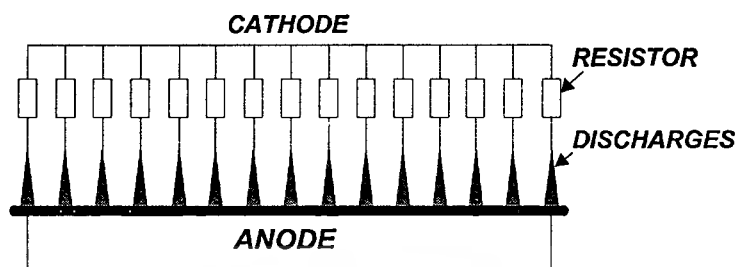
รูปที่ 2.6 แสดงการจัดกระจกเลเซอร์ที่ทำให้ระบบเรโซเนเตอร์มีเสถียรภาพที่เป็นไปได้

## 2.2 ประวัติและการพัฒนาที่อิเควร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ [4,5]

การพัฒนาคาร์บอน ไดออกไซด์เลเซอร์มุ่งเน้นที่จะสร้างให้มีกำลังงานสูงขึ้นเพื่อที่จะสามารถใช้งานอุตสาหกรรมได้หลายหลากขึ้น ดังนั้นแนวทางในการพัฒนาระบบคาร์บอน ไดออกไซด์เลเซอร์ให้ได้กำลังงานสูงๆ นั้น จะทำโดยการเพิ่มความดันของแก๊สผสมและทำการกระตุ้นแก๊สผสมในทิศทางตั้งฉากกับแนวแกนแสงในช่วงเวลาสั้นๆ ทำให้แสงเลเซอร์ที่ได้มีลักษณะเป็นพัลส์ และมีกำลังงานสูงมาก เรียกแสงเลเซอร์ชนิดนี้ว่า ทีอี คาร์บอนไดออกไซด์ เลเซอร์ (Transversely Excited at Atmospheric Pressure Carbondioxide Laser) เป็นแสงเลเซอร์ที่มี

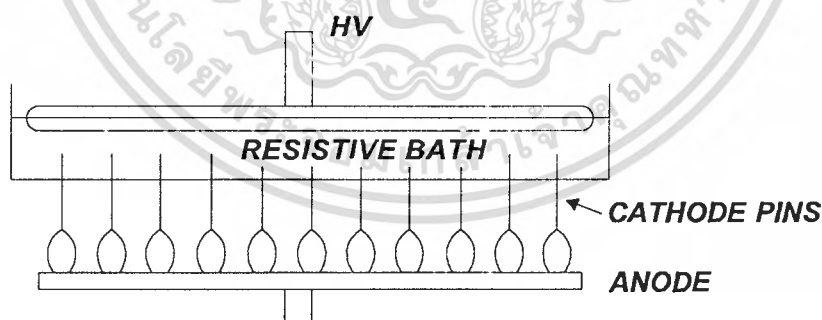
ความยาวคลื่น 10.6  $\mu\text{m}$

คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศนี้ถูกสร้างขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1970 โดยโบลีเออร์ (Beaulieu) [6] ซึ่งเขาได้ทำการดิสชาร์จผ่านแก๊สโดยใช้เข็มเป็นขั้วไฟฟ้าโดยที่เข็มแต่ละอันจะต่อตัวต้านทานอนุกรมไว้ดังรูปที่ 2.7



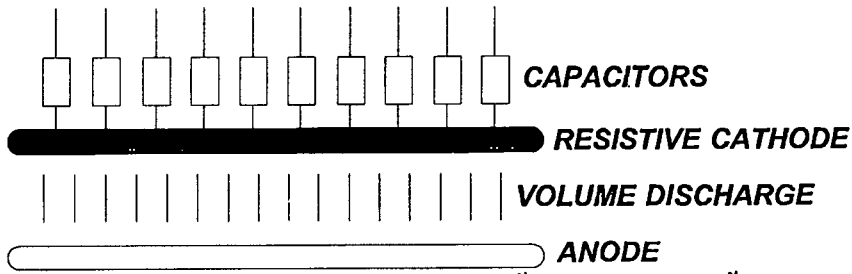
รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างของทีอีเอคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ของโบลีเออร์

การที่ต่อความต้านทานอนุกรมไว้นั้นก็เพื่อเป็นการป้องกัน ไม่ให้การดิสชาร์จที่เกิดขึ้นเปลี่ยนสภาพเป็นการอาร์ค (arc discharge) เพราะการดิสชาร์จที่ความดันบรรยากาศนี้ค่อนข้างจะไม่มีเสถียรภาพ ซึ่งการดิสชาร์จที่เกิดขึ้นจะมีแนวโน้มจะเปลี่ยนเป็นการเกิดการอาร์คได้ง่ายมาก แต่อย่างไรก็ตามเมื่อระบบเลเซอร์นี้ใช้งานไปนานๆ จะทำให้ตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมไว้อาจเกิดการลัดวงจรหรือเสียหายได้เนื่องจากมีการดิสชาร์จผ่านตัวต้านทานด้วยกระแสสูงหลายครั้ง แต่ปัญหาดังนี้ได้รับการพัฒนาแก้ไขโดยใช้สารละลายที่นำไฟฟ้าได้ เช่น NaCl ประกอบอยู่ร่วมกับขั้วไฟฟ้าดังรูปที่ 2.8 ซึ่งสารละลายนี้จะประพติตัวคล้ายกับตัวต้านทานต่ออนุกรมอยู่กับเข็มที่เป็นขั้วไฟฟ้า



รูปที่ 2.8 แสดงระบบเลเซอร์ที่โครงสร้างของขั้วแคโทดประกอบอยู่กับสารละลายที่นำไฟฟ้าได้

การพัฒนาต่อมาจะใช้ขั้วไฟฟ้าเป็นแท่งยาวแทนขั้วไฟฟ้าที่เป็นเข็ม และเปลี่ยนตัวต้านทานเป็นตัวเก็บประจุเพื่อที่จะจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับขั้วไฟฟ้าตามรูปที่ 2.9 ซึ่งการดิสชาร์จจะเกิดขึ้นที่ผิวของขั้วไฟฟ้า



รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างของระบบเลเซอร์ที่ประกอบด้วย ขั้วไฟฟ้า 2 อัน ซึ่งขั้วแคโทดมีตัวเก็บประจุประกอบอยู่

การปรับปรุงระบบเลเซอร์ในช่วงต่อมาจะเน้นเกี่ยวกับการออกแบบให้การคายสารจที่เกิดขึ้นในระบบเลเซอร์เกิดได้อย่างสม่ำเสมอและไม่มีการอาร์คเกิดขึ้น เนื่องจากปัญหาเหล่านี้ยังมีอยู่ในช่วงแรก ๆ ดังนั้นการแก้ไขปัญหานี้จะศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบรูปร่างของขั้วไฟฟ้า (electrode profile) โดยจะออกแบบให้ความเครียดสนามไฟฟ้าที่ผิวมีค่าน้อยที่สุด เพื่อลดปัญหาการเกิดการอาร์คที่ผิวของขั้วไฟฟ้า การทำให้การคายสารจเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอนั้นจำเป็นต้องสร้างอิเล็กตรอนจำนวนหนึ่งขึ้นมาในปริมาตรที่เกิดการคายสารจก่อน (preionization) ซึ่งอิเล็กตรอนเหล่านี้จะได้เป็นจุดเริ่มในการเกิดการคายสารจที่สม่ำเสมอในระบบเลเซอร์ (main discharge) ซึ่งในการสร้างอิเล็กตรอนนี้สามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีการสปาร์ค วิธีการสร้างโคโรนา วิธีการใช้ลำอิเล็กตรอน เป็นต้น ซึ่งวิธีการเหล่านี้จะช่วยทำให้เกิดการคายสารจได้ง่ายขึ้น และมีความสม่ำเสมอภายในปริมาตรที่เกิดการคายสารจ ซึ่งระบบเลเซอร์เหล่านี้มีประสิทธิภาพประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

### 2.3 วิธีการสร้างอิเล็กตรอนเพื่อช่วยในการคายสารจ (Preionization techniques) [7,8]

ในระบบที่ไอเอ คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ การคายสารจที่เกิดขึ้นจะต้องมีความสม่ำเสมอ (uniform glow discharge) มาก ๆ ตลอดแนวขั้วไฟฟ้า การที่จะทำให้การคายสารจมีเสถียรภาพที่ดีที่ความดันสูงนั้นพาลเมอร์ได้อธิบายไว้ว่า สภาวะเริ่มต้นในการเกิดการคายสารจนั้น ควรมีอิเล็กตรอนอยู่อย่างสม่ำเสมอภายในปริมาตรที่จะเกิดการคายสารจ ปกติในระบบที่ไอเอคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ควรมีจำนวนอิเล็กตรอนเริ่มต้นอยู่ภายในปริมาตรที่จะเกิดการคายสารจอย่างน้อย  $10^4$  ตัวต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งจะขึ้นกับองค์ประกอบหลาย ๆ อย่าง เช่น ความดันของแก๊สผสม อัตราส่วนผสมของแก๊ส ค่าสนามไฟฟ้าต่อความดันของแก๊สผสม ( $E/p$ ) เป็นต้น

วิธีการสร้างอิเล็กตรอนเพื่อช่วยในการคายสารจนั้นอาจเรียกว่า การพรีไอออนไนซ์ (preionization) ก็ได้ โดยจะเป็นการทำให้แก๊สแตกตัวเป็นไอออนซึ่งจะเป็นการสร้างอิเล็กตรอนโดยทางอ้อม ดังนั้นการพรีไอออนไนซ์แก๊สผสมก่อนที่การคายสารจหลัก (main discharge) จะเกิดขึ้นจะช่วยให้อิเล็กตรอนสามารถเกิดการคายสารจได้ที่ความดันสูง ๆ ได้ และยังช่วยให้มีความสม่ำเสมอของสนามไฟฟ้า (uniform electric field) ในระหว่างที่มีการคายสารจอีกด้วย

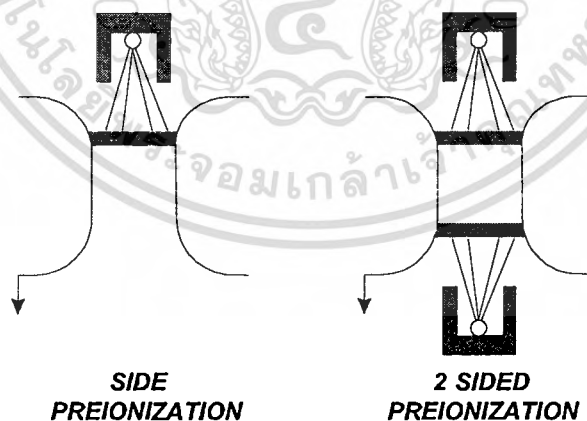
วิธีการสร้างอิเล็กตรอนเพื่อช่วยในการดิสชาร์จนั้นมีหลายวิธีที่สามารถใช้งานได้ผล ซึ่งพอจะสรุปได้คือ

### 2.3.1 การพรีไอออนไนซ์โดยการสปาร์ค (Spark preionization)

วิธีการนี้จะวางจุดที่เกิดการสปาร์คเป็นแถวใกล้ ๆ กับขั้วไฟฟ้าตามแนวยาวซึ่งอาจวางข้างหนึ่งหรือทั้งสองข้าง มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้เกิดแสงอุลตราไวโอเลตความเข้มสูงจากการสปาร์ค โดยที่แสงอุลตราไวโอเลตนี้จะไปทำให้อนุภาคของแก๊สผสมเกิดการแตกตัวโดยขบวนการโฟโตไอโอไนเซชัน (photoionization) ทำให้ได้อิเล็กตรอนขึ้นมาจำนวนหนึ่งภายในปริมาตรที่จะเกิดการดิสชาร์จก่อนที่จะเกิดการเบรคความดันหรือดิสชาร์จขึ้นภายในช่องเลเซอร์ โดยที่ปริมาณอิเล็กตรอนที่เกิดจากการพรีไอออนไนซ์จะมีผลต่อเสถียรภาพในการดิสชาร์จของระบบเลเซอร์ด้วย

การพรีไอออนไนซ์โดยการสปาร์คนี้จะมีระดับในการพรีไอออนไนซ์สูงมาก ซึ่งซีควินและทิวลิปได้ทำการวัดความหนาแน่นของอิเล็กตรอนจากการพรีไอออนไนซ์โดยการสปาร์ค ซึ่งพบว่าวัดจำนวนของอิเล็กตรอนได้มากกว่า  $10^{10}$  ตัวต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ความดันแก๊สของคาร์บอนไดออกไซด์ 700 ทอร์ ซึ่งมากกว่าจำนวนอิเล็กตรอนต่ำสุดที่ควรจะมีในปริมาตรที่เกิดการดิสชาร์จที่พาลเมอร์ (Palmer) [9] บอกไว้คือ  $10^4$  ตัวต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดังนั้นการทำให้เกิดการดิสชาร์จได้อย่างสม่ำเสมอมากๆ โดยวิธีนี้ควรจะต้องวางจุดที่เกิดการสปาร์คไว้หลายๆ จุด ตลอดแนวขั้วไฟฟ้าที่เกิดการดิสชาร์จ

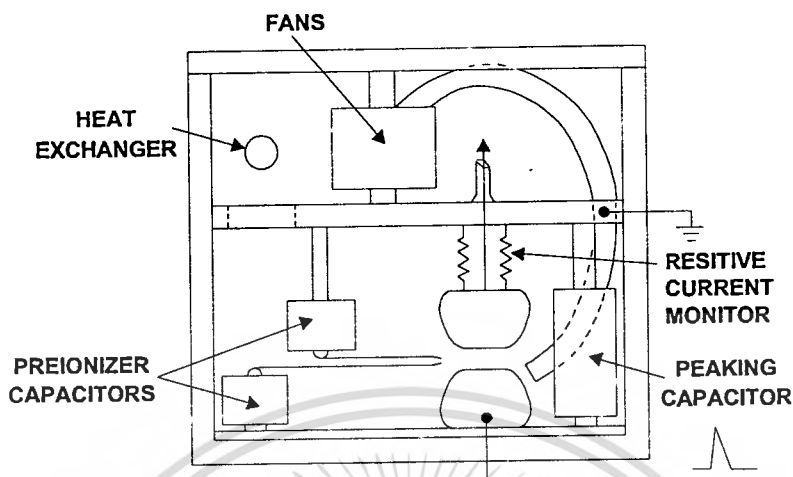
ทอลแมน (Tallman) [10] ได้แสดงลักษณะการวางจุดสปาร์คในการสร้างอิเล็กตรอนเพื่อให้ได้รับการดิสชาร์จอย่างสม่ำเสมอดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะของการวางจุดสปาร์คที่ด้านข้างของขั้วไฟฟ้า

จากรูปที่ 2.10 แสดงให้เห็นว่า การทำให้เกิดอิเล็กตรอนเพียงด้านเดียวนั้นถ้าวางจุดที่เกิดการสปาร์คห่างจากขั้วไฟฟ้าการดิสชาร์จอย่างสม่ำเสมอจะเกิดขึ้นได้ยาก แต่ถ้าวางจุดที่จะเกิดการสปาร์คไว้ทั้งสองด้านของขั้วไฟฟ้าการดิสชาร์จจะเกิดขึ้นได้สม่ำเสมอขึ้น แต่ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่กระจายเข้าไปในพื้นที่ที่เกิดการดิสชาร์จยังไม่ค่อยสม่ำเสมอนัก

ตัวอย่างของระบบทีอีเอ คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ที่ใช้การพรีไอออนไนซ์แบบสปาร์ค  
 เข้าช่วยแสดงไว้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ระบบเลเซอร์ที่ใช้การสปาร์คแบบต่อเนื่องช่วยในการดิสชาร์จ

จากรูปที่ 2.11 เป็นการพรีไอออนไนซ์โดยการสปาร์คแบบต่อเนื่อง (discrete spark preionization) ซึ่งนิยมใช้กับระบบเลเซอร์ที่ทำงานด้วยความถี่สูง (high repetition rate) และมีการไหลของแก๊สตามขวางกับขั้วไฟฟ้าด้วยความเร็วสูง (fast transversely gas flow) ซึ่งระบบนี้จะให้แสงอุลตราไวโอเลตที่มีความเข้มสูง

### 2.3.2 การพรีไอออนไนซ์โดยอาศัยโคโรนา (Corona preionization)

วิธีการนี้จะสร้างโคโรนาในบริเวณใกล้ ๆ กับปริมาตรที่เกิดการดิสชาร์จ การเกิดโคโรนาจะทำให้เกิดแสงอุลตราไวโอเลตจำนวนมากซึ่งจะช่วยผลิตอิเล็กตรอนขึ้นมาเพื่อช่วยในการดิสชาร์จ การพรีไอออนไนซ์โดยอาศัยโคโรนาอาจจะมีระดับการพรีไอออนไนซ์ไม่สูงมากนัก แต่ถ้าวางจุดที่เกิดโคโรनावิวอย่างสม่ำเสมอแล้วจะเป็นการช่วยให้การดิสชาร์จที่เกิดขึ้นมีความสม่ำเสมอมากขึ้นได้

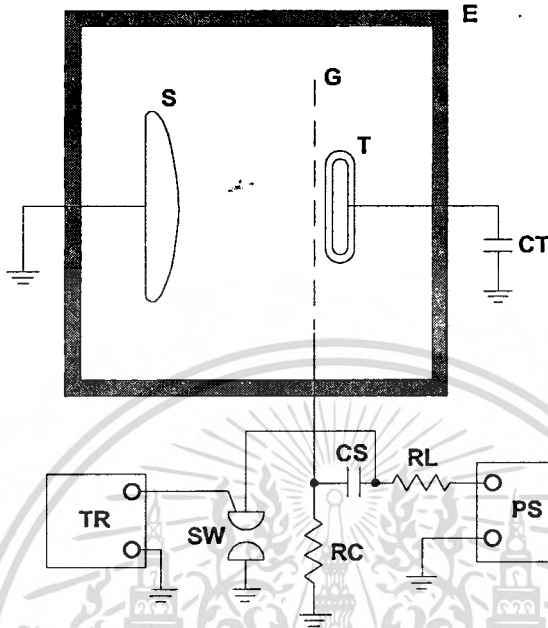
การที่จะสร้างแสงอุลตราไวโอเลตขึ้นมา นั้นอาจสร้างมาจากโคโรนาหรือการดิสชาร์จก็ได้ มีการพัฒนาวิธีการดิสชาร์จสำหรับช่วยในการพรีไอออนไนซ์ขึ้นมา เรียกว่า การคายประจุสองครั้ง (double discharge techniques) วิธีการนี้การคายประจุจะแบ่งเป็นสองช่วงคือ ช่วงแรกจะเป็นการคายประจุจากการทริก (trigger discharge) เพื่อช่วยสร้างอิเล็กตรอนขึ้นมาในปริมาตรที่จะเกิดการดิสชาร์จ จากนั้นการดิสชาร์จหลักจะเกิดตามมาเมื่อปริมาณของอิเล็กตรอนที่เกิดจากช่วงแรกมีปริมาณที่เหมาะสม

รูปแบบของการพรีไอออนไนซ์โดยอาศัยโคโรนา มีหลายวิธีคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2.1 ระบบ Mesh cathode double discharge

วิธีการนี้ลาแฟลมเม่ (Laflamme) [11] ได้ใช้โคโรนามาช่วยในการฟรีไอออนไนซ์เป็นครั้งแรก มีลักษณะดังรูปที่ 2.12



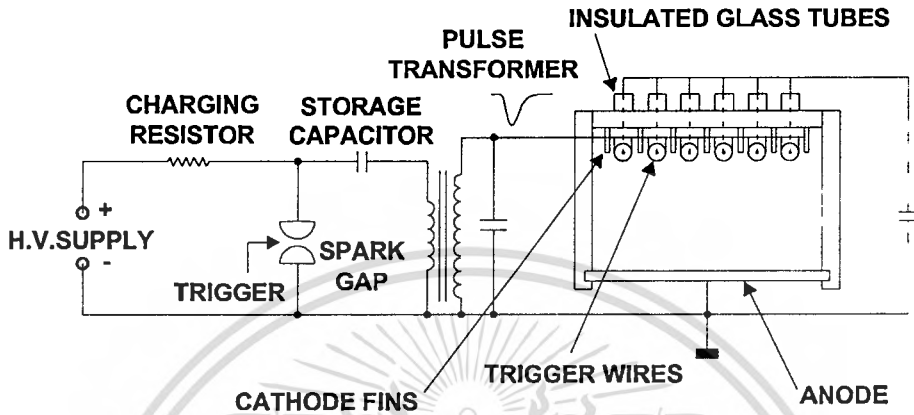
รูปที่ 2.12 แสดงระบบ Mesh cathode double discharge laser

จากรูป 2.12 วงจรประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า G เป็นเส้นลวดแผ่นบาง ๆ (mesh) เป็นขั้วแคโทดอยู่ใกล้กับขั้วไฟฟ้า T ซึ่งถูกหุ้มด้วยไดอิเล็กตริก และขั้วไฟฟ้า S เป็นขั้วแอโนดถูกออกแบบให้เกิดสนามไฟฟ้าได้อย่างสม่ำเสมอเพื่อให้เหมาะสมในการเกิดการดิซชาร์จหลัก การทำงานจะเป็นดังนี้คือ พลังงานที่ประจุเข้าไปใน CS จะมาจากแหล่งจ่ายไฟ PS เมื่อสวิตช์ SW ถูกกระตุ้นให้ทำงาน ขั้วไฟฟ้า G จะเปลี่ยนเป็นขั้วลบ เป็นผลให้เกิดสนามไฟฟ้าค่าสูงมากระหว่างขั้ว G และ T จะทำให้เกิดการอาร์คจากโคโรนาจุดเล็ก ๆ มากมายจากขั้ว G ไปยังขั้ว T โดยที่ขั้ว T จะหุ้มไดอิเล็กตริกไว้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการอาร์คอย่างต่อเนื่อง การอาร์คจากโคโรนานี้จะสร้างอิเล็กตรอนให้เข้าไปอยู่ในปริมาตรที่เกิดการดิซชาร์จระหว่างขั้ว G และ S โดยขบวนการโฟโตไอออนไนเซชันจากแสง UV เมื่อสนามไฟฟ้าระหว่างขั้ว S และ G มีค่าเหมาะสมคือ มีค่าสูงพอ จะเกิดการดิซชาร์จหลักจาก CS จากขั้ว S ไปยังขั้ว G

ดังนั้นจุดประสงค์ของการฟรีไอออนไนซ์โดยอาศัยโคโรนาก็คือ เพื่อสร้างจุดที่เกิดโคโรนาให้มีจำนวนมากๆ และเพื่อสร้างอิเล็กตรอนเริ่มต้นในปริมาตรที่เกิดการดิซชาร์จโดยอาศัยขบวนการโฟโตไอออนไนเซชันจากแสง UV

### 2.3.2.2 ระบบ Finned-cathode double discharge

การพรีไอออนไนซ์โดยอาศัยโคโรนาวิธีนี้ถูกพัฒนาโดยดูมานซินดังแสดงในรูปที่ 2.13 ซึ่งจากภาพการเกิดโคโรนาจะเกิดขึ้นระหว่างขั้ว cathode fins และ trigger wire ส่วนการทำงานต่างๆ จะมีลำดับขั้นตอนคล้ายๆ กับของลาเปลมเม่

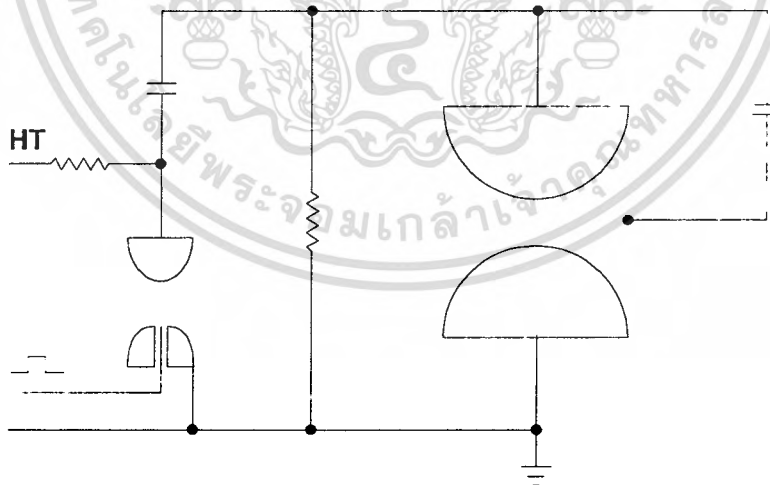


รูปที่ 2.13 แสดงระบบ Finned cathode double discharge laser

### 2.3.2.3 ระบบ Trigger-wire/solid-electrode double discharge

ระบบนี้ถูกสร้างโดยแลมเบอร์ตันและเพียร์สัน (Lamberton และ Pearson) [12] มีลักษณะดัง

รูปที่ 2.14



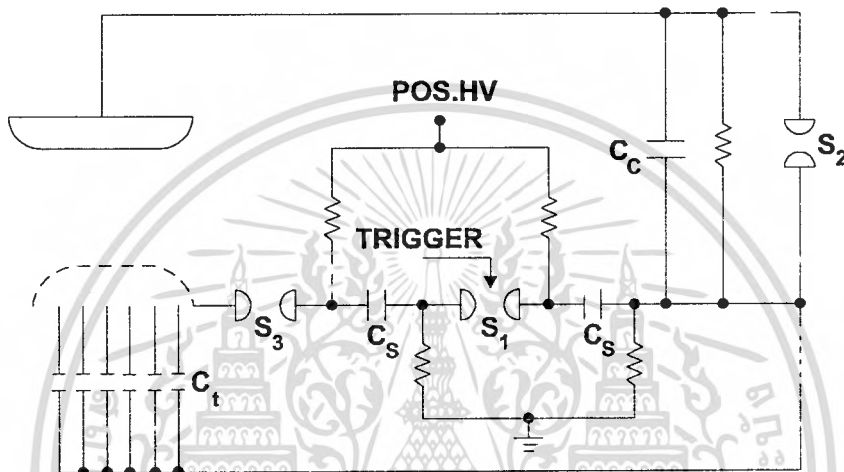
รูปที่ 2.14 แสดงระบบ Trigger-wire/solid-electrode double discharge laser

จากรูปที่ 2.14 จะวางลวดกระตุ้น (trigger wire) ไว้ขนานกับแนวแกนแสงโดยด้านหนึ่งจะต่อกับตัวเก็บประจุ (trigger capacitor) ค่าต่ำๆ ไปยังขั้วแคโทด เมื่อกระตุ้นให้สปาร์กเก็บทำงาน จะทำให้ตัวเก็บประจุหลัก (storage capacitor) จ่ายพลังงานให้กับขั้วไฟฟ้า ซึ่งการดีสชาร์จช่วงแรกที่เกิดขึ้นคือ ระหว่างลวดกระตุ้นกับขั้วแอโนด พลังงานที่ดีสชาร์จจากตัวเก็บประจุค่าต่ำๆ ที่ต่อ

อยู่กับทวกระดุนี่จะช่วยสร้างให้เกิดอิเล็กตรอนขึ้น ซึ่งอิเล็กตรอนที่เกิดจากขบวนการนี้อาจมาจาก 2 ทางคือ จากการที่แสงอุลตราไวโอเลตจากการดิสชาร์จไปทำให้เกิดตัวโดยตรง และจากขั้วแคโทดเนื่องจากแสงอุลตราไวโอเลตจากการดิสชาร์จไปกระทบตัวมันทำให้มีอิเล็กตรอนหลุดออกมา (photoemission) และหลังจากนั้นการดิสชาร์จหลักก็จะเกิดตามมา

#### 2.3.2.4 ระบบ Marx Bank excitation circuit สำหรับ double discharge

วงจรนี้ได้ถูกสร้างขึ้นโดยริชาร์ดสัน (Richardson) [13] โดยมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.15

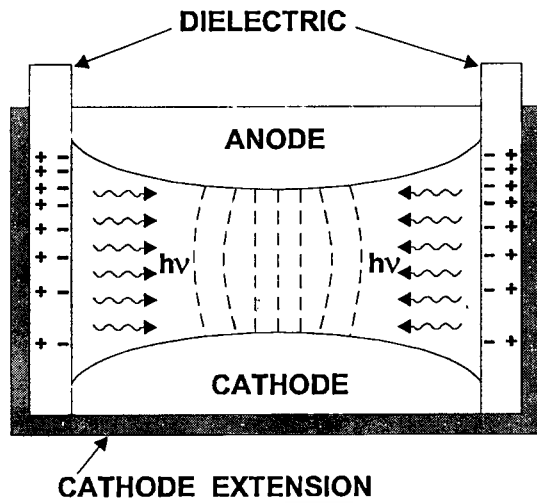


รูปที่ 2.15 แสดงโครงสร้างของ Marx bank excitation circuit สำหรับ double discharge laser

จากรูปตัวเก็บประจุหลักคือ  $C_c$  ส่วน  $S_1$ ,  $S_2$  และ  $S_3$  เป็นสปรักเก็ป ส่วนขั้วไฟฟ้าขั้วล่าง คือ แอนโคมมีลักษณะคล้ายตะแกรง ส่วนขั้วบนคือ แคโทด วงจรนี้จะสร้างโคโรน่าขึ้นระหว่างขั้วแอโนด และเข็มกระตุ้น (trigger pins) ที่มีตัวเก็บประจุ  $C_t$  ต่ออยู่ ซึ่งจะเป็นการช่วยสร้างอิเล็กตรอนสำหรับการเกิดการดิสชาร์จหลักต่อไป

#### 2.3.2.5 ระบบ Dielectric corona preionization

ระบบนี้จะสร้างโคโรน่าขึ้นมาบนผิวของแผ่นไดอิเล็กตริก ซึ่งเกิดจากหลักการที่ว่า เมื่อจ่ายสนามไฟฟ้าค่าสูง ๆ ให้กับแผ่นไดอิเล็กตริก จะมีผลทำให้สนามไฟฟ้าที่ผิวของไดอิเล็กตริกมีค่าสูงและไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโคโรนาดิสชาร์จที่ผิวของแผ่นไดอิเล็กตริก ดังนั้นถ้าเราใช้แผ่นไดอิเล็กตริกมาเป็นโครงสร้างของวงจรฟรีไอออนไนซ์ในระบบเลเซอร์แล้ว การเกิดโคโรน่าที่ผิวของแผ่นไดอิเล็กตริกจะช่วยสร้างอิเล็กตรอนเริ่มต้นขึ้นเพื่อช่วยให้การดิสชาร์จหลักที่เกิดขึ้นมีความสม่ำเสมอ ซึ่งโครงสร้างของระบบนี้ถูกพัฒนาโดยฮาสสัน (Hasson) [14] และทีมงาน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.16



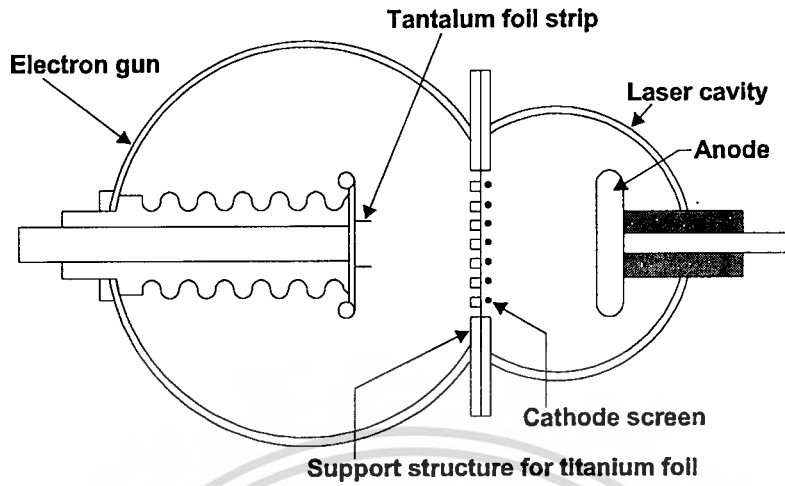
รูปที่ 2.16 แสดงโครงสร้างของระบบ Dielectric corona preionization

### 2.3.3 การพรีไอออนไนซ์ด้วยรังสีเอกซ์ (X-ray preionization)

การพรีไอออนไนซ์ที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนแรก เป็นระบบพรีไอออนไนซ์ที่ถูกรวมอยู่ในช่องเลเซอร์เลย (internal preionization) แต่การพรีไอออนไนซ์ด้วยรังสีเอกซ์นี้จะกระทำจากภายนอกระบบ (external preionization) โดยจะยิงรังสีเอกซ์จากแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ (x-ray generator) จากภายนอกเข้าไปยังช่องเลเซอร์เพื่อทำการพรีไอออนไนซ์แก๊สผสมโดยตรง (direct preionization) ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า วิธีนี้สามารถให้ระดับของการพรีไอออนไนซ์มากกว่าการพรีไอออนไนซ์แบบสปาร์คหรืออาศัยโคโรน่าถึง 4 เท่าตัว ดังนั้นจึงช่วยให้มีความสม่ำเสมอในการดิสชาร์จมากกว่า แต่เนื่องจากต้นทุนสูงจึงไม่ค่อยนิยมใช้กัน

### 2.3.4 การพรีไอออนไนซ์โดยใช้ลำอิเล็กตรอน (Electron beam preionization)

การพรีไอออนไนซ์วิธีนี้จะเป็นการให้อิเล็กตรอนโดยตรงแก่ระบบเลเซอร์ ซึ่งเป็นการพรีไอออนไนซ์จากภายนอกอีกวิธีหนึ่ง การทำงานของระบบเลเซอร์ชนิดนี้จะจ่ายอิเล็กตรอนเข้าไปภายในช่องเลเซอร์ตลอดเวลา คือ ทั้งในช่วงเวลาการพรีไอออนไนซ์และระหว่างเวลาที่มีเกิดการดิสชาร์จเกิดขึ้น ดังนั้นวิธีนี้จึงสามารถช่วยให้เกิดเลเซอร์ได้ในสภาวะที่มีความดันของแก๊สผสมสูงๆ และในปริมาตรที่เกิดการดิสชาร์จมีขนาดใหญ่ ทั้งยังช่วยให้ระบบเลเซอร์สามารถทำงานที่ความถี่สูงๆ ได้ ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่าเราสามารถใช้อิเล็กตรอนในการควบคุมการเกิดแสงเลเซอร์ก็ได้ (electron-beam controlled laser) ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ข้อดีอีกประการหนึ่งของระบบการพรีไอออนไนซ์โดยใช้ลำอิเล็กตรอนก็คือ แหล่งกำเนิดลำอิเล็กตรอนที่ใช้งานนั้นจะแยกเป็นอิสระจากวงจรไฟฟ้าที่ใช้กระตุ้นเลเซอร์ ซึ่งจะตัดปัญหาการเกิดการเบรคดาวน์ได้เองและปัญหาการอาร์คที่เกิดขึ้นได้



รูปที่ 2.17 แสดงระบบ Electron beam controlled CO<sub>2</sub> laser



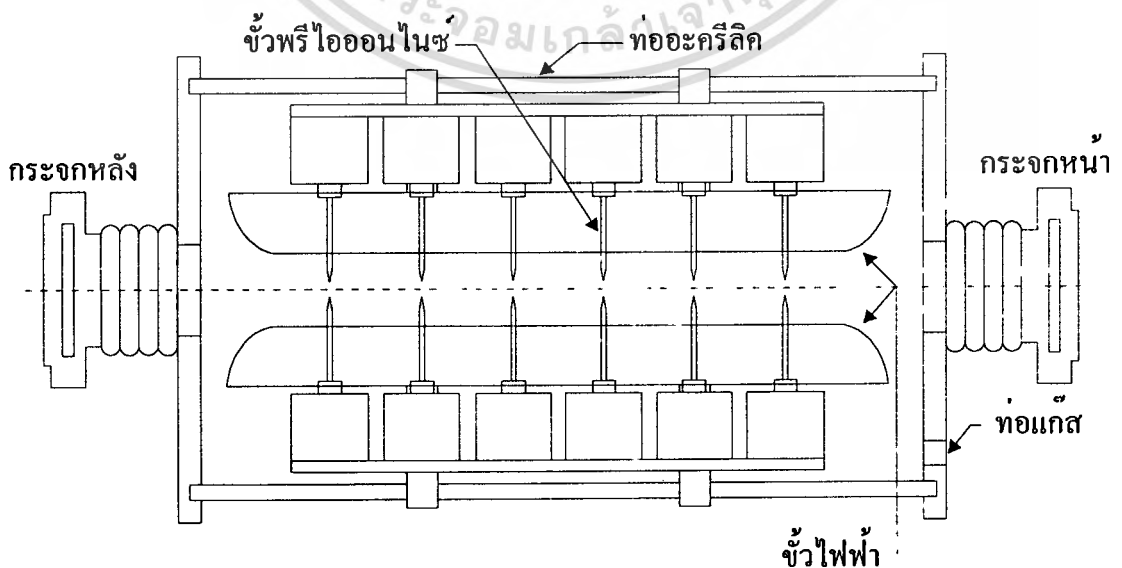
### บทที่ 3

## การออกแบบและสร้างระบบที่ไอคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อประกอบเป็นระบบที่ไอคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ [15] โดยมีรายละเอียดของส่วนประกอบดังนี้

### 3.1 ช่องเลเซอร์ (Laser channel)

ช่องเลเซอร์เป็นส่วนที่จะมีการคิซซาร์จเกิดขึ้นภายใน ในงานวิจัยนี้ช่องเลเซอร์จะสร้างมาจากท่ออะครีลิคกลมมีขนาดยาว 40 เซนติเมตร หนา 5 มิลลิเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ปิดด้านหัวและด้านท้ายของท่ออะครีลิคด้วยแผ่นอะครีลิคหนา 1.5 เซนติเมตร ซึ่งแผ่นอะครีลิคนี้จะยึดติดกับตัวยึดกระจกเลเซอร์ซึ่งสามารถที่จะปรับระนาบของกระจกเลเซอร์ได้ และมีทางให้เกิดผสมเข้าประกอบอยู่ด้วย ภายในท่ออะครีลิคจะประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ซึ่งจะติดอยู่กับตัวเก็บประจุที่เป็นส่วนประกอบของวงจรฟรีไอออนไนซ์ขั้วละ 12 ตัว วางห่างในระยะเท่าๆ กันและที่ปลายของตัวเก็บประจุจะยึดเข็มแหลมซึ่งทำจากทังสเตนไว้ ในช่องเลเซอร์นี้จะทำการซีล (seal) ไว้ทั้งที่รอยต่อทางเข้าของขั้วไฟฟ้าทั้งสองอันและแผ่นอะครีลิคที่ยึดกระจกเลเซอร์ด้านหน้าและด้านหลัง เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศภายนอกเข้าไปทั้งยังช่วยให้ระบบสะอาดอีกด้วย ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.1



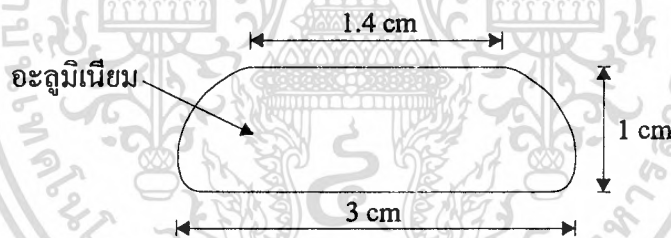
รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของช่องเลเซอร์

ในการสร้างส่วนประกอบของช่องเลเซอร์มีรายละเอียดดังนี้ คือ

### 3.1.1 ขั้วไฟฟ้า (Electrode) [16,17]

ในระบบเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวาง (transversely excited laser system) นั้นจะทำงานที่ความดันสูงและง่ายต่อการเกิดการอาร์คระหว่างขั้วไฟฟ้างั้นการดิสราร์จที่เกิดขึ้นต้องมีความสม่ำเสมอมาก ดังนั้นขั้วไฟฟ้าที่ใช้ควรพิถีพิถันในการสร้างเพื่อให้ขณะเกิดการดิสราร์จสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมีค่าสม่ำเสมอตามผิวของขั้วไฟฟ้า ซึ่งรูปร่างผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าที่ทำให้สนามไฟฟ้าที่ผิวมีค่าสม่ำเสมอถูกออกแบบโดยชาง (Chang) [18]

ขั้วไฟฟ้าในระบบนี้ทำจากแท่งอะลูมิเนียมขนาด  $320 \times 30 \times 10$  mm<sup>3</sup> โดยจะทำการแต่งผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าให้เป็นไปตามการออกแบบของชาง เพื่อลดความเครียดสนามไฟฟ้าบริเวณขอบหรือมุมของขั้วไฟฟ้าให้มีค่าน้อยที่สุด และผิวบริเวณที่เกิดการดิสราร์จควรจัดให้มันที่สุด เพื่อการดิสราร์จที่เกิดขึ้นจะได้มีความสม่ำเสมอตลอดแนวยาวของขั้วไฟฟ้าที่วางขนานกัน ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการลบมุมของขั้วไฟฟ้าให้มีลักษณะโค้งมนทุก ๆ ด้าน ระยะห่างของขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในการวิจัยนี้มีค่า 1.4 เซนติเมตร ซึ่งภาพแสดงภาคตัดขวางของขั้วไฟฟ้าแสดงไว้ในรูปที่ 3.2

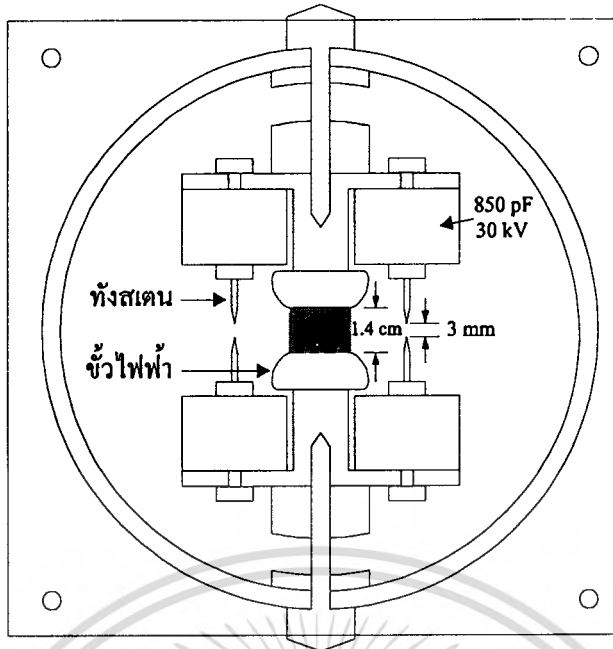


รูปที่ 3.2 แสดงภาคตัดขวางของขั้วไฟฟ้าที่ทำจากอะลูมิเนียม

### 3.1.2 วงจรพรีไอออไนซ์ (Preionization circuit)

ในการช่วยให้การดิสราร์จเกิดขึ้นได้ที่ความดันบรรยากาศหรือสูงกว่าจำเป็นจะต้องสร้างอิเล็กทรอนิกส์เริ่มต้นขึ้นมาในระบบก่อน ระบบพรีไอออไนซ์ในระบบเลเซอร์นี้ใช้วิธีการพรีไอออไนซ์โดยการสปาร์ค การสปาร์คจากวงจรนี้จะสร้างแสงอุลตราไวโอเลตขึ้นมาซึ่งจะไปทำให้แก๊สแตกตัวได้อิเล็กตรอนออกมา ซึ่งจะเป็นจุดเริ่มในการนำกระแสไฟฟ้าผ่านแก๊สผสมที่ใช้งานและช่วยให้การดิสราร์จเกิดขึ้นอย่างมีเสถียรภาพและสม่ำเสมอ

การสร้างจุดที่เกิดการสปาร์คจะสร้างโดยใช้ตัวเก็บประจุค่า 850 pF ทนแรงดันได้ 30 กิโลโวลต์ต่อไว้ที่ขั้วไฟฟ้าข้างละ 12 ตัว ที่ปลายของตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะต่อเข็มแหลมที่ทำจากทังสเตน ดังนั้นจุดที่เกิดการสปาร์คจะมีทั้งหมด 12 จุดวางตลอดแนวขั้วไฟฟ้า โดยปลายเข็มของตัวเก็บประจุแต่ละคู่จะวางห่างกัน 3 มิลลิเมตร โดยประมาณ ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงภาคตัดขวางของช่องเลเซอร์

### 3.1.3 กระจกเลเซอร์ (Laser mirror)

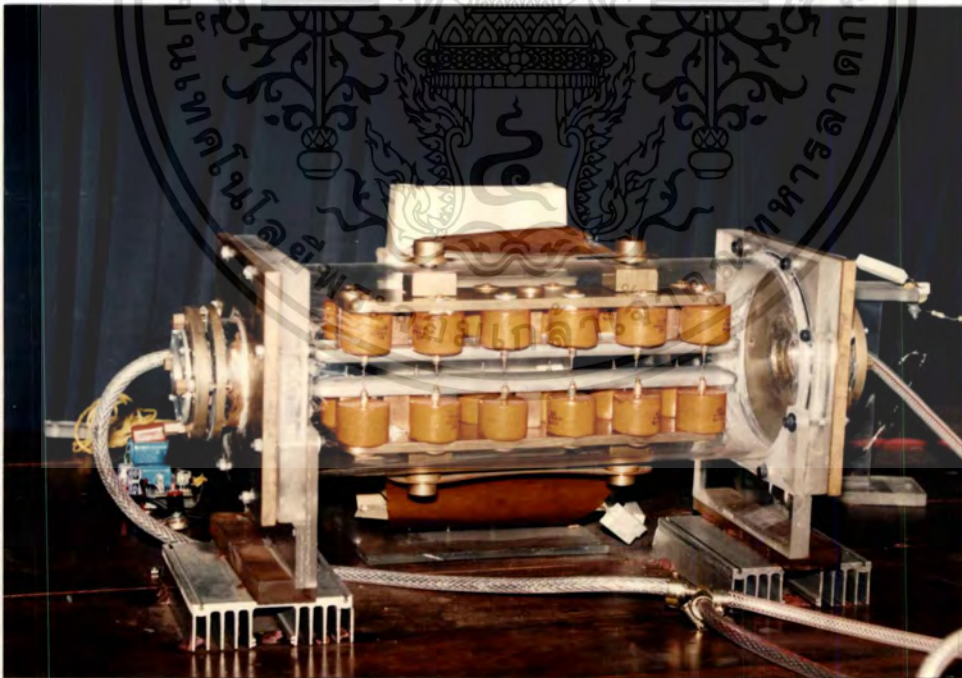
ปกติระบบเลเซอร์จะมีกระจกเลเซอร์ประกอบอยู่ที่ปลายทั้งสองข้างของแควิตี คือ กระจกเลเซอร์ด้านหน้าและกระจกเลเซอร์ด้านหลัง

**3.1.3.1 กระจกเลเซอร์ด้านหน้า** กระจกเลเซอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นกระจกเลเซอร์ที่แบนเรียบทั้งสองด้านและจะวางไว้ในด้านที่ต้องการให้แสงเลเซอร์ออกมา กระจกด้านหน้าจะมีการสะท้อนแสงได้เพียงบางส่วนเท่านั้น โดยทั่วไปมักจะใช้กระจกเลเซอร์ด้านหน้าที่มีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงเลเซอร์ 60-90 เปอร์เซ็นต์ ในงานวิจัยนี้จะใช้กระจกเลเซอร์ด้านหน้าสำหรับคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ซึ่งสะท้อนแสงที่มีความยาวคลื่น  $10.6 \mu\text{m}$  ซึ่งเนื้อกระจกจะทำจากซิงค์ซีลีไนด์ (ZnSe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระจกมีค่า 1 นิ้ว สำหรับระบบเลเซอร์ที่มีกำลังสูงๆ จำเป็นจะต้องมีระบบน้ำหล่อเย็นสำหรับกระจกเลเซอร์ด้านหน้าด้วย ซึ่งอาจใช้อากาศหรือน้ำก็ได้ เพื่อป้องกันการแตกร้าวหรือเสื่อมคุณภาพของกระจกเลเซอร์

**3.1.3.2 กระจกเลเซอร์ด้านหลัง** เป็นกระจกเลเซอร์แบบเว้า กระจกเลเซอร์ด้านหลังที่ใช้ในงานเป็นกระจกเลเซอร์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกระจก 1 นิ้ว และมีรัศมีความโค้งของกระจก 3 เมตร มีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของกระจกเลเซอร์ 100 เปอร์เซ็นต์ เพื่อต้องการให้แสงออกจากแควิตีเพียงด้านเดียวเท่านั้น โดยทั่วไปจะเลือกกระจกเลเซอร์ด้านหลังให้มีรัศมีความโค้งมากกว่าความยาวของแควิตี (d) ประมาณ 5 เท่าหรือมากกว่าเพราะจะทำให้แควิตีมีเสถียรภาพที่ดี กระจกเลเซอร์ด้านหลังจะทำจากผลึกซิลิกอน (Si) ซึ่งเคลือบผิวสะท้อนด้วยทองคำ (high reflectivity coating) ในรูปที่ 3.4 จะแสดงกระจกเลเซอร์ที่ใช้ในงานวิจัย ส่วนในรูปที่ 3.5 จะแสดงโครงสร้างของแควิตีที่มีกระจกเลเซอร์ประกอบอยู่



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะของกระจกเลเซอร์ด้านหน้าและด้านหลัง



รูปที่ 3.5 แสดงโครงสร้างของควิตีที่มีกระจกเลเซอร์ประกอบอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 ระบบแก๊ส (Gas system)

ระบบจ่ายแก๊สเข้าสู่ช่องเลเซอร์มีส่วนประกอบดังนี้คือ

3.2.1 ถังแก๊ส ประกอบด้วย ถังแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ถังแก๊สไนโตรเจน ถังแก๊สฮีเลียม ซึ่งแก๊สแต่ละถังจะถูกนำมาผสมกัน เป็นแก๊สผสม (gas mixture) ซึ่งจะนำมาใช้ในระบบเลเซอร์

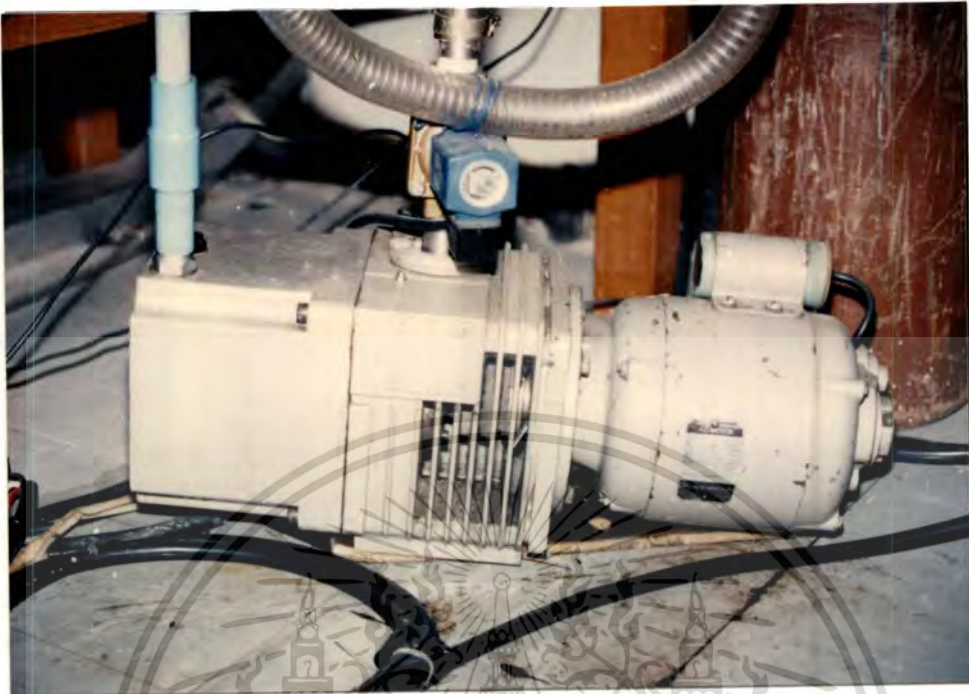
3.2.2 เกจวัดความดัน (pressure gauge) สำหรับใช้วัดความดันรวมของแก๊สผสมในช่องเลเซอร์ ซึ่งสามารถวัดความดันแก๊สได้สูงสุด 1020 มิลลิบาร์ ดังรูปที่ 3.6

3.2.3 ปั๊มสุญญากาศ (rotary pump) สำหรับใช้ดูดอากาศเพื่อช่วยทำให้ช่องเลเซอร์มีสภาพเป็นสุญญากาศก่อนจ่ายแก๊สเข้าไปในช่องเลเซอร์ มีลักษณะดังรูปที่ 3.7

3.2.4 อุปกรณ์ร่วม เช่น สายยางนำแก๊ส, วาล์ว, ข้อต่อ ฯลฯ



รูปที่ 3.6 แสดงเกจวัดความดันที่ใช้ในระบบเลเซอร์



รูปที่ 3.7 แสดงปั๊มสูญญากาศที่ใช้ในระบบเลเซอร์

### 3.3 วงจรกระตุ้นช่องเลเซอร์

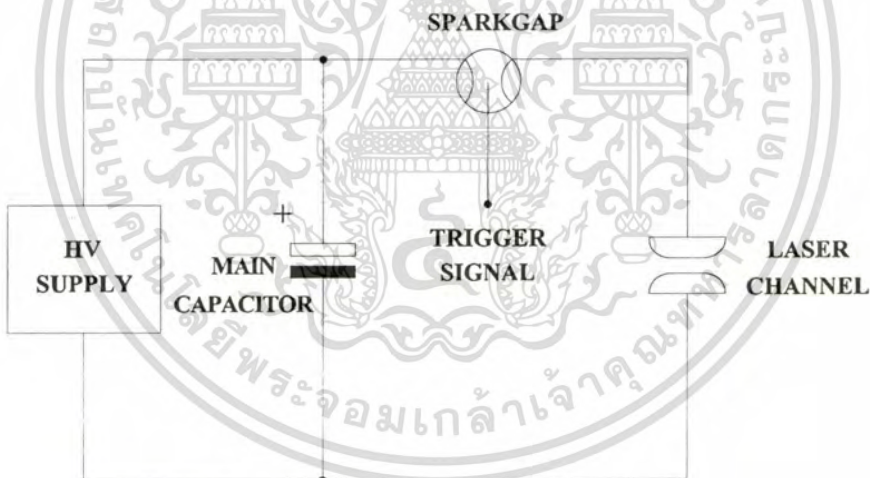
วงจรกระตุ้นช่องเลเซอร์ประกอบด้วยส่วนประกอบต่าง ๆ คือ

3.3.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง (High voltage power supply) เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุตัวเก็บประจุหลัก ในงานวิจัยนี้ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ผลิตจากบริษัท A.L.E. System Inc. รุ่น 302L เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงที่สามารถจ่ายแรงดันได้สูงสุดถึง 40 กิโลโวลต์ มีอัตราในการประจุตัวเก็บประจุ 4000 จูลต่อวินาที มีลักษณะดังรูปที่ 3.8

3.3.2 วงจรจ่ายพลังงานให้ช่องเลเซอร์ ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้วงจรชิ่งเกิลคาปาซิเตอร์ดิสชาร์จ (single capacitor discharge) ในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับช่องเลเซอร์ เพราะวงจรนี้เป็นวงจรที่มีประสิทธิภาพสูงมากในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าที่สะสมในตัวเก็บประจุไปเป็นพลังงานของแสงเลเซอร์ [19] ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 แสดงแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงสำหรับประจุตัวเก็บประจุหลัก



รูปที่ 3.9 แสดงวงจรซิงเกิลคาปาซิเตอร์คิซซาร์จ

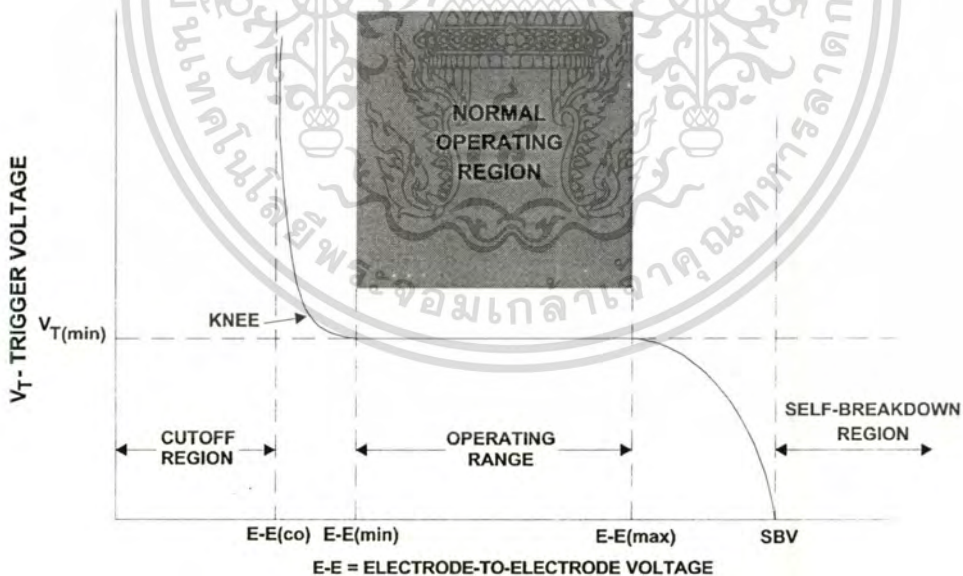
ในวงจรซิงเกิลคาปาซิเตอร์คิซซาร์จประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญสองอย่าง คือ สปาร์กแก๊ป (spark gap) และหม้อแปลงกระตุ้นไฟฟ้าแรงดันสูง (high voltage trigger transformer) โดยมีรายละเอียดดังนี้คือ

**3.3.2.1 สปาร์กแก๊ป (spark gap) [20]** ทำหน้าที่ส่งผ่านพลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุหลักไปยังช่องเลเซอร์ซึ่งเป็นพัลส์ที่ศักย์ไฟฟ้าสูง สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ใช้สปาร์กแก๊ปของบริษัท EG&G รุ่น GP-15B ดังรูปที่ 3.10 ซึ่งทำงานที่แรงดันไฟฟ้าในช่วง 25 ถึง 60 กิโลโวลต์ และต้องการแรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นให้ทำงาน (trigger voltage) อย่างน้อย 20 กิโลโวลต์ตามรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูญาติเห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงสปาร์กแก๊ปรุ่น GP-15B ของบริษัท EG&G



รูปที่ 3.11 แสดงลักษณะการทำงานของสปาร์กแก๊ป

3.3.2.2 หม้อแปลงกระตุ้นไฟฟ้าแรงดันสูง (high voltage trigger transformer) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับสปาร์กแก๊ป ทำหน้าที่สร้างแรงดันไฟฟ้าสำหรับกระตุ้นสปาร์กแก๊ปให้ทำงาน ในงานวิจัยนี้จะใช้หม้อแปลงกระตุ้นไฟฟ้าแรงดันสูงของบริษัท EG&G รุ่น TR-1700 ดังรูป

ที่ 3.12 ซึ่งใช้งานที่แรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ 200-400 โวลต์ และมีค่า turns ratio 1:70 ทำให้ได้การคำนวณค่าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิอยู่ในช่วง 15-30 กิโลโวลต์ ซึ่งจะเหมาะสมในการใช้งานร่วมกับสปาร์ค  
แก๊ปรุ่น GP-15B ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว



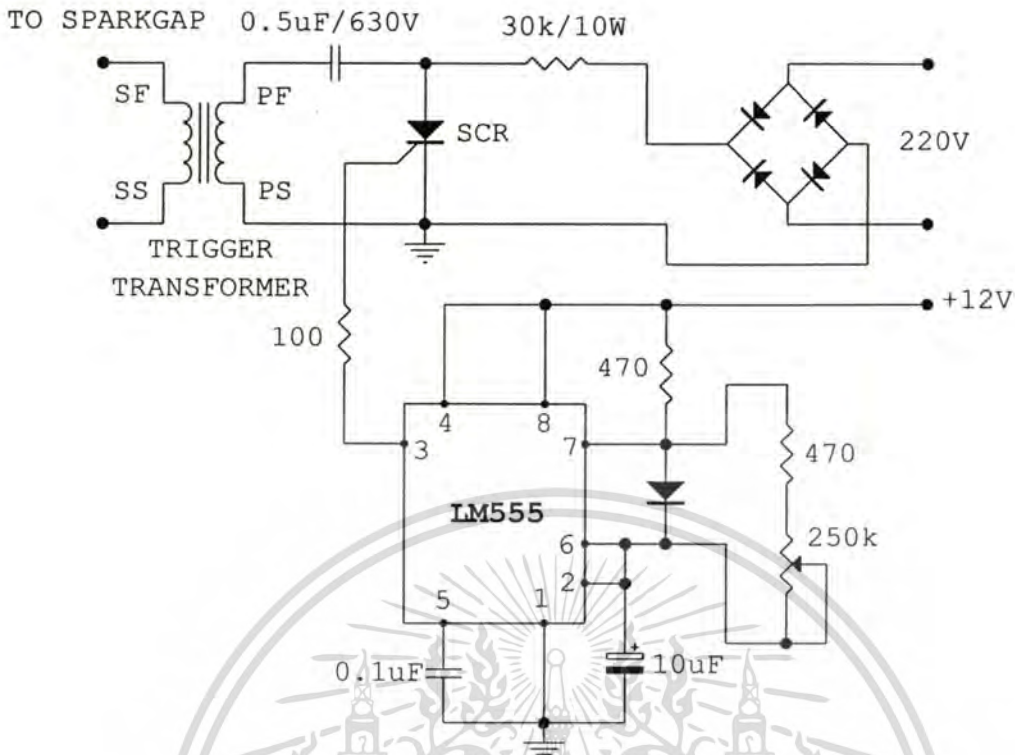
รูปที่ 3.12 หม้อแปลงกระตุ้นไฟฟ้าแรงดันสูงรุ่น TR-1700 ของบริษัท EG&G

3.3.3 วงจรสร้างสัญญาณกระตุ้น (trigger circuit) วงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นนี้เป็นวงจรสร้างสัญญาณในการกระตุ้นสปาร์คแก๊ปให้ทำงาน โดยจะต่อร่วมกับหม้อแปลงกระตุ้นไฟฟ้าแรงดันสูง การทำงานจะเป็นดังนี้คือ ไอซี 555 จะเป็นอุปกรณ์สร้างสัญญาณเพื่อกระตุ้นให้เอสซีอาร์นำกระแส เมื่อเอสซีอาร์นำกระแสจะทำให้เกิดการคายประจุที่สะสมอยู่ในตัวเก็บประจุที่แรงดันไฟฟ้า 310 โวลต์ จ่ายไปยังหม้อแปลงกระตุ้นไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อกระตุ้นสปาร์คแก๊ปต่อไป ดังแสดงในรูปที่

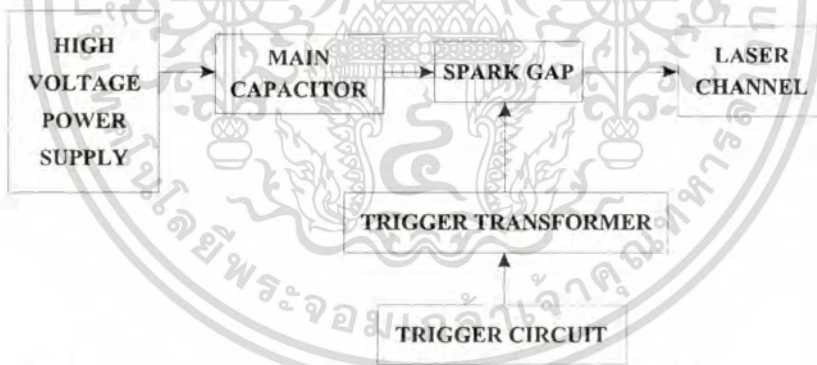
3.13

เมื่อเราประกอบวงจรกระตุ้นช่องเลเซอร์และส่วนประกอบสิ่งอื่นๆ เข้ากับช่องเลเซอร์จนเสร็จสมบูรณ์แล้ว สามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจรกระตุ้นช่องเลเซอร์ได้ ดังรูปที่ 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แสดงวงจรสร้างสัญญาณในการกระตุ้นสปาร์กแก๊ป



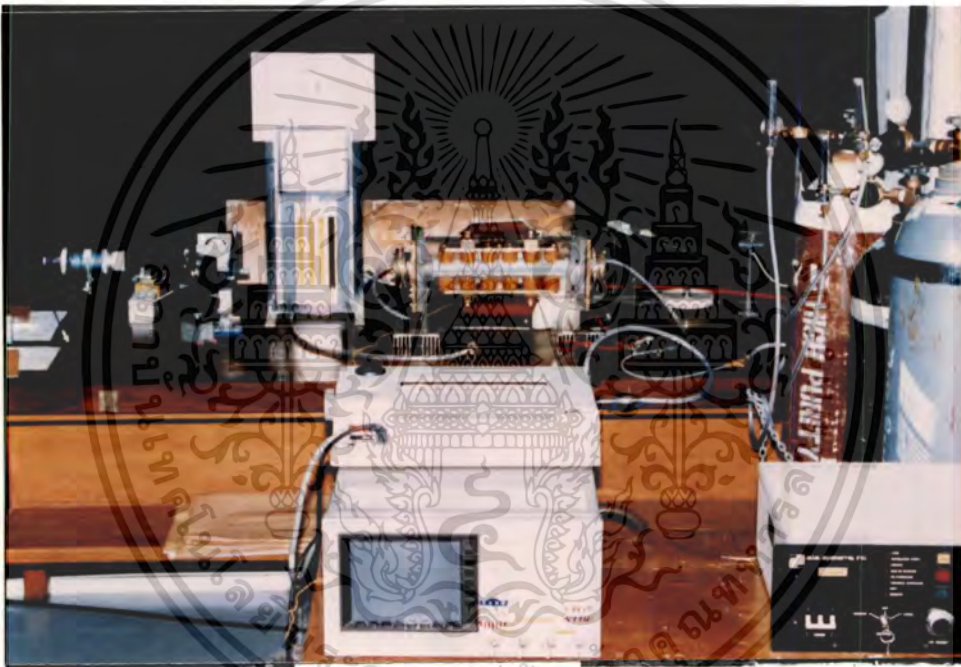
รูปที่ 3.14 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจรกระตุ้นช่องเลเซอร์

ตามรูปที่ 3.14 การทำงานจะแบ่งเป็นสองส่วนคือ แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงจะจ่ายไฟเพื่อประจุตัวเก็บประจุหลักโดยที่แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุหลักสามารถปรับได้สูงถึง 40 กิโลโวลต์ แรงดันไฟฟ้าที่คร่อมตัวเก็บประจุหลักนี้ต้องไม่เกินค่าแรงดันไฟฟ้าที่สปาร์กแก๊ปเบรคดาวน์ได้เองคือ 60 กิโลโวลต์ อีกส่วนหนึ่งวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นจะสร้างแรงดันไฟฟ้าประมาณ 21 กิโลโวลต์ส่งไปกระตุ้นสปาร์กแก๊ปให้ทำงาน เพราะว่าสปาร์กแก๊ปต้องการแรงดันกระตุ้นอย่างน้อย 20 กิโลโวลต์ถึงจะทำงาน เมื่อสปาร์กแก๊ปได้รับสัญญาณกระตุ้นให้ทำงานจะเกิดการถ่ายเทพลังงานจากตัวเก็บประจุหลักไปยังช่องเลเซอร์ ซึ่งเปรียบเสมือนมีการจ่ายไฟให้กับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเก็บประจุในวงจรฟรีไอออนไนซ์ด้วย ดังนั้นการคิซซาร์จที่เกิดขึ้นในช่องเลเซอร์จะมีสองครั้ง คือ ครั้งแรกจะเกิดขึ้นที่ขั้วฟรีไอออนไนซ์ก่อน เพราะมีระยะห่างระหว่างขั้วฟรีไอออนไนซ์ใกล้กว่าขั้วไฟฟ้าที่เป็นอิเล็กโตรด การคิซซาร์จที่เกิดขึ้นนี้จะมีลักษณะเป็นการสปาร์กระหว่างขั้วฟรีไอออนไนซ์เนื่องจากการคายประจุของตัวเก็บประจุฟรีไอออนไนซ์ โดยที่จะเกิดขึ้นทั้งหมด 12 จุดตลอดแนวของขั้วไฟฟ้า ซึ่งจะเป็นการทำให้เกิดแตกตัวให้มีอิเล็กตรอนเกิดขึ้นในปริมาณที่จะเกิดการคิซซาร์จ หลังจากนั้นการคิซซาร์จหลักจากตัวเก็บประจุหลักก็จะเกิดตามมาทีหลัง

### 3.4 การประกอบระบบที่อือเอคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์

ระบบเลเซอร์ที่ประกอบเสร็จแล้วจะแสดงเป็นดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงระบบเลเซอร์ที่ประกอบเสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

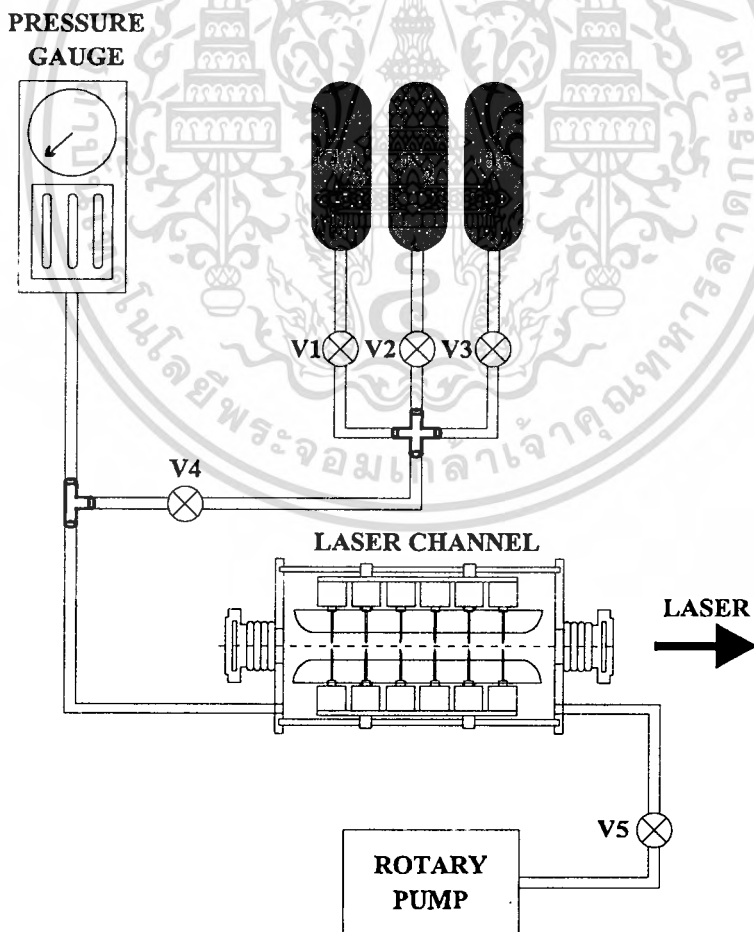
## บทที่ 4

### การทดลอง ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้รายละเอียดจะแบ่งออกเป็นสองส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนแรกจะเป็นการเตรียมและทดสอบระบบเลเซอร์แต่ละส่วนที่สร้างขึ้นมา ส่วนที่สองจะเป็นการทดลองระบบเลเซอร์และศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อพลังงานและแสงเลเซอร์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 4.1 การเตรียมระบบเลเซอร์

4.1.1 วิธีการจ่ายแก๊สให้กับช่องเลเซอร์ ก่อนการจ่ายแก๊สผสมให้กับช่องเลเซอร์เราจะประกอบอุปกรณ์ต่าง ๆ คือ ถังแก๊สทั้ง 3 ชนิด ช่องเลเซอร์ เกจวัดความดัน และปั๊มสุญญากาศเข้าด้วยกัน มีลักษณะดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงไดอะแกรมการจ่ายแก๊สให้ช่องเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขั้นตอนการจ่ายแก๊ส

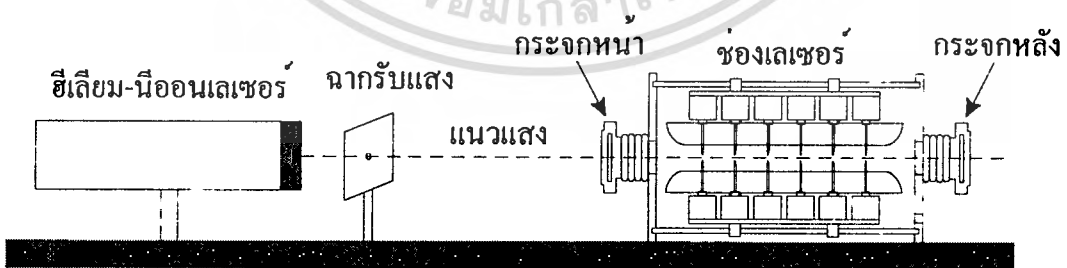
1. เปิดปั๊มสุญญากาศ เปิดวาล์ว  $V_5$  และปิดวาล์ว  $V_4, V_3, V_2$  และ  $V_1$  เพื่อให้ช่องเลเซอร์มีสภาพ เป็นสุญญากาศ โดยคุณวัดความดันจนกระทั่งความดันภายในช่องเลเซอร์มีค่าเป็น 0 มิลลิบาร์
2. ปิดวาล์ว  $V_5$  และปิดปั๊มสุญญากาศ ดังนั้นขณะนี้ภายในช่องเลเซอร์จะมีความดันเป็น 0 มิลลิบาร์
3. เปิดวาล์ว  $V_4$  เพื่อเตรียมพร้อมที่จะจ่ายแก๊สจากถังแก๊สทั้ง 3 ชนิด
4. ในงานวิจัยนี้จะใช้ความดันรวมของแก๊สคือ 1020 มิลลิบาร์ เพราะฉะนั้นการจ่ายแก๊สแต่ละชนิดตามอัตราส่วนที่ต้องการจะทำได้โดยการเปิดวาล์ว  $V_3, V_2, V_1$  ทีละถัง จากนั้นก็ปิดวาล์ว
5. เมื่อได้อัตราส่วนของแก๊สแต่ละชนิดตามที่ต้องการแล้ว ก็ปิดวาล์ว  $V_4$  ดังนั้นจะทำให้ภายในช่องเลเซอร์มีความดันรวมเป็น 1020 มิลลิบาร์ และมีอัตราส่วนของแก๊สแต่ละชนิดตามต้องการ ถ้าต้องการจะเปลี่ยนอัตราส่วนของแก๊สผสมใหม่ให้ทำซ้ำข้อ 1 ใหม่

#### 4.1.2 การปรับระนาบกระจกเลเซอร์ (Alignment)

เมื่อเราใส่กระจกเลเซอร์ด้านหน้าและด้านหลังที่มีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงตามที่ต้องการ และได้จ่ายแก๊สให้กับช่องเลเซอร์ตามอัตราส่วนที่ต้องการจนเสร็จแล้ว เราจะต้องทำการปรับระนาบของกระจกเลเซอร์ทั้งสองบานให้ขนานกัน โดยมีขั้นตอนดังนี้คือ

### ขั้นตอนการปรับระนาบกระจกเลเซอร์

1. จัดอุปกรณ์ตามรูปที่ 4.2 โดยจะใช้ฮีเลียมนีออนเลเซอร์ (He-Ne Laser) เข้าช่วยในการปรับกระจกเลเซอร์ทั้งสองบานในขนานกัน



รูปที่ 4.2 แสดงการวางอุปกรณ์ในการปรับระนาบกระจกเลเซอร์

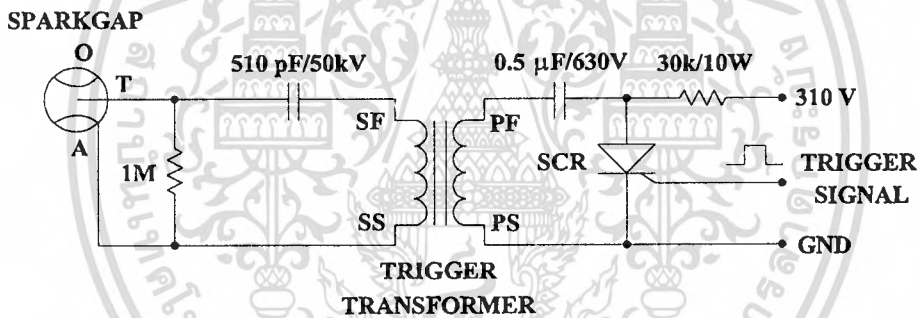
2. เปิดฮีเลียมนีออนเลเซอร์และจัดให้แนวแสงเลเซอร์ผ่านกลางกระจกเลเซอร์ทั้งสองบานและไม่กระทบกับขั้วไฟฟ้าทั้งสอง และวางฉากรับแสงที่จุดที่แสงเลเซอร์ออกไป

3. สังเกตจุดที่เลเซอร์ออกไปยังช่องเลเซอร์จะพบว่ามี 1 ลำแสงและลำแสงที่สะท้อนกลับจากกระจกทั้งสองบานที่ 2 ลำแสงบนฉากรับ พยายามปรับระนาบของกระจกเลเซอร์ทั้งสองบานให้ลำแสงที่สะท้อนกลับมาทั้งสองลำแสงไปตกจุดเดียวกันกับจุดที่แสงเลเซอร์ออกไป
4. ทำการปรับระนาบของกระจกเลเซอร์ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนอัตราส่วนของแก๊ส
5. เมื่อเสร็จขั้นตอนนี้ช่องเลเซอร์ก็พร้อมที่จะทดลองในขั้นตอนต่อไปได้

#### 4.1.3 การทดสอบวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้น

จากบทที่ 3 ทราบว่า วงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นนี้จะส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้า 310 โวลต์ไปยังหม้อแปลงกระตุ้นไฟฟ้าแรงดันสูง ซึ่งจะสร้างพัลส์ของแรงดันไฟฟ้าที่ด้านทุติยภูมิมีค่าประมาณ 21 กิโลโวลต์ เพื่อนำไปกระตุ้นสปาร์กแก๊ปอีกทีหนึ่ง

ในการทดสอบอุปกรณ์ทำงานของวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้น จะเป็นการทดสอบว่าเมื่อสัญญาณไฟฟ้าจากหม้อแปลงกระตุ้นไฟฟ้าแรงดันสูงถูกส่งไปยังสปาร์กแก๊ปแล้ว สปาร์กแก๊ปจะทำงานหรือไม่ โดยจะต้องวงจรทดสอบการทำงานดังรูปที่ 4.3

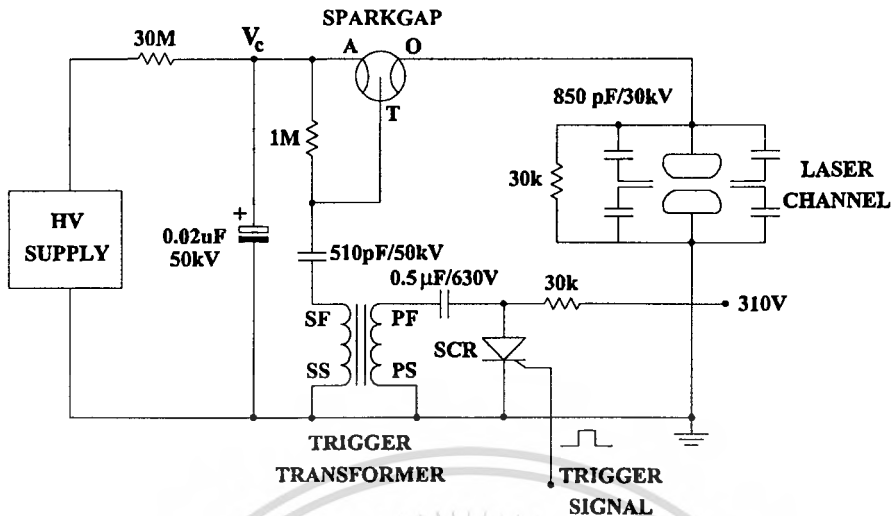


รูปที่ 4.3 แสดงการต่อวงจรเพื่อทดสอบวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้น

จากรูปที่ 4.3 เมื่อส่งสัญญาณกระตุ้น SCR ให้ทำงานจากการควบคุมการทำงานจากไอซีเบอร์ 555 จะทำให้มีพัลส์แรงดันไฟฟ้าสูงเกิดขึ้นที่ขั้ว T จากการสังเกตจะพบว่าเกิดประกายไฟสว่างเกิดขึ้นระหว่างขั้ว T และ A ภายในตัวสปาร์กแก๊ป ซึ่งหมายความว่า วงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นที่ออกแบบมาสามารถใช้กระตุ้นสปาร์กแก๊ปให้ทำงานได้

#### 4.1.4 การทดสอบการทำงานของวงจรกระตุ้นช่องเลเซอร์

ในการทดสอบการทำงานนี้จะต่อวงจรกระตุ้นช่องเลเซอร์เข้ากับช่องเลเซอร์ โดยมีลักษณะดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงการทดสอบการทำงานของวงจรกระตุ้นเลเซอร์

#### ขั้นตอนการทดสอบการทำงานของวงจรกระตุ้นช่องเลเซอร์

1. ต้องจรวจทดสอบการทำงานตามรูปที่ 4.4 โดยที่ช่องเลเซอร์ขณะที่ทดสอบนี้ไม่จำเป็นต้องบรรจุแก๊สผสมเข้าไป
2. จ่ายไฟให้กับตัวเก็บประจุหลัก 0.02  $\mu\text{F}$  โดยเริ่มที่แรงดันไฟฟ้า 10 กิโลโวลต์ และทำการกระตุ้นสปาร์กเก็บโดยควบคุมการทำงานจากวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้น แล้วสังเกตว่าในช่องเลเซอร์มีการคายประจุเกิดขึ้นหรือไม่และสังเกตว่าจุดที่เกิดการสปาร์กของวงจรฟรี ไอออนไนซ์ทุกจุดเกิดพร้อมกันหรือไม่
3. เพิ่มแรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวเก็บประจุหลัก ( $V_c$ ) ขึ้นเรื่อย ๆ ครั้งละ 2 กิโลโวลต์ เพื่อที่จะหาแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำที่สุดที่จะทำให้สปาร์กเก็บทำงานได้
4. ถ้าพบว่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายคร่อมตัวเก็บประจุหลักสามารถทำให้เกิดการคายประจุขึ้นในช่องเลเซอร์ได้แล้ว ต่อไปก็พยายามปรับให้จุดที่เกิดการสปาร์กทำงานพร้อม ๆ กันทุกจุดในขณะที่เกิดการคายประจุ

#### ผลการทดสอบการทำงานของวงจรกระตุ้นช่องเลเซอร์

เมื่อเราทำการทดสอบการทำงานของวงจรกระตุ้นช่องเลเซอร์ โดยเพิ่มแรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวเก็บประจุหลักขึ้นเรื่อยๆ แล้วสังเกตการคายประจุว่าเกิดขึ้นหรือไม่ ผลการทดสอบที่บันทึกได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบการเกิดการคิซซาร์จในช่องเลเซอร์

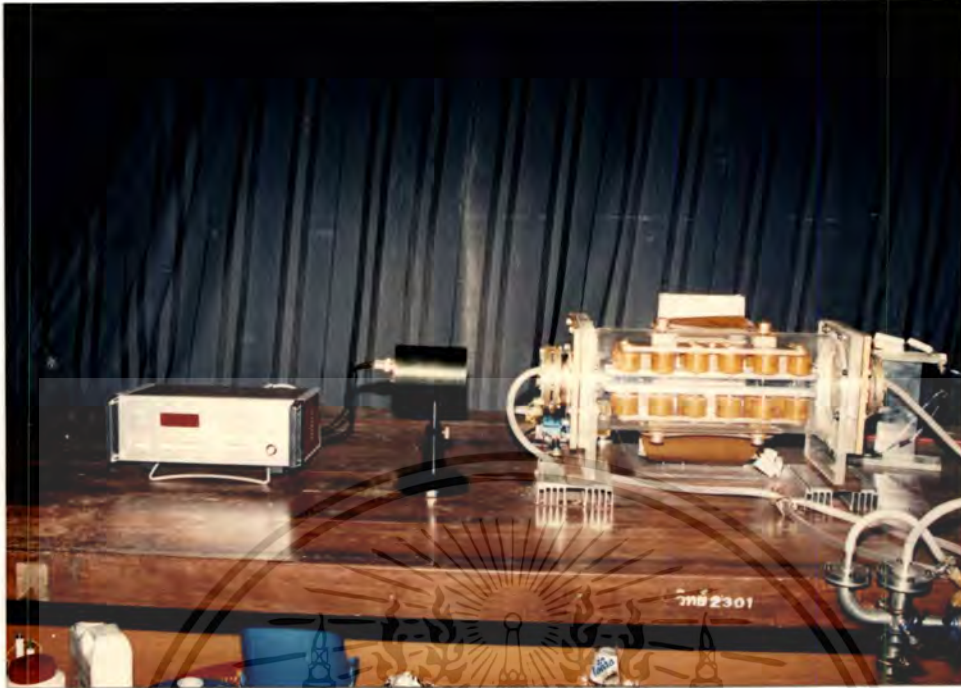
แรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวเก็บประจุหลัก (kV)	การเกิดการคิซซาร์จ
10	ไม่เกิด
12	ไม่เกิด
14	ไม่เกิด
16	ไม่เกิด
18	ไม่เกิด
20	เกิด
22	เกิด
24	เกิด
26	เกิด
28	เกิด
30	เกิด

#### สรุปผลการทำงานของวงจรกระตุ้นเลเซอร์

เมื่อเราเพิ่มแรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวเก็บประจุหลักขึ้นเรื่อยๆ พร้อมทั้งทำการกระตุ้นสปาร์คแก๊ปให้ทำงานไปด้วยกัน พบว่าแรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวเก็บประจุหลักที่ต่ำที่สุดที่สามารถทำให้เกิดการคิซซาร์จขึ้นในช่องเลเซอร์ได้มีค่า 20 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันกับค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำที่สุดที่สามารถทำงานได้ (minimum operating voltage) ของสปาร์คแก๊ปที่ใช้งาน แต่ในขณะที่เราทดลองจริงๆ นั้นจะใช้แรงดันไฟฟ้า 25 กิโลโวลต์ขึ้นไปเพื่อต้องการให้แน่ใจว่าสปาร์คแก๊ปสามารถทำงานได้ทุกครั้งที่มีการกระตุ้นให้ทำงาน เนื่องจากถ้าทำงานที่ค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าค่านี้ จะทำให้สปาร์คแก๊ปใช้งานได้ไม่เป็นปกติและมีผลต่ออายุการใช้งานของสปาร์คแก๊ปด้วย และพบว่าจุดที่เกิดการสปาร์คในวงจรฟรีไอออนไนซ์สามารถทำงานได้พร้อมกันทุกจุดเมื่อมีการคิซซาร์จเกิดขึ้นภายในช่องเลเซอร์

#### 4.1.5 การวัดพลังงานของเลเซอร์

สำหรับการวัดพลังงานของเลเซอร์เราจะติดตั้งอุปกรณ์วัดดังรูปที่ 4.5 ซึ่งเราจะวางหัววัดพลังงานของแสงเลเซอร์ให้ใกล้กับช่องเลเซอร์ที่สุด อุปกรณ์สำหรับวัดพลังงานของแสงเลเซอร์จะใช้เครื่องวัดพลังงานของแสงเลเซอร์รุ่น MODEL M-1 จากประเทศจีนซึ่งสามารถวัดพลังงานของแสงเลเซอร์ได้สูงสุด 2000 มิลลิจูล



รูปที่ 4.5 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์วัดพลังงานของแสงเลเซอร์

## 4.2 การทดสอบและศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อพลังงานของทีอีเอคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์

ระบบทีอีเอคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ที่สร้างขึ้นนี้ มีตัวแปรหลายอย่างที่มีผลต่อพลังงานของเลเซอร์ (output laser energy) ที่ได้และประสิทธิภาพของระบบที่สร้างขึ้น ระบบเลเซอร์ที่สร้างขึ้นนี้ตัวแปรที่เราไม่สามารถเปลี่ยนได้ (fixed parameter) คือความดันรวมของแก๊สในระบบมีค่า 1020 มิลลิบาร์เนื่องจากมีค่าใกล้เคียงกับความดันบรรยากาศและปริมาตรที่เกิดการคายประจุ (active discharge volume) มีค่า  $1.4 \times 1.4 \times 30$  ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังนั้นตัวแปรที่จะมีผลต่อพลังงานและประสิทธิภาพของระบบเลเซอร์ที่จะทดสอบก็คือ อัตราส่วนของแก๊สผสม ค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกเลเซอร์ ค่าสนามไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง และพลังงานที่ป้อนให้กับระบบเลเซอร์ ( $E = CV_C^2/2$ )

### 4.2.1 การหาค่าอัตราส่วนของแก๊สผสมที่เหมาะสมกับระบบเลเซอร์ที่สร้างขึ้น

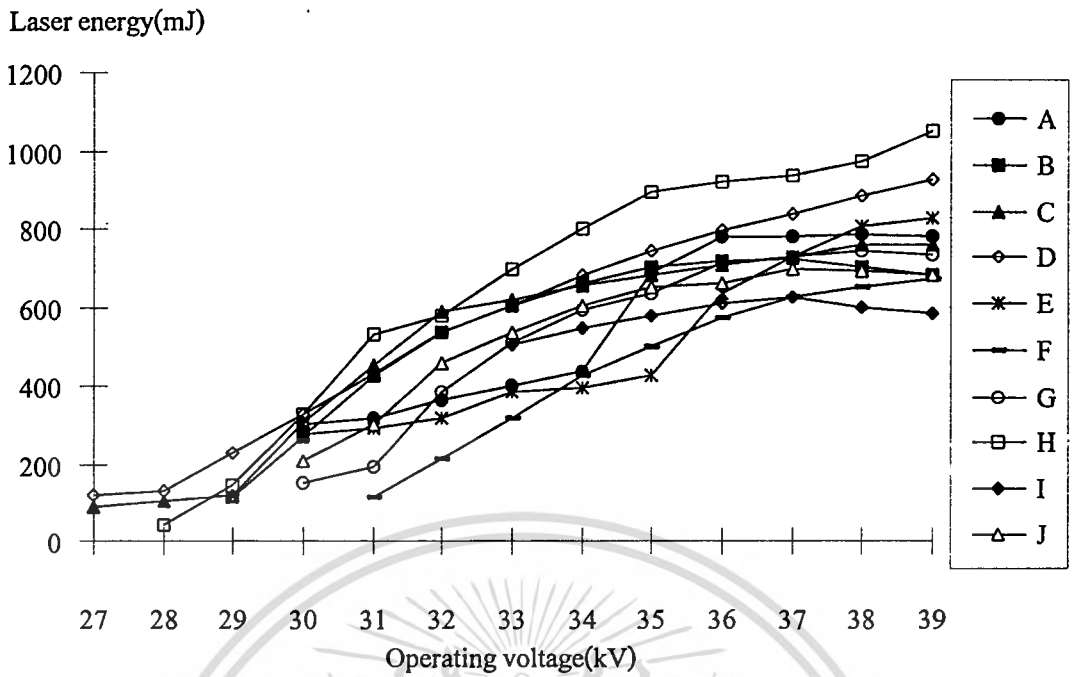
เนื่องจากระบบเลเซอร์แบบต่าง ๆ มีคุณสมบัติไม่เหมือนกันคือ ความดันรวมของแก๊ส อัตราส่วนของแก๊สผสม ค่าสนามไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้า ฯลฯ สิ่งเหล่านี้จะเป็นตัวแปรที่มีผลต่อพลังงานของแสงเลเซอร์ที่ได้ ดังนั้นในตอนนี้อาจจะทำการหาอัตราส่วนของแก๊สผสมที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับระบบเลเซอร์ที่ออกแบบขึ้นมาใหม่ โดยที่จะควบคุมความดันรวมของแก๊สในช่องเลเซอร์ให้คงที่ที่ความดัน 1020 มิลลิบาร์ และปริมาตรที่จะเกิดการดิสชาร์จมีค่า 58.8 ลูกบาศก์เซนติเมตร ในการทดลองจะทำการสุ่มอัตราส่วนของแก๊สผสมของ  $\text{CO}_2$ :  $\text{N}_2$ :  $\text{He}$  ดังนี้คือ 1:1.5:1 (291:437:291, A), 1:1:1.5 (291:291:437, B), 1:1:2 (255:255:510, C), 1:1:2.5 (226:226:567, D), 1:2:2 (204:408:408, E), 1:0.5:1 (408:204:408, F), 1.5:2:2.5 (255:340:425, G), 1:1.5:2.5 (204:306:510, H), 2:1:1 (510:255:255, I), 1:1:1 (340:340:340, J) กระจกเลเซอร์ที่ใช้ทดสอบในช่วงนี้ใช้กระจกเลเซอร์ด้านหน้าที่มีการสะท้อนแสง 80% ที่อัตราส่วนผสมของแก๊สแต่ละค่าทำการวัดค่าพลังงานของแสงเลเซอร์ที่ได้ ณ จุดที่เลเซอร์เริ่มเกิด เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้แก่ระบบเลเซอร์ที่ค่าต่างๆ กันตั้งแต่ 27 ถึง 39 กิโลโวลต์ แสดงผลการทดสอบที่ได้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงพลังงานของแสงเลเซอร์ที่ได้ที่อัตราส่วนของแก๊สผสมค่าต่างๆ เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าพร้อมตัวเก็บประจุหลัก ( $V_c$ )

$V_c$ (kV)	Laser Energy (mJ)									
	1:1.5:1	1:1:1.5	1:1:2	1:1:2.5	1:2:2	1:0.5:1	1.5:2:2.5	1:1.5:2.5	2:1:1	1:1:1
27	-	-	89	121	-	-	-	-	-	-
28	-	-	104	130	-	-	-	39	-	-
29	-	114	120	227	-	-	-	148	-	-
30	299	270	309	326	276	-	151	326	-	207
31	318	428	453	433	293	112	190	531	-	301
32	365	535	589	537	318	211	384	576	-	458
33	401	602	620	605	383	317	511	694	504	535
34	436	660	655	680	396	426	591	799	543	602
35	685	703	682	744	424	500	633	895	575	651
36	779	718	705	797	633	574	714	920	606	660
37	780	720	729	837	728	625	729	936	623	694
38	784	700	756	882	804	647	743	969	598	690
39	780	683	760	926	825	671	735	1048	580	681



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของเลเซอร์กับแรงดันไฟฟ้าที่อัตราส่วนของแก๊สผสมต่างๆกัน

จากผลการทดลองที่ได้ตามรูปที่ 4.6 จะพบว่าเมื่อใช้กระจกเลเซอร์ด้านหน้าที่มีการสะท้อนแสง 80% อัตราส่วนของแก๊สผสม CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:He ที่เหมาะสมที่สุดซึ่งให้พลังงานของเลเซอร์มีค่าสูงสุดที่อัตราส่วน 1:1.5:2.5 ซึ่งค่าพลังงานของแสงเลเซอร์ที่วัดได้สูงสุดมีค่า 1048 มิลลิจูล ที่แรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวเก็บประจุหลัก 39 กิโลโวลต์

#### 4.2.2 ประสิทธิภาพของระบบเลเซอร์ที่สร้างขึ้น

ระบบที่ไอเอคาร์บอน ไดออกไซด์เป็นระบบที่ให้แสงเลเซอร์เป็นพัลส์ ซึ่งพลังงานของแสงเลเซอร์ที่ได้จะมาจากการเปลี่ยนแปลงของพลังงานไฟฟ้าที่สะสมในตัวเก็บประจุหลัก ซึ่งประสิทธิภาพของระบบเลเซอร์นี้สามารถหาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} \eta_L &= \text{Laser Energy} / \text{Storage Energy} \\ &= (2E_L) / CV_C^2 \dots\dots\dots(4.1) \end{aligned}$$

เมื่อ  $\eta_L$  คือประสิทธิภาพของระบบเลเซอร์

$E_L$  คือพลังงานของเลเซอร์ที่วัดได้

C คือค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุหลักมีค่า 0.02 ไมโครฟารัด

$V_c$  คือค่าแรงดันไฟฟ้าที่คร่อมตัวเก็บประจุหลัก

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.2 ทำให้ทราบว่าอัตราส่วนของแก๊ส  $CO_2:N_2:He$  ที่เหมาะสมกับระบบเลเซอร์นี้มีค่าเท่ากับ 1:1.5:2.5 เนื่องจากเมื่อเราเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้แก่ตัวเก็บประจุหลักขึ้นเรื่อยๆ พลังงานของแสงเลเซอร์ที่วัดได้มีค่ามากกว่าอัตราส่วนของแก๊สผสมค่าอื่นๆ แต่จากกราฟพบว่า เมื่อแรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวเก็บประจุเพิ่มขึ้นจนถึง 35 กิโลโวลต์พลังงานของแสงเลเซอร์ที่วัดได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ถ้าแรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวเก็บประจุมีค่ามากกว่า 35 กิโลโวลต์แล้ว พลังงานของแสงเลเซอร์ที่วัดได้มีแนวโน้มลดลงและเริ่มไม่มีเสถียรภาพเนื่องจากระบบไม่สามารถระบายความร้อนได้ทันเวลา ดังนั้นประสิทธิภาพของระบบเลเซอร์ที่สร้างขึ้นนี้จะพิจารณา ณ จุดที่ระบบเลเซอร์มีเสถียรภาพมากที่สุดดังนี้คือ

$$\eta_L = (2 \times 895 \times 10^{-3}) / (0.02 \times 10^{-6} \times (35 \times 10^3)^2)$$

$$= 0.0731$$

ดังนั้นประสิทธิภาพของระบบเลเซอร์ที่สร้างขึ้นนี้มีค่า 7.31 เปอร์เซ็นต์

#### 4.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของเลเซอร์กับเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของกระจก

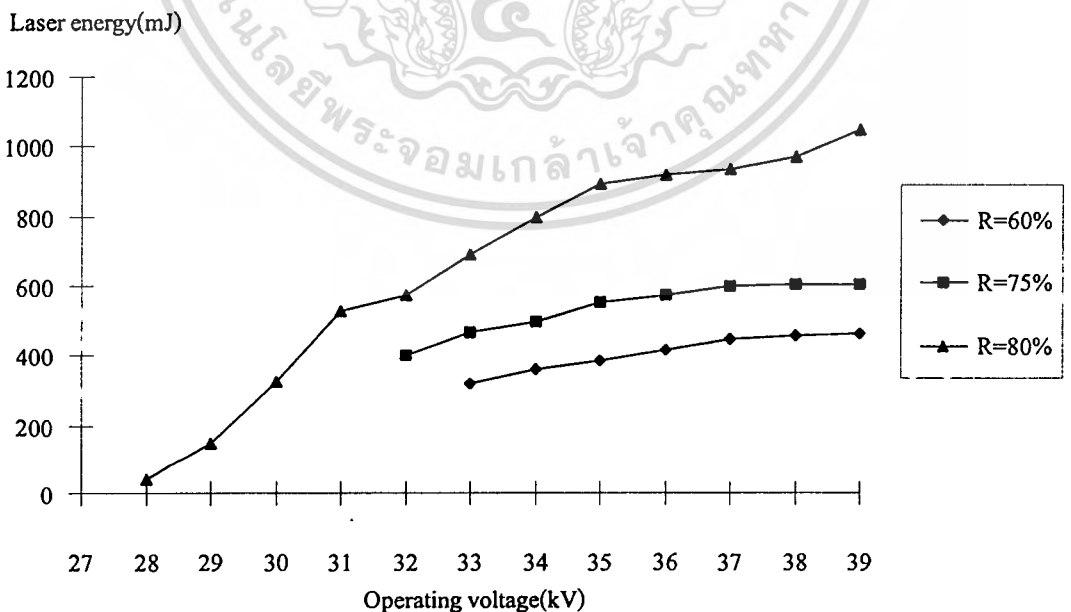
##### เลเซอร์ด้านหน้า

ขั้นตอนต่อไปจะนำอัตราส่วนของแก๊สผสมที่เหมาะสมกับระบบเลเซอร์คือ  $CO_2:N_2:He$  ที่อัตราส่วน 1:1.5:2.5 มาทดสอบว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของกระจกเลเซอร์ด้านหน้าแล้วจะมีผลต่อพลังงานของแสงเลเซอร์ที่ได้รับหรือไม่ ซึ่งกระจกเลเซอร์ด้านหน้าที่ใช้ในการทดสอบมีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนอยู่ 3 ค่า คือ 60, 75 และ 80 เปอร์เซ็นต์ โดยจะทำการวัดพลังงานของแสงเลเซอร์ ณ จุดที่แสงเลเซอร์เริ่มเกิด ซึ่งผลการทดลองเป็นดังตารางที่

4.3 และสามารถเขียนเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.7

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของพลังงานของแสงเลเซอร์เมื่อการสะท้อนแสงของกระจกเลเซอร์ค้ำหน้ามีค่า 60% , 75% และ 80%

V <sub>c</sub> (kV)	Laser Energy (mJ)		
	R= 60%	R= 75%	R=80%
27	-	-	-
28	-	-	39
29	-	-	148
30	-	-	326
31	-	-	531
32	-	401	576
33	321	470	694
34	363	500	799
35	384	553	895
36	415	576	920
37	450	602	936
38	459	607	969
39	465	607	1048



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของเลเซอร์กับแรงดันไฟฟ้าเมื่อกระจกเลเซอร์ค้ำหน้ามีการสะท้อนแสง 60% , 75% และ 80%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองตามรูปที่ 4.7 จะพบว่าเมื่อเรานำอัตราส่วนผสมของแก๊ส  $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He}$  ที่เหมาะสมกับระบบเลเซอร์คือ 1:1.5:2.5 ไปใช้กับกระจกเลเซอร์ที่มีการสะท้อนแสง 60% , 75 % และ 80% ค่าพลังงานของแสงเลเซอร์ที่วัดได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของกระจกเลเซอร์ด้านหน้า เพราะว่าอัตราการขยายของระบบเลเซอร์จะขึ้นกับค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของกระจกหน้าและกระจกหลังซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ 4.4 ดังนั้นถ้าค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของกระจกเลเซอร์ด้านหน้ามีค่ามากขึ้นก็จะทำให้ได้พลังงานของแสงเลเซอร์ที่ออกมามีค่าสูงขึ้น ซึ่งตรงกับผลการทดลองข้างต้น

จากผลการทดลองยังพบอีกกว่า เปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของกระจกเลเซอร์ด้านหน้าจะแปรผกผันกับแรงดันไฟฟ้า (operating voltage) ซึ่งก็คือพลังงานที่ป้อนให้ระบบเลเซอร์ ทั้งนี้เป็นเพราะว่า ถ้าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกเลเซอร์ด้านหน้ามีค่ามากจะมีผลให้มีความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าภายในแควิตีมากทำให้ถึงจุดเกิดเลเซอร์ได้เร็ว (laser oscillation) เพราะฉะนั้นพลังงานที่ระบบเลเซอร์ต้องการใช้ในการเกิดเลเซอร์จึงต่ำจึงทำให้เกิดเลเซอร์ได้ที่แรงดันไฟฟ้าไม่สูงนัก และพลังงานที่เปลี่ยนไปเป็นพลังงานของแสงเลเซอร์จึงมีค่ามาก ในทางตรงกันข้ามถ้าใช้กระจกเลเซอร์ด้านหน้าที่มีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงต่ำจะทำให้ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าภายในแควิตีมีค่าน้อยจึงถึงจุดที่เกิดเลเซอร์ได้ช้า ดังนั้นระบบเลเซอร์จึงต้องการพลังงานในการกระตุ้นให้เกิดเลเซอร์ค่อนข้างมาก ซึ่งก็คือต้องการแรงดันไฟฟ้าสูงกว่านั่นเอง

#### 4.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของแสงเลเซอร์กับปริมาณของแก๊สไนโตรเจน

ในคาร์บอน ไดออกไซด์เลเซอร์กลไกในการกระตุ้น โมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ให้เปลี่ยนระดับพลังงานนั้นจำเป็นต้องได้รับการถ่ายเทพลังงานจากโมเลกุลของไนโตรเจน ดังนั้นถ้าปริมาณของโมเลกุลของไนโตรเจนเหมาะสมในแก๊สผสมแล้วจะทำให้พลังงานของเลเซอร์ที่วัดได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพของระบบเลเซอร์ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย จากผลการทดลองในตารางที่ 4.2 เมื่อเปลี่ยนปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่อัตราส่วนของแก๊สผสม 1:0.5:1, 1:1:1, 1:1.5:1 พบว่าถ้าปริมาณของแก๊สไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้พลังงานของเลเซอร์และประสิทธิภาพของระบบเลเซอร์เพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับหลักการที่ได้กล่าวมาแล้ว

#### 4.2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของแสงเลเซอร์กับปริมาณของแก๊สฮีเลียม

เนื่องจากสภาวะประชากรผกผันในคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์นั้นจะเกิดขึ้นระหว่างพลังงาน  $0^0_1$  ไปยัง  $1^0_0$  และ  $0^0_1$  ไปยัง  $0^2_0$  เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นการที่จะทำให้ปริมาณโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับพลังงาน  $1^0_0$  และ  $0^2_0$  มีค่าน้อยๆ นั้นจำเป็นต้องใช้แก๊สฮีเลียมเป็นตัวช่วยถ่ายเทพลังงานจากโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อให้กลับสู่สถานะพื้นเร็วที่สุด จึงจำเป็นต้องใช้แก๊สฮีเลียมในปริมาณที่เหมาะสมในส่วนผสมของแก๊สที่ใช้งาน จากการ

ทดลองและผลที่ได้ในตาราง 4.2 จะเห็นว่า เมื่อใช้แก๊สผสมโดยเพิ่มสัดส่วนของปริมาณของแก๊สฮีเลียมเป็น 1:1:1, 1:1:1.5, 1:1:2, 1:1:2.5 แล้ว ผลจากการเพิ่มปริมาณแก๊สฮีเลียมนี้จะช่วยให้ประสิทธิภาพของระบบเลเซอร์เพิ่มขึ้นทั้งยังช่วยให้พลังงานของเลเซอร์ที่วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งตรงกับหลักการข้างต้น

#### 4.2.6 การหาค่าไดเวอร์เจนต์ของแสงเลเซอร์ที่ได้จากระบบที่สร้างขึ้น [21]

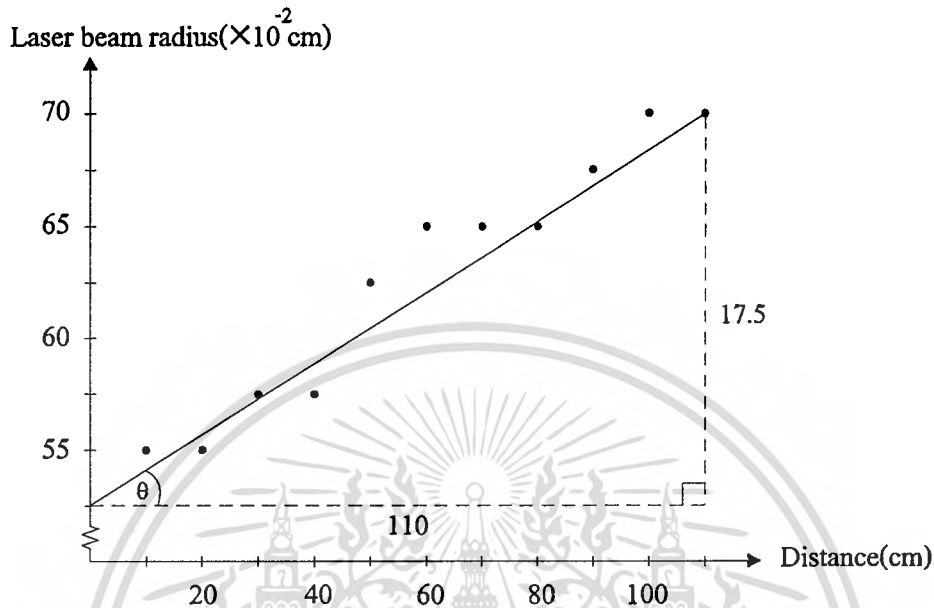
ปกติลำแสงของแสงทั่วไปเมื่อเคลื่อนที่ออกจากจุดกำเนิดแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำแสงจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะทาง สำหรับแสงเลเซอร์ก็เช่นเดียวกันย่อมมีการบานของแสงเกิดขึ้นเรียกว่า ไดเวอร์เจนต์ (divergence) ซึ่งเป็นมุมของการบานของแสงเลเซอร์ โดยปกติจะมีค่าน้อยมาก สำหรับคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์จะมีค่าไดเวอร์เจนต์ประมาณ 2 มิลลิเรเดียน

ในระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ที่สร้างขึ้นนี้สามารถหาค่าไดเวอร์เจนต์ของลำแสงได้ โดยจะใช้กระดาษพิเศษที่สามารถตรวจสอบความร้อนของแสงเลเซอร์ในย่านอินฟราเรด โดยจะทำการวัดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของแสงเลเซอร์ที่ระยะห่างจากช่องเลเซอร์ทุกๆ 10 เซนติเมตร ซึ่งผลที่ได้เป็นดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเลเซอร์กับระยะทางจากช่องเลเซอร์

Distance (cm)	Laser beam diameter (cm)	Laser beam radius( $\times 10^{-2}$ cm)
10	1.1	55
20	1.1	55
30	1.15	57.5
40	1.15	57.5
50	1.25	62.5
60	1.3	65
70	1.3	65
80	1.3	65
90	1.35	67.5
100	1.4	70
110	1.4	70

เราสามารถนำเอาผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำแสงเลเซอร์กับระยะทางจากช่องเลเซอร์มาเขียนกราฟดังรูปที่ 4.8 เพื่อทำการหาค่าไดเวอร์เจนต์ของแสงเลเซอร์ในระบบที่เราสร้างขึ้นได้ดังนี้



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเลเซอร์กับระยะทางจากช่องเลเซอร์

จากรูปที่ 4.8 ค่าไดเวอร์เจนต์ของแสงเลเซอร์ในระบบเลเซอร์ที่สร้างขึ้นสามารถหาได้ดังนี้

$$\tan\theta = (17.5 \times 10^{-2})/110$$

$$\therefore \theta = \tan^{-1}(0.175/110) = 0.09115$$

แต่มุมของการบานของเลเซอร์คือ  $2\theta = 0.1823$

ดังนั้นค่าไดเวอร์เจนต์ของระบบเลเซอร์ที่มีค่าเท่ากับ  $(0.1823 \times 2\pi)/360 = 3.18$  มิลลิเรเดียน

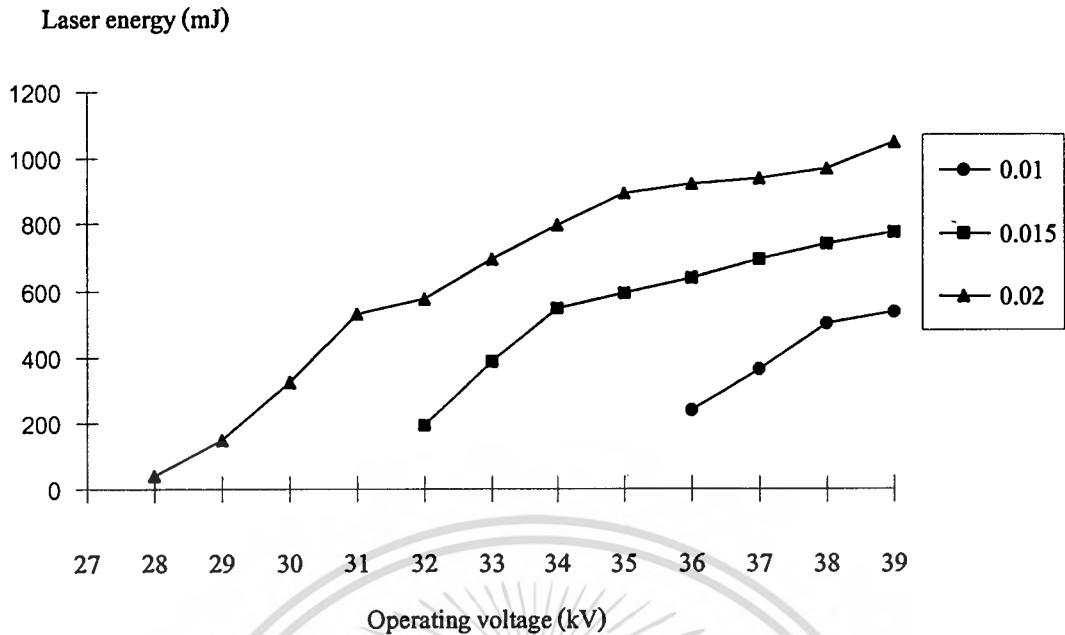
#### 4.2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้ระบบเลเซอร์กับพลังงานของแสงเลเซอร์ที่ได้รับ

เนื่องจากระบบเลเซอร์ที่สร้างขึ้นนี้จะใช้พลังงานไฟฟ้าในการกระตุ้นแก๊สผสมซึ่งเป็นสารตัวกลางเลเซอร์ ซึ่งพลังงานไฟฟ้านี้จะสะสมอยู่ในตัวเก็บประจุหลัก ซึ่งจะสอดคล้องกับสมการ  $E = CV_c^2/2$  ดังนั้นในการทดลองตอนนี้จะศึกษาว่า พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับระบบเลเซอร์มีผลมากน้อยแค่ไหนต่อพลังงานของแสงเลเซอร์ที่ได้รับ โดยจะใช้การเปลี่ยนแปลงค่าของตัวเก็บประจุหลักดังนี้คือ 0.01, 0.015 และ 0.02 ไมโครฟารัด ตามลำดับ แล้ววัดพลังงานของแสงเลเซอร์ที่ได้เมื่อทำการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าที่คร่อมตัวเก็บประจุหลักขึ้นเรื่อยๆ โดยจะทำการทดสอบ

ที่อัตราส่วนของแก๊สผสมที่เหมาะสมคือ 1:1.5:2.5 และใช้กระจกเลเซอร์ด้านหน้าที่มีการสะท้อนแสง 80% ผลการทดสอบที่ได้จะมีค่าดังตารางที่ 4.5 และสามารถเขียนเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของพลังงานของแสงเลเซอร์เมื่อค่าของตัวเก็บประจุหลักมีค่า 0.01 0.015 และ 0.02 ไมโครฟารัด

V <sub>c</sub> (kV)	Laser Energy (mJ)		
	C = 0.01 μF	C = 0.015 μF	C = 0.02 μF
27	-	-	-
28	-	-	39
29	-	-	148
30	-	-	326
31	-	-	531
32	-	193	576
33	-	384	694
34	-	547	799
35	-	594	895
36	237	636	920
37	363	692	936
38	498	739	969
39	536	776	1048



รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของแสงเลเซอร์กับแรงดันไฟฟ้า เมื่อใช้ตัวเก็บประจุหลักมีค่า 0.01 0.015 และ 0.02 ไมโครฟารัด

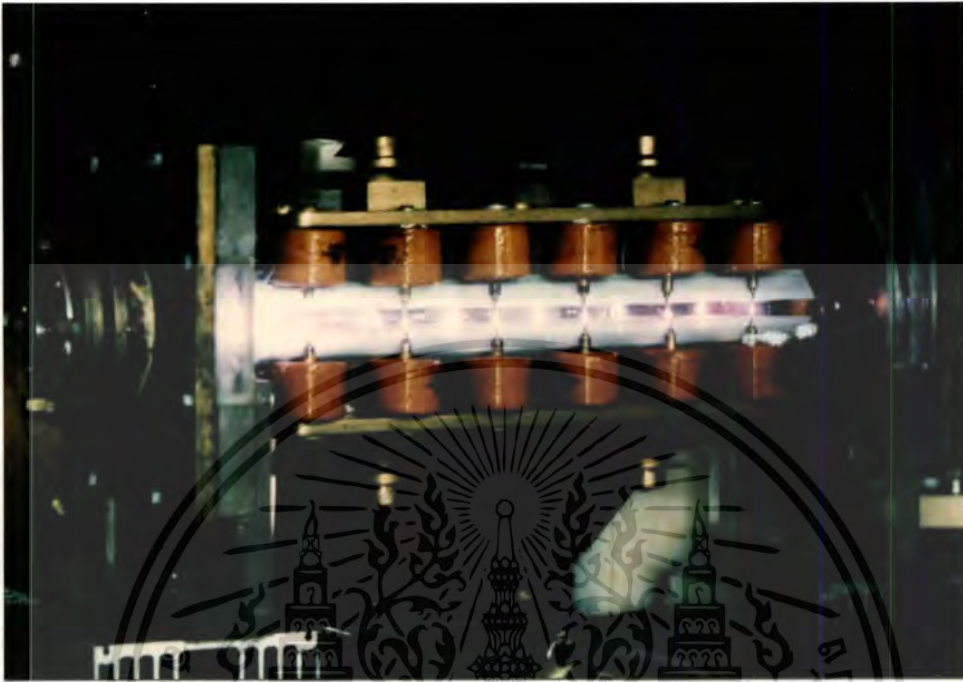
จากกราฟในรูปที่ 4.9 จะเห็นว่า ค่าพลังงานของแสงเลเซอร์ที่ได้รับจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อพลังงานที่ป้อนให้กับระบบเลเซอร์มีค่าสูงขึ้น ซึ่งก็คือถ้าเพิ่มค่าของตัวเก็บประจุหลักจะทำให้พลังงานของแสงเลเซอร์ที่ได้รับมีค่าเพิ่มขึ้น และยังพบอีกว่าพลังงานที่ป้อนให้ระบบเลเซอร์ยังมีผลต่อการเกิดของแสงเลเซอร์ด้วยคือ ถ้าใช้ตัวเก็บประจุหลักที่มีค่าน้อยจะทำให้ต้องใช้แรงดันไฟฟ้าค่าสูงๆ ในการทำให้เกิดแสงเลเซอร์ ในทางตรงกันข้ามถ้าเราใช้ตัวเก็บประจุหลักที่มีค่าสูงขึ้นจะทำให้เกิดเลเซอร์ได้ง่ายที่แรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวเก็บประจุหลักค่าไม่สูงนัก ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีในหัวข้อ 2.1.2 ที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่ถ้าใช้ตัวเก็บประจุหลักมีค่าสูงมากๆ พลังงานของแสงเลเซอร์ที่ได้รับจะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากพลังงานที่ป้อนให้ระบบเลเซอร์นั้นมีค่ามากเกินไปและกลายเป็นความร้อนสะสมในระบบเลเซอร์แทน ดังนั้นควรใช้ตัวเก็บประจุหลักที่มีค่าพอเหมาะเพื่อทำให้การดีสชาร์จในช่องเลเซอร์เกิดในช่วงเวลาสั้นๆ ซึ่งมีผลให้กำลังงานของแสงเลเซอร์ที่ได้มีค่ามากขึ้น

#### 4.2.8 ลักษณะของการดีสชาร์จที่เกิดขึ้นเมื่อมีวงจรรีโอดอนในซึ่

การดีสชาร์จระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ปราศจากการใช้วงจรรีโอดอนในซึ่มักจะเกิดการอาร์คขึ้นเป็นส่วนใหญ่แทนที่จะเป็นการดีสชาร์จอย่างสม่ำเสมอ หลังจากที่ได้มีการปรับปรุงรูปร่างของขั้วไฟฟ้าและมีการเพิ่มจุดรีโอดอนในซึ่ตลอดแนวที่จะเกิดการดีสชาร์จระหว่างขั้วไฟฟ้าแล้ว พบว่าวงจรรีโอดอนในซึ่สามารถสร้างแสงอูลตราไวโอเล็ตที่มีความเข้มสูงมาก และยังช่วยให้การดีส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซาร์จที่เกิดขึ้นมีความสม่ำเสมอและขจัดปัญหาการเกิดการอาร์คได้โดยสิ้นเชิง ซึ่งการดิสชาร์จระหว่างการเกิดเลเซอร์แสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะของการดิสชาร์จที่เกิดขึ้นภายในช่องเลเซอร์

#### 4.2.9 ลักษณะของภาคตัดขวางของแสงเลเซอร์ที่ตรวจสอบได้

จากระบบเลเซอร์ที่สร้างขึ้นสามารถตรวจสอบลักษณะของภาคตัดขวางของลำแสงของแสงเลเซอร์ที่เกิดขึ้นที่บริเวณหน้าช่องเลเซอร์ได้ โดยใช้กระดาษพิเศษที่สามารถตรวจสอบความร้อนของแสงเลเซอร์ในย่านอินฟราเรดได้ โดยที่ลักษณะของภาคตัดขวางของลำแสงเลเซอร์ที่ได้จะปรากฏเป็นรอยสีดำบนกระดาษที่เราใช้ตรวจสอบ ซึ่งภาคตัดขวางของลำแสงเลเซอร์ที่เราสามารถตรวจสอบได้นั้นจะมีลักษณะคล้ายรูปสี่เหลี่ยมตามภาคตัดขวางของปริมาตรที่เกิดการดิสชาร์จที่ได้ ออกแบบไว้ ซึ่งจะมีลักษณะตามรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะภาคตัดขวางของลำแสงเลเซอร์ที่ตรวจสอบได้

#### 4.2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างภาคตัดขวางของแสงเลเซอร์กับเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของกระจกเลเซอร์ด้านหน้า

การทดสอบในขณะนี้จะทำเพื่อศึกษาว่า การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของกระจกเลเซอร์ด้านหน้าจะมีผลต่อลักษณะของภาคตัดขวางของเลเซอร์ที่ตรวจสอบได้หรือไม่ โดยที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของกระจกเลเซอร์ด้านหน้าที่ใช้ทดสอบมีค่า 60, 75 และ 80% ตามลำดับ โดยที่จะตรวจสอบภาคตัดขวางของเลเซอร์บริเวณห่างจากช่องเลเซอร์ 10 และ 30 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบเป็นดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงลักษณะของภาคตัดขวางของแสงเลเซอร์ที่ตรวจสอบได้เมื่อเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของกระจกเลเซอร์ด้านหน้าเป็น 60, 75 และ 80%

Distance (cm)	Cross-section pattern		
	R = 60%	R = 75%	R = 80%
10			
30			







เมื่อทดลองเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกเลเซอร์ด้านหน้าด้วยค่า 60, 75 และ 80% ตามลำดับ พบว่า ที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงค่าสูงลักษณะภาคตัดขวางของแสงเลเซอร์ที่ตรวจสอบได้จะมีความสม่ำเสมอของการกระจายพลังงานก่อนข้างสูง จุดสีขาวบริเวณกลางภาคตัดขวางเป็นจุดที่ผิวกระจกถูกทำลาย (burn) ด้วยพลังงานของแสงเลเซอร์เนื่องจากอยู่ใกล้ช่องเลเซอร์และแถบสีดำด้านข้างจะแสดงพลังงานของแสงเลเซอร์ค่าต่ำๆ และจะเห็นว่า เมื่อเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของกระจกเลเซอร์ลดลง บริเวณที่ผิวกระจกที่ถูกแสงเลเซอร์ทำลายก็จะลดลงด้วย ดังนั้นจึงเห็นส่วนที่เป็นสีดำมากกว่า เพราะว่าพลังงานของแสงเลเซอร์ที่ได้รับจะแปรผันกับเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของกระจกเลเซอร์ตามที่ได้ทดลองมาแล้ว

#### 4.2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างผลของปริมาณการฟรีไอออนในชั้นกับพลังงานของแสงเลเซอร์และลักษณะภาคตัดขวางของแสงเลเซอร์ที่ได้รับ

เนื่องจากระบบเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศที่สร้างขึ้นจำเป็นต้องอาศัยการสร้างฟรีไอออนในชั้นเข้าช่วยเพื่อให้การดิสราร์จเกิดขึ้น ได้ที่ความดันสูงและมีความสม่ำเสมอ การทดสอบในตอนนี้จะเป็นการทดสอบว่า ปริมาณของการสร้างฟรีไอออนในชั้นจะมีผลต่อพลังงานของแสงเลเซอร์และลักษณะภาคตัดขวางของแสงเลเซอร์ที่ตรวจสอบได้อย่างไร โดยที่ลักษณะการวางจุดฟรีไอออนในชั้นจะวางเป็น 3 แบบคือ แบบแรกจะวางจุดฟรีไอออนในชั้นมากที่สุดคือ มีจุดฟรีไอออนในชั้น 12 จุดตลอดแนวขั้วไฟฟ้าโดยมีข้างละ 6 จุด แบบที่สองจะวางจุดฟรีไอออนในชั้นด้านเดียวคือ มีจุดฟรีไอออนในชั้นจำนวน 6 จุด และแบบที่สามจะมีจุดฟรีไอออนในชั้นที่ด้านข้างของขั้วไฟฟ้าด้านละ 3 จุดวางสลับกัน การทดสอบดังกล่าวจะทำงานที่แรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวเก็บประจุ 35 กิโลโวลต์ ซึ่งเป็นจุดที่ระบบเลเซอร์มีประสิทธิภาพสูงสุดที่อัตราส่วนของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก๊สผสม  $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}$  คือ 1:1.5:2.5 และตรวจสอบภาคตัดขวางของแสงเลเซอร์ที่ได้ที่ระยะห่าง 10 เซนติเมตรจากช่องเลเซอร์ ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงพลังงานของแสงเลเซอร์และภาคตัดขวางของแสงเลเซอร์ที่ตรวจสอบได้ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณการพรีไอออนไนซ์

Preionization Layout	Laser Energy(mJ)	Cross-section Pattern
	895	
	563	
	702	

จากตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่า ปริมาณการพรีไอออนไนซ์ที่สม่ำเสมอและปริมาณมากๆ จะมีผลช่วยให้แสงเลเซอร์ที่ได้มีพลังงานและประสิทธิภาพสูง และมีการกระจายพลังงานตามภาคตัดขวางที่ตรวจสอบได้ก่อนข้างสม่ำเสมอ การวางจุดพรีไอออนไนซ์ตามแบบที่สองจะเป็นการวางจุดพรีไอออนไนซ์ไว้เพียงด้านเดียวของขั้วไฟฟ้า ซึ่งทำให้มีการกระจายอิเล็กทรอนิกส์ตอนเริ่มต้นไม่สม่ำเสมอจึงทำให้แสงเลเซอร์ที่ได้มีพลังงานต่ำ แต่ถ้าวางจุดพรีไอออนไนซ์จำนวนเท่ากันแต่วางให้กระจายอย่างสม่ำเสมอตามแบบที่สามแล้วจะพบว่า การวางจุดพรีไอออนไนซ์อย่างสม่ำเสมอด้วยจำนวนจุดเท่ากันจะมีผลดีกว่าการจุดพรีไอออนไนซ์เพียงด้านเดียว

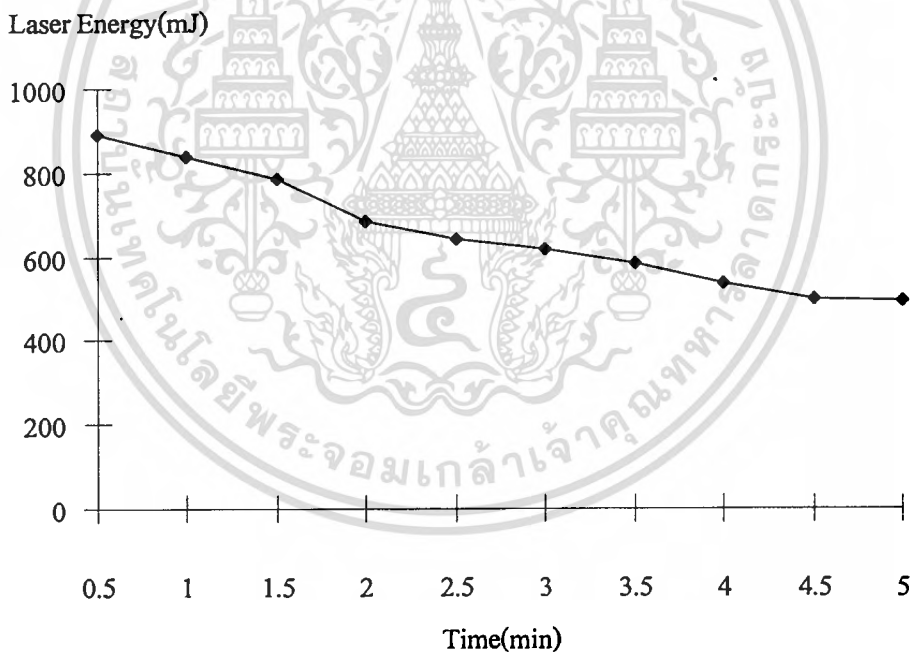
#### 4.2.12 การทดสอบเสถียรภาพของระบบเลเซอร์เมื่อทำงานแบบต่อเนื่อง

การทดลองนี้เป็นการทดสอบเสถียรภาพของระบบเลเซอร์ที่สร้างขึ้น โดยจะทดลองทำงานที่ความถี่ 0.1 Hz เป็นเวลานาน 5 นาที และวัดพลังงานของเลเซอร์ที่ได้ทุกๆ 30 วินาที โดยจะทดสอบ ณ จุดที่ระบบเลเซอร์มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งผลการทดสอบที่ได้เป็นไปตามตารางที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของแสงเลเซอร์ที่วัดได้เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น

Time(min)	Laser Energy(mJ)
0.5	890
1	835
1.5	785
2	686
2.5	643
3	616
3.5	583
4	537
4.5	500
5	491



รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของแสงเลเซอร์กับระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น เมื่อระบบเลเซอร์ทำงานที่ความถี่ 0.5 Hz

จากรูปที่ 4.12 พบว่า เมื่อระบบเลเซอร์ทำงานต่อเนื่องที่ความถี่ 0.1 Hz พลังงานของแสงเลเซอร์ที่วัดได้มีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อทำงานเป็นเวลานานขึ้น ซึ่งเป็นเพราะว่าแก๊สผสมในช่องเลเซอร์ไม่สามารถคืนตัวได้ทันเวลาทำให้ประสิทธิภาพของระบบเลเซอร์มีค่าลดลงอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศที่สร้างขึ้นนี้ ประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญหลัก ๆ คือ ช่องเลเซอร์ วงจรไฟฟ้าที่ใช้กระตุ้นช่องเลเซอร์ และระบบแก๊ส จากการทดลองในบทที่ 4 พบว่าอัตราส่วนของแก๊ส  $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He}$  ที่เหมาะสมที่สุด สำหรับระบบเลเซอร์ที่ทดลองนี้คือ 1 : 1.5 : 2.5 ที่ความดันรวมของแก๊สผสม 1020 มิลลิบาร์ จะให้พลังงานของเลเซอร์ออกมามีค่าสูงสุดมีค่า 1048 มิลลิจูลที่แรงดันไฟฟ้า 39 กิโลโวลต์ภายในปริมาตรที่เกิดการดิสชาร์จ 58.8 ลูกบาศก์เซนติเมตร และใช้กระจกเลเซอร์ด้านหน้าที่มีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสง 80 เปอร์เซ็นต์โดยแสงเลเซอร์มีความยาวคลื่น 10.6 ไมครอน ประสิทธิภาพของระบบเลเซอร์ที่สร้างขึ้นมีค่า 7.31 เปอร์เซ็นต์ จากการสังเกตลักษณะการดิสชาร์จที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วไฟฟ้าภายในช่องเลเซอร์จะเห็นว่า การที่เพิ่มวงจรฟรีไอออนไนซ์สามารถให้แสงอุลตราไวโอเลตที่มีความเข้มสูงมากจึงทำให้แก๊สผสมถูกไอออนไนซ์เชิงปริมาณได้สูง ซึ่งเป็นการช่วยให้เกิดการดิสชาร์จได้ง่ายขึ้นที่ความดันของแก๊สที่มีค่าสูงมาก ๆ การดิสชาร์จที่เกิดขึ้นก็มีความสม่ำเสมอตลอดแนวของขั้วไฟฟ้าและสามารถขจัดปัญหาการเกิดการอาร์คได้โดยสิ้นเชิง ซึ่งเป็นการช่วยให้ประสิทธิภาพของระบบเลเซอร์นี้ดีกว่าระบบเลเซอร์ที่ไม่มีวงจรฟรีไอออนไนซ์ประกอบอยู่ด้วย ดังนั้นจึงทำให้ระบบเลเซอร์นี้สามารถทำงานได้ที่อัตราส่วนของแก๊สผสม  $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He}$  สูงถึง 2 : 1 : 1 ซึ่งจะเห็นว่าในระบบนั้นมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ผสมอยู่ถึง 2 ใน 4 ส่วน ซึ่งโดยปกติมันเกิดได้ยากมาก

ในปัจจุบันนี้ระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ที่ทำงานเป็นพัลส์มีบทบาทอย่างมากในวงการอุตสาหกรรมเนื่องจากเลเซอร์แบบพัลส์มีความหนาแน่นของพลังงานสูงจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ ได้ เช่น การตัด เจาะ เชื่อม โลหะและวัสดุต่างๆ ซึ่งจะช่วยให้งานที่ได้เกิดความสูญเสียน้อย ไม่จำเป็นต้องมีการตกแต่งชิ้นงานไม่มากนัก ทำงานได้รวดเร็วและแม่นยำ เพราะเราสามารถโฟกัสขนาดของลำแสงเลเซอร์ได้ การที่เราสามารถโฟกัสลำแสงเลเซอร์ให้มีขนาดเล็กมากๆ ได้นี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจำพวกแกะสลักวัสดุต่าง ๆ เช่น หิน , ไม้ , ไอซี เป็นต้น ส่วนการประยุกต์ให้งานด้านสิ่งแวดล้อมสามารถนำไปใช้งานในการตรวจสอบมลภาวะ เช่น ในการตรวจสอบชนิดของแก๊สที่ปล่อยควันของโรงงาน หรือหาชนิดของแก๊สในบรรยากาศได้ โดยที่เราจะใช้แสงเลเซอร์ในการตรวจสอบโดยทำการยิงแสงเลเซอร์เป็นพัลส์ไปยังบริเวณที่เราจะเก็บข้อมูลหรือสำรวจ และใช้เครื่องมือรับแสงเลเซอร์ที่กระเจิงกลับมา และทำการวิเคราะห์ผลต่อไป ซึ่งจะสามารถหาความหนาแน่นของอนุภาคหรือชนิดของแก๊สได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิพนธ์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบการทำงานของระบบเลเซอร์นี้ แสดงให้เห็นว่าสามารถทำให้เกิดแสงเลเซอร์ได้โดยไม่มีปัญหาการอาร์คระหว่างขั้วไฟฟ้าเพราะว่ามีวงจรรีโอดอนไนซ์ประกอบอยู่ และให้พลังงานของแสงเลเซอร์ออกมามากพอที่จะใช้งานด้านการเจาะหรือให้แกสสลักงานได้แต่ความลึกไม่มากนัก แต่สิ่งที่ทำให้ระบบเลเซอร์นี้ทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพคือ ระบบเลเซอร์นี้เป็นระบบที่ใช้การซีลแก๊สไว้ภายในช่องเลเซอร์ ทำให้การทำงานแต่ละพัลส์เกิดขึ้นได้ช้ามากเพราะว่าจำเป็นต้องใช้เวลาให้แก๊สคืนตัวค่อนข้างนาน ดังนั้นจึงสามารถทำงานได้ที่ความถี่ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นแนวทางที่จะพัฒนาเพื่อที่จะสามารถนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมได้คือ ควรมีการออกแบบให้ปริมาตรที่เกิดการดิสชาร์จมีมากขึ้น เพิ่มค่าสนามไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าหรือเพิ่มความดันรวมของแก๊สผสมเพื่อที่จะได้แสงเลเซอร์ที่มีพลังงานสูงพอที่จะเจาะหรือตัดวัสดุที่มีความหนาหลายๆ ได้ และต้องมีการปรับปรุงด้านระบบจ่ายแก๊สและระบบหมุนเวียนแก๊ส คือ ระบบจ่ายแก๊สจะต้องเป็นระบบที่หมุนเวียนแก๊สด้วยความเร็วสูง (fast flow) ผ่านขั้วไฟฟ้าและควรมีอุปกรณ์ในการตรวจอัตราส่วนของแก๊สผสม  $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He}$  ที่หมุนเวียนในระบบให้คงที่เพื่อให้ระบบเลเซอร์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การที่แก๊สหมุนเวียนด้วยความเร็วสูงนั้นควรจะต้องมีระบบน้ำหล่อเย็น (cooling water system) เพิ่มเข้ามาด้วยเพื่อช่วยในการถ่ายเทความร้อนจากแก๊สผสมสู่น้ำหล่อเย็น ซึ่งเป็นการช่วยให้แก๊สผสมคืนตัวได้เร็วทั้งยังเป็นการช่วยให้ประสิทธิภาพของระบบเลเซอร์ดีขึ้น รวมทั้งจะช่วยให้ระบบเลเซอร์ทำงานที่ความถี่สูงๆ ได้ คือ สามารถให้พัลส์ของแสงเลเซอร์ออกมาได้ด้วยความเร็วสูงจนถึงต่อเนื่องได้เลย ส่วนสิ่งที่ต้องระมัดระวังเป็นพิเศษในระบบเลเซอร์ชนิดนี้คือ ควรออกแบบขั้วไฟฟ้าให้เป็นไปตามลักษณะขั้วไฟฟ้าของช่าง ควรเพิ่มจูลรีโอดอนไนซ์ให้กระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดแนวที่เกิดการดิสชาร์จ และควรทำให้ระบบเลเซอร์มีความสะอาดมากที่สุด ก็คือควรเป็นสุญญากาศก่อนที่จะจ่ายแก๊สเข้าสู่ระบบ จะช่วยให้ระบบเลเซอร์เกิดการดิสชาร์จได้อย่างสม่ำเสมอและป้องกันการอาร์คระหว่างขั้วไฟฟ้าได้ ซึ่งทำให้ระบบเลเซอร์ที่ได้มีเสถียรภาพดีและประสิทธิภาพสูง

## เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Bass. **Handbook of Optics**. 2nd Ed. New York : McGraw-Hill, Inc., 1989.
- [2] J. Hawkes, I. Latimer. **Lasers**. Prentice Hall, Inc., 1995.
- [3] วุฑฒิ พันธุมนาวิณ. **เลเซอร์ฟิสิกส์**. กรุงเทพมหานคร : มิตรนราการพิมพ์, 2521.
- [4] W.W. Duley. **CO<sub>2</sub> Lasers**. San Diego : Academic Press, Inc., 1976.
- [5] E.P. Velikhov. **Molecular Gas Lasers**. Moscow : MIR Publishers, 1981.
- [6] A.J. Beaulieu. "Transversely excited atmospheric pressure CO<sub>2</sub> lasers," *Appl. Phys. Lett.*, vol.16, pp.504, 1970.
- [7] P. K. Cheo. **Handbook of Molecular Lasers**. United Technologies Research, East Hartford, Connecticut.
- [8] W.J. Witteman. **The CO<sub>2</sub> Laser**. Germany : Springer, 1987.
- [9] A.J. Palmer. "A physical model on the initiation of atmospheric-pressure glow discharge," *Appl. Phys. Lett.*, vol.25, no.3, August 1974.
- [10] C. Tallman. "Preionization techniques for discharge lasers," *SPIE*, vol. 1046, Pulse Power for Lasers II, 1989.
- [11] A.K. Laflamme. "Double discharge excitation for atmospheric-pressure CO<sub>2</sub> lasers," *Rev. Sci. Instrum.*, vol.41, pp.11, November 1970.
- [12] H.M. Lamberton and P.R. Pearson. "Atmospheric pressure CO<sub>2</sub> lasers giving high output energy per unit volume," *IEEE J. Quantum Electron*, QE8, pp.145, 1972.
- [13] M.C. Richardson, K. Leopold and A.J. Alcock. "Large aperture CO<sub>2</sub> laser discharges," *IEEE J. Quantum Electron*, QE9, pp.934, 1973.
- [14] V. Hasson. "High pressure glow discharges for nanosecond excitation of gas lasers and low inductance swithcing applications," *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, vol.9, pp.73-76, 1976.
- [15] วิจิตร ศรีมงคล, กอบชัย เดชหาญ, พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ. "การสร้างระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ," *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 20*, หน้า 598-602, พฤศจิกายน 2540.
- [16] B. Walter. "TEA CO<sub>2</sub> Lasers, physical problems and technical solutions," *SPIE*, vol. 650, High Power Lasers and Their Industrail Applications, 1986.
- [17] A. Rothem and S. Rosenwaks. "A simple, high power, TEA laser operating in the UV, Visible and IR," *Optics Communications*, vol.30, no.2, pp. 227-230, August 1979.
- [18] T.Y. Chang. "Improve uniform field electrode profiles for TEA laser and high voltage

application,” *Rev. Sci. Instrum.*, vol.44, pp.405-7, pp.1677, 1973.

- [19] J.V. Cridland, S. Howells. “The dependence of transversely excited atmospheric CO<sub>2</sub> laser performance on circuit configuration,” *J. Appl. Phys.*, vol.53, pp.6, June 1982.
- [20] EG&G Electronic Components. “Ceramic-Metal Triggered Spark Gaps,”  
Data sheet G60000E-5.
- [21] R.C. Crafer, P.J. Oakley. **Laser Processing in Manufacturing.** Chapman & Hall, 1993.





The seal of Rajabhat Buriram is a circular emblem. It features a central sunburst with a small circle in the center, flanked by two stylized trees. Below the trees are three tiered stupas. The entire emblem is surrounded by a circular border containing Thai text. The text at the top reads 'มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์' (Mahavithayalai Rajabhat Buriram) and the text at the bottom reads 'พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง' (Phra Chomklao Jaokunthar Ladkrabang).

**ภาคผนวก ก**  
ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์

# การสร้างคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ

## A Construction of Transversely Excited Atmospheric-Pressure Carbondioxide Laser

วิจิตร ศรีมงคล กอบชัย เดชหาญ พิเชษฐ ลิมสุวรรณ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ภาคระเบ็ง  
ถนนฉลองกรุง แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระเบ็ง กรุงเทพฯ 10520. โทร. (02) 326-6052-56

\* ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตราชบุรีรณะ กรุงเทพฯ 10140. โทร. (02) 427-0039 ต่อ 6200

### บทคัดย่อ

การบอณไดออกไซด์เลเซอร์ชนิดกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ เป็นเลเซอร์ที่มีลักษณะเป็นพัลส์และมีกำลังสูงมาก วิธีการกระตุ้นให้เกิดแสงเลเซอร์จะใช้สนามไฟฟ้ากระตุ้นในทิศตั้งฉากกับแนวลำแสงที่ออกมา ซึ่งการคิสราร์จะเกิดได้ง่ายขึ้นเมื่อเราใช้วงจรรีไอโอไอโนซ้เข้าช่วยระบบเลเซอร์ที่สร้างขึ้นมาสามารถให้พลังงานได้สูงถึง 1 จูลต่อพัลส์ภายในปริมาตรที่ถูกกระตุ้นเพียง  $1.4 \times 1.4 \times 30$  ลูกบาศก์เซนติเมตรในอัตราส่วนของแก๊สผสม  $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He}$  1 : 1.5 : 2.5 ที่ความดันรวม 800 มิลลิบาร์ ลักษณะของการคิสราร์จที่เกิดขึ้นจะมีความเป็นเอกพันธ์ จึงสามารถคิสราร์จได้ในอัตราส่วนของแก๊สผสม  $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He}$  ได้สูงถึง 2 : 1 : 1

### Abstract

TEA- $\text{CO}_2$  laser is a pulse laser with high peak power. Electrical field is used to pump the gas medium in the direction perpendicular to the laser axis with help of preionization circuit. Volume of laser medium containing in the laser system is  $1.4 \times 1.4 \times 30 \text{ cm}^3$ . The constructed laser system can emit laser energy 1 joule per pulse in mixture of  $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He}$  about 1 : 1.5 : 2.5 at total pressure 800 mbar. In addition, homogeneous discharge can be operated at a higher concentration of  $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He}$  about 2 : 1 : 1.

### 1. คำนำ

ระบบการบอณไดออกไซด์เลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศนั้นจำเป็นต้องได้รับการกระตุ้นเป็นพัลส์ระหว่างขั้วไฟฟ้า โดยจะทำการคิสราร์จด้วยกระแสสูงในช่วงเวลาสั้นๆ แสงเลเซอร์ที่ได้ออกมาจะมีทิศทางตั้งฉากกับสนามไฟฟ้าซึ่งจะมีพัลส์ที่แคบและกำลังสูง ต่อมาการพัฒนาการกระตุ้นให้เกิดการคิสราร์จให้เกิดได้ที่ความดันสูงขึ้นจนถึงความดันบรรยากาศหรือมากกว่า จะเป็นการนำเอาหลักการรีไอโอไอโนซ้เข้ามาช่วยเพื่อช่วยให้เกิดการคิสราร์จเกิดได้ง่ายขึ้นและยังทำให้เลเซอร์ที่ได้มีกำลังสูงขึ้นอีกด้วย [1]

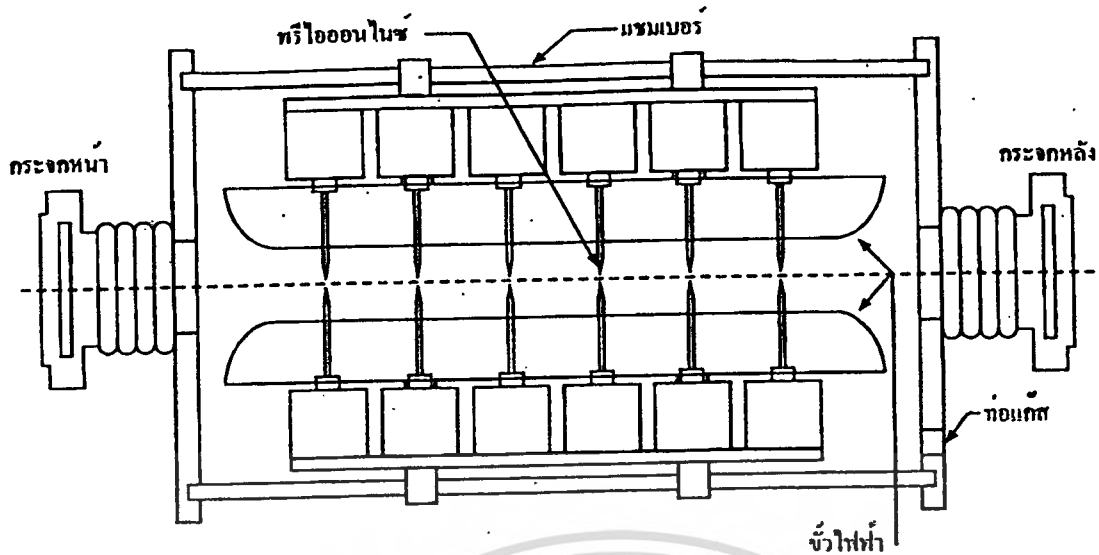
ในบทความนี้ได้ทำการสร้างระบบการบอณไดออกไซด์เลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศและนำเอาวงจรรีไอโอไอโนซ้เข้ามาช่วยในการเกิดการคิสราร์จของแก๊สที่ใช้งาน และศึกษาเกี่ยวกับพลังงานของแสงเลเซอร์ที่มีผลมาจากอัตราส่วนผสมของแก๊สที่ใช้งานคือ แก๊สการบอณไดออกไซด์, ไนโตรเจนและฮีเลียม

### 2. ส่วนประกอบและการสร้าง

ส่วนประกอบของระบบ TEA  $\text{CO}_2$  Laser มีดังนี้คือ

#### 2.1 ช่องเลเซอร์ (Laser channel)

ช่องเลเซอร์เป็นส่วนที่มีการคิสราร์จเกิดขึ้นภายในมีขนาดยาว 40 เซนติเมตร รัศมี 15 เซนติเมตร ในการทดลองนี้จะทำมาจากท่ออะครีลิกและยึดหัวท้ายด้วยแผ่นอะครีลิก ซึ่ง



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของห้องเลเซอร์

แผ่นอะคริลิกนี้จะยึดติดกับตัวปรับกระบอกเลเซอร์และมีทางให้แก๊สผ่านเข้าออกได้ โดยภายในด้านบนและล่างจะติดขั้วไฟฟ้าไว้ซึ่งจะติดอยู่กับตัวเก็บประจุที่เป็นส่วนประกอบของวงจรทรีโอออนไนซ์ขั้วละ 12 ตัวห่างในระยะเท่าๆ กัน ซึ่งในช่องเลเซอร์นี้จะทำการซีลไว้เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศภายนอกเข้าไปเพื่อให้ระบบสะอาด โดยแสดงไว้ในรูปที่ 1

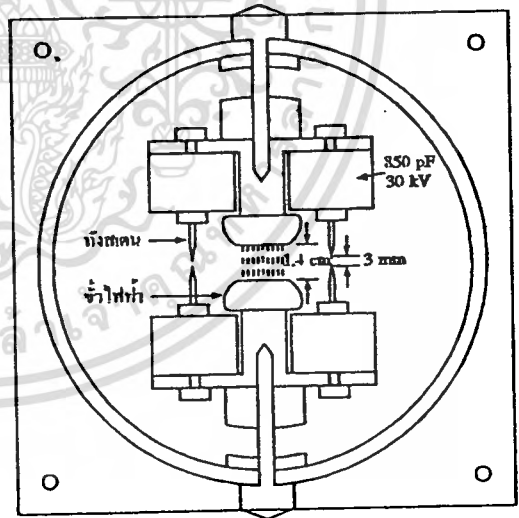
## 2.2 ขั้วไฟฟ้า (Electrode)

ขั้วไฟฟ้าในระบบนี้ทำจากแท่งอะลูมิเนียมขนาด  $320 \times 30 \times 10 \text{ mm}^3$  โดยที่จะแต่งผิวให้รูปร่างเป็นไปตามสมการของซาง [2] เพื่อลดความเครียดของสนามไฟฟ้าบริเวณขอบหรือมุมของขั้วไฟฟ้าให้มีค่าน้อยที่สุด และช่วยให้การกระจายจที่ที่เกิดขึ้นมีความสม่ำเสมอมากที่สุดตลอดแนวของขั้วไฟฟ้า ซึ่งสมการของซางจะเป็นดังนี้คือ

$$y = \pi + k \cosh(x) \quad (1)$$

โดยการกำหนดค่า  $k$  ซึ่งเป็นตัวแปรทางเรขาคณิตจะทำให้ได้ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าที่มีความโค้งต่างๆ กัน โดยที่ค่า  $x, y$  คือจุดบนผิวโค้งของขั้วไฟฟ้าที่มีสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ ซึ่งเราต้องหาค่า  $k$  ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผิวโค้งที่ทำให้สนามไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองมีค่าสม่ำเสมอมากที่สุด แต่ในการสร้างขั้วไฟฟ้าให้มีรูปร่างเป็นไปตามสมการนั้นเป็นไปได้

ยากมาก ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้ทำการลบมุมของขั้วไฟฟ้าให้มีลักษณะโค้งมนทุกๆ ด้าน ระยะห่างของขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองมีค่าประมาณ 1.4 เซนติเมตร ซึ่งภาคตัดขวางของระบบเลเซอร์แสดงไว้ในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ภาคตัดขวางของห้องเลเซอร์

## 2.3 วงจรทรีโอออนไนซ์ (Preionization circuit)

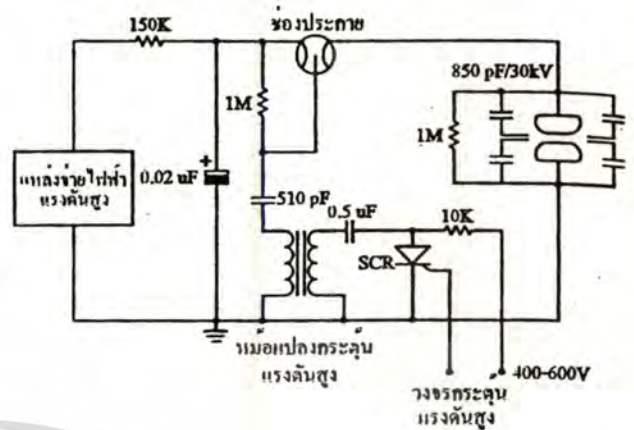
ในการทำให้เกิดการกระจายจขึ้นที่ความดันบรรยากาศหรือสูงกว่าจำเป็นต้องใช้ระบบทรีโอออนไนซ์เข้ามาช่วย [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

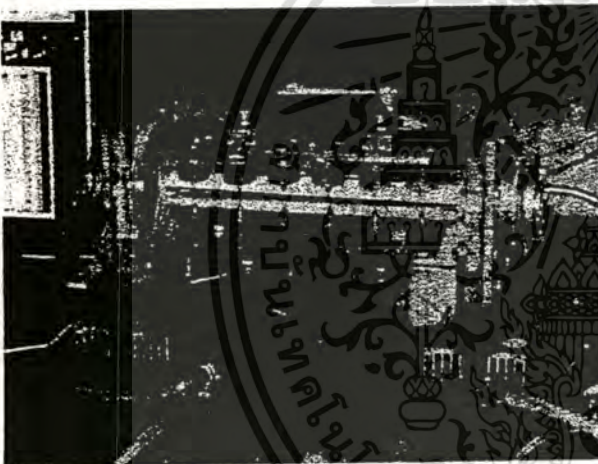
วงจรหรือไอโอไนซ์จะสร้างแสงอัลตราไวโอเลตขึ้นมาซึ่งจะไปช่วยทำให้อะตอมของแก๊สที่อยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้าแตกตัวออกทำให้ได้อิเล็กตรอน ซึ่งจะเป็จุดเริ่มในการนำกระแสไฟฟ้าผ่านแก๊สผสมที่ใช้งานและช่วยทำให้การคายประจุเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอและมีเสถียรภาพ

ระบบหรือไอโอไนซ์ที่สร้างขึ้นนี้จะผลิตแสงอัลตราไวโอเลตจากการประกาย โดยจะใช้ตัวเก็บประจุค่า 850 pF ทนแรงดันได้ 30 kV ต่อไว้ที่ขั้วไฟฟ้าข้างละ 6 คู่ที่ปลายของตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะต่อเข็มแหลมที่ทำจากทังสเตน โดยปลายเข็มของตัวเก็บประจุแต่ละคู่จะห่างกันประมาณ 3 มิลลิเมตร ซึ่งจะทำให้เกิดจุดที่สร้างแสงอัลตราไวโอเลต 12 จุดตลอดแนวปริมาตรที่เกิดการคายประจุ เมื่อประกอบช่องเลเซอร์เสร็จแล้วจะเป็นดังรูปที่ 3

ชาร์จผ่านช่องประกายไปยังขั้วไฟฟ้า ซึ่งจะเป็นการกระตุ้นให้เกิดการคายประจุแก๊สที่อยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้า



รูปที่ 4 วงจรกระตุ้นช่องเลเซอร์และวงจรหรือไอโอไนซ์



รูปที่ 3 ช่องเลเซอร์ที่ประกอบเสร็จแล้ว

### 2.5 กระจกเลเซอร์ (Laser mirror)

แนวคิดของเลเซอร์หรือส่วนที่เป็นตัวกลางซึ่งทำให้เกิดแสงเลเซอร์ประกอบด้วย

1. กระจกหลัง ทำมาจากผลึกซิลิคอน (Si) แล้วทำการเคลือบด้วยทอง (Au) เนื่องจากทองจะสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่นในช่วงอินฟราเรดได้ดี โดยสามารถสะท้อนแสงได้ 100 เปอร์เซ็นต์สำหรับแสงที่ความยาวคลื่น 10.6 ไมครอนซึ่งเป็นความยาวคลื่นของเลเซอร์ที่ถูกปล่อยให้ออกมา
2. กระจกหน้า ทำมาจากผลึกซิงค์ซีลีไนด์ (ZnSe) แล้วทำการเคลือบสารไดออกไซด์ทริทเพื่อให้อสะท้อนแสงได้บางส่วน (partial reflection film)

### 2.4 วงจรกระตุ้นเลเซอร์ (Excitation circuit)

วงจรที่ใช้ในการกระตุ้นให้เกิดเลเซอร์มีส่วนประกอบดังรูปที่ 4 ซึ่งการทำงานจะเป็นดังนี้คือ แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงจะทำการประจุให้กับตัวเก็บประจุ 0.02 ไมโครฟารัดจนถึงแรงดันไฟฟ้าค่าที่ต้องการสำหรับช่องเลเซอร์ เมื่อมีสัญญาณกระตุ้นจากวงจรกระตุ้น สัญญาณนี้จะถูกขยายแรงดันขึ้นโดยหม้อแปลงกระแสสูง ซึ่งจะไปกระตุ้นให้ช่องประกายนำกระแส ดังนั้นพลังงานที่สะสมอยู่ในตัวเก็บประจุก็จะคาย

### 2.6 ระบบแก๊ส

ในระบบ TEA-CO<sub>2</sub> Laser แก๊สผสมที่ใช้ประกอบด้วยแก๊ส 3 ชนิดคือ แก๊สไนโตรเจน (N<sub>2</sub>), แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) และแก๊สฮีเลียม (He) การปรับอัตราส่วนของแก๊สในระบบแต่ละชนิดจะอาศัยการเปรียบเทียบจากความดันรวมทั้งหมดภายในแชมเบอร์

### 3. วิธีการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

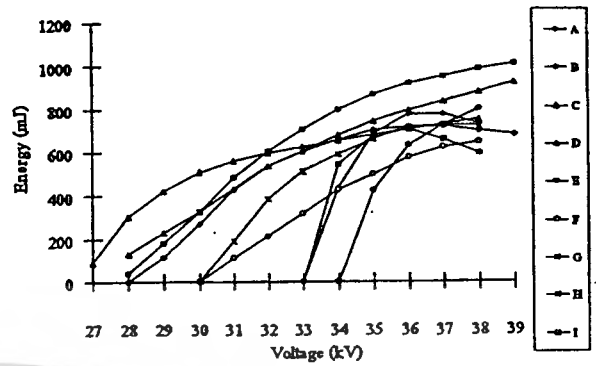
เมื่อประกอบส่วนต่าง ๆ ของเลเซอร์ทั้งหมดเข้าด้วยกัน  
ต่อไปทำการปรับกระจกหน้าและกระจกหลังให้ขนานกันโดย  
ใช้สิลิม-นีออนเลเซอร์ช่วย หลังจากนั้นให้ทำการทดลอง  
ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ดูอากาศออกจากแอมเบอรของระบบเลเซอร์
2. ใส่แก๊สต่าง ๆ ตามอัตราส่วนที่ต้องการเข้าไปในแอมเบอร  
โดยที่อัตราส่วนของแก๊สจะดูได้จากความดันรวมของแก๊สซึ่ง  
อยู่ในแอมเบอร ในการทดลองจะใช้อัตราส่วนผสมของ  
แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์, ไนโตรเจนและสิลิมดิ่งนี้ 1 : 1.5  
: 1 (A), 1 : 1 : 1.5 (B), 1 : 1 : 2 (C), 1 : 1 : 2.5 (D),  
1 : 2 : 2 (E), 1 : 0.5 : 1 (F), 1.5 : 2 : 2.5 (G), 1 : 1.5 : 2.5  
(H), 2 : 1 : 1 (I) และในช่วงแรกนี้ได้เลือกใช้กระจกเลเซอร์  
ด้านหน้าที่มีการสะท้อนแสง 80%
3. ที่อัตราส่วนผสมของแก๊สแต่ละค่า ทำการวัดค่าพลังงาน  
ของแสงเลเซอร์ที่ได้ เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้แก่ระบบเลเซอร์  
ที่ค่าต่างๆ กันตั้งแต่ 27-39 กิโลโวลต์
4. จากผลการทดลองในข้อ 2 และ 3 เราจะได้ค่าอัตราส่วน  
ผสมของแก๊สที่เหมาะสมที่สุดซึ่งให้ค่าพลังงานของแสง  
เลเซอร์สูงสุด สำหรับกระจกเลเซอร์ด้านหน้าที่มีการสะท้อน  
แสง 80%
5. หลังจากที่ได้อัตราส่วนผสมของแก๊สที่เหมาะสมที่สุดแล้ว  
ให้ทดลองตามข้อที่ 3 แต่ใช้กระจกเลเซอร์ด้านหน้าที่มีการ  
สะท้อนแสงค่าอื่นคือ 75%

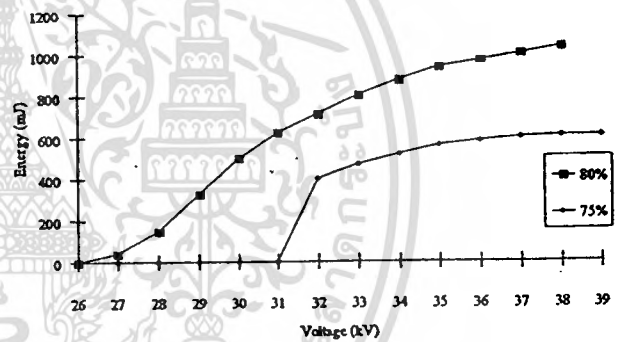
#### 4. ผลการทดลอง

1. จากการทดลองตามข้อ 2 และ 3 ในหัวข้อที่แล้วเมื่อใช้  
กระจกเลเซอร์ด้านหน้าที่มีการสะท้อนแสง 80% เพื่อหาอัตรา  
ส่วนผสมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์, ไนโตรเจนและสิลิม  
ที่เหมาะสมที่สุดซึ่งให้พลังงานของเลเซอร์สูงสุด ผลการ  
ทดลองแสดงโดยกราฟในรูปที่ 5
2. จากกราฟในรูปที่ 5 จะเห็นว่าอัตราส่วนผสมของแก๊สที่  
เหมาะสมที่สุดคือ 1 : 1.5 : 2.5
3. นำค่าอัตราส่วนผสมของแก๊สที่เหมาะสมที่สุดนี้ไปใช้กับ  
กระจกเลเซอร์ด้านหน้าที่มีการสะท้อนแสง 75% เพื่อเปรียบ

เทียบกับกระจกเลเซอร์ที่มีการสะท้อนแสง 80% ผลการวัด  
พลังงานของแสงเลเซอร์ที่ได้แสดงโดยกราฟในรูปที่ 6



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของเลเซอร์กับแรงดัน  
ไฟฟ้าที่อัตราส่วนของแก๊สผสมต่างๆ กัน



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของเลเซอร์กับแรงดัน  
ไฟฟ้าเมื่อกระจกเลเซอร์มีการสะท้อนแสง 75% และ 80%

#### 5. สรุป

1. จากกราฟในรูปที่ 5 จะเห็นว่าอัตราส่วนของแก๊ส  $\text{CO}_2$  :  $\text{N}_2$  :  
 $\text{He}$  ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบที่ทดลองนี้จะให้พลังงาน  
ของแสงเลเซอร์มีค่าสูงสุดคือ 1 : 1.5 : 2.5 ที่ความดันของแก๊ส  
800 มิลลิบาร์ ซึ่งสามารถอธิบายได้คือ เนื่องจากการเกิด  
เลเซอร์จะอาศัยการเปลี่นระดับพลังงานของโมเลกุลของแก๊ส  
คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งในโลกการกระตุ้นให้เกิดเลเซอร์  
นั้นจำเป็นต้องใช้ปริมาณโมเลกุลของแก๊สในโตรเจนที่เหมาะสม  
ช่วยในการถ่ายเทพลังงานให้กับโมเลกุลของแก๊สคาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดออกไซด์ และใช้โมเลกุลของแก๊สฮีเลียมในปริมาณที่  
เหมาะสมเช่นกัน ในการช่วยระบายความร้อนและเพิ่ม  
ประสิทธิภาพของระบบเลเซอร์ ดังนั้นอัตราส่วนของ  $\text{CO}_2$  :  
 $\text{N}_2$  : He ที่เหมาะสมกับระบบเลเซอร์ที่สร้างขึ้นนี้จะมีผลตาม  
การทดลอง

- ค่าพลังงานของแสงเลเซอร์ที่วัดได้สูงสุดมีค่า 1048 mJ  
สำหรับกระจกเลเซอร์ด้านหน้าที่มีการสะท้อนแสง 80%
- จากกราฟในรูปที่ 6 เมื่อนำอัตราส่วนของแก๊ส  $\text{CO}_2$  :  $\text{N}_2$  :  
He ที่เหมาะสมที่สุดคือ 1 : 1.5 : 2.5 ไปใช้กับกระจกเลเซอร์ที่  
มีการสะท้อนแสง 75% พบว่าค่าพลังงานของแสงเลเซอร์ที่ได้  
มีค่าน้อยกว่ากระจกเลเซอร์ที่มีการสะท้อน 80% เพราะค่า  
อัตราการขยายของระบบเลเซอร์ จะแปรผันตรงกับค่า  
เปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของกระจกเลเซอร์ ซึ่งถ้ามีค่า  
เปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงมากก็จะทำให้อัตราการขยายของ  
ระบบเลเซอร์มีค่ามากขึ้นทำให้ได้พลังงานของเลเซอร์ที่ออกมา  
มีค่าสูงขึ้นซึ่งตรงกับผลการทดลอง

เมื่อเราปรับอัตราส่วนต่างๆ ของแก๊สตามที่เรากำลัง  
การทดสอบแล้วเราวัดค่าพลังงานของเลเซอร์ที่ออกมาจะวัด  
พลังงานของเลเซอร์ได้สูงสุดที่ 1048 mJ ที่แรงดันไฟฟ้า 38  
กิโลวัตต์ในอัตราส่วนของแก๊สคือ 1 : 1.5 : 2.5 ที่ความดัน  
800 มิลลิบาร์ นอกจากนี้แล้วระบบเลเซอร์ที่สร้างขึ้นมายัง  
สามารถทำงานที่อัตราส่วนของแก๊สผสมได้สูงถึง 2 : 1 : 1 ซึ่ง  
จะเห็นว่าในระบบมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ถึง 2 ใน 4  
ส่วนซึ่งโดยปกติแล้วจะเกิดการคิซซาร์จได้ยาก ผลที่เกิดขึ้น  
คือ จะได้เลเซอร์ที่ประสิทธิภาพสูงถึง 10 เปอร์เซ็นต์ และพบ  
ว่าพลังงานของเลเซอร์จะมีค่าสูงสุดหรือมีประสิทธิภาพสูงสุด  
ที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกหน้ามีค่าเท่ากับ 80  
เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5

จากการสังเกตลักษณะของการคิซซาร์จที่เกิดขึ้น  
ระหว่างขั้วอิเล็กโทรด จะเห็นว่าจอร์หรือไอโอดีน  
สามารถให้แสงอัลตราไวโอเล็ตที่มีความเข้มแสงสูงมาก จึงทำ  
ให้แก๊สจอร์หรือไอโอดีนในเชิงปริมาณได้สูง ดังนั้นจึงทำให้  
การคิซซาร์จของเลเซอร์มีความเป็นเอกพันธ์ (homogeneous)  
มาก ซึ่งเป็นการช่วยให้ประสิทธิภาพของระบบดีกว่าระบบ  
เลเซอร์ที่มีการคิซซาร์จมีความเป็นเอกพันธ์น้อย

ระบบเลเซอร์ แบบกระตุ้นตามขวางที่ ความดัน  
บรรยากาศที่สร้างขึ้นเป็นชนิดแก๊สเลเซอร์ ซึ่งจะให้พลังงาน  
ออกมาเป็นพัลส์ ระบบเลเซอร์นี้ได้ใช้จอร์หรือไอโอดีนเข้า  
มาช่วย ทำให้เกิดการคิซซาร์จที่เกิดขึ้นมีความสม่ำเสมอและมี  
ความเป็นเอกพันธ์มาก เลเซอร์ชนิดนี้สามารถนำไปประยุกต์  
ใช้งานในด้านอุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อมได้ เช่น นำไป  
สร้างเลเซอร์สำหรับตัด, เจาะ, แกะสลักวัสดุต่างๆ ได้หลาย  
ชนิด ใช้งานในด้านตรวจมลภาวะหรือแก๊สที่อยู่สูงๆ ได้.

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] R.T. Brown, "CO<sub>2</sub> TEA Lasers", Handbook of  
Molecular Lasers, pp.93-164. In P.K. Cheo (ed.),  
Marcel Dekker, 1987.
- [2] T.Y. Chang, "Improve Uniform - Field Electrode  
Profile for TEA Laser and High Voltage Applications",  
Rev. Sci. Instrum. Vol. 44, pp. 405-7, p. 1677, 1973.
- [3] B. Walter, "TEA CO<sub>2</sub> Lasers", Physical Problems  
and Technical Solutions. In SPIE Vol. 650, High  
Power Lasers and Their Industrial Application, 1986.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไปว่ากรณีนี้อาจทั้งสิ้น ลึกหนึ่งห้วงมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

นายวิธีร์ ศรีมงคล เกิดเมื่อวันที่ 10 มิถุนายน พ.ศ. 2515 ที่จังหวัดสมุทรสงคราม จบการศึกษาในระดับประถมศึกษาและมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนครุมานุเคราะห์ จังหวัดสมุทรสงคราม ปี พ.ศ. 2528 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเบญจมราชูทิศราชบุรี จังหวัดราชบุรี ปี พ.ศ. 2533 จบการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปีการศึกษา 2536

