สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและสร้างแหล่งกำเนิดเลเซอร์แบบสามอิเลคโทรด

Design and Construction of a three electrode power regulated laser

T 019825

หนังสืออ้างอิง
ห้ามนำออกนอกห้องสมุด

นายโสภณ ลีลายุทธ์โท
MR. SOPHON LEELAYUTHTO

เลขหมู่
เลขทะเบียน 19825
วัน, เดือน, ป 13 มี.ค. 2536

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2536

ISBN 974-621-000-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design and Construction of a three eletrode power regulated laser

MR. SOPHON LEELAYUTHTO

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL
KING MONGKUT'S INSTITVTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG 1993

ISBN 974-621-000-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและสร้างแหล่งกำเนิดเลเซอร์แบบสามอิเลคโทรด
นักศึกษา	นาย โสภณ ลีลายุทธ์โท
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. สมเกียรติ ศุภเดช
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร. แดเนียล บรีน
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตร์ มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	อิเลคทรอนิคส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้มุ่งทำการทดลองศึกษาการออกแบบและสร้างแหล่งกำเนิดเลเซอร์แบบสามอิเลคโทรด สำหรับนำไปใช้ในงานผ่าตัดทางการแพทย์ เมื่อคำนึงถึงรูปแบบของกำลังทางออกของเลเซอร์ที่ใช้ในงานผ่าตัดแล้ว เราพบว่าการออกแบบเลเซอร์มีความละเอียดอ่อนและยุ่งยากหลายด้านที่ต้องคำนึงถึง ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พัฒนารูปแบบที่ง่ายและนำไปใช้งานได้สำหรับการออกแบบ CO_2 เลเซอร์ ที่มีกำลังทางออกแบบโหมดเดียวโดยศึกษาและทดลองหาความสัมพันธ์ต่าง ๆ ของพารามิเตอร์ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ รวมทั้งการใช้กราฟที่ทำให้เราสามารถกำหนดผลที่มีต่อปัจจัยอื่นๆ ของการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์หนึ่งๆ ในการออกแบบได้และกำลังทางออกของ CO_2 เลเซอร์ที่มีรูปแบบโครงสร้างแบบโหมดเดียวนี้ได้ถูกพัฒนาและสร้างให้มีระดับขนาดสูงถึง 50 วัตต์ ซึ่งเป็นระดับกำลังที่สูงพอจะนำไปใช้ในงานผ่าตัดทางการแพทย์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Design and Construction of a three electrode power regulated laser
Student	Mr. Sophon Leelayuthto
Thesis Advisor	Assoc. Prof.Dr. Somkiat Supadech
Thesis Co-advisor	Dr. Danial Breen
Level of Study	Master of Engineering in Electrical Engineering
Academic Year	1993

ABSTRACT

This thesis concerns the design and construction of a CO_2 laser for use as a laser scalpel. The design involves use of a three electrode discharge tube and a regulated power supply allowing accurate control of output power. Several critical factors must be considered. The design must be simple and rugged providing stable use over a long period. Output power should be in the fundamental mode and reach a level of 50 watts. Choice of design parameters is based on published work and adaptation to the specification required. Details of construction are given and the results of measurements carried out on the completed design. It is concluded that the laser is suitable for medical use in surgical operation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีก็เพราะได้รับความเมตตาจาก ดร.แดเนียล บรีน และ รศ.ดร. สมเกียรติ ศุภเดช ที่ได้ให้ความกรุณาแนะนำแก่ผู้วิจัยตลอดมาผู้วิจัยรู้สึกทราบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ดร.พิเชษฐ์ ลิ้มสุวรรณ อาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่กรุณาแนะแนวทางและช่วยเหลือทางด้านเครื่องมือวิจัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ วิวัฒน์ เผ่าลินจง และ นาย โสภณ อัศวศรีวรนันท์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล (วิทยาเขตเทเวศน์) ที่ให้คำปรึกษาอนุเคราะห์เกี่ยวกับการจัดหาเครื่องมือวัดที่สำคัญ

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสันติและคุณแม่ฮุ้น ลีลายุทธ์โท ที่ให้กำลังใจและทุนทรัพย์ในการทำวิจัยตลอดมา.

นายโสภณ ลีลายุทธ์โท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VI
สารบัญภาพ VII
สัญญลักษณ์ IX
คำนิยามของศัพท์ที่ใช้ X
บทที่
1. บทนำ 1
2. เลเซอร์และคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ 4
นิยามของเลเซอร์ 4
ความแตกต่างจากแหล่งกำเนิดแสงอื่น ๆ 6
ทฤษฎีของเลเซอร์และหลักการ 7
ความหมายของคำในเลเซอร์ 8
ระดับพลังงานและการเปลี่ยนระดับ 9
การกระตุ้น 12
การแผ่รังสีตามธรรมชาติที่ถูกกระตุ้น 13
ขบวนการย้อนกลับของประชากร 14
การขยายและการออสซิลเลท 16
รีโซเนเตอร์ , โหมดและคุณภาพของลำแสง 19
คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ 25
กลไกการทำงานภายในของคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ 26
3. กระบวนการออกแบบโครงสร้างของช่องตัวกลางและรีโซเนเตอร์ 28
การพิจารณาวิธีการออกแบบทั่ว ๆ ไป 28
การคำนวณหา loss (l) สำหรับการออกแบบ 37
การคำนวณหาอัตราขยาย (g_o) และความเข้มอิ่มตัว (I_s) 39
การคำนวณหากำลังทางออก (P_o) 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปร่างเรขาคณิตของหลอดและลำแสง 41
รูปแบบการออกแบบโดยเฉพาะ 43

4. แหล่งจ่ายไฟสำหรับแหล่งกำเนิดเลเซอร์ 49
การคำนวณหาขนาดของทรานฟอร์เมอร์และไดโอด 49
การคำนวณหาขนาดของฟิลเตอร์คาปาซิเตอร์ 52
วงจรควบคุมกระแส 54

5. โครงสร้างของแหล่งกำเนิดเลเซอร์,การทดลองและผลการทดลอง 61
ระบบแก๊สเลเซอร์ที่ไหลผ่าน 61
ระบบระบายความร้อน 62
โครงสร้างของระบบเลเซอร์ทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง 63
การทดลองและผลการทดลอง 66

6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 70

บรรณานุกรม 73

ภาคผนวก ก. แบบแสดงรายละเอียดของหัวปรับกระจกและแท่นวางแหล่งกำเนิดเลเซอร์ 74

ภาคผนวก ข. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับการส่งผ่านของกระจก 77

ประวัติผู้เขียน 83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1. แสดงการหาค่า l_{10} / l_{00} 45
2. ผลการทดลองปรับกระแสและความดันแก๊ส 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

1. แสดงโครงสร้างอย่างง่ายของเลเซอร์สองชนิด 5
2. แสดงแบบที่สำคัญของการเปลี่ยนระดับพลังงาน 10
3. แสดงแบบการสั่นสะเทือนของโมเลกุล CO_2 สามแบบ 11
4. แสดงการแจกแจงประชากรกับระดับพลังงานที่สภาวะสมดุลย์ และช่วงการย้อนกลับของประชากร 15
5. แสดงกุญแจสำหรับการกำเนิดเลเซอร์ 17
6. แสดงปรากฏการณ์ threshold ในเลเซอร์ 18
7. แสดงตัวอย่างของการออกแบบช่องในเลเซอร์ 20
8. แสดงโหมดต่ำ ๆ ที่ถูกสร้างขึ้นจากรีโซเนเตอร์ที่เสถียร 24
9. แสดงโครงสร้างของระดับพลังงานใน CO_2 เลเซอร์ 26
10. แสดงไดอะแกรมโครงสร้างที่แสดงระดับที่ถูกปรับให้ปกติของความเข้มพลักซ์ 31
11. แสดงสัมประสิทธิ์ของการคับปลิ้งที่ดีที่สุด (T_{opt}) สำหรับกำลังทางออกของการออสซิลเลทสูงสุด 35
12. แสดงค่าที่ปรับฐานแล้วของความเข้มพลักซ์เอาท์พุทสูงสุด 36
13. แสดง Average single-pass TEM_{00} mode loss for a half-symmetric cavity 37
14. แสดง Average single-pass TEM_{10} mode loss for a half-symmetric cavity 38
15. แสดงกราฟของกำลังทางออกต่อการส่งผ่านของกระจกสำหรับค่าอัตราขยายและ loss ต่าง ๆ 40
16. แสดงกราฟสามตัวแปรแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของลำแสง 42
17. แสดงกำลังทางออกสูงสุด (ที่ T_{opt}) ต่ออัตราขยาย 43
18. แสดงการส่งผ่านของกระจกที่ดีที่สุด (T_{opt}) ต่อ g_0L_a 44
19. แสดงอัตราส่วน I_{10} / I_{00} ต่อ Fresnel number ที่ค่า g ต่าง ๆ .. 45
20. แสดงรูปกราฟสามตัวแปรสำหรับเลือกพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบ 46
21. แสดงโครงสร้างของแหล่งกำเนิดเลเซอร์แบบสามอิเลคโทรดที่ปรับกำลังทางออกได้สูงสุด 50 วัตต์และเป็นโหมด TEM_{00} 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

22. แสดงพูลเวฟบริดจ์เรคติไฟเออร์ 49
23. แสดงรูปคลื่นของความต่างศักย์ที่โหลดอย่างประมาณของวงจรพูลเวฟ 50
24. แสดงโครงสร้างทางฟิสิกส์ของหลอดไตรโอด 54
25. แสดงสัญญลักษณ์ทางไฟฟ้าของหลอดไตรโอด 55
26. แสดงลักษณะเอาท์พุทของหลอดไตรโอด 56
27. แสดงวงจรส่วนควบคุมกระแส 58
28. แสดงวงจรกำเนิดแรงดัน 0 ~ -15 โวลต์ 58
29. แสดงวงจรไฟฟ้ารวมที่ใช้ในการทดลอง 59
30. แสดงไดอะแกรมของระบบแก๊สเลเซอร์ที่ไหลผ่าน 61
31. แสดงไดอะแกรมของระบบระบายความร้อน 62
32. แสดงไดอะแกรมของโครงสร้างของระบบเลเซอร์ทั้งหมดที่ใช้ทดลอง 63
33. ภาพถ่ายส่วนหัวปรับกระจก , หลอดแก้วและแท่นวาง 65
34. ภาพถ่ายส่วนแหล่งจ่ายไฟ 65
35. แสดงกราฟความสัมพันธ์ของกำลังทางออกของเลเซอร์กับกระแสดิสชาร์จที่ค่าความดันต่างๆ 67
36. แสดงกราฟความสัมพันธ์ของกำลังทางออกของเลเซอร์กับความดันที่ค่ากระแสดิสชาร์จต่างๆ 67
37. แสดงภาพถ่ายของโหมดของกำลังทางออกที่ตกกระทบลงบนแผ่นพลาสติกหนา 3 mm 68
38. แสดงภาพวาดภาคตัดขวางของรูป 5.4-3 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญลักษณ์ (List of Symbol)

สัญญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
E	พลังงาน	eV
V	ความถี่ของแสง	Hz
λ	ความยาวคลื่นของแสง	μm
A_T	พื้นที่หน้าตัดของหลอดเลเซอร์	m^2
D_T	เส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลเซอร์	m
I	ความเข้มของแสง	W/m^2
P_o	กำลังของแสงเลเซอร์	W
T	การส่งผ่าน (Transmission)	-
L_c	ระยะระหว่างกระจกสะท้อนทั้งสองด้าน	m
L_A	ระยะที่มีการดิสชาร์จ	m
W	รัศมีของลำแสงเลเซอร์ที่ความเข้มลดลง $1/e^2$	mm
l	loss ภายในระบบ	-
h	ค่าคงที่ของ Planck (= 6.6256×10^{-34} Js)	Js
I_s	Saturation intensity	W/m^2
g	สัมประสิทธิ์อัตราขยายอิ่มตัว	-
g_o	สัมประสิทธิ์อัตราขยายไม่อิ่มตัว	-
N	Fresnel number	-
R	รัศมีความโค้งของกระจก	m
TEM	Transverse electromagnetic mode	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนิยามศัพท์

1. **Achomatic** เป็นอุปกรณ์ทางแสงซึ่งถูกออกแบบเพื่อ หักเหแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันที่มุมเดียวกัน โดยทั่วไป achomatic lenses ทำมาจากส่วนประกอบสองอย่างหรือมากกว่าที่มีดัชนีหักเหแตกต่างกันและถูกออกแบบสำหรับใช้ที่ความยาวคลื่นที่มองเห็นได้อย่างเดียว
2. **Active medium** ตัวกลางในเลเซอร์เป็นวัสดุซึ่งทำให้เกิดการแผ่ที่ถูกกระตุ้นและขยาย โดยทั่วไปชื่อของเลเซอร์ก็ได้มาจากตัวกลาง ตัวอย่างเช่น ฮีเลียม-นีออนเลเซอร์ มีตัวกลางที่พลังงานจะถูกส่งจากอะตอมฮีเลียม (ซึ่งเป็นอะตอมที่ดูดพลังงานกระตุ้นเอาไว้) ไปยังอะตอมนีออนซึ่งเป็นอะตอมที่แผ่รังสีออกไป
3. **Amplifier (laser)** เป็นอุปกรณ์ซึ่งขยายแสงที่ถูกสร้างมาจากแหล่งเลเซอร์ภายนอก แต่ไม่มีกระจกที่จะทำให้ได้ออสซิลเลชั่นและไม่ขึ้นอยู่กับการสร้างลำแสงเลเซอร์สังเกตุว่าคำนี้ไม่ค่อยจะถูกใช้มากนัก
4. **Angstrom** หน่วยความยาวเท่ากับ 10^{-10} เมตร หรือ 0.1 นาโนเมตร เป็นหน่วยที่ใช้กันมากในการวัดความยาวคลื่น แต่อังสตรอมไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของระบบ SI
5. **Aperture** รูบนพื้นผิวที่แสงส่องผ่านโดยทั่วไปจะใช้กำจัดขอบนอกของลำเลเซอร์นั่นคือทำให้เรียบและกำจัดแสงที่จะกระจายออกและสร้างขอบของลำแสงให้ชันมากมากกว่าที่จะให้ขอบลาดเอียงตามที่เลเซอร์เป็นอยู่ Aperture อาจจะใช้คำว่า spatial filter แทนได้ซึ่งจะให้รายละเอียดที่มากกว่า
6. **Average power** จำนวนเฉลี่ยของกำลัง (ปกติวัดเป็นวัตต์) ที่ถูกแผ่ออกมาโดยเลเซอร์ค่านี้จะเท่ากับพลังงานต่อหนึ่งพัลซ์ (ในหน่วยจูล) คูณกับจำนวนพัลซ์ต่อนาที และจะมีความหมายเหมือนกันสำหรับพัลซ์เลเซอร์ที่เร็วมาก ๆ
7. **Beam diameter** เส้นผ่าศูนย์กลางของลำแสงเลเซอร์มักจะถูกพิจารณาขอบเขตไปถึงจุดที่ความเข้มของแสงในลำแสงลดลงไป $1/e^2$ (0.135) ของความเข้มสูงสุด
8. **Coherence** คุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นเดียวกันและมีเฟสเดียวกัน
9. **Coherence length** ระยะทางตลอดช่วงที่แสงจากเลเซอร์ยังคงรักษาคุณสมบัติ coherence ของมันไว้หลังจากที่มันแผ่ออกจากเลเซอร์
10. **Concave** ความโค้งเข้า เป็นพื้นผิวที่มีรูปร่างเหมือนกับภายในของชาม
11. **Convex** ความโค้งออก เป็นพื้นผิวที่มีรูปร่างเหมือนกับผิวนอกของลูกบอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. **Efficiency** สำหรับในเลเซอร์คือ เปอร์เซนต์ของพลังงานที่ป้อนเข้าไปในเลเซอร์ซึ่งจะปรากฏออกมาเป็นลำแสงเลเซอร์ นิยามตามความรู้สึกทั่วไป ๆ คือ " wall-plug " เป็นเปอร์เซนต์ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแหล่งจ่ายไฟ ซึ่งปรากฏออกมาเป็นลำแสงเลเซอร์ อย่างไรก็ตามมีคนวัดประสิทธิภาพโดยคิดจากจำนวนของพลังงานที่ปรากฏออกมาจากแหล่งจ่ายไฟหรือถูกดูดไว้จริงโดยตัวกลางเลเซอร์ ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วจะทำให้ได้ค่าที่สูงขึ้นเพราะไม่ได้คิดการสูญเสียในแหล่งจ่ายไฟและขบวนการสะสมพลังงาน

13. **Electronic transition** การเปลี่ยนระดับพลังงานที่ซึ่งอิเลคตรอนในอะตอมหรือโมเลกุลเคลื่อนที่จากระดับพลังงานหนึ่งไปยังอีกระดับหนึ่ง โดยทั่วๆ ไปการเปลี่ยนระดับพลังงานแบบนี้ให้พลังงานมากกว่าแบบ vibrational

14. **Electrical pumping** การสะสมพลังงานเข้าไปไว้ในตัวกลางเลเซอร์ โดยผ่านกระแสไฟฟ้าหรือการดิสชาร์จหรือลำของอิเลคตรอนในวัสดุ อิเลคตรอนจะส่งผ่านพลังงานในตัวมันเข้าไปในตัวกลางเลเซอร์เพื่อให้พลังงานกระตุ้นที่จำเป็นสำหรับการเกิดเลเซอร์

15. **Focal length** สำหรับจุดประสงค์ในทางปฏิบัติ ความยาวโฟกัสหมายถึงระยะทางจากเลนส์ ที่ซึ่งรังสีขนานเริ่มต้นที่แกนของเลนส์ไปจนถึงจุดที่รังสีขนานกลายเป็นจุดในกรณีของ negative lens ซึ่งเบี่ยงเบนรังสีให้กว้างออกแทนที่จะหักเข้า จุดโฟกัสที่ซึ่งจะใช้วัดความยาวโฟกัสจะเป็นจุดที่รังสีปรากฏย้อนไปข้างหลังของเลนส์และความยาวโฟกัสจะมีเครื่องหมายเป็นลบ

16. **Gaussian beam** ลำแสงเลเซอร์ที่ซึ่งความเข้มมีค่าสูงสุดที่ศูนย์กลางของลำแสงแล้วค่อย ๆ ลดลงอย่างลาดเอียงไปจนถึงขอบ รูปร่างของความเข้มที่ถูกวัดตกคร่อมศูนย์กลางของลำแสงเป็นเส้นโค้งแบบ Gaussian

17. **Intensity** จำนวนของแสงที่ตกกระทบต่อหน่วยพื้นที่ สำหรับมนุษย์ที่มองเห็นแสงที่มองเห็นได้ จะใช้คำว่า ความส่องสว่าง (illuminance) ส่วนการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าจะใช้คำว่า เส้นแรงรังสี (radiant flux)

18. **Laser** เป็นคำย่อของ " light amplification by the stimulated emission of radiation " ถูกใช้กับอุปกรณ์หลากหลายที่ให้กำเนิดแสงโดยหลักการนี้ ถ้าเปรียบเทียบกับแหล่งกำเนิดแสงอย่างอื่นแล้วแสงเลเซอร์จะมีช่วงความยาวคลื่นแคบมาก , เป็นแสงต่อเนื่องและมีทิศทาง

19. **Laser tube** หลอดแก้ว (หรือวัสดุอื่น) ที่ถูกเติมไว้ด้วยแก๊สเลเซอร์และมีอุปกรณ์รวบรวมแสงต้องการห่อหุ้มจากภายนอกและแหล่งจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20. **Maser** เป็นคำย่อของ " microwave amplification by the stimulated emission of radiation " ไมโครเวฟคล้ายกันกับเลเซอร์ แต่ถูกค้นพบก่อน มันเป็นตัวกำเนิดไมโครเวฟต่อเนื่องโดยการแผ่รังสีไมโครเวฟที่ถูกกระตุ้น
21. **Mode** เป็นเงื่อนไขแสดงประสิทธิภาพของการออสซิลเลทในเลเซอร์ เลเซอร์สามารถทำงานในหนึ่งโหมด (single mode) หรือหลายโหมด (multimode) และมีทั้งโหมดตามขวาง (transverse) และตามแกนยาว (longitudinal)
22. **Monochromatic** ที่มีความยาวคลื่นเดียวหรือความถี่เดียว ในความเป็นจริงแสงไม่สามารถมี monochromatic ได้ แต่มีช่วงความยาวคลื่นกว้างเป็นแถบ ความกว้างของช่วงนี้เป็นตัวกำหนดว่า monochromatic ของแสงเป็นอย่างไร
23. **Peak power** กำลังสูงสุดที่ส่งออกมาอย่างทันทีทันใด ระหว่างพัลซ์ของแสงเลเซอร์ โดยปกติค่านี้จะมากกว่ากำลังเฉลี่ยตลอดช่วงไซเคิลของพัลซ์
24. **Population inversion** การกระจายพลังงานที่ซึ่งมีจำนวนอะตอม หรือโมเลกุลอยู่ในระดับพลังงานชั้นสูงมากกว่า ที่อยู่ในระดับพลังงานชั้นต่ำ ถ้าการเปลี่ยนระดับพลังงานเป็นไปได้ระหว่างระดับพลังงานสองชั้นนี้ ก็สามารถกล่าวได้ว่ามีการเกิด population inversion กล่าวคือ ประชากรย้อนกลับกับสถานการณ์ที่ภาวะสมดุลย์เทอร์โมไดนามิคส์ ที่มีจำนวนอะตอมหรือโมเลกุลอยู่ในระดับพลังงานชั้นต่ำมากกว่าที่อยู่ในระดับพลังงานชั้นสูง
25. **Positive lens** เลนส์ซึ่งโฟกัสรังสีขนานกับแกนทางแสงของมัน ให้เล็กลงเป็นจุดซึ่งเป็นสาเหตุให้ลำแสงลู่เข้า (converge) และความยาวโฟกัสของมันจะมีค่าเป็นบวก
26. **Power / Energy meter** เครื่องมือที่ใช้วัดจำนวนกำลังทางแสง (วัตต์) หรือพลังงาน (จูล) มันสามารถทำงานได้ในช่วงแสงที่มองเห็นได้ , อินฟราเรด หรืออุลตร้าไวโอเลต และตรวจจับลำแสงแบบพัลซ์หรือแบบต่อเนื่องก็ได้ คำนี้โดยทั่วไปสามารถรวมเข้าไว้เป็นพวกของเครื่องมือวัดแสง โดยไม่พิจารณาการปรับแต่งของมัน
27. **Radius** ในการใช้ทางแสงรัศมีของเลนส์หรือกระจก โดยทั่วไปจะอ้างถึงรัศมีความโค้งของพื้นผิวของมัน ขนาดทางฟิสิกส์ของอุปกรณ์ทางแสงโดยทั่วไปจะถูกวัดเป็นเส้นผ่าศูนย์กลาง
28. **Resonater** คือคู่ของกระจกที่ถูกวางไว้ที่ปลายทั้งสองข้างของตัวกลางเลเซอร์ ซึ่งเป็นเหตุให้แสงกระโดดกลับไปกลับมาระหว่างกระจกทั้งสองนี้ ขณะที่มีการผ่านของตัวกลางเลเซอร์ กระจกบานหนึ่งในสองบานจะยอมให้แสงทะลุผ่านตัวมันออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาได้บางส่วนเพื่อเกิดเป็นลำแสงเลเซอร์ แต่ในบางครั้งกระจกมากกว่าสามบาน จะกำหนดรีโซเนเตอร์ที่มีรูปร่างแบบวงแหวน

29. **Resonater , stable** เป็นรีโซเนเตอร์ซึ่งรังสีแสงที่กระโดดกลับไปมาระหว่างกระจกจะเคลื่อนที่ไปตามแนวแกนเลเซอร์ และอยู่ในแนวแกนนี้ตลอดไป รีโซเนเตอร์แบบนี้เป็นแบบที่พบมากที่สุดในทางการค้า โดยเฉพาะแบบกำลังต่ำ ๆ แต่ประสิทธิภาพที่ได้จากการดูดพลังงานจากตัวกลางเลเซอร์ไม่ดีที่สุดเสมอไป

30. **Resonator , unstable** เป็นรีโซเนเตอร์ซึ่งรังสีแสงที่กระโดดกลับไปมาระหว่างกระจกจะเคลื่อนที่ออกไปจากแนวแกนเลเซอร์ในที่สุด ซึ่งในทางการค้ารีโซเนเตอร์แบบนี้จะให้ลำแสงที่มีการกระจายพลังงานแบบ รูปร่างโดนัทตกคร่อมลำแสงและสามารถดูดพลังงานจากเลเซอร์ได้ประสิทธิภาพมากกว่าแบบ stabel

31. **Rotational transition** การเปลี่ยนแปลงในสถานะหมุนของโมเลกุล การเปลี่ยนระดับแบบหมุนนี้เกี่ยวพันกับพลังงานน้อยกว่าทั้งแบบอิเลคทรอนิคส์ และแบบสั่นสะเทือน โดยทั่วไปตรงกับความยาวคลื่นในช่วงเกินอินฟราเรดไปประมาณ 20 ไมโครเมตร

32. **Spectroscope** อุปกรณ์ที่ใช้กระจายเส้นสเปคตรัมออกมาเพื่อการวิเคราะห์แบบตัวอย่างที่ง่ายที่สุดคือ ใช้ปริซึม หรือ เกทติ้งหักเห (diffraction grating) กระจายเส้นสเปคตรัมออกบนชิ้นกระดาษหรือพื้นแก้ว

33. **Spontaneous emission** การแผ่โฟตอนออกมาโดยอะตอมหรือโมเลกุล เมื่อมันลดพลังงานจากระดับสูงลงไปสู่ระดับต่ำโดยธรรมชาติ (คือไม่มีการแทรกแซงจากภายนอก)

34. **Stimulated emission** ขบวนการที่ทำให้เกิดแสงเลเซอร์ มันเกิดขึ้นเมื่ออะตอมหรือโมเลกุลในสถานะกระตุ้นถูกกระตุ้นให้แผ่โฟตอนออกมาและลดระดับลงไปสู่ระดับพลังงานชั้นต่ำ โดยโฟตอนจากที่อื่นที่มีพลังงานด้านขวา (right energy) สำหรับการเปลี่ยนระดับ โดยทั่วไปโฟตอนที่มาทำการกระตุ้นจะมาจากอะตอมหรือโมเลกุลที่มีการเปลี่ยนระดับพลังงานเหมือน ๆ กัน

35. **Threshold** ระดับพลังงานกระตุ้นที่ต่ำที่สุดที่จำเป็นในการเกิดเลเซอร์ตัวอย่างเช่น ในเลเซอร์ไดโอดทั่วไป กระแสขับ 10 ถึง 100 mA ต้องไหลผ่านรอยต่อสารกึ่งตัวนำก่อนการเริ่มต้นเกิดเลเซอร์

36. **Transition** การเลื่อนของอะตอมหรือโมเลกุลจากระดับพลังงานหนึ่งไปสู่อีกระดับหนึ่งที่เกี่ยวพันกับการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของพลังงาน

37. **Vibrational transition** การเปลี่ยนแปลงในสถานะสั่นสะเทือนของอะตอมภายในโมเลกุลที่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนระดับระหว่างชั้นพลังงาน โดยทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนระดับแบบสั่นสะเทือนจะเกี่ยวพันกับพลังงานน้อยกว่าแบบอิเลคทรอนิคส์ แต่มากกว่าแบบหมุน ในทางปฏิบัติการเปลี่ยนระดับพลังงานแบบ การสั่นสะเทือน และแบบหมุนจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวิศวกรรมศาสตร์ที่ประสบความสำเร็จระหว่างศตวรรษที่ 20 นั้น เลเซอร์ก็จัดอยู่ในตำแหน่งที่สำคัญสาขาวิชาหนึ่ง เลเซอร์ที่ถูกสร้างขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ.1960 นั้นเป็นแนวทางที่นำไปสู่การพัฒนาความก้าวหน้าในเทคโนโลยีเลเซอร์ต่อมา ในปัจจุบันเลเซอร์และระบบเลเซอร์ถูกนำไปใช้งานในด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมหลายสาขา เช่น ในระบบสื่อสาร , คอมพิวเตอร์ , อุปกรณ์การเดินเรือ ,เครื่องมือวัดและขบวนการเทคโนโลยีที่ซับซ้อน, การค้นคว้าทางชีววิทยา , การแพทย์และทางเคมีฟิสิกส์ก็นำเลเซอร์ไปใช้ประโยชน์มากมาย

การที่เลเซอร์ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีอย่างกว้างขวางก็สืบเนื่องมาจากคุณสมบัติเฉพาะของการแผ่รังสีของเลเซอร์ เลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดแสงต่อเนื่องและเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างจากแหล่งกำเนิดแสงอื่น ๆ เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์หรือหลอดไฟแบบมีไส้ เลเซอร์จะให้การแผ่รังสีด้วยสนามความเข้มสูงอย่างต่อเนื่องที่ความถี่เดียวและมีทิศทาง

เลเซอร์ที่ใช้งานในปัจจุบันมีหลายชนิดแต่ละชนิดก็ให้ผลที่แตกต่างกันออกไป เลเซอร์แบบหนึ่งที่น่าสนใจและเหมาะกับการใช้งานด้านการแพทย์คือคาร์บอนไดออกไซด์ เพราะมันให้เอาท์พุทที่ต่อเนื่องสูงกว่าและมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าแบบอื่น ๆ และยังมีประโยชน์ในทางการแพทย์มากด้วย เช่น ใช้ในงานการผ่าตัดแทนใบมีดโลหะ ใช้ทำลายเนื้องอก หรือ ใช้เชื่อมเส้นเลือดฝอยในลูกตา โดยสามารถเชื่อมเส้นเลือดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร ซึ่งปกติจะเป็นการผ่าตัดที่ยากมากและมีโอกาสสำเร็จได้น้อย เลเซอร์แบบนี้จะสามารถเชื่อมต่อเส้นเลือดขนาดเล็กได้โดยอาศัยปรากฏการณ์ของการหลอมละลายเชื่อมติดกันของเนื้อเยื่อโปรตีน เมื่อถูกทำลายด้วยเลเซอร์ที่มีกำลังพอเหมาะและทำงานอย่างนิ่มนวลมีแต่เลเซอร์ชนิดนี้เท่านั้นที่เหมาะสมกับงานที่มีขนาดเล็ก ทำง่ายและรวดเร็ว

เนื่องจากเลเซอร์แบบคาร์บอนไดออกไซด์มีความยาวคลื่น 10.6 ไมโครเมตรซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่ถูกดูดกลืนความร้อนจากน้ำได้ดี และภายในเนื้อเยื่อของมนุษย์หรือสัตว์ก็ตามจะประกอบด้วยน้ำจำนวนมาก ดังนั้นเมื่อแสงกระทบกับเนื้อเยื่อน้ำที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ภายในเนื้อเยื่อจะร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื้อเยื่อที่ตำแหน่งนั้นก็จะถูกความร้อนทำลาย และสลายตัวไปอย่างรวดเร็วโดยที่เนื้อเยื่อบริเวณรอบ ๆ ยังไม่ถูกทำลาย

เลเซอร์แบบ CO_2 นี้มีข้อดีกว่าใบมีดโลหะอยู่หลายอย่างคือ

1. คนไข้จะไม่เสียเลือดขณะผ่าตัด เพราะความร้อนของเลเซอร์จะไปหลอมละลายหลอดเลือดที่ปากแผลเมื่อหลอดเลือดปิดสนิทเลือดจึงไม่ไหล

2. เนื่องจากไม่ต้องถ่ายเลือด เพราะไม่เสียเลือดขณะผ่าตัด คนไข้จึงไม่ต้องเสี่ยงกับการติดเชื้อขณะผ่าตัด

3. ไม่ต้องเสี่ยงต่อการติดเชื้อที่บริเวณบาดแผลขณะผ่าตัด เพราะความร้อนของแสงเลเซอร์จะฆ่าเชื้อโรคที่บาดแผลไปในตัว

4. เลเซอร์สามารถเข้าไปถึงส่วนต่าง ๆ ของร่างกายได้ง่ายขณะที่ใบมีดธรรมดาทำไม่ได้

5. เลเซอร์สามารถยิงทีละครั้งในช่วงเวลาสั้น ๆ เพื่อทำลายเนื้องอกให้หายไปโดยไม่ต้องเสี่ยงกับเส้นประสาทที่อยู่ข้างเคียง เพราะบางครั้งใบมีดธรรมดาไม่สามาตัดเนื้องอกออกได้ เนื่องจากมีเส้นประสาทที่อยู่ข้างเคียงจำนวนมาก

การใช้งานของเลเซอร์แม้จะมีข้อดีมากกว่าใบมีดโลหะอยู่หลายประการ แต่ก็มีข้อควรระวังในการใช้งานเลเซอร์ผ่าตัดดังนี้คือ

1. ไม่ควรใช้เลเซอร์ร่วมกับแอลกอฮอร์ อีเธอร์ หรือก๊าซที่ไวไฟ

2. ทุกคนที่อยู่ภายในห้องที่ใช้งานเลเซอร์ต้องสวมแว่นที่ทำจากแก้วหรือพลาสติก เพราะแสงเลเซอร์จะไม่สามารถผ่านแก้วหรือพลาสติกได้

3. ควรมีเครื่องหมายแสดงไว้หน้าห้องว่าห้องนี้กำลังใช้งานเลเซอร์

4. ไม่ควรมีอุปกรณ์ใด ๆ ที่สะท้อนแสงได้อยู่ภายในห้อง เพราะอาจเป็นอันตรายได้ถ้าแสงเลเซอร์ถูกสะท้อนโดยวัตถุสะท้อนแสงนั้น

5. ทุกคนที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานเลเซอร์ ควรที่จะทราบว่าลำแสงเลเซอร์ชนิดนี้ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แต่ความร้อนของมันเป็นอันตรายต่อทุกคนดังนั้นจึงต้องระมัดระวัง

6. ทุกคนควรจะทราบว่าภายในระบบของเลเซอร์ประกอบด้วยไฟฟ้าแรงสูงซึ่งมีอันตรายมาก

7. อย่าเปิดเครื่องเลเซอร์ทิ้งไว้โดยไม่มีผู้ใดอยู่ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้มุ่งหมายทำการทดลองออกแบบและสร้างแหล่งกำเนิดคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ โดยต้องการให้ได้กำลังทางออกที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นใบมีดผ่าตัดทางการแพทย์ แหล่งกำเนิดเลเซอร์ที่มีความต้องการในการผ่าตัดควรมีกำลังทางออกอยู่ในช่วง 50 วัตต์และโหมดของกำลังทางออกต้องเป็นแบบ TEMoo จึงจะสามารถนำไปใช้งานด้านการผ่าตัดได้ดีซึ่งจุดสำคัญที่จะให้ได้แหล่งกำเนิดเลเซอร์ที่มีคุณภาพแบบนี้คือการออกแบบและคำนวนโครงสร้างของช่องตัวกลาง(medium cavity) และรีโซเนเตอร์ให้ถูกต้องซึ่งได้กล่าวรายละเอียดไว้ในบทที่ 3 สำหรับในบทที่ 2 จะกล่าวถึงทฤษฎีเบื้องต้นและนิยามต่างๆ เกี่ยวกับเลเซอร์และคาร์บอนไดออกไซเลเซอร์เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปสู่การออกแบบโครงสร้างของระบบในบทที่ 3 และบทต่อๆไป แหล่งกำเนิดเลเซอร์ต้องการแหล่งจ่ายไฟสูงในการกระตุ้นให้เกิดลำแสงเลเซอร์ ในบทที่ 4 จึงกล่าวถึงรายละเอียดในการออกแบบแหล่งจ่ายไฟแรงสูงสำหรับแหล่งกำเนิดเลเซอร์ รายละเอียดทั้งหมดที่ถูกออกแบบไว้นี้จะถูกนำไปสร้างเครื่องต้นแบบและทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบที่สร้าง การทดลองและผลการทดลองที่ได้จะนำเสนอไว้ในบทที่ 5 ส่วนในบทสุดท้ายคือบทที่ 6 จะเป็นบทสรุปและวิจารณ์การทดลอง และผลการทดลองทั้งหมดที่ทำมาตลอดตั้งแต่เริ่มจนสำเร็จเป็นเครื่องต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เลเซอร์และคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์

คำว่า " Laser " เป็นคำย่อของ " Light amplification by the stimulated emission of radiation " ซึ่งเป็นถ้อยคำที่ควบคุมส่วนใหญ่ของขบวนการทางฟิสิกส์ที่สำคัญภายในเลเซอร์ โชคไม่ดีที่นิยามสั้นๆ ไม่อาจจะให้ความเข้าใจแก่คนทั่วไปที่ต้องการใช้เลเซอร์แต่สนใจเกี่ยวกับฟิสิกส์ภายในน้อยกว่าคุณลักษณะภายนอก ผู้ใช้เลเซอร์อยู่ในตำแหน่งที่เปรียบเทียบได้กับนักออกแบบวงจรอิเลคทรอนิคส์ ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับฟิสิกส์ของเลเซอร์ เป็นประโยชน์กับผู้ใช้เลเซอร์เท่ากับความเข้าใจทั่วไปเกี่ยวกับเซมิคอนดัคเตอร์ฟิสิกส์ที่เป็นประโยชน์ต่อนักออกแบบวงจร

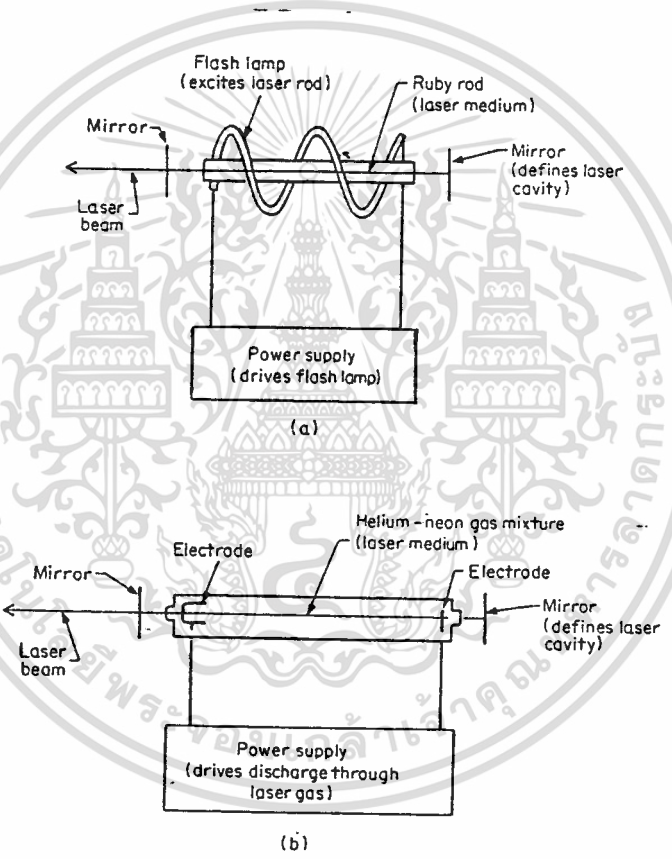
2.1 นิยามของเลเซอร์

จากแง่คิดในทางปฏิบัติ เลเซอร์สามารถถูกพิจารณาเป็นแหล่งของลำแสงต่อเนื่องเล็กๆ ความถี่เดียวในย่าน visible , อินฟราเรดหรืออุลตร้าไวโอเลทของสเปคตรัม กำลังของลำแสงต่อเนื่องมีตั้งแต่ไม่กี่มิลลิวัตต์ไปจนถึง 20 กิโลวัตต์ในเลเซอร์การค้าและมากไปจนถึงเมกะวัตต์ในเลเซอร์ทางทหาร พัลซ์เลเซอร์สามารถส่งกำลังพีคสูงมากระหว่างพัลซ์แม้ว่าระดับกำลังเฉลี่ย (ที่รวมช่วงขณะที่เลเซอร์ off และ on) เปรียบเทียบกับแบบต่อเนื่องจะพอๆ กัน

อุปกรณ์ที่ใช้ในเลเซอร์นั้นกว้างมาก ตัวกลางเลเซอร์ (คือวัสดุที่แผ่ลำแสงเลเซอร์ออกมา) เป็นได้ทั้งแก๊ส , ของเหลว , แก้ว , ของแข็งที่เป็นผลึกหรือผลึกสารกึ่งตัวนำ และมีขนาดตั้งแต่เมล็ดเกลือไปจนถึงขนาดที่ใส่ภายในตึกขนาดพอประมาณให้เต็มได้ เลเซอร์ไม่ทุกชนิดที่ให้ลำแสงต่อเนื่องเล็กๆ ความถี่เดียว ตัวอย่างเช่น เลเซอร์เซมิคอนดัคเตอร์ไดโอดให้ลำแสงที่กระจายออกช่วงมุม 20° ถึง 40° ไม่ได้เป็นลำแสงเข้มบางๆ ส่วนเลเซอร์ Liquid dye แผ่รังสีที่ช่วงความยาวคลื่นกว้างหรือแคบขึ้นอยู่กับ อุปกรณ์ทางแสง (optic) ที่ใช้กับมัน ส่วนแบบอื่นๆ มีการแผ่รังสีออกมาเป็นเส้นลางๆ (spectral line) ที่เป็นแสงที่ทั้งไม่ต่อเนื่องและหลายความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติแล้ว เลเซอร์ประกอบด้วยอุปกรณ์ 3 อย่าง อย่างแรกคือ ตัวกลางเลเซอร์ (Laser medium) ซึ่งเป็นตัวกำเนิดแสงเลเซอร์ อันที่สองคือ เพาเวอร์ซัพพลาย ซึ่งส่งพลังงานให้แก่ตัวกลางเลเซอร์ในรูปที่จำเป็นเพื่อกระตุ้นให้มันแผ่ลำแสงออกมา อันที่สามคือช่องทางแสงหรือ Resonator ซึ่งเป็นตัวรวบรวมแสงเพื่อกระตุ้นการแผ่รังสีเลเซอร์ อุปกรณ์หลักทั้งสามนี้มีรูปแบบที่แตกต่างกันและแม้ว่ามันจะไม่ปรากฏโดยตรงในเลเซอร์ทุกแบบแต่หน้าที่ของมันสำคัญ รูปที่ 2.1-1 แสดงถึงอุปกรณ์เหล่านี้ในเลเซอร์ทับทิมและฮีเลียม-นีออน



รูปที่ 2.2-1 โครงสร้างอย่างง่ายของเลเซอร์สองชนิด (a) ทับทิมและ (b) ฮีเลียม-นีออน ซึ่งแสดงอุปกรณ์หลักพื้นฐานของเลเซอร์

มีคุณลักษณะเหมือนกันในกลุ่มเลเซอร์ส่วนใหญ่ ซึ่งผู้ใช้ใหม่อาจจะคาดไม่ถึง เหมือนกับแหล่งกำเนิดแสงอื่นๆ เลเซอร์ที่มีประสิทธิภาพต่ำในการเปลี่ยนพลังงานเอาท์พุทไปเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงประสิทธิภาพจะอยู่ในช่วง 0.01 ไปจนถึง 20% ประสิทธิภาพต่ำเช่นนี้จะนำไปสู่ความต้องการ cooling แบบพิเศษ ในบางกรณีอุปกรณ์พิเศษอาจจะจำเป็นในการสร้างเงื่อนไขที่ถูกต้องแก่การทำงานของเลเซอร์ ลักษณะการทำงานของเลเซอร์แต่ละชนิดขึ้นอยู่กับอุปกรณ์โครงสร้างเช่น cavity optics และในหลายกรณีมีช่วงกว้างมาก การจัดเก็บก็มีผลต่อคุณลักษณะของเลเซอร์และผู้ใช้เลเซอร์

2.2 ความแตกต่างจากแหล่งกำเนิดแสงอื่น ๆ

ความแตกต่างพื้นฐานระหว่างเลเซอร์ และแหล่งกำเนิดแสงอื่น ๆ เป็นคุณลักษณะที่ถูกใช้อธิบายเลเซอร์ : ลำแสงเอาท์พุทเล็กและแคบ , แสงมีความถี่เดียวและการแผ่อย่างต่อเนื่อง แต่ละลักษณะเหล่านี้สำคัญในการใช้งานและสมควรอธิบายให้มาก

ลำแสงเลเซอร์โดยทั่วไปมีมุมเบี่ยงเบนราว 1 มิลลิเรเดียน หมายถึงว่ามันจะกระจายเส้นผ่าศูนย์กลางออกหนึ่งเมตรหลังจากไปไกลหนึ่งกิโลเมตรลักษณะนี้เป็นไปได้กว้างมากขึ้นอยู่กับชนิดของเลเซอร์และ optics ที่ใช้กับมัน แต่ในบางกรณีมันทำหน้าที่ในการรวบรวมกำลังเอาท์พุทลงบนพื้นที่เล็ก ๆ ดังนั้นกำลังเลเซอร์พอประมาณสามารถสร้างความเข้มแสงสูง ๆ ภายในพื้นที่เล็ก ๆ ของลำเลเซอร์

ความเข้มในลำเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน 1 mW เปรียบเทียบได้กับความเข้มของแสงอาทิตย์ในวันอากาศดี ตัวอย่างเช่น ลำแสงเลเซอร์กำลังสูงขนาด 10 วัตต์หรือมากกว่าแบบต่อเนื่อง หรือเป็นพัลซ์สามารถรวมความเข้มให้สูงพอที่มันจะเจาะ , คว้านหรือตัดวัสดุต่าง ๆ ได้

แสงที่ถูกรวมเข้มเป็นลำเลเซอร์จะส่งพลังงานไปที่จุดโฟกัส ตัวอย่างเช่น ลำแสงเลเซอร์ที่ถูกโฟกัสให้เข้ม สามารถเขียนจุดบนวัสดุที่ไวต่อแสงโดยไม่ทำลายพื้นที่ข้าง ๆ ทำให้เกิดลายเส้นที่มีความละเอียดสูง ในทำนองเดียวกันลำแสงเลเซอร์ผ่าตัดสามารถโฟกัสเป็นจุดเล็ก ๆ สำหรับการผ่าตัดเล็ก ๆ โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อเนื้อเยื่อรอบ ๆ เลนส์สามารถโฟกัสรังสีขนานในลำเลเซอร์ให้เป็นจุดที่เล็กกว่าที่มันแผ่ออกมาจากแหล่งกำเนิด

เลเซอร์ส่วนใหญ่ส่งลำแสงที่มีช่วงความยาวคลื่นแคบ ๆ ดังนั้นลำแสงถูกพิจารณาเป็นแสงความถี่เดียวสำหรับงานปฏิบัติทุกงาน ตรงกันข้ามกับแหล่งแสงโดยทั่วไปจะแผ่แสงออกมาตลอดช่วงมองเห็นและช่วงสเปคตรัมอินฟราเรด สำหรับการใช้งานส่วนใหญ่ช่วงความยาวคลื่นที่แผ่ออกโดยเลเซอร์ จะแคบพอทำให้สะดวกแก่นักออกแบบโดยไม่ต้องมี achromatic optic และทำให้งานหนักที่จะเข้าใจปฏิกิริยาระหว่างลำเลเซอร์และเป้าหมายง่ายขึ้น อย่างไรก็ตามในงาน spectroscopy และงานด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

การสื่อสารแล้วช่วงความยาวคลื่นของเลเซอร์นี้ไม่แคบพอ และจำเป็นต้องใช้ทางเลือกช่วงแคบอื่นที่พิเศษกว่า

คุณสมบัติอีกอย่างหนึ่งที่ไม่เหมือนใครของลำเลเซอร์ คือ ความต่อเนื่อง (coherence) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่คลื่นแสงที่อยู่ในลำเลเซอร์นั้นอยู่ในเฟสเดียวกันกับคลื่นแสงอันอื่น ๆ อีกอันหนึ่ง กล่าวอีกอย่างว่าทุกๆแหล่งกำเนิดแสงมีความยาวต่อเนื่องที่จำกัดหรือระยะตลอดที่แสงซึ่งมันสร้างขึ้นมาอยู่ในเฟสเดียวกัน อย่างไรก็ตามสำหรับแหล่งกำเนิดแสงตามธรรมดาระยะทางนั้นจะเป็นศูนย์ สำหรับเลเซอร์ส่วนใหญ่ระยะทางนั้นเป็นเศษของเมตรหรือมากกว่าที่ยอมให้พวกเราใช้ในประโยชน์ที่ต้องการแสงต่อเนื่อง (coherence length) จุดสำคัญของการใช้งานคือโฮโลกราฟฟี่ แม้ว่าความต่อเนื่องจะเป็นประโยชน์ใน spectroscopy บางแบบ และมีการใช้ประโยชน์จากความต่อเนื่องนี้มากขึ้นในด้านการสื่อสาร

เลเซอร์บางชนิดมีข้อดีอื่นอีกสองอย่างนอกเหนือไปจากแหล่งกำเนิดแสงอื่นคือกำลังที่สูงกว่าและช่วงชีวิตที่ยาวนานกว่าในเลเซอร์บางชนิด เช่น เซมิคอนดัคเตอร์เลเซอร์ช่วงชีวิตต้องถูกประนีประนอมกับกำลังที่สูงแต่ในบางชนิดแล้วการประนีประนอมกันนี้มีน้อยมาก การรวมกำลังและทิศทางที่มั่นคงทำให้เลเซอร์เลือกตำแหน่งเพื่อส่งความเข้มสูงไปยังพื้นที่เล็ก ๆ ได้สำหรับการใช้งานบางอย่าง เลเซอร์ยอมให้มีช่วงชีวิตที่ยาวนานกว่าแหล่งกำเนิดแสงอื่นๆโดยการเปรียบเทียบความสว่างและราคา นอกจากนี้ทั้ง ๆ ที่ประสิทธิภาพต่ำ แต่เลเซอร์บางชนิดยังมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนเป็นเป็นพลังงานแสงได้มากกว่าแหล่งกำเนิดแสงอื่น ๆ

2.3 ทฤษฎีของเลเซอร์และหลักการ

คำว่า "เลเซอร์" ครอบคลุมอุปกรณ์หลายอย่าง ขณะที่เลเซอร์หลายชนิดมีส่วนคล้ายคลึงกันอย่างชัดเจน แต่บางชนิดก็แตกต่างกันมากทีเดียว ฮีเลียม-นีออน , ไอออนและคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ มีความคล้ายคลึงกันมาก เพราะมันทั้งหมดเป็นแก๊สเลเซอร์ที่ถูกกระตุ้นด้วยไฟฟ้าแต่ดูเผิน ๆ แล้วพวกมันไม่ค่อยมีส่วนคล้ายกับเซมิคอนดัคเตอร์เลเซอร์ อย่างไรก็ตามการทำงานของทุกเลเซอร์อยู่บนหลักการทางฟิสิกส์พื้นฐานเดียวกันและเป็นหลักการที่จะอธิบายในหัวข้อนี้

เลเซอร์ฟิสิกส์เป็นสาขาวิชาที่เกี่ยวพันกับวิชาการแขนงอื่นๆ อีกหลายแขนง มีควันตัมแมคแคนนิคส์ , optics , gas dynamic , atomic , เซมิคอนดัคเตอร์ฟิสิกส์ , atomic และ molecular physics , และทฤษฎีรีโซเนเตอร์ หลักการที่สำคัญอันหนึ่งคือการส่งผ่านพลังงานของอะตอมและโมเลกุล ซึ่งมีความสำคัญอย่างใกล้ชิดกับควันตัมแมคแคนนิคส์ คุณลักษณะของเลเซอร์ขึ้นอยู่กับการออกแบบช่อง (cavity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของตัวกลางเลเซอร์อย่างมากด้วย และที่การออกแบบนั้นก็ขึ้นอยู่กับฟิสิกส์ของตัวกลางเลเซอร์อีกด้วย ในหัวข้อนี้จะให้คำแนะนำเกี่ยวกับหลักพื้นฐานของเลเซอร์ ซึ่งผู้อ่านที่ค้นคว้าทางการทดลองให้มากยิ่งขึ้นสามารถหาข้อมูลได้จากหนังสือเหล่านี้ (svelto, 1982; Tarasov,1983; Thyagarajan and Ghatak ,1981;Yariv , 1975; O'Shea al , 1977)

2.3.1 ความหมายของคำในเลเซอร์

ชื่ออย่างเป็นทางการของเลเซอร์ฟิสิกส์คือ ควันตัมอิเล็คทรอนิคส์ คำนี้จะกลับไปสู่ตอนเริ่มแรกของการวิจัยของ maser และทุกวันนี้คำนี้ยังใช้เกี่ยวโยงกับงานวิจัยทางการศึกษา ส่วนในวิทยานิพนธ์นี้ยังคงขอใช้คำว่า เลเซอร์ฟิสิกส์ อยู่ตลอดเล่ม

คำในเลเซอร์ฟิสิกส์ส่วนมากมาจาก spectroscopy และ ฟิสิกส์ของโมเลกุลและอะตอมหลักคิดที่สำคัญอันหนึ่งคือระดับพลังงาน (energy level) หรือหมายถึง quantum state ของอะตอมหรือโมเลกุล พลังงานของระดับเฉพาะระดับหนึ่งถูกวัดเทียบกับระดับกราวน์หรือระดับพลังงานต่ำสุดที่เป็นไปได้ ซึ่งโดยทั่วไปจะกำหนดให้เป็นศูนย์

คำว่า "species" จะถูกใช้เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้คำว่า "atom" หรือ molecule" อยู่เสมอ เมื่ออธิบายถึงระดับพลังงานในถ้อยคำทั่ว ๆ ไป การเลื่อนตัว (shift) ของสปีชีส์ (species) จากระดับพลังงานหนึ่งไปยังอีกระดับพลังงานหนึ่งเราเรียกว่า "transition" การเลื่อนตัวสู่ระดับพลังงานที่สูงกว่าคือ การกระตุ้น (excitation) ไปสู่สถานะที่ถูกกระตุ้นและต้องการดูดเอาพลังงานจำนวนหนึ่งที่เท่ากับความแตกต่างกันในพลังงานระหว่างระดับทั้งสอง การลดลงจากระดับพลังงานที่สูงกว่าไปสู่ระดับพลังงานที่ต่ำกว่าถูกเรียก " decay " หรือ " deexcitation " และเกิดการปลดปล่อยพลังงานในการ transition

สปีชีส์จะดูดเอาหรือปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของโฟตอนซึ่งเป็นก้อน (quanta) ของรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในโลกของเลเซอร์คำว่า " light " ถูกใช้ในความหมายทั่วไปสำหรับการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตลอดช่วงอินฟราเรด และอุลตร้าไวโอเล็ตของสเปคตรัมและสำหรับช่วงแสงที่มองเห็นได้จริงด้วย " light " นั้นโดยตัวมันเองแล้วมีธรรมชาติเป็นคู่คือเป็นได้ทั้งอนุภาค(โฟตอน) และคลื่นธรรมชาติของแสงสามารถถูกวัดได้สามทางคือ

1. ความยาวคลื่นของแสง
2. ความถี่ของการออสซิเลทของคลื่น
3. พลังงานของโฟตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวคลื่นถูกวัดได้คงที่ในหน่วยเมตริกเป็น ไมโครเมตร (μm) , นาโนเมตร(nm) หรือเมตริกอังสตรอม (1A° = 0.1 nm) ความถี่และพลังงานโฟตอนถูกวัดอย่างสมดุลย์กันตรงตามความสัมพันธ์ของ Planck ,

$$E = hv$$

ขณะที่ E เป็นแหล่งพลังงาน , h เป็นค่าคงที่ของ Planck และ v เป็นความถี่พลังงานโดยทั่วไปถูกวัดทั่วไปในหน่วยอิเลคตรอนโวลต์ (eV;1eV คือพลังงานที่ต้องการเคลื่อนให้อิเลคตรอนผ่านพ้นความต่างศักย์ 1 โวลต์) ความถี่โดยปกติแล้วถูกวัดในหน่วยของเฮิรทซ์ (Hz) ซึ่งเป็นจำนวนของการออสซิลเลทต่อวินาที นักวิเคราะห์สเปคตรัมโดยเฉพาะที่เคยทำงานในย่านอินฟราเรดนั้น บางครั้งจะใช้หน่วยกลับของเซ็นติเมตร (cm^{-1}) ซึ่งตามชื่อที่กล่าวคือส่วนกลับของความยาวคลื่นในหน่วยเซ็นติเมตร แม้ว่าหน่วยนี้จะอยู่บนพื้นฐานของความยาวคลื่นแต่มันก็เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่หรือพลังงานโฟตอน

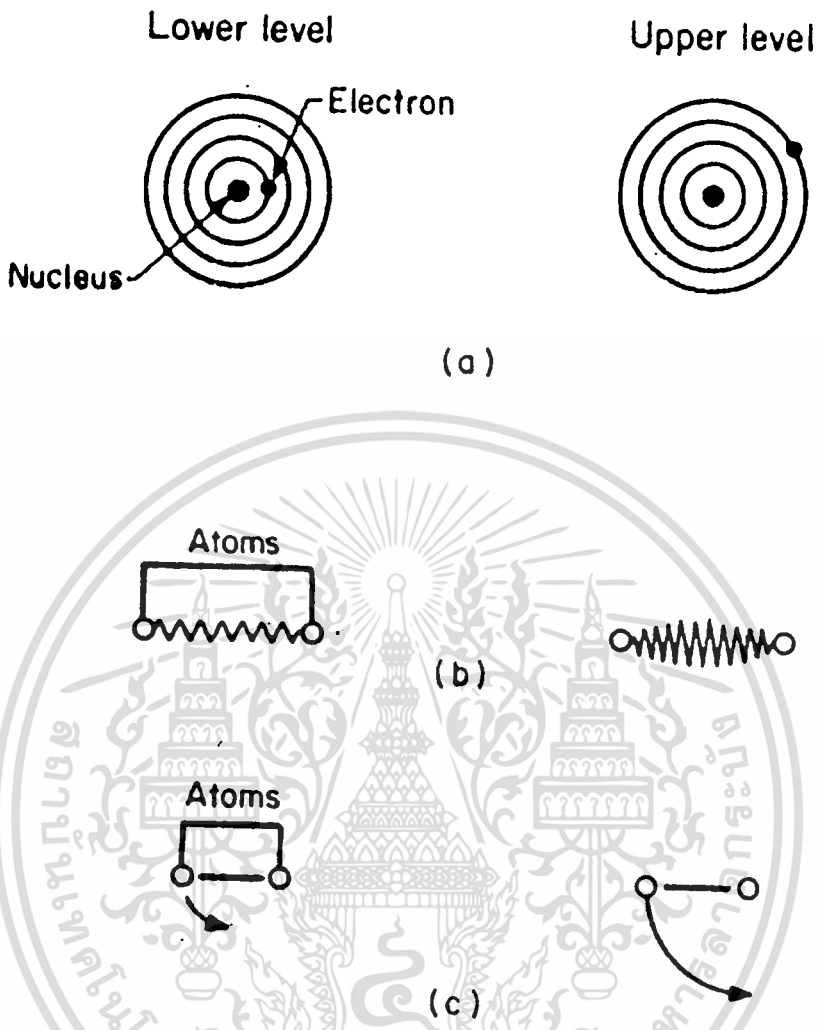
2.3.2 ระดับพลังงานและการเปลี่ยนระดับ (Transitions)

มีระดับพลังงานพื้นฐานอยู่ 3 ชนิดที่ถูกพบในเลเซอร์ฟิสิกส์ ดังแสดงในรูปที่ 2.3-1 คือ

ระดับทางอิเลคทรอนิคส์ (Electronic level)

เป็นระดับที่เกี่ยวพันกับโครงสร้างของอิเลคตรอนในสปีชีส์ การเปลี่ยนระดับอิเลคทรอนิคส์ (electronic transition)เป็นการเปลี่ยนระดับที่ถูกพรรณนาในรูปของอะตอมไฮโดรเจนของ Bohr ซึ่งในนั้นอิเลคตรอนเดี่ยวจะปีนขึ้นตามระดับพลังงานทีละขั้นขณะที่มันเคลื่อนที่ออกจากนิวเคลียส จนในที่สุดมันได้พลังงานที่สูงพอที่จะหนีจากไป ขณะที่อิเลคตรอนที่มากขึ้นถูกเพิ่มเข้าสู่ระบบของอะตอมและโมเลกุลที่ซับซ้อนยิ่งขึ้นรูปแบบก็ยิ่งเพิ่มความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นและปฏิกิริยาต่าง ๆ จะก่อให้เกิดระดับพลังงานทางอิเลคทรอนิกส์ขึ้นมากมาย การเปลี่ยนระดับทางอิเลคทรอนิกส์ซึ่งโดยปกติเกิดขึ้นในทางเลเซอร์ฟิสิกส์ที่เกี่ยวพันกับอิเลคตรอนในชั้นข้างนอก และโดยทั่วไปเกี่ยวพันกับพลังงานในระดับขนาดอิเลคตรอนโวลต์หรือมากกว่า ที่ตรงกับความยาวคลื่นในย่านใกล้อินฟราเรด , ย่านมองเห็นได้ (visible) และย่านอุลตร้าไวโอเล็ต การเปลี่ยนระดับชั้นข้างในที่ใกล้กับนิวเคลียสมากกว่า จะเกี่ยวกับพลังงานที่สูงกว่าที่ตรงกับ Far-ultraviolet หรือ X-ray photon และเป็นประโยชน์น้อยสำหรับการทำเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



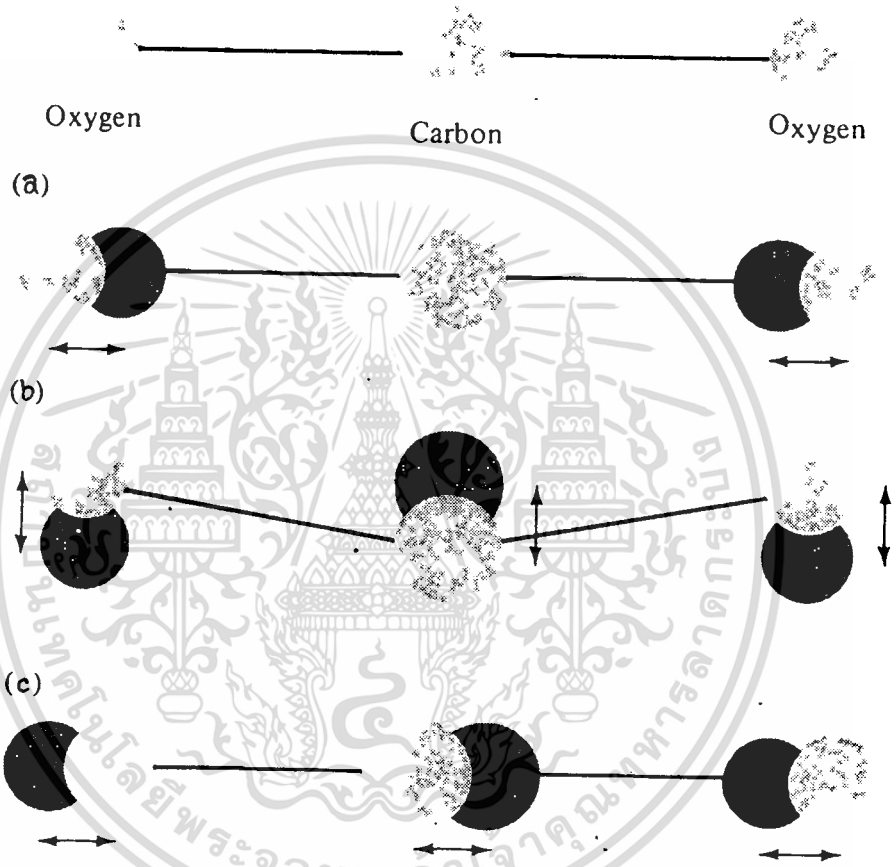
รูปที่ 2.3-1 แบบที่สำคัญของการเปลี่ยนระดับพลังงาน
(a) การเปลี่ยนระดับทางอิเลคทรอนิคส์ที่เกิดขึ้นในอะตอมและโมเลกุล
(b) การเปลี่ยนระดับจากการสั่นสะเทือน
(c) การเปลี่ยนระดับแบบการหมุนที่เกิดขึ้นในโมเลกุลเพียงอย่างเดียว

ระดับการสั่นสะเทือน (Vibrational level)

เป็นระดับที่เกี่ยวพันกับการสั่นสะเทือนของอะตอมในโมเลกุล การสั่นสะเทือนในองศาอิสระ (degrees of freedom) ทิศต่าง ๆ ถูกจำกัดในการสร้างชุดของ level สำหรับรูปแบบในการสั่นสะเทือนที่เป็นไปได้ในแต่ละแบบ มีรูปแบบของการสั่นสะเทือนหลายแบบที่เป็นไปได้ ซึ่งเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนของอะตอมในโมเลกุลที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่2.3-2การเปลี่ยนระดับจากการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลเลื่อนตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสถานะสั่นสะเทือนหนึ่งไปสู่อีกสถานะหนึ่งซึ่งสามารถก่อให้เกิดการเลื่อนจากรูปแบบการสั่นสะเทือนหนึ่งไปยังรูปแบบอื่นอีก โดยทั่วไปการเปลี่ยนระดับจากการสั่นสะเทือน (Vibrational transitions) จะมีพลังงานขนาดเศษส่วนของอิเลคตรอนโวลต์ และตรงกับความยาวคลื่นช่วงอินฟราเรด



รูปที่ 2.3-2 แบบการสั่นสะเทือนของโมเลกุล CO_2 สามแบบ

(a) Symmetric stretching (v_1 mode)

(b) Bending (v_2 mode)

(c) Asymmetric stretching (v_3 mode)

โมเลกุลยิ่งซับซ้อนมากขึ้นก็จะมีแบบของการสั่นสะเทือนที่ซับซ้อนมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับการหมุน (Rotational level)

เป็นระดับที่เกี่ยวกับการหมุนที่ถูกจำกัด (quantized rotation) ของโมเลกุลโดยทั่วไปพลังงานจะอยู่ในช่วง 0.001 - 0.1 eV และตรงกับความยาวคลื่นช่วง far-infrared หรือ submillimeter

หลักทางควันตัมแมคแคนนิคส์ที่ซับซ้อนบอกว่าน่าจะมีการเปลี่ยนระดับระหว่างสถานะที่แตกต่างหรือระดับพลังงานบางอันก็ถูกเรียกว่า "forbidden trasition" แม้ในโลกของควันตัมแมคแคนนิคส์ "forbidden" มีความหมายจริงว่าไม่น่าเป็นไปได้ (very unlikely) แต่ไม่ใช่เป็นไปไม่ได้ ส่วนอันอื่นถูกยอมรับภายใต้หลักของควันตัมแมคแคนนิคส์และดังนั้นน่าจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วมาก สถานะที่ถูกกระตุ้นโดยปกติจะลดลงสู่สถานะที่พลังงานต่ำกว่าอย่างรวดเร็ว โดยทำการเปลี่ยนระดับที่ยอมให้มีได้หนึ่งระดับหรือเป็นชุด (series) อย่างไรก็ตามมีระดับที่ถูกกระตุ้น "metastable" เป็นสถานะที่ซึ่งสปีชีส์ถูกจับไว้ช้างในเพราะไม่มีการเปลี่ยนระดับที่ยอมได้ง่ายๆลงไปสู่ระดับพลังงานที่ต่ำกว่าสถานะ metastable เหล่านี้มีความสำคัญมากในเลเซอร์หลายชนิดเพราะยึดจับสปีชีส์ในสถานะที่ถูกกระตุ้นไว้เป็นเวลานานบนระบบอะตอมของสิ่งต่าง ๆ

แม้ว่าสถานะทางอิเลคทรอนิคส์ , การสั่นสะเทือนและการหมุนของสปีชีส์ไม่ขึ้นแก่กันแต่มันสามารถเปลี่ยนแปลงพร้อมกันในการเปลี่ยนระดับครั้งเดียวได้ การเปลี่ยนระดับทางอิเลคทรอนิคส์ของอะตอมหรือไอออนเกิดขึ้นอย่างอิสระ เพราะสปีชีส์เช่นนั้นไม่มีสถานะทางการสั่นสะเทือนหรือการหมุน อย่างไรก็ตามในโมเลกุลการเปลี่ยนแปลงในสถานะทางการสั่นสะเทือนโดยทั่วไป ถูกส่งมาพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงในสถานะทางการหมุน

มีความแตกต่างที่สำคัญระหว่างการเปลี่ยนระดับที่เกี่ยวกับการเลื่อนตัวในระดับพลังงานเพียงหนึ่งชนิด และการเปลี่ยนระดับที่เกี่ยวพันกับการเลื่อนตัวพร้อมกันระหว่างระดับพลังงานสองชนิดหรือมากกว่า การเปลี่ยนระดับระหว่างระดับพลังงานทางอิเลคทรอนิคส์สองระดับของอะตอมถูกกำหนดอย่างชัดเจนที่ความยาวคลื่นหนึ่งอย่างไรก็ตามถ้าการเลื่อนตัวหลายแบบเกิดขึ้นพร้อมกันการเปลี่ยนระดับจะกระจายออกตลอดแถบความยาวคลื่น ดังกรณี dye เลเซอร์หรือคาร์บอนไดออกไซเลเซอร์

2.4 การกระตุ้น (Excitation)

การกระตุ้นเป็นกระบวนการที่ยกระดับสปีชีส์จากระดับพลังงานที่ต่ำกว่าไปสู่ระดับพลังงานที่สูงกว่าและเป็นความต้องการเริ่มต้นสำหรับการเกิดเลเซอร์ การส่งพลังงานเข้าไปในตัวกลางเลเซอร์สามารถเกิดขึ้นได้หลายอย่าง ที่ประกอบด้วย :

- การดึงดูดโฟตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การชนกันระหว่างอิเลคตรอน (หรือบางครั้งเป็นไอออน)และสปีชีส์ในตัวกลางทางาน (active medium)
- การชนกันในหมู่ของอะตอมหรือโมเลกุลในตัวกลางทางาน
- การรวมตัวกันใหม่ (Recombnation) ของอิเลคตรอนอิสระกับอะตอมที่ถูกไอโอไนส์
- การรวมตัวกันใหม่ของพาหะ (carriers) ปัจจุบันในสารกึ่งตัวนา
- ปฏิกิริยาทางเคมีที่ผลิตสปีชีส์ที่ถูกกระตุ้น
- การเร่งของอิเลคตรอน

ความน่าจะเป็นของสปีชีส์ที่ดูดกลืนพลังงานโดยกลไกเหล่านี้บางอันถูกแสดงโดยการวัด absorption cross section ความน่าจะเป็นของการกระตุ้นหรือพื้นที่ภาคตัดขวาง (cross section) ขึ้นอยู่กับตัวประกอบหลายตัว เช่น ความยาวคลื่นของแสงที่ส่อง , ความเร็วของอิเลคตรอนที่ตกลงบนกระจก หรือ ความเหมือนกันในโครงสร้างระดับพลังงานของสปีชีส์ การกระตุ้นของเลเซอร์บ่อยครั้งเป็นกระบวนการหลายขั้นตอนตัวอย่าง เช่นในฮีเลียม-นีออนเลเซอร์อิเลคตรอนที่กาลังผ่านตลอดตัวกลางทางานจะส่งพลังงานให้แก่อะตอมฮีเลียม ซึ่งมันก็จะส่งพลังงานที่ดูดกลืนไว้ให้แก่อะตอมนีออนแล้วจะแผ่แสงเลเซอร์ออกมา

2.5 การแผ่รังสีตามธรรมชาติและที่ถูกกระตุ้น (Spontaneous and Stimulated Emission)

สปีชีส์ที่ถูกกระตุ้นสามารถปลดปล่อยพลังงานที่เกินมาเหล่านั้นได้โดยขบวนการที่ไม่แผ่รังสี เช่น การชนกับอะตอมหรือโมเลกุลอื่น ๆ หรือโดยการแผ่โฟตอนออกมา การแผ่โฟตอนออกมาสามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือโดยการกระตุ้น ตามชื่อก็บอกไว้แล้วว่าการแผ่ตามธรรมชาติเกิดขึ้นโดยไม่มีการแทรกแซงจากภายนอก เมื่อสปีชีส์ลดลงสู่ระดับพลังงานต่ากว่าหลังจากเวลาล่วงไปตามธรรมชาติ (เปรียบเทียบกับครึ่งชีวิตของไอโซโทปที่แผ่กัมมันตภาพรังสี) ซึ่งโดยทั่วไปเป็นเศษส่วนน้อย ๆ ของวินาที

การแผ่โฟตอนและการเปลี่ยนระดับไปสู่ระดับพลังงานที่ต่ากว่าสามารถถูกกระตุ้นได้ด้วยการเกิดโฟตอนที่มีพลังงานเท่ากับที่เกิดจากการเปลี่ยนระดับ มองดูคร่าวคร่าวครั้งแรกมันเป็นไปไม่ได้อย่างมากที่โฟตอนของพลังงานที่ถูกต้องแน่นอนจะเคลื่อนที่ไปโดยไร้จุดหมายในเวลาปกติอันสั้น ก่อนสปีชีส์ที่ถูกกระตุ้นจะลดลงสู่ระดับพลังงานที่ต่ากว่าตามธรรมชาติ อย่างไรก็ตามในกรณีส่วนใหญ่มีแหล่งโฟตอนเช่นนั้นอยู่พร้อมแล้วการแผ่ตามธรรมชาติโดยสปีชีส์เดิม โฟตอนที่ถูกแผ่ออกมาเล็กน้อยตามธรรมชาติในครั้งแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถก่อให้เกิดการแผ่ที่ถูกกระตุ้นของโฟตอนอื่น ๆ ที่นำไปสู่ห่วงโซ่ของการแผ่ที่ถูกกระตุ้น การแผ่ที่ถูกกระตุ้นมีคุณสมบัติพิเศษเป็นคู่ มันมีความยาวคลื่นเดียวกันกับโฟตอนเริ่มต้นและมันอยู่ในเฟสเดียวกัน (หรือ coherent) กับแสงเริ่มต้น

การแผ่ตามธรรมชาติจะกำเนิดแสงที่เราเห็นได้จากดวงอาทิตย์,ดวงดาว, หลอดไฟฟ้า,กองไฟ,หลอดฟลูออเรสเซนต์และวัสดุอื่น ๆ อีก การแผ่ที่ถูกกระตุ้นจะผลิตแสงเลเซอร์กล่าวให้หนักแน่นลงไปก็คือแหล่งกำเนิดแสงอื่น ๆ สามารถมีเศษเล็กๆของการแผ่ที่ถูกกระตุ้นแต่ในทางปฏิบัติจำนวนการแผ่ที่ถูกกระตุ้นไม่สามารถตรวจสอบได้

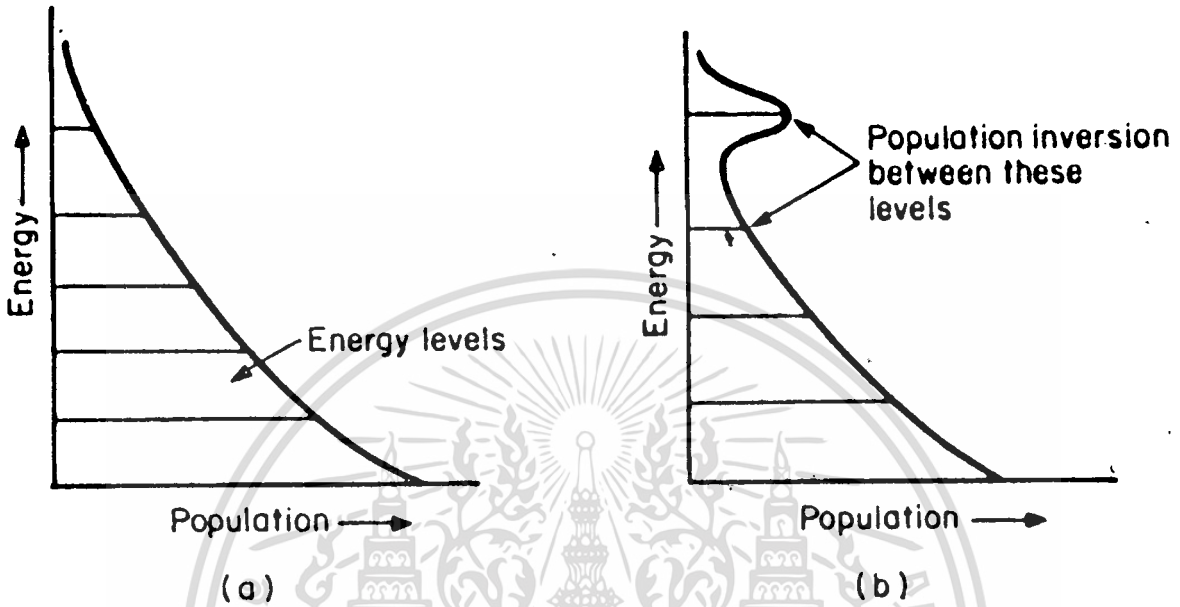
2.6 ขบวนการย้อนกลับของประชากร (Population Inversion)

การแผ่ที่ถูกกระตุ้นไม่ค่อยจะเกิดขึ้นเพราะความจริงทางเทอร์โมไดนามิคส์ของชีวิตที่เหมือนกันที่ทำให้การแผ่ตามธรรมชาติเกิดขึ้น : สปีชีส์มักจะลดลงสู่ระดับพลังงานที่ต่ำที่สุดภายใต้เงื่อนไขปกติที่ถูกเรียกว่า สภาวะสมดุลย์ทางเทอร์โมไดนามิคส์จำนวนประชากรของสถานะจะลดลงตามพลังงานที่เพิ่มขึ้นของมันดังแสดงในรูป 2.6-1 อันนี้หมายความว่า โดยปกติจะมีประชากรในสถานะที่ต่ำกว่าของการเปลี่ยนระดับมากกว่าในสถานะที่สูงกว่า ดังนั้นโฟตอนน่าจะถูกดูดโดยสปีชีส์ในสถานะที่ต่ำกว่ามากกว่าที่จะกระตุ้นการแผ่รังสีจากสปีชีส์ในสถานะที่สูงกว่า ภายใต้ภาวะอย่างนี้การแผ่รังสีแบบธรรมชาติจะมีบทบาทมากกว่า

สำหรับการแผ่รังสีที่ถูกกระตุ้นจะเกิดขึ้นได้จำเป็นต้องมี การย้อนกลับของประชากร (population inversion) ซึ่งหมายถึงว่า ประชากรของระดับที่สูงกว่าของการเปลี่ยนระดับต้องมีจำนวนมากกว่าที่จะถูกดูดโดยสถานะที่ต่ำกว่า ผลลัพธ์ก็คือการขยายกำลังเลเซอร์ที่มีการเพิ่มจำนวนโฟตอนตามพลังงานการเปลี่ยนระดับ ซึ่งมีค่าตรงกับความแตกต่างระหว่างการแผ่ที่ถูกกระตุ้นและการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นนั้น โดยทั่วไปอัตราขยายถูกวัดเป็นการเพิ่มขึ้นเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อการผ่านตลอดตัวกลางเลเซอร์หรือต่อระยะทางเป็นเซ็นติเมตรตลอดตัวกลางเลเซอร์ บางทีอัตราการขยายถูกวัดเป็นโฟตอนที่เพิ่มขึ้นที่ถูกก่อให้เกิดขึ้นสำหรับแต่ละเซ็นติเมตรของตัวกลางเลเซอร์ ตัวอย่างเช่น $4cm^{-1}$ ซึ่งจริง ๆ หมายถึง สี่ต่อเซ็นติเมตรไม่ใช่ส่วนกลับของเซ็นติเมตรของนักวิเคราะห์เส้นสเปคตรัม

อัตราขยายของเลเซอร์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแตกต่างระหว่างโอกาสของการแผ่ที่ถูกกระตุ้นและโอกาสของการดูดกลืน อันนี้หมายความว่า ประชากรของทั้งระดับที่ต่ำกว่าและที่สูงกว่าของการเปลี่ยนระดับในเลเซอร์มีความสำคัญมาก ดังนั้นถ้าการกระทำเลเซอร์ถูกก่อให้เกิดขึ้นเรื่อย ๆ ระดับที่ต่ำกว่าต้องถูกลดประชากร ขณะที่ระดับที่สูงกว่าประชากรจะเพิ่มขึ้นหรือการย้อนกลับของประชากรจะสำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6-1 (a) การแจกแจงประชากรกับระดับพลังงานที่ภาวะสมดุลย์และ (b) ช่วงการย้อนกลับของประชากรสังเกตุว่าการย้อนกลับของประชากรไม่ต้องเกิดขึ้นในการเปลี่ยนระดับที่เป็นไปได้ทุกช่วง เพียงการเปลี่ยนระดับเลเซอร์หนึ่งก็พอ การย้อนกลับของประชากรสามารถเพียงทำให้เกิดการแผ่เลเซอร์ ถ้าการย้อนกลับอยู่เหนือพลังงานสมดุลย์ พลังงานสำหรับประชากรนั้นจะสูงสุดในภาวะสมดุลย์

การขยายเลเซอร์สามารถเกิดขึ้นตลอดช่วงของความยาวคลื่นเพราะการการเปลี่ยนระดับไม่แคบมากนัก ช่วงของความยาวคลื่นที่ซึ่งการดูดกลืนและการกระตุ้นจะเกิดขึ้นถูกขยายให้กว้างโดยการเคลื่อนของโมเลกุล ,ระดับพลังงานการสั่นสะเทือนและการหมุน และตัวประกอบอื่น ๆ ดังนั้นผู้เชี่ยวชาญทางเลเซอร์จะพูดถึงเนื้อหาของ " gain bandwidth " ในความหมายว่า ช่วงของความยาวคลื่นที่ซึ่งอัตราขยายของเลเซอร์สามารถเกิดขึ้นได้ ค่าของตัวประกอบอัตราขยาย (gain factor) จะสูงที่สุดในศูนย์กลางของแถบ (band) และต่ำสุดที่ตรงขอบ (edges)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

2.7 การขยายและการออสซิลเลท (Amplification and Oscillation)

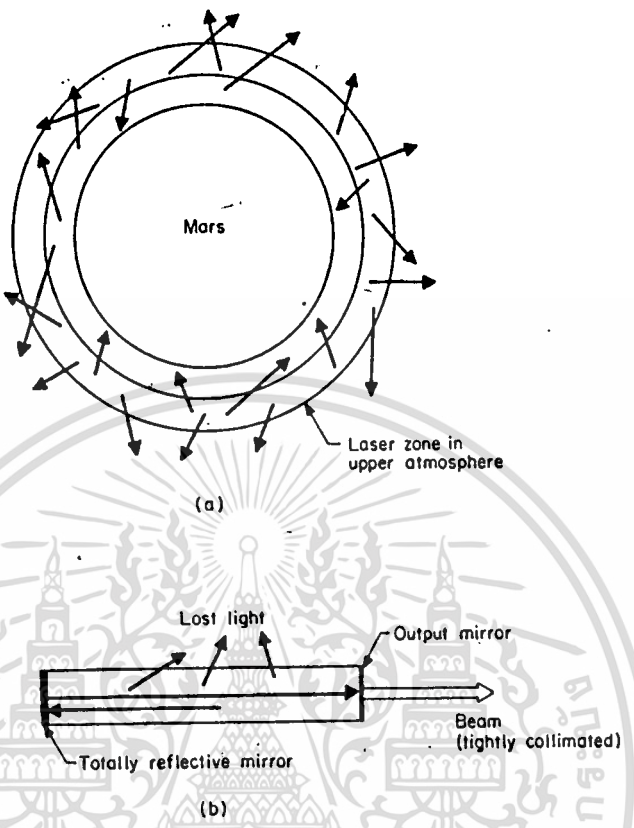
เพียงการย้อนกลับของประชากรอย่างเดียวก็เพียงพอจะก่อให้เกิดเลเซอร์ แต่ผลที่ได้เป็นลำแสงต่อเนื่องความยาวคลื่นเดียว ลักษณะส่วนใหญ่ที่เป็นประโยชน์ของเลเซอร์มาจากการออสซิลเลทของแสงภายในช่องเลเซอร์ (cavity) เพื่อให้เข้าใจความแตกต่างระหว่างการขยายเลเซอร์และการออสซิลเลทเลเซอร์ มันเป็นประโยชน์ในการพิจารณาตัวอย่างของปรากฏการณ์ทั้งสอง

การขยายของการแผ่ที่ถูกกระตุ้นสามารถเกิดขึ้นได้ในธรรมชาติ แม้ว่าปรากฏการณ์นี้จะไม่ถูกค้นพบจนกระทั่งหลังการประดิษฐ์เลเซอร์ ตัวอย่างหนึ่งที่น่าสนใจมากเกิดขึ้นในระดับสูงกว่าของบรรยากาศดาวอังคาร การฉายแสงอาทิตย์ทำให้เกิดการย้อนกลับของประชากรในคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นสูงกว่าบาง ๆ ของบรรยากาศของดาว อัตราขยายต่ำเพราะความดันของแก๊สต่ำ แต่ปริมาตรที่เกี่ยวพันใหญ่มากจนกระทั่งโดยมาตราฐานของมนุษย์ (แม้ว่าจะไม่ใช้โดยมาตราฐานของจักรวาล) กำลังที่ถูกแผ่ออกมาโดยการเปลี่ยนระดับของ CO_2 เลเซอร์ 10.4μm มีค่าสูง อย่างไรก็ตามพลังงานที่ถูกเก็บอยู่ในรมเลกุล CO_2 เหล่านั้นจะถูกดัดทอนอย่างไม่มีประสิทธิภาพและการแผ่เลเซอร์จะถูกกระจายออกไปอย่างสุ่มไปในอวกาศดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.7-1 ตามผลลัพท์นี้ความเข้มที่ไปถึงโลกต่ำมากจนกระทั่งการแผ่เลเซอร์นี้จะถูกค้นพบเพียงใช้เครื่องมือตรวจสอบรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ซับซ้อน

โดยปกติ CO_2 เลเซอร์ทำงานที่ความดันค่อนข้างสูงกว่าและใช้ปริมาตรของแก๊สน้อยกว่ามากแต่ข้อดีในทางปฏิบัติจริง ๆ ของมันอยู่ที่ว่ามันดูดเอาพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและรวมความเข้มของมันเข้าไปอยู่ในลำแคบ ๆ อันนี้ถูกทำโดยการใส่คู่ของกระจกทั้งสองปลายของทรงกระบอก ถ้าการแผ่ที่ถูกกระตุ้นเกิดขึ้นบนแกนระหว่างกระจกทั้งสองมันจะถูกสะท้อนกลับไปมาตลอดทั้งหลอด โดยที่ไปกระตุ้นการแผ่ครั้งแล้วครั้งเล่าจากโมเลกุลของ CO_2 การแผ่ที่ถูกกระตุ้นโดยทิศทางอื่นจะสูญหายไปจากตัวกลางเลเซอร์ ผลลัพท์ก็คือการแผ่ที่ถูกกระตุ้นจะถูกรวบรวมในลำแสงที่ออสซิลเลทกลับไปมาระหว่างกระจกทั้งสอง

จากหลักทางอิเลคทรอนิคส์กระจกจะให้การป้อนกลับแบบบวก เลเซอร์กับคู่ของกระจกสะท้อนกลับทั้งหมดเหมือนกับระบบป้อนกลับแบบบวก ในทางทฤษฎีที่จะขยายตัวมันเองไปถึงอนันต์ แต่ในทางปฏิบัติการสูญเสียในช่องจะจำกัดการป้อนกลับแบบบวกและระดับ (degree) ของการขยาย ในเลเซอร์ที่ใช้งานจริงกระจกอันหนึ่ง (หรือบางทีก็สองอัน) จะให้แสงส่วนหนึ่งหลุดออกไปจากช่องเลเซอร์ทั้งรอบ ๆ ขอบของมัน, ตลอดทั้งรู (hole) หรือตลอดทั้งส่วนที่เห็นได้บางส่วน แสงที่หลุดออกจากช่องเลเซอร์จะสร้างลำเลเซอร์

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.7-1 กุญแจสำหรับการกำเนิดเลเซอร์คือความมีทิศทาง (directivity)
(a) ส่วนที่สูงกว่าบรรยากาศคาวอังคารแผ่แสงเลเซอร์อย่างสุ่มทำให้ยากที่จะตรวจสอบได้จากโลก
(b) เลเซอร์ที่มนุษย์ทำขึ้นประกอบด้วยช่องรีโซแนนซ์ที่ก่อให้เกิดลำแสงที่ถูกทำให้ขนาน

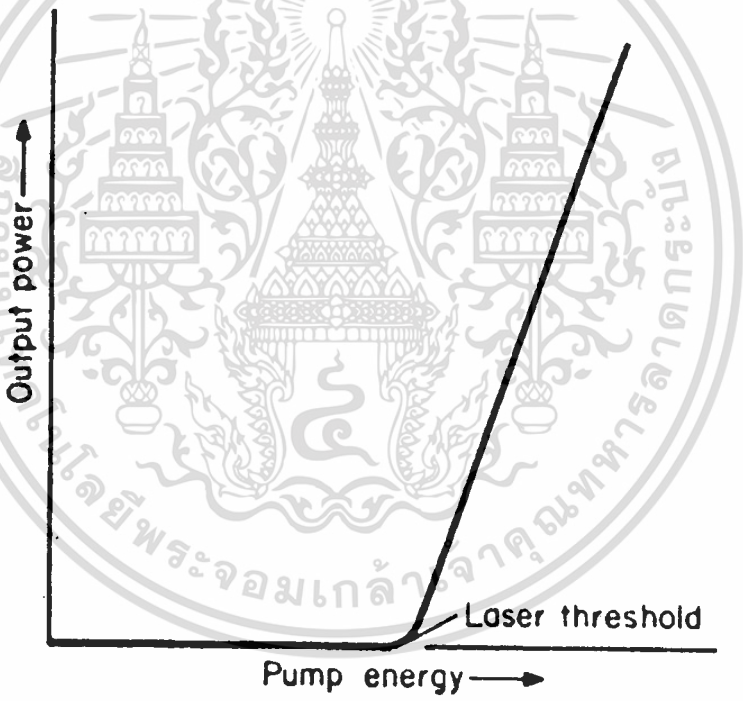
ส่วนของลำแสงที่ถูกยอมให้ออกไปจากช่องเลเซอร์ขึ้นอยู่กับอัตราขยายของตัวกลางเลเซอร์ ถ้าเลเซอร์ที่มีเอาท์พุทเริ่มทำงานอัตราขยายทั้งหมดต้องเท่ากับผลรวมของการสูญเสียของช่องกับส่วนหนึ่งของพลังงานที่ถูกยอมให้ออกจากช่องดังนั้นอัตราขยายยิ่งต่ำส่วนที่สามารถถูกส่งออกจากช่องยิ่งน้อย ถ้าอัตราขยายสูงการส่งผ่านก็จะสูงตามไปด้วย ในบางกรณีเช่น excimer laser และไนโตรเจนเลเซอร์อัตราขยายจะ

19825

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงมากจนกระทั่งกระจกทั้งคู่ของช่องไม่จำเป็น (เลเซอร์แบบนี้ถูกเรียกว่าทำงานในโหมด superradiant)

ทางอื่นที่จะพิจารณาการออสซิลเลทของเลเซอร์คือเหมือนกับปรากฏการณ์ threshold ที่เกิดขึ้น เมื่ออัตราขยายของตัวกลางเลเซอร์เกินกว่าผลบวกของการสูญเสียของช่อง (cavity losses) และการส่งผ่าน (transmission)ของกระจกเอาท์พุทในกรณีนี้อัตราขยายเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเงื่อนไขการทำงานที่รวมถึงพลังงานที่ให้แก่ตัวกลางเลเซอร์ขณะที่กำลังอินพุทเพิ่มขึ้น เอาท์พุทของเลเซอร์ในช่วงแรกเป็นศูนย์จนกระทั่งผ่านพัน threshold ไปแล้วจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังแสดงในรูป 2.7-2 Thresholds จะแตกต่างกันไปตามโครงสร้างของช่องและเงื่อนไขของตัวกลางเลเซอร์ที่แตกต่างกัน ในทางปฏิบัติแล้วการออกแบบขนาดช่องและเงื่อนไขการทำงานที่แตกต่างถูกใช้สร้างกำลังเอาท์พุทที่ระดับต่าง ๆ



รูปที่ 2.7-2 ปรากฏการณ์ thresholdในเลเซอร์ เลเซอร์จะไม่ให้เอาท์พุททางแสงออกมาจนกระทั่งพลังงานจากการยกระดับจะผ่านค่า threshold ไปก่อน ที่พลังงานการยกระดับที่สูงกว่านี้กำลังเอาท์พุทจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในทางปฏิบัติเลเซอร์แต่ละอันจะจำกัดอยู่ที่เอาท์พุทและในที่สุดเส้นโค้งอินพุทและเอาท์พุทจะโค้งเอนออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังภายในช่องเลเซอร์ (intracavity power) และในลำเลเซอร์ขึ้นอยู่กับการส่งผ่านของกระจกเอาท์พุทสำหรับตัวกลางที่มีอัตราขยายต่ำ ขณะที่การส่งผ่านของกระจกต่ำระดับกำลังภายในสูงกว่าภายนอก ถ้าจะวิเคราะห์กำลังสูง ๆ เช่น ในการกำเนิดฮาร์โมนิคหรือบางการทดลองมันอาจจะต้องการใส่ส่วนเพิ่มเติมทางแสงภายในช่องเลเซอร์เพื่อทำประโยชน์ของกำลังสูงกว่าที่นั่นเลเซอร์บางอย่างถูกออกแบบด้วยระยะภายในช่องที่จะยอมให้วางเลนส์หรือของทดลองภายในช่อง

เมื่อยกเว้นเลเซอร์ชนิดอัตราขยายสูงที่ทำงานในโหมด superradiant แล้ว เลเซอร์ส่วนใหญ่เป็นออสซิเลเตอร์ที่มีช่องที่ถูกกำหนดเขตโดยตัวสะท้อนทั้งสอง อย่างไรก็ตามมันเป็นได้ด้วยที่จะสร้างเลเซอร์แอมปลิฟายเออร์ที่เพิ่มกำลัง ที่ถูกสร้างโดยออสซิเลเตอร์ที่แยกต่างหาก เลเซอร์แอมปลิฟายเออร์ไม่มีกระจกของช่องและไม่กำเนิดแสงภายในมันจะมีตัวกลางทำงาน (active medium) ซึ่งขยายลำแสงจากออสซิเลเตอร์ที่แยกต่างหาก โดยทั่วไปการออกแบบนี้ถูกใช้สร้างพัลซ์ของกำลังสูง ๆ จากตัวกลางเลเซอร์ที่มีการเก็บพลังงานไว้ข้างในและอัตราการขยายสูง ๆ สำหรับเลเซอร์แบบนั้นโดยทั่วไปมันมีประสิทธิภาพที่จะได้กำลังสูง ๆ โดยใช้ออสซิเลเตอร์และแอมปลิฟายเออร์ที่แยกต่างหากมากกว่า โดยพยายามสร้างออสซิเลเตอร์ที่ใหญ่กว่ามากมาก ลูกโซ่แอมปลิฟายเออร์มวลทั้งก้อนถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทดลองเลเซอร์ฟิวชั่น (George, 1982)

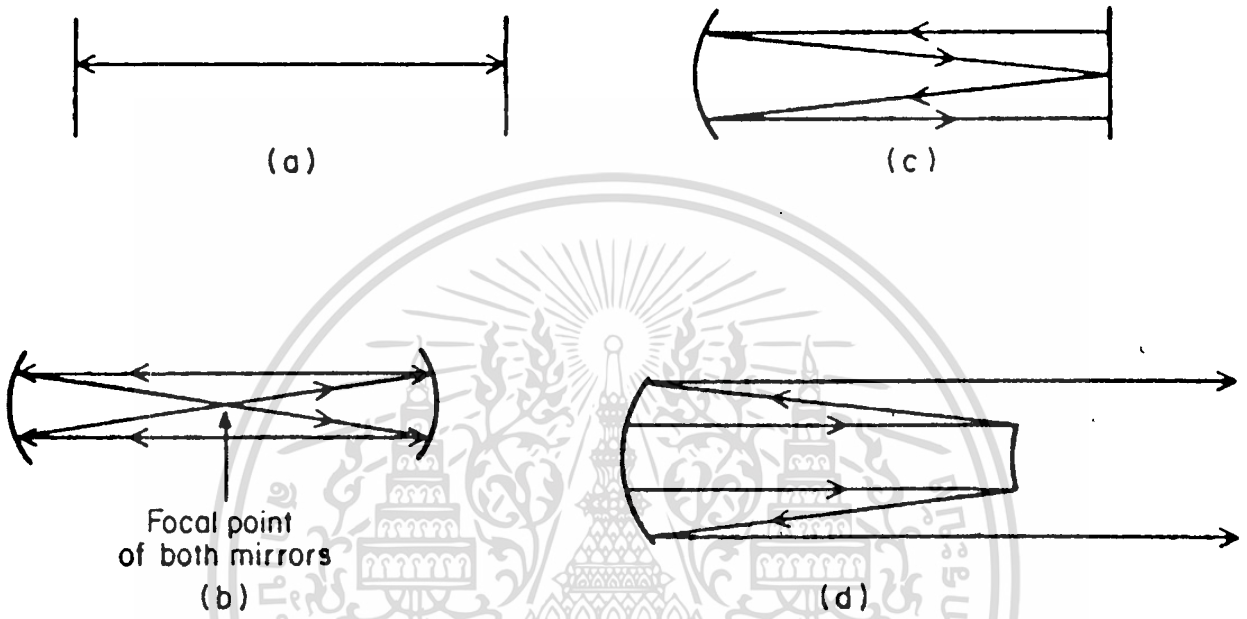
2.8 รีโซเนเตอร์ , โหมดและคุณภาพของลำแสง

การออสซิลเลทเลเซอร์เกิดขึ้นในช่องรีโซแนนซ์ที่ถูกกำหนดเขตโดยกระจกที่ปลายทั้งสองทฤษฎีรีโซเนเตอร์ของเลเซอร์ได้พัฒนามาจากงานวิจัยในเรื่องรีโซแนนซ์ของความถี่วิทยุ แต่ความแตกต่างในความยาวคลื่นอย่างมากทำให้เปลี่ยนแปลงไปมาก เพราะความยาวของช่อง (cavity) มีขนาดเป็นหลายเท่าของความยาวคลื่นเลเซอร์ มันเป็นไปได้ที่จะออสซิเลทพร้อมๆกันในหลายโหมดเพื่อที่จะจำกัดโหมดในการออสซิเลท ช่องในเลเซอร์จะเปิดด้วยกระจกเล็ก ๆ สองอันที่ปลายทั้งสองข้างซึ่งไม่เหมือนช่องในวิทยุที่สามารถสะท้อนจากทุก ๆ ด้าน

โครงสร้างหลายแบบเป็นไปได้สำหรับรีโซเนเตอร์ในเลเซอร์ตัวอย่างแบบต่าง ๆ ถูกแสดงในรูป 2.8-1 โดยความคิดแล้วแบบที่ง่ายที่สุดคือแผ่นแบนราบขนานกันหรือรีโซเนเตอร์แบบ Fabry-perot ซึ่งเป็นแบบที่กระจกแบนราบสองอันถูกวางไว้ที่ปลายทั้งสองข้างของช่องที่ถูกทำให้ขนานซึ่งกันและกัน และตั้งฉากกับแกนของช่อง รีโซแนนท์เกิดขึ้นเมื่อความยาวของช่อง (D) เท่ากับจำนวนเต็ม n เท่าของความยาวคลื่น ($\lambda/2$) :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D = \frac{n\lambda}{2}$$



รูปที่ 2.8-1 ตัวอย่างของการออกแบบช่องในเลเซอร์ซึ่งแสดงถึงแสงสะท้อนกลับไปมาระหว่างกระจกที่ปลายอย่างไร สังเกตุว่าการออกแบบในรูป (d) จะทำให้ได้ลำแสงที่มีพื้นที่ภาคตัดขวางแบบ doughnutlike

(a) Plane-parallel resonator (marginal stability);

(b) Confocal resonator (stable);

(c) Hemiconfocal resonator (stable);

(d) Positive-branch confocal unstable resonator

สมการข้างบนสามารถแก้หาความยาวคลื่นได้ด้วยที่ให้ความเป็นไปได้ของการออสซิเลทที่ความยาวคลื่น

$$\lambda = 2D / n$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะว่าโดยทั่วไปช่องของเลเซอร์มีค่าเป็นหมื่นหรือแสนเท่าของความยาวคลื่น ดังนั้นจึงยอมให้มีการออสซิเลทที่ความยาวคลื่นช่วงกว้างมาก อย่างไรก็ตามการออสซิเลทจะเป็นไปได้ที่ความยาวคลื่นภายในแถบขยาย(gain bandwith)ของตัวกลางเลเซอร์และเครื่องมือทางแสงที่พิเศษอื่นก็สามารถจำกัดช่วงออสซิเลท

ความง่ายของรีโซเนเตอร์แบบ plane-parallel ถูกลดลงไปโดยความยากในทางปฏิบัติของการทำให้กระจกอยู่ในแนวตรงแน่นอนพอดี สำหรับการทำงานที่มีเสถียรภาพของเลเซอร์หลักเกณฑ์เดียวกันใช้กับการออกแบบทั่ว ๆ ไป ที่ใช้กระจกโค้งทรงกลมหนึ่งหรือสองอันเพื่อให้การทำให้อยู่ในแนวตรง (alignment)ง่ายขึ้น ซึ่งประกอบด้วย

Concentric (or spherical) resonator : กระจกโค้งทรงกลมที่เหมือนกันสองอันถูกแยกโดยระยะทางเท่ากับสองเท่าของรัศมีความโค้ง ดังนั้นศูนย์กลางของความโค้งจึงต้องตรงกัน

Confocal resonator : กระจกโค้งทรงกลมที่เหมือนกันสองอันถูกแยกเป็นสองเท่าของความยาวโฟกัสของมัน ดังนั้นจุดโฟกัสจึงตรงกัน (เพราะความยาวโฟกัสของกระจกทรงกลมเป็นครึ่งหนึ่งของรัศมีความโค้ง อันนี้หมายความว่าศูนย์กลางของความโค้งของกระจกหนึ่งอยู่ที่ตำแหน่งวางของกระจกอีกอันหนึ่ง)

Hemiconfocal resonator : กระจกทรงกลมถูกวางห่างจากกระจกแบนด้วยระยะความยาวโฟกัสของมัน

Hemispherical resonator : กระจกทรงกลมถูกวางห่างจากกระจกแบนราบด้วยระยะรัศมีความโค้งของมัน

รีโซเนเตอร์เหล่านี้และการออกแบบด้วยระยะกระจกขนาดต่าง ๆ กัน ที่คล้ายกันนี้ถูกเรียกว่า รีโซเนเตอร์ที่เสถียร (stable resonator) ทฤษฎีรีโซเนเตอร์ในเลเซอร์ซับซ้อนมากและกล่าวเจาะจงคำว่า " เสถียร " ไม่ควรใช้กับ plane-parallel resonator หรือ concentric resonator โดยไม่มีการอธิบายเพิ่มอีก

หลักเกณฑ์ของรีโซเนเตอร์ที่เสถียรสามารถเห็นได้จากการติดตามตลอดทางเดินของรังสีในช่อง จุด threshold ของความมีเสถียรภาพจะถูกเข้าไปถึงได้ถ้ารังสีแสง ที่เริ่มต้นขนานกับแกนของช่องเลเซอร์สามารถสะท้อนกลับไปมาระหว่างกระจกทั้งสองโดยไม่มีการหนีไปจากที่ระหว่างกระจก ซึ่งหลักเกณฑ์ถูกแสดงไว้ในรูป 2.8-1 เงื่อนไขที่ใช้ได้และค่อนข้างแน่นอนกว่าสำหรับการทำงานของรีโซเนเตอร์ที่เสถียรภาพคือว่ารังสีแสงที่ออกมานอกแนวที่ตรงกับแกนไปเล็กน้อย ควรจะถูกสะท้อนอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างกระจกของรีโซเนเตอร์เช่นเดียวกัน อธิบายเงื่อนไขนั้นอีกทางหนึ่งก็คือว่าต้องมีกำลังที่โฟกัสสุทธิจำนวนหนึ่งภายในช่องเลเซอร์ซึ่งในกรณีที่ง่ายที่สุดถูกให้โดยกระจก

รีโซเนเตอร์แบบ plane-parallel ต้องมีเงื่อนไข threshold สำหรับความมีเสถียรภาพ แต่โดยตัวของมันเองไม่สามารถให้กำลังที่โฟกัสซึ่งต้องการเพื่อให้มีเงื่อนไขที่แน่นอนดังนั้นโดยตัวมันเองแล้วรีโซเนเตอร์แบบนี้ไม่เป็นรีโซเนเตอร์ที่เสถียรจริง ๆ โดยเฉพาะ เพราะปัญหาในทางปฏิบัติของการทำให้กระจกตรงขนานซึ่งกันและกันอย่างเที่ยงตรง อย่างไรก็ตามมันสามารถใช้ได้ถ้ามีสิ่งอื่นในช่องเลเซอร์ให้กำลังที่โฟกัสตามต้องการ กรณีนี้เกิดขึ้นในเลเซอร์แบบ solid-state crystalline และ glass ซึ่งการโฟกัสทางอุณหภูมิในแท่ง (rod)ของมันเองจะให้การโฟกัสที่จำเป็นสำหรับการทำงานที่เสถียรภาพ

รีโซเนเตอร์แบบ concentric เป็นกรณีพิเศษอีกแบบหนึ่ง มันต้องการกฎเกณฑ์ของความเสถียรภาพทางทฤษฎีแต่ในทางปฏิบัติไม่ได้ให้การทำงานของเลเซอร์ที่เสถียรภาพเพราะมันมีโฟกัสหน้าคลื่น (wavefront) ภายในที่จุดกึ่งกลางของมัน ในทางปฏิบัติการออกแบบอื่น ๆ ที่มีกระจกโค้งเว้า (concave) อย่างน้อยหนึ่งอันถูกใช้โดยทั่วไปสำหรับแก๊สเลเซอร์กำลังต่ำที่ทำงานตลอดเวลา

รีโซเนเตอร์ซึ่งไม่มีกฎเกณฑ์เสถียรภาพถูกเรียกว่ารีโซเนเตอร์ที่ไม่เสถียร เพราะ รังสีแสงเบี่ยงเบนออกไปจากแกนมีการเปลี่ยนแปลงมาก ในรีโซเนเตอร์ที่ไม่เสถียรตัวอย่างหนึ่งคือ กระจกทรงกลมโค้งออก (convex) อยู่ตรงข้ามกับกระจกแบนราบ อีกตัวอย่างหนึ่งประกอบด้วยกระจกทรงกลมโค้งเข้า (concave) ที่มีรัศมีต่างกัน (ดังนั้นแสงถูกสะท้อนจากกระจกที่ใหญ่กว่าหนีออกไปรอบ ๆ ขอบของกระจกที่เล็กกว่า) และยังมีแบบที่ใช้กระโค้งออกทั้งสองอัน

รีโซเนเตอร์ทั้งสองแบบที่กล่าวมามีข้อดี และรูปแบบของโหมดที่แตกต่างกัน รีโซเนเตอร์ที่เสถียรรวมความเข้มแสงตามแนวแกนเลเซอร์ ซึ่งมันจะดูดเอาพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพจากบริเวณนั้นแต่ไม่ได้เอาจากบริเวณนอกที่ไกลไปจากแกน ลำแสงที่มันเกิดขึ้นมีพีคความเข้มอยู่ที่ศูนย์กลางและความเข้มจะลดลงแบบ Gaussian ตามระยะที่เพิ่มขึ้นจากแนวแกนมันเป็นแบบมาตรฐานที่ถูกใช้กับเลเซอร์แบบคลื่นต่อเนื่องและอัตราขยายต่ำเช่น ฮีเลียม-นีออนเลเซอร์

รีโซเนเตอร์ที่ไม่เสถียรภาพ มักจะกระจายแสงภายในช่องเลเซอร์ตลอดปริมาตรทั้งหมด ในกรณีทั่วไปลำแสงเอาท์พุทมีรูปร่างเป็นวงกลมที่มีพีคความเข้มอยู่ในวงแหวนรอบแกนแต่ไม่มีผลอยู่บนแกน การออกแบบนี้จะรวบรวมพลังงานเลเซอร์จากปริมาตรส่วนมากในช่องเลเซอร์ ซึ่งโดยทั่วไปจะนำไปสู่ประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานทั้งหมดสูงกว่าแบบทั้งหมดที่ได้จากรีโซเนเตอร์ที่เสถียร แม้ว่าประสิทธิภาพใน

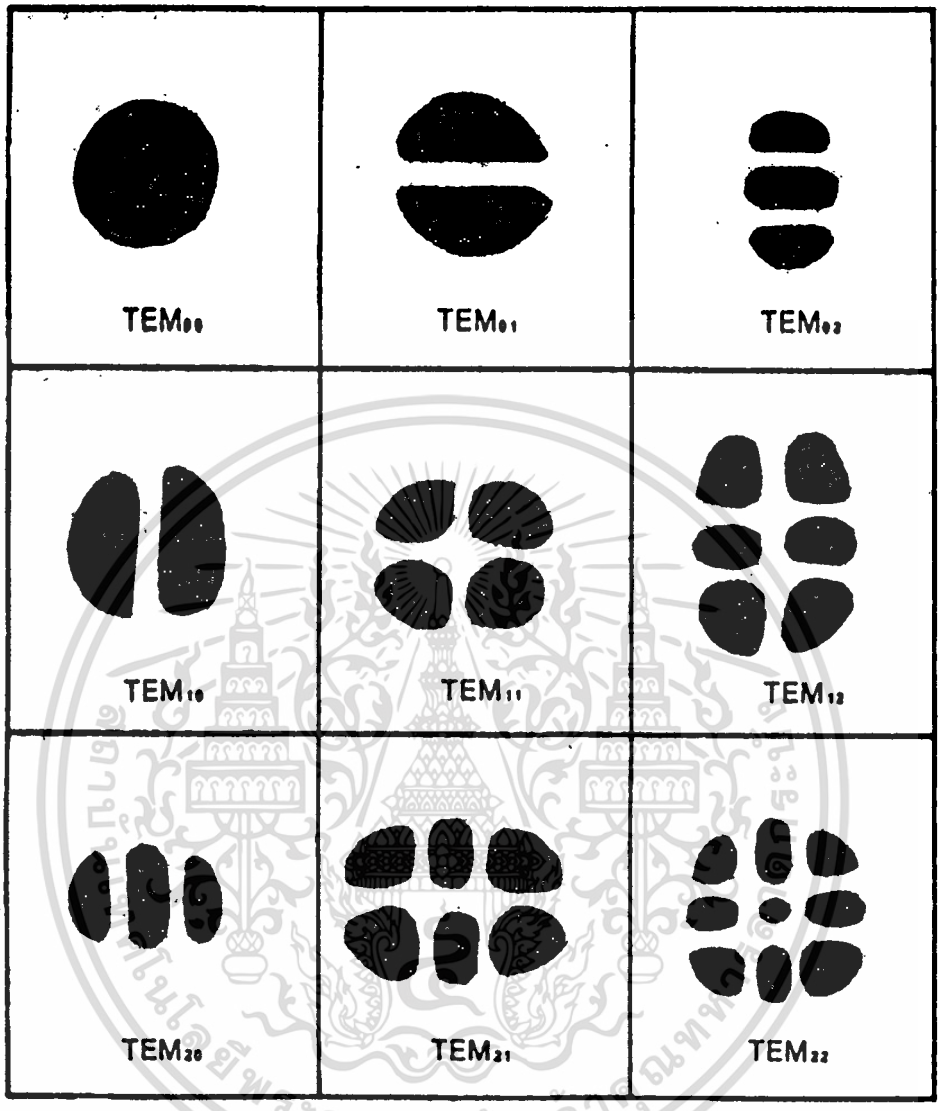
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดูดกลืนพลังงานจากบริเวณแกนของเลเซอร์จะต่ำกว่าอันนี้จะทำได้ดีที่สุดสำหรับพัลซ์เลเซอร์ที่มีอัตราขยายสูง ข้อดีพิเศษหนึ่งคือความสามารถใช้เครื่องมือทางแสงที่สะท้อนกลับหมดที่มีลำแสงเอาท์พุทหนีออกไปรอบ ๆ กระจกอันเล็ก ซึ่งสำคัญในงานด้านอุลตร้าไวโอเลทที่มีวัสดุไม่กี่อย่างที่สามารถส่งผ่านกำลังสูง ๆ ได้ แม้ว่าลำแสงที่มีรูปร่างแบบโดนัทจะไม่มีผลของความเข้มในสนามใกล้แกน (the near field) แต่มันเรียบออกไปที่ระยะห่างออกไปจากแกนเลเซอร์ ที่ให้การแจกแจงพลังงานแบบยูนิฟอร์มมากกว่า ในบริเวณสนามที่ไกลแกน (the far field) ลำแสงของรีโซเนเตอร์ที่ไม่เสถียรมักจะมีมุมที่บานออก (divergence) น้อยกว่าลำแสงของรีโซเนเตอร์ที่เสถียร

รีโซเนเตอร์ในเลเซอร์มีชนิดของโหมดที่แตกต่างกันสองชนิดคือ แบบตามขวาง (transverse) และแบบตามยาว (longitudinal) โหมดตามขวางจะแสดงตัวเองโดยรูปร่างภาคตัดขวางนั่นคือในรูปแบบความเข้มของมัน ส่วนโหมดตามยาวเป็นไปตามรีโซแนนซ์ที่แตกต่างกันตามความยาวของช่องเลเซอร์ซึ่งเกิดขึ้นที่ความถี่หรือความยาวคลื่นต่าง ๆ ภายในอัตราขยายแบบ แบนด์วิดท์ (gain bandwidth) ของเลเซอร์ เลเซอร์ที่มีโหมดตามขวางเดียวที่ออสซิลเลทในโหมดความยาวเดียวจะออสซิลเลทที่เพียงความถี่เดียว ส่วนเลเซอร์ที่ออสซิลเลทในโหมดตามยาวสองโหมดจะออสซิลเลทพร้อมกันที่ความยาวคลื่นสองค่าแยกกัน (แต่มักจะมีระยะใกล้กัน) เมื่อยกเว้นความต้องการการใช้งานในด้าน การวิเคราะห์สเปคตรัม และ การสื่อสารแล้ว การควบคุมโหมดตามยาวจนกระทั่งการออสซิลเลทอยู่ที่ความถี่เดียวนั้นมีความสำคัญน้อยกว่าการควบคุมโหมดตามขวางซึ่งนำไปสู่คุณภาพของแสง

การใช้ถ้อยคำพิเศษสำหรับโหมดตามขวางได้พัฒนามาเรื่อย ๆ โดยอยู่บนงานทางทฤษฎีที่ถูกทำในการพัฒนาเลเซอร์ในปัจจุบัน โหมดตามขวางถูกแบ่งตามจำนวนที่ไม่มีผลของความเข้มที่ปรากฏตามขวางของพื้นที่ภาคตัดขวางของลำแสงในสองทิศทาง โหมดต่ำที่สุด (fundamental mode) ซึ่งมีพีคความเข้มอยู่ที่ศูนย์กลาง ถูกเรียกว่า TEM_{00} ส่วนโหมดที่มีความเข้มอยู่ในแนวแกนเดียวและไม่มีความเข้มอยู่ในแนวตั้งฉากคือ TEM_{01} หรือ TEM_{10} ซึ่งขึ้นกับระนาบ ตัวอย่างของโหมดเหล่านี้ซึ่งถูกสร้างขึ้นจากรีโซเนเตอร์ที่เสถียรถูกแสดงในรูปที่ 2.8-2 สำหรับการใช้งานส่วนใหญ่โหมด TEM_{00} เป็นโหมดที่ต้องการมากแต่ลำแสงโหมดอื่นถูกใช้ส่งกำลังที่มากกว่าในคุณภาพของลำแสงที่ต่ำกว่าได้ดังนั้นจึงถูกใช้ในบางกรณี การใช้ถ้อยคำสำหรับอธิบายโหมดของเลเซอร์ที่มีรีโซเนเตอร์ไม่เสถียรได้วิวัฒนาการมาต่างกัน แต่สำหรับจุดประสงค์ในทางปฏิบัติส่วนใหญ่เลเซอร์ที่มีรีโซเนเตอร์ที่ไม่เสถียรสามารถใช้งานในโหมดที่ต่ำสุดซึ่งจะให้ลำแสงที่มีภาคตัดขวางเป็นวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8-2 โหมดต่าง ๆ ที่ถูกสร้างขึ้นจากรีโซเนเตอร์ที่เสถียร

รูปแบบโหมดตามขวางที่แตกต่างกันข้างบนสามารถเห็นได้ในบริเวณสนามใกล้ที่ใกล้กับช่องเปิดเอาท์พุทของเลเซอร์ขณะที่ลำแสงเดินผ่านทะลุที่ว่าง การแจกแจงพลังงานจะเป็นแบบยูนิฟอร์มมากกว่าไกลออกไปจากเลเซอร์ที่เรียกว่า far field ความไม่เป็นยูนิฟอร์ม เช่น ความเข้มน้อยที่สุดที่ศูนย์กลางของลำแสงรีโซเนเตอร์ที่ไม่เสถียรมักจะถูกทำให้เรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการใช้งานส่วนใหญ่ของเลเซอร์ คุณสมบัติทางเรขาคณิตของเส้นผ่าศูนย์กลางของลำแสงและมุมที่บานออกของลำแสง มีความสำคัญมากกว่าโครงสร้างของโหมดสำหรับลำแสงแบบ gaussian เส้นผ่าศูนย์กลางของลำแสงโดยทั่วไปถูกวัดที่จุดซึ่งความเข้มลดลง เป็น $1/e^2$ ของความเข้มพีค อุปกรณ์แสงต่างๆ ของช่องเลเซอร์เป็นตัวกำหนดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำแสงซึ่งโดยทั่วไปถูกวัดที่กระจกเอาท์พุท การใช้เทอมเส้นผ่าศูนย์กลาง (diameter) หมายถึง ภาคตัดขวางเป็นวงกลมแต่ลำแสงเลเซอร์สามารถมีรูปร่างเป็นรูปไข่หรือรูปสี่เหลี่ยมได้

มุมที่บานออกของลำแสงขึ้นอยู่กับอุปกรณ์แสงของช่อง (cavity optics) เป็นอันดับแรกมันวัดมุมที่ซึ่งลำแสงกระจายออกหลังจากมันออกมาเป็นเลเซอร์ เมื่อไม่รวมเลเซอร์เชมิคอนดัคเตอร์ไดโอดแล้วส่วนใหญ่มันจะน้อยกว่ามิลลิเรเดียน (m rad) เสมอและมีหลายชนิดที่โดยทั่วไปมีขนาด 1 m rad ขีดจำกัดล่าง (lower limit) ซึ่งกล่าวว่ามุมที่เล็กที่สุดซึ่งสามารถสร้างขึ้นได้ (ถูกวัดในหน่วย m rad) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความยาวคลื่นที่หารด้วยช่องเปิดเอาท์พุท (output aperture) D : Divergence $= 1.22(\lambda/D)$ ตามความสัมพันธ์นี้มุมที่บานออกของลำแสงสามารถลดลงได้โดยใช้ช่องเปิดเอาท์พุทที่ใหญ่ขึ้นหรือลดความยาวคลื่นให้สั้นลง เลเซอร์ที่มีมุมที่บานออกประมาณเท่ากับขีดจำกัดการเบี่ยงเบนจะถูกเรียกว่า diffraction-limited

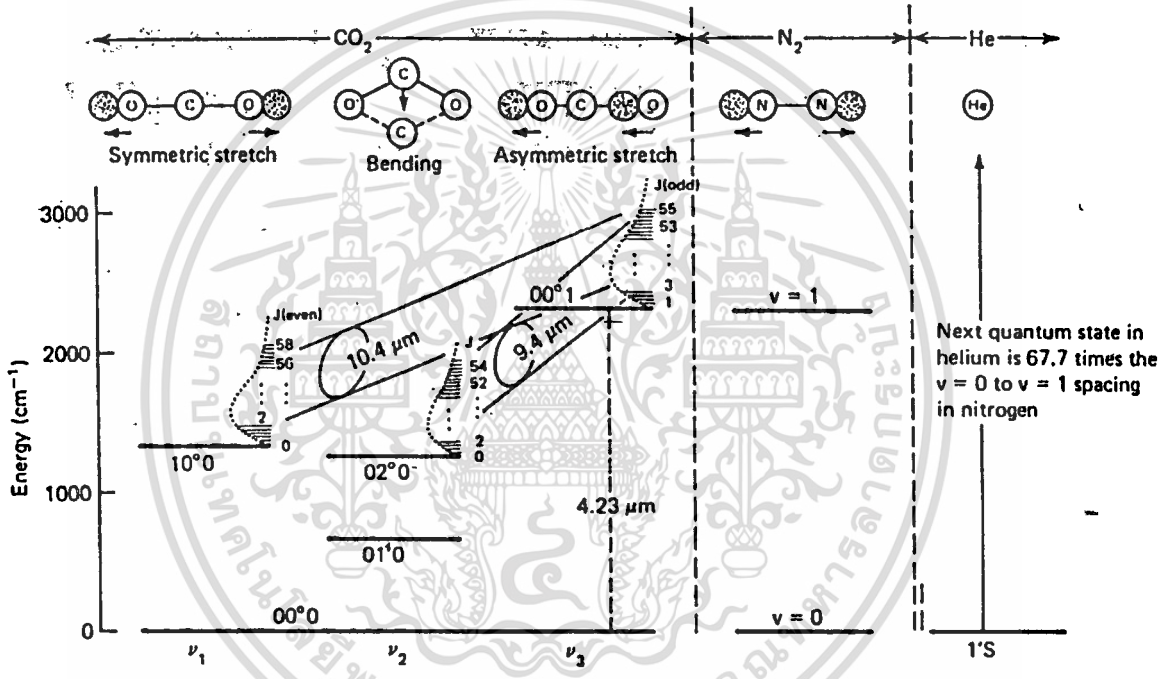
2.8 คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์

คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์เป็นเลเซอร์แบบหนึ่งที่น่าสนใจ เพราะมันให้เอาท์พุทที่ต่อเนื่องสูงกว่าและประสิทธิภาพที่สูงกว่าเลเซอร์แบบอื่นๆ และในกรณีนี้เลเซอร์ชนิดนี้จึงมีการใช้งานเกิดขึ้นหลายรูปแบบที่ประกอบไปด้วย เลเซอร์ต่อเนื่องกำลังสูงที่มีรูปแบบตั้งแต่ในห้องแล็บ และอุปกรณ์ของวิศวกรไปจนถึงการติดตั้งขนาดใหญ่ในงานวิจัย, พัลซ์และ Q-switchedเลเซอร์, ระบบออสซิลเลเตอร์แอมปลิฟายเออร์และเลเซอร์ความถี่เดียวที่เสถียรความสามารถในการใช้งานที่เพิ่มขึ้นและการปรับปรุงในคุณสมบัติของ C.W. และพัลซ์เลเซอร์ที่ดีขึ้นมากได้กระตุ้นให้เกิดความสนใจใหม่ๆในอุปกรณ์แบบต่างๆ ความก้าวหน้าที่สำคัญส่วนใหญ่เป็นผลของการใช้อัตราการไหลของแก๊สแบบเร็วในเลเซอร์ความดันต่ำและเป็นผลของการใช้พัลซ์ดิสชาร์จเลเซอร์ทำงานที่ความดันบรรยากาศ ถ้าปัญหาที่น่ากลัวผ่านพ้นไปได้การรวมการทำงานที่มีอัตราการไหลแบบเร็วและความดันแก๊สสูงเข้าด้วยกัน จะนำไปสู่ความก้าวหน้าที่สำคัญมากในการทำงานแบบต่อเนื่อง สำหรับการใช้งานในด้านต่างๆ เหล่านี้ที่ความก้าวหน้าถูกจำกัดโดยคุณสมบัติของเลเซอร์นั้นจะต้องมีการปรับปรุงให้ก้าวหน้าต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.1 กลไกการทำงานภายในของคาร์บอนไดซ์เลเซอร์

ตัวกลางทำงานของ CO_2 เลเซอร์ทั่วไปเป็นแก๊สผสมคาร์บอนไดออกไซด์ , ไนโตรเจน และ ฮีเลียม การอธิบายกลไกแบบธรรมดาแสดงได้ ดังรูปที่ 2.9 -1 เลเซอร์เกิดขึ้นโดยการเปลี่ยนระดับแบบสั่นสะเทือนและ แบบการหมุนของสถานะกราวน์ทางอิเลคทรอนิคส์ของ CO_2 พลังงานการกระตุ้นของระดับ V = 1 ของ N_2 อยู่ใกล้กับระดับบนสุดของเลเซอร์มาก และการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างระดับทั้งสองเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.9-1 โครงสร้างของระดับพลังงานใน CO_2 เลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวแผ่แสงเลเซอร์โมเลกุลของ CO_2 จะถูกกระตุ้นก่อน ดังนั้นมันจึงสั่นสะเทือนในโหมดยกระดับแบบไม่สมมาตร (asymmetrical stretching) แล้วโมเลกุลนี้จะสูญเสียพลังงานการกระตุ้นบางส่วนไปโดยลดระดับพลังงานลงมาหนึ่งในสอง ไปสู่สถานะการสั่นสะเทือนในระดับพลังงานที่ต่ำกว่าตามรูป 2.9-1 ถ้าโมเลกุลของมันแผ่ลาโฟตอนเลเซอร์ออกมามันจะลดระดับพลังงานลงมาเป็นขั้นบันไดจนกระทั่งถึงสถานะกราวน์โดยผ่าน V_2

โมเลกุลของไนโตรเจนจะเป็นตัวเก็บพลังงานสำหรับช่วยกระตุ้นในโมเลกุล CO_2 ให้ยกระดับไปสู่ระดับพลังงานที่สูงกว่าได้อีกทางหนึ่ง นอกจากการกระตุ้นโดยตรงโดยการชนกันของอิเลคตรอน สถานะการสั่นสะเทือนที่ต่ำที่สุดของ N_2 เป็น 18 cm^{-1} ซึ่งเป็นพลังงานที่ต่ำกว่าโหมดยกระดับแบบไม่สมมาตรของ CO_2 แต่ความแตกต่างนี้น้อยกว่าหนึ่งในสิบของพลังงานความร้อนเฉลี่ยของโมเลกุลที่อุณหภูมิห้อง ด้วยเหตุนี้จึงไม่มีความสำคัญในเชิงปฏิบัติทำให้โมเลกุลของไนโตรเจนดูดกลืนพลังงาน และส่งต่อไปให้โมเลกุลของ CO_2 ดังนั้นจึงยกระดับของโมเลกุล CO_2 ไปสู่ระดับที่สูงกว่า

โมเลกุลของ CO_2 ยังสามารถไปถึงระดับพลังงานที่สูงกว่าได้อีกทางหนึ่ง คือมันสามารถดูดกลืนพลังงานจากอิเลคตรอนที่ถูกจ่ายเข้าไปในแก๊สในการดิสชาร์จหรือลำอิเลคตรอน ทางเลือกหนึ่งของการทำให้เกิดการย้อนกลับของประชากรซึ่งจำเป็นสำหรับการกำเนิดเลเซอร์คือ การทำให้แก๊สเลเซอร์ความดันสูงที่ร้อนขยายตัวอย่างรวดเร็วเข้าไปในสูญญากาศที่เย็น อันนี้เป็นหลักเกณฑ์พื้นฐานของแก๊สไดนามิคส์คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ ในทางปฏิบัติการมี N_2 อยู่เป็นการส่งเสริมการทำงานของเลเซอร์ที่สำคัญและเป็นแก๊สที่มีอยู่ใน CO_2 เลเซอร์เสมอ

ส่วนฮีเลียมทำหน้าที่สองอย่าง อย่างแรกเป็นบัฟเฟอร์แก๊ส (buffer gas) ช่วยถ่ายเทความร้อนให้แก๊สผสมเย็นลง เนื่องจากมันมีสภาพ ความนำความร้อน (thermal conductivity) สูงมาก และหน้าที่อีกอย่างคือมันช่วยให้โมเลกุลของ CO_2 มีอัตราการผ่อนคลาย (relaxation) จากระดับเลเซอร์ที่ต่ำกว่าไปสู่ระดับกราวน์ ดังนั้นจึงช่วยรักษาภาวะการย้อนกลับของประชากรที่จำเป็นสำหรับการทำงานของเลเซอร์

ส่วนประกอบและความดันของแก๊สใน CO_2 เลเซอร์เปลี่ยนแปลงได้กว้างในการออกแบบแหล่งกำเนิดเลเซอร์ในทางปฏิบัติ โดยทั่ว ๆ ไปใน CO_2 เลเซอร์ความดันของแก๊สผสมที่ไหลผ่านจะอยู่ราว ๆ 15 torr (2000 Pa) โดยมีส่วนผสมของแก๊ส CO_2 10 % , แก๊ส N_2 10 % และที่เหลือเป็นฮีเลียม โดยทั่วไปความเข้มข้นของไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกเปรียบเทียบกันแต่จะน้อยกว่าความเข้มข้นของฮีเลียมและความดันต่ำ ๆ จำเป็นสำหรับการทำงานต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3
กระบวนการออกแบบโครงสร้างของช่องตัวกลางและรีโซเนเตอร์

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของการออกแบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์แบบธรรมดาที่ง่ายและเป็นที่ยอมรับที่อยู่บนพื้นฐานความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างต่าง แม้ว่าจะมีบทความหลายบทความและหนังสือที่ดีหลายเล่มอธิบายถึงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ , ทางกลไก และทางแสงของคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ แต่งานเหล่านี้ไม่ได้อธิบายถึงความสัมพันธ์ทั่วไประหว่างพารามิเตอร์เหล่านี้ ซึ่งจำเป็นมากในการออกแบบให้ดีที่สุด บทนี้จะอธิบายแต่ละพารามิเตอร์ในเชิงปริมาณรวมทั้งความสัมพันธ์ระหว่าง diffraction losses ของโหมด TEM_{00} และ TEM_{10} ที่ประกอบด้วยเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอด , ความยาวที่ทำงาน (active length) , รัศมีความโค้งของกระจก , การส่งผ่านของกระจก (transmission) กับ dissipative loss ที่ประกอบด้วยอัตราขยาย(gain) , ความเข้มอิ่มตัวและกำลังทางออก ความสัมพันธ์บางอันมาจากทฤษฎี บางอันมาจากการสังเกตในการทดลอง แล้วในบทยังกล่าวถึงรูปแบบการออกแบบอย่างละเอียดที่มีพื้นฐานอยู่บนความสัมพันธ์ทางปริมาณต่าง ๆ เหล่านี้ ซึ่งจะสามารถทำให้เราออกแบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ที่ให้กำลังทางออกเป็นแบบโหมดเดียว ปัจจัยในการออกแบบที่มีอยู่ในรูปกราฟเท่าที่เป็นไปได้จะทำให้เราสามารถกำหนดผลของการเปลี่ยนพารามิเตอร์ในการออกแบบ , กำลังทางออกของเลเซอร์ที่เกิดขึ้นหรือออกแบบระบบเลเซอร์ใหม่ให้ได้กำลังทางออกแบบ TEM_{00} ตามต้องการได้ ในที่นี้การออกแบบจะให้เลือกพารามิเตอร์ต่าง ๆ ทางเรขาคณิต และ การส่งผ่าน (transmission) ของกระจกทางออกโดยสมมติว่าส่วนผสมของแก๊ส , ความดันและเงื่อนไขของการดิสชาร์จนั้นอยู่ในภาวะที่ดีที่สุด และในตอนท้าย ๆ เราได้ทำการออกแบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ขนาด 50 วัตต์ซึ่งใช้เป็นต้นแบบในการหาข้อมูลต่าง ๆ สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

3.2 การพิจารณาวิธีการออกแบบทั่ว ๆ ไป

ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงความสัมพันธ์ต่าง ๆ ในการออกแบบและจะแสดงถึงการหากำลังทางออกในเทอมของความสัมพันธ์เหล่านี้

ความสัมพันธ์อันแรกที่จะถูกพิจารณาคือกำลังทางออก(p_o)ที่ขึ้นอยู่กับ loss ทั้งหมด (l) ที่แต่ละปลายหลอด , อัตราขยาย g_oL_a (single pass gain , g_o คือ unsaturated gain , และ L_a คือ active discharge length) ,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มอิ่มตัว (I_s : saturation intensity) และการส่งผ่านของกระจกเอาท์พุท (tranmission) สำหรับกำลังทางออก (P_o) จะมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$P_o = KA_T I_o \qquad .....(3.1)$$

ขณะที่ A_T คือพื้นที่หน้าตัดของหลอด
และ I_o คือความเข้มที่มีผลตรงทางออก (effective output intensity)
ส่วนค่าคงที่ K หาได้จากการทดลอง สำหรับคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ที่มีกำลังออกที่โหมด TEM_{00} เราพบจากการทดลองว่าค่าคงที่ $K = 0.8$

เพื่อความสะดวกเราจะเขียน I_o ให้อยู่ในรูปผลคูณของ I_o / I_s กับ I_s โดยที่ I_s คือความเข้มอิ่มตัว (Saturation intensity) จะทำให้สมการ (3.1) กลายเป็น

$$P_o = 0.2\pi D_T^2 (I_o / I_s) I_s \qquad .....(3.2)$$

ขณะที่ D_T คือเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอด

ความเข้มของการแผ่รังสีที่เกิดจากเลเซอร์สภาวะคงตัวได้ถูกหาและคำนวณมาแล้วภายใต้ข้อจำกัดของค่าเศษส่วนน้อย ๆ ของ loss per pass สุทธิ อย่างไรก็ตามเมื่อเกิดมีเลเซอร์อัตราขยายสูงซึ่งสามารถออสซิลเลทได้แม้จะมี dissipative หรือ coupling loss เกิดขึ้นได้มาก มันจึงสะดวกในการขยายการคำนวณเหล่านี้โดยตัดข้อจำกัดข้างท้ายทิ้งไป การวิเคราะห์ที่ถูกทำที่นี่จะทำเพียงกรณีของ homogeneous laser transition ซึ่งในการเปลี่ยนระดับรูปร่างของเส้น (line shap) จะไม่เปลี่ยนแปลงในช่วงอิ่มตัวของอัตราขยาย (gain saturation)

รีโซเนเตอร์ถูกสมมติให้มีรูปร่างที่จะตอบสนองต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามแนวราบได้เป็นอย่างดี โดยที่ loss ของมันถูกรวมไปสู่จุดเดียวใกล้ ๆ กับกระจก แม้จะมีข้อสมมุติเหล่านี้ผลลัพธ์จะให้ลักษณะ first order ของการแจกแจงการแผ่รังสีในรูปของเลเซอร์อัตราขยายสูงเป็นส่วนใหญ่ เมื่อ loss นั้นมีค่ามากหลายเปอร์เซ็นต์

ถ้าเราแทนความเข้มข้นของการแผ่รังสีที่ถูกปรับให้ปกติ (normalized) ในทิศทาง +Z และ -Z ของเลเซอร์ออสซิเลเตอร์ด้วย $\beta_+ = I_+ / I_s$ และ $\beta_- = I_- / I_s$ ตามลำดับ ขณะที่ I_s เป็นความเข้มอิ่มตัวแล้วสัมประสิทธิ์อัตราขยายอิ่มตัว $g(z)$ จะสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์อัตราขยายไม่อิ่มตัว g_o ตามสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$g(z) = g_o / (1 + \beta_+ + \beta_-) \quad .....(3.3)$$

ขณะที่สัมประสิทธิ์อัตราขยายเป็น isotropic

$$g(z) = \frac{1}{\beta_+}\frac{d\beta_+}{dz} = \frac{-1}{\beta_-}\frac{d\beta_-}{dz} \quad .....(3.4)$$

และเราพบว่า

$$\beta_+ \beta_- = \text{Const.} = C \quad .....(3.5)$$

ดังแสดงในรูปที่ 3.2-1 ระยะพิกัด z ที่วิ่งอยู่ระหว่างปลายของตัวกลางเลเซอร์ที่ยูนิฟอร์ม ซึ่งถูกกำหนดขอบเขตโดยค่าการสะท้อนที่มีผล (effective reflectance)

$$r_1 = 1 - l_1 - T_1 \quad \text{ที่} \quad Z = 0$$

และ $$r_2 = 1 - l_2 - T_2 \quad \text{ที่} \quad Z = L \quad .....(3.6)$$

ขณะที่ l_1 , l_2 เป็น dissipative losses และ T_1 , T_2 เป็นค่าการส่งผ่านของกระจกตามลำดับแล้วการออสซิเลทจะมีเสถียรภาพที่ระดับซึ่งทำให้เงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) ต่อไปนี้เป็นจริง

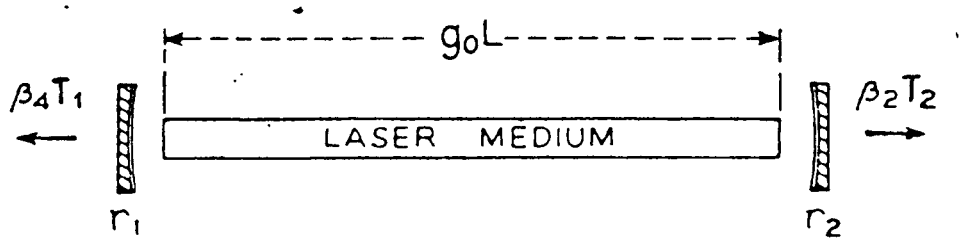
$$(\beta_2 / \beta_3) r_2 = (\beta_4 / \beta_1) r_1 = 1 \quad .....(3.7)$$

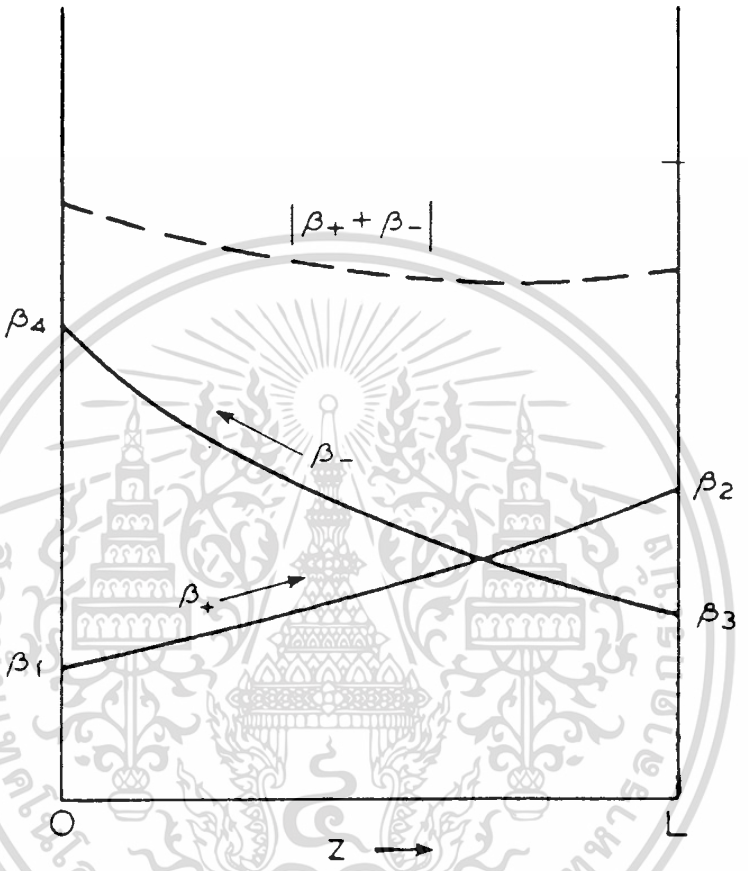
จากสมการที่ (3.5) เราจะได้

$$\beta_1 \beta_4 = \beta_2 \beta_3 = C \quad .....(3.8)$$

ดังนั้น $$\beta_2 / \beta_4 = (r_1 / r_2)^{1/2} \quad .....(3.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 3.2-1 ไดอะแกรมโครงสร้างที่แสดงระดับที่ถูกปรับให้ปกติของความเข้มพลังซ์ ในทั้งสองทิศทางในเลเซอร์ออสซิลเลเตอร์แบบไม่สมมาตร (asymmatic) และสัญญลักษณ์ที่ถูกใช้ในบทนี้

ทำการอินทิเกรทสมการอัตราขยาย (3.3) สำหรับกำลังที่ไหลในทิศทางบวก

$$\frac{1}{\beta_+}\frac{d\beta_+}{dz} = \frac{g_0}{1 + \beta_+ + C/\beta_+} \qquad .....(3.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ $$g_o L_A = \ln(\beta_2/\beta_1)+\beta_2-\beta_1-C(1/\beta_2 - 1/\beta_1) \quad .....(3.11)$$

ใช้วิธีเดียวกันนี้สำหรับอัตราขยายในทิศทางลบจะได้

$$g_o L_A = \ln(\beta_4/\beta_3)+\beta_4-\beta_3 - C(1/\beta_4 - 1/\beta_3) \quad ....(3.12)$$

รวมสมการที่ (3.11) และ (3.12) และใช้สมการที่ (3.7) และ (3.8) ช่วยในการจัดรูปจะได้

$$\beta_2 = \frac{(r_1)^{1/2}}{[(r_1)^{1/2}+(r_2)^{1/2}][1-(r_1 r_2)^{1/2}]}[g_o L_A + \ln(r_1 r_2)^{1/2}] \quad .....(3.13)$$

ส่วน β_4 หาได้จากสมการที่ (3.9)

ความเข้มรังสีตรงทางออก (output radiation intensity)ที่ผ่านกระจกแต่ละอันออกมาจะเป็น

$$\frac{I_4}{I_s} = \beta_4 T_1 \quad \text{และ} \quad \frac{I_2}{I_s} = \beta_2 T_2$$

ถ้ากระจกทาง T_1 เป็นกระจกแบบสะท้อนกลับหมด แล้วกระจกทาง T_2 จะเป็นกระจกเอาท์พุทอันเดียว ดังนั้นความเข้มรังสีตรงทางออก (I_o) ผ่านกระจกเอาท์พุทออกมาจะเป็น

$$\frac{I_o}{I_s} = \frac{(r_1)^{1/2} T_2 [g_o L_A + \ln(r_1 r_2)^{1/2}]}{[(r_1)^{1/2}+(r_2)^{1/2}][1-(r_1 r_2)^{1/2}]}$$

แทนค่า $r_1 = 1-l$ และ $r_2 = 1-l-T$ (ให้กระจกทั้งสองมี loss เท่ากัน $l_1=l_2=l$) จะได้

$$\frac{I_o}{I_s} = \frac{(1-l)^{1/2} T \left\{ g_o L_A + \ln[(1-l)(1-l-T)]^{1/2} \right\}}{[(1-l)^{1/2}+(1-l-T)^{1/2}]\left\{1-[(1-l)(1-l-T)]^{1/2}\right\}} \quad ....(3.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ากระจกทั้งสองสามารถให้ลำแสงผ่านได้บางส่วน จะได้ความเข้มตรงทางออกเป็น

$$\frac{I_4}{I_0} + \frac{I_2}{I_0} = \beta_4 T_1 + \beta_2 T_2 \qquad .....(3.15)$$

เมื่อ loss ที่กระจกแต่ละอันเท่ากัน

$$l_1 = l_2 = l$$

สมการที่ (3.15) จะลดลงเป็น

$$\frac{I_4 + I_2}{I_0} = \frac{1 - l - (r_1 r_2)^{1/2}\left[g_0 L_A + \ln (r_1 r_2)^{1/2} \right]}{1 - (r_1 r_2)^{1/2}} \qquad .....(3.16)$$

สำหรับรีโซเนเตอร์แบบสมมาตรจะมี

$$r_1 r_2 = r^2 \qquad .....(3.17)$$

$$r = 1 - l - T \qquad .....(3.18)$$

ซึ่งจะมีความเข้มตรงทางออกที่กระจกแต่ละอันเป็น I_0

$$\frac{2I_0}{I_S} = \left[(1 - l - r)/(1 - r) \right]\left[g_0 L_A + \ln r \right] \qquad .....(3.19)$$

$$= \left[T/(1+T) \right]\left[g_0 L_A + \ln(1 - l - T) \right] \qquad .....(3.20)$$

ดังนั้นเมื่อ $l_1 = l_2$ เราสามารถแทนรีโซเนเตอร์แบบไม่สมมาตรด้วยรีโซเนเตอร์แบบสมมาตรที่ถูกให้ตามสมการที่ (3.17) ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างกำลังทางออกทั้งหมดและอัตราขยายที่ไม่อิ่มตัว $(g_0 L_A)$ เหมือนกัน นอกจากนี้เมื่อกระจกอันหนึ่งไม่มีการส่งผ่านและไม่มี loss กล่าวคือ $T_1 = 0$ และ $r_1 = 1$ ความเข้มตรงทางออกจะกลายเป็น

$$\frac{I_0}{I_S} = \beta_2 T_2 = \frac{T_2}{l_2 + T_2}\left[g_0 L_A + \ln (r_2)^{1/2} \right] \qquad .....(3.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งตรงกับเอาท์พุทที่แต่ละกระจก ซึ่งเหมือนกันทั้งสองของรีโซเนเตอร์แบบสมมาตรด้วยค่าที่เป็นสองเท่าของอัตราขยาย

เอาท์พุทดับปลิ้งที่ดีที่สุด (T_{opt}) ที่ซึ่ง I_o ในสมการที่ (3.20) มีค่าสูงสุดจะถูกกำหนดโดย

$$\frac{T}{l} = [(1-l-T)/(1+T)][g_o L_A + \ln(1-l-T)] \quad .....(3.22)$$

ซึ่งจะให้

$$\frac{2(I_o)_{max}}{I_s} = \frac{T^2}{l(1-l-T)}, \quad T = T_{opt} \quad .....(3.23)$$

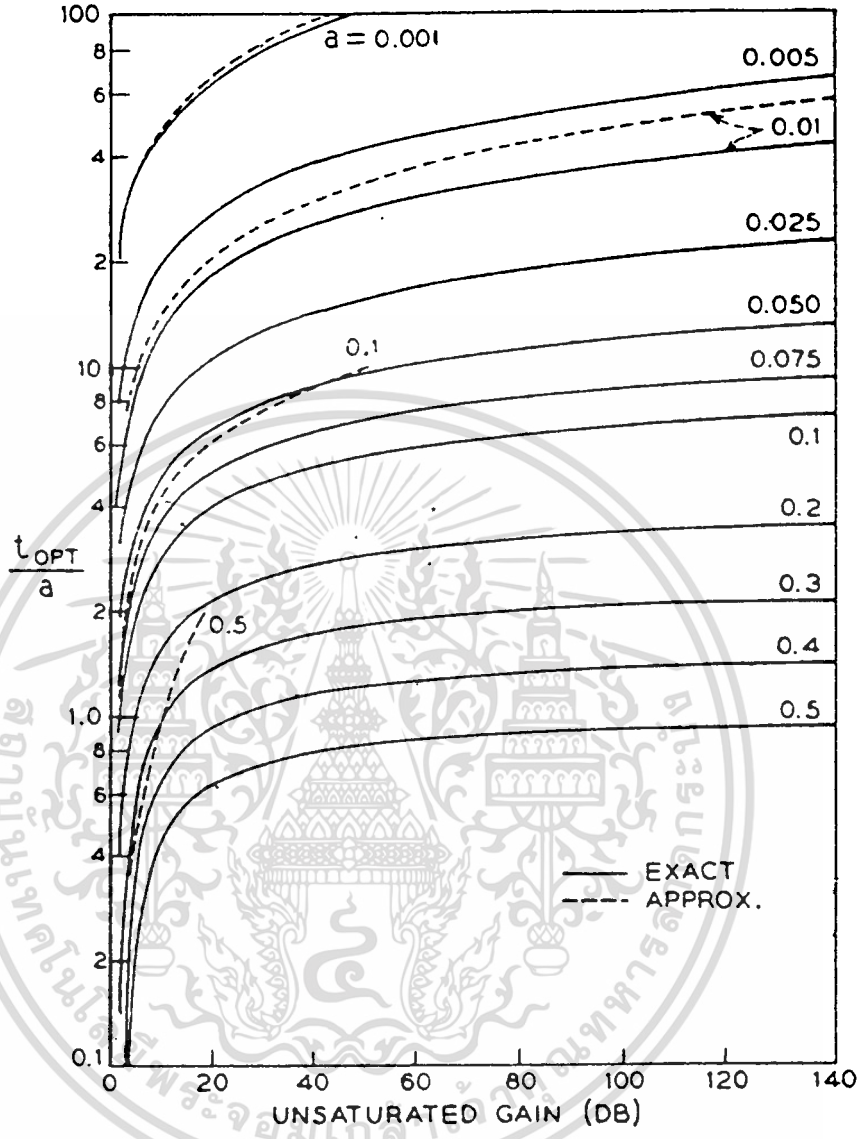
สำหรับเศษ loss น้อย ๆ $(1+T)<<1$ ดังนั้นสมการเหล่านี้จะลดรูปเป็นค่าประมาณ

$$\frac{T_{opt}}{l} = (g_o L_A/l)^{1/2} - 1 \quad .....(3.24)$$

$$\frac{2(I_o)_{max}}{I_s} = \frac{T_{opt}^2}{l} \quad .....(3.25)$$

ค่าที่ถูกต้องและค่าประมาณของ T_{opt} ถูกพล็อตไว้ในรูป 3.2-2 สำหรับค่าต่างๆ ของอัตราขยายไม่อิ่มตัวในหน่วย dB , $4.343\, g_o L_a$ และเศษส่วน loss(l) คำตอบอย่างประมาณนั้นพอเพียงสำหรับเลเซอร์อัตราขยายสูงตั้งแต่ l ค่าน้อย ๆ ไปจนถึง l = 1 % อย่างไรก็ตามความผิดพลาดในคำตอบอย่างประมาณจะเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วตามค่า loss และ $g_o L_a$ ที่สูงขึ้นเราจะเห็นว่า T_{opt}/l จะลดลงอย่างรวดเร็ว ขณะที่ค่า l เพิ่มขึ้น โดยที่ $T_{opt} \approx 1-l$ สำหรับ $l > 0.5$ ที่ค่าอัตราขยายสูง

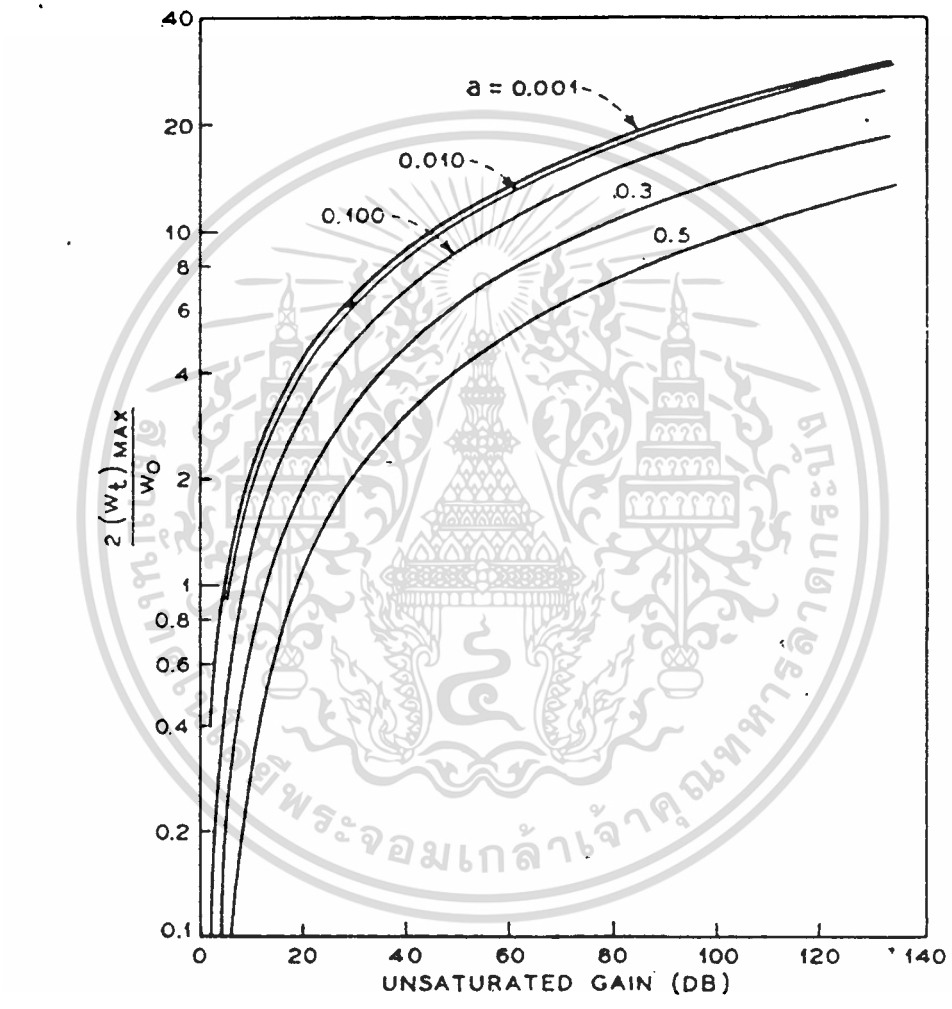
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2-2 สัมประสิทธิ์ของการคับปลิ้งที่ดีที่สุด (T_{opt}) สำหรับกำลังทางออกของการออสซิลเลทสูงสุด ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของเศษ loss (l) และอัตราขยายไม่อิ่มตัวในหน่วย dB, 4.343 gol เส้นทึบจะแทนค่าที่ถูกต้อง และเส้นประจะแทนค่าประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นโค้งในรูปที่ 3.2-3 แสดงถึงความเข้มเอาท์พุทสูงสุดที่ปรับฐานแล้ว ซึ่งถูกให้ตามสมการที่ (3.23) ที่ค่า 1 และ $4.343\ g_o L_a$ ค่าต่าง ๆ การเพิ่มขึ้นของกำลังทางออกขณะที่ค่า 1 ลดลงจะเพิ่มมากที่สุดในช่วงค่าอัตราขยายต่ำ ๆ ที่ค่าอัตราขยายและค่า loss (1 > 0.5) สูง ๆ เอาท์พุทที่ถูกปรับแล้วตามสมการที่ (3.23) จะเข้าใกล้ $(1-1)g_oL_a$



รูปที่ 3.2-3 ค่าที่ปรับฐานแล้วของความเข้มพลักซ์เอาท์พุทสูงสุด , $2(I_o)_{max} / I_s$ ของเลเซอร์ออสซิลเลเซอร์แบบ homogeneous line ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ของเอาท์พุท สำหรับค่า 1 และอัตราขยาย $4.343\ g_oL_a$ (dB) ค่าต่าง ๆ

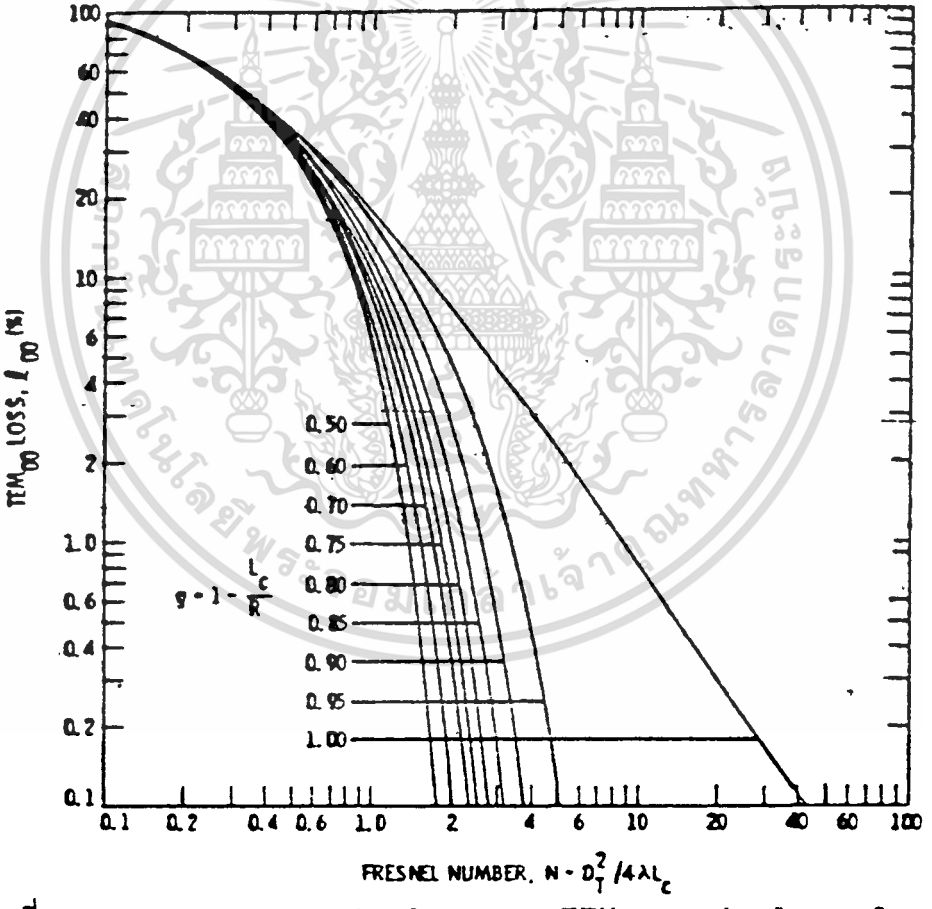
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การคำนวณหา loss (l) สำหรับการออกแบบ

ในการที่จะคำนวณหากำลังทางออก เราจำเป็นต้องหา loss (l) ทั้งหมดภายในหลอดและค่าสัมประสิทธิ์ g_o loss ทั้งหมดที่ปลายของแต่ละช่องคือผลรวมของ scattering และ absorption loss (l_m) กับ diffraction loss (l_{pq}) สำหรับโหมด TEM_{pq} หรือ

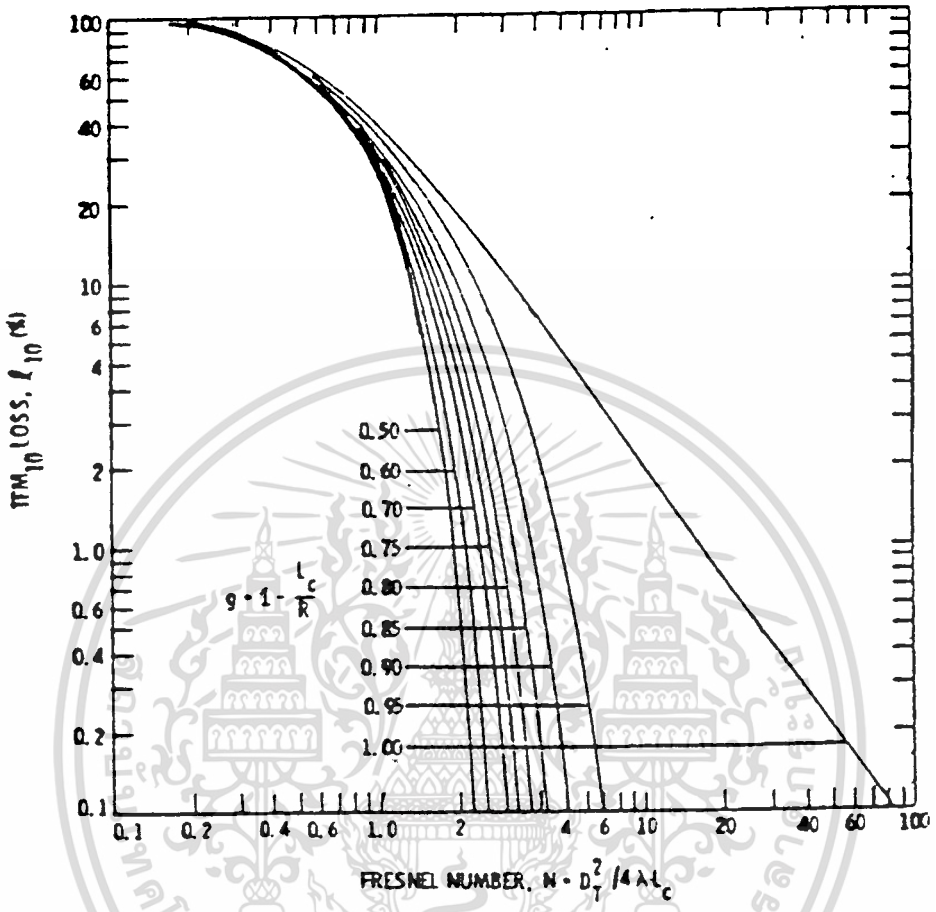
$$l = l_m + l_{pq} \qquad .....(3.26)$$

loss l_m จะขึ้นอยู่กับกระจกที่ใช้และวัดได้ง่ายจากการทดลอง แต่ diffaction loss โดยทั่วไปถูกคำนวณจากรูปร่างทางเรขาคณิตของหลอดในเทอมของ Fresnel number (N) Li ได้สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง diffraction loss กับ Fresnel number ดังแสดงในรูปที่ 3.3-1 และ 3.3-2



รูปที่ 3.3-1 Average single-pass TEMoo mode loss for a half-symmetric cavity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3-2 Average single-pass TEM10 mode loss for a half-symmetric cavity

สำหรับ Fresnel number ของหลอด (N) หาได้จาก

$$N = D_T^2 / (4 \lambda L_c) \qquad .....(3.27)$$

ขณะที่ λ คือ ความยาวคลื่นของเลเซอร์

L_c คือ ระยะระหว่างกระจก

D_T คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของหลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การคำนวณหาอัตราขยาย (g_o) และความเข้มอิ่มตัว (I_s)

ตัวประกอบอื่นที่ยังปรากฏอยู่ในสมการของ I_o / I_s คือสัมประสิทธิ์ขยาย g_o ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดซึ่งความสัมพันธ์ของค่า g_o และเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดต้องหาจากข้อมูลในหนังสือและโดยการทดลอง จากการทดลองที่กระทำที่ GTE Sylvania และจากการทดลองที่รายงานไว้ในบทความต่าง ๆ [12] เราจะได้ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์ขยายเป็น

$$g_o = 0.012 - 0.0025D_T \quad cm^{-1} \quad .....(3.28)$$

ขณะที่เส้นผ่าศูนย์กลางของหลอด (D_T) มีหน่วยเป็น ซ.ม.

สำหรับความเข้มอิ่มตัวสมการแสดงความสัมพันธ์ของ I_s ต้องหาจากการทดลอง ความเข้มอิ่มตัวเป็นฟังก์ชั่นของเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอด จากการทดลองหลายครั้ง ได้ข้อสรุปสำหรับสมการที่แสดงความสัมพันธ์ของ I_s กับเส้นผ่าศูนย์กลางเป็น

$$I_s = (72 / D_T^2) \quad .....(3.29)$$

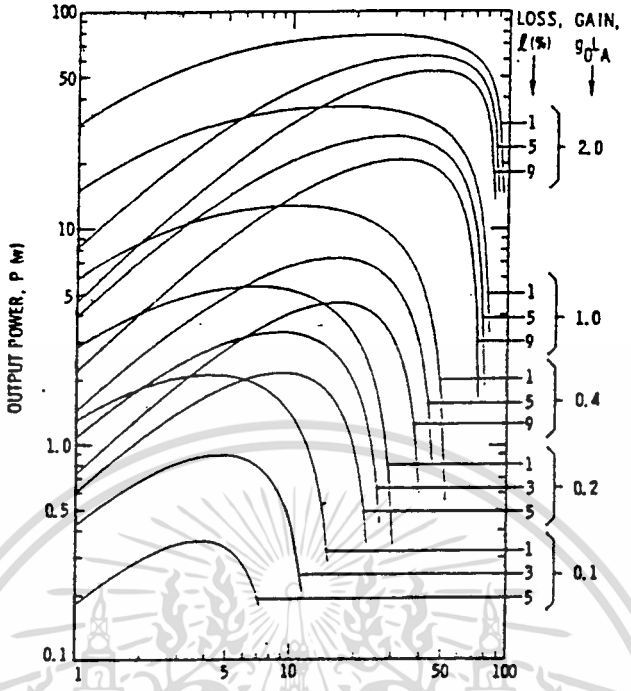
3.5 การคำนวณหากำลังทางออก (p_o)

เมื่อรวมสมการ (3.2) และ (3.29) จะได้ความสัมพันธ์ของกำลังทางออกของคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์เป็น

$$P_o = 14.4\pi (I_o / I_s) \quad .....(3.30)$$

เมื่อใช้สมการ (3.14) รวมกับสมการ (3.30) นำไปพล็อตกราฟของกำลังทางออกที่เป็นฟังก์ชั่นของการส่งผ่านของกระจก (T) สำหรับอัตราขยาย g_oL_s และ loss (l) ดังรูปที่ 3.5-1 กราฟทั้ง 5 กลุ่มตรงกับค่า g_oL_s ที่ 0.1 ,0.2 ,0.4 ,1.0 และ 2.0 แต่ละกลุ่มนี้จะมีเส้นโค้งที่ตรงกับค่า loss (l) ต่าง ๆ ที่แต่ละปลายของหลอด สำหรับคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ทั่ว ๆ ไปค่า g_o จะหาได้จากสมการ (3.28)และ loss ทั้งหมดหาได้จากเส้นโค้งในรูปที่ 3.3-1 และ 3.3-2 จากรูปที่ 3.5-1 เราจะเห็นความสัมพันธ์หลายอย่าง เช่น กำลังทางออกจะเปลี่ยนแปลงน้อยลง ขณะที่อัตราขยายเพิ่มขึ้นและการเปลี่ยนแปลงของ loss มีผลกระทบต่อกำลังทางออกของระบบที่มีอัตราขยายต่ำมากกว่าของระบบที่มีอัตราขยายสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5-1 กราฟของกำลังทางออกต่อการส่งผ่านของกระจก
สำหรับค่าอัตราขยายและ loss ต่าง ๆ

กำลังทางออกของเลเซอร์ที่ใช้ในการค้าโดยทั่วไปจะถูกเปรียบเทียบกับกำลังทางออกที่ถูกทำนายไว้โดยเส้นโค้ง เหล่านี้จะได้ผลตรงกันเป็นอย่างดี ตัวอย่างเช่นคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์รุ่น GTE Sylvania Modem 94 มีระยะกระจก(L_c) เท่ากับ 44.5 เซ็นติเมตร , ความยาวที่ทำงาน (L_a)เท่ากับ 35.6 เซ็นติเมตรและเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 0.5 เซ็นติเมตร กระจกประกอบด้วยกระจกสะท้อนกลับหมดรัศมีความโค้ง 3 เมตร และกระจกแบนราบส่งผ่านได้ 11 % ตัวประกอบ g เท่ากับ 0.85 และ Fresnel Number เท่ากับ 1.32 , loss ของโหมด TEMoo เป็น 6% loss l_m เท่ากับ 1% และกำลังทางออกคำนวณได้เท่ากับ 5 วัตต์ ซึ่งกำลังทางออกที่แท้จริงก็ได้ 5 วัตต์

โดยการใช้เทคนิคข้างบนนี้เราจะประมาณหากำลังทางออกของเลเซอร์และการเปลี่ยนแปลงของกำลังนี้ ตามการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ทางฟิสิกส์ได้ลักษณะอื่นๆ ที่เกี่ยวพันกับการออกแบบอีกคือความสัมพันธ์ระหว่างรูปร่างของลำเลเซอร์ (beam shape) และรูปร่างเรขาคณิตของหลอด (Cavity Geometry) ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 รูปร่างเรขาคณิตของหลอดและลำแสง

ความเข้ม I ของโหมด Gaussian TEMoo เป็นฟังก์ชั่นของรัศมี r (beam radius) ตามความสัมพันธ์ .

$$I = I_{oo} \exp [-(2r^2) / W^2] \quad .....(3.31)$$

ขณะที่ I_{oo} คือความเข้มสูงสุดตามแนวแกน (ที่ r = 0) และ W คือรัศมีของลำที่ซึ่งความเข้มลดลงไป $1 / e^2$ จากค่าสูงสุดตามแนวแกน การแผ่รังสีตามแนวแกน Z จะขยายเพิ่มเป็นรูปไฮเปอร์โบลาที่มีเส้นอะซิมโทตเป็นแนวเอียงทำมุมกับแกนเท่ากับ

$$\theta = \lambda / (\pi W_o) \quad .....(3.32)$$

ซึ่ง W_o เป็นส่วนคอดของลำและเป็นค่าที่น้อยที่สุดของ W ที่ตำแหน่งตามแนวแกนที่ตรงกับ W_o ตามการทดลองของ Kogelnik และ Li การขยายตัวของลำแสงตามแนวแกน Z จากส่วนคอดของลำ (W_o) ที่ตำแหน่งแกน Z ใดๆ สามารถหาได้ในเทอมของความยาวคลื่น λ และขนาดส่วนคอด W_o ตามความสัมพันธ์

$$W^2(Z) = W_o^2 [1+[(\lambda Z)/(\pi W_o^2)]^2].....(3.33)$$

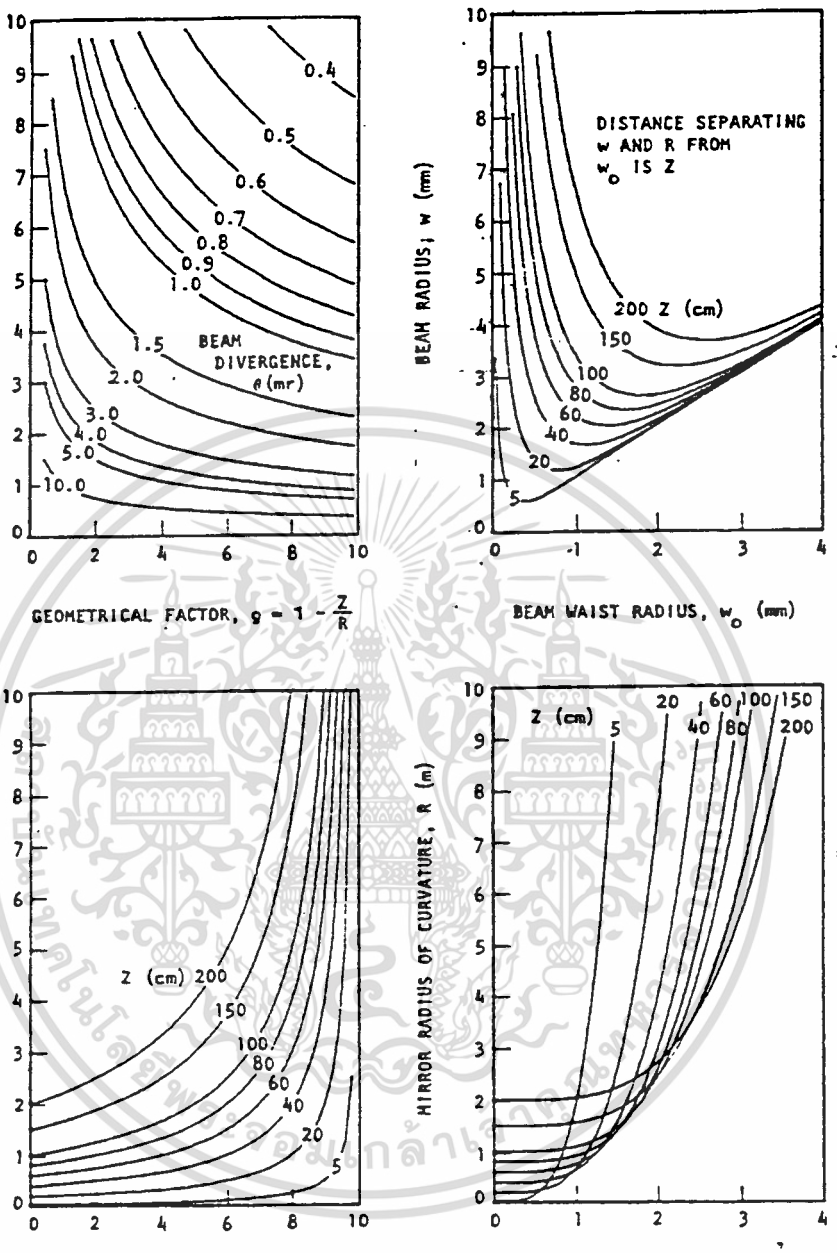
และ

$$R(Z) = Z [1+[(\pi W_o^2)/(\lambda Z)]^2] .....(3.34)$$

รูปที่ 3.6-1 เป็นกราฟ 4 รูปแต่ละรูปเป็นกราฟที่มีสามตัวแปรซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของลำแสงเลเซอร์ที่ทำงานที่ 10.6 μm กราฟทั้ง 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W และ W_o ที่ค่า Z ต่าง ๆ ซึ่งเป็นระยะระหว่าง W_o และ W ; ระหว่าง W และ g(g = 1-Z/R) สำหรับค่า θ ต่างๆ ระหว่าง R และ g สำหรับค่า Z ต่างๆ และระหว่าง R กับ W_o สำหรับค่า Z ต่างๆ

การวิเคราะห์ข้างบนนี้ไม่เพียงแต่ให้เราประมาณค่ากำลังทางออกและรูปร่างของลำแสงที่เกิดขึ้นได้ ยังจะทำให้เราเห็นผลที่มีต่อกำลังทางออกและรูปร่างของลำแสง เมื่อเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่าง ๆ ไป หัวข้อต่อไปจะใช้ความสัมพันธ์ที่กล่าวมาทั้งหมดนี้พัฒนารูปแบบของการออกแบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ให้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6-1 กราฟสามตัวแปรแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆของลำแสง

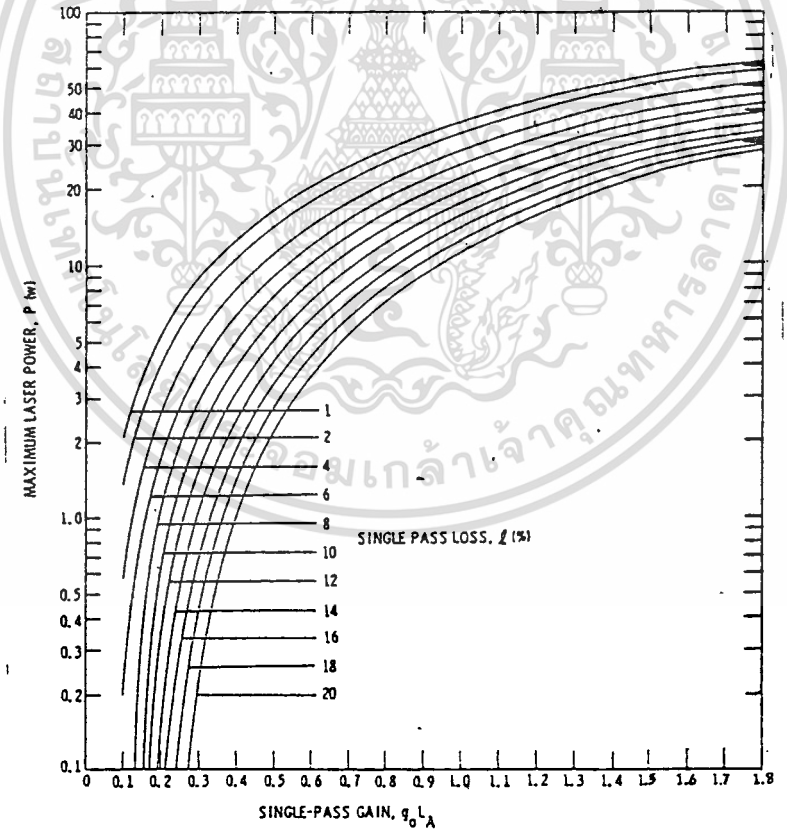
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 รูปแบบการออกแบบโดยเฉพาะ

ในหัวข้อที่แล้วเราได้อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบมาแล้ว เทคนิคเหล่านั้นทำให้เราสามารถหาลักษณะต่าง ๆ ของเลเซอร์ที่ต้องการแต่แตกต่างกับการหาพารามิเตอร์ในการออกแบบที่จะให้ได้กำลังทางออกเป็นโหมด TEM_{00} ซึ่งเป็นงานที่จะต้องวิเคราะห์กันต่อไป

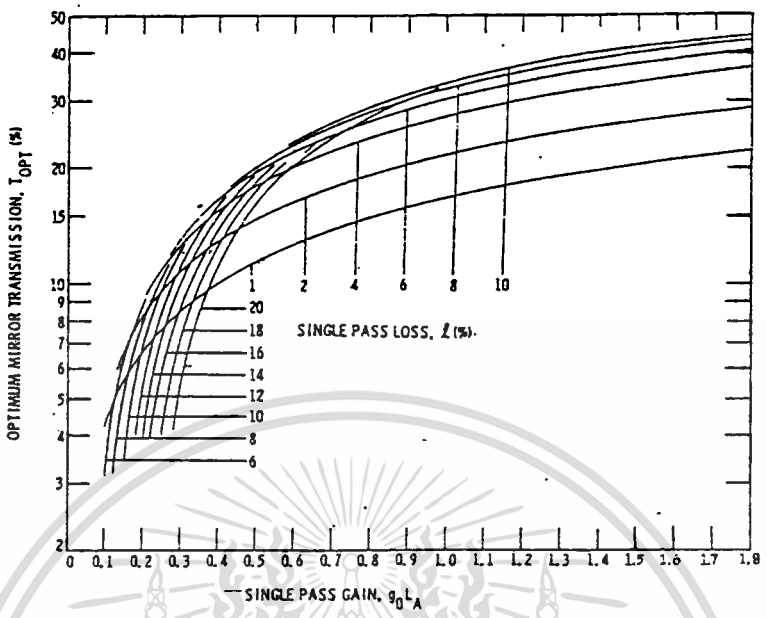
ในการออกแบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ให้ได้โหมด TEM_{00} ขั้นแรกต้องหาค่ากำลังทางออกสูงสุด (P_m) ที่จะได้ ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของอัตราขยาย g_oL_a และ loss(l) และหาค่าการส่งผ่านของกระจกที่ดีที่สุด (T_{opt}) ที่ให้ค่า P_m ซึ่งทำได้โดยการเดอริเฟทีฟครั้งที่หนึ่งของ I_o / I_s ในสมการที่ (3.14) แล้วให้เท่ากับศูนย์และแก้สมการหาค่า T จะได้เป็น T_{opt} ขั้นที่สองคือการเลือกพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ทำให้เลเซอร์ทำงานในโหมด TEM_{00} เพียงโหมดเดียว โดยที่โหมด TEM_{10} และโหมดที่สูงกว่าถูกจำกัดโดยใช้วิธีหาค่า loss ทั้งหมดที่ทำให้ I_o / I_s เท่ากับศูนย์ สำหรับค่า T_{opt} และ g_oL_a เราจะได้ความสัมพันธ์ของ l_{10} เป็น

$$l_{10} = 1-l_m-(T_{opt}/2) - [\,(T_{opt}/2)^2 + \exp(-2g_oL_a)\,]^{1/2} \quad (3.35)$$



รูปที่ 3.7-1 แสดงกำลังทางออกสูงสุด (ที่T_{opt}) ต่ออัตราขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7-2 แสดงการส่งผ่านของกระจกที่ดีที่สุด (T_{opt}) ต่อ g_0L_a

ขณะที่ T_{opt} และ g_0L_a หาได้จากรูปที่ (3.7-1) และ (3.7-2) สำหรับกำลังทางออกที่ต้องการ ดังนั้นถ้าหารค่า l_{10} นี้ด้วยค่า l_{00} ที่ตรงกับแต่ละคู่ของค่า T_{opt} และ g_0L_a เราก็สามารถพล็อตกราฟระหว่าง l_{10} / l_{00} กับ g_0L_a ได้ ตัวอย่างเช่นในตารางที่ 3.7-1 จะแสดงการหาค่า l_{10} / l_{00} ที่ขึ้นอยู่กับ g_0L_a ในที่นี้ l_m ถูกกำหนดไว้แน่นอน l เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และ g_0L_a กับ T_{opt} หาได้จากรูป 3.7-1 และ 3.7-2 และจะได้ความสัมพันธ์ของ l_{10} / l_{00} เป็น

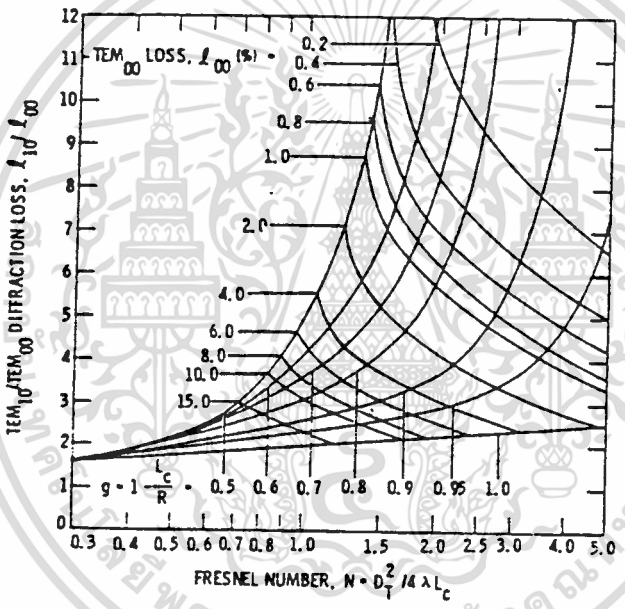
$$\frac{l_{10}}{l_{00}} = \frac{1-l_m-(T_{opt}/2) - [\,(T_{opt}/2)^2 + \exp(-2g_0L_a)\,]^{1/2}}{1-l_m} \qquad (3.36)$$

สมการ (3.36) นี้แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วน losses ในเทอมของ l_m และอัตราขยาย g_0L_a ในกราฟรูปที่ 3.7-3 แสดงความสัมพันธ์ของ l_{10} / l_{00} ที่เป็นฟังก์ชั่นของ Fresnel number ซึ่งหาได้จากรูปที่ 3.3-1 และ 3.3-2 โดยเอาค่า l_{10} ในรูปที่ 3.3-2 หารด้วยค่า l_{00} ในรูปที่ 3.3-1 และในกราฟรูปที่ 3.7-3 ยังรวมเอาเส้นโค้งของ loss โหมด TEM_{00} เข้ามาแสดงไว้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

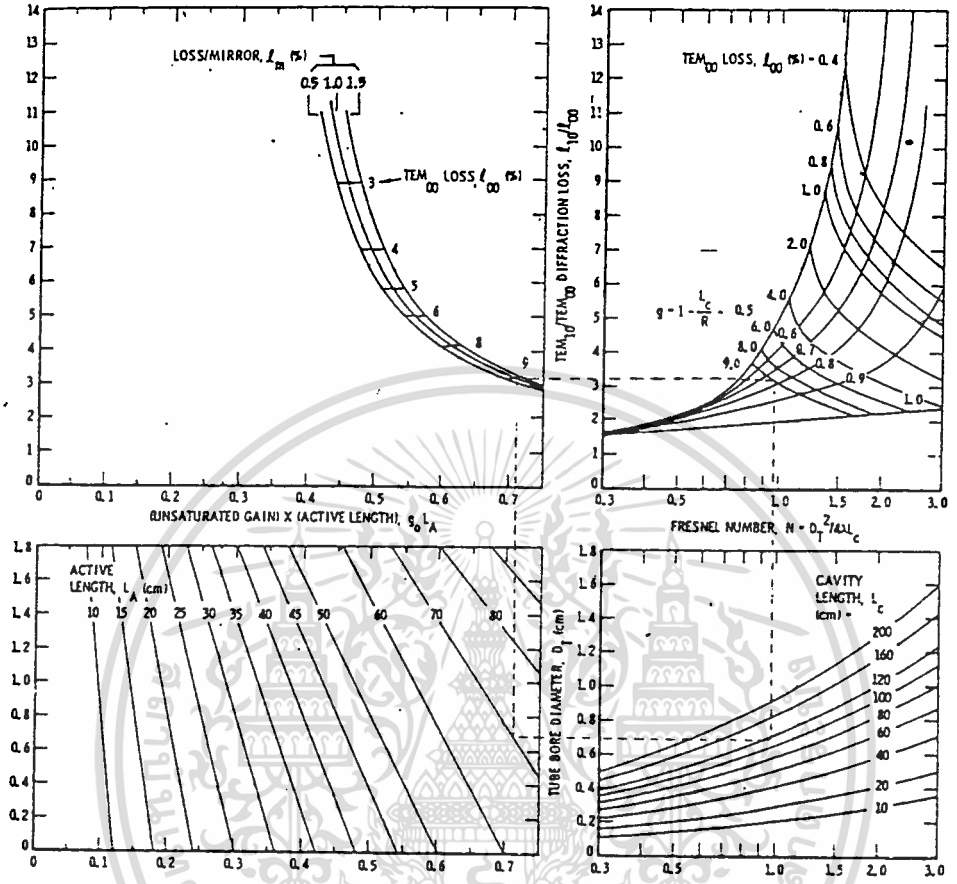
ตาราง 3.7-1 การหาค่า l_{10} / l_{00}

l_m	l	$g_e L_A$	T_{OPT}	l_{10}/l_{00}	l_m	l_{10}/l_{00}
0.005	0.04	0.389	0.153	6.75	0.01	7.71
	0.05	0.425	0.170	5.78		6.14
	0.06	0.458	0.185	4.79		5.17
	0.07	0.485	0.196	4.21		4.48
	0.08	0.515	0.207	3.80		4.00
	0.09	0.545	0.218	3.49		3.64
	0.10	0.572	0.226	3.22		3.35



รูปที่ 3.7-3 แสดงอัตราส่วน l_{10} / l_{00} ต่อ Fresnel number ที่ค่า g ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



รูปที่ 3.7-4 รูปกราฟสามตัวแปรสำหรับเลือกพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบ

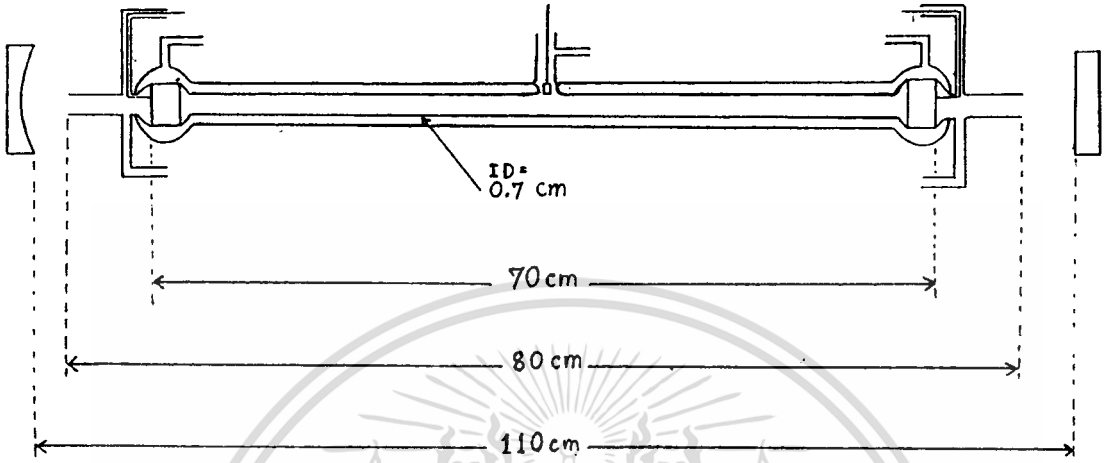
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่กล่าวมาทั้งหมดสำหรับใช้ในการออกแบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ถูกรวมอยู่ในกราฟรูปที่ 3.7-4 ซึ่งเป็นกราฟสามตัวแปร 4 รูป เราจะใช้กราฟรูปที่ 3.7-4 นี้ทำการออกแบบพารามิเตอร์ต่างๆ ของคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ขนาด 50 วัตต์ ทำงานที่โหมด TEM_{00} โดยกำหนดว่ากระจกมี scattering และ absorption loss ทั้งหมด 1% เริ่มต้นที่กราฟรูปบนซ้ายตรงเส้นโค้งที่ l_m = 1% ลากเส้นแนวนอนมาตัดกับเส้นโค้งในรูปขวาโดยที่ต้องให้ได้ค่า l_{00} ตรงกันทั้งสองข้าง ถ้ายังได้ค่า l_{00} ที่ตัดในรูปบนขวาไม่ตรงกับค่า l_{00} ในรูปบนซ้ายก็ต้องลากเส้นแนวนอนใหม่ที่ต่ำลงจนได้ค่า l_{00} ตรงกันทั้งสองข้าง จากรูปกราฟจะได้ค่า l_{00} เท่ากันทั้งสองข้างเป็นในรูปบนซ้ายและขวาเป็น 9% ซึ่งตรงกับอัตราขยาย g_oL_a = 0.72 และอัตราส่วน l_{10} / l_{00} = 3.3 และจุดตัดบนกราฟรูปบนขวาเป็นจุดที่สองของรูปสี่เหลี่ยม ซึ่งทำให้ได้ค่า g = 0.78 และ $N = D_T^2/(4\lambda L_c) = 0.98$ จะสังเกตุได้ว่าถ้าเลือกค่า l_{00} ให้สูงไปอีกจะเกิดจุดตัดบนกราฟรูปบนขวาแต่เป็นค่า g ที่สูงกว่าเดิม และจะเป็นผลในการเลือกความยาวของหลอดและความยาวของ L_a ที่ยาวมากขึ้น

ถึงตอนนี้เส้นแนวดิ่งจะถูกลากจากจุดยอดทั้งสองข้างบนลงมาล่าง การตัดกันของเส้นแนวดิ่งที่มาจากจุดยอดที่ 1 กับค่าพารามิเตอร์ค่าหนึ่งของกราฟรูปล่างซ้ายจะกำหนดความยาวทำงาน (L_a) กับเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอด (D_T) ส่วนการตัดกันของเส้นแนวดิ่งจากจุดยอดที่สองกับพารามิเตอร์ค่าหนึ่งของกราฟรูปล่างขวาจะกำหนดระยะห่างของกระจกเส้นแนวดิ่งทั้งสอง ต้องลากมาแล้วตัดกราฟรูปล่างทั้งสองที่ค่า D_T ค่าเดียวกันเพื่อให้ความยาวของหลอดสั้นที่สุด เส้นแนวดิ่งในรูปล่างซ้ายต้องถูกลากมาให้ใกล้ที่สุดเท่าที่จะทำได้ดังนั้นจากกราฟจุดยอดทั้งสองตรงกับความยาว L_a = 70 ซม. , L_c = 110 ซม.และเส้นผ่าศูนย์กลางหลอด D_T = 0.7 ซม.

แล้วลากเส้นโค้งเหล่านี้จะทำนายได้ว่าสำหรับคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ขนาด 50 วัตต์ ควรจะมีพารามิเตอร์ในการทำต่าง ๆ ดังนี้ : D_T = 0.7 ซม. , L_a = 70 ซม. , L_c = 110 ซม. และจาก $g = 1-(L_c / R) = 0.78$ จะได้ R = 5 ม. ซึ่งเป็นรัศมีของกระจกทึบ เพราะว่า g_oL_a = 0.72 และ $l = l_{00} + l_m = 0.1$ แล้วจากรูปที่ 3.7-2 จะได้ค่าการส่งผ่านของกระจก T_{opt} = 25 % ซึ่งข้อมูลของหลอดเลเซอร์ที่ได้นี้แสดงรวมไว้ในรูปที่ 3.7-5 ซึ่งเป็นรูปแสดงระบบโครงสร้างของแหล่งกำเนิดเลเซอร์แบบสามอิเล็คโทรดที่ได้สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7-5 โครงสร้างของแหล่งกำเนิดเลเซอร์แบบสามอิเลคโทรด ที่ปรับกำลังทางออกได้สูงสุด 50 วัตต์ และเป็นแบบโหมดเดียว (TEM$_{00}$) ; ระยะระหว่างขั้วคาโธดเป็น 70 เซ็นติเมตร และระยะระหว่างกระจกทั้งสองเป็น 110 เซ็นติเมตร และขั้วอาโนดอยู่ตรงกึ่งกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

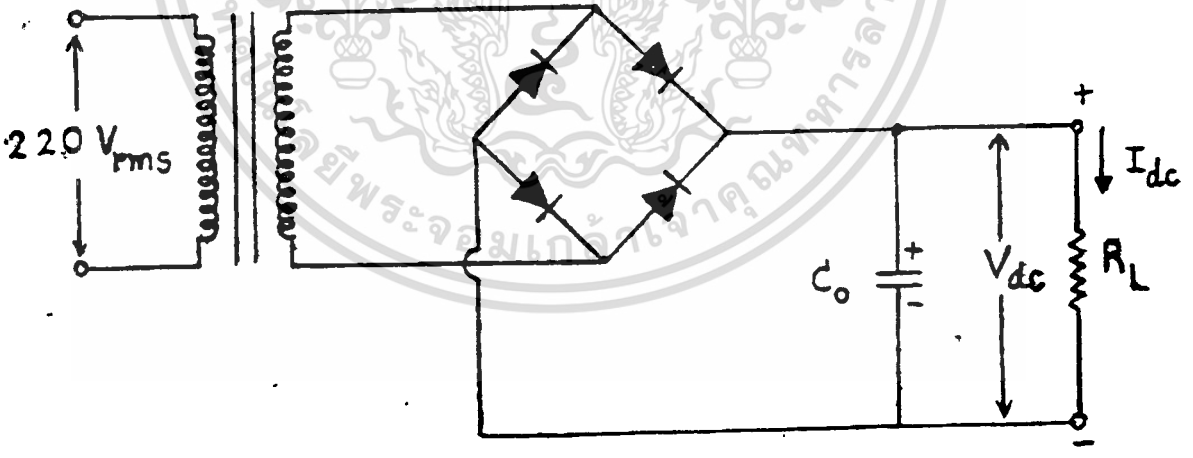
บทที่ 4

แหล่งจ่ายไฟสำหรับแหล่งกำเนิดเลเซอร์

ในบทนี้เราจะกล่าวถึงวิธี การออกแบบแหล่งจ่ายไฟ ที่ใช้กับแหล่งกำเนิดเลเซอร์แบบสามอิเลคโทรด แหล่งกำเนิดเลเซอร์โดยทั่วไปนั้นต้องการไฟโวลเตจน์สูงและสามารถควบคุมกระแสที่จ่ายออกมาได้ ดังนั้นวงจรไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟจะประกอบไปด้วยหม้อแปลงโวลเตจน์สูงที่ทางด้านเอาท์พุทให้โวลเตจน์ออกมา 7-10 KV วงจรเรคติไฟเออร์โวลเตจน์สูงและฟิลเตอร์ และส่วนควบคุมกระแสที่ไหลผ่านแหล่งกำเนิดเลเซอร์ เราจะแยกกล่าวถึงส่วนประกอบต่างๆ ของแหล่งจ่ายไฟในแต่ละหัวข้อ

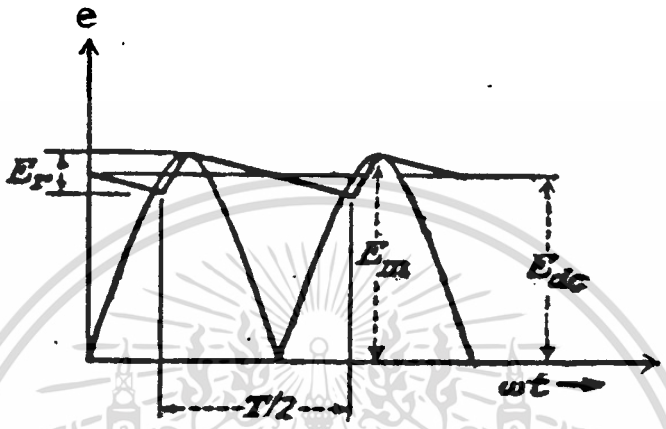
4.1 การคำนวณหาขนาดของทรานซ์ฟอร์เมอร์และไดโอด

ในวงจรแหล่งจ่ายไฟที่ใช้ในการทดลองนี้จะเป็นแบบฟูลเวฟบริดจ์ดังแสดงในรูปที่ 4.1-1 ค่าที่สำคัญและจะต้องคำนวณให้พอดีไม่มากเกินไปคือค่าของทรานซ์ฟอร์เมอร์โวลเตจน์ พิจารณารูปคลื่นความต่างศักย์ที่โหลดโดยประมาณในรูปที่ 4.1-2



รูปที่ 4.1-1 ฟูลเวฟบริดจ์เรคติไฟเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1-2 รูปคลื่นของความต่างศักย์ที่โหลดอย่างประมาณของวงจรฟูลเวฟ

จากรูปที่ 4.1-2 เราจะเห็นว่าค่าความต่างศักย์เฉลี่ยคือ

$$E_{dc} = E_m - E_r / 2 \qquad .....(4.1)$$

และวงจรเรคติไฟเออร์เรามี

$$E_m = \sqrt{2}\, E_{ac} - E_D \qquad .....(4.2)$$

ขณะที่ E_{dc} = ค่าความต่างศักย์เฉลี่ยคงที่ที่ตกคร่อมโหลด

E_m = ค่าความต่างศักย์พีค

E_r = ริพเปิลวอลเตจน์

E_{ac} = ค่าวอลเตจน์อาร์เอ็มเอสของทรานซ์ฟอร์เมอร์ด้าน secondary

E_D = ค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมไดโอดทุกตัวที่นำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อรวมสมการที่ (4.1) และ (4.2) จะได้

$$E_{dc} = \sqrt{2}\, E_{ac} - E_D - E_r/2$$

$$E_{ac} = \frac{E_{dc} + E_D}{\sqrt{2}} + \frac{E_r}{2\sqrt{2}} \qquad .....(4.3)$$

และถ้าเราให้ความต่างศักย์เป็น V แทน E เราจะได้สมการที่ (4.3) เป็น

$$V_{ac} = \frac{V_{dc} + V_D}{\sqrt{2}} + \frac{V_r}{2\sqrt{2}} \qquad .....(4.4)$$

สำหรับกระแสของทรานซ์ฟอร์เมอร์ เราหาจากความสัมพันธ์ที่ว่า

กำลังที่จ่ายจากทรานซ์ฟอร์เมอร์ $\simeq$ กำลังที่โหลดได้รับ

นั่นคือ $V_{ac} I_{ac} = V_{dc} I_{dc}$

$$I_{ac} = \frac{V_{dc} I_{dc}}{V_{ac}}$$

จากสมการที่ (4.4) $\frac{V_{dc}}{V_{ac}} \approx \sqrt{2}$ และจะได้

$$I_{ac} = \sqrt{2}\, I_{dc} \qquad .....(4.5)$$

สำหรับค่า PRV (Peak reverse voltage) ของไดโอดเราจะพิจารณาจากรูปที่ 4.1-1 โดยดูช่วงครึ่งไซเกิลแรกที่ไดโอดนำกระแส เราจะพบว่าค่า PRV ของไดโอดตัวที่ไม่ได้นำกระแสจะประมาณเท่ากับ V_{dc} แต่เราจะเผื่อค่า PRV เอาไว้เพื่อความปลอดภัยเป็น $3V_{dc}$ ส่วนค่ากระแสเฉลี่ยของไดโอดจะประมาณเท่ากับ I_{dc}

สำหรับแหล่งกำเนิดเลเซอร์ในการทดลองนี้เราได้ทดลองแล้วว่าต้องการไฮโวลต์เตจน์ดีซีประมาณ 10 KV ดังนั้นเราจะคิดค่าริพเบิลเป็น 5%ของ V_{dc} นั่นคือ

$$V_r = 5\% \text{ ของ } 10 \text{ KV} = 500\ V_{pp}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจากวงจรรูปที่ 4.1-1 จะได้ค่า PRV ของไดโอดเป็น

ค่า PRV ของไดโอด = $3\ V_{dc}$ = 30 KV

ซึ่งไดโอดที่หาได้จะมีพอร์เวิดรวลน์เตจน์ตกคร่อมเท่ากับ 20 รวลต์ ดังนั้นจะได้ค่าทรานซ์ฟอร์เมอร์รวลต์เตจน์เป็น

$$V_{ac} = \frac{V_{ac} + V_D}{\sqrt{2}} + \frac{V_r}{2\sqrt{2}}$$

$$= \frac{10,000 + 20}{\sqrt{2}} + \frac{500}{2\sqrt{2}}$$

= 7347 รวลต์

และสาหรับค่ากระแสดีซีที่แหล่งกาเนิดในระดับนี้ต้องการไม่เกิน 100 mA ดังนั้นค่ากระแสของทรานซ์ฟอร์เมอร์ $=\sqrt{2} \times 100 = 140$ mA และค่ากระแสเฉลี่ยของไดโอดจะเท่ากับ 100 mA ต่อไปเราจะหาค่าของคาปาซิเตอร์ที่ใช้

4.2 การคานวณหาขนาดของฟิลเตอร์คาปาซิเตอร์

พิจารณาวงจรเรคติไฟเออร์แบบฟูลเวฟที่ได้รับสัญญาณคลื่นซายน์ที่มีพีครวลต์เตจน์ E_m จากทรานซ์ฟอร์เมอร์และเรคติไฟเออร์มีคาร์ปาซิเตอร์ C_o และรหลด R ดังรูปที่ 4.1-1 ในที่นี้เราจะสมมุติให้ไดโอดเป็นแบบอุดมคติและจะพิจารณาให้ค่า time constant RC มีค่ามากกว่าคาบเวลา T มากพอที่คาปาซิเตอร์จะดิจชาร์จเกือบเป็นเส้นตรง ซึ่งการประมาณแบบนี้จะทาให้ค่าริพเบิล E_r มีค่าน้อยกว่าพีครวลต์เตจน์ E_m มากซึ่งเรียกว่า การประมาณที่ให้ริพเบิลต่า

ภายใต้ข้อสมมุติข้างบนเราจะได้รูปคลื่นเอาท์พุทที่สภาวะคงที่ดังรูปที่4.1-2 ที่ผ่านมาจะสังเกตุเห็นว่าช่วงการดิสชาร์จ (ช่วงที่ไดโอดไม่นากระแส) เกือบจะเท่ากับคาบเวลา T/2 ขณะที่ช่วงของการชาร์จเท่ากับเศษส่วนน้อยๆ ของ T/2 ในสภาวะคงที่ประจุที่จ่ายออกไปจากคาปาซิเตอร์ในช่วงเวลาที่ไดโอดไม่นากระแส จะเท่ากับประจุที่จ่ายเข้าไปในคาปาซิเตอร์ระหว่างช่วงนากระแส พิจารณาช่วงไดโอดไม่นากระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีวลต์เดจน์ของคาปาซิเตอร์ยังคงคงที่และเกือบเท่ากับค่าพีค E_m ซึ่งจะทำให้กระแสของการดิจชาร์จเท่ากับ E_m / R กระแสนี้จะไหลตลอดช่วง $T / 2$ ดังนั้นประจุที่จ่ายออกไปจากคาปาซิเตอร์เท่ากับ

$$Q_{lost} \simeq \frac{E_m}{R}\left(\frac{T}{2}\right) \qquad .....(4.6)$$

และพิจารณาช่วงไดโอดนำกระแส รีวลเดจน์ของคาปาซิเตอร์จะเพิ่มขึ้นอีก E_r ดังนั้นประจุที่ได้รับจะเป็น

$$Q_{acquired} = CE_r \qquad .....(4.7)$$

เมื่อรวมสมการ (4.6) และ (4.7) จะได้

$$C = \frac{T}{2E_r}\left(\frac{E_m}{R}\right)$$

แต่ $T = 1/f$ ดังนั้น

$$C = \frac{1}{2fE_r}\left(\frac{E_m}{R}\right)$$

และ $\frac{E_m}{R} \approx I_{dc}$ ซึ่งที่ความถี่ 50 เฮิร์ทจะได้

$$C = \frac{I_{dc}}{100\,E_r}$$

ขณะที่ I_{dc} มีหน่วยเป็นแอมป์แปร์และ E_r คือค่าริพเบิลเป็น V_{pp} และ C มีหน่วยเป็นฟารัด

ส่วนอัตราการทนไฟของฟิลเตอร์คาปาซิเตอร์จะพิจารณาจากวงจรรูป 4.1-1 จะเห็นว่า $V_c = V_{dc}$ และจากสมการที่ (4.4) $V_{dc} \approx \sqrt{2} V_{ac}$ เพราะฉนั้นจะได้ $V_c = \sqrt{2}\, V_{ac}$ และเราจะหาค่าของคาปาซิเตอร์ได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C = \frac{I_{dc}}{100\ E_r} = \frac{100\ mA}{100 \times 500}$$

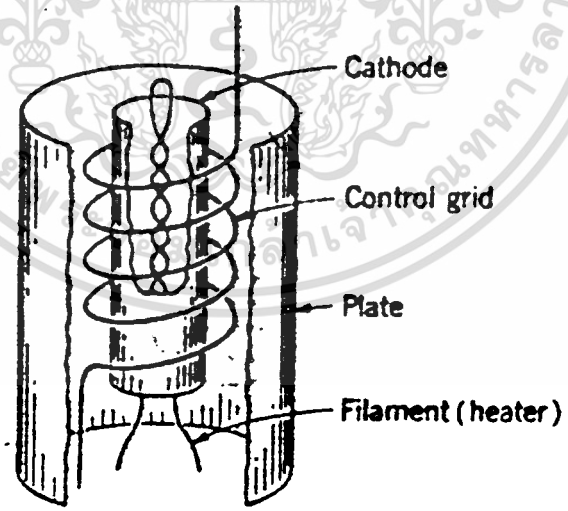
$$= 2\ \mu F$$

และค่าโวลท์เตจน์ของคาปาซิเตอร์ $= \sqrt{2} \times 7347 \simeq 11\ KV$

4.3 วงจรควบคุมกระแส

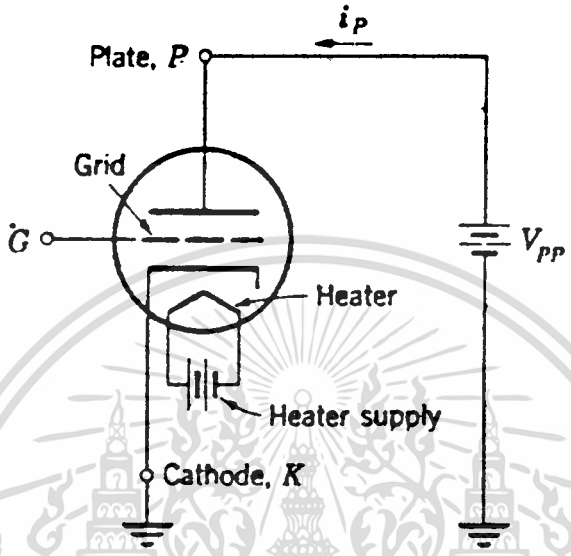
ในวงจรของแหล่งจ่ายไฟที่จ่ายให้แก่แหล่งกำเนิดเลเซอร์จำเป็นจะต้องมีวงจรควบคุมกระแสเพิ่มขึ้นมาด้วย เพื่อทำหน้าที่รักษากระแสที่ไหลผ่านหลอดเลเซอร์ให้คงที่และเราสามารถปรับกระแสที่ไหลผ่านหลอดเลเซอร์นี้ได้อีกด้วย การปรับกระแสที่ไหลผ่านหลอดจะทำให้กำลังทางออกของเลเซอร์เปลี่ยนไปตามกระแสที่เปลี่ยนด้วย ทำให้เกิดความเหมาะสมที่จะนำเอาแหล่งกำเนิดเลเซอร์นี้ไปใช้งานหลาย ๆ ด้าน

อุปกรณ์ที่สำคัญในวงจรควบคุมกระแสคือหลอดไตรโอด (Triode tube) หลอดไตรโอดมีลักษณะคล้ายหลอดไดโอด แต่มีขั้วอิเลคโทรดขั้วที่สามเพิ่มเข้ามา ขั้วอิเลคโทรดขั้วที่สามนี้ถูกเรียกว่า คอนโทรลกริด (control grid) ในทางฟิสิกส์แล้วขากริดนี้จะทำเป็นขดลวดเกลียวที่วางไว้ใกล้ๆ กับคาโธด ดังแสดงในรูปที่ 4.3-1



รูปที่ 4.3-1 หลอดไตรโอด (a) โครงสร้างทางฟิสิกส์

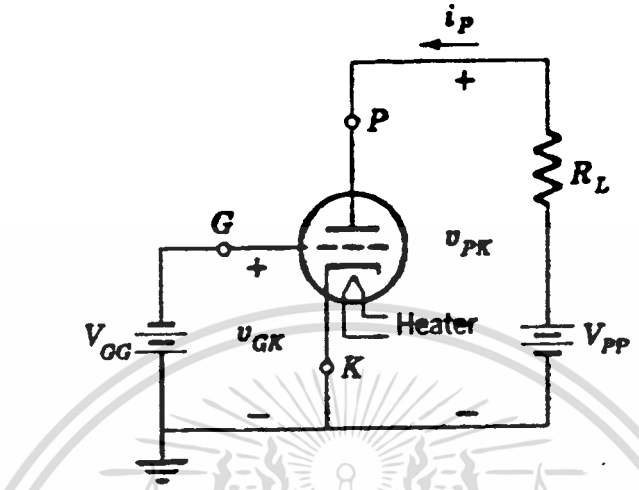
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



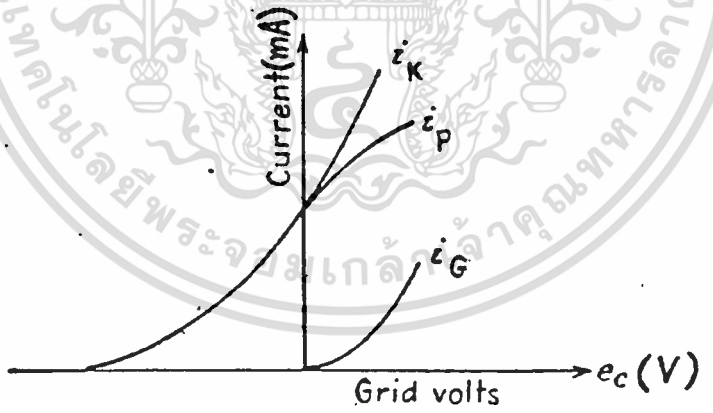
รูปที่ 4.3-1 หลอดไตรโอด (b) สัญญลักษณ์ทางไฟฟ้า

การทำงานของกริดในการควบคุมกระแสที่ไหลผ่านหลอดจะเป็นดังนี้คือถ้าความต่างศักย์จากกริดถึงคาโธดเป็นลบ อิเลคตรอนบางตัวที่ออกจากคาโธดจะถูกผลักโดยกริดและจะย้อนกลับไปที่คาโธดเหมือนเดิม อิเลคตรอนส่วนที่มีพลังงานมากกว่าจะผ่านโครงสร้างกริดและไปถึงขั้วเพลทได้ ยิ่งความต่างศักย์จากกริดถึงคาโธดถูกทำให้เป็นลบมากขึ้นแล้วอิเลคตรอนที่มีพลังงานสูงพอที่จะผ่านกริดไปถึงเพลทได้ยิ่งมีน้อยลง ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงโวลท์เตจน์ระหว่างกริดกับคาโธดจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสเพลท (i_P) ด้วยเช่นกัน เราจึงสามารถควบคุมกระแสที่ไหลเข้ามาที่เพลทได้โดยการเปลี่ยนค่าโวลท์เตจน์ระหว่างกริดกับคาโธด และเมื่อเราต่อขั้วเพลทของหลอดไตรโอดไปที่ขั้วคาโธดของหลอดเลเซอร์ จะทำให้กระแสที่ไหลผ่านหลอดเลเซอร์มานั้นเป็นกระแสเพลทของหลอดไตรโอดด้วย ดังนั้นเราจะสามารถเปลี่ยนกระแสของหลอดเลเซอร์หรือกำลังทางออกของเลเซอร์ได้ โดยการเปลี่ยนโวลท์เตจน์ระหว่างกริดกับคาโธด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

รูปที่ 4.3-2 ลักษณะเอาท์พุทของหลอดไดรโอด (a) วงจรไดรโอดพื้นฐาน
(b) ลักษณะกราฟ VI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

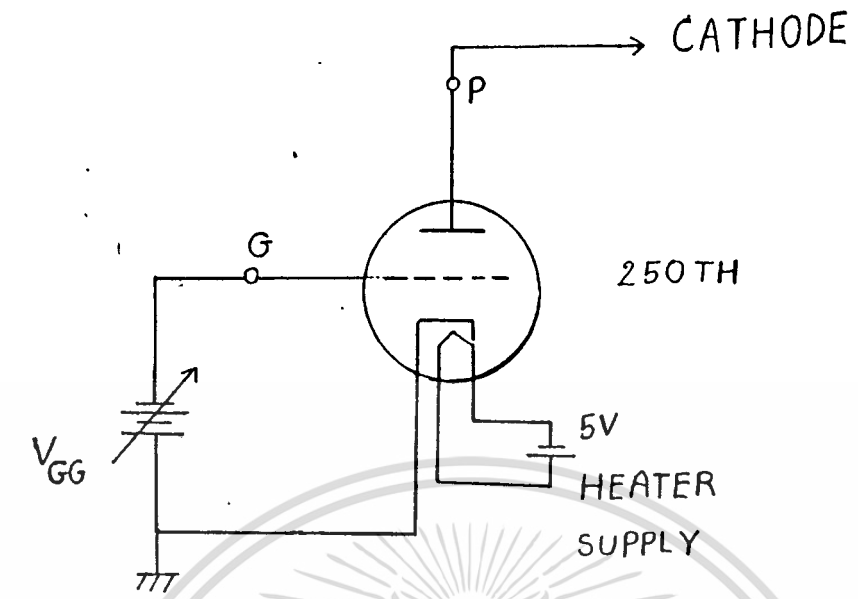
ลักษณะเอาท์พุทของหลอดไตรโอดทั่ว ๆ ไป ถูกแสดงดังรูป 4.3-2 เราจะเห็นว่ากระแสเพลทเป็นฟังก์ชั่นของโวลท์เตจน์จากกริดไปคาโธด (V_{GK}) ซึ่งเราได้อธิบายไว้ในย่อหน้าก่อนแล้ว ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเพลท , โวลท์เตจน์ จากเพลทถึงคาโธดและโวลท์เตจน์จากกริดถึงคาโธดเป็นดังสมการ

$$i_P \approx G (V_{PK} + \mu V_{GK})^{3/2} \qquad .....(4.8)$$

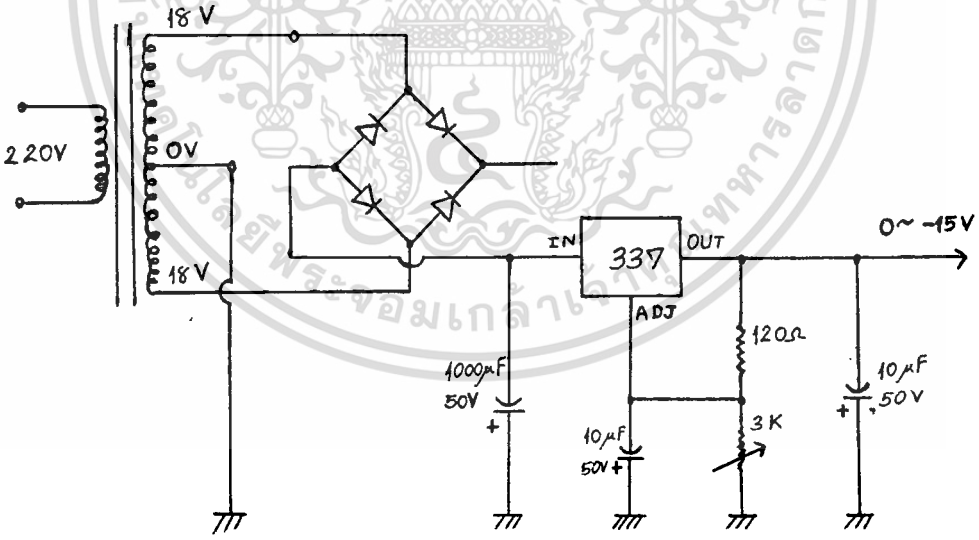
$$V_{GK} \leqslant 0 \ , \ V_{PK} \geqslant 0 \ , \ i_P \geqslant 0$$

ในการออกแบบเลือกขนาดของหลอดไตรโอด ค่าที่สำคัญที่จะต้องเลือกให้เหมาะสมคือค่าโวลท์เตจน์สูงสุดที่เพลทจะทนได้ ในวงจรควบคุมกระแสเราจะต่อหลอดไตรโอดไว้ที่ขั้วคาโธดของหลอดเลเซอร์ ซึ่งโวลท์เตจน์ที่ขั้วคาโธดของหลอดเลเซอร์จะอยู่ในช่วง 2-3 KV (เพราะโวลท์เตจน์ที่ตกคร่อมระหว่างขั้วอาโนดกับขั้วคาโธดต้องไม่น้อยกว่า 7 KV หลอดเลเซอร์ถึงจะทำงาน) ดังนั้นเราต้องเลือกหลอดไตรโอดที่เพลทของมันทนโวลท์เตจน์ได้สูงกว่า 3 KV เมื่อดูจากข้อมูลของหลอดไตรโอดที่มีจำหน่ายแล้วเบอร์ที่เหมาะสมที่สุดคือเบอร์ 250 TH ซึ่งโวลท์เตจน์สูงสุดที่เพลทจะทนได้เท่ากับ 4 KV และแหล่งจ่ายไฟที่ใช้สำหรับจุดไส้หลอดเป็น 5 V วงจรส่วนควบคุมกระแสนี้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4.3-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



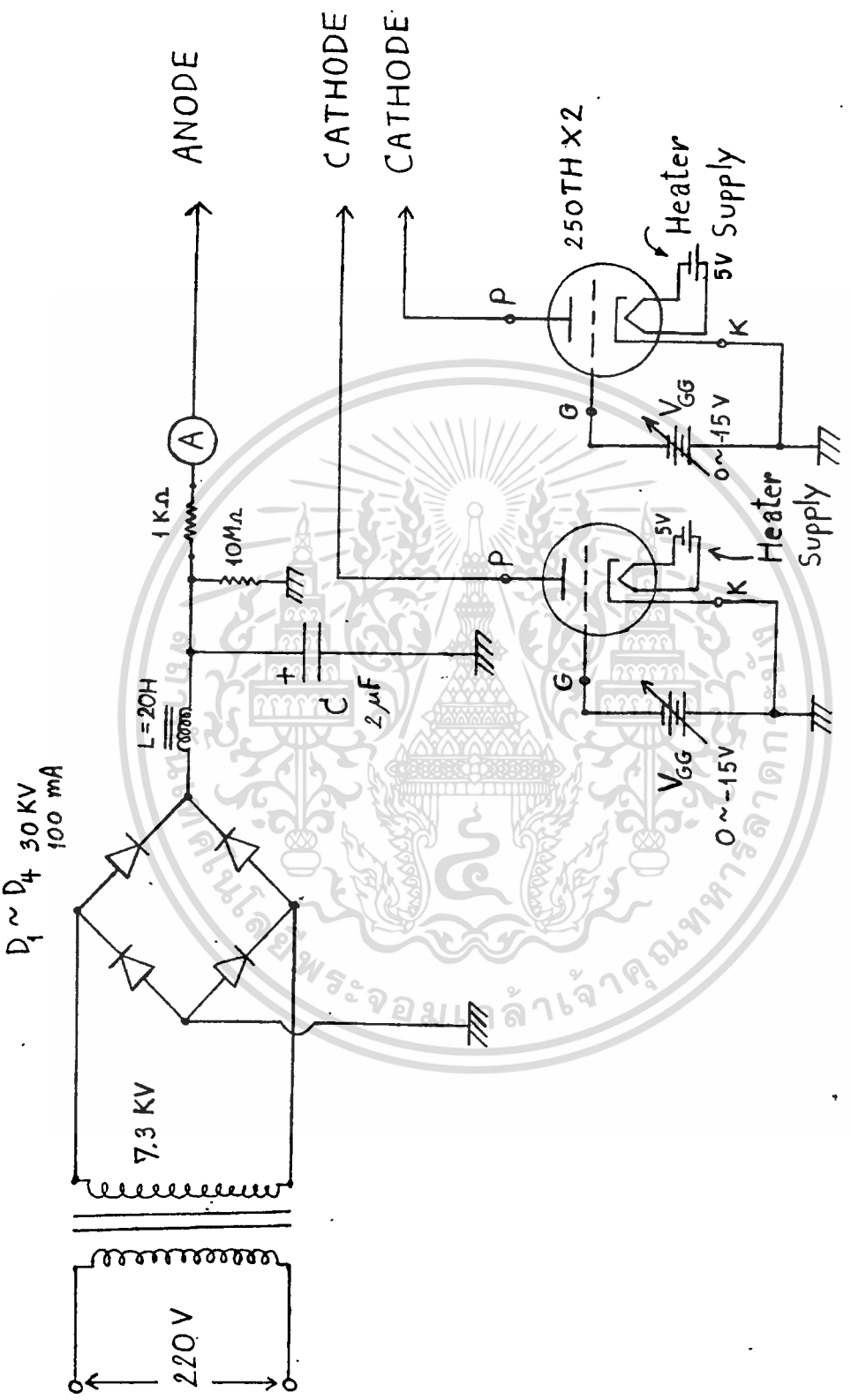
รูปที่ 4.3-3 วงจรส่วนควบคุมกระแส



รูปที่ 4.3-4 วงจรกำเนิดแรงดัน 0~-15 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 วงจรของแหล่งจ่ายไฟรวมที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.4-1 วงจรรวมของแหล่งจ่ายไฟที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรรวมทั้งหมดของแหล่งจ่ายไฟที่ใช้กับหลอดเลเซอร์ในการทดลองถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4.4-1 ในการทดลองเราจะปรับค่าโวลท์เตจน์ระหว่างกริดกับคาโธดของหลอดไตรโอดให้กระแสไหลผ่านหลอดเลเซอร์ตั้งแต่ 0 ~ 60 mA โดยดูค่ากระแสที่ไหลได้จากแอมป์มิเตอร์ A ซึ่งการปรับค่าโวลท์เตจน์ระหว่างกริดกับคาโธดเราจะปรับที่แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (V_{GG}) 0 ~ -15 โวลท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

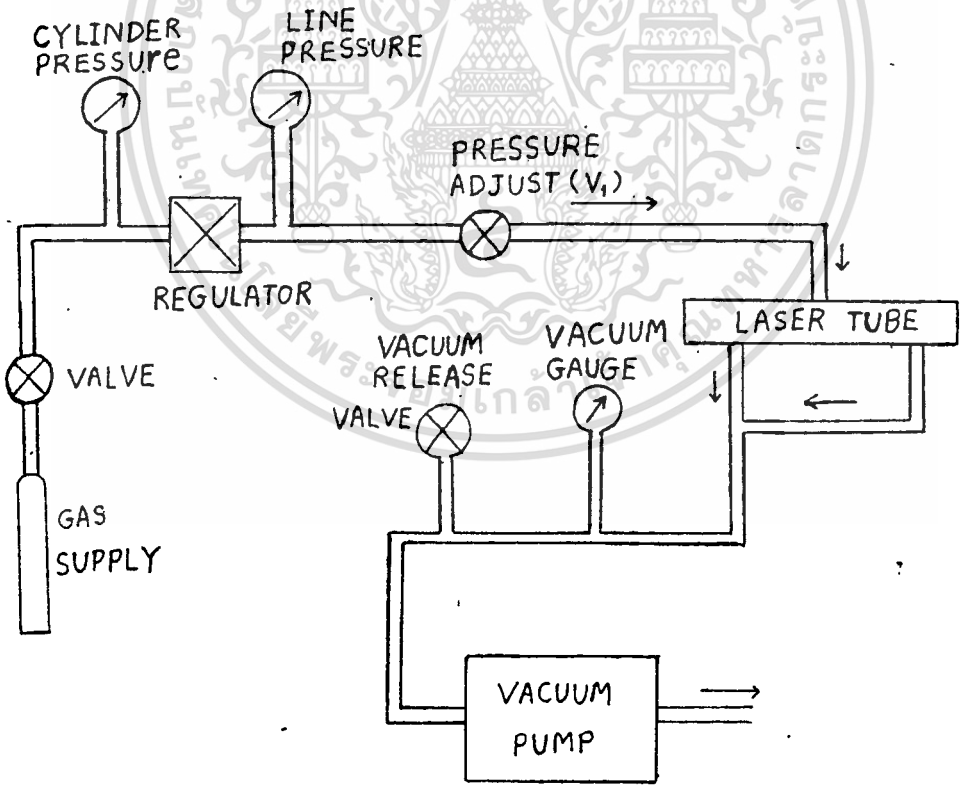
บทที่ 5
โครงสร้างของแหล่งกำเนิดเลเซอร์ , การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้เราจะนำเอาระบบของแหล่งกำเนิดเลเซอร์ทั้งหมดที่ได้ออกแบบไว้แล้วมาสร้างและทำการทดลอง เพื่อตรวจสอบถึงประสิทธิภาพที่ได้สร้างขึ้น ระบบของแหล่งกำเนิดเลเซอร์ที่เราได้สร้างขึ้นมีโครงสร้างประกอบด้วยส่วนสำคัญสามส่วน คือ หลอดเลเซอร์ , แก๊สเลเซอร์ที่ไหลผ่านระบบและระบบระบายความร้อน และส่วนของแหล่งจ่ายไฟสูง ส่วนแรกและส่วนที่สามเราได้กล่าวไว้ในบทก่อน ๆ แล้วในส่วนที่สองเป็นระบบแก๊สเลเซอร์และระบบระบายความร้อนจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

5.1 ระบบแก๊สเลเซอร์ที่ไหลผ่าน

แก๊สเลเซอร์ในการทดลองเป็นแก๊สผสมสามชนิดตามอัตราส่วนดังนี้

คาร์บอนไดออกไซด์	4.5 %
ไนโตรเจน	13.5 %
ฮีเลียม	82.0 %



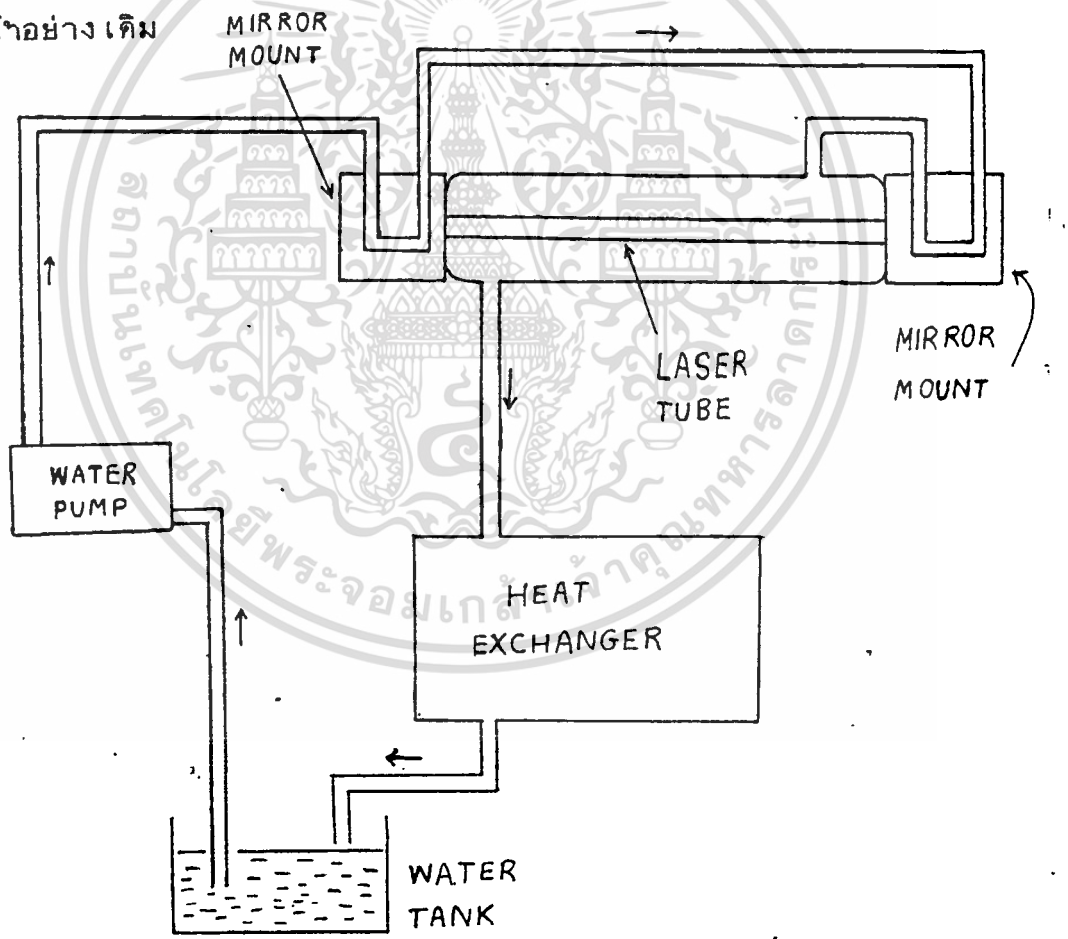
รูปที่ 5.1-1 ไดอะแกรมของระบบแก๊สเลเซอร์ที่ไหลผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก๊สนี้จะถูกเก็บไว้ในถังแก๊สความดันสูง ซึ่งบนตัวถังแก๊สจะมีวาล์ว , เรคกูเลเตอร์และเกจวัดความดันสองตัวติดอยู่ที่ถังแก๊ส เกจวัดความดันตัวหนึ่งจะวัดความดันในถังแก๊ส อีกตัวหนึ่งจะวัดความดันของแก๊สที่ไหลเข้าไปในระบบ ส่วนเรคกูเลเตอร์จะเป็นตัวควบคุมแก๊สที่ไหลออกจากถังแก๊สก่อนเข้าระบบไปในระบบโดยจะรักษาความดันของแก๊สไว้ที่ 25 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ส่วนอุปกรณ์ที่เป็นตัวปรับความดันของแก๊สในหลอดเลเซอร์ก็คือวาล์วขนาดเล็ก (V_1) วาล์ว V_1 นี้จะเป็นตัวเปลี่ยนความดันของแก๊สในหลอดเลเซอร์ที่ใช้ทดสอบผลต่าง ๆ ในการทดลองต่อไป

5.2 ระบบระบายความร้อน

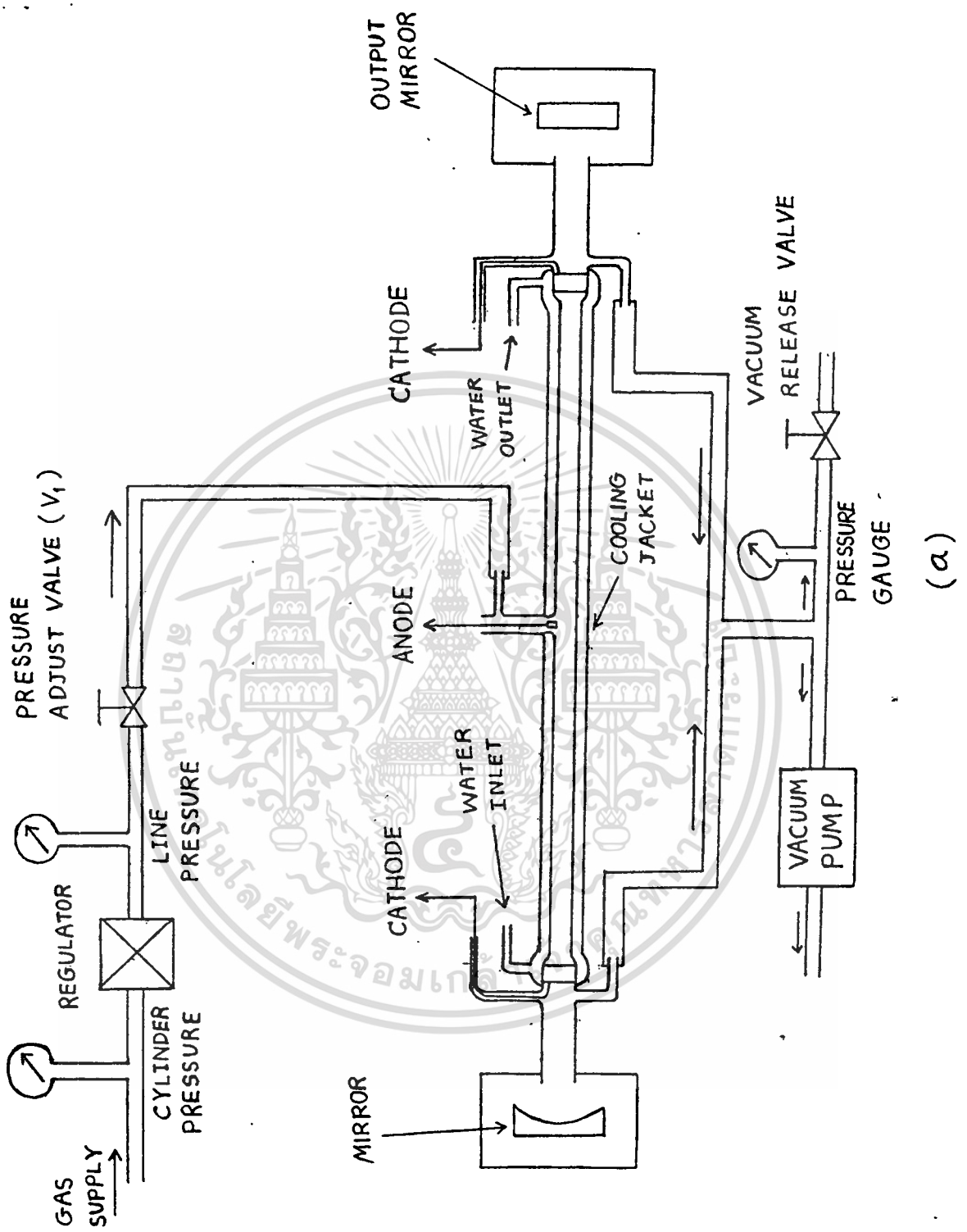
แหล่งกำเนิดเลเซอร์ที่สร้างขึ้นมีกำลังสูงพอสมควร ทำให้ต้องมีระบบระบายความร้อนผ่านหลอดเลเซอร์ชั้นนอกดังแสดงในรูปที่ 5.2-1 ปั๊มน้ำจะดูดน้ำจากถังเก็บน้ำผ่านไปที่ส่วนของกระจกหัวและออกไปที่ส่วนของกระจกท้ายจากนั้นจะเข้าไปที่หลอดเลเซอร์ชั้นนอกและออกจากหลอดชั้นนอกก็ไปที่ส่วนถ่ายเทความร้อน (heat exchanger) เพื่อถ่ายเทความร้อนออกไปจากน้ำและจากนั้นน้ำที่เย็นแล้วจะกลับไปสู่ถังเก็บน้ำอย่างเดิม



รูปที่ 5.2-1 ไดอะแกรมของระบบระบายความร้อน

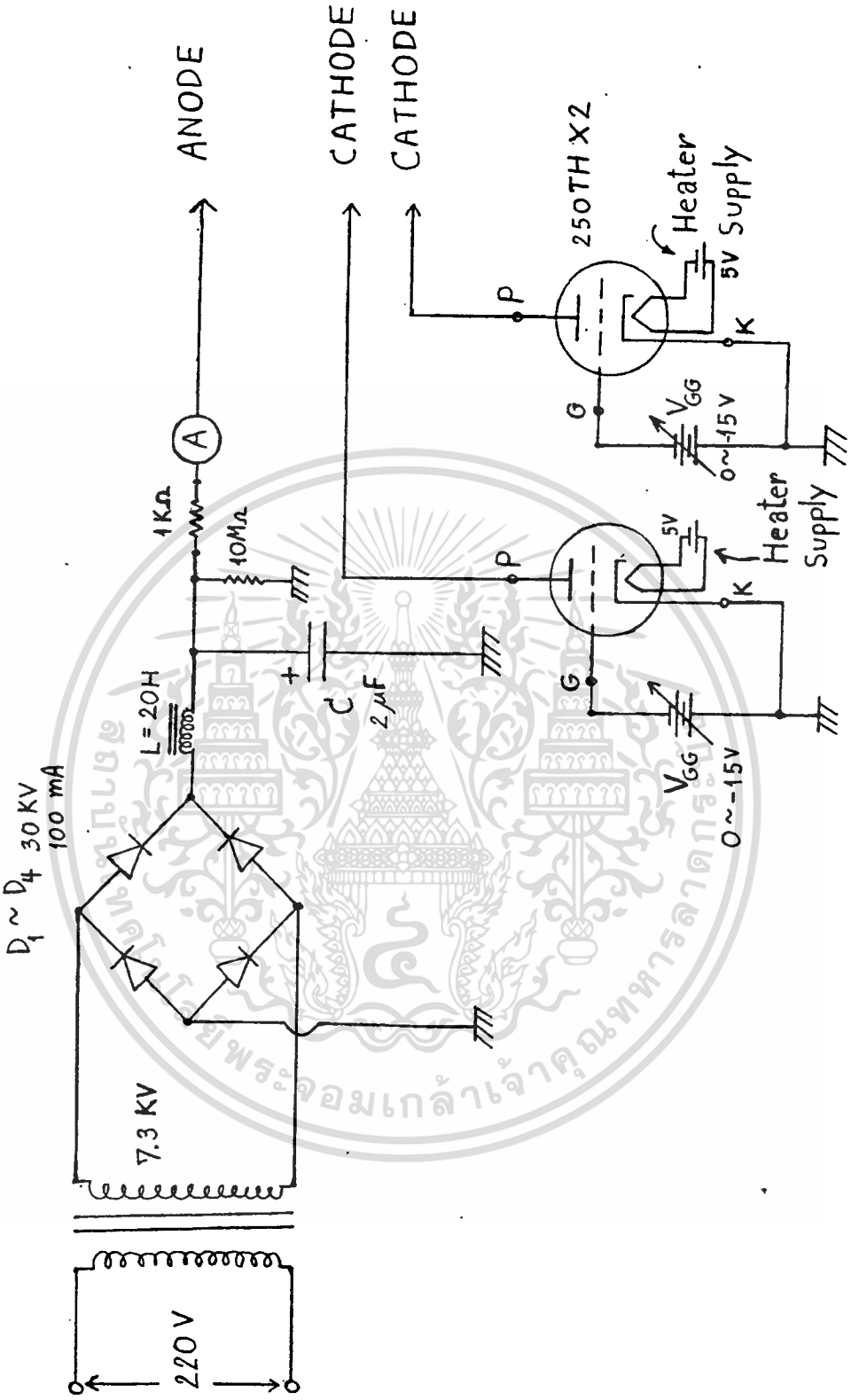
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 โครงสร้างของระบบเลเซอร์ทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 5.3-1 (a) ไดอะแกรมของโครงสร้างของระบบเลเซอร์ทั้งหมดที่ใช้ทดลอง

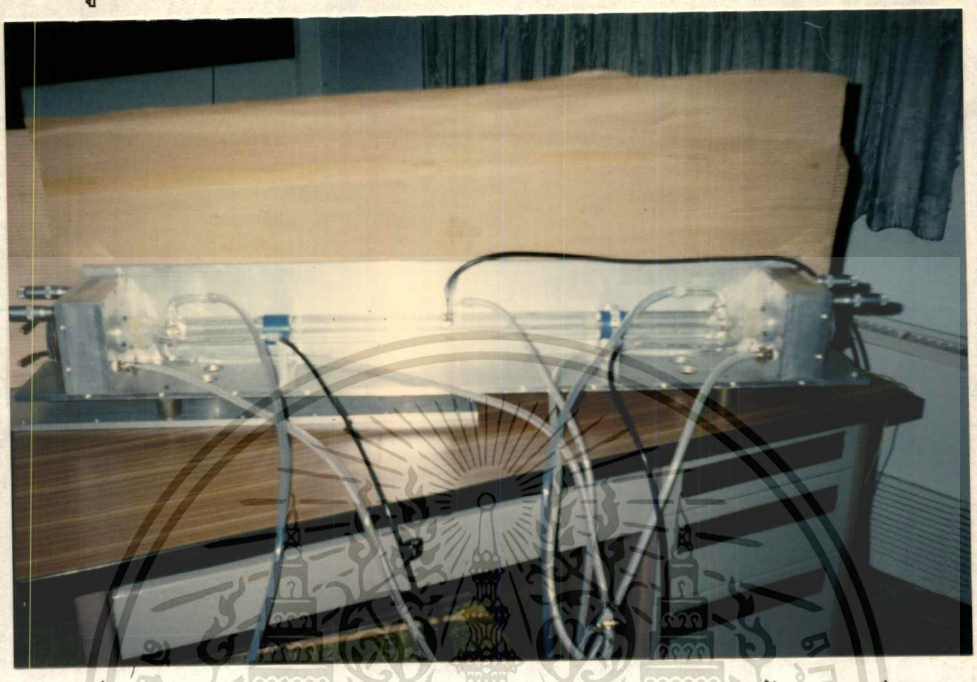
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



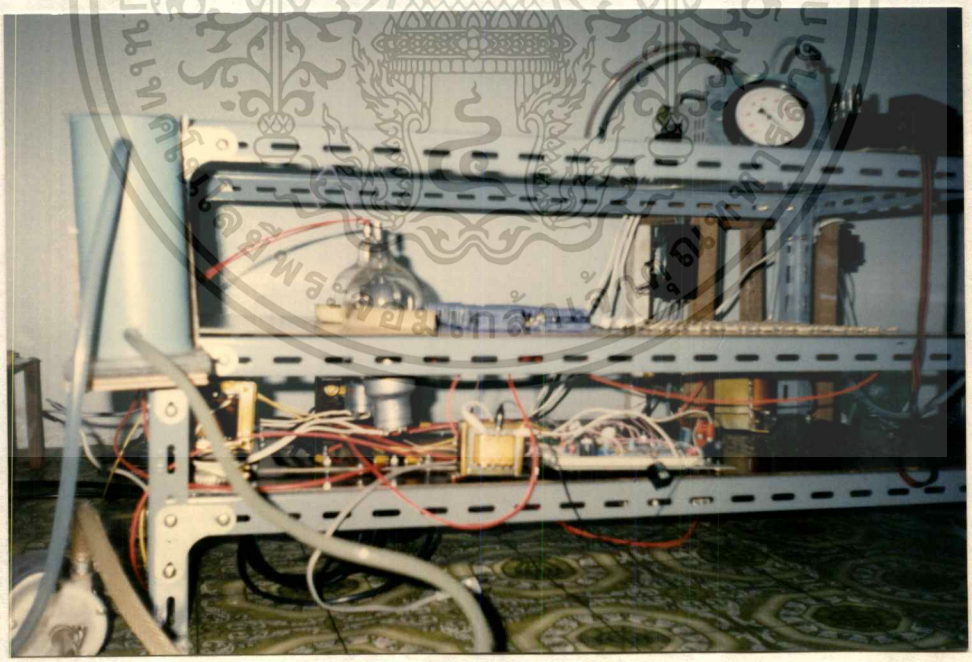
รูปที่ 5.3-1 (b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากไดอะแกรมในรูป 5.3-1 (a) และ (b) เราจะเห็นถึงโครงสร้างของระบบเลเซอร์ทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง ส่วนภาพถ่ายจากระบบจริง ๆ ที่ได้สร้างขึ้นมาถูกแสดงไว้ในรูปที่ 5.3-2 และ 5.3-3



รูปที่ 5.3-2 ภาพถ่ายส่วนหัวปรับกระจก , หลอดแก้วและแท่นวาง



รูปที่ 5.3-3 ภาพถ่ายส่วนแหล่งจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 การทดลองและผลการทดลอง

ในการทดลองเพื่อทดสอบระบบทั้งหมดที่สร้างขึ้น เราจะปรับค่าความต่างศักย์ V_{ee} ให้มีกระแสไหลผ่านหลอดเลเซอร์ตั้งแต่ 0-60 mA ซึ่งดูได้จากแอมมิเตอร์ A โดยตั้งค่าความดันของแก๊สเลเซอร์ในหลอดไว้ที่ค่าๆ หนึ่งและเปลี่ยนค่าความดันแก๊สนี้ไปด้วยตั้งแต่ 10-35 mmHg ซึ่งจะเปลี่ยนค่าความดันของแก๊สนี้ที่วาล์วปรับความดัน (V_1) โดยอ่านค่าความดันของแก๊สในหลอดที่เกจวัดความดัน และทำการวัดกำลังทางออกที่ตกกระทบบนแผ่นพลาสติกที่ใช้ทดสอบโหมดการทำงาน

ผลการทดลองที่บันทึกไว้แสดงในตารางที่ 2 , รูปที่ 5.4-1 , 5.4-2 และรูปที่ 5.4-3

ตารางที่ 2 ผลการทดลองปรับกระแสและความดันแก๊ส

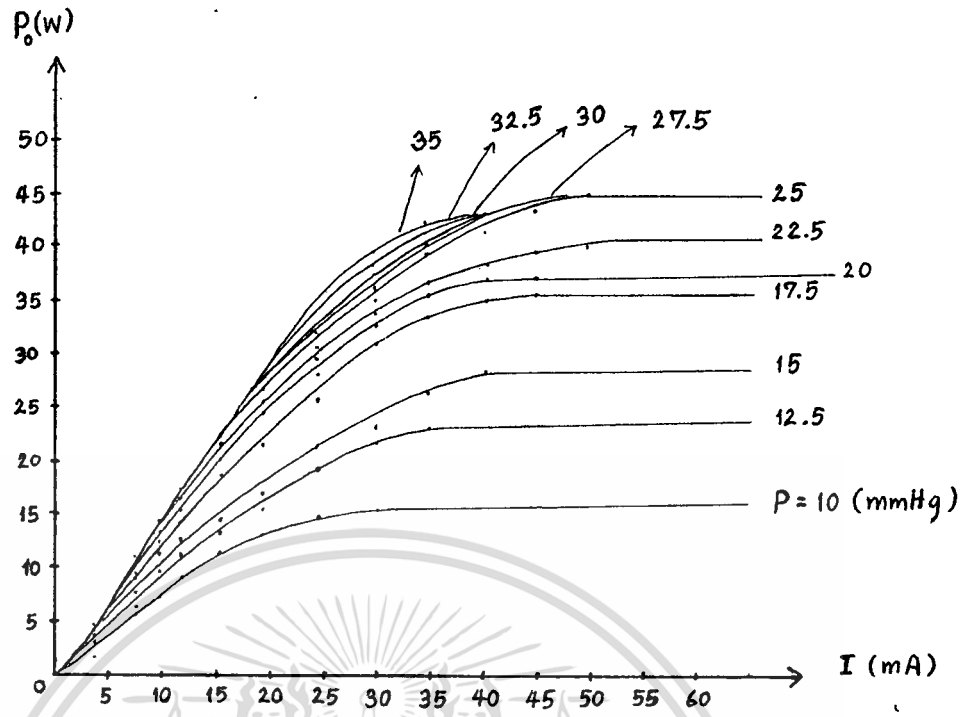
P \ I	0	4	8	10	12	16	20	25	30	35	40	45	50	60
10	0	2	5.5	7	9	11	12	14	15	15	15	15	15	15
12.5	0	2.5	6	9.5	11	12	14	19	21	22	22	22	22	22
15	0	3	7	10.5	12	13.5	16	20.5	22	25	28	28	28	28
17.5	0	3	8.5	12	14	18	21	25	31	33	34	35	35	35
20	0	3.5	9	13	15	20	24	27	32	35	36	36	36	36
22.5	0	3.5	10	14	16	21	25	28	33	36	37	38	38	40
25	0	4	11	14	17	22	26	29	34	38	41	43	45	45
27.5	0	4	11	14	17	22	27	31	35	39	41	43	45	45
30	0	4	12	15	18	23	27	31	36	39	42	43	45	45
32.5	0	4	12	15	18	23	29	32	37	40	42	43	45	45
35	0	4	12	15	18	24	29	34	38	41	42	43	45	45

I = กระแสที่ไหลผ่านแอมมิเตอร์ A (mA)

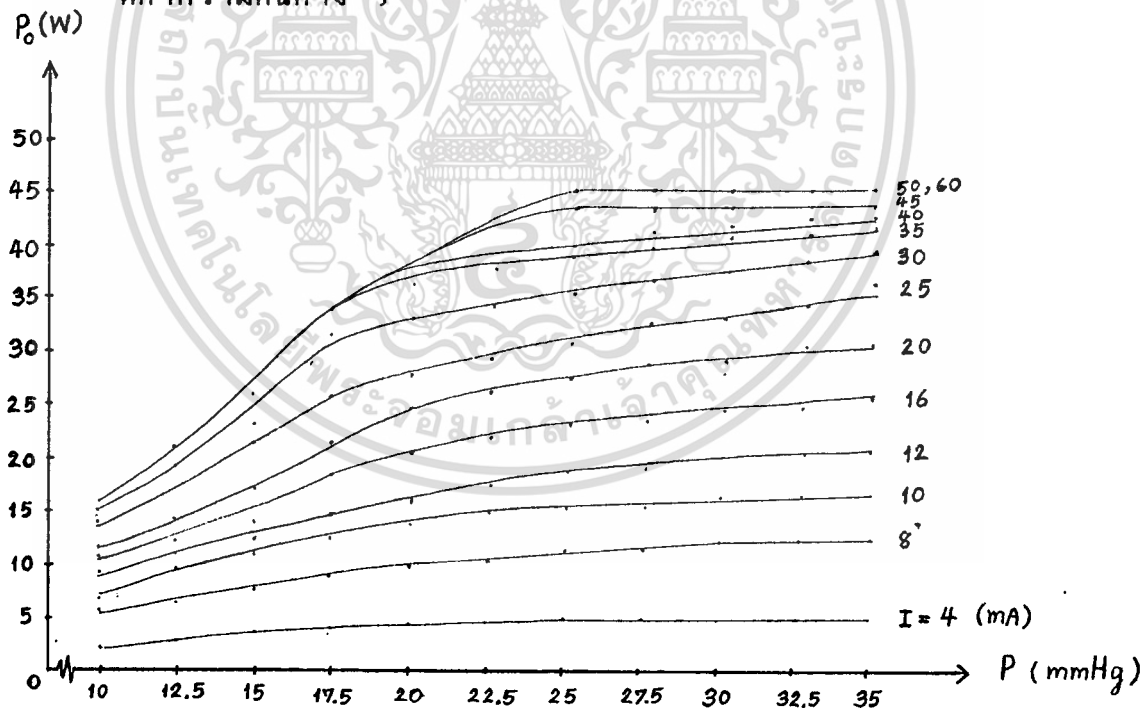
P = ความดันของแก๊สที่ผ่านหลอดเลเซอร์ออกมา (mmHg)

P_o = กำลังทางออกของหลอดเลเซอร์ (วัตต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

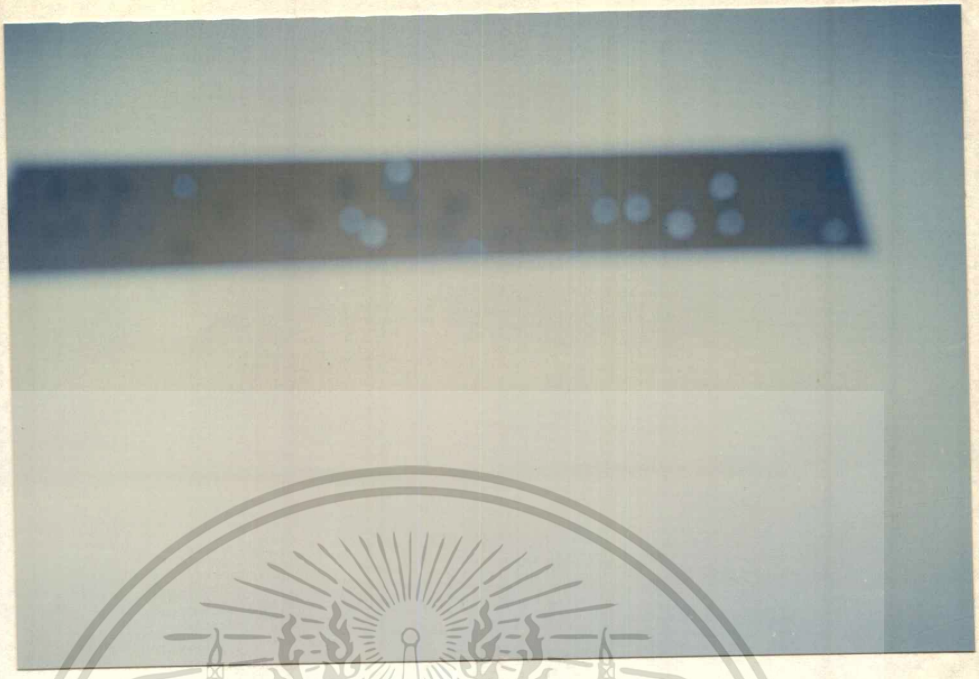


รูปที่ 5.4-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกำลังทางออกของเลเซอร์กับกระแสดิสชาร์จที่ค่าความดันต่าง ๆ



รูปที่ 5.4-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกำลังทางออกของเลเซอร์กับความดันที่ค่ากระแสดิสชาร์จต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4-3 แสดงภาพถ่ายของโหมดของกำลังทางออกที่ตกกระทบลงบนแผ่นพลาสติก หนา 3 mm

รูปที่ 5.4-4 แสดงภาพวาดภาคตัดขวางของรูป 5.4-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองที่ได้ในรูป 5.4-1 เราพบว่าเมื่อปรับให้กระแสที่ออกจากแหล่งจ่ายไฟไปยังขั้วอาโนดเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ กำลังทางออกของเลเซอร์ (Po) จะเพิ่มขึ้นตามไปเรื่อย ๆ และจะไปคงที่ที่ค่ากระแสช่วง 50-60 mA ที่ความดันของแก๊สเลเซอร์ค่าหนึ่ง ๆ และกำลังทางออกสูงสุดที่ทำได้เป็น 45 วัตต์ซึ่งนับว่าใช้ได้ดีมากสำหรับผลการทดลองในรูปที่ 5.4-2 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มความดันแก๊สให้มากขึ้นที่ค่ากระแสค่าหนึ่งกำลังทางออกก็เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย แต่ก็คงจะไปคงที่ในช่วงความดัน 30-35 mmHg ส่วนโหมดของกำลังทางออกที่สังเกตได้จากแผ่นพลาสติกพบว่าได้โหมด TEMoo ซึ่งเป็นโหมดที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการผ่าตัดมากและภาพวาดภาคตัดขวางที่ได้ในรูปที่ 5.4-4 ก็มีการกระจายแบบ Gaussian

สำหรับการวัดกำลังทางออกของแสงเลเซอร์ เราใช้ Laser Power Probe สำหรับวัดแสงเลเซอร์ CO_2 โดยตรง โดยขณะทำการวัดเราจะใช้ส่วนที่เป็นหัว sensor รับความร้อนยื่นไปให้แสงเลเซอร์ที่ออกมาจากกระจกเอาท์พุทตกกระทบเป็นเวลานาน 20 วินาที แล้วจึงอ่านค่ากำลังทางออกเป็นวัตต์ที่เข็มของมิเตอร์ของ Power Probe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการทดลองออกแบบและสร้างแหล่งกำเนิดเลเซอร์แบบคาร์บอนไดออกไซเลเซอร์เนื่องจากเลเซอร์แบบนี้มีความยาวคลื่น 10.6 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่เนื้อเยื่อดูดกลืนได้ดีและยังให้เอาท์พุทที่ต่อเนื่องสูงกว่าและประสิทธิภาพที่สูงกว่าแบบอื่น ๆ ทำให้มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานด้านการผ่าตัดทางการแพทย์ แหล่งกำเนิดเลเซอร์ที่มีความต้องการในการผ่าตัดควรมีกำลังทางออกอยู่ในช่วง 45-50 วัตต์และโหมดของกำลังทางออกต้องเป็นแบบ TEMoo จึงจะสามารถนำมาใช้งานด้านการผ่าตัดได้ดี ซึ่งจุดสำคัญที่จะให้ได้แหล่งกำเนิดเลเซอร์ที่มีคุณภาพแบบนี้คือ การออกแบบและคำนวณโครงสร้างของช่องตัวกลาง (medium cavity) และรีโซเนเตอร์ให้สัมพันธ์กันซึ่งได้กล่าวไว้อย่างละเอียดในบทที่ 3 ในบทที่ 3 นั้น ได้แสดงรายละเอียดของการออกแบบคาร์บอนไดออกไซเลเซอร์แบบธรรมดาที่ง่ายและเป็นที่ยอมรับที่อยู่บนพื้นฐานความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ ความสัมพันธ์เหล่านี้บางอันมาจากทฤษฎี บางอันมาจากการสังเกตุในการทดลองในบทนี้ยังได้กล่าวถึงความสัมพันธ์ต่าง ๆ ของพารามิเตอร์ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบรวมทั้งใช้รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์เหล่านี้ ความสัมพันธ์ในรูปกราฟนี้จะทำให้เราสามารถกำหนดผลของการเปลี่ยนพารามิเตอร์ในการออกแบบ , กำลังทางออกของเลเซอร์ที่เกิดขึ้น หรือออกแบบระบบเลเซอร์ใหม่ให้ได้กำลังทางออกแบบโหมดเดียว (TEMoo) ตามต้องการได้ ถ้ายกเว้นเรื่องความสัมพันธ์จากการสังเกตุในการทดลองเล็ก ๆ น้อย ๆ ที่ต้องการแล้ววิธีการออกแบบที่มีอยู่ในบทที่ 3 จะสามารถใช้ได้ทั่วไปและยังสามารถใช้กับระบบเลเซอร์ระบบอื่น ๆ ได้อีกด้วยเพียงแต่ปรับการทดลองให้เหมาะสมเท่านั้น นอกจากการออกแบบความสัมพันธ์ต่าง ๆ ที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 แล้ว ส่วนสำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ แหล่งจ่ายไฟของแหล่งกำเนิดเลเซอร์ซึ่งได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 แหล่งจ่ายไฟที่ระบบเลเซอร์ต้องการต้องมีโวลเตจน์สูงและควบคุมกระแสได้ วงจรไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟจะประกอบไปด้วยหม้อแปลงโวลเตจน์สูงที่ทางด้านเอาท์พุทให้โวลเตจน์ออกมาประมาณ 7 KV ส่วนวงจรเรคติฟายเออร์เป็นแบบบริดจ์ไดโอดและฟิลเตอร์จะประกอบไปด้วยรีแอคอินพุทและคาปาซิเตอร์ในส่วนของการควบคุมกระแสเราใช้หลอดไตรโอดเป็นตัวควบคุมกระแสที่ไหลผ่านหลอดเลเซอร์ โดยสามารถปรับกระแสได้ที่ขากริดของหลอดไตรโอด ซึ่งจะทำให้เราสามารถปรับกำลังทางออกของเลเซอร์ได้เพราะกำลังทางออกของเลเซอร์นั้นจะเปลี่ยนไปตามกระแสที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลผ่านหลอดเลเซอร์

โครงสร้างของแหล่งกำเนิดเลเซอร์ที่สร้างขึ้นตามการออกแบบและการคำนวณพร้อมกับผลการทดลองและการทดสอบในเชิงปฏิบัติของแหล่งกำเนิดเลเซอร์ซึ่งได้ถูกแสดงไว้ในบทที่ 5 นั้น เราประกอบขึ้นมาเองทั้งหมดแต่กว่าจะสำเร็จลงได้เราประสพปัญหาต่าง ๆ มากมาย อันดับแรกเลยก็คือการสร้างหลอดเลเซอร์ซึ่งเป็นหลอดแก้วไพเร็กซ์ (pyrex) นั้นมีวิธีการสร้างที่ยุ่งยากมากเพราะต้องทำเป็นหลอดสองชั้น ชั้นในสำหรับให้แก๊สเลเซอร์ไหลผ่าน ส่วนชั้นนอกสำหรับให้น้ำระบายความร้อนผ่าน ต้องใช้เวลาทำนานหลายเดือนเพราะส่วนใหญ่เมื่อทำเสร็จแล้วหลอดแก้วมักจะแตกร้าวอันเนื่องมาจากการคลายตัวหลังจากหลอดเย็นตัวลง ส่วนปัญหาอันที่สองก็คือหัวปรับกระจกสะท้อน ซึ่งแบบแปลนรายละเอียดได้ถูกแสดงไว้ในภาคผนวก ก. ในส่วนนี้เป็นชิ้นส่วนทางแมคแคนนิกส์ที่มีส่วนเคลื่อนที่ได้และแต่ละชิ้นที่มาประกอบกันจะมีรูตรงกลางทุกชิ้น ซึ่งต้องทำให้จุดศูนย์กลางของรูนี้ของทุกชิ้นอยู่ในแนวเดียวกันจึงจะทำให้เกิดแสงเลเซอร์ขึ้นมาได้ ในส่วนนี้ต้องหาผู้เชี่ยวชาญที่มีฝีมือในการกลึงและประกอบชิ้นงานมาช่วยทำต้องใช้เวลานานและเสียค่าใช้จ่ายมากทีเดียว ปัญหาอันสุดท้ายอยู่ที่ส่วนของแหล่งจ่ายไฟคือ หม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงและหลอดไตรอด การทำหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงให้มีคุณภาพใช้งานได้นั้นทำยากมากเพราะมีการพันลวดถึงหกพันกว่ารอบและฉนวนไฟฟ้าที่ใช้ทำจะเป็นพวกยางมะตอย หรือ เรซินทำให้มีปัญหาในการหล่อและเทลงล้อมรอบขดลวดมักจะเกิดปัญหาการลัดวงจรอยู่บ่อยมาก การทำให้ได้คุณภาพจริง ๆ ต้องใช้เวลานาน ส่วนหลอดไตรอดมีราคาแพงและหายากในประเทศไทยไม่มีขายทำให้ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศราคาค่าใช้จ่ายจึงสูงมากทำให้ต้นทุนของการสร้างสูงตามไปด้วย ส่งผลให้งานวิจัยชิ้นนี้ล่าช้าไปมาก โครงสร้างทั้งหมดที่ได้ทำขึ้นถูกแสดงไว้ในบทที่ 5

สำหรับผลการทดลองที่ได้จากรูปที่ 5.4-1 เป็นรูปกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ของกำลังทางออกของเลเซอร์กับกระแสดิสชาร์จที่ค่าความดันต่าง ๆ จะเห็นว่าความดันของแก๊สในช่วง 25-35 mmHg เป็นช่วงที่ให้กำลังทางออกสูงที่สุดประมาณ 45 วัตต์และในช่วงนี้กำลังทางออกจะแปรผันตามกระแสเกือบเป็นเส้นตรง ส่วนกำลังทางออกที่ได้ยังไม่เท่ากับ 50 วัตต์ทั้งนี้เป็นเพราะกระจกสะท้อนที่ปลายหลอดเลเซอร์ทั้งสองถูกใช้ในการทดลองมาเป็นเวลานาน ทำให้เกิดริ้วรอยอันเนื่องมาจากการทำความสะอาดหลาย ๆ ครั้ง เป็นผลให้คุณภาพของกระจกลดลงและส่งผลให้กำลังทางออกที่ได้ลดลงไปเล็กน้อย ส่วนกราฟรูปที่ 5.4-2 จะเห็นว่าความดันของแก๊สในช่วง 25-35 mmHg เป็นช่วงที่เหมาะสมในการใช้งานมากที่สุดเพราะให้กำลังทางออกสูงที่สุดและคงที่ตลอดช่วง และจากรูปที่ 5.4-3 และ 5.4-4 เป็นภาพแสดงรูปร่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของลำแสงเลเซอร์ที่ได้ จะเห็นว่า ความเข้มของลำแสงสูงที่สุดจะอยู่ในแนวแกนกลางของลำแสง ซึ่งเป็นลักษณะของลำแสงแบบโหมด TEM$_{00}$ ตรงตามจุดประสงค์ของการออกแบบ ดังนั้นแหล่งกำเนิดที่เราได้สร้างขึ้นจึงมีคุณสมบัติเหมาะกับการนำไปใช้งานในทางการแพทย์มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] AMNON YARIV . OPTICAL ELECTRONICS . Thrid Edition New York USA : CBS College Publishing , 1985

[2] ORAZIO SVELTO . PRINCIPLES OF LASER . Translated by David C. HANNA . NEW YORK : PLenum Press , 1982

[3] J. WILSON and HAWKES . OPTOELECTRONICS An Introduction . New Jersey : Prentice Hall , 1983

[4] L. TARASOV . LASER PHYSICS and Application .Translated by M. Edelev . MOSCOW : Mir Publishers , 1986

[5] JEFF HECHT . THE LASER GUIDEBOOK . New York : McGRAW - HILL BOOK COMPANY , 1986

[6] W.W. Rigrod . " Saturation Effects in High-Gain Lasers . " Journal of Applied Physics , volume 36 , no. 8 (1965) , pp. 2487-2490

[7] L.V. TARASOV . LASER PHYSICS . Translated by RAM S. Wadhwa MOSCOW : Mir Publishers , 1983

[8] วิวัฒน์ เผ่าลินจง." การออกแบบหัวเลเซอร์สำหรับเลเซอร์ผ่าตัด." วิทยานิพนธ์บริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2531.

[9] โสภณ ลีลายุทธ์โท. " การออกแบบและสร้างแหล่งกำเนิดเลเซอร์แบบสามอิเลคโทรด " การประชุมทางวิชาการ วิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 13 , หน้า 50 -60 , ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ , 2533

[10] SAMUEL SEELY . RADIO ELECTRONICS . New York : McGRAW - HILL BOOK COMPANY , 1965

[11] DONALD L. SCHILLING and BELOVE . ELECTRONIC CIRCUITS : Discrete and Integrated .Tokyo : McGRAW - HILL KOGAKUSHA, 1986

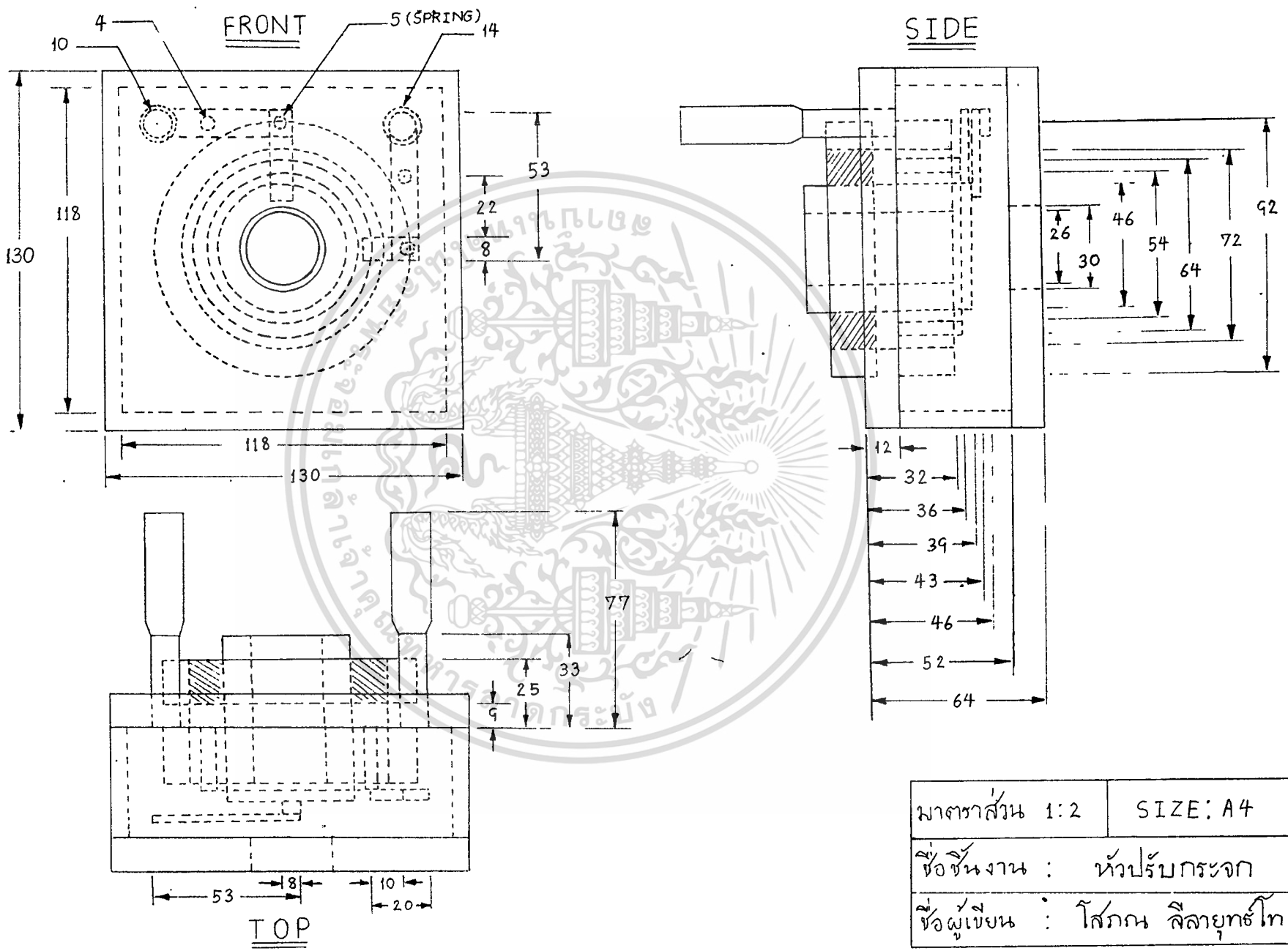
[12] P.K. CHEO. " Steady-state CO_2 laser model. " Journal of Quantum Electron , volume 3 , IEEE(1967) , pp.79-82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

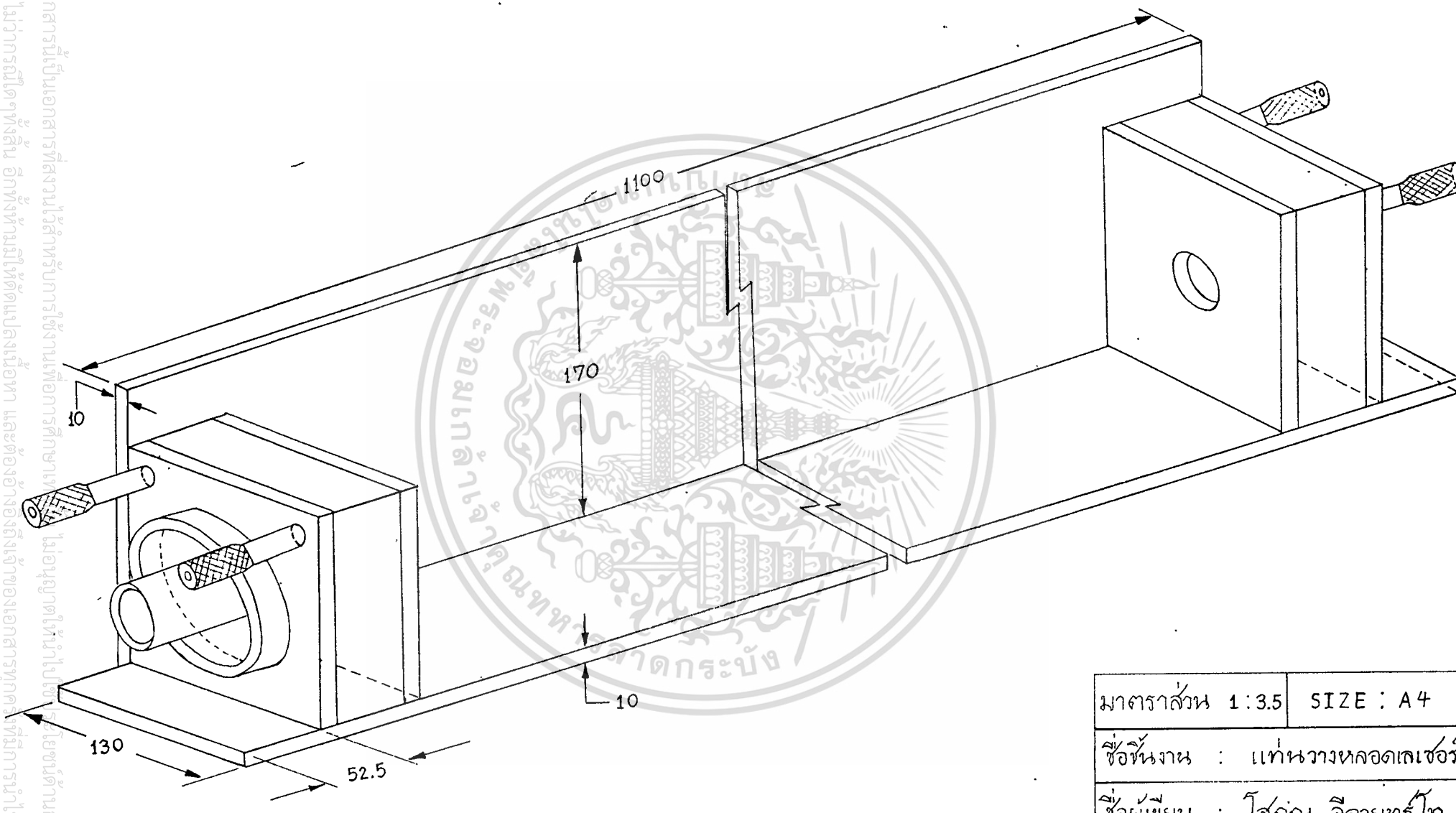
แบบแสดงรายละเอียดของหัวปรับกระจกและแท่นวางแหล่งกำเนิดเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



มาตราส่วน 1:2	SIZE: A4
ชื่อชิ้นงาน : หัวปรับกระจก	
ชื่อผู้เขียน : โสภณ ลีลายุทธ์โท	

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. ๒๕๓๗ ห้ามมิให้ผู้ใดกระทำการใดๆ ที่เป็นการละเมิดลิขสิทธิ์ ไม่ว่าส่วนหนึ่งส่วนใดของเอกสารนี้ เว้นแต่ได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ



มาตราส่วน 1 : 3.5	SIZE : A4
ชื่อชิ้นงาน : แท่นวางหลอดเลเซอร์	
ชื่อผู้เขียน : โสภณ ลีลายุทธ์ไท	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ห้ามนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ยกเว้นได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษร

ภาคผนวก ข

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับการส่งผ่านกระจก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

emical vapor deposited ZnSe is an infrared material transmits from .5 microns in the visible to 22 microns infrared.

e to its low absorptivity at several laser wavelengths (as .0005 cm-¹ at 10.6 microns) ZnSe is excellent in many systems for lenses, windows, output couplers and splitters. For high power applications, it is critical that aterial bulk absorption and internal defect structure be ully controlled, that minimum-damage polishing ology be employed in fabricating the optics, and that ighest quality optical thinfilm coatings optimized to ype of application be utilized. II-VI employs a CO_2 vacuum calorimeter capable of resolving fractional ption into the 10^{-5} range to monitor its production essing and to constantly improve finished product rmance. Our Quality Assurance department will provide g and certification of specific optics.

Because of its broad transmission range and specifically its low absorption and scatter in the 8 to 14 micron region, ZnSe is a standard material for use in FLIR and other infrared instrument or imaging systems. II-VI offers a large selection of AR, reflective and beamsplitter coatings which can be tailored to specific application needs. Several representative examples follow in this catalog.

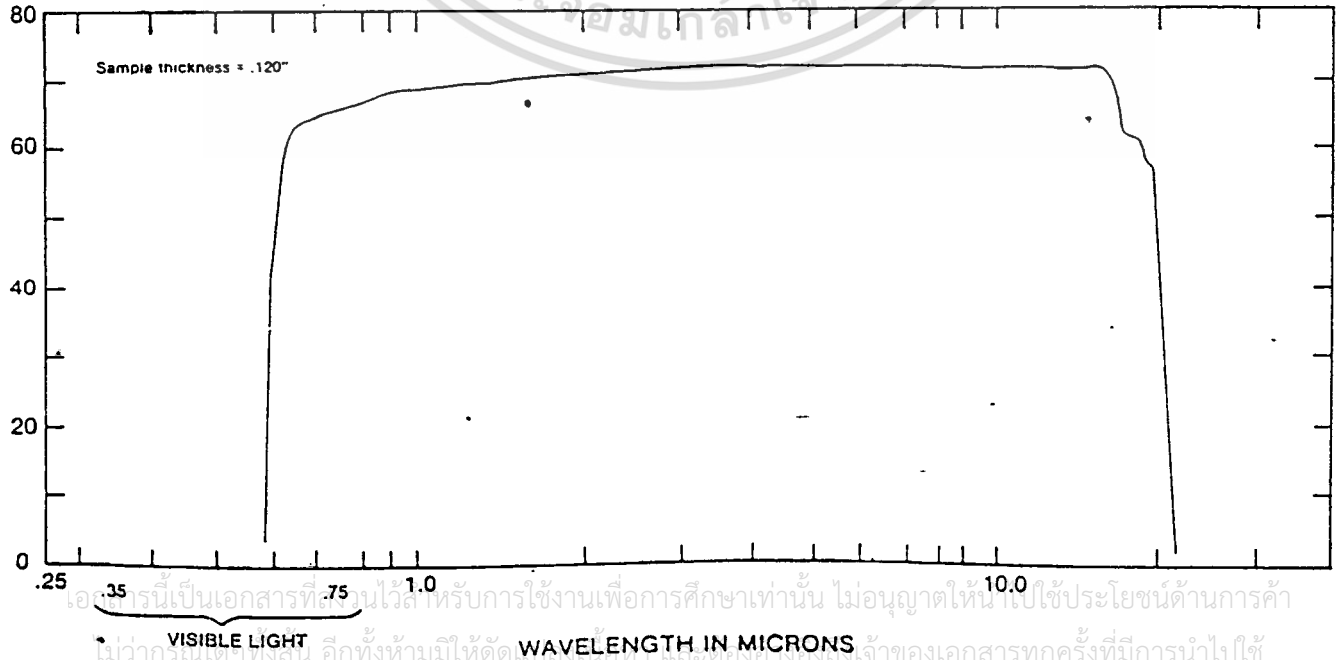
ZnSe optics are routinely polished at diameters of 10 to 15 cm, and sizes in excess of 30 cm diameter and 2.5 cm thick have been manufactured to customer requirements.

ZnSe is non-hygroscopic, chemically stable unless treated with strong acids, and safe to use in industrial and field applications as well as in laboratory environments.

MATERIAL PROPERTIES

Bulk Absorptivity (cm-¹ @ 10.6 μm)	≤ .0015	Temperature Change of Refractive Index (10^{-6}/C°)	64.
Thermal Conductivity (W/cm-C°)	.18	Refractive Index @ 10.6 μm	2.40
Thermal Expansion Coefficient (10^{-6}/C°)	7.6	Hardness (Knoop)	130.
		Rupture Modulus (psi)	8000.

TRANSMISSION OF UNCOATED ZnSe



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

emi-insulating optical GaAs provides an alternative to in medium and high power CW CO_2 laser systems for s and beamsplitters. GaAs is particularly useful in cations where toughness and durability are important rdness and strength make GaAs a good choice where or abrasive particles from a workpiece tend to buildup r bombard an optical surface. Softer substrates allow cles to embed in the optic even when the best of ngs is used. Often in cases where frequent cleaning by g is required, use of GaAs will extend optic lifetime. CW CO_2 laser output coupler applications, where the e surface Fresnel reflection of GaAs (R = 28%) can be a tough coupler with minimum coating absorption (no oating) is produced which can operate into the multi-kilowatt range. The residual absorption due to the substrate and AR coating is effectively conducted out of the optic by the good thermal conductivity of GaAs (2.67 times that of ZnSe).

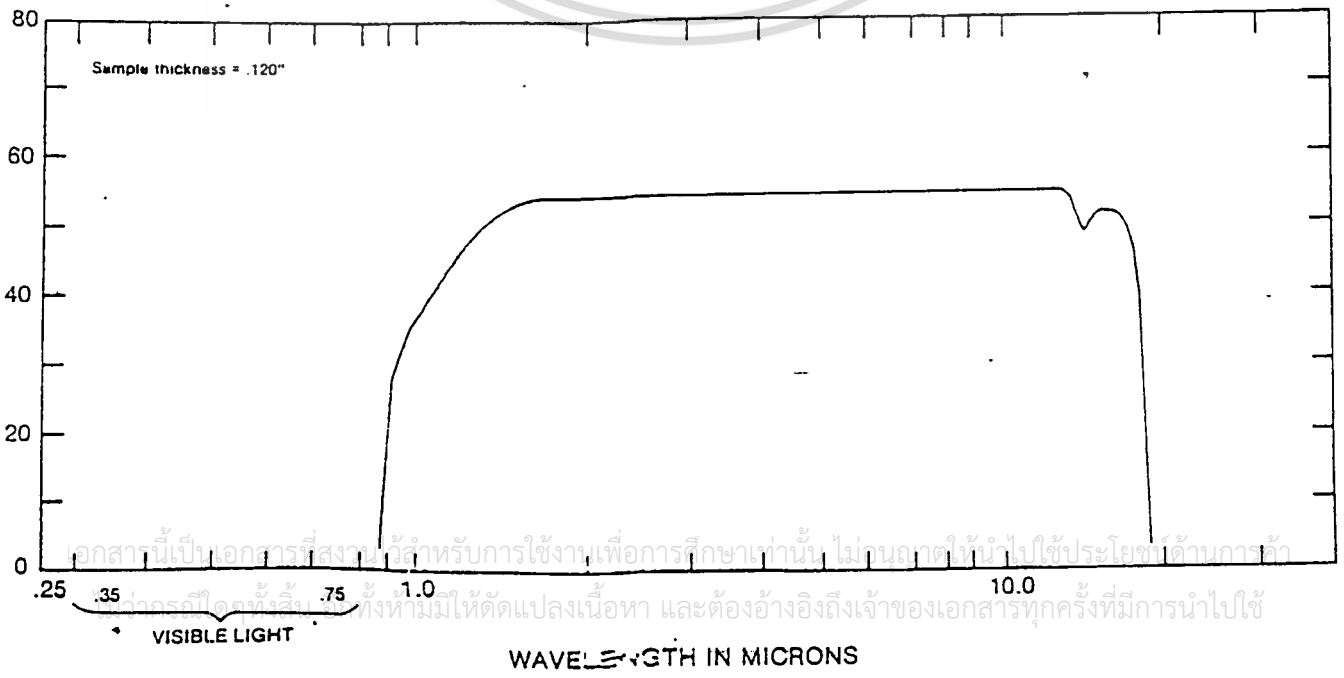
In these and other GaAs CO_2 laser applications, reliable control of substrate quality is crucial. At II-VI we utilize our laser vacuum calorimetry capability and other inspection techniques to screen out material with voids, inclusions or other defects which cause inferior GaAs performance.

GaAs optics are limited by crystal growth technology to dimensions in the 5 to 7 cm range. The material is non-hygroscopic, safe to use in laboratory and field applications and it is chemically stable except when contacted with strong acids.

MATERIAL PROPERTIES

Bulk Absorptivity (cm^{-1} @ 10.6 μm)	≤ .010	Temperature Change of Refractive Index (10^{-6}/C°)	149.
Thermal Conductivity (W/cm-C°)	.48	Refractive Index @ 10.6 μm	3.27
Thermal Expansion Coefficient (10^{-6}/C°)	5.7	Hardness (Knoop)	750.
		Rupture Modulus (psi)	20000.

TRANSMISSION OF UNCOATED GaAs



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ermanium is a versatile infrared material used commonly aging systems and instruments in the 2 to 12 micron tral- region It is utilized as a substrate for lenses, ows and output couplers for low power CW as well as ed TEA CO_2 lasers. The lowest absorbing Ge optics are ed to a throughput power range of 50 to 100 watts e the onset of significant thermal lensing or nal runaway. These problems can be affected by the taken to heatsink the optic and the maintenance of ntaminated optical surfaces.

e is non-hygroscopic and non-toxic and has good thermal uctivity, excellent surface hardness and good strength carefully monitors the 10.6 micron absorptivity of Ge used in laser applications to assure that thermal lensing or thermal runaway and fracture will be minimized.

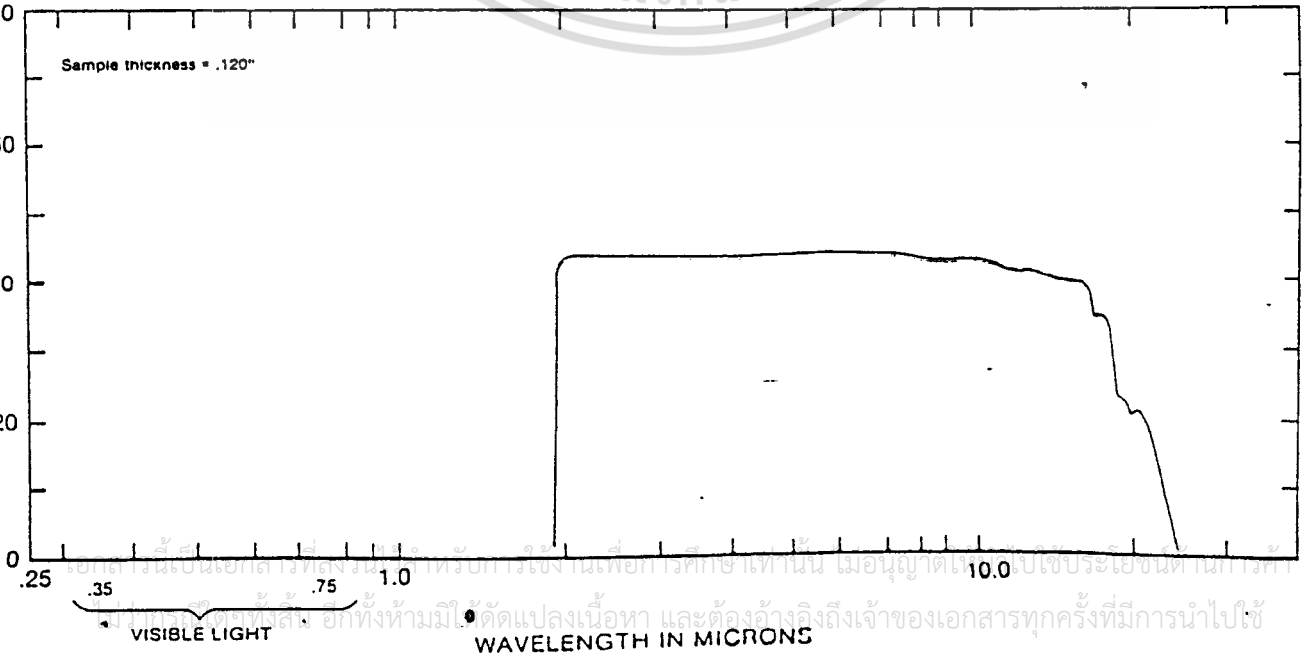
One ideal laser application for Ge is a 99+ percent reflecting back mirror for CO_2 lasers with built-in power meters. A 99.0 to 99.5 percent reflecting low absorption dielectric coating is put on one side and an AR coating on the other. The laser operates on the 99+ percent feedback and the power that leaks through the Ge optic is monitored by a power meter. II-VI supplies these optics for a number of commercial laser models.

Ge is also a popular choice as a substrate for a variety of infrared filters.

MATERIAL PROPERTIES

Bulk Absorptivity (cm^{-1} @ 10.6 μm)	≤ .030 @ 25C°	Temperature Change of Refractive Index (10^{-6}/C°)	277.
Thermal Conductivity (W/cm-C°)	.59	Refractive Index @ 10.6 μm	4.00
Thermal Expansion Coefficient (10^{-6}/C°)	5.7	Hardness (Knoop)	692.
		Rupture Modulus (psi)	13500.

TRANSMISSION OF UNCOATED Ge



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

admium telluride has an infrared transmission range which nds from one micron in the near IR to greater than 25 ons in the mid-IR The absorptivity of II-VI electrooptic e CdTe at 10 6 microns is low at < 002 cm^{-1} however. o its thermal conductivity (approximately a third that of e) CdTe is limited to use in CO_2 laser systems with CW er levels up to a few hundred watts

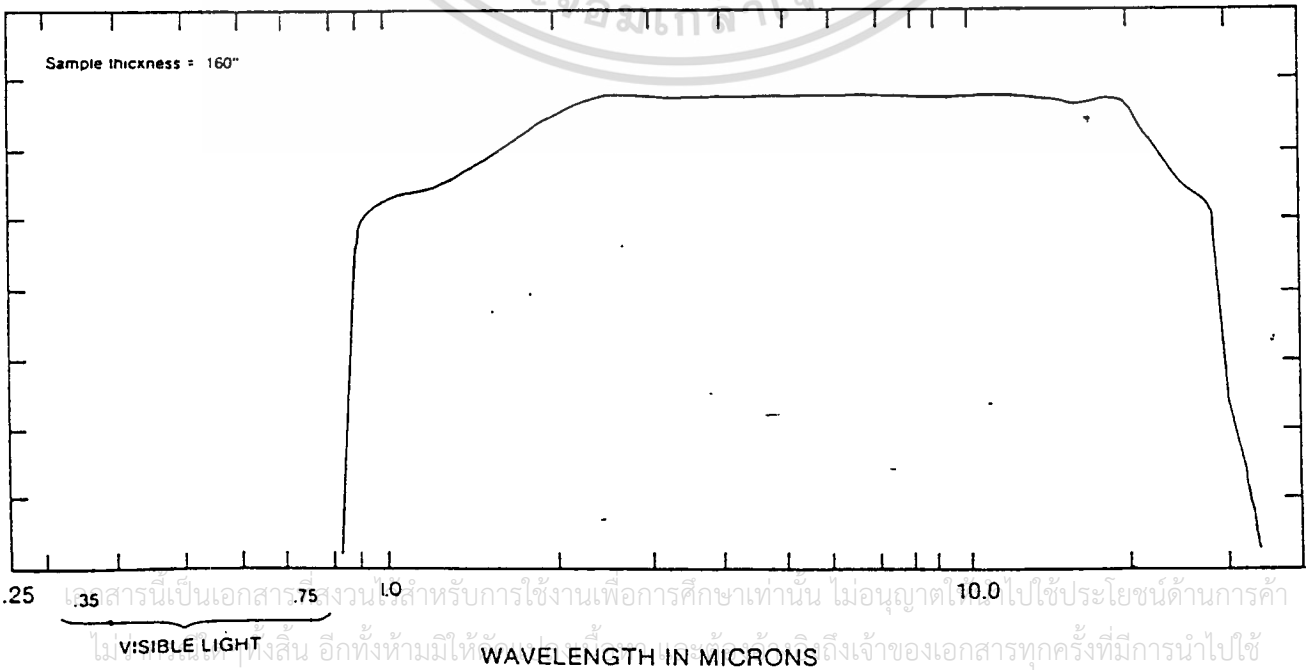
CdTe is used successfully as an output coupler in some commercial CO_2 lasers.

CdTe is an ideal choice for filter substrates in the 12 to 25 micron region where many materials have lowered and variable transmission due to the presence of absorption bands

MATERIAL PROPERTIES

Bulk Absorptivity (cm^{-1} @ 10.6 μm)	≤ .0018	Temperature Change of Refractive Index (10^{-6}/C°)	107
Thermal Conductivity (W/cm-C°)	.06	Refractive Index @ 10.6 μm	2.67
Thermal Expansion Coefficient (10^{-6}/C°)	5.9	Hardness (Knoop)	45.
		Rupture Modulus (psi)	3200.

TRANSMISSION OF UNCOATED CdTe



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data

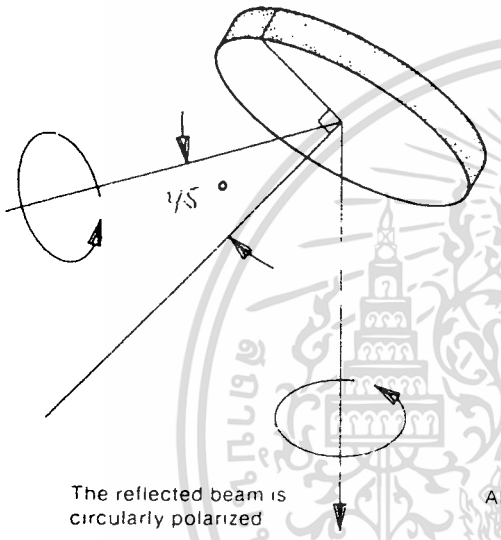
Product Type 0° Phase Shift Mirror

Customer LASER LEE GROUP

Purchase Order 6-22-92

II-VI Sales Order 60937

Description Dia. 10"X0.250" (SM-)



The reflected beam is circularly polarized

TEST PARAMETERS

All tests are performed at 10.6μ at 45 degrees angle of incidence

A witness sample from each coating run is tested for percent absorption at 10.6μ 45 degrees AOI

Absorption 0.51 % on W.S. @ 45 AOI

SERIAL NUMBER	% REFLECTIVITY	PHASE RETARDATION
80-22083-12	99.5	0.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นาย รสภณ ลีลายุทธ์โท เกิดเมื่อวันที่ 8 กันยายน พ.ศ.2509 ที่จังหวัดชลบุรี เป็นบุตรชายคนโตในจำนวนพี่น้อง 4 คนของ นายสันติและนางฮุ้น ลีลายุทธ์โท สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาระบบควบคุม จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2530 เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2531 มีผลงานทางวิชาการที่ได้รับการยอมรับนอกเหนือจากวิทยานิพนธ์จำนวน 1 เรื่อง ได้แก่ การออกแบบและสร้างแหล่งกำเนิดเลเซอร์แบบสามอิเลคโทรด เคยได้รับทุนการศึกษาขณะศึกษาในระดับปริญญามหาบัณฑิต เมื่อปีการศึกษา 2532 ประสพการณ์การทำงานเคยเป็นอาจารย์พิเศษสอนนักศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต ภาควิชาระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2531 ถึง 2532

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้