

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

Nitrogen Laser



Mr. Chapkit Chansamorn

Mr. Wanchart Jatisatain

๑/๑๗.
๙/๓๖๘๗
๒๕๓๔

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

๖๑๒๕๒๗๙๖

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirement for the degree of Bachelor of Science
Department of Applied Physics
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1991

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ Nitrogen Laser

โดย นาย ชภัคดี ชาณสมร

นาย วันชาติ จาติเสถียร

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

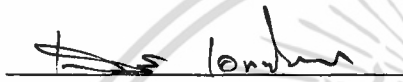
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. อารีย์ วิเชียรฉาย

ผศ.ดร. จันทรชัย หึงงประยูร

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

ลาดกระบัง อนุมัติให้เปิดโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตร

วิทยาศาสตร์บัณฑิต



(ดร. เสน่ห์ เอกะวิภาต)

หัวหน้าภาค

คณะกรรมการโครงการพิเศษ



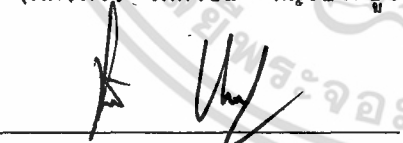
(ดร. เสน่ห์ เอกะวิภาต)

ประธานกรรมการ



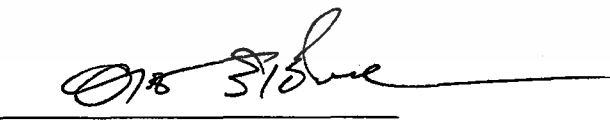
(ผศ.ดร. จันทรชัย หึงงประยูร)

กรรมการ



(อ. จิตติ หนูแก้ว)

กรรมการ



(ผศ.ดร. อารีย์ วิเชียรฉาย)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ ไนโตรเจนเลเซอร์
นักศึกษา นาย ชัพกิตต์ ชาตุสมร
นาย วันชาติ จาติเสกียร
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. อารีย์ วิเชียรฉาย
ผศ.ดร. จันทรชัย หึงงประยูร
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา 2534

บทคัดย่อ

ไนโตรเจนเลเซอร์ที่ทำขึ้นนี้ ได้ออกแบบให้ใช้เทคนิคที่ไม่ซับซ้อนและใช้วัสดุ
ที่หาได้ง่าย ขบวนการประชากรผกผัน (Population Inversion) เกิดขึ้นจากการปล่อย
ประจุตามขวางอย่างรวดเร็วด้วยวงจรมัลติปลิว ตัวเก็บประจุสร้างขึ้นจากแผ่นปรินซ์อิพอกซี
สองหน้าขนาด $26 \times 26 \times 0.2 \text{ cm}^3$ ใช้แผ่นทองแดงบางเรียบสองแผ่นขนาดกว้าง 25 cm
วางไว้ห่างกัน 1 cm ในช่องปล่อยประจุ (Discharge Channel) ซึ่งมีก๊าซไนโตรเจน
ไหลผ่าน ประจุไฟฟ้าจะถูกชาร์ตเก็บไว้ในตัวเก็บประจุด้วยไฟฟ้าแรงสูงจากหม้อแปลงของ
หลอดนีออน

Special Project Title Nitrogen Laser
Name Mr. Chapkit Chansamorn
Mr. Wanchart Jatisatain
Special Project Advisor Asst.Prof.Dr. Aree Wichianchai
Asst.Prof.Dr. Chanchai Yingprayoon
Department Applied Physics
Academic Year 1991

Abstract

A simple and low cost nitrogen laser has been designed and constructed , using locally available equipments and simple techniques. A parallel plate Blumline-type structure shunted by spark gap was used to obtain a fast transverse discharge which population inversion can be achieved. Each of storage and forming capacitors was form on a piece of epoxy circuit board of 26*26*0.2 cm³. The seperation of the knife edge shaped copper foil electrode is adjusted to 1 cm. The length of electrode is 25 cm. Nitrogen gas is flushed in the discharge channel,at constant rate. A half wave rectified 15 kV neon transformer is used for charging.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
(ข)

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายฝ่ายด้วยกัน
ผู้เขียนขอขอบคุณ

คุณพ่อ เอี้ยงฮั่ว แซ่เจ็ย คุณแม่สมานมิตร คัมมีสา คุณพ่อชอบ ชาตุสมร
คุณแม่กัลหา ชาตุสมร และที่ ๆ ซึ่งคอยให้กำลังใจ อุปการะให้ได้รับการศึกษาจนถึง
ระดับอุดมศึกษา

ผศ.ดร. จันท์ชัย หญิงประยูร อาจารย์ที่ปรึกษาผู้ให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทาง
ในการแก้ปัญหาและการดำเนินงานตลอดมา

ผศ.ดร. อารีย์ วิเชียรฉาย อาจารย์ที่ปรึกษาผู้ให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางใน
การดำเนินงาน

อ.ธนากร โอสถจันทร์ อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยมหิดล ผู้ให้คำ
ปรึกษาและอุปกรณ์ในการดำเนินงาน

อ.สนิท หมอกมิด และ คุณ ธวัชชัย ชาวประเสริฐ เอื้อเฟื้อเครื่องมือและอุปกรณ์
ตลอดจนให้ความสะดวกในการใช้เครื่องมือในโรงงาน

เอ๋, เจ็ยบ สกิติ1 ตู๊ดตุ่ ฟิสิกส์1 แอน เคมี2 ใหญ่ เคมี4 ตา ชีวะ4 และอ้อ
คณิต4 ช่วยให้การพิมพ์ต้นฉบับด้วยความอดทนจนกระทั่งเสร็จเรียบร้อย

ห้องสมุดกลางและห้องสมุดคณะวิทยาศาสตร์ เอื้อเฟื้อหนังสือสำหรับการค้นคว้า

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ชั้นปี 4 ทุกท่านที่ทำให้
กำลังใจ ให้ความร่วมมือและข้อเสนอแนะ ซึ่งเป็นประโยชน์ที่ไม่สามารถกล่าวนามได้ทั้งหมด
มา ณ ที่นี้ด้วย

(ชภัทิตต์ ชาตุสมร)


(วันชาติ จาติเสถียร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
(ค)

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่วัดได้.....42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
(๖)

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เลเซอร์กับวิชาการแขนงต่าง ๆ.....	2
รูปที่ 2.1 แสดงระบบเลเซอร์.....	5
รูปที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบความบริสุทธิ์สเปกตรัมทางความถี่ระหว่าง แสงทางอาร์คแลมป์กับแสง เลเซอร์.....	6
รูปที่ 2.3 แสดงการบานปลายของสามแสง เลเซอร์.....	7
รูปที่ 2.4 แสดงการมีคุณสมบัติโคเฮียร์เรนซ์และการไม่มีคุณสมบัติโคเฮียร์เรนซ์.....	8
รูปที่ 2.5 แสดงระดับพลังงานของอะตอม.....	10
รูปที่ 2.6 แสดงระดับพลังงานก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงของอะตอม.....	12
รูปที่ 2.7 แสดงการเกิดประชากรผกผัน โดยวิธี three level optical pumping.....	18
รูปที่ 2.8 แสดงการเกิดประชากรผกผัน โดยเกี่ยวข้องกับระดับพลังงาน 4 ระดับ.....	19
รูปที่ 2.9 แสดงการเคลื่อนที่ของแสงแบบเกาส์.....	21
รูปที่ 2.10 แสดงการจัดกระจกเพื่อเป็น Resonator แบบต่าง ๆ.....	23
รูปที่ 3.1 แสดงระดับพลังงานของไนโตรเจน.....	27
รูปที่ 3.2 แสดงการสร้างตัวเก็บประจุ.....	30
รูปที่ 3.3 แสดงการต่อตัวเก็บประจุ 2 ตัว ด้วยตัวเหนี่ยวนำ.....	31
รูปที่ 3.4 แสดงการเกิดกลไกการทํางานแบบเปิด-ปิด.....	32
รูปที่ 3.5 แสดงส่วนประกอบของระบบไนโตรเจนเลเซอร์.....	33
รูปที่ 4.1 แสดงตัวเก็บประจุที่สร้างขึ้นจากแผ่นปรินซ์อ็อกไซด์.....	34
รูปที่ 4.2 แสดงตัวเก็บประจุที่สร้างขึ้นอีกวิธีหนึ่ง.....	35
รูปที่ 4.3 แสดงห้องซิงกาซที่สร้างขึ้นจากแผ่นอะคริลิค.....	36
รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะรูปร่างของขั้วปล่อยประจุ.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ (จ) และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5	แสดงการยึดเหนี่ยวกันระหว่างอ็อกซานิมเลกุลในสภาวะสมดุล.....	40
รูปที่ 4.6	แสดงการเกิด Stroke shift.....	40
รูปที่ 5.1	แสดงการใช้นิโตรเจนเลเซอร์ ทำการบ่มตัดสายเลเซอร์.....	43
รูปที่ 5.2	แสดงนิโตรเจนเลเซอร์ที่สร้างขึ้น.....	44



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข (ด) และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อปัญหาพิเศษ ภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อปัญหาพิเศษ ภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญตาราง.....	ง
สารบัญรูปภาพ.....	จ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 หลักการของ เลเซอร์.....	3
2.1 ประเภทของ เลเซอร์.....	3
2.1.1 จัดแบ่ง เลเซอร์ตามสถานะของตัวกลาง เลเซอร์.....	3
2.1.2 จัดแบ่ง เลเซอร์ตามสภาวะของตัวกลาง เลเซอร์.....	4
2.2 ระบบเลเซอร์.....	4
2.2.1 ตัวกลาง เลเซอร์.....	4
2.2.2 ระบบจ่ายกำลัง.....	4
2.2.3 ออปติคัลเรโซเนเตอร์.....	5
2.3 คุณสมบัติของแสง เลเซอร์.....	5
2.3.1 โหมดโคโรมาติซิตี.....	5
2.3.2 ใดเรคชันแนลลิตี้.....	7
2.3.3 การบานปลาย (Divergence).....	7
2.3.4 ความเจิดจ้า.....	8
2.3.5 โครเฮียร์เรนซ์.....	9
2.4 อันตรกิริยาระหว่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและระบบอะตอม.....	10
2.5 ความสัมพันธ์ของไอน์สไตน์(Einstien Relation).....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 กลไกการเกิดเลเซอร์.....	12
2.7 Round Trip Gain.....	13
2.8 เสถียรภาพของ Resonator.....	14
บทที่ 3 ไนโตรเจนเลเซอร์.....	25
3.1 Molecular Laser.....	25
3.2 ไนโตรเจนเลเซอร์.....	26
3.2.1 หลักการของไนโตรเจนเลเซอร์.....	26
3.2.2 หลักการและขั้นตอนในการสร้างไนโตรเจนเลเซอร์.....	29
บทที่ 4 หลักการสร้างไนโตรเจนเลเซอร์อย่างง่าย.....	34
4.1 วิธีการสร้าง.....	34
4.2 ผลการทดสอบ.....	41
บทที่ 5 สรุปลงและเสนอแนะ.....	43
5.1 สรุปลง.....	43
5.2 เสนอแนะ.....	45
บรรณานุกรม.....	46
ภาคผนวก.....	47
ประวัติผู้เขียน 1.....	67
ประวัติผู้เขียน 2.....	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

นับตั้งแต่มีการค้นพบเลเซอร์ระบบแรกของโลก คือ เลเซอร์ทับทิม (Ruby Laser) ใน ค.ศ. 1960 เป็นต้นมาก็ได้มีการพัฒนาประดิษฐ์คิดค้นเรื่อยมา จนกระทั่งสามารถผลิตเลเซอร์ชนิดต่าง ๆ ออกมามากมาย ในปัจจุบันก็ยังคงมีการค้นพบเลเซอร์ชนิดใหม่ ๆ อยู่ตลอดเวลา มีการนำเอาเลเซอร์ไปประยุกต์ใช้ในวงการต่าง ๆ หลายด้านเช่น งานทางด้านอุตสาหกรรม งานทางด้านธุรกิจ หรือแม้แต่งานทางด้านอาหาร และในอนาคตอันใกล้นี้ เลเซอร์จะต้องเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเราอย่างแน่นอน เลเซอร์ จึงได้รับการขนานนามโดยทั่วไปว่าเป็น "เครื่องมือวิทยาศาสตร์ยุคใหม่" (Modern Scientific Instrument)

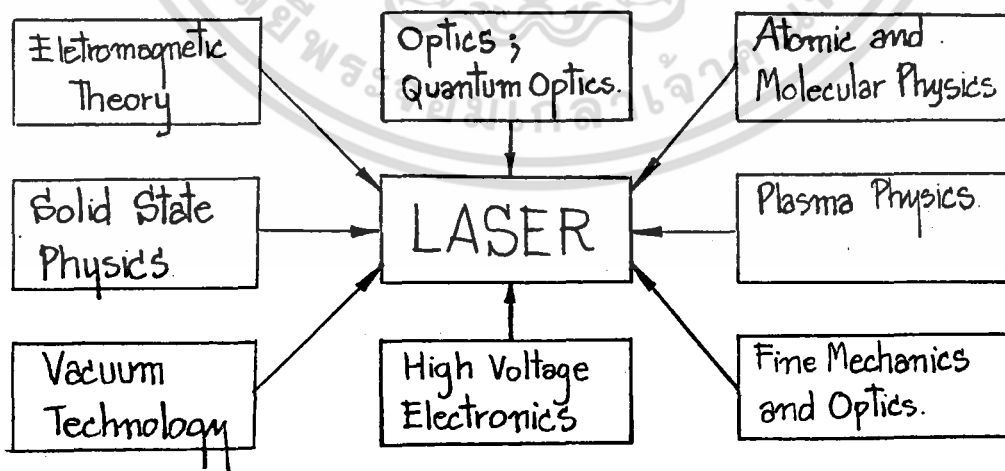
แขนงวิชาที่เกี่ยวข้องกับเลเซอร์นั้น ส่วนใหญ่ได้แก่ Optics, Quantum Optics, High Voltage Electronics และ Vacuum System เลเซอร์จึงเป็นศาสตร์ที่ผสมผสานระหว่างความรู้พื้นฐานและเทคโนโลยีด้านต่าง ๆ ทำให้เกิดเป็นกลไกของเลเซอร์ขึ้นซึ่งอาจสรุปความสัมพันธ์ของแขนงวิชาต่าง ๆ ที่นำมาพัฒนาทางด้านเลเซอร์ได้ดังรูปที่ 1.1

ไนโตรเจนเลเซอร์ (Nitrogen Laser) เป็นตัวอย่างหนึ่งของการศึกษาถึงกลไกการทำงานของเลเซอร์ โดยการนำเอาความรู้ทางด้าน High Voltage Electronics และความรู้ทางด้านฟิสิกส์มาใช้ในการกระตุ้นพลังงานให้กับโมเลกุลของกาซไนโตรเจนนั้น เราจะใช้วิธีการที่เรียกว่า การทำ Gas Discharge โดยใช้แรงดันไฟตรงสูงประมาณ 15,000 โวลต์ พลังงานจะถูกถ่ายทอดให้แก่อะตอมหรือโมเลกุลของกาซโดยการชนด้วยอิเล็กตรอน และการชนกันเองระหว่างโมเลกุลของกาซไนโตรเจน ทำให้โมเลกุลของกาซไนโตรเจน อยู่ในสภาวะถูกกระตุ้น (excited state) ได้จากนั้นบางโมเลกุลจะมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของโฟตอนและจะไปกระตุ้น (stimu-

late) ให้โมเลกุลในสภาวะถูกกระตุ้น (excited state) อื่น ๆ ปลดปล่อยโฟตอนตามออกมาด้วยก็จะได้แสง Laser ออกมา โดยมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงอุลตราไวโอเล็ต จากหลักการดังกล่าวข้างต้น เราสามารถทำเครื่องมือในการผลิตแสงเลเซอร์นี้ได้โดยที่วัสดุที่ใช้ในการสร้างสามารถหาซื้อได้ตามร้านอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป ในส่วนของตัวกลางเลเซอร์ (Laser Medium) คือก๊าซไนโตรเจน เราสามารถใช้ไนโตรเจนจากอากาศหรือก๊าซไนโตรเจนจากถังบรรจุก็ได้ โครงสร้างของเครื่องมือนี้ก็ไม่ซับซ้อนมากนักสำหรับหลักการสร้างจะได้อธิบายไว้ในบทต่อไป

• ลักษณะคุณสมบัติของไนโตรเจนเลเซอร์

1. ใช้การป้อนพลังงานแบบ Gas Discharge โดยที่ใช้ DC High Voltage ประมาณ 15,000 โวลต์
2. ความยาวคลื่น 337.1 nm ปล่อยแสงอยู่ในช่วงอุลตราไวโอเล็ต
3. ไม่จำเป็นต้องมี optical cavity เนื่องจากการเคลื่อนที่ของแสงเพียงเที่ยวเดียวในตัวกลางก็พอเพียงพอที่จะทำให้เกิดเลเซอร์ได้
4. ให้ output เป็นแบบพัลส์ (pulse) แคบ ๆ
5. เหมาะสำหรับเป็นตัวบีมพลังงานแก่ระบบเลเซอร์ชนิดอื่น เช่น ดายเลเซอร์ (Dye Laser) เป็นต้น



รูปที่ 1.1 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลเซอร์กับวิชาการแขนงต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อที่ 2 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการของเลเซอร์

เลเซอร์ (LASER) เป็นคำที่ย่อมาจากคำเต็มว่า Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation ซึ่งหมายความว่า "การแผ่รังสีที่เกิดจากการเปล่งแสงแบบเร้าและมีการขยายสัญญาณคลื่นแสงนั้นด้วย" เงื่อนไขสำคัญของ การเกิด Stimulated Emission นั้นคืออาศัยการเติมพลังงานให้แก่ระบบเลเซอร์ เพื่อ ทำให้เกิดสภาพ Population Inversion ขึ้นในชั้นพลังงานของโมเลกุล หรืออะตอม ของตัวกลางที่ใช้ทำเลเซอร์ ในส่วนของ Light Amplification นั้น วิธีการที่จะขยาย สัญญาณแสงนี้ได้แก่ การสร้าง Optical Cavity ให้แก่ระบบเลเซอร์ ซึ่งก็เป็นหลักการ ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของเลเซอร์ เพื่อเพิ่มระยะทางเดินของแสงผ่านตัวกลางของเลเซอร์ จนเกิด Laser Gain ขึ้น

2.1 ประเภทของเลเซอร์ (Type of Laser)

โดยทั่วไปมักจะจัดแบ่งประเภทของเลเซอร์ตามสถานะของสารที่ใช้ทำเลเซอร์ หรือ ตัวกลางเลเซอร์ (Laser Medium) ซึ่งเป็นตัวหลักสำคัญในการใช้ผลิตแสงเลเซอร์ หรืออาจจะพิจารณาจากสภาวะของสารเลเซอร์ก็ได้ ดังนั้นการจัดแบ่งประเภทของเลเซอร์ อาจทำได้ดังนี้

2.1.1 จัดแบ่งเลเซอร์ตามสถานะของสารเลเซอร์ แบ่งออกเป็น 3 อย่าง คือ สถานะที่เป็นแบบของแข็ง (solid), เป็นแบบของเหลว (liquid) และเป็นแบบก๊าซ (gas)

โซลิดสเตทเลเซอร์ (Solid State Laser) ใช้ตัวกลางเลเซอร์ (Laser Medium) เป็นสถานะของแข็งในรูปของผลึก เช่น ผลึกทับทิม (Ruby Crystal) หรือสาร กึ่งตัวนำ เช่น GaAs เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 3 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิควิดเลเซอร์ (Liquid Laser) ใช้ตัวกลางเลเซอร์ (Laser Medium) ที่มีสถานะเป็นของเหลว (liquid) ได้แก่ สารละลายสีย้อม (Dye Solution) ซึ่งมีตัวถูกละลายเป็น Dye ชนิดต่าง ๆ เช่น Rhodamine 6G

ก๊าซเลเซอร์ (Gas Laser) ใช้ตัวกลางเลเซอร์ (Laser Medium) ที่มีสถานะเป็นก๊าซ (gas) ได้แก่ He+Ne , N₂ , CO₂+N₂+Ne , Argon เป็นต้น

2.1.2 จัดแบ่งเลเซอร์ตามสภาวะของสารที่ใช้ทำเลเซอร์ แบ่งออกเป็น 3 ชนิดเช่นกัน คือ สารที่ใช้ทำเลเซอร์มีสภาวะเป็น โรมเลกุล , อะตอม หรืออยู่ในสภาวะแบบไอออน

อะตอมมิคเลเซอร์ (Atomic Laser) ตัวกลางเลเซอร์อยู่ในสภาวะที่เป็นอะตอม (Atom) โดยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานแบบ Stimulated Emission ระหว่างระดับพลังงานของอะตอมในตัวกลางเลเซอร์ ได้แก่ ฮีเลียมนีออนเลเซอร์ (He-Ne Laser)

โมเลคิวลาร์เลเซอร์ (Molecular Laser) ตัวกลางเลเซอร์อยู่ในสภาวะเป็นโมเลกุล (Molecule) ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ (CO₂ Laser), ไนโตรเจนเลเซอร์ (N₂ Laser)

ไอออนเลเซอร์ (Ion Laser) ตัวกลางเลเซอร์จะอยู่ในสภาวะไอออน ได้แก่ อาร์กอนไอออนเลเซอร์ (Ar⁺ Laser) เป็นต้น

2.2 ระบบเลเซอร์ (Laser System)

ระบบเลเซอร์โดยทั่วไปแล้วจะประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญ 3 องค์ประกอบ คือ

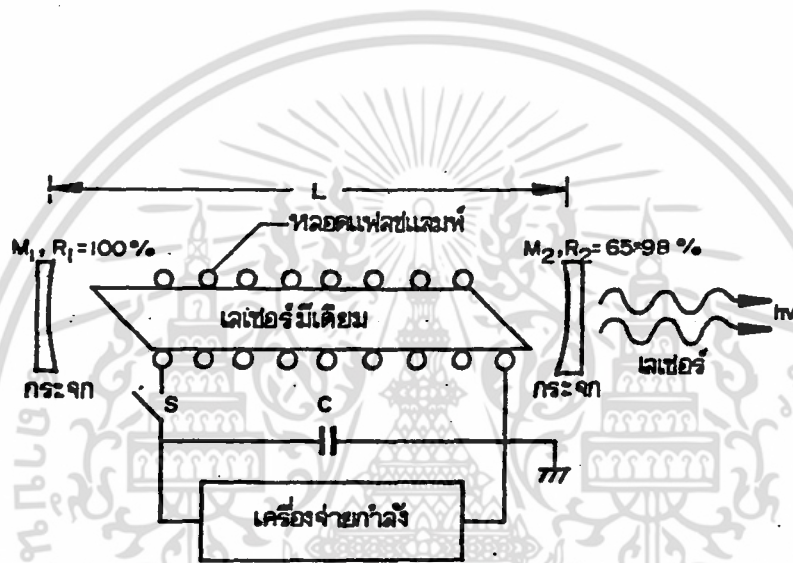
2.2.1 สารที่ใช้ทำเลเซอร์ หรือที่เรียกว่า ตัวกลางเลเซอร์ (Laser Medium) ต้องมีคุณสมบัติที่สามารถทำให้เกิดประชากรผกผัน (Population Inversion) ได้ เช่น แท่งผลึกทับทิม , ก๊าซผสมระหว่างฮีเลียมและนีออน , สารละลายสีย้อม เป็นต้น

2.2.2 ระบบจ่ายกำลัง (Power Supply) เพื่อกระตุ้นตัวกลางเลเซอร์ให้

เกิดมีประชากรผกผัน ทำให้ได้หลายรูปแบบ เช่น gas discharge , optical pumping

2.2.3 ออปติคัลเรโซเนเตอร์ (Optical Resonator) หน้าที่ทำให้

โฟตอนสะท้อนกลับไปกลับมาผ่านตัวกลางเลเซอร์ โดยที่ตัวกลางเลเซอร์จะได้ขยายโฟตอน
 นี้ทำให้มีความเข้มสูงมากจนในที่สุดก็จะกลายเป็นแสงเลเซอร์ โดยทั่วไปจะใช้กระจกที่มีค่า
 สะท้อนกลับไม่เท่ากัน ติดที่หัวและท้ายของตัวกลางเลเซอร์



รูปที่ 2.1 แสดงระบบเลเซอร์ โดยทั่วไปมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ ตัวกลางเลเซอร์ (Laser Medium), เครื่องจ่ายกำลัง (Power Supply) และ ออปติคัลเรโซเนเตอร์ (Optical Resonator) ซึ่งประกอบด้วย กระจก M_1, M_2

2.3 คุณสมบัติของแสงเลเซอร์

2.3.1 โมโนโครมาติซิตี (Monochromaticity) หมายถึง แสงที่มีเพียง

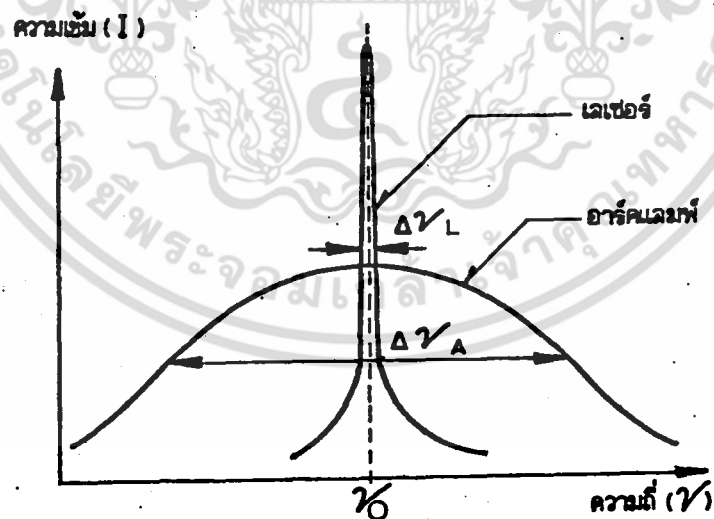
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่เดียว ในห้องปฏิบัติการทั่วไปเราได้แสงโมนโครมาติกจากหลอดปล่อยประจุของก๊าซ (discharged tube) เป็นต้น เราจะพบว่าความถี่ของแสงนั้นมิได้เป็นความถี่เดียว แต่จะมีการกระจายของความถี่ $\Delta\nu$ ซึ่งหาได้จากสมการ

$$\Delta\nu = - (c/\nu^2) \cdot \Delta\lambda \quad (2.1)$$

$$\text{หรือ} \quad \Delta\lambda = - (c/\nu^2) \Delta\nu \quad (2.2)$$

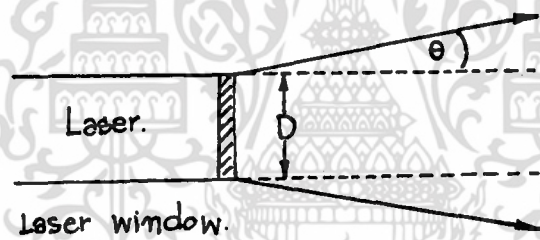
โดยทั่วไปเราเรียก $\Delta\nu$ ว่า ไลน์วิธ (line width) หรือ สเปกตรัลวิธ (spectral width) แสงที่มีความเป็นโมนโครมาติกมากน้อยอย่างไรนั้น ขึ้นอยู่กับค่า $\Delta\nu$ สำหรับหลอดปล่อยประจุ มีค่า $\Delta\lambda \approx 0.01 \mu\text{m}$ หรือ $\Delta\nu \approx 10^{15} \text{ Hz}$ สำหรับแสงเซอร์นั้น $\Delta\nu$ จะมีค่าอยู่ระหว่าง $1 \text{ MHz} - 1 \text{ GHz}$ ($10^6 - 10^9 \text{ Hz}$) ซึ่งเราจะเห็นว่า แสงเลเซอร์มีคุณสมบัติในด้านโมนโครมาติซึ่สูงกว่าแสงชนิดอื่น โดยถ้าเป็น monochromatic ที่สมบูรณ์ เราจะได้ $\Delta\nu = 0$ ดังแสดงเปรียบเทียบในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบถึงความบริสุทธิ์ของสเปกตรัมทางความถี่ระหว่างแสงทางอาร์คแลมป์ (arc lamp) กับแสงเลเซอร์ $L \gg A$

2.3.2 ใคเรคชั่นแนลลิตี้ (Directionality) แสงเลเซอร์ที่ถูกผลิตออกมา นั้นมีทิศทางในการเคลื่อนที่ที่แน่นอน ไม่กระจายออกไปโดยรอบ เนื่องจากเลเซอร์เกิดจากขบวนการ Stimulated Emission และมี Optical resonator ซึ่งเป็นกระจกที่มีค่าสะท้อนกลับ (reflectivity) สูง ดังนั้นแสงเลเซอร์จะถูกผลิตออกมาเฉพาะบริเวณที่มีกระจก และในทิศทางในแนวแกน Optical resonator เท่านั้น จึงทำให้เลเซอร์สามารถเดินทางออกไปจากแหล่งกำเนิดแสงได้ระยะทางไกลมาก ๆ

2.3.3 การบานปลาย (Divergence) คุณสมบัติที่เด่นชัดอีกข้อ คือ แสงเลเซอร์มีการบานปลายของลำแสงน้อยมากซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติใคเรคชั่นแนลลิตี้ คือ แสงเลเซอร์จะมีใคเรคชั่นแนลลิตี้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับมุมเบี่ยงเบน (divergence angle), θ ของเลเซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงการบานปลายของลำแสงเลเซอร์

โดยทั่วไปแล้วแสงเลเซอร์จะมีค่าประมาณ 1.0 - 2.0 มิลลิเรเดียน (milliradian) ซึ่งมีค่าน้อยมาก เราสามารถคำนวณหาค่า ได้ ตามสมการ

$$\theta = \lambda / D \quad (2.3)$$

โดยที่ λ เป็นความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์

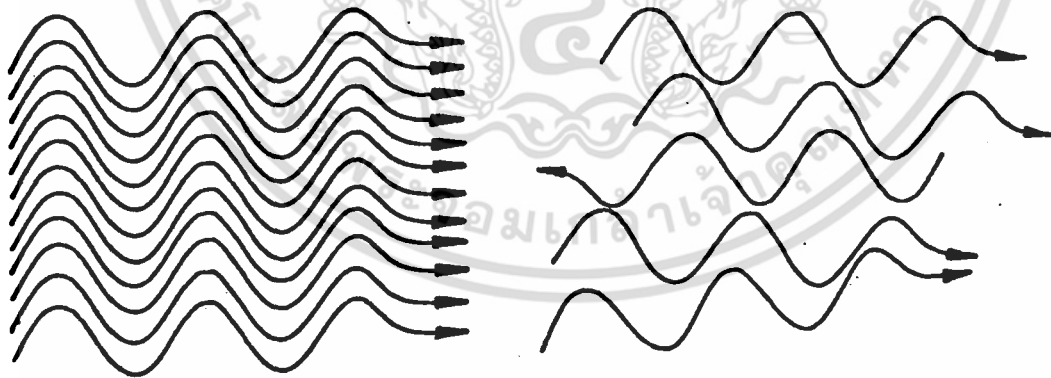
D เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของลำแสง

2.3.4 ความเจิดจ้า (Brightness) เนื่องจากแสงเลเซอร์เป็นแสงแบบ โรมโนโครมาติก และพลังงานของแสงจะอยู่ในบริเวณแคบ ๆ ของสเปกตรัมโลว์นั้กวัด $\Delta\nu$ ถึงแม้ว่าแสงเลเซอร์บางชนิดที่มีกำลังต่ำ แต่เราจะพบว่าความเจิดจ้าของมันและความหนาแน่นของพลังงานจะสูงมาก ถ้ากำหนดให้ P เป็นกำลังของแสงเลเซอร์ เราจะได้ความเจิดจ้าที่วัดเทียบเป็นอุณหภูมิ T_B (K) ได้ดังนี้

$$T_B = P / [K_B(\Delta\nu)] \quad (2.4)$$

เมื่อ $K_B = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K (Boltzmann's constant)

นอกจากนั้นเรายังสามารถโฟกัสแสงเลเซอร์ให้เป็นจุดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง เล็กประมาณ $1 - 10 \mu\text{m}$ ซึ่งเป็นการทำให้แสงเลเซอร์มีความหนาแน่นของพลังงาน และความหนาแน่นของโฟตอนสูงมากด้วย



รูปที่ 2.4 แสดงการมีคุณสมบัติโคฮีเร้นซ์และการไม่มีคุณสมบัติโคฮีเร้นซ์

2.3.5 โคฮีเรนซ์ (Coherence) คือความเป็นระเบียบของคลื่น คลื่นจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันโดยมีเฟสเหมือนกัน (In Phase) จึงมีหน้าคลื่น (Wave Front) ร่วมกัน คลื่นที่เป็นระเบียบย่อมมีพลังงาน และโมเมนตัมรวมมากกว่าคลื่นที่ไม่เป็นระเบียบ เพราะพลังงานและโมเมนตัมของโฟตอนแต่ละตัวจะเสริมกันและมี impact ในทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 โคฮีเรนซ์ของแสงเลเซอร์ เราแบ่งออกได้เป็น 2 อย่าง คือ

- โคฮีเรนซ์ทางสถานที่ (Spatial coherence) หมายถึงกรณีที่แสงเดินทางผ่านจุด 2 จุดคือ P_1 และ P_2 ร่วมกัน เมื่อเวลา $t = 0$ P_1 และ P_2 วางอยู่บนหน้าคลื่น (wavefront) อันเดียวกัน กำหนดค่าให้ $E_1(t)$ และ $E_2(t)$ เป็นแอมพลิจูดของสนามไฟฟ้า E ที่จุด P_1 และ P_2 ตามลำดับ และให้ความต่างเฟสของ $E_1(t)$ และ $E_2(t)$ เป็น $\psi = 0$ ดังนั้นเมื่อเวลา $t > 0$ ตำแหน่งของสนามไฟฟ้า $E_1(t)$ และ $E_2(t)$ เปลี่ยนไป แต่พบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างเฟสของ $E_1(t > 0)$ และ $E_2(t > 0)$ อีก

- โคฮีเรนซ์ทางเวลา (Temporal coherence) กำหนดให้สนามไฟฟ้า E ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่จุด P ที่เวลา t และเวลา $t + \tau$ เมื่อ τ เป็นเวลาที่ล่วงไป (delay time) นั้นความต่างเฟส ψ ของสนามไฟฟ้า $E(t)$ และของ $E(t + \tau)$ จะเป็นการวัดค่าโคฮีเรนซ์ทางเวลาของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้น ในกรณี $\psi = c$ (เมื่อ $c =$ ค่าคงที่) คลื่นสนามไฟฟ้าที่ขณะเวลา t และ $t + \tau$ จะมีคุณสมบัติโคฮีเรนซ์สมบูรณ์ทางเวลา (perfect temporal coherence) สำหรับกรณีที่ $\psi = c$ ในช่วงเวลา โดยที่ $0 < \tau < \tau_0$ เราเรียกคลื่นสนามไฟฟ้านั้น เป็นแบบพาร์เชียลโคฮีเรนซ์ทางเวลา (partial temporal coherence)

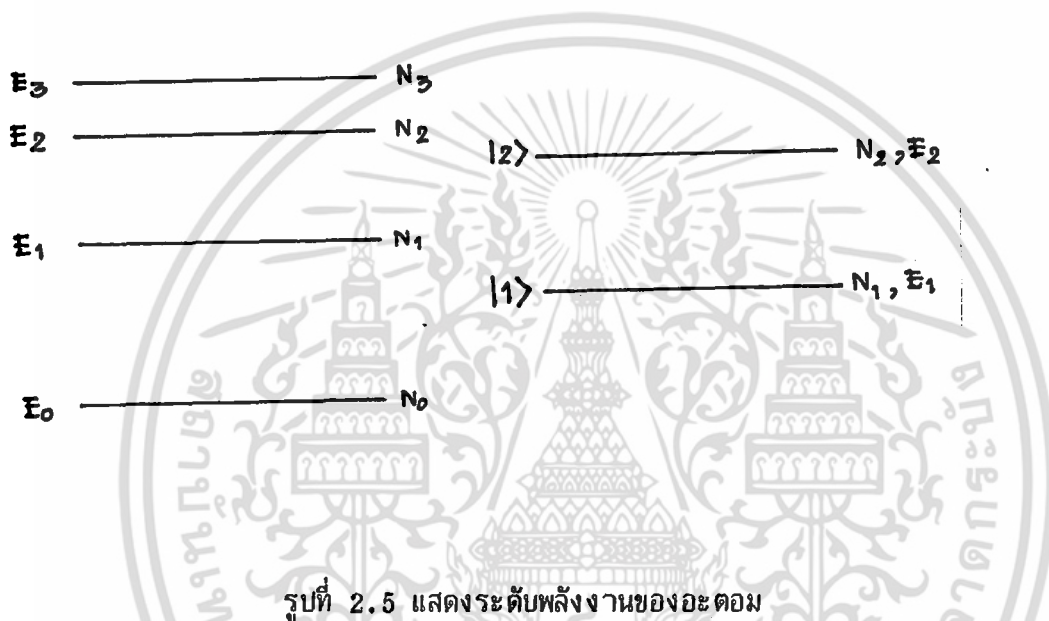
ในการพิจารณาทางฟิสิกส์เกี่ยวกับ โคฮีเรนซ์ของแสงนั้น เราพิจารณาได้จากการเกิดการสอดแทรก (Interference) ของคลื่นแสง 2 คลื่น ที่ปรากฏบนฉาก กับภาพเป็นวง (fringes) สว่างและมืดสลับกันนั้น แสดงว่าคลื่นแสง 2 คลื่นนี้ มีคุณสมบัติโคฮีเรนซ์ ซึ่งจะพบได้จากการทดลองทางแสง คือ Young's Experiment

และโดยการใช้อย่าง Michelson Interferometer

2.4 อันตรกิริยาระหว่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและระบบอะตอม

จากที่ได้ทราบแล้วว่าระดับพลังงานของอะตอมมีความไม่ต่อเนื่อง (Discrete)

ดังจะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.5



เมื่ออะตอมมีการเปลี่ยนสถานะจาก $|1\rangle$ ไป $|2\rangle$ จะเกิดการดูดกลืนพลังงาน ส่วนในทางกลับกัน ถ้าอะตอมเปลี่ยนสถานะจาก $|2\rangle$ ไป $|1\rangle$ จะเกิดการปลดปล่อยพลังงาน ซึ่งพลังงานทั้งสองนี้ มีค่าเท่ากัน โดยเท่ากับผลต่างของระดับพลังงานทั้งสอง (E_{12}) ดังสมการที่ 2.5

$$\Delta E_{12} = E_2 - E_1 = h\nu_{12} \quad (2.5)$$

โดย ν_{12} เป็นความถี่โฟตอนที่เกิดจากการเปลี่ยนระดับพลังงานจาก $|2\rangle$ ไปยัง $|1\rangle$

กระบวนการที่อะตอมเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานมีเกิดได้ 3 แบบคือ

- 1) Stimulated Absorption
- 2) Spontaneous Emission
- 3) Stimulated Emission

ตัวอย่างของกระบวนการที่ 1) Stimulated Absorption ได้แก่การเปลี่ยนสถานะจาก $|1\rangle$ ไป $|2\rangle$ โดยดูดกลืนโฟตอนจากภายนอกที่มีความถี่ ν_{12} เข้าไป กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นเองโดยปราศจากโฟตอนความถี่ ν_{12} ไม่ได้ ดังนั้นการเกิด Spontaneous Absorption จึงไม่มี

ส่วนกระบวนการที่ 2) Spontaneous Emission ซึ่งชื่อก็บอกเป็นนัยอยู่แล้วว่าเกิดขึ้นเองก็คือเกิดการเปลี่ยนสภาพของอะตอมจาก $|2\rangle$ ซึ่งเป็น excited State มาเป็น $|1\rangle$ ใช้เวลาที่เรียกว่า Spontaneous Life Time $(t_{\text{spon}})_{21}$ สามารถอธิบายอัตราการเปลี่ยนแปลงแบบ Spontaneous ได้ว่า

$$-dN_2/dt = A_{21}N_2 = N_2/(t_{\text{spon}})_{21} \quad (2.6)$$

เมื่อ N_2 = จำนวนอะตอมที่อยู่ใน $|2\rangle$ เมื่อ $t = 0$

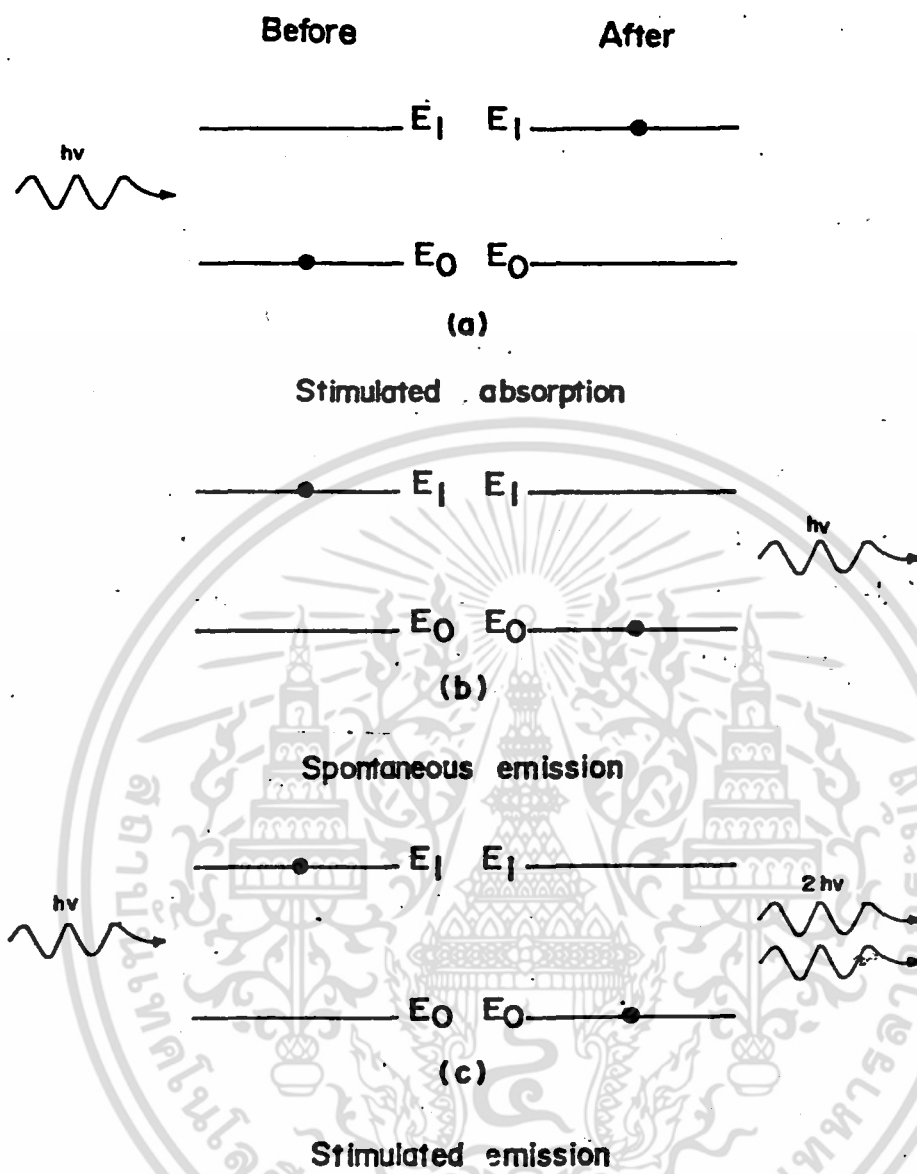
A_{21} = อัตราการเปลี่ยนแปลงแบบ Spontaneous จาก

$|2\rangle$ ไป $|1\rangle$

$(t_{\text{spon}})_{21}$ = Spontaneous Lifetime ของอะตอมที่เปลี่ยน

จาก $|2\rangle$ ไป $|1\rangle$

จาก (2.6) จะสังเกตได้ว่า Spontaneous Transition Rate มีลักษณะเป็น exponential decay การคำนวณค่า A_{12} ต้องคำนวณจาก electric dipole transition



รูปที่ 2.6 จุดควา หมายถึงอะตอมที่มีค่าระดับพลังงานก่อนหรือหลังการเปลี่ยนแปลง จาก $|1\rangle$ ไป $|2\rangle$

ในกรณี Spontaneous Emission อะตอมจะมีช่วงเวลาที่อยู่ใน $|2\rangle$ เป็นเวลาหนึ่งเท่ากับ t_{spont} หลังจากนั้นจึงปล่อยโฟตอนความถี่ ν_{21} ออกมา เราพบว่าโฟตอนนี้มีได้เป็น monochromatic เพราะค่า t_{spont} ไม่เท่ากับ 0 จึงคล้ายกับ วงจร Damped harmonic oscillator สนามไฟฟ้าจะอยู่ในรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E(t) = E_0 \exp [(-t/\tau) \cos \omega_0 t] \quad (2.7)$$

เราจึงมีความสัมพันธ์ที่จะแสดงโอกาสที่จะพบโฟตอนที่ความถี่ต่าง ๆ ที่อะตอมปล่อยออกมา ความสัมพันธ์นี้เราเรียกว่า Line Shape Function ($g(\nu)$)

$$\int_{-\infty}^{\infty} g(\nu) d\nu = 1 \quad (2.8)$$

เราจำเป็นต้องศึกษาลักษณะของ Line Shape Function เพราะ $g(\nu)$ ขึ้นกับลักษณะของระบบอะตอมในกรณีที่อะตอมทุกตัวมีสภาพเหมือนกันจะเกิด $g(\nu)$ ที่เรียกว่า Lorentz function ส่วนกรณีที่ทุกอะตอมมีสภาพแตกต่างกันจะเกิด $g(\nu)$ ชนิด Gaussian function

การเกิด Gaussian function ของ $g(\nu)$ ได้แก่ กรณีของหลอดก๊าซ ปล่อยประจุที่อะตอมต่างมีความเร็วในทิศทางต่าง ๆ กัน หรือผลึกที่มี impurity

กระบวนการที่ 3) Stimulated Emission แปลตามตัวก็คือการแผ่รังสีแบบถูกกระตุ้น เช่น อะตอมที่อยู่ ณ $|2\rangle$ เมื่อมีโฟตอนความถี่ $\nu_{21} = E_{21}$ ปรากฏเข้ามาอะตอมก็จะเปลี่ยนสถานะจาก $|2\rangle$ ลงสู่ $|1\rangle$ โดยเกิดโฟตอน 2 ตัวความถี่ ν_{21} เท่ากันและเฟสตรงกัน ด้วยกลไกข้อนี้เลเซอร์จึงเป็นแสง monochromatic ดังแสดงในรูปที่ 2.6

เพื่อที่จะเข้าใจกลไกของ Stimulated Emission จะขอกล่าวถึง Einstein Relation ให้ได้ทราบถึงความแตกต่างระหว่าง Stimulated Emission กับ Spontaneous Emission

2.5 Einstein Relation

เพื่อความสะดวกและง่ายต่อการเข้าใจเราจะพิจารณาถึงกรณีที่ที่มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าความหนาแน่นของระดับพลังงานแผ่กระจายสม่ำเสมอ (Uniform distributed

energy density) และมีความถี่ $\nu_{21} = (E_2 - E_1)/h$ กำหนดให้ความหนาแน่นพลังงานต่อความถี่เป็น $\rho(\nu)$ และจากความรู้ในวิชากลศาสตร์ควอนตัม (Quantum Mechanics) เราทราบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงแบบเหนี่ยวนำ (Induced Transition Rate) แปรผันโดยตรงกับ $\rho(\nu)$ ดังนั้น

$$\text{Stimulated emission rate} = W'_{21} \text{ stimulated} = B_{21}\rho(\nu) \quad (2.9)$$

$$\text{Stimulated absorption rate} = W'_{12} \text{ stimulated} = B_{12}\rho(\nu) \quad (2.10)$$

เรียก B_{21} ว่า Einstein coefficient of stimulated emission และ B_{12} ว่า Einstein coefficient of stimulated absorption เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนลักษณะทั้งหมดของอะตอม ย่อมรวมไปถึง spontaneous emission ด้วย ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงจาก $|2\rangle$ ไป $|1\rangle$ เป็น

$$W'_{21} = B_{21}\rho(\nu) + A_{21} \quad (2.11)$$

เมื่อ $A_{21} = 1/(t_{\text{spont}})_{21}$ = Spontaneous rate จาก $|2\rangle$ ไป $|1\rangle$ อัตราการเปลี่ยนแปลงจาก $|2\rangle$ ไป $|1\rangle$ เป็น

$$W'_{12} = B_{12}\rho(\nu) \quad (2.12)$$

ในกรณีที่ระบบอะตอมเป็นวัตถุดำ (Black body) อุณหภูมิ T เคลวินและมีสมดุลทางความร้อน ค่า $\rho(\nu)$ มีค่าเป็น

$$\rho(\nu) = [(8\pi h\nu^3)/c^3] \cdot [1/e^{(h\nu/kT)} - 1] \quad (2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เนื่องจากระบบอยู่ในสมดุลความร้อน จำนวนอะตอมใน $|2\rangle$ หรือ N_2 และจำนวนอะตอมใน $|1\rangle$ หรือ N_1 จะคงที่ หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งก็คือ จำนวนอะตอมที่เปลี่ยนจาก $|2\rangle$ ไป $|1\rangle$ จะเท่ากับที่เปลี่ยนจาก $|1\rangle$ ไป $|2\rangle$

$$N_2 W'_{21} = N_1 W_{12} \quad (2.14)$$

โดยที่ N_1 เป็นจำนวนประชากรใน $|1\rangle$

N_2 เป็นจำนวนประชากรใน $|2\rangle$

แทนค่า W'_{21} และ W_{12}

$$N_2 [B_{21}\rho(\nu) + A_{21}] = N_1 B_{12}\rho(\nu) \quad (2.15)$$

แทนค่า $\rho(\nu)$

$$N_2 \left[B_{21} \frac{8\pi h\nu^3}{c^3(e^{h\nu/kT} - 1)} + A_{21} \right] = N_1 \left[B_{12} \frac{8\pi h\nu^3}{c^3(e^{h\nu/kT} - 1)} \right] \quad (2.16)$$

ใช้ Boltzmann factor

$$N_2/N_1 = e^{-h\nu/kT} \quad (2.17)$$

$$\text{ได้ว่า} \quad \frac{8\pi h\nu^3}{c^3(e^{h\nu/kT} - 1)} = \frac{A_{21}}{B_{12} e^{h\nu/kT} - B_{21}} \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะเป็นจริงได้เมื่อ $B_{12} = B_{21}$ (2.19)

และ $A_{21}/B_{21} = (8\pi h\nu^3)/c^3$ (2.20)

จาก Einstein Relation สามารถเขียน (2.9) และ (2.10) ได้ใหม่เป็น

$$(W'_{12})_{\text{stimulated}} = (W'_{21})_{\text{stimulated}} = W'_2(\nu) \quad (2.21)$$

$$W'_i(\nu) = [A_{21}C^3\rho(\nu)]/8\pi h\nu^3 = [C^3/(8\pi h\nu^3 t_{\text{spon}})]\rho(\nu) \quad (2.22)$$

สมการ (2.22) บอกถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดต่อหนึ่งอะตอมจาก $|2\rangle$ ไป $|1\rangle$ ภายใต้การปรากฏของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความหนาแน่นพลังงานต่อความถี่ $\rho(\nu)$ และเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นแถบกว้าง (Broad Band) แต่ในเรื่องนี้เกี่ยวกับ เลเซอร์เราจะเกี่ยวข้องกับแสงที่มีความถี่เดียว

จากวิชาฟิสิกส์ควอนตัม เราทราบว่าอัตราการเปลี่ยนสถานะของอะตอม จาก $|2\rangle$ ไป $|1\rangle$ โดยมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามากระตุ้นนั้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ Line Shape Function $g(\nu)$ หรือ

$$W_i(\nu) \propto g(\nu) \quad (2.23)$$

นอกจากนี้เราทราบว่า $W_i(\nu)$ จะเปลี่ยนเป็น $W'_i(\nu)$ ของ (2.22) ในที่สุด ถ้าสเปกตรัมแบนวิดธ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีโรมันโครมาตอซิติสูงนั้นค่อย ๆ เพิ่ม กว้างจนมีค่าใกล้เคียงกับ transition line width $(\Delta\nu)_{21}$ จากความสัมพันธ์ ดังกล่าวมานี้เราสามารถเขียน (2.22) เป็น

$$W_i(\nu) = [C^3\rho g(\nu)]/8\pi h\nu^3 t_{\text{spon}} \quad (2.24)$$

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เมื่อ ρ เป็นความหนาแน่นของพลังงาน (Joule/m³) ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทําให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอะตอมจาก $|2\rangle$ ไป $|1\rangle$

เราสามารถเขียน (2.24) เสียใหม่ในเทอมความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า $I(\nu)$

$$\text{เนื่องจาก} \quad I(\nu) = c\rho \quad (2.25)$$

แทนค่า (2.25) ลงใน (2.24)

$$W_i(\nu) = [(\lambda^2 I_\nu) / 8\pi h\nu t_{\text{spont}}] g(\nu) \quad (2.26)$$

เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความเข้ม I_ν ความถี่ ν เคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง ค่าของ I_ν จะเปลี่ยนไปตามระยะทาง โดยทั่วไปแล้วจะลดลงคือไม่เกิดการขยายแสง เราจะศึกษาว่าจะทําอย่างไรจึงจะทําให้เกิดการขยายแสงได้

เมื่อมีโฟตอนเข้ากระตุ้น จำนวนอะตอม (ต่อปริมาตรต่อเวลา) ที่เปลี่ยนจากสถานะ $|2\rangle$ ไป $|1\rangle$ คือ $N_2 W_i$ และจำนวนอะตอมที่เปลี่ยนจาก $|1\rangle$ ไป $|2\rangle$ คือ $N_1 W_i$ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงรวมจาก $|2\rangle$ ไป $|1\rangle$ จะเป็น $(N_2 - N_1) W_i$

โฟตอนที่เกิดขึ้น $(N_2 - N_1) W_i$ จะมีความ Coherence กับพลังงานที่เพิ่มขึ้น ก็คืออัตราการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงต่อหนึ่งหน่วยการเคลื่อนที่

$$\begin{aligned} dI_\nu/dz &= (N_2 - N_1) W_i \\ &= (N_2 - N_1) [c^2 g(\nu) / 8\pi^2 t_{\text{spont}}] I_\nu \end{aligned} \quad (2.27)$$

คำตอบของ (2.27) คือ

$$I_\nu(z) = I_\nu(0) \exp[\beta(\nu)z] \quad (2.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

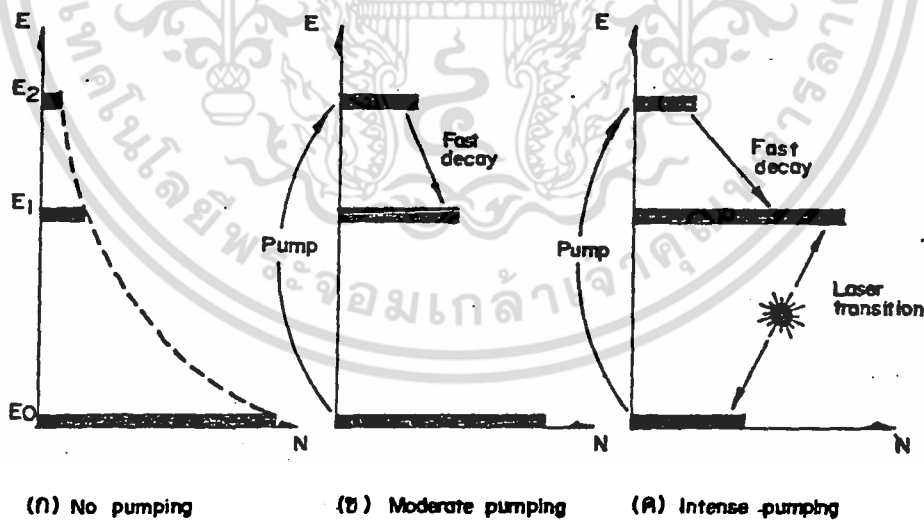
เมื่อ $\beta(\nu) = [(N_2 - N_1)C^2g(\nu)]/8\pi\nu^2t_{\text{spont}}$ (2.29)

เรียก $\beta(\nu)$ ว่าอัตราขยาย (gain)

สมการ (2.29) บอกว่าจะเกิดการขยายแสงเมื่อ $\text{gain} > 0$ ซึ่งเป็นจริงเมื่อ $N_2 > N_1$ หรือที่เรียกว่า Population Inversion แต่จาก Boltzmann Factor บอกว่าไม่สามารถเกิดขึ้นได้ เพราะจะเป็นจริงเมื่ออุณหภูมิเคลวินมีค่าเป็นลบเท่านั้น ดังนั้นระบบที่มีสมดุลความร้อน จึงไม่อาจให้เลเซอร์ได้ ต้องมีกลไกอื่น ๆ เพิ่มเติม

2.6 กลไกการเกิดเลเซอร์

จาก Boltzmann Factor บอกเราว่าการใช้ระดับพลังงาน 2 ชั้นไม่อาจเกิด population inversion ได้ง่าย ๆ ในปี 1956 Bloembergen อธิบายแนวความคิดการเกิด population inversion โดยใช้ระดับพลังงาน 3 ชั้น

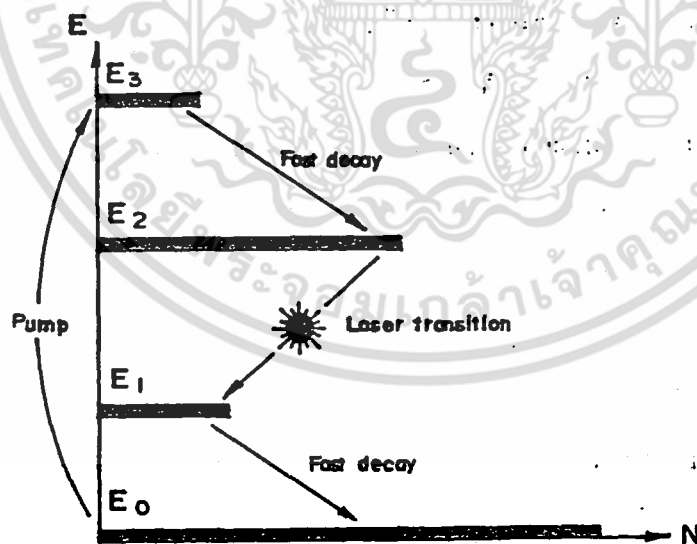


รูปที่ 2.7 การเกิดประชากรผกผันโดยวิธีการ Three-level optical pumping

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 18 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 2.7 (ก) เมื่อไม่มีการปั๊มพลังงานให้แก่ระบบ อะตอมอยู่ในสมดุลทางอุณหภูมิจำนวนโดยมี $N_0 > N_1 > N_2$ เมื่อปั๊มพลังงานค่าหนึ่ง จำนวนของ N_0, N_1, N_2 จะไม่เป็นไปตาม Boltzmann Factor แต่ก็ยังไม่เกิด Population Inversion อยู่ดีจนกว่าจะปั๊มพลังงานมากพอที่จะเกิด Population Inversion ได้ดังรูปที่ 2.5(ข) ทั้งนี้ไม่ได้หมายความว่า อะตอมทุกชนิดจะเป็นเช่นนี้ได้ เพราะการเกิดเลเซอร์ได้นั้นต้องหาอะตอมที่มีการ Transition จาก E_2 ไป E_1 แบบ Nonradiative transition และ E_2 ต้องมี Life time สั้นมาก ๆ เมื่อเทียบกับ E_1 ทำให้มีอะตอมสามารถครอบครองระดับพลังงาน E_1 ได้นานจนเกิด Population Inversion ได้ และจาก E_1 ไป E_0 ต้องเป็น Radiative transition ด้วยเพื่อเราจะได้ใช้โฟตอนกระตุ้นให้เกิด Stimulated Emission ขึ้นได้

กลไกเลเซอร์แบบ 3 ระดับพลังงานนี้ ใช้พลังงานมาก เพราะต้อง pump จน $N_1 > N_0$ ซึ่งโดยปกติ N_0 คือ Ground state ซึ่งมี N_0 มากอยู่แล้วจึงมีกลไกเลเซอร์แบบ 4 ระดับพลังงาน ซึ่งใช้พลังงานในการ pump น้อยกว่า ดังแสดงในรูป 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงการเกิดประชากรผกผัน (Population Inversion) โดยการ

เกี่ยวข้องกับระดับพลังงาน 4 ระดับ ของตัวกลางเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่า Laser Transition คือจาก E_2 ไป E_1 และ N_0 ซึ่งอยู่ใน Ground state ยังมีค่ามากกว่า N_1 ซึ่งต่างจากกลไกแบบ 3 ระดับพลังงาน

เมื่อได้ population inversion แล้วคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านระบบอะตอม จะถูกขยาย แต่อาจจะไม่ได้กำลังเท่าที่เราพอใจ การทำให้ตัวกลางเลเซอร์ยาวขึ้นเป็นวิธีหนึ่งที่จะเพิ่มกำลังของเลเซอร์ แต่มีอีกวิธีหนึ่ง ที่ไม่ต้องเพิ่มความยาวของตัวกลางมากนัก เรียกว่า การใช้ Optical Resonator

Optical Resonator คือกระจกสะท้อนแสงให้เดินทางกลับไปกลับมาในตัวกลางเลเซอร์ ซึ่งทำให้กำลังของเลเซอร์สูงขึ้นได้ โดยนิยามให้กระจกด้านหนึ่งสะท้อน 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอีกด้านหนึ่งสะท้อนประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ แสงเลเซอร์จะทะลุผ่านกระจกแผ่นนี้ออกมา ให้เป็น output ตามต้องการ ดังนั้น โฟตอนส่วนหนึ่งจะเดินทางกลับไปกลับมาในตัวกลางเลเซอร์ ส่วนหนึ่งจะเป็น output ต่อไปนี้จะแสดงให้เห็นว่าเงื่อนไขเพียง $N_1 > N_0$ แต่เดิมนั้นไม่เป็นการเพียงพอเสียแล้ว เพราะการสูญเสียเนื่องจากกระจก, การกระเจิงและการดูดกลืนโฟตอนของตัวกลาง

2.7 Round Trip Gain (G)

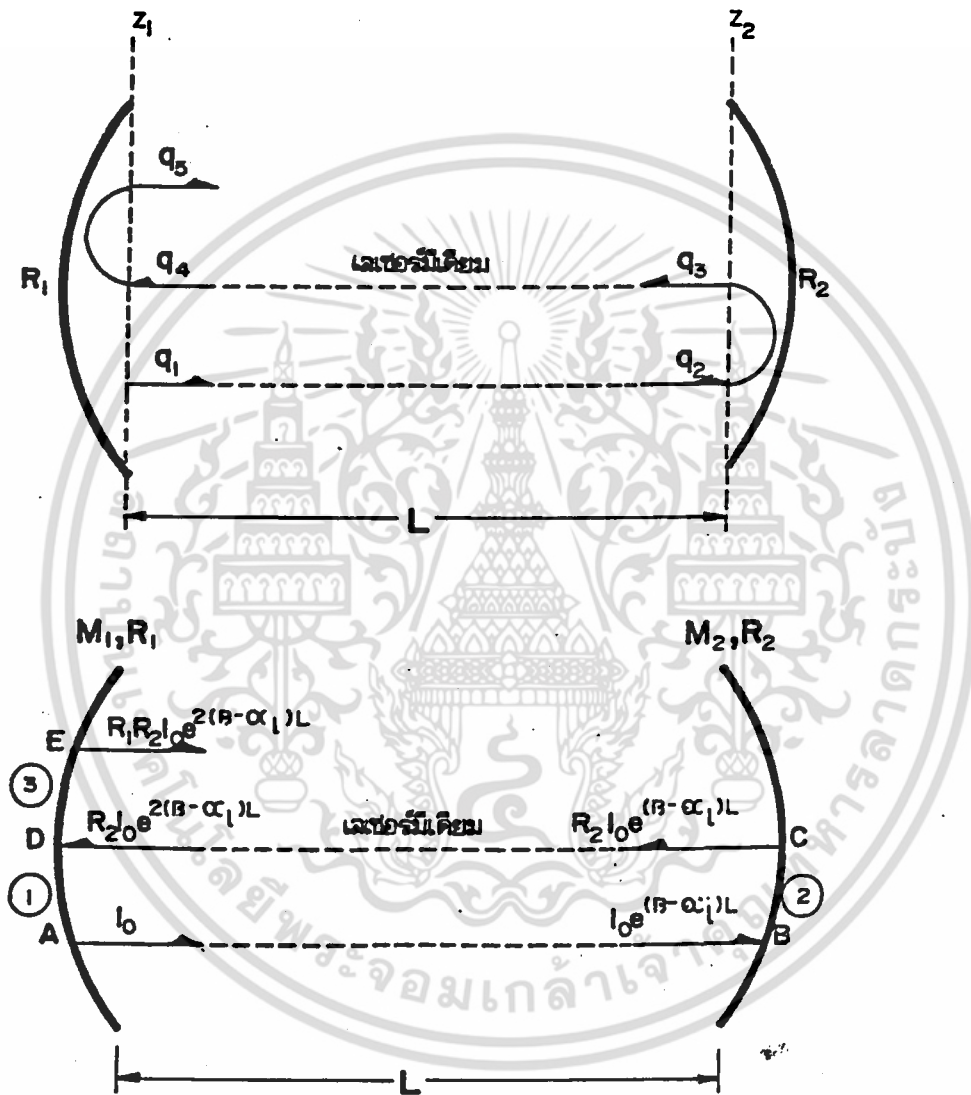
กำหนดให้ Round Trip Gain (G) นิยามว่า

G เท่ากับ $\frac{\text{ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหลังการเดินทาง 1 รอบ}}{\text{ความเข้มของ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อเริ่มต้น}}$

$$G = \frac{R_1 R_2 I_0 \exp\{2(\beta - \alpha_1)L\}}{I_0} \quad (2.30)$$

เริ่มต้นที่จุด A รูปที่ 2.9 ความเข้มของ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เริ่มต้นเป็น I_0 จาก A ไปถึงกระจก M_2 ที่จุด B จะได้ความเข้มเป็น $I_0 \exp[(\beta - \alpha_1)L]$ เมื่อ α_1 เป็นการสูญเสียเนื่องจากตัวกลางและ β คือ Gain ดังได้กล่าวมาแล้วก่อนหน้านี้

เมื่อคลื่นเดินทางกลับมาจาก M_2 ที่จุด C จะได้ความเข้มเป็น $R_2 I_0 \exp 2(\beta - \alpha_1)L$
 R_2 คือ Reflectivity ของกระจก M_2 เมื่อคลื่นเดินทางถึงกระจก M_1 ที่จุด D



รูปที่ 2.9 แสดงการเคลื่อนที่ของลำแสงแบบเกาส์ (Gaussian Beam) ภายใน Resonator ความยาว L ประกอบด้วยกระจก M_1, M_2 ซึ่งมีค่าสะท้อนกลับเป็น R_1, R_2 ตามลำดับ

ความเข้มจะเป็น $R_2 I_0 \exp 2(\beta - \alpha_1)L$ ต่อมาถูกสะท้อนที่ M_1 ความเข้มจะมีค่าเป็น $R_1 R_2 I_0 \exp\{2(\beta - \alpha_1)L\}$ เมื่อ R_1 คือ Reflectivity ของ M_1 เป็นอันครบการ เดินทาง 1 ครั้ง ดังนั้น

$$G = R_1 R_2 \exp 2(\beta - \alpha_1)L \quad (2.31)$$

ถ้า $G = 1$ จะเป็นจุดที่พอดีทากั้เกิด Laser Oscillation

$G < 1$ เกิด การสูญเสีย มาก จนไม่ได้เลเซอร์

$G > 1$ เกิด Oscillation มากขึ้น

เราเรียกเงื่อนไขที่พอดีทากั้ $G = 1$ พอดีนี้นว่า Threshold Condition ซึ่งได้รวม Gain (β), การสูญเสีย (α_1), Reflectivity (R_1, R_2) เอาไว้ด้วยกัน โดยจะเรียก β ที่พอดีทากั้ $G = 1$ ว่า Threshold gain (β_{th})

แก้สมการ (2.31) ได้ค่า β_{th} ดังนี้

$$\beta_{th} = \alpha_1 - \frac{1}{2L} \ln R_1 R_2 \quad (2.32)$$

$$= \alpha_1 + \alpha_0 \quad (2.33)$$

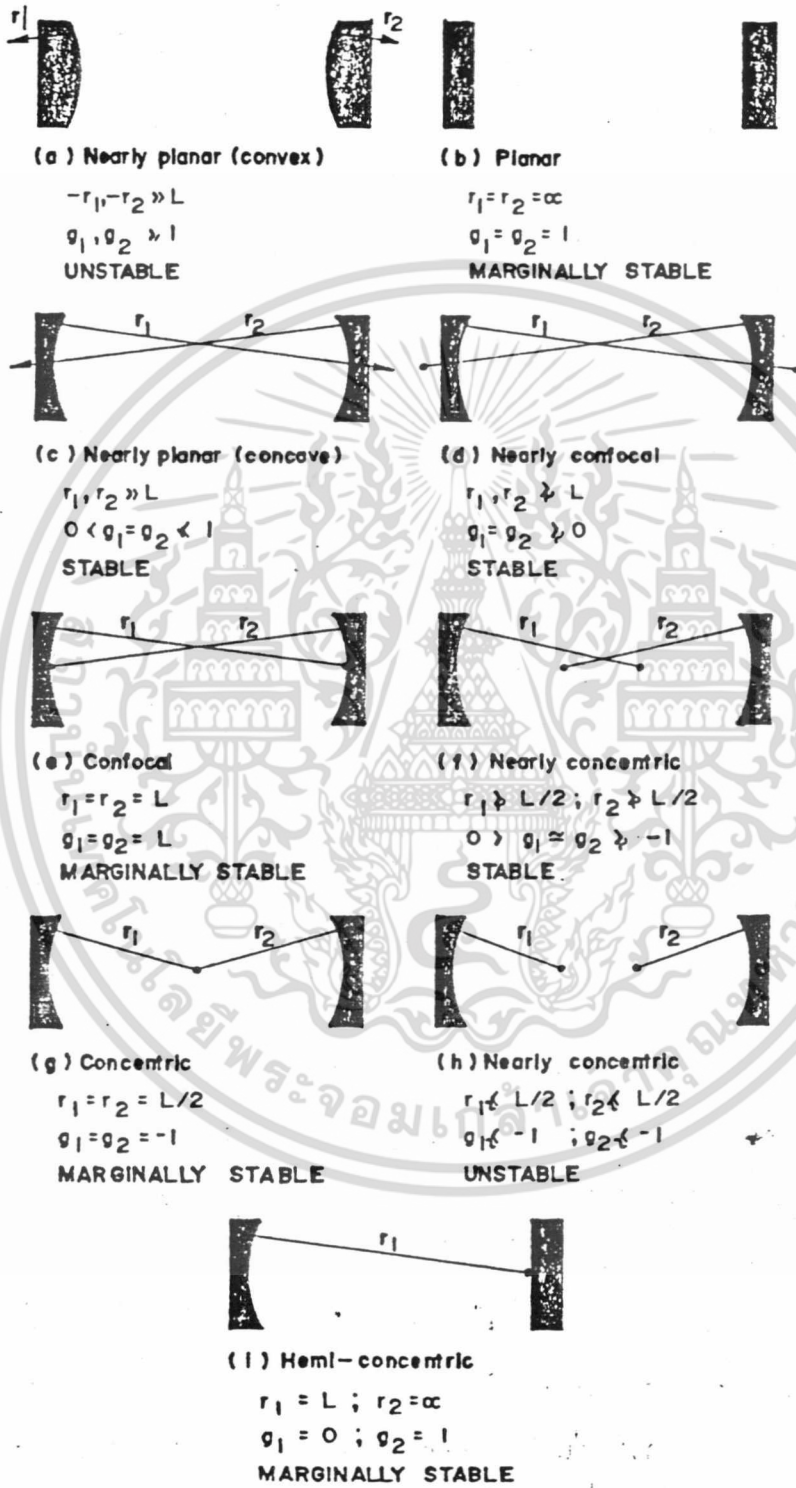
α_1 คือ การสูญเสีย อันเนื่องจากการดูดกลืนการกระเจิงในตัวกลางเลเซอร์

α_0 คือ การสูญเสีย อันเกิดจากการปลดปล่อยพลังงานออกเป็นเลเซอร์

เมื่อเปรียบเทียบสมการ (2.32) และสมการ (2.29) จะได้

$$(N_2 - N_1)_{th} \frac{c^2}{8\pi\nu^2 t_{spont}} g(\nu) = \frac{(\alpha_1 - \frac{1}{2L} \ln R_1 R_2)}{2L} \quad (2.34)$$

$$N_{th} \equiv (N_2 - N_1)_{th} = \frac{8\pi t_{spont}}{g(\nu) \lambda^2} \frac{(\alpha_1 - 1 \ln R_1 R_2)}{2L} \quad (2.35)$$



รูปที่ 2.10 แสดงการจัดกระจกเพื่อเป็น Resonator แบบต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 เสถียรภาพของ Resonator

เสถียรภาพของ Resonator กำหนดจาก ลักษณะของลำแสงที่เดินทางกลับไป
กลับมาใน Resonator ว่าบานออกจนล้นออกนอกแกนแสงหรือไม่

การกำหนดเสถียรภาพ กำหนดจาก g parameter ที่กล่าวว่า เงื่อนไข
ของการมีเสถียรภาพจะเป็น

$$0 < g_1 g_2 < 1 \quad (2.36)$$

โดยที่ $g_1 = 1 - L/r_1$ สำหรับกระจก M_1

$g_2 = 1 - L/r_2$ สำหรับกระจก M_2

การจัดรูปแบบของ Resonator และความมีเสถียรภาพ แสดงในรูปที่ 2.9
อย่างไรก็ดี Resonator ที่ Unstable ก็มีที่ใช้ในระบบเลเซอร์ที่มี Output Power
สูงมาก ๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ (CO₂ Laser)

ตั้งแต่เริ่มจนถึงจุดนี้ จะขอล่าสรุประบบเลเซอร์ ว่าประกอบด้วยส่วนสำคัญ
คือ

- ตัวกลางเลเซอร์ ซึ่งเป็นตัวกลางที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิด
Population Inversion คือมี Life Time ของระดับพลังงานต่าง ๆ เหมาะที่จะเป็น
Laser Medium

- Population Inversion เป็นกลไกสำคัญที่ทำให้เกิด
การขยายแสงจนได้ Output Power สูง ๆ ตามที่ต้องการ

- Optical Resonator เพื่อทำการบั่นกลับให้เกิด Output
Power สูง ๆ ตามต้องการโดยไม่ใช้ตัวกลางเลเซอร์ยาวมากเกินไป

บทที่ 3

ไนโตรเจนเลเซอร์ (Nitrogen Laser)

3.1 MOLECULAR LASER

ตามหลักการของกลศาสตร์ควอนตัม (Quantum Mechanics) ระดับพลังงานของอะตอมจะแบ่งออกตามควอนตัมที่มีเบอร์ เรียกระดับพลังงานนี้ว่า ระดับพลังงานอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนในระดับใหญ่ขึ้นเป็นโมเลกุลจะมีระดับพลังงานที่เกิดจากการหมุนและการสั่น (Rotational and Vibrational Energy) พลังงานที่เกิดจากการหมุนและการสั่นมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับระดับพลังงานอิเล็กทรอนิกส์ ในการแบ่งชั้นพลังงานของโมเลกุล ระดับพลังงานที่เกิดจากการหมุนและการสั่นจะเป็นส่วนย่อยของระดับพลังงานอีกทีหนึ่ง

เลเซอร์ประเภทนี้จะอาศัยหลักการการเปลี่ยนระดับพลังงานของโมเลกุลก๊าซที่ระดับพลังงาน vibration-rotation แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. เป็นการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงาน vibration ของระดับพลังงาน electronics เดียวกัน เราพบว่าค่าพลังงานระหว่างระดับ vibration เหล่านี้มีค่าน้อย ดังนั้นการเปลี่ยนค่าระดับพลังงานแบบนี้ จึงให้ช่วงคลื่นออกมาอยู่ในย่าน middle-far infrared (ความยาวคลื่นประมาณ 5-300 ไมโครเมตร) ตัวอย่างเลเซอร์ชนิดนี้ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ (CO₂ Laser) เป็นต้น

2. การเกิดเลเซอร์ จะเป็นการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงาน vibration ของระดับ electronic state หนึ่ง ไปยังระดับพลังงาน vibration ของระดับ electronic อื่น บางครั้งจึงเรียกรวมการเปลี่ยนแปลงแบบนี้ว่า "vibronic" ซึ่งมาจากคำว่า vibration และ electronic ในกรณีนี้จะให้ output ออกมาที่มีความยาวคลื่นอยู่ในย่าน visible จนถึง UV ตัวอย่างของเลเซอร์ ประเภทนี้ได้แก่ไนโตรเจนเลเซอร์ (N₂ Laser)

3.2 ไนโตรเจนเลเซอร์ (NITROGEN LASER)

ไนโตรเจนเลเซอร์ ได้ผลิตออกจำหน่ายตั้งแต่ปี ค.ศ 1972 เป็นเลเซอร์ที่ให้ output อยู่ในย่านของอุลตราไวโอเลตชนิดแรกที่ออกสู่ตลาด โดยใช้เป็นตัวปั๊มพลังงานให้กับเลเซอร์ เลเซอร์ชนิดอื่นได้แก่ ดายเลเซอร์ (dye laser) และเคมีสตรียเลเซอร์ (chemistry laser) เนื่องจากไนโตรเจนเลเซอร์นี้ มีวิธีการสร้างที่ง่ายและไม่ซับซ้อนมากนัก ดังนั้นนักวิจัยหลาย ๆ ท่านจึงมักสร้างไว้ใช้เองในห้องปฏิบัติการ

3.2.1 หลักการของไนโตรเจนเลเซอร์

ตัวกลางเลเซอร์ (laser medium) ที่ใช้ในไนโตรเจนเลเซอร์ ก็คือก๊าซไนโตรเจนซึ่งเราอาจจะใช้ ก๊าซไนโตรเจนจากถังบรรจุ ซึ่งเป็นไนโตรเจน 100% ไม่ปนกับก๊าซอื่นเลย หรืออาจจะใช้ก๊าซไนโตรเจนจากอากาศก็ได้ เนื่องจากในบรรยากาศก็มีก๊าซไนโตรเจนปนอยู่ประมาณ 70 % ซึ่งพอเพียงที่จะใช้เป็นตัวกลางเลเซอร์ได้ เลเซอร์ชนิดนี้สามารถทำงานได้ที่ความดันระหว่าง 20 ทอร์ (2700 Pa) จนถึงความดันบรรยากาศ

ไนโตรเจนเลเซอร์จะใช้การเปลี่ยนระดับพลังงานระหว่างระดับ vibronics ซึ่งจะให้พotonออกมาที่มีความยาวคลื่น มีค่าเท่ากับ 337.1 นาโนเมตร อยู่ในย่านอุลตราไวโอเลต โดยลักษณะการเกิดเลเซอร์ชนิดนี้จะถูกเรียกว่า "self-terminating" เพื่อที่จะอธิบายการเกิดเลเซอร์แบบนี้จึงต้องใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\tau_1 < \tau$$

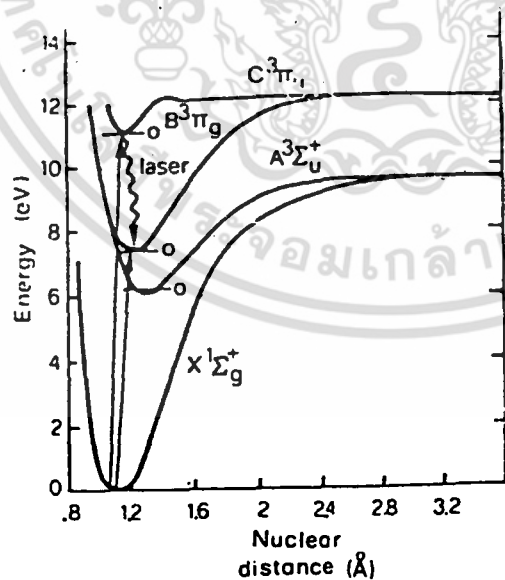
โดยที่ τ_1 เป็นค่าอายุขีวิต (lifetime) ของระดับพลังงานชั้นล่าง

τ เป็นค่าอายุขีวิต (lifetime) ของระดับพลังงานชั้นบน

เราทราบมาแล้วว่าเงื่อนไขจำเป็นสำหรับเลเซอร์ที่ทำงานแบบต่อเนื่อง คือ ค่าอายุขีวิต (lifetime) ในระดับชั้นพลังงานที่สูงกว่าจะต้องยาวนานกว่าค่าอายุขีวิต (lifetime) ในระดับพลังงานชั้นล่าง ซึ่งในกรณีของคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ก็จะเป็นแบบที่กล่าวมา แต่ในกรณีของไนโตรเจนเลเซอร์นั้นจะมีสภาพกลับกัน กล่าวคือ อายุขีวิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของชั้นพลังงานที่สูงกว่าสั้นมาก ส่วนชั้นพลังงานที่ต่ำกว่ากลับมีอายุชีวิตนานกว่า ด้วยเหตุนี้เอง การเกิดไนโตรเจนเลเซอร์หรือสภาพประชากรผกผัน (Population Inversion) ในโมเลกุลของไนโตรเจน จึงมีขีดจำกัดไม่ยาวนานเกินกว่าค่าอายุชีวิตของชั้นพลังงานที่สูงกว่า เนื่องจากเลเซอร์จะเกิดขึ้นเมื่อค่าประชากรผกผัน (Population Inversion) ของสถานะสุดท้ายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่หลังจากนั้นเพียงไม่กี่ nanoseconds ค่าประชากรผกผัน (Population Inversion) ก็จะลดลงจนถึงระดับที่ไม่สามารถทำให้เกิดเลเซอร์ได้ ซึ่งเราเรียกลักษณะเช่นนี้ว่า self-terminating ดังนั้นเลเซอร์ไนโตรเจนจึงทำงานเป็นแบบพัลส์ (pulse) เท่านั้นนอกจากไนโตรเจนเลเซอร์แล้วเลเซอร์แบบ self-terminating ชนิดอื่นก็ได้แก่ Ne laser ($\lambda = 0.5401$ ไมโครเมตร) Cu Vapor laser ($\lambda = 0.51$ ไมโครเมตร) และ Pb Vapor laser ($\lambda = 0.72$ ไมโครเมตร) โดยแกรม แสดงระดับพลังงานของไนโตรเจนเลเซอร์ แสดงไว้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงระดับพลังงานของไนโตรเจน

เพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น ในแต่ละระดับพลังงาน electronic จะแสดงไว้เฉพาะระดับ vibration ต่ำสุดเท่านั้น จากรูปการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้ output ออกมามีความยาวคลื่น $\lambda = 337$ นาโนเมตร เป็นการเปลี่ยนแปลงระหว่างระดับ vibration ต่ำสุดของ สภาวะถูกกระตุ้น (excited state) $C^3\Pi_g$ (state C) $B^2\Pi_g$ (state B) อายุขีวิต (lifetime) ของ state C มีค่าเท่ากับ 40 nanoseconds ในขณะที่อายุขีวิต (lifetime) ของ state B มีค่าเท่ากับ 10 microseconds ดังนั้นไนโตรเจนเลเซอร์ จึงไม่สามารถทำงานในแบบต่อเนื่อง (continuous) ได้ แต่จะทำงานในแบบพัลส์ โดยให้ output เป็นพัลส์แคบ ๆ ที่มีกำลังสูง จึงเหมาะที่จะใช้เป็นตัวปั๊มพลังงานแก่ระบบเลเซอร์ชนิดอื่น ๆ

ลักษณะรูปร่างของไนโตรเจนเลเซอร์จะ เหมือนกับคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์แบบ TEA (Transverse Excited Atmospheric) จะทำงานโดยการปล่อยประจุผ่านก๊าซไนโตรเจนด้วยขั้วไฟฟ้าที่วางขนานกันเป็นแนวยาว โดยที่แสงเลเซอร์จะเกิดขึ้นในทิศทางตั้งฉากกับการปล่อยประจุ ลักษณะเด่นของไนโตรเจนเลเซอร์ที่แตกต่างไปจากเลเซอร์ก๊าซชนิดอื่น ๆ ได้แก่ การที่ Gain มีค่าสูงมากจนไม่ต้องการการป้อนกลับ (feedback) เพื่อการขยายสัญญาณแสง ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมี optical cavity กล่าวคือ การเคลื่อนที่ของแสง เพียง เทียวเดียวในตัวกลางก็เพียงพอที่จะทำให้เกิดแสงเลเซอร์ได้

ไนโตรเจนเลเซอร์บางแบบใช้กระจกเพียงข้างเดียว เพื่อให้แสงวิ่งกลับครึ่งหนึ่งก่อนออกทางปลายอีกข้างหนึ่ง การทำงานแบบ Gain สูง และไม่ต้องการการ feed back เช่นนี้อาจเรียกชื่อได้อีกอย่างหนึ่งว่าเป็นแหล่งกำเนิดแสงประเภท "Superradiant" ลักษณะลำแสงของไนโตรเจนเลเซอร์จึงมีการบานออกของลำแสงสูงมีลักษณะเหมือนพัดเช่นเดียวกับเลเซอร์สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Laser)

ไนโตรเจนเลเซอร์ที่ผลิตจำหน่ายอยู่ จะมี peak power ประมาณ 10 kw โดยมีพัลส์ ขนาด 10 nanoseconds และมี Repeattion Rate 500 Hz เนื่องจากแสงไนโตรเจนเลเซอร์มีความเข้มสูงเป็นพัลส์สั้น ๆ และอยู่ในช่วงอุลตราไวโอเลต จึงมีประโยชน์ในการศึกษากระบวนการทางด้าน Photochemical เพราะพลังงานของโฟตอน

มีค่าสูงพอในการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเคมีการแยกตัวของโมเลกุลได้

ข้อดีของไนโตรเจนเลเซอร์ก็คือ มีราคาต่ำ การทำงานของเลเซอร์ไม่ซับซ้อนมากนัก สามารถทำงานได้ที่ความดันบรรยากาศ และให้ output pulse ออกมาในช่วง nanosecond หรือ subnanosecond โดยไม่ต้องใช้วิธีที่เรียกว่า Mode Locking

ข้อเสียของไนโตรเจนเลเซอร์คือ มีประสิทธิภาพ (efficiency) ต่ำ ซึ่งมีข้อจำกัดให้ output pulse ของไนโตรเจนเลเซอร์นี้มีพลังงานประมาณ 10 มิลลิจูล (mJ) และทำให้กำลังเฉลี่ยมีเพียงไม่กี่ร้อยมิลลิวัตต์ เนื่องจากไนโตรเจนเลเซอร์มีข้อจำกัดเหล่านี้ จึงทำให้ Neodymium-YAG และ Excimer laser ถูกนำมาใช้งานแทนที่ไนโตรเจนเลเซอร์ แต่อย่างไรก็ตามไนโตรเจนเลเซอร์ก็ยังใช้กันอย่างกว้างขวางในห้องปฏิบัติการทั่วไปที่ยังต้องการเลเซอร์ที่มีกำลังไม่สูงนักและมีงบประมาณจำกัด

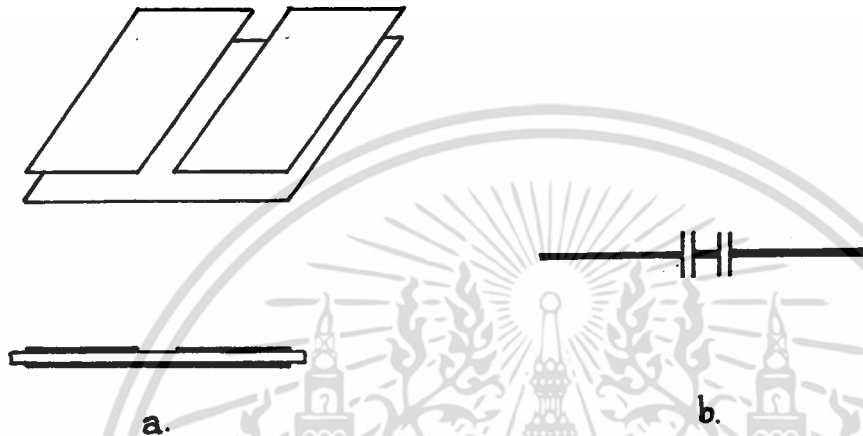
3.2.2 หลักการและขั้นตอนในการสร้างไนโตรเจนเลเซอร์

ตามที่ได้ทราบมาแล้วว่าการปล่อยไฟฟ้าแรงสูงเข้าไปในก๊าซไนโตรเจน ที่ไหลอย่างสม่ำเสมอภายใต้ความดันต่ำ ๆ นั้น โมเลกุลของก๊าซไนโตรเจนจะดูดกลืนพลังงานที่เกิดจากการชนกับอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากการคายประจุ (discharge) ภายหลังจากการชนกันของโมเลกุลไนโตรเจนและอิเล็กตรอน จะทำให้โมเลกุลไนโตรเจนอยู่ในสถานะที่ไม่เสถียร (unstable) จากนั้นโมเลกุลของไนโตรเจนก็จะตกกลับสู่ระดับพลังงานชั้นที่ต่ำกว่าเอง โดยการปล่อยโฟตอนออกมาที่มีความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร

โฟตอนที่ถูกปล่อยออกมาเองตามธรรมชาตินี้จะไปชนโมเลกุลของไนโตรเจนตัวอื่น ๆ ซึ่งอยู่ในสถานะถูกกระตุ้น (excited state) แล้วทำให้เกิดการกระตุ้นแบบเร้า (stimulated emission) กับโมเลกุลของก๊าซไนโตรเจน เป็นเหตุให้โมเลกุลของก๊าซไนโตรเจนปล่อยโฟตอนออกมาในลักษณะของแสงเลเซอร์

เมื่อการสร้างไนโตรเจนเลเซอร์ ก่อนอื่นจะต้องสร้างเครื่องมือที่สามารถปล่อยกระแสอิเล็กตรอนปริมาณมากที่มีความต่างศักย์มีค่าสูง ผ่านไปยังส่วนบรรจุก๊าซไนโตรเจนที่มีการไหลของก๊าซอย่างคงที่ ภายใต้ความดัน 100 ทอร์ ซึ่งส่วนนี้จะเรียกว่า

"Discharge gap" เครื่องมือนี้จะประกอบด้วยแผ่นโลหะ (metal plate) 2 แผ่นวางอยู่ใกล้ ๆ กัน จากนั้นวางแผ่นโลหะแผ่นที่สาม ซึ่งมีพื้นที่เท่ากับพื้นที่รวมของ 2 แผ่นแรก 1 ที่แยกออกจาก 2 แผ่นแรกโดยมีฉนวนคั่นอยู่ระหว่างกลาง ดังแสดงในรูปที่ 3.2 a

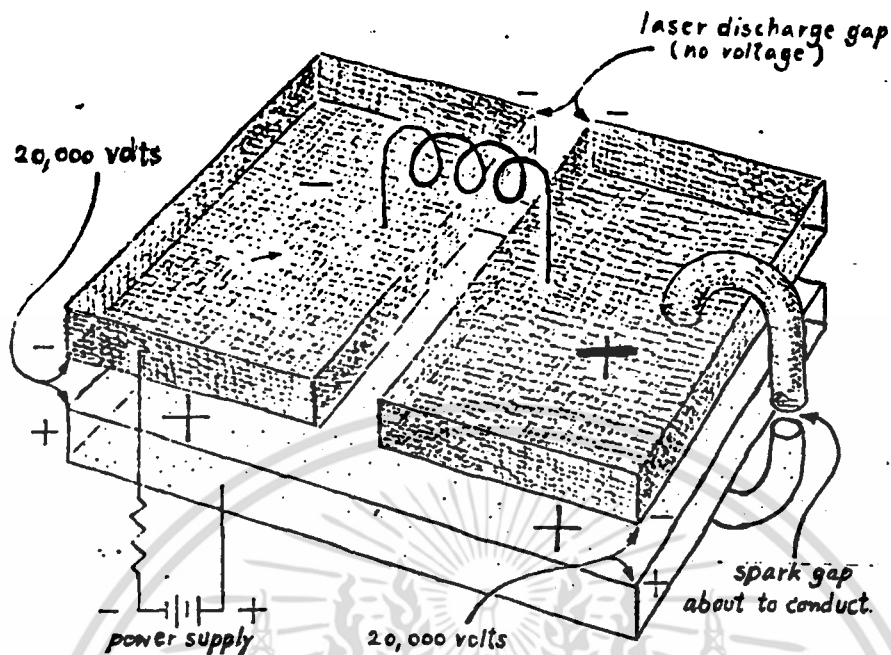


รูปที่ 3.2 แสดงการวางแผ่นโลหะ 3 แผ่นเพื่อสร้างเป็นตัวเก็บประจุ

- a) การประกอบแผ่นโลหะ 3 แผ่นเข้าด้วยกัน
- b) วงจรสมมูลของตัวเก็บประจุที่ถูกสร้างขึ้น

เมื่อประกอบแผ่นโลหะทั้งสามแผ่นและฉนวนเข้าด้วยกันเรียบร้อยแล้ว จะเห็นว่ามันทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุต่อกัน 2 ตัว โดยมีวงจรสมมูล (equivalent circuit) แสดงในรูป 3.2 b ช่องว่างที่เราเว้นไว้จะเป็นส่วนที่เกิดการคายประจุ (discharge) ผ่านโมเลกุลของก๊าซไนโตรเจน

ตัวเก็บประจุ 2 ตัวนี้ จะต่อกันอีกโดยใช้เส้นลวดทองแดงมาขดเป็นตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) ดังนั้นตัวเก็บประจุจึงถูก charge ได้โดยการป้อนความต่างศักย์ (voltage) ระหว่างส่วนที่ 1 และ 2 (รูปที่ 3.3) ตัวเก็บประจุทั้งสองตัวจะถูก charge และมีความต่างศักย์เท่ากัน รวมทั้งมีขั้วเหมือนกันด้วย ในกรณีนี้จะยังไม่มีมีความต่างศักย์ตกคร่อมส่วน discharge gap เลย (ส่วนที่ 3)

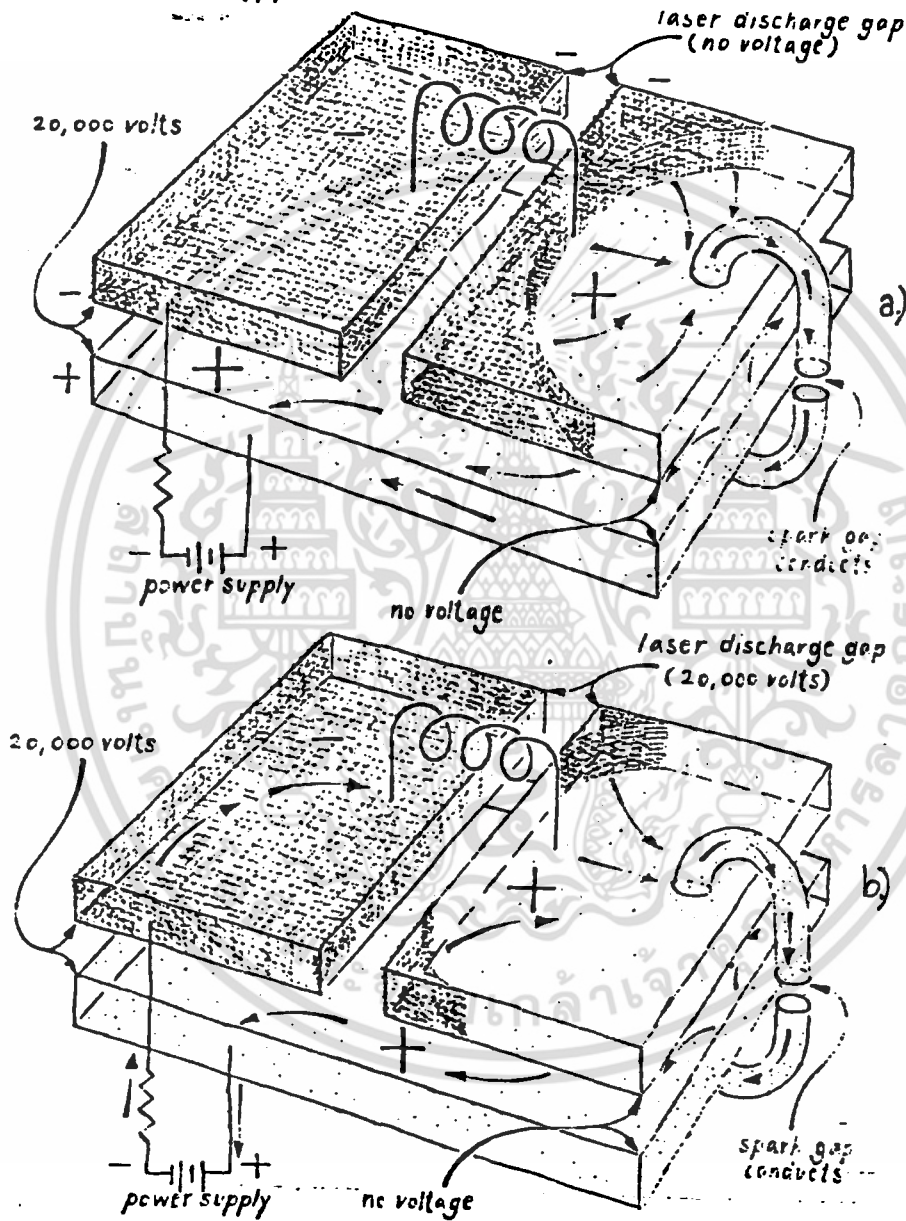


รูปที่ 3.3 แสดงการต่อตัวเก็บประจุ 2 ตัว ด้วยตัวเหนี่ยวนำ

การทำงานแบบ เปิด-ปิด (switching-action) อาจเกิดขึ้นเมื่อมีการคายประจุแบบทันทีทันใด เนื่องจากการพังทลาย (breakdown) ที่ spark gap ซึ่งต่ออยู่ระหว่างแผ่นโลหะที่วางใกล้ ๆ กันแผ่นหนึ่งกับแผ่นโลหะชิ้นที่ 3 ดังรูปที่ 3.3 กระแสจะเคลื่อนที่ผ่าน spark gap ในทันทีที่ความต่างศักย์ของตัวเก็บประจุมีมากเกินกว่าค่า breakdown-voltage ของ spark gap ซึ่งมีอากาศเป็นฉนวนอยู่ในกรณีของอากาศแห้งที่ความดันบรรยากาศ Dielectric Strength ของอากาศจะเป็น 3 kV/mm ดังนั้นระยะห่างของ spark gap ที่ห่างเกินไปย่อมไม่สามารถเกิด switching action ได้

ประจุที่ผ่านเข้าไปที่ spark gap อย่างรวดเร็ว จะทำให้เกิดความต่างศักย์ ซึ่งมีค่าสูงมากตกคร่อม discharge gap ซึ่งเป็นบริเวณที่แยกระหว่างตัวเก็บประจุ ซึ่งถูกคายประจุเสียแล้ว Equipotential Line จะมีลักษณะเป็นหน้าคลื่นวงกลมแผ่ออกจาก spark gap ด้วยความเร็วแสง ดังรูปที่ 3.4(a) ภายในระยะเวลาสั้นๆ หลังจาก ที่ spark gap เริ่มนำกระแส (conduct) คลื่นโวลต์เตจก็จะมาถึงมุมของ discharge

gap (รูป 3.4(b)) จึงมีความต่างศักย์ตกคร่อม discharge gap ส่วนกลางก่อนจากนั้น
ก็จะกระจายตกคร่อมไปจนถึงขอบของ discharge gap ด้วย



The Blumlein switching phenomenon

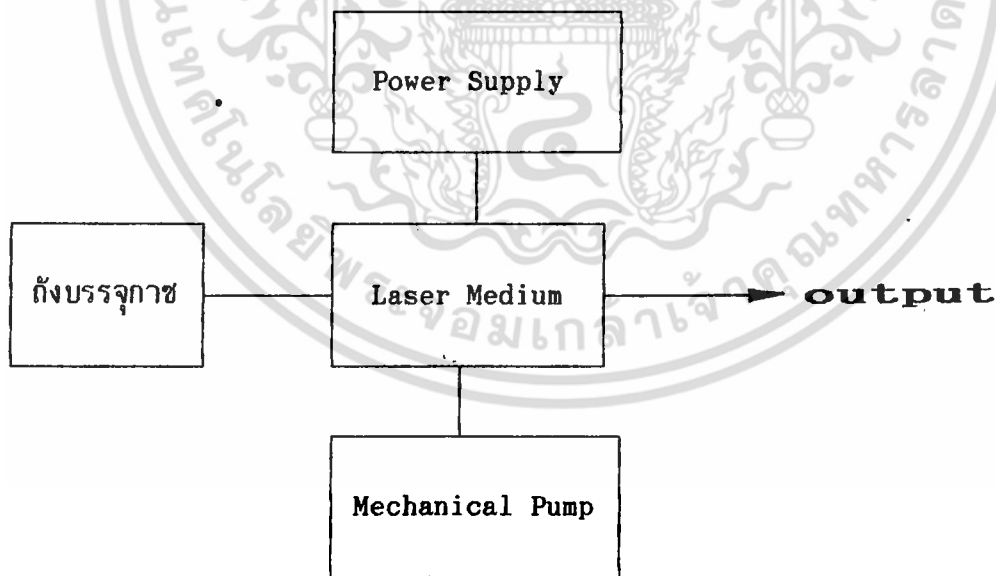
รูปที่ 3.4 แสดงการเกิดกลไกการทํานานแบบเปิด - ปิด (switching action)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของ discharge gap จะถูกปิดไว้เพื่อที่จะได้บรรจุก๊าซไนโตรเจน และลดความดันในตัวโดยใช้ปั๊มโรตารีดูดเอาอากาศออกมา ดังนั้นจึงต้องสร้างส่วนที่เรียกว่า "ห้องซังก๊าซ" ขึ้นมาครอบ discharge gap ไว้เพื่อกันไม่ให้อากาศจากภายนอกเข้าไปได้ด้วยเหตุที่ความดันต่ำและตัวเก็บประจุถูก charge จนมีโวลต์เตจประมาณ 20 000 volt ดังนั้น เมื่อเกิดการคายประจุจะมีผลทำให้โมเลกุลของไนโตรเจนจำนวนมากขึ้นสู่สภาวะถูกกระตุ้น (excited state) และแสงเลเซอร์ก็จะถูกสร้างขึ้นมา ตัว coil ซึ่งทำจากลวดทองแดงจะทำหน้าที่ต่อตัวเก็บประจุ 2 ตัว ในขณะที่ทำการ charge ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงกระแสอย่างช้า ๆ แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายในเวลาเป็น nanoseconds ตัว coil นี้จะเหมือนกับเป็นวงจรเปิด (open circuit)

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ระบบเลเซอร์อย่างง่ายจะประกอบด้วย

- แหล่งจ่ายไฟแรงสูง (High Voltage Power Supply).
- Mechanical Rotary Pump.
- Laser Medium (Nitrogen Gas).



รูปที่ 3.5 แสดงส่วนประกอบของระบบไนโตรเจนเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การสร้างระบบไนโตรเจนเลเซอร์อย่างง่ายและผลการทดสอบ

4.1 วิธีสร้าง

ระบบไนโตรเจนเลเซอร์ประกอบไปด้วยอุปกรณ์การสริทซึ่ง แหล่งจ่ายกำลัง และแหล่งจ่ายกาไนโตรเจน การลดความดันทำได้โดยใช้ปั๊มฟักกล (Mechanical Pump) หรืออาจใช้คอมเพรสเซอร์จากตู้เย็นทำหน้าที่แทนก็ได้ นอกจากนี้การใช้ก๊อคน้ำเพื่อลดความดันก็อาจกระทำได้แต่อาจไม่ได้ผลดีเท่าที่ควร

ตัวเก็บประจุของระบบเลเซอร์ สร้างขึ้นจากแผ่นปรินท์อิพอกซีแบบ 2 หน้า ซึ่งหาซื้อได้จากร้านจำหน่ายอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป

ขนาดของแผ่นปรินท์ที่ใช้ คือขนาด 12 * 12 นิ้ว (1 ตารางฟุต) จำนวน 2 แผ่น โดยจำเป็นต้องกัดทองแดงบางส่วนที่ไม่ต้องการออกเพื่อให้ได้ลักษณะของตัวเก็บประจุ 2 ตัว ที่มีขา ๆ หนึ่งต่อรวมกันดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งมีขนาดโดยรอบตัวเก็บประจุ



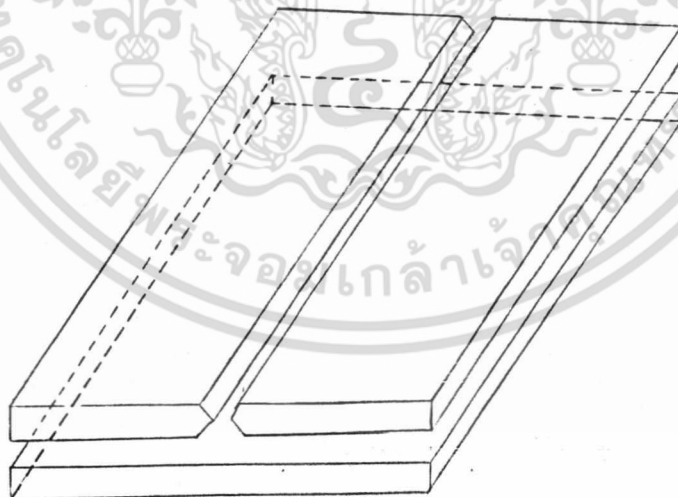
รูปที่ 4.1 แสดงตัวเก็บประจุที่สร้างขึ้นจากแผ่นปรินท์อิพอกซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้! ระเบียบดำเนินการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ 34 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำหน้าที่เป็นไดอิเล็กทริกการ์ด (หน้าที่ของไดอิเล็กทริกการ์ดคือทำให้สนามไฟฟ้าในตัวเก็บประจุมีความสม่ำเสมอและยังป้องกันการอาร์ค เนื่องจากศักดาไฟฟ้าสูงที่บริเวณขอบของตัวเก็บประจุ) แผ่นปรินท์แต่ละแผ่นจึงถูกกัดออก 1 นิ้วโดยรอบเพื่อเป็นไดอิเล็กทริกการ์ดขอบของแผ่นปรินท์ที่นำมาต่อกันนั้นด้านบนจะถูกกัดมากกว่า คือ 2 นิ้ว เพื่อป้องกันการอาร์คอันเนื่องมาจากการแตกตัวของอากาศ ส่วนด้านล่างไม่ต้องกัดเพราะหลังจากกัดทองแดงออกแล้วจะบัดกรีส่วนล่างเข้าด้วยกัน

วิธีกัดขอบทองแดงทำได้โดยใช้กระดาษกวาดปิดพื้นที่ที่ต้องการกัดใช้สิสเบรย์ฟันบริเวณที่เหลือทิ้งไว้จนสีแห้งนำไปกัดในสารละลายเพอริโครไรต์หรือกรดไนตริกเจือจางเพอริโครไรต์รู้จักกันดีในชื่อของกรดกัดปรินท์ซึ่งหาได้ง่าย ระหว่างกัดทองแดงเราสามารถเร่งปฏิกิริยาให้เร็วขึ้นด้วยการให้ความร้อน เช่น ใช้หลอดไฟ สบอดีไลท์

วิธีต่อแผ่นปรินท์ทั้งสองแผ่นให้เป็นตัวเก็บประจุสองตัวตามต้องการใช้หัวแร้งขนาด 100 วัตต์เป็นอย่างน้อย การใช้ลวดตัวนำขนาดเล็กเป็นตัวประสานทั้งสองแผ่นจะช่วยให้ประสานได้ง่ายกว่าใช้ตะไบแต่งขอบแผ่นปรินท์



รูปที่ 4.2 แสดงตัวเก็บประจุที่สร้างขึ้นอีกวิธีหนึ่ง

ตัวเก็บประจุยังสามารถสร้างขึ้นด้วยวิธีอื่น ๆ เช่นใช้แผ่นโลหะ 3 แผ่น และ
ฉนวนคอปเปอร์เป็นแกนวิชีที่มีฉนวนอยู่กลาง ด้านล่างเป็นแผ่นโลหะ 1 แผ่น และด้านบนเป็นแผ่น
โลหะ 2 แผ่น ดังแสดงในรูป 4.2

ฉนวนอากาศใช้แผ่นใสซึ่งใช้กับเครื่องโอเวอร์เฮดโปรเจคเตอร์ ส่วนพลาสติก
ห่อปกหนังสือ ไม่ควรใช้เนื่องจากไม่มีความเป็นเนื้อเดียว (Homogeneous) ซึ่งสังเกตได้
เมื่อส่องกับแสงไฟ จึงเกิดการพังทลายของไดอิเล็กทริก (Dielectric Breakdown)
ขึ้นได้ง่าย ฉนวนของตัวเก็บประจุต้องบางที่สุดที่ไม่พังทลายเมื่อเกิดความต่างศักย์สูงสุด
ในกรณีของแผ่นปรินท์ที่พอกขึ้นนั้น สามารถทนความต่างศักย์ได้ 1000 โวลต์ต่อ 0.001 นิ้ว
ได้โดยยังมีความเชื่อถืออยู่มาก

ห้องซังกาซของเรามีขนาดความสูง 2 นิ้ว กว้าง 2 นิ้ว ส่วนความยาวยอม
เท่ากับขนาดของแผ่นปรินท์ คือ 1 ฟุต ประกอบขึ้นจากแผ่นอะครีลิคจำนวน 8 ชั้น
ดังแสดงในรูป 4.3



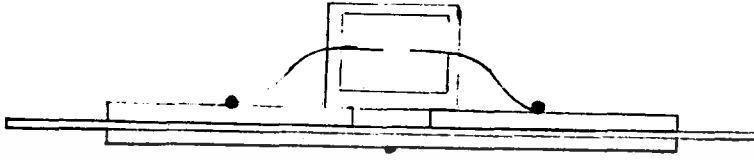
รูปที่ 4.3 แสดงห้องซังกาซที่สร้างขึ้นจากแผ่นอะครีลิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 36๕ ค้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีประสานห้องซังกาชเราใช้กาวยูเรเทนอะครีเลต (กาวยูเรเทน) ประกอบเป็นรูปร่าง เพื่อป้องกันการยุบตัวของห้องซังกาชเมื่อเราลดความดัน และใช้กาวยูเรเทนซิลิโคน (Silicone Sealant) ชนิดเดียวกับที่ใช้กับตู้ปลา ซิลิโคนรอยต่อทั้งหมดเพื่อป้องกันรูรั่วปลายของห้องซังกาชตัดเป็นมุมบรีวสเตอร์ เพื่อให้แสงที่โพลาริซ์และป้องกันแสงสะท้อนกลับเข้าไปในตัวกลาง เลเซอร์ พลาสติกที่เป็นปลายห้องซังกาชใช้ความหนา 20 มิลลิเมตร ซึ่งหนากว่าแผ่นอื่น ๆ ที่มีความหนา 6 มิลลิเมตร เนื่องจากเราต้องเจาะห้องใส่ข้อต่อสายยางทองเหลืองที่พลาสติกแผ่นนี้ การใช้พลาสติก 6 มิลลิเมตร หลายแผ่นประกบกันจนมีความหนาพออาจกระทำได้แต่คุณภาพชิ้นงานไม่เป็นที่น่าพอใจ เพราะเกิดริ้วรอยเนื่องจากน้ำยาประสานอะครีลิก เป็นคราบสีขาวอยู่ทั่วไป และเราไม่สามารถเลี่ยงการเกิดของมันได้ ที่ด้านหน้าของพลาสติกชั้นเดียวกันทั้งสองชั้นเจาะ เป็นรูขนานไปกับห้องซังกาช ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูมีค่าเท่ากับ เลเซอร์แซนแนล (จะกล่าวในภายหลัง) คือ 1 เซนติเมตร

ช่อง เจาะ ด้านหน้าจะ ปิดด้วยกระจกสไลด์จากกล่อง จุลทรรศน์และ ซิลิโคนด้วย การใช้พาราฟินร่วมกับแหล่งความร้อนเช่น เครื่องเป่าลมหรือหลอดไฟวัตต์สูง การใช้พาราฟินก็เพื่อให้สามารถถอดกระจกออกมาทำความสะอาดด้านในได้ หรือเพื่อความสะอาดอาจใช้กาวยูเรเทน กระจกสไลด์อาจเปลี่ยนเป็นไนล่อนเพื่อประสิทธิภาพที่ดีขึ้น เนื่องจากไนล่อนสามารถให้แสงในย่านอัลตราไวโอเล็ต ผ่านได้ดีกว่ากระจกสไลด์

ขั้วปล่อยประจุ (Discharge electrode) ทำจากแผ่นทองแดงหนา 1 มิลลิเมตร พบเป็นรูปตัว S ที่ถูกยึดออกดังแสดงในรูป 4.4 มุมที่พบของขั้วปล่อยประจุไม่ควรเป็นมุมที่แหลม ลักษณะที่ดีคือให้มีความลาดเทมาก ๆ เพื่อป้องกันการสูญเสียพลังงานในขณะที่เกิดเลเซอร์ ที่มุมของขั้วปล่อยประจุต้องตัดและตะไบจนมีลักษณะโค้งมน เพื่อให้ศักย์ไฟฟ้าสม่ำเสมอตลอดทั้งขั้วปล่อยประจุ ก่อนที่กลไก เลเซอร์ จะทำงาน ที่ปลายอีกด้านหนึ่งของขั้วปล่อยประจุทั้งสองขั้วจะบัดกรีเข้ากับด้านบนของแผ่นปรินท์ การบัดกรีนี้จะสำเร็จลงไม่ได้เลยถ้าหัวแร้งมีกำลังต่ำ ๆ หัวแร้งที่ใช้ได้ดี คือหัวแร้งขนาด 300 วัตต์ ซึ่งปกติใช้กับงานโลหะแผ่น หรืออาจใช้หัวแร้งปืนสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์ขนาด 100 วัตต์



รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะรูปร่างของขั้วปล่อยประจุ

มากกว่า 2 ตัว ทำงานพร้อมกัน แต่วิธีนี้เป็นวิธีที่ไม่สมควร เพราะนอกจากจะได้รอย
บัดกรีที่ไม่ดีแล้ว ยังทำให้หัวแรงเสียหายได้

สปาร์คแกปซึ่งทำหน้าที่นำกระแสขนาดสูง ๆ ภายในเวลาสั้นมาก ๆ มันจึงต้อง
สร้างขึ้นมาจากตัวนำโลหะที่เป็นแผ่นแทนที่จะเป็นเส้นลวด เพื่อลดผลจากการเป็นอินดักแตนซ์
ของเส้นลวด สปาร์คแกปอาจจะทำจากทองแดงพับเป็นรูปตัว C และใช้น็อตติดกับด้านบน
ของทองแดงรูปตัว C เพื่อให้ปรับระยะของสปาร์คแกปได้ หรืออาจใช้แผ่นทองแดงบาง
ตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และเจาะรูเพื่อติดหัวเทียน ซึ่งเป็นวิธีที่ทำได้ง่ายกว่า แต่ระยะจะ
ปรับได้โดยใช้ลวดนูนรูปทรงกระบอกเพื่อปรับระยะห่าง วิธีแรกจึงปรับระยะได้โดยสะดวก
กว่าการเปลี่ยนลวดนูนรูปทรงกระบอกความสูงต่าง ๆ กันในวิธีหลัง การทำให้สปาร์คแกป
ทำงานโดยไม่มีตัวบังแสงสามารถกระทำได้แต่จะเกิดเสียงดังมาก เมื่อสปาร์คแกปทำงาน
ในแต่ละครั้งและยังเกิดแสงสว่างซึ่งมีย่านอุลตราไวโอเลตบนออกมาด้วย วิธีที่เหมาะสมคือ
ครอบสปาร์คแกปด้วยสารทึบแสง เช่น ท่อพีวีซี

ลำดับขั้นในการประกอบชิ้นส่วนที่เป็นห้องซังกาซและขั้วปล่อยประจุเป็นสิ่งสำคัญ
ที่ควรระมัดระวัง เพื่อลดปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นได้ง่ายกับระบบเลเซอร์อย่างง่ายของเรา

ชั้นแรกคือการประกอบพลาสติก 5 ชั้นเข้าด้วยกันเป็นส่วนล่างของห้องซังกาช ใต้แก่แผ่นที่เป็นพื้นห้องกาช 1 ชั้น แผ่นพลาสติกหนาที่เป็นปลายของห้องซังกาช 2 ชั้น และ แผ่นประกอบข้างรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ซึ่งทำหน้าที่เป็นผนังของห้องซังกาช 2 ชั้น หลังจากใช้ กาวไซยาโนอะครีเลตแล้ว ให้ซิลภายในด้วยซิลิโคนก่อนประกอบขั้วปล่อยประจุ เพราะหลังจากประกอบขั้วปล่อยประจุแล้วย่อมไม่สามารถเข้าไปซิลบริเวณนี้ได้อีก ชั้นที่สองคือประกอบ ขั้วปล่อยประจุและปรับความหนาให้ดีที่สุด ก่อนติดกาวไซยาโนอะครีเลตและซิลอีกรั้ง สุดท้ายคือประกอบแผ่นประกอบข้างอีก 2 ชั้นและผาด้านบนซึ่งต้องซิลก่อนปิดฝาข้างบน เนื่องด้วยเหตุผลเดียวกัน

วิธีการรั้วของห้องซังกาช (ซึ่งขณะนี้ขั้วปล่อยประจุติดอยู่ด้วย) ก่อนที่จะนำไป บัดกรีกับแผ่นปริ้นท์โดยต่อสายยาง เข้ากับข้อต่อสายยางทั้งสองจุ่มน้ำให้มิดแล้ว เป่าลมเข้าไป การทดสอบความแข็งแรงของห้องซังกาช โดยดูตุอากาศออกจากห้องซังกาช และสังเกตการยุบตัวของพลาสติกเพื่อป้องกันความผิดพลาดในภายหลัง

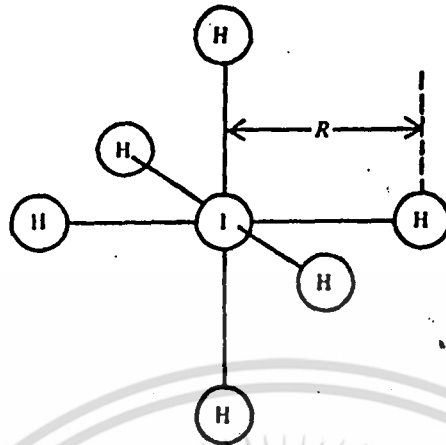
แหล่งจ่ายกำลัง (Power Supply) ประกอบขึ้นจากหม้อแปลงหลอดนีออนซึ่ง สามารถจ่ายกระแสได้ต่อเนื่อง 15 มิลลิแอมป์ที่ความต่างศักย์ 15 กิโลโวลต์และไดโอด แรงดันสูงขนาด 20 กิโลโวลต์ การต่อตัวต้านทานในย่านเมกะโอห์มเพื่อจำกัดกระแสเป็น สิ่งจำเป็นเพื่อป้องกันการไหลดกระแส

ระบบจ่ายกาชไนโตรเจนทำให้เกิดเลเซอร์ได้ดีขึ้น เพราะหลังจากปล่อยประจุ กาชจะร้อนขึ้นและจะเกิดเลเซอร์ได้น้อยลง ระบบจ่ายกาชจะทำให้กาชถ่ายเทอยู่เสมอ

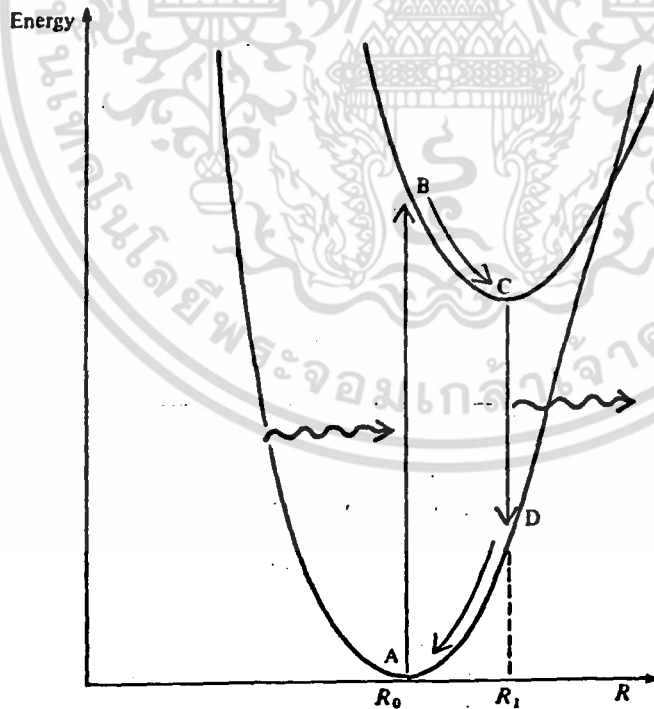
เอาท์พุทของเลเซอร์จะมีค่ากำลังสูง เมื่อได้กาชไนโตรเจนบริสุทธิ์ มีการถ่าย เทกาชอย่างสม่ำเสมอกำลังของเลเซอร์มีค่าสูงขึ้นที่ระยะของสปาร์คแกปสูงขึ้นและความดัน ที่ทำให้เอาท์พุทสูงคือที่ประมาณ 100 ทอร์

การตรวจสอบว่าเกิดเลเซอร์ กระทำได้ง่ายโดยใช้หลักการของโฟโตลูมิเนส- เซนซ์ ซึ่งอธิบายไว้ในเนื้อหาทางด้านออปโตอิเล็กทรอนิกส์ (Optoelectronics) ดังนี้

ถ้าเราคิดง่าย ๆ ว่า เมื่อวัตถุมีฟอตอนตกกระทบพลังงานย่อมไม่สูญหายไปไหน สุดท้ายวัตถุจะปล่อยฟอตอนความถี่เดิมออกมา แต่ในความจริงมีสารบางชนิดที่ปลดปล่อย



รูปที่ 4.5 แสดงการยึดเหนี่ยวกันระหว่างอิเล็กตรอนในโมเลกุลในภาวะสมดุล



รูปที่ 4.6 แสดงการเกิด Stroke Shift

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟตอนออกมาโดยมีความยาวคลื่นมากกว่าความยาวคลื่นของโฟตอนที่ตกกระทบ เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเลื่อนของสโตรคส์ (Stroke Shift)

ก่อนอื่นจะขอล่าวกถึง การยึดเหนี่ยวกันระหว่างอ็อนในโมเลกุลในภาวะสมดุลของแต่ละอ็อนจะมีระยะห่างกันเป็น R_0 ณ จุดที่จะทำให้พลังงานต่ำสุด (ดู รูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 ประกอบ) คือจุด A เมื่อมีโฟตอนพลังงานสูงพดตกกระทบระยะห่างระหว่างอ็อน จะเปลี่ยนไปทำให้ระบบเข้าสู่จุด B ของแผนภาพระหว่างพลังงานของระบบกับระยะห่างระหว่างอ็อน ที่จุด B ไม่ทำให้ได้ระดับพลังงานต่ำสุดที่ระยะห่างเท่ากับ R_1 จึงเกิดการเปลี่ยนสถานะไปสู่จุด C โดยเกิดโฟนอน (โฟนอน เป็นการสั่นของโครงผลึกและเกิดความร้อนขึ้น) จากจุด C จะเปลี่ยนสถานะลงสู่จุด D และไม่ทำให้โฟตอนออกมา สังเกตว่าระยะ CD สั้นกว่า AB แสดงว่าพลังงานของโฟตอนจะน้อยกว่าพลังงานที่ตกกระทบ นั่นคือเกิดการเลื่อนของสโตรคส์ (Stroke Shift) ขึ้นแล้ว และจากจุด D สู่จุด A จะเกิดโฟนอนขึ้นอีกครั้ง เพื่อให้ระดับพลังงานของระบบต่ำสุด

สารที่มีสมบัติโฟโตลูมิเนสเซนซ์ หรือเรียกง่าย ๆ ว่า สารเรืองแสง พบได้ในผงซักฟอกทั่ว ๆ ไป หรือกระดาษที่ถูกฟอกจนขาว ตลอดจนวัตถุใด ๆ ที่เรืองแสงภายใต้แสงจากหลอดแบล็คไลท์ (Black Light)

ลักษณะที่จะตรวจพบเมื่อเกิดเลเซอร์คือเกิดการเรืองแสงเป็นรูปสี่เหลี่ยมกว้างเท่ากับระยะห่างของแซนแนล คือ 1 เซนติเมตร ความกว้างประมาณเท่ากับความหนาของซี่ปส่อยประจุ คือ 1 มิลลิเมตร

พารามิเตอร์ที่วัดค่า	ค่าที่วัดได้
ตัวเก็บประจุที่สร้างขึ้น	3.4 nF
ตัวเหนี่ยวนำ	5.0 mH
ความต้านในห้องซังกาซ	160 toor
แรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุท	220 volt

ตารางที่ 1 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่วัดได้

เมื่อเราเดินเครื่องทำงานแล้ว จะเห็นกาชานาตรเจนแตกตัว สังเกตได้จาก
เกิดการสปาร์คเป็นพลาสมาสีม่วง ซึ่งเป็นสีที่เกิดจากการที่กาชานาตรเจนอ้อไนซ์

บทที่ 5

สรุปและ เสนอแนะ

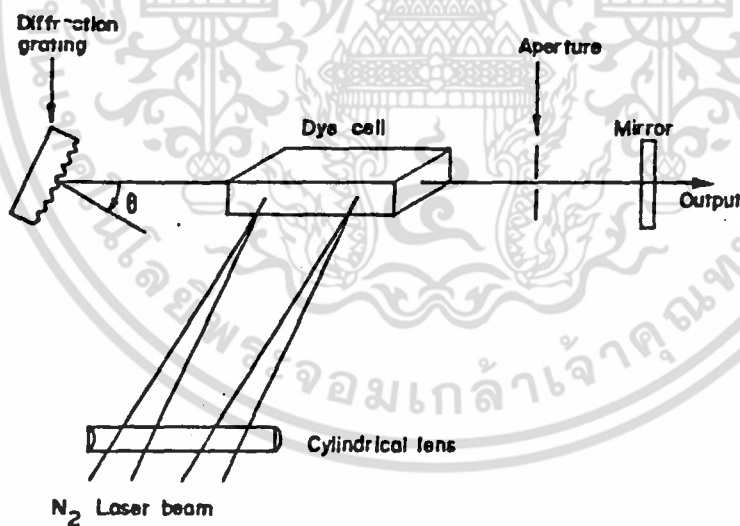
5.1 สรุปผล

โครงการพิเศษนี้แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

- ขั้นตอนการศึกษาทฤษฎีของ เลเซอร์
- ขั้นตอนการสร้างไนโตรเจนเลเซอร์

ไนโตรเจนเลเซอร์นี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ ได้แก่ นำไปใช้เป็นตัว

ปั๊มพลังงานให้แก่ด้ายเลเซอร์ ตัวแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แสดงการใช้ไนโตรเจนเลเซอร์ ทำการปั๊มพลังงานเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงแก้ไข 43 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราใช้นิวทริเจนเลเซอร์ซึ่งมีความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร ทำการ
ปั๊มฟลายเลเซอร์ ในแนวตั้งฉากกับทิศทางที่แสงเลเซอร์จากตายเลเซอร์จะออกมา ในกรณี
นี้แสงเลเซอร์จากตายเลเซอร์จะมีความยาวคลื่น 350 - 680 นาโนเมตร

ในรูปที่ 5.2 แสดงนิวทริเจนเลเซอร์ที่สร้างขึ้นมาจากโครงการงานพิเศษนี้ ซึ่ง
มีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้



รูปที่ 5.2 แสดงนิวทริเจนเลเซอร์ที่สร้างขึ้น

I. ปั๊มฟลายโรตารี

ทำหน้าที่ดูดอากาศจากห้องซังก๊าซ เพื่อทำให้เกิดสภาพสุญญากาศ

II. แหล่งจ่ายไฟแรงสูง (High Voltage Power Supply)

ใช้หม้อแปลงหลอดนีออน ทำหน้าที่ป้อนพลังงานให้แก่ระบบเลเซอร์

III. วาริแอก (Variac)

ทำหน้าที่ปรับแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุทของหม้อแปลงหลอดนีออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อที่ 44 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IV. มานิเตอร์

ทำหน้าที่วัดความดันในห้องซังกาซ

V. กังกาซาไนโตรเจน

ใช้ในการปล่อยกาซาไนโตรเจนเข้าไปในห้องซังกาซ

VI. ตัวเครื่องไนโตรเจนเลเซอร์

ทำหน้าที่ในการอิออนซ์กาซาไนโตรเจนเพื่อทำให้เกิดแสงเลเซอร์ ซึ่ง
ส่วนนี้ประกอบด้วย

- ห้องซังกาซ
- ตัวเก็บประจุซึ่งสร้างขึ้นจากแผ่นปรินซ์ฮอกซี 2 หน้า

5.2 เสนอแนะ

อาจมีการออกแบบทำเครื่องขึ้นมาใหม่ เนื่องจากในโครงการพิเศษนี้ใช้วัสดุที่หา
ได้ง่ายและต้องสร้างขึ้นเองเกือบทุกอย่าง เช่น เครื่องมือวัดความดัน ถ้ามีเครื่องมือที่มี
มาตรฐานก็จะสามารถวัดและควบคุมความดันได้ง่าย ควรจะมีตัวตรวจจับแสงอุลตราไวโอ-
เลตด้วย เนื่องจากจะได้ทำมาตรวจแสงอุลตราไวโอเลตที่เกิดจากเลเซอร์เครื่องนี้ได้

บรรณานุกรม

J.Wilson, J.F.B.Hawkes, Laser Principles and Applications,

pp. 76 - 77, Prentice Hall International(UK)Ltd,1987.

J.Wilson,J.F.B.Hawkes, Optoelectronics and Introduction, 2nd ed.,

pp. 111-117, Prentice Hall International(UK)Ltd,1989.

Orazio Svelto, David C.Hanna,Principle of Laser, 2nd ed.

pp. 221-225, Plenum,1977.

Joseph T.Verdeyen, Laser Electronics, 2nd ed.,pp. 559-560,

Prentice Hall International(UK)Ltd, 1989.

Jerry B.Morion,William F.Hornyak,Physics for Science and engineer,

pp. 827-837, Holt and Saunders Japan, 1982

C.L.Stong, James G.Small,"An unusually kind of laser that puts
out pulses in the ultraviolet", Scientific American,

122(1974):122-127.

วุฒิชัย พันธุมนาวัน, เลเซอร์ฟิสิกส์, หน้า 1-105,341-361, มิตรนราการพิมพ์,2532

สมศักดิ์ บัญญาแก้ว, เลเซอร์แอนจิเนียริง, หน้า 1-57,จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2529



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความปลอดภัยในการใช้เลเซอร์

(Laser Safety)

บทนำ

ตามที่ได้กล่าวมาในตอนต้นเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เลเซอร์ในวงการต่างๆ นั้น เราจะพบว่าในปัจจุบันได้มีการใช้เลเซอร์อย่างกว้างขวาง และในชีวิตประจำวันก็จะต้องเกี่ยวข้องกับแสงเลเซอร์มาก เป็นลำดับปรากฏการณ์เหล่านี้ก็เป็นปรากฏการณ์ของขบวนการนำสิ่งประดิษฐ์คิดค้นใหม่ทางวิทยาศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในสังคม เปรียบเสมือนกับการค้นพบกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induced Current) ของไมเคิล ฟาร์ราเดย์ (Michael Faraday) ในสมัยก่อนและในที่สุดก็เป็นการประยุกต์ใช้กระแสไฟฟ้าอย่างกว้างขวาง เช่นในปัจจุบันนี้ เราสมควรจะได้เรียนรู้เกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้เลเซอร์ (Laser Safety) ก่อนที่จะนำมาใช้ในห้องปฏิบัติการ โรงงาน ตลอดจนการใช้อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับเลเซอร์ เป็นต้น ความปลอดภัยในการใช้เลเซอร์โดยส่วนมากจะเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในส่วนที่เกี่ยวข้องกับ

- (I) ความปลอดภัยที่เกี่ยวกับด้านแสงที่มีความเข้มสูง (Intensive Light)
- (II) ความปลอดภัยเกี่ยวกับระบบอิเล็กทรอนิกส์ศักดาสูง (High Voltage Electronics)
- (III) ความปลอดภัยเกี่ยวกับตัวกลางเลเซอร์ (Laser Medium) ซึ่งบางครั้งสารเลเซอร์เป็นสารประกอบทางเคมี (Chemical Compound) มีอันตรายสูงต่อร่างกาย (High Toxicity) อาทิเช่น ดาย (Dye) และก๊าซต่างๆ ที่เป็นตัวกลางเลเซอร์ และนอกจากนี้อาจมีอันตรายอื่น ๆ อันเกิดเผาไหม้เป้า (Target) โดยแสงเลเซอร์ทำให้เกิดก๊าซพิษในขณะทำการยิงเป้าด้วยแสงเลเซอร์แล้วผู้ปฏิบัติการหายใจเข้าไป

ดังนั้นเราจำเป็นต้องเรียนรู้เกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้ระบบเลเซอร์ ซึ่งจะได้กล่าวในที่นี้โดยสังเขปเกี่ยวกับความปลอดภัยที่ส่งผลกระทบต่อระบบสรีรวิทยา (Phy-

siological Effects) อันได้แก่ นัยน์ตา (Eye) และผิวหนัง (skin) เป็นส่วน
ใหญ่ นอกจากนี้จะได้มีการกล่าวโดยสังเขปถึงมาตรฐานของการแยกเลเซอร์ตามกำลัง
(Power) ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานและความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติการ มาตรฐานการแบ่ง
แยกประเภทของเลเซอร์ต่าง ๆ ได้ใช้ของ American National Standard
Institute (ANSI) ผลกระทบของแสงเลเซอร์ ต่อผู้ปฏิบัติการพอสรุปได้ดังต่อไปนี้

ผลกระทบทางด้านสรีรวิทยา (Physiological Effects)

เนื่องจากแสงเลเซอร์มีคุณสมบัติทางแสงเป็นพิเศษกว่าแสงอื่นโดยทั่วไปกล่าวคือมี
โคเอียร์เรนซ์และโมโนโครมาติซิตีสูง นอกจากนี้เป็นลำขนาน (Parallel beam) และ
ทิศทางของการเคลื่อนที่แน่นอน (Directionality) มิได้กระจายออกแบบแสงทั่วไป
(Incandescent Light) ดังนั้นแสงเลเซอร์จึงสามารถรักษาความเข้ม (Intensity)
ของแสงได้เมื่อเดินทางในระยะทางไกล ๆ จึงทำให้ผู้ปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับเลเซอร์
อาจไม่ปลอดภัย ถึงแม้จะอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์มาก ๆ แล้วก็ตาม ในส่วน
ของสรีรวิทยานั้นแสงเลเซอร์จะก่อให้เกิดอันตรายมากที่สุดก็คือ นัยน์ตา (Eye) ซึ่งประ-
กอบด้วยนัยน์ตาสวนในที่เรียกว่า เรตินา (Retina) และนัยน์ตาสวนนอกที่
อยู่รอบ ๆ เลนส์ตาเป็นส่วนที่เรียกว่า คอร์เนีย (Cornea) และบริเวณผิวหนังร่างกาย (skin)
เรตินา (Retina) จะไวต่อแสงเลเซอร์และอาจถูกทำให้เสียหายโดย
แสงนั้นที่มองเห็นด้วยตาเปล่าได้ (Visible light) ซึ่งมีช่วงคลื่น λ ตั้งแต่
 $400 \text{ nm} < \lambda < 700 \text{ nm}$ และในช่วงคลื่นอินฟราเรดและเนียร์อินฟราเรด (Near
infrared) ที่มี λ อยู่ระหว่าง $700 \text{ nm} < \lambda < 1400 \text{ nm}$ ($1.4 \mu \text{m}$)
สำหรับ ช่วงคลื่นแสงเลเซอร์ในย่านอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) ที่มีช่วงคลื่น
 $\lambda < 400 \text{ nm}$ และช่วงคลื่นแสงย่านฟาร์อินฟราเรดที่มีช่วงคลื่น $\lambda > 1.4 \text{ m}$
นั้นจะไม่ทำอันตรายต่อเรตินา (Retina) แต่จะทำอันตรายบริเวณคอร์เนีย (Cornea)
เพราะบริเวณนี้จะดูดกลืนแสงเลเซอร์ได้เป็นอย่างดีในย่านช่วงคลื่นดังกล่าว ผลกระทบ
ของแสงเลเซอร์ต่อผิวหนังนั้น พบว่าแสงเลเซอร์ที่ช่วงคลื่นใด ๆ ก็ตามมีผลกระทบต่อผิว

หนังมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับช่วงคลื่น และความเข้มของแสงเลเซอร์ ซึ่งเราจะได้กล่าวใน
รายละเอียดในตอนต่อไป

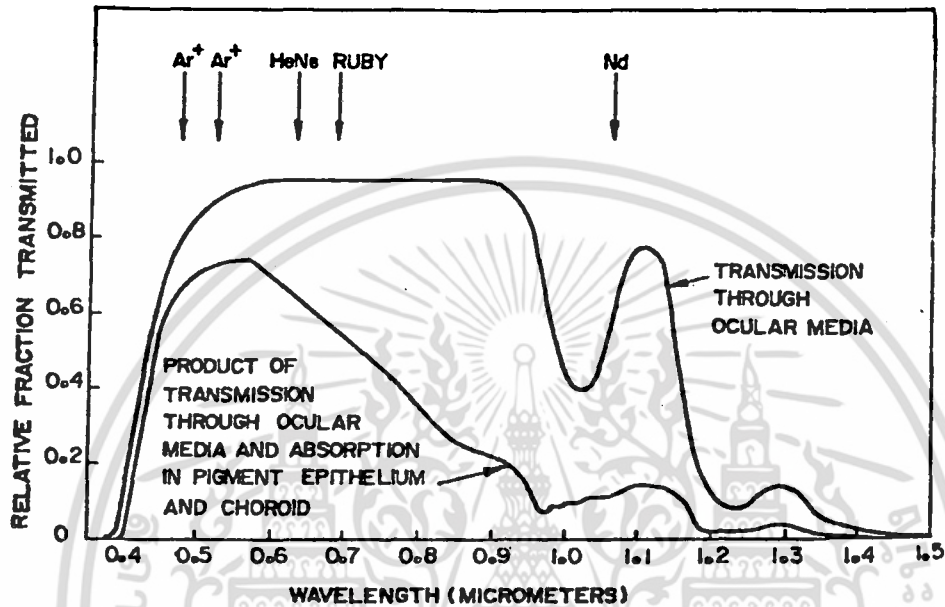
ผลกระทบต่อเนย์นตา (Effects on the Eye)

แสงเลเซอร์ที่มีช่วงคลื่น อยู่ระหว่าง $400 \text{ nm} < \lambda < 700 \text{ nm}$ สามารถ
เดินทางผ่านเนย์นตาส่วนหน้าที่เราเรียกว่าคอร์เนีย (Cornea) ไปตกกระทบบริเวณเรตินาได้
ดังนั้นแสงเลเซอร์ในช่วงคลื่นดังกล่าวนี้สามารถทำอันตรายต่อบริเวณเรตินา รูปที่ 1 แสดง
กราฟ 2 เส้นที่เกี่ยวกับการหักเหของแสง (Transmission) ในการเดินทางผ่านเลนส์
ตาและของเหลวในบริเวณรอบ ๆ เข้าสู่บริเวณเรตินา และอีกกราฟหนึ่งและผลคูณของ
การหักเห (Product of transmission) และการดูดกลืน (Absorption) ของชั้น
ผิวต่าง ๆ (Layers) ของเรตินาและกราฟนี้ได้แสดงถึงการเกิดอันตราย (Hazard)
ขึ้นกับเรตินาตามการแปรของความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ แสงเลเซอร์ที่มี $\lambda < 400 \text{ nm}$
และ $\lambda > 1.4 \mu\text{m}$ จะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อเรตินา แต่จะทำให้บริเวณเนย์นตาส่วนนอกคือ
คอร์เนีย (Cornea) ได้รับความอันตราย ดังนั้นแสงเลเซอร์จากคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์
(Carbondioxide laser) จะทำอันตรายต่อบริเวณคอร์เนีย

เรตินาเป็นบริเวณที่มีการเสี่ยงต่ออันตรายอันเกิดจากแสงเลเซอร์มากที่สุดทั้งนี้
เพราะบริเวณเรตินาเป็นบริเวณรวมแสงหรือเป็นจุดโฟกัส (Focusing point) ของ
เลนส์ตา แสงเลเซอร์ภายนอกเนย์นตา จะถูกโฟกัสจนมีกำลังสูงที่เรตินา ขนาดของจุด
โฟกัสที่เรตินามีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ $20 \mu\text{m}$ แพลเตอร์ที่ทำให้เกิดการเพิ่มความ
หนาแน่นของกำลัง (Power density) สูงขึ้นที่บริเวณเรตินาก็คือ $(D_p/D_r)^2$
เมื่อ D_p เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของเลนส์ตาซึ่งมีขนาดประมาณ 0.5 cm และ D_r เป็นเส้น
ผ่านศูนย์กลางของขนาดจุดโฟกัสบนเรตินาซึ่งมีขนาดประมาณ $20 \mu\text{m}$ ดังนั้น $(D_p/D_r)^2 \sim$
 6×10^4 เท่า ซึ่งหมายความว่าถ้าแสงเลเซอร์ก่อนส่องกระทบเนย์นตามีความหนาแน่นของ
กำลัง (Power Density) เท่ากับ mW/cm^2 เมื่อเดินทางไปถึงเรตินาแล้วจะมีความหนา
แน่นเป็น $6 \times 10^4 \text{ mW/cm}^2 = 60 \text{ W/cm}^2$ ดังนั้นแสงเลเซอร์ขนาดต่ำที่มีกำลัง 2-3 mW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลง - 49 - และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

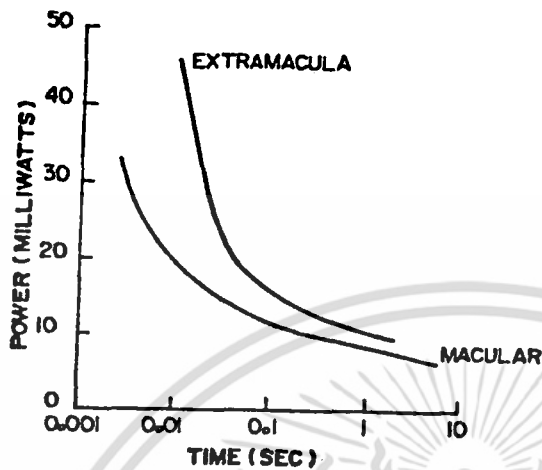
ไม่มีอันตรายต่อผิวหนังของนัยน์ตาหรือผิวหนัง แต่ถ้าเมื่อเรามองตรง (Direct vision) กับแสง เลเซอร์นั้นแล้วเรตินาอาจจะ เป็นอันตรายได้ง่ายในขณะที่ที่อวัยวะส่วนอื่นของร่างกาย ไม่มีผลอันตรายต่อแสง เลเซอร์นั้น



รูปที่ 1 แสดงคุณสมบัติทางสเปกตรัมของนัยน์ตามนุษย์ เส้นกราฟบนแสดงจำนวนเปอร์เซ็นต์ (%) ที่แสงผ่านจากนัยน์ตาส่วนหน้าสู่เรตินา เส้นกราฟล่างแสดงเศษส่วนของแสงที่ตกกระทบและถูกดูดกลืน โดยเรตินาตามช่วงคลื่นต่าง ๆ หรืออีกนัยหนึ่ง แสดงอัตราการเสี่ยงที่เรตินาและ เกิดอันตราย

ได้มีการศึกษาถึงผลกระทบของแสงฮีเลียม-นีออนเลเซอร์ (Helium-neon laser) ต่อเรตินาของนัยน์ตาสลิง (Monkey) ซึ่งมีส่วนประกอบและความคล้ายคลึงกับนัยน์ตาของมนุษย์ ปรากฏผลซึ่งได้แสดงไว้ในรูปที่ 2

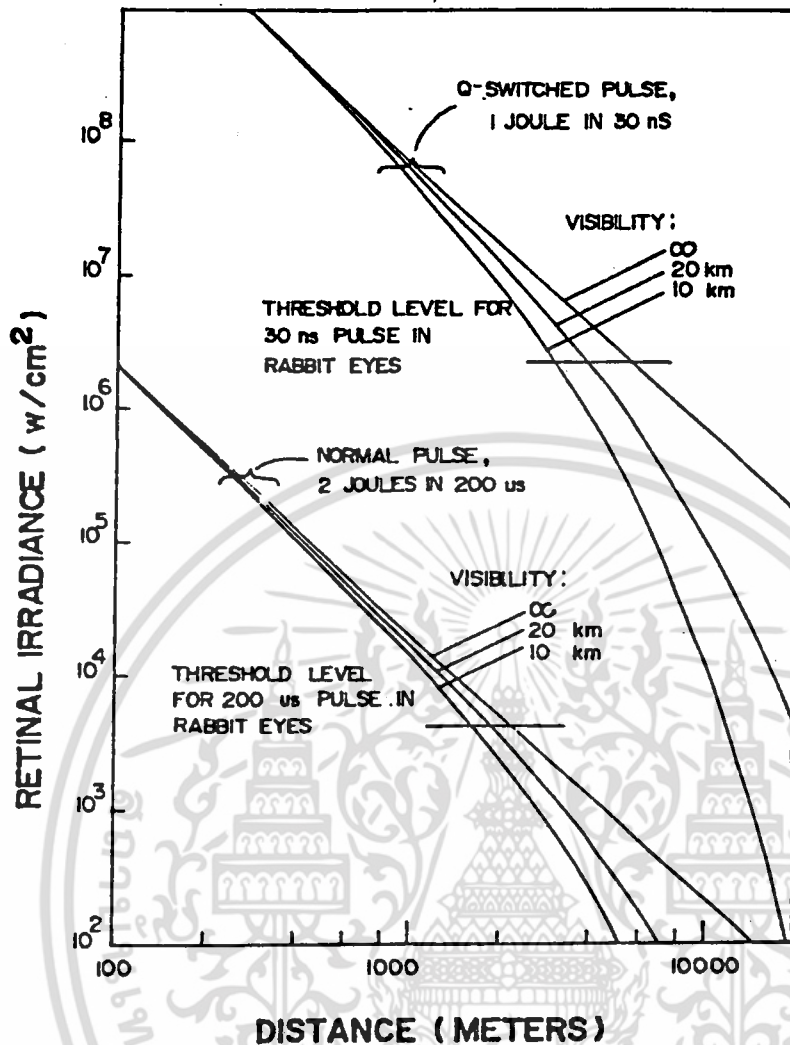
บริเวณมัคูล่า (Macula) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความละเอียดอ่อน (Sensitive region) ต่อการรับ/มองเห็นภาพจะมีเทอร์สโฮลด์ (Threshold) ต่ำประมาณ 7 mW กล่าวคือ แสงฮีเลียมนีออนเลเซอร์ที่มีขนาดกำลัง $P > 7 \text{ mW}$ ขึ้นไปจะทำอันตรายต่อ



รูป 2 แสดงค่าต่ำสุด (Threshold) ของกำลัง (Power) ของแสงอีเลียมเนียน เลเซอร์ที่ก่อให้เกิดจุดไหม้ (Burn หรือ Lesion) ที่เรตินา

เรตินาในส่วนที่เป็นมีคูล่า ในการทดลองนั้น นัยน์ตาของสิ่งถูกบังคับให้มองตรงกับแสงอีเลียมเนียนเลเซอร์ตลอดเวลา ในสภาพจริงของนัยน์ตามนุษย์แล้ว กำลังเลเซอร์ในระดับเทรสโวลต์นี้จะไม่ทำอันตรายต่อเรตินาของมนุษย์ ดังนั้น เราจะเห็นว่าในเรื่องของความปลอดภัยเกี่ยวกับแสงอีเลียมเนียนเลเซอร์แล้ว เราจะพบว่าเครื่องอีเลียมเนียนเลเซอร์ที่ใช้กันทั่วไปในห้องปฏิบัติการทางแสง โดยมีวัตถุประสงค์ในการวางเรียงและวัดระดับ (Alignment) นั้นจะมีกำลัง $P < 5.0 \text{ mW}$ เป็นส่วนใหญ่ ได้มีข้อควรระวังในการใช้อีเลียมเนียนเลเซอร์ในห้องปฏิบัติการทั่ว ๆ ไป อย่างละเอียดตามบรรณานุกรม

รูป 3 แสดงให้เห็นถึงอันตรายที่จะเกิดจากแสงเลเซอร์ถึงแม้ผู้ส่งเหตุการณ์จะอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์เป็นระยะทางไกลมาก ๆ ($\approx 20 \rightarrow \infty \text{ ก.ม.}$) แล้วก็ตาม การทดลองกระทำโดยใช้แสงรูบี้เลเซอร์แบบพัลส์ ($\lambda = 694.3 \text{ nm}$) ยิงเข้าสู่



รูป 3 แสดงความหนาแน่นของกำลัง (Power density) ของแสงรูบี้เลเซอร์แบบพัลส์ การทดลองกระทำในระยะ 10, 20, และ ก.ม. กับนัยน์ตาของกระต่าย ตามแห่ง เทรสโฮลด์ (แสดงด้านเส้นขนานสีดำ) ที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อนัยน์ตา

ตาของกระต่ายที่ระยะ 10 , 20 และ ∞ ก.ม. ตามลำดับด้วยขนาดของกำลังของแสงเลเซอร์ 2 Joules - 200 μs , และ 1 Joule - 30 ns ดังแสดงในรูปที่ 3 อย่างชัดเจนว่าถึงแม้แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์จะอยู่ไกลขนาดก็ตาม เนื่องจากแสงเลเซอร์มีคุณสมบัติด้านทิศทางที่แน่นอน (Directionality) และเป็นแสงขนาน (Parallel Beam)

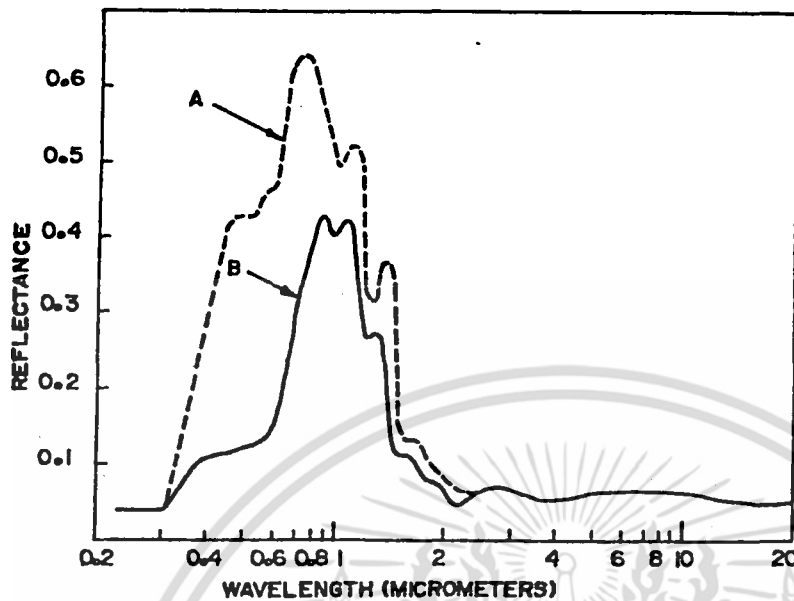
ซึ่งสามารถคงความหนาแน่นของกำลัง (Power Density) ได้ตลอดและมีศักยภาพอันตรายได้เหมือนกับแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์อย่างใกล้ชิดผู้สังเกตการณ์

ผลกระทบต่อผิวหนัง (Effects on the Skin)

แสงเลเซอร์กำลังสูงสามารถเผาไหม้ผิวหนังได้ หากแต่ที่อันตรายที่จะเกิดขึ้นกับผิวหนังนั้นมีความรุนแรงน้อยกว่าเมื่อเทียบกับนัยน์ตา ทั้งนี้ก็เพราะกำลังของแสงเลเซอร์ที่มากกระทบผิวหนังนั้นไม่เพิ่มขึ้น เหมือนกับกรณีของนัยน์ตาที่มีเลนส์ตารักษาพลังงานของแสงเลเซอร์ให้มากขึ้น $\approx 10^4$ เท่าที่เรตินา และความเสียหายที่เกิดขึ้นที่ผิวหนังไม่วิกฤตเท่ากับนัยน์ตา เพราะนัยน์ตาไม่สามารถหาเปลี่ยนใหม่ได้ปัจจุบันเลเซอร์กำลังสูงได้มีบทบาทอย่างมากในด้านอุตสาหกรรม ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติการทางด้านผิวหนังจะมีเพิ่มขึ้น

จากการวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบของแสงเลเซอร์ต่อผิวหนังนั้นเราพบว่าผลกระทบจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของช่วงคลื่น λ และเม็ดสี (pigment) ของผิวหนังหรืออีกนัยหนึ่งก็คือสีของผิวหนังนั่นเอง รูป 4 แสดงการสะท้อนของแสงเลเซอร์ที่ช่วงคลื่นต่าง ๆ จากผิวหนังที่มีสีต่างกัน

ในย่านสเปกตรัมที่มองเห็นได้ (Visible spectrum) เราจะพบว่าผิวหนังสะท้อนแสงเลเซอร์ได้ดี แต่ก็ยังขึ้นอยู่กับสีของผิวหนังบ้างแต่ในย่านอินฟราเรดนั้นค่าสะท้อนกลับของผิวหนังจะต่ำมาก ซึ่งหมายถึงกำลังของแสงเลเซอร์จะผ่านทะลุเข้าไปใต้ผิวหนังและถูกดูดกลืน ซึ่งจะก่อให้เกิดอันตรายได้ง่าย จากการทดลองพบว่าที่ $\lambda = 1.15 \mu\text{m}$ แสงเลเซอร์ประมาณ 20 % ของแสงเลเซอร์ที่ตกกระทบผิวหนังจะถูกดูดกลืนโดยผิวหนังที่ดำดี และมีขีดความสามารถทะลุแก้มของมนุษย์ได้ และที่ช่วงคลื่น $\lambda \approx 10 \mu\text{m}$ ผิวหนังจะดูดกลืนแสงเลเซอร์ได้เป็นอย่างดี และหยุดอยู่ที่ผิวหนังลงไปเล็กน้อย จากการทดลองพบว่าแสงเลเซอร์ที่ $\lambda = 10 \mu\text{m}$ จะพุ่งผ่านผิวหนังนั้นลงไปได้ 0.03 mm และปริมาณของแสง 90 % จะถูกดูดกลืนไว้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องระมัดระวังในเรื่องการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ ทั้งนี้อาจจะเกิดอันตรายต่อการทำที่ผิวหนังไหม้ได้ ด้วยเหตุผล 3 ประการคือ



รูป 4 ค่าสะท้อนกลับ (Reflectance) ของผิวหนัง เปลี่ยนแปลงตามขนาดช่วงคลื่น ของแสงเลเซอร์ กราฟ A สำหรับผิวหนัง ที่มีสีค่อนข้างขาว กราฟ B สำหรับผิวหนังคล้ำ

(1) คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์เป็นเลเซอร์กำลังสูงและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรม และเลเซอร์ระบบนี้มีขีดความสามารถสูงในการเผาไหม้ผิวหนังได้อย่างดี

(2) ค่าสะท้อนกลับของผิวหนังที่ช่วงคลื่น ของคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ ($\lambda = 10.6 \mu\text{m}$) นั้นต่ำมาก ดังนั้นพลังงานของแสงเลเซอร์จะถูกดูดกลืนได้อย่างง่ายดาย (ประมาณ 90 %) โดยน้ำที่เป็นส่วนประกอบของผิวหนัง เมื่อเทียบกับแสงเลเซอร์ชนิดที่มีอยู่ในช่วงสเปกตรัมที่มองเห็นหรือย่านอินฟราเรด

(3) เนื่องจากพลังงานของแสงคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ถูกดูดกลืนได้ดี แต่ระยะของการทะลุทะลวงไปในผิวหนังได้น้อยมากกล่าวคือ เจาะทะลุทะลวงไปได้เป็นความลึกเพียง 0.03 mm ใต้ผิวหนัง ดังนั้นพลังงานความร้อนจะถูกสะสมบริเวณชั้น โอกาสจะ

เผาไหม้ทำลายเซลล์ผิวหนังจึงรุนแรงมาก

อันตรายอื่น ๆ อันเกิดจากระบบเลเซอร์ (Other Hasard from Laser Systems)

เนื่องจากองค์ประกอบของระบบเลเซอร์นั้นเป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic system) และระบบทางแสง (Optical system) และ ระบบการเลเซอร์ (Laser medium system) ดังนั้นอันตรายจากระบบเหล่านี้จึงมีผลมาด้วยตามธรรมชาติของระบบนั้น นอกจากนี้อันตรายจากการที่แสงเลเซอร์ส่องกระทบเข้าแล้วเกิดเผาไหม้หรือเกิดกาชพิษขึ้นก็อาจมีขึ้นได้หากไม่ระวังสุดหายเข้าไ้ก็เป็นอันตรายได้ **อันตรายอื่น ๆ** ซึ่งอาจจะเกิดจากระบบเลเซอร์ พอสรุปได้ดังต่อไปนี้ **อันตรายจาก**

- ก. แหล่งกำเนิดศักดาสูง (High Voltage) และขั้วต่อ (Terminal)
- ข. รังสีเอ็กซ์ (X-rays) จากแหล่งกำเนิดศักดาสูง
- ค. รังสีอุลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) และโอโซน (Ozone) จากแหล่งกำเนิดศักดาสูง
- ง. การขาดการกราวด์ (Grounded) อุปกรณ์ศักดาสูง ตลอดจนหัวเลเซอร์ (Laser Head)
- จ. ตัวกลางเลเซอร์ (Laser medium) บางชนิดที่เป็นพิษต่อร่างกาย อาทิเช่น ดาย (Dye) และก๊าซ
- ฉ. การระเบิดของหลอดแฟลชแลมป์ (Flash lamp)
- ช. การขัดข้องของระบบเครื่องกล (Mechanical tailure) อาทิเช่น ระบบควสวิตท์ที่ใช้กระจกหมุนตัวตัด (chopper)
- ซ. รังสีอุลตราไวโอเล็ต และอินฟราเรดที่มองไม่เห็น
- ณ. ความผิดพลาดของมนุษย์ (Human errors) อาทิเช่น การกดปุ่มยิงเลเซอร์ ก่อนกำหนดหรือยิงเลเซอร์โดยการบังเอิญ หรือความบกพร่องไม่สำรวจความเรียบร้อยของระบบต่าง ๆ ก่อนลงมือทำการ เป็นต้น

การป้องกันหลัก (Main Preventions)

การป้องกันอันตรายอันเกิดจากแสง เลเซอร์และระบบเลเซอร์นั้นเป็นเรื่องละเอียดอ่อน ต้องใช้ความระมัดระวังและรอบคอบ ประกอบกับประสบการณ์ในการทำงานทางด้านเลเซอร์มามากพอจึงจะ เข้าใจและป้องกันได้ในทุก ๆ ด้าน อย่างไรก็ตามมีความจำเป็นต้องกล่าวเกี่ยวกับการป้องกันหลักหรือการป้องกันพื้นฐาน (Basic Preventions)ไว้เพื่อเป็นการเตรียมการและให้ผู้ที่ใช้เลเซอร์ได้ตระหนักถึงความปลอดภัยโดยทั่วไปในการทำงานทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนั้นเราจำเป็นต้องเน้น ความปลอดภัยเป็นอันดับแรก (Safety First) โดยเฉพาะด้านบุคคลที่ปฏิบัติการเป็นอันดับแรก และอุปกรณ์เครื่องมือทรัพย์สินอื่น ๆ เป็นอันดับต่อ ๆ มา

หลักการใหญ่ในการป้องกันอันตรายจากเลเซอร์ก็คือ พยายามออกแบบและจัดการทดลองปฏิบัติการเกี่ยวกับแสง เลเซอร์นั้น โดยให้สถานที่ทำงานถูกจัดแบ่งส่วนแล้วทำให้โอกาสที่แสง เลเซอร์จะกระทบถูกต้องน้อยที่สุดและผิวหนึ่ง ได้น้อยมากไม่ว่าจะเป็นทางตรง (Direct exposure) หรือโดยการสะท้อนกลับ (Reflection)แต่อย่างไรก็ตามเราไม่สามารถที่จะจัดการให้เป็นไปได้ตามความประสงค์ดังกล่าวได้ถูกสถานที่และ โอกาส ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการป้องกันดังต่อไปนี้

1. การใช้แว่นตาพิเศษ (Goggle/Safety eyewear) ที่มีค่าออฟทิกัลเดนซิตี (Optical Density, OD) สูงมาสวมใส่ป้องกันนัยน์ตา อย่างไรก็ตามเราไม่สามารถใช้แว่นตาพิเศษที่มี OD สูงป้องกันแสง เลเซอร์ได้หลายช่วงคลื่นของสเปกตรัมจะมีแว่นตาพิเศษที่มี OD สูง ๆ เป็นเฉพาะช่วงคลื่น ใดช่วงคลื่นหนึ่งเท่านั้น ออฟทิกัลเดนซิตี (OD) นั้นก็คือขีดความสามารถในการตัดทอน (Attenuation) ความเข้มของแสงตกกระทบ (Incident light) ซึ่งเป็นไปตามสูตร

$$OD = -\log_{10} (I/I_0) \quad (1)$$

เมื่อ I_0 เป็นความเข้มตกกระทบ (Incident intensity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อ 56 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I. เป็นความเข้มที่ทะลุผ่าน (Transmitted intensity)

ตัวอย่าง ถ้าแว่นตาพิเศษมีค่า $OD = 6$ แสดงว่า แว่นตาพิเศษนั้นมีความสามารถ ลดความเข้มของแสงตกกระทบลงได้ 10^6 เท่า หรือความเข้มของแสงที่ผ่านแว่นตาพิเศษไปได้จะมีค่าเพียงหนึ่งในล้านส่วนของความเข้มชนตกกระทบ

2. การจัดแนวเส้นทางของแสงเลเซอร์ (Laser beam path) การติดตั้งการทดลอง/ปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับเลเซอร์กำลังสูงแบบให้แสงต่อเนื่องหรือแบบเป็นพัลส์นั้น ควรจะจัดเส้นทางของแสง (Beam path) ให้ปลอดภัยจากอุปสรรคและมีแนวโน้มที่สายตาของผู้ปฏิบัติงานอยู่นอกเส้นทางของแสงเลเซอร์

3. การระมัดระวัง เกี่ยวกับการสะท้อนกลับของแสงเลเซอร์ (Laser reflection) ในการทดลองปฏิบัติการเกี่ยวกับเลเซอร์ที่มีช่วงคลื่นในย่าน $400 \text{ nm} < \lambda < 700 \text{ nm}$ (Visible region) และย่านอินฟราเรด $700 \text{ nm} < \lambda < 1.4 \text{ m}$ นั้นนอกเหนือจากการระมัดระวังมิให้สายตาของผู้ปฏิบัติงานมองโดยตรง หรือแสงเลเซอร์ตกกระทบ (Incident laser beam) เข้าสู่สายตาแล้ว เราจำเป็นต้องระวังในเรื่องของแสงเลเซอร์ที่ยิงออกมาแล้วไปกระทบเป้าหมายสิ่งกีดขวาง เกิดเป็นแสงสะท้อนกลับ เข้าสู่สายตาของผู้ปฏิบัติงานอีกด้วย แสงเลเซอร์ที่สะท้อนกลับ (Reflected laser beam) เป็นสิ่งที่บางครั้งคาดไม่ถึง (Unexpected) อาทิเช่น กระทบกับตัวเรือนของนาฬิกาข้อมือ โครงโลหะของอุปกรณ์ต่าง ๆ กระจก เลนส์ เป็นต้น แสงสะท้อนกลับโดยตรง (Specular reflection) เป็นแสงที่อันตรายมากเกิดจากการสะท้อนกลับจากกระจกเงาหรือผิวโลหะขัดมัน แสงนี้将有ความเข้มสูงและเมื่อผ่านเข้าสายตาจะรวมแสงที่เรตินาทำให้เกิดความหนาแน่นของกำลังสูงมาก (ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น) จะทำอันตรายแก่เรตินาได้ง่าย แสงสะท้อนกลับอีกรูปแบบหนึ่งก็คือแสงสะท้อนกลับแบบกระจายออก (Diffuse reflection) แสงนี้将有ความเข้มของแสงลดลง เป็นสัดส่วนผกผันกับระยะทางกำลังสอง ดังนั้นหากสายตาของผู้ปฏิบัติงานอยู่ไกลจากจุดสะท้อนกลับเท่าใด ความเข้มจะลดลงอย่างมาก ๆ โอกาสจะทำอันตรายต่อเรตินาจะลดน้อยลง

โดยทั่วไปการป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับอันตรายนั้นจากคาร์บอเนต เลเซอร์แบบที่มีพัลส์ (Pluse) มีกำลังสูงนั้นผู้ปฏิบัติการมักจะใช้แว่นตาพอลิคาร์บอเนตและหันหน้าออกจากระบบเลเซอร์และ เป้าแล้วหลังเวลาจะกดปุ่มยิง เลเซอร์ในการยิง เลเซอร์นั้นก็ต้องการนับ (Count Down) ให้ผู้อยู่ใกล้เคียงได้ยินเป็นการเตือนให้เตรียมล่วงหน้าก่อนลงมือยิง เลเซอร์ เป็นต้น

4. การจัดเครื่องกีดขวาง (Physical barrier) และสัญญาณเตือน (warning signal) ในการดำเนินงานเกี่ยวกับแสงเลเซอร์กำลังสูงแบบต่อเนื่องหรือแบบเป็นพัลส์นั้น ในบริเวณปฏิบัติการหรือห้องปฏิบัติการควรมีเครื่องหมายเตือน (Warning sign) และสัญญาณไฟกระพริบเพื่อเตือนผู้อยู่ใกล้เคียงให้ระมัดระวังแสงเลเซอร์ (ซึ่งบางครั้งอาจมีที่มองไม่เห็น) นอกจากนี้ต้องมีเครื่องกีดขวาง (Physical barrier) เพื่อป้องกันผู้ปฏิบัติการหนีบุคคลภายนอกเข้าใกล้บริเวณที่แสงเลเซอร์จะผ่านออกมาหรือป้องกันมิให้ไปถูกจับบริเวณที่มีศักดาไฟฟ้าสูง (High Voltage) เพราะจะเป็นอันตรายถึงชีวิตทันที

5. การฝึกอบรมผู้ปฏิบัติการทางเลเซอร์ (Personel training) ในการป้องกันระยะยาวและ ได้ผลดีนั้นควรมีการฝึกอบรมผู้ที่จะใช้หรือมาปฏิบัติการเกี่ยวกับระบบเลเซอร์ให้ทราบถึงวิธีการป้องกันและ ระวังอันตรายที่จะเกิดขึ้น นอกจากนี้ควรมีคู่มือการปฏิบัติการเกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้เลเซอร์ (Laser Safety) ตลอดจนกฎระเบียบข้อบังคับในเรื่องการรักษาความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการอ่าน และรับทราบก่อนลงมือปฏิบัติการด้วย

การจัดแบ่งประเภทของ เลเซอร์ตามระดับอันตราย (Classification of Lasers According to Level of Hazards)

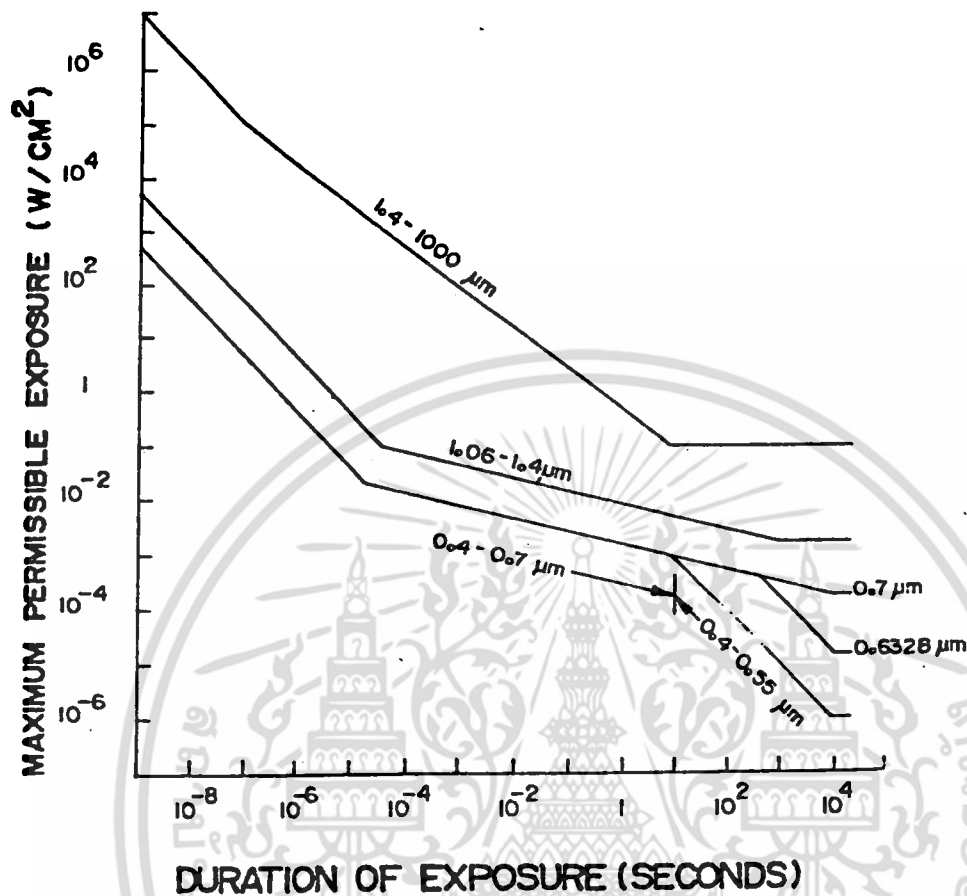
เนื่องจากระบบเลเซอร์ที่มีอยู่ในปัจจุบันนี้มีหลายรูปแบบและการใช้กำลังงานของแสงเลเซอร์ที่ออกมาตลอดจนสภาพของการ ไปใช้งานนั้นแตกต่างกัน เพื่อเป็นการป้องกันอันตรายอันจะพึงเกิดแก่ผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับเลเซอร์ ประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่ง เป็นผู้ดำเนินการผลิตและการใช้เลเซอร์ระบบต่าง ๆ ได้กำหนดมาตรฐานซึ่ง เป็นที่ยอมรับกันมานาน

ประเทศแล้ว มาตรฐานและการแบ่งประเภทเลเซอร์ตามระดับอันตรายนั้นถูกร่างโดยคณะกรรมการ z-136 ของ American National Standards Institute (ANSI) มาตรฐานที่ใช้นี้ไม่ได้เป็นมาตรฐานการบังคับ (Voluntary code) หากแต่เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปในนานาประเทศ มาตรฐานนี้ (ANSI code) เกี่ยวข้องกับเรื่องสำคัญดังต่อไปนี้

1. นิยามของระดับกำลัง เลเซอร์ที่ร่างกายของผู้ปฏิบัติการที่จะรับได้ (Definition of maximum permissible exposure levels to laser radiation) หรือเรียกย่อ ๆ ว่า MPE
2. การจัดแบ่งประเภทของเลเซอร์ตามระดับอันตราย
3. นิยามของความปลอดภัยในเชิงปฏิบัติของแต่ละประเภทของเลเซอร์

รูปที่ 5 แสดงค่าระดับ MPE ของนัยน์ตาที่จะสามารถรับแสงเลเซอร์ที่มีช่วงคลื่นต่าง ๆ กันและแสงเลเซอร์มีพื้นที่หน้าตัดของลำแสงหรือที่เรียกว่า ช่องแสง (Aperture) คงตัว เราจะพบว่าในช่วงสเปกตรัมที่มองเห็น (Visible Spectrum) ที่มีช่วงคลื่นอยู่ระหว่าง $400 \text{ nm} < \lambda < 700 \text{ nm}$ นั้นค่า MPE จะแปรเปลี่ยนน้อยมาก (หรือเรียกว่าแปรผันตรงกับค่า λ) ในกรณีที่ระยะเวลาการถูกแสงเลเซอร์ (exposure time) น้อยกว่า 10 วินาที แต่ถ้าระยะเวลาการถูกแสงเลเซอร์มากกว่า 10 วินาทีแล้วเราจะพบว่า MPE จะแปรตามค่า λ ดังในรูปกราฟที่เกี่ยวข้องกับ $\lambda = 0.7 \mu\text{m}$ และ $0.4 \mu\text{m} < \lambda < 0.55 \mu\text{m}$ หรือกรณีของ $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$ เป็นต้น

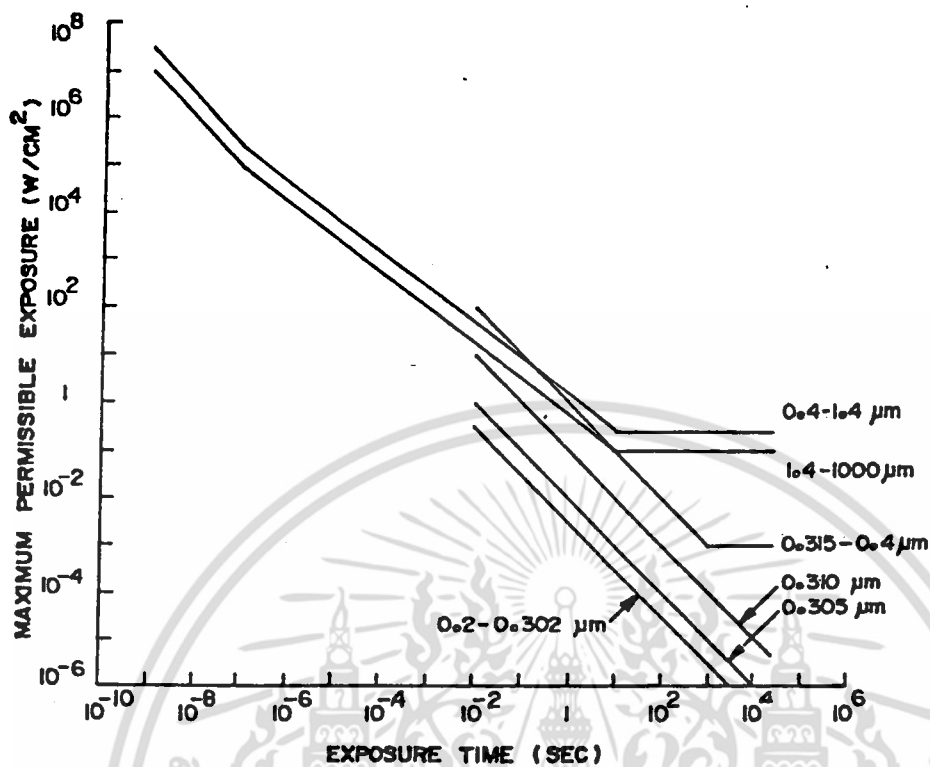
กราฟที่ปรากฏในรูป 5 นี้ เป็นผลที่ได้จากการใช้เลเซอร์ส่องครั้งเดียว (Single exposure) ถ้าหากมีการส่องซ้ำ ๆ อันเกิดจากการใช้พัลส์เลเซอร์แบบ Repetively pulsed laser ค่า MPE จะลดลงตามจำนวนพัลส์ที่เพิ่มขึ้นตามแฟคเตอร์ (Factor) F กล่าวคือ $F = 100\%$ เมื่อใช้เลเซอร์พัลส์ 1 ครั้ง/วินาที (1 pulse per second; 1pps) และค่า F ลดลงเหลือ 6% เมื่อใช้เลเซอร์ 1000 pps. เป็นต้น



รูปที่ 5 แสดงค่าระดับสูงสุดของ MPE สำหรับนัยน์ตาเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาของการถูกแสงเลเซอร์ส่อง (exposure time) ที่ค่าช่วงคลื่น ระหว่าง 400 nm < 700 nm ใช้ส่องแสง (aperture) เท่ากับ 7 mm. ที่ค่าช่วงคลื่น < 100 nm ใช้ส่องแสงเท่ากับ 1 mm

รูปที่ 6 แสดงค่า MPE สำหรับผิวหนัง (Skin) เราจะพบว่าในกรณีนี้ที่ช่วงคลื่น λ ของเลเซอร์อยู่ในย่านอัลตราไวโอเล็ต ค่า MPE จะแปรตาม λ มากโดยเฉพาะที่ $\lambda = 0.302 \mu\text{m}$ และ $0.315 \mu\text{m}$ นอกจากนี้มีข้อกำหนดเกี่ยวกับ MPE ของคอร์เนีย (Cornea) ในย่านอัลตราไวโอเล็ตไม่เกิน 1.0 w/cm^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 แสดงค่า MPE สำหรับผิวหนัง (skin) เปรียบเทียบแปรตามระยะเวลาที่ ถูกแสงเลเซอร์ส่อง (exposure time) ที่ช่วงคลื่น λ ต่าง ๆ ของเลเซอร์

ระบบเลเซอร์ต่าง ๆ ถูกจัดแบ่งออกเป็น 4 ระดับชั้น (Class) ตามระดับอันตราย (Hazards) ที่จะเกิดขึ้น ระดับชั้นเหล่านี้คือ

ระดับชั้นที่ I (Class I) ระดับนี้เป็นระดับที่เรียกว่า "ยกเว้น" (Exempt) หรือระดับปลอดภัย ซึ่งเลเซอร์ที่ถูกจัดอยู่ในระดับชั้นนี้จะมีระดับกำลังงานที่ไม่เป็นอันตราย ต่อเนื้องา ผิวหนัง หรือส่วนใด ๆ ของร่างกายเลย

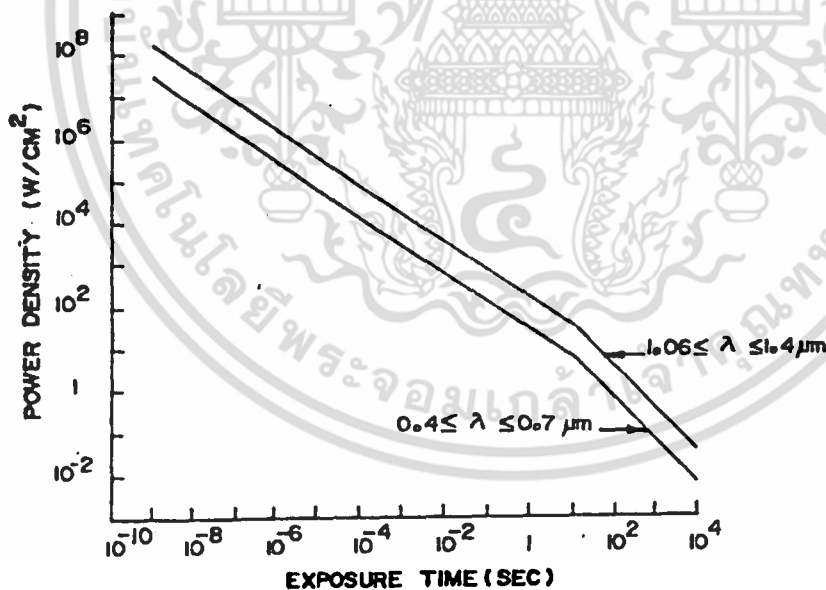
ระดับชั้นที่ II (Class II) ระดับชั้นนี้จะเกี่ยวกับเลเซอร์กำลังต่ำ ให้แสง เลเซอร์ออกมาแบบต่อเนื่อง (Continuous wave, CW) ในย่านทเบคตรัมที่มองไม่เห็น (Visible spectrum) เท่านั้น

ระดับชั้นที่ III (Class III) ระดับชั้นนี้เกี่ยวกับเลเซอร์กำลังปานกลาง

(Medium power) ที่สามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อการมองเห็นหรือถูกแสงเลเซอร์โดยตรง (Direct beam exposure) แต่จะเกิดอันตรายต่อแสงสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse reflection beam) ในระดับชั้น III นี้บางครั้งเราแยกออกเป็น ระดับชั้นย่อย III a (Subclass III a) ซึ่งเป็าระดับชั้นย่อยที่ประกอบไปด้วยเลเซอร์ที่ทำงานแบบต่อเนื่อง (CW) ที่มีกำลังของเลเซอร์ประมาณ 1-5 เท่าของระดับกำลังงานต่ำสุดของระดับชั้นที่ III กล่าวคือ กำลังงานของแสงเลเซอร์ในระดับชั้นที่ III a จะมีค่าระหว่าง 1-5 mW

ระดับชั้นที่ IV (Class IV) เป็นระดับชั้นที่จัดกลุ่มเลเซอร์ที่มีกำลังสูง (High power) ซึ่งแสงเลเซอร์ที่ตกกระทบ (Incident beam) และที่สะท้อนกลับ (Diffuse reflection beam) จะก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายของมนุษย์ได้ง่าย

รูปที่ 7 แสดงค่า MPE ที่เกิดจากแสงเลเซอร์สะท้อนกลับแบบกระจาย (Diffuse reflection beam) ที่จะไม่ก่อให้เกิดอันตราย เมื่อเทียบกับการแปรของระยะเวลาการถูกแสงเลเซอร์ส่อง (Exposure time)



รูปที่ 7 แสดงค่า MPE ของกำลังแสงเลเซอร์แบบสะท้อนกลับกระจาย (diffuse reflection beam) ที่จะไม่ก่อให้เกิดอันตราย เปรียบเทียบกับระยะเวลาถูกแสงเลเซอร์ส่อง (exposure time) และขนาดความยาวคลื่น λ ของเลเซอร์

ตัวอย่างของการจัดแบ่งระดับชั้นของ เลเซอร์ดังกล่าวมาข้างต้นนั้น พอสรุปเป็น
ตารางได้ตามที่แสดงไว้ในตาราง 1 ดังนี้ .



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ **63** และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 10.1 ตัวอย่างการจัดระดับชั้นของเลเซอร์ที่ใช้กันทั่ว ๆ ไป

เลเซอร์	ช่วงคลื่น λ (μm)	Upper Limit			
		Class I	Class II	Class III	Class IV
He-Ne (continuous)	0.0632	6.8 W	1 mW	0.5 W	> 0.5 W
Argon (continuous)	0.5145	0.4 W	1 mW	0.5 W	> 0.5 W
CO ₂ (continuous)	10.6	0.8 mW	-	0.5 W	> 0.5 W
CO ₂ (TEA-100 ns pulse)	10.6	0.8 mW	-	10 J/cm ²	>10 J/cm ²
Nd:YAG (Continuous)	1.064	0.2 mW	-	0.5 W	> 0.5 W
Nd:YAG (Q switched 20 ns pulse)	1.064	2 J	-	0.16J/cm ²	>0.16J/cm ²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 10.2 สรุปมาตรการการบังคับ (Control Measures) ตามมาตรฐาน ANSI ที่ใช้กับระดับเลเซอร์ต่าง ๆ

ระดับชั้นเลเซอร์	ชื่อ	มาตรการบังคับ
I	ยกเว้น/ ปลอดภัย	ไม่มี
II	เลเซอร์กำลังต่ำ มองเห็นแสงได้	ติดป้ายเตือน (Warning labels)
III	เลเซอร์กำลัง ปานกลาง	มีมาตรการ 11 มาตรการ ซึ่งรวมทั้งการป้องกัน นัยน์ตา (eye protection) และจัดบริเวณการ ปฏิบัติที่ควบคุมได้ (Controlled area) การปิด คลุมลำแสงเลเซอร์ (beam enclosures) การติด ป้ายเตือน (warning labels) และการฝึกอบรมผู้ ปฏิบัติการ (Operator training)
III a	เลเซอร์กำลัง 1-5 mW	มาตรการ 11 มาตรการ เหมือนกับระดับชั้น III (แต่ไม่บังคับ)
IV	เลเซอร์กำลังสูง	มาตรการบังคับ 17 มาตรการ 11 ข้อแรกเป็น ของระดับชั้น III และอีก 6 ข้อต่อมาเกี่ยวข้องกับ การป้องกันนัยน์ตา การควบคุมพื้นที่ปฏิบัติการให้ รัดกุมขึ้น มีระบบสัญญาณเตือน การปิดคลุมลำแสง เลเซอร์ที่รัดกุม การควบคุมการยิงเลเซอร์ระยะ ไกล (remote firing) ระบบการตรวจสอบ และ ระบบควบคุมปิดเปิดที่ใช้กุญแจ (key - switch interlocks)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง-65-และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

จากตารางที่ 1 และ 2 เราจะเห็นว่า ได้มีมาตรฐานจัดแบ่งประเภทและมาตรการที่รัดกุมในการใช้ระบบเลเซอร์ต่าง ๆ อย่างรัดกุม ทั้งนี้ระบบเลเซอร์เป็นระบบผสมที่ประกอบด้วยระบบทางแสงที่มีความเข้มสูง ระบบอิเล็กทรอนิกส์ และตัวกลางเลเซอร์ที่บางครั้งอาจจะเกิดอันตรายทางด้านเป็นพิษ (Toxics) ได้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่เพิ่มความระมัดระวังในการใช้เครื่องเลเซอร์และทางการศึกษา มาตรการเพื่อป้องกันอันตรายให้รอบคอบ



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นาย ชัพกิตต์ ชาตสมร

เลขประจำตัว 300802

เกิดเมื่อ วันที่ 5 กรกฎาคม 2512

สถานที่เกิด กรุงเทพมหานคร

การศึกษา
ระดับประถมศึกษา โรงเรียนวัดบ้านฉาง
ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนระยองวิทยาคม
ระดับเตรียมอุดมศึกษา โรงเรียนระยองวิทยาคม
ระดับอุดมศึกษา ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

ผลงานด้านวิชาการ

ปีการศึกษา 2533 ผังงานที่ บริษัท SVI จำกัด

ปีการศึกษา 2533 สัมมนาเรื่อง "Josephson's Effect"

สัมมนาเรื่อง "Feedback in Instrument and
its Application"

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นาย วันชาติ จาติเสกกีร

เลขประจำตัว 300814

เกิดเมื่อ วันที่ 6 กันยายน 2511

สถานที่เกิด กรุงเทพมหานคร

การศึกษา ระดับประถมศึกษา โรงเรียนวัดมัชฌันติการาม

ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนโยธินบูรณะ

ระดับเตรียมอุดมศึกษา โรงเรียนโยธินบูรณะ

ระดับอุดมศึกษา ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

ลาดกระบัง

ผลงานด้านวิชาการ

ปีการศึกษา 2532 ฝึกงานที่ บริษัท การบินไทย จำกัด

ปีการศึกษา 2533 ฝึกงานที่ บริษัท SVI จำกัด

ปีการศึกษา 2533 สัมมนาเรื่อง "The material of thin film devices"

สัมมนาเรื่อง "Differential Microcalorimeter"

ผลงานด้านกิจกรรม

พ.ศ.2532 สมาชิกสภานักศึกษา สจล.

พ.ศ.2532 รองประธานเชียร์ฝ่ายอบรม