

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ใบโทรเจนเลขอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ควมตันบรรยาศศ



ร/พ.

ร/๒๒๒๖

ตขหนุ ๒๕๓๙

เลขทะเบียน

วัน,เดือน,ปี

นางสาวปิยะรัศ ศรีเหนียง

นางสาวรัตน์สุดา ทองแดง

612652586

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539 /

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEA-N₂ LASER



**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

1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ ในโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ

โดย นางสาวปิยะรัช ศรีเหนียง

นางสาวรัตน์สุดา ทองแดง

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.วราวุฒิ เกาต์ดดา

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อนุมัติให้นำโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต



.....
(รองศาสตราจารย์สุรพล รักวิชัย)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะกรรมการโครงการพิเศษ



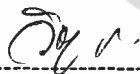
.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราวุฒิ เกาต์ดดา)

ประธานกรรมการ



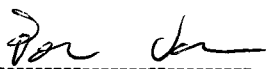
.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิรัช ศิริโชติ)

กรรมการ



.....
(อาจารย์วิชาญ เดชิตธีระ)

กรรมการ



.....
(อาจารย์ธีรวัฒน์ ประกอบผล)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special project title TEA-N₂ LASER
Name Miss Piyarat Srinieang
 Miss Rutsuda Thongdaeng
Special project adviser Asst.Prof.Dr. Warawoot Thowladda
Department Applied Physics
Academic Year 1996

Abstract

TEA N₂ - Laser in this special project was constructed by using the Blumlein circuit excitation method. The Laser consists of mylar sheet (0.35 mm thick) covered on both sides by aluminium foil. Two parallel aluminium bars electrodes act as laser channel. N₂ gas (99.99% purity) is blown through the open laser channel from the top. The spark gap electrodes are made of stainless steel rod with rounded edge. The separation of aluminium electrodes and spark gap electrodes can be accurately adjusted. The direct current high voltage power supply of laser can be adjusted continuously up to 15 kV. For optimum performance the separation of aluminium and spark gap electrodes should be 2.286 mm and 3.029 mm respectively. The N₂ gas flow rate should be 15 l/min and high operation voltage is 12 kV.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลงไปได้ด้วยดีเนื่องมาจากความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายๆ ท่านด้วยกัน ซึ่งบุคคลที่สำคัญที่สุดในที่นี้คือ บิดา-มารดา และสมาชิกในครอบครัวของคณะผู้จัดทำ ที่คอยสนับสนุนทางการศึกษา ด้านทุนทรัพย์ และให้กำลังใจที่ดีมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วราวุฒิ เถลัดดา ผู้ซึ่งให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการปฏิบัติงาน อีกทั้งมอบความรู้ในด้านต่าง ๆ ให้แก่คณะผู้จัดทำ จนทำให้โครงการครั้งนี้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ และคุณสมศักดิ์ ชีระวัฒนสุข ห้องปฏิบัติการเลเซอร์ ภาควิชาฟิสิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทาง รวมถึงเทคนิควิธีในการปฏิบัติงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรุณาให้ยืม Transformer มาทดสอบอุปกรณ์

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.เชษฐชัย ไชยสิทธิ์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่กรุณาให้ยืม Flow meter มาใช้ในการวัดอัตราการไหลของก๊าซ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์รัชวิชัย ขาวประเสริฐ และบุคคลากรในอาคารซ่อมสร้างเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ และปฏิบัติงานในอาคารดังกล่าว

ขอขอบพระคุณ อาจารย์วิชาญ เตชิตธีระ สำหรับคำแนะนำ และความรู้ทางวิชาการ รวมทั้งกรุณาอนุญาตให้ใช้ห้อง และคอมพิวเตอร์ในการทำโครงการ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เป็นกำลังใจ ให้คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือทุกด้านเป็นอย่างดี

ปิยะรัช ศรีเหนียง
รัตน์สุดา ทองแดง
คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (ABSTRACT).....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 คุณสมบัติของเลเซอร์.....	1
1.2 การวิจัยและพัฒนาใน โตรเจนเลเซอร์ในต่างประเทศ.....	5
1.3 การวิจัยและพัฒนาใน โตรเจนเลเซอร์ในประเทศไทย.....	6
1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	7
1.5 ขอบเขตของ โครงการ.....	7
บทที่ 2 ทฤษฎีของเลเซอร์	
2.1 ทฤษฎีของเลเซอร์ทั่วไป.....	8
2.2 สมการไอน์สไตน์.....	13
2.3 การดูดกลืนและการขยายโฟตอนในระบบอะตอม.....	15
2.4 การเพิ่มพลังงานให้กับตัวกลางเลเซอร์.....	17
2.5 ตัวอย่างการเพิ่มพลังงาน.....	18
2.6 ทฤษฎีของไนโตรเจน.....	19
2.7 หลักการของแฟรงค์คอนดอน.....	22
2.8 การแบ่งไนโตรเจนเลเซอร์ตามความยาวคลื่น.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างไนโตรเจนเลเซอร์	
3.1 การออกแบบและการคำนวณ.....	27
3.2 ทีอีเอ ในไนโตรเจนเลเซอร์.....	28
3.3 ขั้วไฟฟ้า.....	28
3.4 ระบบจ่ายไฟแรงดันสูง.....	28
3.5 ตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน.....	29
3.6 ระบบจ่ายก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่ช่องเลเซอร์.....	33
3.7 ขั้นตอนการประกอบระบบไนโตรเจนเลเซอร์.....	34
บทที่ 4 การทดลอง ผลการทดลอง และอภิปรายผล	
4.1 การทดสอบการทำงานของเลเซอร์.....	36
4.2 อภิปรายผลการทดลอง.....	44
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	45
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	46
บรรณานุกรม.....	47
ภาคผนวก.....	49
ประวัติผู้เขียน.....	51

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	การเรียงตัวของอิเล็กตรอนในโมเลกุลของไนโตรเจน.....	20
2	ตารางผลการทดลอง.....	37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
บทที่ 1	
1.1 การเปรียบเทียบถึงความบริสุทธิ์ทางสเปกตรัมทาง ความถี่ระหว่างแสงจากอาร์คแลมป์กับแสงเลเซอร์.....	1
1.2 การบานปลายของลำแสงเลเซอร์.....	2
1.3 การมีคุณสมบัติโคฮีเรนซ์และการไม่มีคุณสมบัติ โคฮีเรนซ์.....	3
บทที่ 2	
2.1 หลักการของเรโซเนเตอร์.....	8
2.2 การจัดกล่องเรโซเนเตอร์.....	10
2.3 การจัดเรโซเนเตอร์แบบต่าง ๆ.....	11
2.4(ก) การดูดกลืนโฟตอนแบบกระตุ้น.....	12
2.4(ข) การปลดปล่อยโฟตอนแบบธรรมดา.....	12
2.4(ค) การปลดปล่อยโฟตอนแบบกระตุ้น.....	13
2.5 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทำอันตรกิริยากับตัวกลางที่ผ่าน.....	16
2.6(ก) การขยายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อเกิดประชากรผกผัน.....	17
2.6(ข) การลดทอนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวกลางดูดกลืน.....	17
2.7(ก) การเกิดเลเซอร์ชนิด 3 ระดับ.....	18
2.7(ข) การเกิดเลเซอร์ชนิด 4 ระดับ.....	18
2.8 ระดับพลังงานสำคัญของโมเลกุลไนโตรเจน.....	21
2.9 ระดับพลังงานการสั่นของโมเลกุล.....	22
2.10 กราฟของระดับพลังงานในโมเลกุลของก๊าซไนโตรเจน.....	24
2.11 ระดับพลังงาน 3 ระดับของโมเลกุลไนโตรเจนซึ่งให้แสง เลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร.....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
บทที่ 3		
3.1	วงจรบัลลัมไดโอด.....	28
3.2	วงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง.....	29
3.3	การต่อตัวต้านทาน(R_d).....	29
3.4	ตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน.....	30
3.5	วงจรพัลส์ฟอร์มมิง.....	31
3.6	ภาพตัดขวางของขั้วไฟฟ้า.....	33
3.7	รูปร่างและขนาดของกล่องนำก๊าซไนโตรเจน.....	34
3.8	รูปถ่ายของระบบ TEA-N ₂ LASER.....	35

บทที่ 1

บทนำ

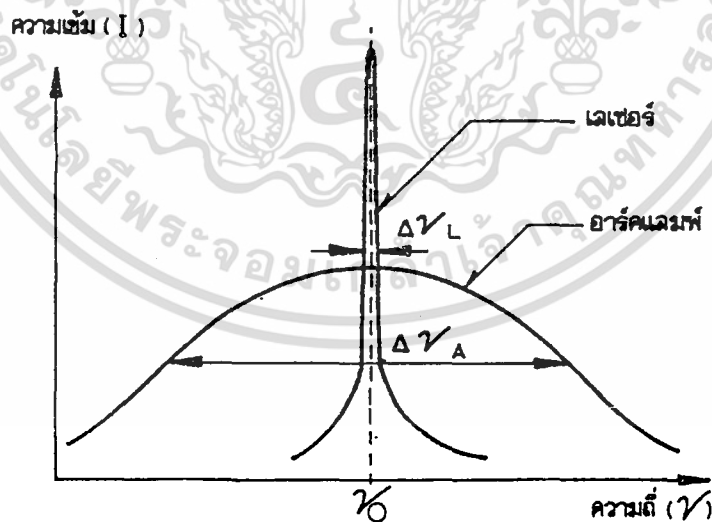
เลเซอร์ (LASER) เป็นคำที่ย่อมาจาก Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

1.1 คุณสมบัติของเลเซอร์

1. โมโนโครมาติกซิตี (Monochromaticity) หมายถึง แสงที่มีเพียงความถี่เดียว ในห้องปฏิบัติการทั่วไปเราได้แสงโมโนโครมาติกจากหลอดปล่อยประจุของก๊าซ (discharged tube) เป็นต้น แต่เราจะพบว่าความถี่ของแสงนั้นมิได้เป็นความถี่เดียว แต่จะมีการกระจายของความถี่ $\Delta\nu$ ซึ่งหาได้จากสมการ

$$\text{หรือ} \quad \Delta\lambda = - (c/\nu^2) \Delta\nu \quad (1.1)$$

โดยทั่วไปเราเรียก $\Delta\nu$ ว่าไลน์วิดท์ (line width) หรือสเปกตรัมวิดท์ (spectral width) แสงที่มีความเป็นโมโนโครมาติกมากน้อยอย่างไรนั้น ขึ้นอยู่กับค่า $\Delta\nu$ สำหรับหลอดปล่อยประจุมีค่า $\Delta\lambda \approx 0.01 \mu\text{m}$ หรือ $\Delta\nu \approx 10^{15} \text{ Hz}$ สำหรับแสงเลเซอร์นั้น $\Delta\nu$ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1 MHz - 1 GHz ($10^6 - 10^9 \text{ Hz}$) ซึ่งเราจะเห็นว่า แสงเลเซอร์มีคุณสมบัติในด้านโมโนโครมาติกซิตีสูงกว่าแสงชนิดอื่นโดยถ้าเป็น monochromatic ที่สมบูรณ์เราจะได้ $\Delta\nu = 0$ ดังแสดงเปรียบเทียบในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 การเปรียบเทียบถึงความบริสุทธิ์ของสเปกตรัมทางความถี่ระหว่างแสงจากอาร์คแลมป์ (arc lamp) กับแสงเลเซอร์ $\nu_L \gg \nu_A$

2. ใตเรคชันแนลลิตี้ (Directionality) แสงเลเซอร์ที่ถูกผลิตออกมานั้นมีทิศทางในการเคลื่อนที่ที่แน่นอน ไม่กระจายออกไปโดยรอบ เนื่องจากเลเซอร์เกิดจากขบวนการ Stimulated Emission และมี Optical resonator ซึ่งเป็นกระจกที่มีค่าสะท้อนกลับ (reflectivity) สูง ดังนั้นแสงเลเซอร์จะถูกผลิตออกมาเฉพาะบริเวณที่มีกระจกและในทิศทางในแนวแกน Optical resonator เท่านั้น จึงทำให้เลเซอร์สามารถเดินทางออกไปจากแหล่งกำเนิดแสงได้ระยะทางไกลมาก ๆ

3. การบานปลาย (Divergence) คุณสมบัติที่เด่นชัดอีกข้อหนึ่ง คือ แสงเลเซอร์มีการบานปลายของลำแสงน้อยมากซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติใตเรคชันแนลลิตี้ คือ แสงเลเซอร์จะมีใตเรคชันแนลลิตี้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับมุมเบี่ยงเบน (divergence angle) θ ของเลเซอร์ ดังแสดงในรูป 1.2



รูปที่ 1.2 การบานปลายของลำแสงเลเซอร์

โดยทั่วไปแล้วแสงเลเซอร์จะมีค่ามุมเบี่ยงเบนประมาณ 1.0-2.0 มิลลิเรเดียน (milliradian) ซึ่งมีค่าน้อยมาก เราสามารถคำนวณหาค่า ได้ตามสมการ

$$\theta = \lambda/D \quad (1.2)$$

โดยที่ λ เป็นความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์

D เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของลำแสง

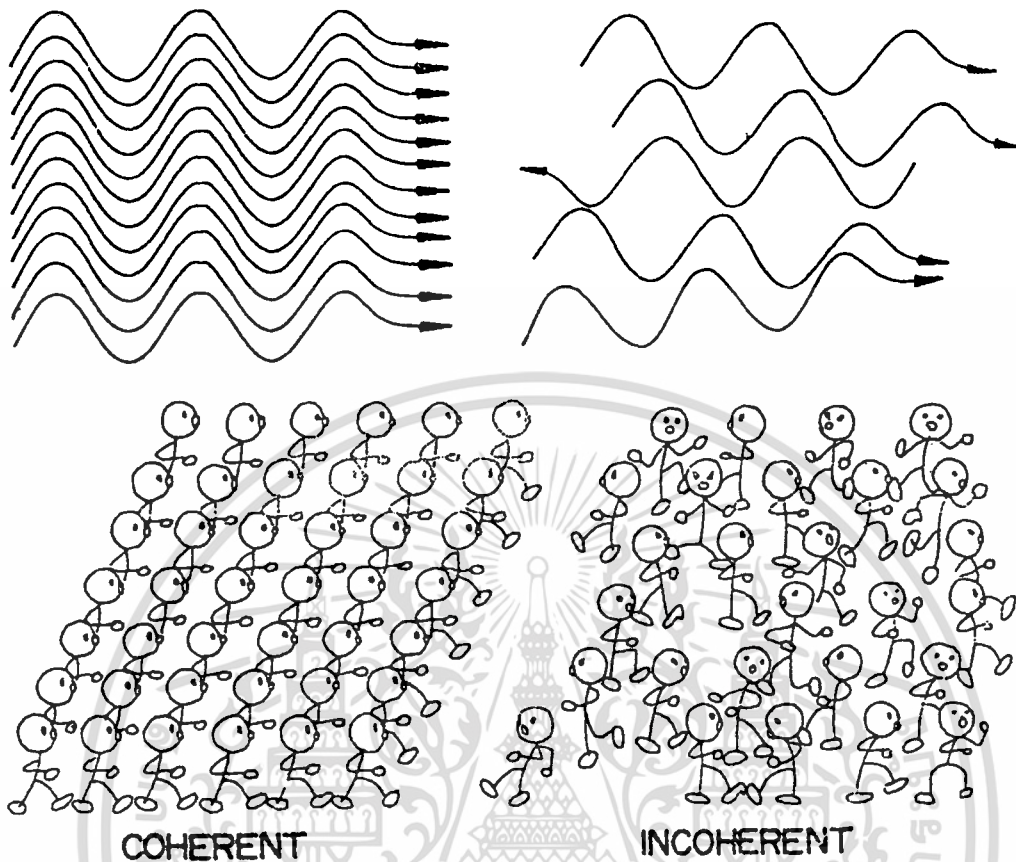
4. ความเจิดจ้า (Brightness) เนื่องจากแสงเลเซอร์เป็นแสงแบบโมนโครมาติก และพลังงานของแสงจะอยู่ในบริเวณแคบๆ ของสเปกตรัมไลน์วิดธ์ $\Delta\nu$ ถึงแม้ว่าแสงเลเซอร์บางชนิดมีกำลังต่ำ แต่เราจะพบว่าความเจิดจ้าของมันและความหนาแน่นของพลังงานจะสูงมาก ถ้ากำหนดให้ P เป็นกำลังของแสงเลเซอร์ เราจะได้ความเจิดจ้าที่วัดเทียบเป็นอุณหภูมิ T_B (K) ได้ดังนี้

$$T_B = P/[K_B(\Delta\nu)] \quad (1.3)$$

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

นอกจากนี้เรายังสามารถโฟกัสแสงเลเซอร์ ให้เป็นจุดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กประมาณ 1 - 10 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นการทำให้แสงเลเซอร์มีความหนาแน่นของพลังงาน และความหนาแน่นของโฟตอนสูงมากด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 การมีคุณสมบัติโคฮีเรนซ์และการไม่มีคุณสมบัติโคฮีเรนซ์

5. โคฮีเรนซ์ (Coherence) คือความเป็นระเบียบของคลื่น คลื่นจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันโดยมีเฟสเหมือนกัน (In Phase) จึงมีหน้าคลื่น (Wave Front) พร้อมกัน คลื่นที่เป็นระเบียบย่อมมีพลังงาน และ โมเมนตัมรวมมากกว่าคลื่นที่ไม่เป็นระเบียบ เพราะพลังงาน และ โมเมนตัมของโฟตอนแต่ละตัวจะเสริมกันและมี impact ในทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 1.3 โคฮีเรนซ์ของแสงเลเซอร์ เราแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

- โคฮีเรนซ์ทางสถานที่ (Spatial coherence) หมายถึงกรณีที่แสงเดินทางผ่านจุด 2 จุด คือ P_1 และ P_2 พร้อมกัน เมื่อเวลา $t = 0$ P_1 และ P_2 วางอยู่ในหน้าคลื่น (wavefront) อันเดียวกัน กำหนดให้ $E_1(t)$ และ $E_2(t)$ เป็นแอมพลิจูดของสนามไฟฟ้า E ที่จุด P_1 และ P_2 ตามลำดับ และให้ความต่างเฟสของ $E_1(t)$ และ $E_2(t)$ เป็น $\phi = 0$ ดังนั้นเมื่อเวลา $t > 0$ ตำแหน่งของสนามไฟฟ้า $E_1(t)$ และ $E_2(t)$ เปลี่ยนไป แต่พบว่าไม่มีความแตกต่าง ระหว่างเฟสของ $E_1(t > 0)$ และ $E_2(t > 0)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ในการพิจารณาทางฟิสิกส์เกี่ยวกับ โคฮีเรนซ์ของแสงนั้น เราพิจารณาได้จากการเกิดการแทรกสอด (Interference) ของคลื่นแสง 2 คลื่น ที่ปรากฏบนฉาก กับภาพเป็นวง (fringes) สว่างและมีคดสลับกันไปซึ่ง แสดงว่าคลื่นแสง 2 คลื่นนี้ มีคุณสมบัติโคฮีเรนซ์ โดยจะพบได้จากการทดลองทางแสง คือ Young's Experiment โดยการใช้ Michelson Interferometer

การค้นพบเลเซอร์เริ่มต้นในปี ค.ศ. 1917 ไอน์สไตน์ (Einstein) อธิบายหลักการของการปลดปล่อยแบบกระตุ้น (Stimulated emission) ของโฟตอนในอะตอม

ในปี ค.ศ. 1954 กอร์ดอน และคณะ (Gordon and others.) แห่งมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย สหรัฐอเมริกา ได้สร้างเมเซอร์ (Maser) ซึ่งมาจากคำเต็มว่า (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) สำเร็จเป็นครั้งแรก โดยอาศัยหลักการของการปลดปล่อยแบบกระตุ้นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงไมโครเวฟ

ในปี ค.ศ.1958 ชาวลีโล และทาวเนต (Schawlow and Townes.) เสนอว่าสามารถใช้หลักการของเมเซอร์ในการผลิตคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงที่ตามองเห็น เรียกว่า เมเซอร์เชิงทัศน (optical maser) หรือเลเซอร์ได้ ซึ่ง 2 ปีต่อมา ไมมาน (Maiman.) แห่งห้องปฏิบัติการวิจัยของบริษัทฮิวส์แห่งสหรัฐอเมริกา ได้สร้างเลเซอร์สำเร็จเป็นครั้งแรก โดยเลเซอร์เครื่องแรกนี้เป็นเลเซอร์ทับทิม (ruby laser) ให้แสงสีชมพูเป็นช่วง ๆ (pulse) มีความยาวคลื่น 694.3 นาโนเมตร

ต่อมาในปลายปี ค.ศ. 1960 จาเวน และคณะ (Javan and others.) ได้สร้างก๊าซเลเซอร์ โดยใช้ก๊าซผสมระหว่างฮีเลียมกับนีออนเป็นเลเซอร์ก๊าซเครื่องแรก ซึ่งให้รังสีอินฟราเรดอย่างต่อเนื่องที่มีความยาวคลื่น 1.15 ไมโครเมตร

ในปี ค.ศ. 1962 ริคเคนและไวท์ (Rigden and White.) แห่งห้องปฏิบัติการเบลล์ ได้ประสบความสำเร็จในการสร้างฮีเลียม-นีออน ที่ให้สีแดงอย่างต่อเนื่องที่มีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร ซึ่งถือว่าเป็นเลเซอร์เครื่องแรกที่ทำานแบบต่อเนื่องในช่วงตามองเห็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากปี ค.ศ. 1962 เป็นต้นมา ได้มีการค้นพบเลเซอร์แบบอื่น ๆ อีกมากมาย ซึ่งสรุปเฉพาะ การพัฒนาด้านก๊าซเลเซอร์ที่สำคัญ ได้ดังนี้

ค.ศ. 1963 แมททีซ และปาร์กเกอร์ (Mathias and Parker.) ได้สร้างไนโตรเจนเลเซอร์ ซึ่งให้แสงเลเซอร์ในย่านอินฟราเรด 860-1240 นาโนเมตร

ค.ศ. 1963 เฮิร์ด (Heard.) พบว่าไนโตรเจนเลเซอร์สามารถให้แสงเลเซอร์ในย่านอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร

ค.ศ. 1964 บริจ (Bridges.) แห่งบริษัทฮิวส์ สร้างเลเซอร์อาร์กอนเป็นครั้งแรก

ในปีเดียวกัน เบลล์ (Bell.) แห่งบริษัทสเปคตราฟิสิกส์ ก็สามารถสร้างเลเซอร์อาร์กอน ได้เช่นกัน

ค.ศ. 1964 พาเทล (Patel.) สร้างเลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์ (carbondioxide laser) กำลังต่ำ ขึ้นเป็นครั้งแรก

ค.ศ. 1966 วอลเตอร์ (Walter.) แห่งสถาบันโพลิเทคนิค บรูคลิน สหรัฐอเมริกา ได้สร้าง เลเซอร์คอปเปอร์เวปเปอร์ (Copper vapor laser)

ค.ศ. 1968 ได้มีการสร้างเลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์มากกว่า 200 วัตต์ เป็นครั้งแรก

ค.ศ. 1968 มีการสร้างเลเซอร์ฮีเลียม-แคดเมียม (He-Cd Laser) เป็นครั้งแรก

1.2 การวิจัยและพัฒนาไนโตรเจนเลเซอร์ในต่างประเทศ

ไนโตรเจนเลเซอร์เป็นชนิดเลเซอร์ก๊าซโมเลกุล (molecular gas laser) ที่ให้แสงเลเซอร์ ย่านอินฟราเรด (860-1240 นาโนเมตร)

ในปีเดียวกันคือ ค.ศ. 1963 เฮิร์ดสร้างไนโตรเจนเลเซอร์ในย่านอัลตราไวโอเล็ต และพบว่าเส้นสเปกตรัมที่มีความเข้มมากที่สุด มีความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร เป็นที่เข้าใจกันว่า เมื่อกล่าวถึงไนโตรเจนเลเซอร์ก็จะหมายถึงแสงเลเซอร์ความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร เนื่องจาก ลำแสงเลเซอร์ที่ได้มีลักษณะเป็นพัลส์ อีกทั้งระบบของไนโตรเจนเลเซอร์ไม่ยุ่งยาก จึงได้มีการวิจัย และพัฒนาเลเซอร์ชนิดนี้กันอย่างกว้างขวางมาก

ในระยะแรก ๆ หลังจากที่เฮิร์ดค้นพบระบบของไนโตรเจนเลเซอร์การวิจัยและพัฒนา ยังคงเป็นระบบความดันต่ำ ซึ่งมีการกระตุ้นเป็นพัลส์ดิซชาร์จ (pulse discharge) มีด้วยกันสอง ลักษณะ คือ ไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามยาว (Longitudinal excitation N_2 laser : LE - N_2 laser) ซึ่งเป็นแบบที่ลำแสงเลเซอร์มีทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้า อีกแบบหนึ่งคือไนโตรเจนเลเซอร์ ชนิดกระตุ้นตามขวาง (Transverse excitation nitrogen laser : TE - N_2 laser) ซึ่งเป็นแบบที่ให้ ลำแสงในทิศตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมาในปี ค.ศ. 1968 สเวดเบิร์ก (Svedberg.) ได้สร้างระบบไนโตรเจนเลเซอร์กระตุ้นตามขวาง ที่มีความดันภายในช่องเลเซอร์เท่ากับความดันบรรยากาศ (Transversely Excited at Atmospheric Pressure N_2 laser : TEA - N_2 Laser)

หลังจากนั้น ได้มีการวิจัยและพัฒนาไนโตรเจนเลเซอร์แบบ ทีอีเอ (TEA) ขนาดต่าง ๆ กัน โดยมีขั้วไฟฟ้าภายในช่องเลเซอร์ที่มีความยาวตั้งแต่ 10 เซนติเมตร ถึง 100 เซนติเมตร อย่างไรก็ตาม ความยาวของขั้วไฟฟ้า ภายในช่องเลเซอร์ที่ดีที่สุดมีความยาว 40 เซนติเมตร เพราะเกิดสถานะของการอิมพัลส์ของไนโตรเจนเลเซอร์

ไนโตรเจนเลเซอร์แบบ ทีอีเอ สามารถให้แสงที่มีพัลส์ช่วงสั้น ๆ และมีกำลังขาออกสูง ทั้งสามารถออกแบบให้มีขนาดกระทัดรัดได้อีกด้วย และที่สำคัญที่สุดไม่ต้องใช้ระบบสุญญากาศ ดังนั้นไนโตรเจนเลเซอร์แบบนี้จึงเป็นที่นิยมสร้างกันมาก

ในปี ค.ศ. 1982 ริควูด และแมกอินเนส (Rickwood and McInnes.) ได้เริ่มใช้ตัวนำพรีไอออนไนซ์แบบสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor preionizer) มาใช้กับระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ โดยมีสารกึ่งตัวนำสองชนิดที่นำมาใช้คือ เยอรมันเนียม (Ge) และ ซิลิคอน (Si)

ต่อมาในปี ค.ศ. 1986 ริควูด และเซราเฟตินิดส์ (Rickwood and Serafetinides.) ก็ได้นำเทคนิคนี้มาใช้กับระบบไนโตรเจนเลเซอร์ ตัวพรีไอออนไนซ์แบบสารกึ่งตัวนำนี้ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเลเซอร์ชนิดกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ แต่ตัวพรีไอออนไนซ์แบบสารกึ่งตัวนำต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการสร้างสูง และหากต้องการสร้างระบบเลเซอร์ที่มีขนาดใหญ่และมีกำลังสูง การสร้างตัวพรีไอออนไนซ์ทำได้ยาก จึงมีปัญหามาก

ต่อมา ความสนใจในการที่จะพัฒนาให้ได้ระบบเลเซอร์ที่มีขนาดกระทัดรัด เบา ราคาไม่แพง ทำให้เกิดเลเซอร์แบบ ทีอีเอ ที่ความดันบรรยากาศ ใช้วัสดุใหม่มาแทนตัวพรีไอออนไนซ์แบบสารกึ่งตัวนำ โดยสารที่จะมาใช้แทนนี้จะต้องทำให้ระบบเลเซอร์มีการดิสชาร์จที่สม่ำเสมอสามารถใช้งานได้นาน

1.3 การวิจัยและพัฒนาไนโตรเจนเลเซอร์ในประเทศไทย

ปี พ.ศ. 2527 บัณฑิต ณ.ลำพูน ได้สร้างไนโตรเจนเลเซอร์ชนิดกระตุ้นตามขวางที่ความดันต่ำ ที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ปี พ.ศ. 2530 ประสาทพร จรุงภา และประเสริฐ ไกรสิงห์เดชา ได้สร้างไนโตรเจนเลเซอร์ชนิดกระตุ้นตามขวางที่ความดันต่ำ ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตทับแก้ว

ปี พ.ศ. 2532 ชัยวิทย์ ศิลาวรรณาไนย และคณะ ได้สร้างไนโตรเจนเลเซอร์ชนิดกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศต่ำ ที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปี พ.ศ. 2533 วรรณพงษ์ เตรียมโพธิ์ และ ธนากร โอสธจันทร์ ได้สร้างไนโตรเจนเลเซอร์ชนิดกระตุ้นตามขวางที่ความดันต่ำที่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีและหลักการพื้นฐานทางเลเซอร์
2. เพื่อสร้าง TEA - N₂ LASER ตามทฤษฎีที่ได้ศึกษาไว้
3. เพื่อพัฒนา และปรับปรุงระบบที่มีอยู่เดิมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
4. เพื่อนำระบบเลเซอร์ที่สร้างได้ มาประยุกต์ใช้งานต่อไป

1.5 ขอบเขตของโครงการ

1. สร้างระบบจ่ายไฟแรงดันสูง ด้วยวงจรทวิแรงดัน 15 kV
2. สร้างวงจรบัลลัมไลน์
3. ประกอบส่วนต่างๆ เป็นระบบเลเซอร์ที่สมบูรณ์
4. ทดสอบระบบกำเนิดเลเซอร์
5. ทดสอบคุณสมบัติเฉพาะของเลเซอร์ ที่ขึ้นกับพารามิเตอร์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

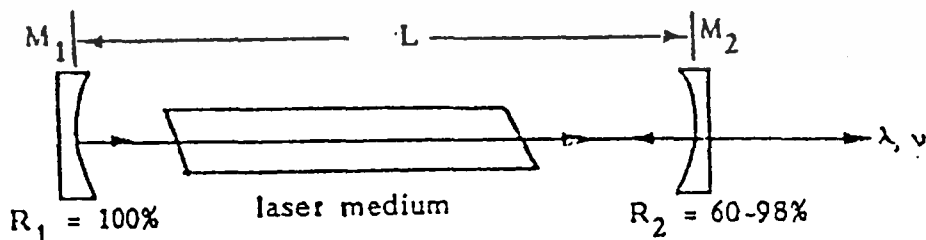
2.1 ทฤษฎีของเลเซอร์ทั่วไป

องค์ประกอบที่สำคัญในการเกิดแสงเลเซอร์มี 3 ประการ คือ

1. สารเลเซอร์ หรือที่เรียกว่า เลเซอร์มีเดียม (Laser medium) เลเซอร์มีเดียมนี้จะต้องมีคุณสมบัติพิเศษที่สามารถทำให้เกิดประชากรผกผัน (Population Inversion) ขึ้นภายในเนื้อสาร และสามารถทำให้เกิดขบวนการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอะตอมหรือโมเลกุลแบบสติมูเลตเต็ดอิมิตชันได้ ตัวอย่างเลเซอร์มีเดียมได้แก่ แท่งผลึกทับทิม (Ruby crystal) ก๊าซผสมระหว่างก๊าซฮีเลียมและก๊าซนีออน (Helium + neon) ในอัตราส่วนที่เหมาะสม และ สารละลายสีย้อมผ้า (Dye Solution) เป็นต้น

2. ระบบจ่ายกำลัง (Power Supply) ระบบจ่ายกำลังนี้จะเกี่ยวข้องกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ศักดาสูง (High Voltage electronics circuit) ซึ่งทำหน้าที่จ่ายกำลังทางไฟฟ้าที่ศักดาสูง เพื่อไปทำการกระตุ้นสารเลเซอร์ หรือ เลเซอร์มีเดียม ให้เกิดประชากรผกผัน การกระตุ้นเลเซอร์มีเดียมนั้นทำได้หลายรูป ทั้งนี้แล้วแต่ความเหมาะสมที่ต้องใช้กับเลเซอร์มีเดียมนั้น

3. ออพติคัลเรโซเนเตอร์ (Optical resonator) ระบบเลเซอร์โดยส่วนมากแล้วมีความจำเป็นต้องมีออฟติคัลเรโซเนเตอร์ (Optical resonator) ซึ่งทำหน้าที่ให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (หรือโฟตอน) ที่เกิดจากขบวนการสติมูเลตเต็ดอิมิตชันสะท้อนกลับไปตามาผ่านเลเซอร์มีเดียม โดยที่เลเซอร์มีเดียมจะได้ขยาย (amplify) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นให้มีความเข้มสูงมากขึ้นจนในที่สุดก็จะเป็นแสงเลเซอร์ออกมาระบบออฟติคัลเรโซเนเตอร์ประกอบด้วยกระจกเคลือบไดอิเล็กทริกหลาย ๆ ชั้น ปิดหัวและปิดท้ายเลเซอร์มีเดียม กระจกเหล่านั้นจะมีค่าสะท้อนกลับ (Reflectivity) ที่ช่วงคลื่นของเลเซอร์ เป็น $R_1 = 100\%$ และ $R_2 = 65\% - 95\%$ ดังรูป 2.1



รูปที่ 2.1 หลักการของเรโซเนเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟตอนที่เกิดจากการปลดปล่อยแบบกระตุ้นวิ่งไปมาในตัวกลางเลเซอร์ ทำให้เกิดการขยาย อันมีผลทำให้เลเซอร์ที่ได้มีความเข้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุดที่ทำให้เกิดการแกว่งกวัดทางเลเซอร์ (laser oscillation) โดยมีเงื่อนไขว่าการขยาย (gain) ของการแกว่งกวัดทางเลเซอร์จะต้องมีค่าเท่ากับการสูญเสียในเรโซเนเตอร์ เรียกว่าการขยายขีดเริ่ม (threshold gain) โดยกำหนดให้เป็น β_{th}

กำหนดให้ R_1, R_2 เป็นค่าสะท้อนกลับที่กระจก M_1, M_2

α_1 เป็นการสูญเสียพลังงานต่อระยะทาง

L เป็นระยะห่างระหว่างกระจก M_1, M_2

β เป็นสัมประสิทธิ์การขยายสัญญาณน้อย ๆ

จะได้สมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มเลเซอร์ กับระยะห่างของกระจก

$$\text{เลเซอร์} \quad I = I_0 e^{(\beta - \alpha_1)L} \quad (2.1)$$

ความเข้มเลเซอร์ที่สะท้อนจากกระจก M_2 คือ

$$M_2 = R_2 \exp[(\beta - \alpha_1)L] \quad (2.2)$$

เมื่อครบหนึ่งรอบคือสะท้อนที่ M_1 ความเข้มจะเป็น G

$$G = R_1 R_2 \exp[2(\beta - \alpha_1)L] \quad (2.3)$$

$G =$ [ความเข้มของแสงภายหลังวิ่งครบหนึ่งรอบ/ความเข้มของแสงเมื่อตอนเริ่มต้น]

ดังนั้น G คือกำลังขยายรวมของเลเซอร์เมื่อโฟตอนวิ่งครบหนึ่งรอบ

ถ้า G มากกว่า 1 จะเกิดการเพิ่มพลังงานของโฟตอนภายในหลอดเลเซอร์ เงื่อนไขขีดเริ่มของการเกิดการแกว่งกวัดทางเลเซอร์ คือ

$$G = 1 = R_1 R_2 \exp[2(\beta_{th} - \alpha_1)L] \quad (2.4)$$

โดยที่ β_{th} คือการขยายขีดเริ่มหรือการขยายที่พอดีเกิดเลเซอร์จากสมการ (2.4) จะได้ว่า

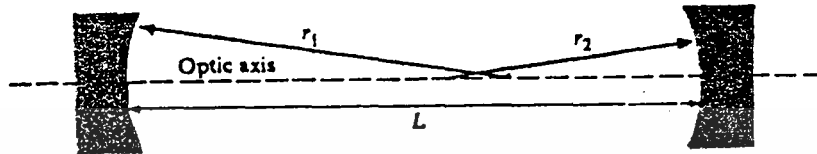
$$\beta_{th} = \alpha_1 + \frac{1}{2L} \ln \left| \frac{1}{R_1 R_2} \right| = \alpha_1 + \alpha_0 \quad (2.5)$$

โดย $\alpha_1 =$ การสูญเสียพลังงานโฟตอนในการดูดกลืนและการกระเจิงภายในตัวกลางเลเซอร์

และ $\alpha_0 =$ การสูญเสียพลังงานโฟตอนในส่วนของลำแสงเลเซอร์นอกระลอก

จากสมการที่ (2.5) ในการเกิดการแกว่งกวัดทางเลเซอร์ได้นั้น กำลังขยายจะต้องมีค่าเท่ากับผลรวมของการสูญเสีย

จากที่กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่าจำเป็นต้องใช้กระจกที่เหมาะสมในการจัดระยะ L ระหว่าง M_1 และ M_2 เพื่อให้เกิดเสถียรภาพ(stability) ซึ่งจะทำให้การแกว่งกวัดทางเลเซอร์ง่ายขึ้น



รูปที่ 2.2 การจัดกล่อ่งเรโซแนนซ์

จากรูปให้ r_1, r_2 เป็นรัศมีความโค้งของกระจก M_1, M_2 ตามลำดับ

L เป็นระยะระหว่างกระจก

กำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยค่า g คือพารามิเตอร์ของตัวสั้นพ้องโดยกำหนดว่า

$$g_1 = 1 - \frac{L}{r_1}, g_2 = 1 - \frac{L}{r_2} \quad (2.6)$$

ถ้า r มากกว่าศูนย์เป็นกระจกเว้า

และ r น้อยกว่าศูนย์เป็นกระจกนูน

เสถียรภาพของเรโซแนนซ์จะเกิดขึ้นเมื่อ

$$0 < g_1 g_2 < 1 \quad (2.7)$$

และเรโซแนนซ์จะไม่เสถียรเมื่อ

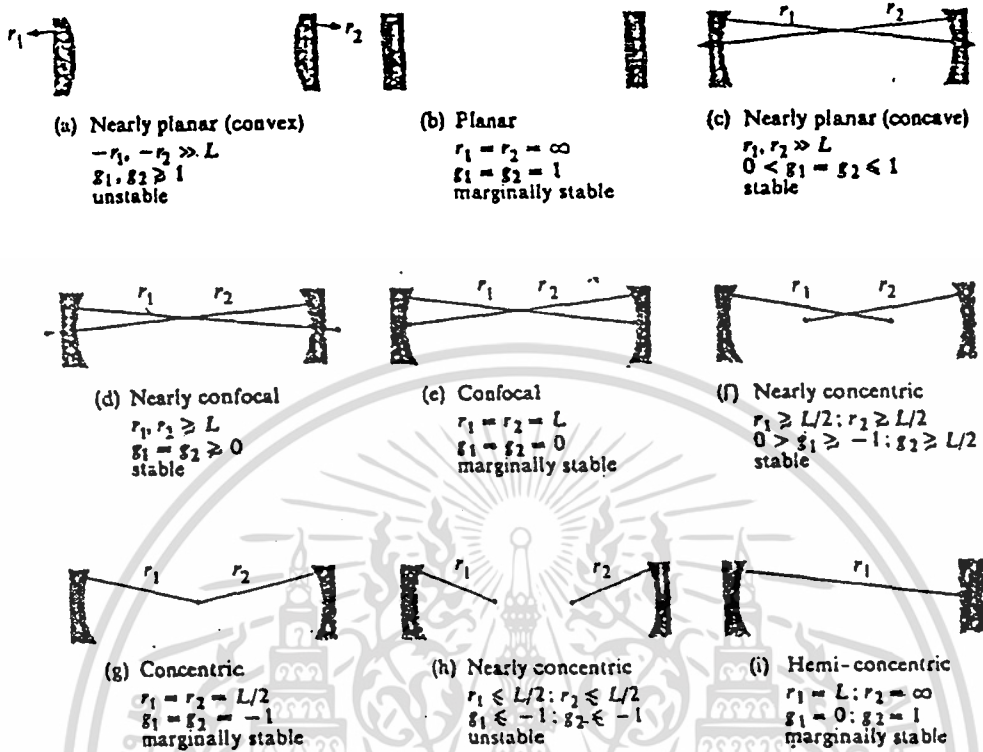
$$g_1 g_2 < 0 \text{ หรือ } g_1 g_2 > 1 \quad (2.8)$$

ส่วนกรณีของ

$$g_1 g_2 = 0$$

และ
$$g_1 g_2 = 1$$

คือเสถียรภาพขอบเขต



รูปที่ 2.3 การจัดเรโซเนเตอร์แบบต่างๆ

ดังนั้นในการเลือกชนิดของกระจก M_1 และ M_2 และการจัดเรโซเนเตอร์ จึงมีส่วนสำคัญในการเกิดการแกว่งกวัดเลเซอร์ นอกจากการเกิดประชากรผกผัน

ในปี ค.ศ.1917 ไอน์สไตน์เสนอขบวนการปลดปล่อยโฟตอนของอะตอมแบบกระตุ้น (Stimulated emission) โดยพิจารณาอันตรกิริยาของโฟตอนกับอะตอมมี 3 แบบด้วยกันคือ

1. การดูดกลืนแบบกระตุ้น

ถ้ามีโฟตอนจากภายนอกมากระตุ้นให้อะตอมเปลี่ยนระดับพลังงาน จากระดับพลังงานต่ำ E_1 ไปสู่ระดับพลังงานที่สูงกว่า E_2 อะตอมจะดูดกลืนโฟตอนที่มีพลังงานเท่ากับผลต่างของระดับพลังงาน เรียกขบวนการนี้ว่าขบวนการดูดกลืนแบบกระตุ้น ดังรูปที่ 2.4(ก) โดยเขียนสมการพลังงานของการดูดกลืนได้ ดังนี้

$$h\nu_{21} = E_2 - E_1 = \Delta E \tag{2.9}$$

ในเมื่อ ν_{21} = ความถี่ของโฟตอนที่ถูกดูดกลืน

h = ค่าคงตัวของพลังค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การปลดปล่อยโฟตอนแบบธรรมชาติ(Spontaneous emission)

ถ้าอะตอมที่อยู่ระดับพลังงานที่สูงกว่า E_2 อะตอมจะอยู่ที่ระดับพลังงานนั้นได้ไม่นาน (ประมาณ $10^{-4} - 10^{-8}$ วินาที) ก็จะปลดปล่อยโฟตอนออกมาซึ่งมีความถี่ $\nu_{21} = (E_2 - E_1)/h$ แล้วทำให้อะตอมกลับมาอยู่ในระดับพลังงานต่ำ E_1 ดังรูปที่ 2.4(ข) เรียกขบวนการนี้ว่า การปลดปล่อยโฟตอนแบบธรรมชาติ

3. การปลดปล่อยโฟตอนแบบกระตุ้น(Stimulated emission)

ในรูปที่ 2.4(ค) ถ้าอะตอมขณะเริ่มต้นอยู่ที่ระดับพลังงาน E_2 และมีโฟตอนภายนอกความถี่ $\nu = (E_2 - E_1)/h$ เข้ามากระตุ้นทำให้อะตอมเปลี่ยนระดับพลังงาน และในที่สุดอะตอมจะกลับมายังระดับพลังงาน E_1 ขณะเดียวกัน จะมีการปลดปล่อยโฟตอนออกมาเพิ่มอีกตัวรวมกับตัวเดิม 1 ตัว กลายเป็น 2 ตัว ดังรูป 2.4(ค) ทางขวามือ เรียกขบวนการนี้ว่าการปลดปล่อยแบบกระตุ้น จุดสำคัญของการปลดปล่อยโฟตอนโดยวิธีการปลดปล่อยแบบกระตุ้นมี 2 ประการ คือ ประการแรกพลังงานของโฟตอนตัวที่ 2 ที่เกิดจากการกระตุ้นจะเท่ากับพลังงานของโฟตอนตัวแรก นั่นคือความถี่หรือความยาวคลื่นของโฟตอนทั้งสองเท่ากัน และประการที่ 2 โฟตอนทั้งสองจะมีเฟสเดียวกัน ซึ่งเรียกว่ามีความเป็นอาพันธ์



รูปที่ 2.4(ค) การดูดกลืนโฟตอนแบบกระตุ้น



รูปที่ 2.4(ข) การปลดปล่อยโฟตอนแบบธรรมชาติ



รูปที่ 2.4(ค) การปลดปล่อยโฟตอนแบบกระตุ้น

2.2 สมการไอน์สไตน์

ในปี 1917 ไอน์สไตน์ได้เสนอทฤษฎีการปลดปล่อยแบบกระตุ้น ดังสมการ

$$W_{21} = B_{21} \rho(\nu) \quad (2.10)$$

โดย W_{21} = อัตราการปลดปล่อยแบบกระตุ้น

B_{21} = สัมประสิทธิ์ไอน์สไตน์ของการปลดปล่อยแบบกระตุ้น

$\rho(\nu)$ = ความหนาแน่นของพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

อัตราการปลดปล่อยแบบกระตุ้น = สัมประสิทธิ์ไอน์สไตน์ของการปลดปล่อยแบบกระตุ้น
x ความหนาแน่นพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

$$W_{12} = B_{12} \rho(\nu) \quad (2.11)$$

โดย W_{12} = อัตราการดูดกลืนแบบกระตุ้น

B_{12} = สัมประสิทธิ์ไอน์สไตน์ของการดูดกลืน

พิจารณาการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดของอะตอมจากสถานะพลังงาน $|2\rangle$ ไปยังสถานะพลังงาน $|1\rangle$ จะมีค่าดังนี้คือ

อัตราการดูดกลืนแบบกระตุ้น = อัตราการปลดปล่อยแบบธรรมชาติ
+ อัตราการปลดปล่อยแบบกระตุ้น

$$W_{12} = B_{21} \rho(\nu) + A_{21} \quad (2.12)$$

โดยที่ $A_{21} = 1/(\tau_{\text{spont}})_{21}$ เป็นอัตราการปลดปล่อยแบบธรรมชาติ

$(\tau_{\text{spont}})_{21}$ = คือเวลาที่อะตอมเปลี่ยนสถานะจาก $|2\rangle \rightarrow |1\rangle$ ในขณะที่อะตอมอยู่ในสถานะสมดุลทางความร้อน การแผ่รังสีของวัตถุดำตามทฤษฎีของพลังค์

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

h = ค่าคงที่ของพลังค์

$$= 6.625 \times 10^{-34} \text{ จูล/วินาที}$$

V = ความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

c = ความเร็วของแสงในสุญญากาศ

k = ค่าคงที่ของโบลซ์มาน

$$= 1.38 \times 10^{-23} \text{ จูล/เคลวิน}$$

T = อุณหภูมิเป็นองศาสัมบูรณ์ (Kelvin)

จำนวนอะตอมทั้งหมดที่เปลี่ยนแปลงสถานะพลังงานจาก $|1\rangle$ ไปยังสถานะพลังงาน $|2\rangle$ และการเปลี่ยนแปลงของอะตอมทั้งหมดจากสถานะ $|2\rangle$ ไปยังสถานะ $|1\rangle$ มีค่าเท่ากัน ดังสมการ

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

โดยที่ N_1 เป็นจำนวนอะตอมในสถานะพลังงาน $|1\rangle$

N_2 เป็นจำนวนอะตอมในสถานะพลังงาน $|2\rangle$

แทนค่าสมการ (2.11) และ (2.12) ลงใน (2.14) จะได้สมการ

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

แทนค่า $\rho(\nu)$ จากสมการ (2.13) ลงใน (2.15) จะได้สมการ

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

การแจกแจงของโบลซ์มานเป็นไปตามสมการข้างล่าง

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

แทนสมการ (2.17) ลงในสมการ (2.16) จะได้

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

เมื่อไม่มีการแยกของระดับพลังงาน (nondegeneracy)

$$B_{12} = B_{21} \quad (2.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

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

เรียกสมการ (2.19) และสมการ (2.20) ว่าสมการไอน์สไตน์
 เพื่อความสะดวกในการนำไปประยุกต์ต่อไป จะเขียนสมการใหม่เป็นอัตราการเกิดการ
 ปลดปล่อยแบบกระตุ้น W_1

$$W_1 = \frac{B_{21}\rho(\nu)c^3\rho(\nu)}{8\pi h \nu^3} = \frac{c^3\rho(\nu)}{8\pi h \nu^3 t_{spnt}} \quad (2.21)$$

เพราะว่าการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดมีช่วงสเปกตรัมกว้าง จึงต้องคูณสมการการปลดปล่อย
 ด้วยฟังก์ชันไลน์เชพ (Lineshape function)

$$W_1(\nu) = \frac{c^3\rho(\nu)g(\nu)}{8\pi h \nu^3 t_{spnt}} \quad (2.22)$$

โดย $g(\nu)$ = เป็นฟังก์ชันที่แสดงการกระจายของความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อะตอม
 ปลดปล่อยเรียกฟังก์ชันนี้ว่า ฟังก์ชันไลน์เชพ

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

2.3 การดูดกลืนและการขยายโฟตอนในระบบอะตอม

เมื่อโฟตอนผ่านเข้าไปยังตัวกลาง การสูญเสียสุทธิของโฟตอนต่อหน่วยปริมาตร คือ

$$P = (N_1 - N_2)W_1 h \nu$$

โดย P = กำลังที่สูญเสียของโฟตอน

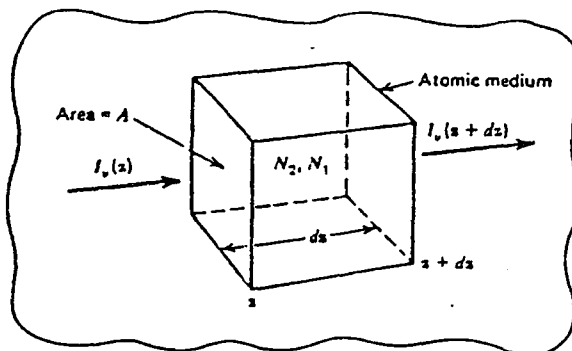
N_1 = ความหนาแน่นของจำนวนอะตอมต่อลูกบาศก์เมตรในระดับพลังงาน $|1\rangle$

N_2 = ความหนาแน่นของจำนวนอะตอมต่อลูกบาศก์เมตรในระดับพลังงาน $|2\rangle$

W_1 = อัตราการเปลี่ยนแปลงของสถานะ $|i\rangle$

h = ค่าคงตัวของพลังค์

ν = ความถี่ของโฟตอน



รูปที่ 2.5 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทำอันตรกิริยากับตัวกลางที่ผ่าน

จากภาพประกอบพิจารณาปริมาตร Adz ของตัวกลางที่มีความหนาแน่นอะตอม N_2 และ N_1 โฟตอนมีความเข้มตกกระทบ $I(z)$ ตกกระทบที่ผิว A นี้ วิ่งผ่านทะลุไปผิวอีกด้านที่ $z+dz$ โดยมีความเข้ม $I(z+dz)$ การเปลี่ยนแปลงสุทธิของ I คือ ความเข้มของโฟตอนที่ผ่านผิวทั้ง

$$[I(z+dz) - I(z)]A = dI/dz \quad Adz \quad (2.23)$$

ซึ่งสมการ(2.23) จะเท่ากับ $-(N_2 - N_1) W_1 hVA dz$

$$\text{ดังนั้น} \quad dI/dz = -(N_2 - N_1) W_1 hV \quad (2.24)$$

จากสมการ (2.22) แทนค่า $I = c\rho(V)$

$$\text{จะได้ค่า} \quad W_1(v) = \frac{c^2 I v}{8\pi h v^2 t_{spnt}} g(v) \quad (2.25)$$

แทนค่าสมการ(2.25) ลงในสมการ(2.24)

$$\frac{dI}{dz} = (N_2 - N_1) \frac{c^2}{8\pi v^2 t_{spnt}} g(v) I_v \quad (2.26)$$

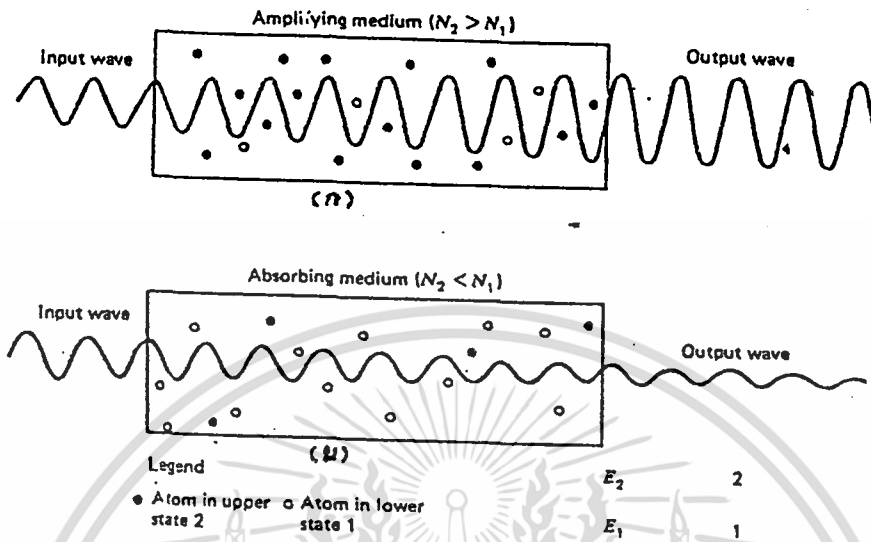
ผลเฉลยของสมการที่(2.26) คือ

$$I(z) = I(0) \exp [\beta(v) z]$$

$$\beta(v) = (N_2 - N_1) \frac{c^2}{8\pi v^2 t_{spnt}} \quad (2.27)$$

$$\beta(v) = \text{กำลังขยายเลเซอร์}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 (ก) การขยายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อเกิดประชากรผกผัน

(ข) การลดทอนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวกลางดูดคลื่น เมื่อ $N_2 < N_1$

จะเห็นว่า การขยายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวกลางมากขึ้นเมื่อผ่านตัวกลาง เกิดขึ้นได้เฉพาะตัวกลางที่เกิดสภาพประชากรผกผันเท่านั้น

2.4 การเพิ่มพลังงานให้กับตัวกลางเลเซอร์

ในการเพิ่มพลังงานให้กับอะตอมหรือโมเลกุลของตัวกลางเลเซอร์เพื่อให้เกิดประชากรผกผัน จะเป็นที่ต้องศึกษากลศาสตร์สถิติของระบบของก๊าซ โดยใช้การแจกแจงของโบลซ์มาน ดังสมการ

$$N_j = N_i \exp(-\Delta E_{ji} / kT) \quad (2.28)$$

โดยที่ E_i = พลังงานในระดับพลังงานต่ำ

E_j = พลังงานในระดับพลังงานซึ่งสูงกว่า

N_j = จำนวนอะตอมในระดับพลังงาน $|j\rangle$

N_i = จำนวนอะตอมในระดับพลังงาน $|i\rangle$

จากสมการที่ (2.28) จะเห็นว่าจำนวนอะตอม N_j จะมีค่ามากกว่าจำนวนอะตอม N_i เสมอ

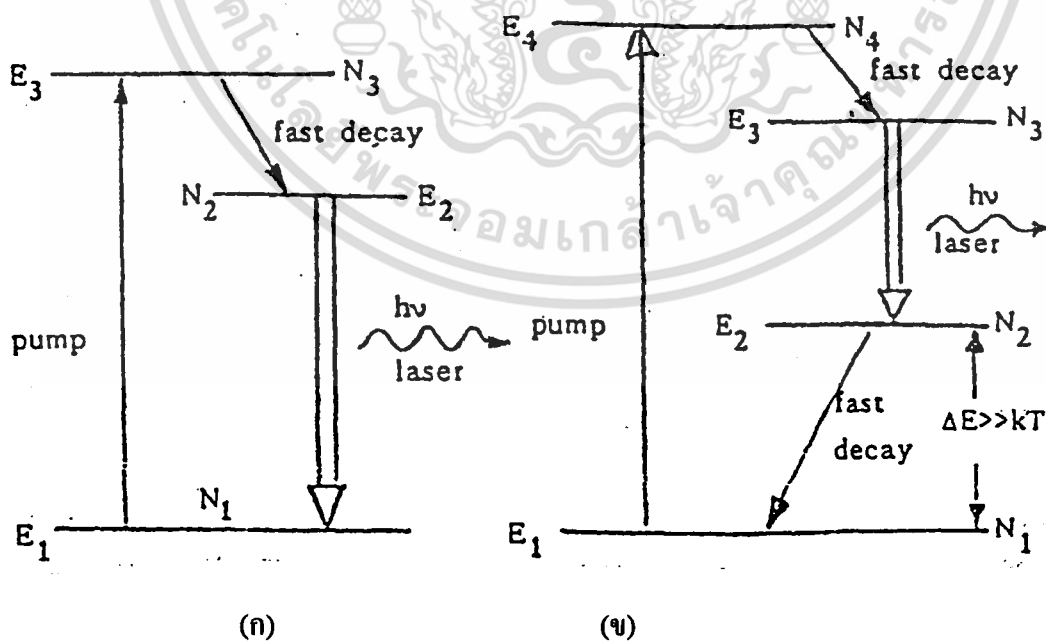
ดังนั้นการเกิดประชากรผกผันจึงเป็นขบวนการที่ผิดปกติจากธรรมชาติ โดยต้องทำให้ระบบของอะตอมของตัวกลางเลเซอร์มีจำนวนอะตอม $N_j > N_i$ ซึ่งมีตัวกลางบางชนิดเท่านั้นสามารถ ทำให้เกิดประชากรผกผันได้ การเพิ่มพลังงานดังกล่าวมีหลายวิธี เช่น

- การใช้แสง
- การใช้การคายประจุของอิเล็กตรอน
- การชนด้วยลำอิเล็กตรอน
- การใช้เลเซอร์ชนิดอื่นมาเพิ่มพลังงาน
- การใช้ปฏิกิริยาทางเคมีที่ให้พลังงานจำนวนมากอย่างรวดเร็ว

2.5 ตัวอย่างการเพิ่มพลังงาน

1. การเพิ่มพลังงาน 3 ระดับ (Three level pumping)

เมื่ออะตอมซึ่งเดิมมีพลังงาน E_1 เปลี่ยนสถานะไปสู่ระดับพลังงาน E_3 อะตอมเหล่านี้บางส่วนจะลดพลังงานอย่างรวดเร็วมาสู่ระดับ E_2 ทำให้จำนวนอะตอมในระดับนี้มีค่าเป็น N_2 อะตอมเหล่านี้จะอยู่ในระดับนี้นาน เมื่อเทียบกับเวลาในระดับพลังงานอื่น เมื่อจำนวนอะตอม N_2 มากกว่า N_1 โดย N_1 เป็นจำนวนอะตอมในระดับพลังงาน E_1 ที่เหลืออยู่ จะเกิดสภาพประชากรผกผัน และเมื่ออะตอมเปลี่ยนระดับพลังงานจาก E_2 ไปสู่ E_1 ก็จะปล่อยแสงเลเซอร์ออกมาเมื่อถูกกระตุ้น ตัวอย่างของเลเซอร์ที่เกิดจากขบวนการนี้ คือ เลเซอร์ทับทิม



รูปที่ 2.7 การเกิดเลเซอร์ชนิด 3 ระดับ และชนิด 4 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเพิ่มพลังงาน 4 ระดับ (four level pumping)

รูปที่ 2.7(ข) คือขบวนการเกิดเลเซอร์ 4 ระดับ ซึ่งจะต้องมีจำนวนอะตอม N_3 มากกว่า N_2 ในรูปอะตอม N_1 รับพลังงานแล้วจะไปสู่ระดับพลังงาน E_4 เป็นจำนวน N_4 และลดพลังงานอย่างรวดเร็วมาอยู่ที่ E_3 ทำให้ระดับพลังงานนี้มีจำนวนอะตอมเป็น N_3 เมื่ออะตอมเหล่านี้ปลดปล่อยแสงเลเซอร์พลังงาน $E = h\nu_{32}$ ก็จะลดพลังงานมาสู่ E_2 อะตอมที่อยู่ในระดับพลังงานนี้มี N_2 ตัว ลดพลังงานมาสู่ E_1

ข้อสังเกต $\Delta E = E_2 - E_1 > kT$ ป้องกันมิให้อะตอม N_1 ไปสู่ N_2 โดยขบวนการกระตุ้นทางความร้อนทำให้ N_3 มากกว่า N_2 อยู่เสมอ

ตัวอย่างของเลเซอร์ 4 ระดับนี้ คือเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน

2.6 ทฤษฎีของไนโตรเจนเลเซอร์

ไนโตรเจนเลเซอร์เป็นเลเซอร์ที่มีก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวกลาง ก๊าซไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบสำคัญที่มีมากที่สุดในอากาศ มีสัญลักษณ์ทางเคมี N^{14} และมีการจัดเรียงตัวของอิเล็กตรอนดังแสดงในตารางที่ 1

การพิจารณาพันธะซิกมา (σ) และ (π) ทำได้จากการหมุนของโมเลกุลรอบแกนที่ต่อเชื่อมนิวเคลียสทั้งสอง ถ้าโมเลกุลโคจรไป 180° แล้วเครื่องหมายของออร์บิทัลคงเดิม โมเลกุลนั้นจะเป็นโมเลกุลออร์บิทัล σ - ออร์บิทัล

ถ้าหมุนไป 180° แล้วเครื่องหมายของออร์บิทัลเปลี่ยนไปตรงกันข้ามเรียก โมเลกุลออร์บิทัลว่า π - ออร์บิทัล

พลังงานรวมของไนโตรเจนโมเลกุล = E

$$E = E_0 + E_v + E_r \quad (2.29)$$

E_0 = พลังงานของอิเล็กตรอนในโมเลกุลของไนโตรเจน

E_v = พลังงานการสั่นของโมเลกุล = $(v+1/2) h\omega$

E_r = พลังงานการหมุนของโมเลกุล = $\frac{J(J+1)h^2}{2I}$

โดย v = เลขควอนตัมการสั่น

ω = ความถี่เชิงมุม

J = เลขควอนตัมเชิงมุมรวม

I = โมเมนต์ความเฉื่อย

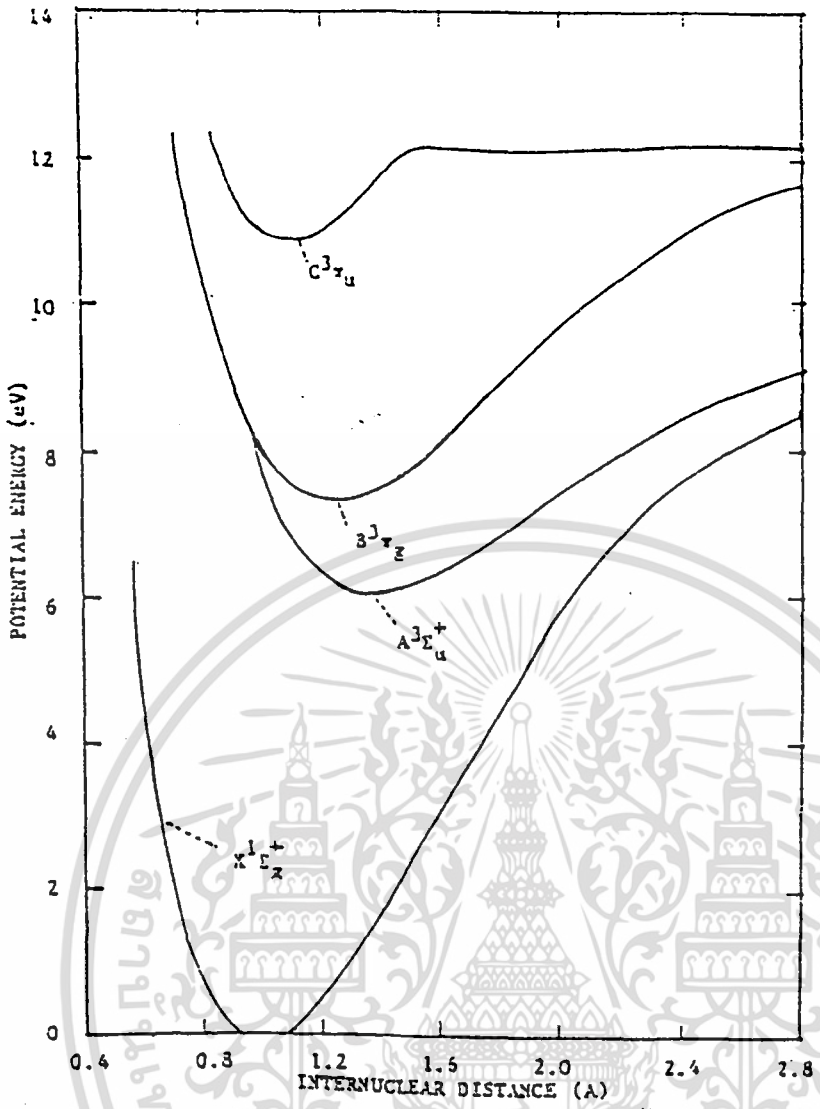
เพราะฉะนั้น

$$E = E_e + (v+1/2)h\omega + \frac{J(J+1)h^2}{2I} \quad (2.30)$$

ตารางที่ 1 การเรียงตัวของอิเล็กตรอนในโมเลกุลของไนโตรเจน

Molecule	State	$^1\pi_u$	$^3\sigma_g$	$^1\pi_g$	$^3\sigma_u$	Other
N_2	$X^1\Sigma_g^+$	4	2	0	0	
	$A^1\Sigma_u^+$	3	2	1	0	
	$W^1\Delta_u$	3	2	1	0	
	$B^3\Pi_g$	4	1	1	0	
	$B'^3\Sigma_u^-$	3	2	1	0	
	$a''^1\Sigma_u^-$	3	2	1	0	
	$a^1\Pi_g$	4	1	1	0	
	$W^1\Delta_u$	3	2	1	0	
	$^5\Sigma_g^+$	2	2	2	0	
	$^3\Sigma_g^-$	3	1	1	1	
	$^7\Sigma_u^+$	2	1	2	1	
	$C^3\Pi_u$	4	2	1	0	$-2\sigma_u$
	$^5\Pi_u$	3	1	2	0	
	$E^3\Sigma_g^+$	4	1	0	0	$3s\sigma_g$
	$C'^3\Pi_u$	3	1	2	0	
	$b''^1\Sigma_u^+$	3	2	1	0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ระดับพลังงานสำคัญของโมเลกุลไนโตรเจน

สัญลักษณ์ที่ย่อทำของระดับพลังงานโมเลกุล π_u, π_g มาจากภาษาเยอรมันที่เรียกว่า ฟังก์ชันคลื่น โดย

Ψ_{even} เป็นฟังก์ชันคู่เรียกว่าสถานะ g มาจากคำว่า gerade แปลว่าคู่

ฟังก์ชัน Ψ_{odd} เป็นฟังก์ชันคี่เรียกว่าสถานะ u มาจากคำว่า ungerade แปลว่าคี่

จากสเปกตรัมเนื่องจากโมเลกุลมี 3 แบบ คือ

1. สเปกตรัมย่านไมโครเวฟ เกิดจากการหมุนของโมเลกุล
2. สเปกตรัมย่านอินฟราเรด เกิดจากการหมุนและการสั่นของโมเลกุล
3. สเปกตรัมย่านแสงที่มองเห็น และอัลตราไวโอเล็ตเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับ

อิเล็กตรอนในโมเลกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 หลักของแฟรงค์คอนดอน (Frank Condon Principle)

หลักของแฟรงค์คอนดอน กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงของอิเล็กตรอนเป็นไปอย่างรวดเร็ว เป็นเวลา 10^{-15} วินาที สั้นมากเมื่อเทียบกับเวลาของการเคลื่อนที่ของนิวเคลียส

การเปลี่ยนแปลงของการสั่นที่เกิดขึ้นกับสถานะการสั่น เมื่อกำหนดให้ระยะห่างของนิวเคลียสที่ถูกกระตุ้นคือ r'_e มีค่ามากกว่าระยะห่างของนิวเคลียสที่สถานะพื้น r''_e

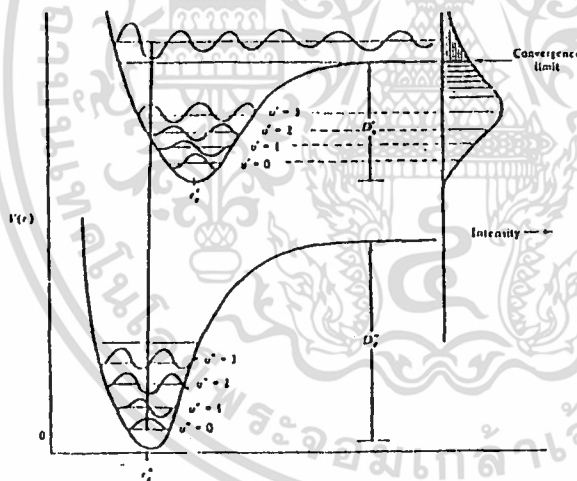
เขียนได้เป็น $r'_e > r''_e$

โดยกำหนดให้ $r'_e =$ ระยะห่างของนิวเคลียสสถานะกระตุ้น

$r''_e =$ ระยะห่างของนิวเคลียสสถานะพื้น

ที่อุณหภูมิห้องโมเลกุลส่วนมากจะอยู่ที่สถานะพื้น ระดับการสั่นของอิเล็กตรอนในสถานะนั้น จะมีเลขควอนตัมการสั่น $v'' = 0$ ไปสู่สถานะที่สูงกว่าที่มีเลขควอนตัมการสั่นสะท้อน v'

ในกรณีของโมเลกุลไดอะตอม การกลับกันคืออิเล็กตรอนในพลังงานที่สูงกว่าเลขควอนตัม $v' = 0$ จะลดระดับพลังงานมายังระดับพลังงานที่มีเลขควอนตัมต่ำกว่า $v'' = 0$ ได้ สเปกตรัมความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร



รูปที่ 2.9 ระดับพลังงานการสั่นของโมเลกุล

จากแผนผังเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของอิเล็กตรอนจากสถานะเลขควอนตัมการสั่น v'' ไปยังสถานะที่มีเลขควอนตัมการสั่น $v' = 3$ มีค่ามากที่สุด

เพราะว่า $\Delta v = v' - v''$ มีค่าเป็น $(0, \pm 1, \pm 2, \dots)$

แต่ $\Delta v = \pm 1$ เป็นกฎที่ใช้ในวิชาสเปกโทรสโกปีของรังสีอินฟราเรด (infrared spectroscopy)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ $r_c'' = r_c'$ การเปลี่ยนแปลงของอิล็กตรอนในโมเลกุลที่มีเลขควอนตัมการสั่น $v'' = 0$ ไปยังระดับพลังงานที่สูงกว่า มีเลขควอนตัมการสั่น $v' = 0$ หรือ $(0 \rightarrow 0)$ มีความเข้มของเส้นสเปกตรัมมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการเกิดเลเซอร์ในโตรเจนที่มีความยาวคลื่น เท่ากับ 337.1 นาโนเมตร

ถ้า $r_c' \gg r_c''$ หมายความว่าระยะห่างของนิวเคลียสของโมเลกุลที่ถูกกระตุ้นมีค่ามากกว่า ระยะห่างของนิวเคลียสของโมเลกุลสถานะพื้นมาก ๆ โมเลกุลก็จะสลายตัว

อย่างไรก็ตาม ในการเกิดไนโตรเจนเลเซอร์จำเป็นต้องเพิ่มพลังงานให้กับอิล็กตรอนในสถานะพื้นไปสู่ระดับพลังงานเพื่อให้เกิดจำนวนประชากรผกผัน เนื่องจากเราได้มีนักวิทยาศาสตร์ ได้ศึกษาวิชาสเปกโทสโคปีไว้ก่อนแล้ว และยังสามารถวัดช่วงเวลาของระดับพลังงานอิล็กตรอนในระดับพลังงานต่างๆ เช่น

อิล็กตรอนในระดับ $C^3\Pi_u$ มีช่วงเวลา 40 นาโนวินาทีที่ความดันต่ำ

และ 2.6 นาโนวินาทีที่ความดันบรรยากาศ

อิล็กตรอนในระดับ $B^3\Pi_g$ มีช่วงเวลา 10 ไมโครวินาที

อิล็กตรอนในระดับ $A^3\Sigma_u^+$ มีช่วงเวลา 10 มิลลิวินาที

จึงทำให้เป็นการสะดวก ในการที่จะหาวงจรที่ให้แรงดันไฟฟ้าแรงสูงในเวลาสั้น ๆ เพื่อเพิ่มพลังงานให้กับอิล็กตรอนในโมเลกุลของไนโตรเจน

2.8 การแบ่งไนโตรเจนเลเซอร์ตามความยาวคลื่น แบ่งได้ เป็น 3 กลุ่ม คือ

1. ระบบบวทที่สอง ($C^3\Pi_u - B^3\Pi_g$) ให้แสงเลเซอร์ในย่านอัลตราไวโอเลตความยาวคลื่น 0.3371 ไมโครเมตร , 0.358 ไมโครเมตร และ 0.316 ไมโครเมตร

2. ระบบบวทที่หนึ่ง ($B^3\Pi_g - A^3\Sigma_u$) ให้แสงเลเซอร์ความยาวคลื่น 0.745 ไมโครเมตร ถึง 1.235 ไมโครเมตร

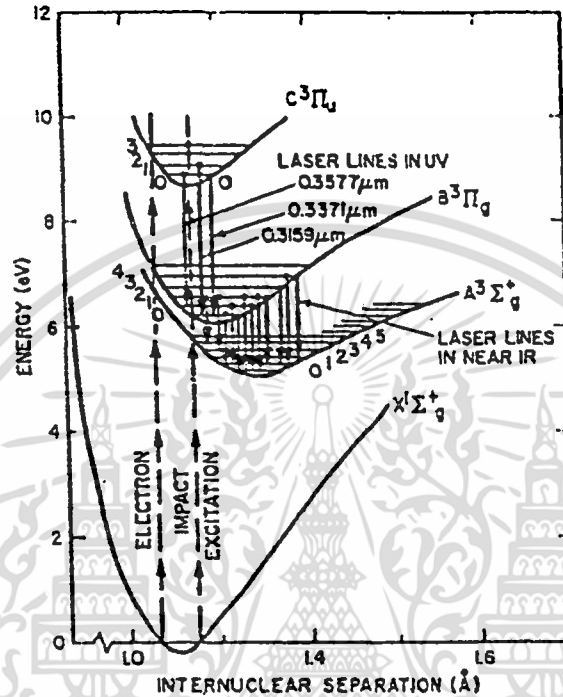
3. ระบบ $a^1\Pi_g - a^1\Sigma_u$ ให้แสงเลเซอร์ความยาวคลื่น 3.29 ไมโครเมตร และ 3.47 ไมโครเมตร หรือประมาณ 8.5 ไมโครเมตร ถึง 8.21 ไมโครเมตร

ส่วนสเปกตรัมย่านอื่นที่ไม่ได้แบ่งพวกไว้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอิล็กตรอนในระบบ $w\Delta_u - a^1\Pi_g$ ให้แสงเลเซอร์ความยาวคลื่น 3.7 ไมโครเมตร เส้นสเปกตรัมที่เกิดจากการสั่นของโมเลกุล สามารถสังเกตได้ประมาณ 80 เส้น ซึ่งมีความยาวคลื่นในช่วงอินฟราเรด 5.4 ไมโครเมตร ถึง 8.04 ไมโครเมตร

สเวดเบิร์ก สร้างเลเซอร์ไนโตรเจนชนิดกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ (TEA N_2 - LASER) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับอิล็กตรอนจาก $C^3\Pi_u \rightarrow B^3\Pi_g$ หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบบวกที่สองให้แสงเลเซอร์ย่านอัลตราไวโอเล็ตมีความเข้มมากที่สุดที่ความยาวคลื่น 0.3371 ไมโครเมตร ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ก็จะศึกษาเฉพาะ ที่ไอเอ โนโตรเจนเลเซอร์



รูปที่ 2.10 กราฟของระดับพลังงานในโมเลกุลของก๊าซไนโตรเจน

อธิบายการเกิดแสงเลเซอร์ของไนโตรเจนเลเซอร์ จากรูปที่ 2.10 แบบง่าย ๆ โดยดูจากระดับพลังงานต้นตัว $C^3\Pi_u$ ที่สถานะ $V' = 0$ ไปยังสถานะ $V'' = 0$ ของ $B^3\Pi_g$ ให้แสงเลเซอร์ความยาวคลื่น 0.337 ไมโครเมตร การเปลี่ยนแปลงของระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในชั้น $C^3\Pi_u$ ($V' = 0$) ไปยังสถานะ $B^3\Pi_g$ ($V'' = 1$) ให้แสงเลเซอร์ความยาวคลื่น 0.3577 ไมโครเมตร การเปลี่ยนของระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในชั้น $C^3\Pi_u$ ($V' = 1$) ไปสู่สถานะของอิเล็กตรอนในสถานะ $B^3\Pi_g$ ($V'' = 0$) ให้ความยาวคลื่น 0.3159 ไมโครเมตร อิเล็กตรอนในสถานะ C มีช่วงชีวิตประมาณ 40×10^{-9} วินาที ที่ความดัน 50-150 มิลิบาร์ที่ความดันบรรยากาศ (760 ทอร์) มีช่วงชีวิต $T_c = 2.6 \times 10^{-9}$ วินาที ซึ่งเป็นเวลาที่สั้นมาก ในการป้อนพลังงานให้กับโมเลกุลของไนโตรเจนต้องใช้วงจรบลัมไลน์ (Blumlein circuit) ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

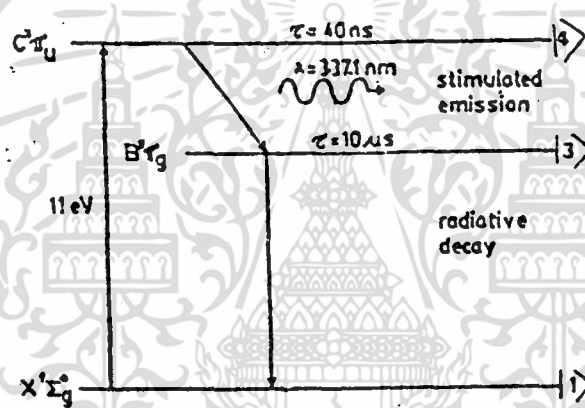
การที่ในโตรเจนเลเซอร์ให้ความเข้มของแสงมากที่สุดเป็น 0.3371 ,0.3577 และ 0.3159 ไมโครเมตร ตามลำดับ เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของสถานะ C จะโตกว่าพื้นที่หน้าตัดของสถานะ B ที่เลขควอนตัมการสั่นต่ำ ๆ มีค่า 0, 1 จากตาราง

$$Q_{00}(C^3\Pi_u) = 6.2 \times 10^{-18} \text{ cm}^2 > Q_{01}(B^3\Pi_g) = 4.5 \times 10^{-18} \text{ cm}^2 \\ > Q_{00}(B^3\Pi_g) = 1.8 \times 10^{-18} \text{ cm}^2$$

$$Q_{01}(C^3\Pi_u) = 3.5 \times 10^{-18} \text{ cm}^2 > Q_{00}(B^3\Pi_g) = 1.87 \times 10^{-18} \text{ cm}^2$$

เราจึงสามารถเพิ่มพลังงานให้กับอิเล็กตรอนในสถานะนั้นไปสู่สถานะ $C^3\Pi_u$ ได้มากกว่าระดับ $B^3\Pi_g$

เพื่อความสะดวกเราจะเขียนระดับพลังงานใหม่ ซึ่งจะแทนด้วยเส้นตรงดังรูป



รูปที่ 2.11 ระดับพลังงาน 3 ระดับของโมเลกุลไนโตรเจน ซึ่งให้แสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร

จากรูปที่ 2.11 ระหว่างที่เกิดการปล่อยประจุไฟฟ้า โมเลกุลไนโตรเจนได้รับพลังงานและเปลี่ยนสถานะจากระดับที่ $|1\rangle$ ไปยังระดับที่ $|4\rangle$ ผลต่างของระดับพลังงานสองระดับนี้มีค่าประมาณ 11 อิเล็กตรอนโวลต์ แล้วจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงจากระดับที่ $|4\rangle$ มายังระดับ $|3\rangle$ ซึ่งจะให้โฟตอนมีความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร จึงต้องมีกระบวนการของประชากรผกผันและการปลดปล่อยโดยการกระตุ้นระหว่างระดับพลังงานที่ $|4\rangle$ กับที่ $|3\rangle$ แต่เนื่องจากช่วงชีวิต (life time) ของโมเลกุลไนโตรเจนในระดับที่ $|4\rangle$ มีเวลาเพียง 40 นาโนวินาที และในระดับที่ $|3\rangle$ นานเพียง 10 ไมโครวินาที ดังนั้นในการที่จะทำให้เกิดการผกผันของประชากรระหว่างระดับพลังงานทั้งสองนั้น จำเป็นจะต้องกระตุ้นให้โมเลกุลไนโตรเจนขึ้นไปทีระดับที่ $|4\rangle$ ด้วยเวลาที่น้อย

กว่า 40 นาโนวินาที จึงต้องใช้วงจรกระตุ้นแบบพัลส์ที่รวดเร็วมาก ซึ่งเป็นวงจรที่มีความหนึ่ขวนำมาก ๆ นั่นเอง

เนื่องจากการกระตุ้นนี้ใช้เวลาสั้นมาก ๆ ทำให้จำนวนประชากรในระดับที่ $|4\rangle$ มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อถึงระดับที่พอเหมาะพร้อมกับการปลดปล่อยโฟตอน ดังนั้นแสงเลเซอร์จึงเกิดในเวลาสั้นมากและมีความเข้มสูง เรียกว่าเป็นเลเซอร์ชนิดปลดปล่อยพลังงานอย่างยั้งวด (Superradiant spontaneous emission) ซึ่งทำให้เกิดเลเซอร์ชนิดที่ไม่ต้องใช้กระจก (mirrorless lasing) และเป็นแบบพัลส์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้างไนโตรเจนเลเซอร์

3.1 การออกแบบและการคำนวณ

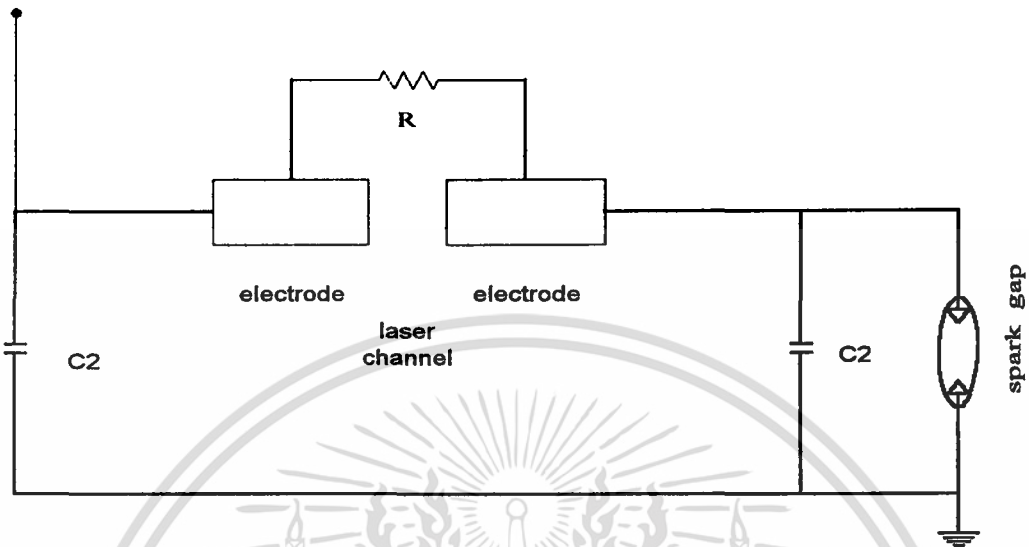
ไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ (Transverse Excited at Atmospheric Pressure - N_2 laser) สามารถให้แสงที่เป็นพัลส์แคบ และมีกำลังสูง อีกทั้งสามารถออกแบบให้มีขนาดกะทัดรัดได้อีกด้วย และที่สำคัญที่สุด คือไม่ต้องใช้ระบบสุญญากาศ ซึ่งในการสร้างและพัฒนาระบบไนโตรเจนแบบ ที อี เอ นี้เราสนใจเฉพาะไนโตรเจนเลเซอร์ ที่ให้แสงในช่วงอัลตราไวโอเล็ตและที่ความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร เท่านั้น จึงต้องมีขบวนการของการผกผัน ประชากร(Population inversion) และการปลดปล่อยโดยการกระตุ้น (Stimulated emission) ระหว่างระดับพลังงานที่ 3 กับที่ 4 แต่เนื่องจาก life time ของโมเลกุลไนโตรเจนในระดับที่ 4 นานเพียง 40 นาโนวินาที และในระดับที่ 3 นานเพียง 10 ไมโครวินาที ดังนั้นในการที่จะทำให้เกิดการผกผันของประชากรระหว่างระดับพลังงานทั้งสองนั้น จำเป็นจะต้องกระตุ้นให้โมเลกุลไนโตรเจนขึ้นไปในระดับที่ 4 ด้วยเวลาที่น้อยกว่า 40 นาโนวินาที จึงต้องใช้วงจร กระตุ้นแบบพัลส์รวมเร็วมาก ซึ่งคือวงจรที่มีค่าอินดักแตนซ์ต่ำ ๆ นั่นเอง วงจรที่มีลักษณะเช่นนี้ได้แก่ วงจรคาปาซิเตอร์ชาร์จทรานสเฟอร์ (capacitor-charge transfer circuit) และวงจร บลัมไลน์ (Blumlein circuit) เป็นต้น

ในโครงการนี้ ได้เลือกใช้วงจรบลัมไลน์เป็นวงจรกระตุ้นของไนโตรเจนเลเซอร์ เพราะว่าเป็นวงจรที่สร้างได้ง่าย และนิยมใช้กันมากที่สุด ดังนั้นในที่นี้จะขอกกล่าวเฉพาะวงจรบลัมไลน์เท่านั้น

การทำงานของวงจรบลัมไลน์ สามารถอธิบายได้ดังนี้ สตอเรจคาปาซิเตอร์ (storage capacitor) C_1 และพัลส์ฟอร์มมิงไลน์คาปาซิเตอร์ (pulse forming line) C_2 ถูกประจุเพิ่มเติมจากแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง HV เมื่อสปรັกแกปทำงานประจุใน C_1 จะไหลลงกราวด์อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดความต่างศักย์ตกคร่อมระหว่างช่องเลเซอร์ มีค่าเท่ากับความต่างศักย์จากแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง

เนื่องจากขั้วอิเล็กโทรดที่ต่อกับ C_1 ในขณะนี้มีศักย์เท่ากับกราวด์ ดังนั้นจึงเกิดการคายประจุของ C_2 อย่างรวดเร็ว ผ่านขั้วไฟฟ้าภายในช่องเลเซอร์ และสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองจะกระตุ้นก๊าซไนโตรเจนที่ไหลผ่านระหว่างช่องเลเซอร์ ภายใต้อุณหภูมิที่เหมาะสมก็จะเกิดแสงเลเซอร์ออกมา ตามแนวยาวของช่องเลเซอร์

hight voltage



วงจรลัมไจน์

รูปที่ 3.1 วงจรลัมไจน์

3.2 ทีอีเอ ไนโตรเจนเลเซอร์ ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- ขั้วไฟฟ้า และช่องเลเซอร์
- ระบบจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง
- ตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน
- ระบบจ่ายก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่ช่องเลเซอร์

3.3 ขั้วไฟฟ้า

วัสดุที่จะใช้เป็นขั้วไฟฟ้า ได้แก่ อลูมิเนียม วางขนานกัน 2 อัน สำหรับช่องของขั้วไฟฟ้า แต่ละขอบจะต้องถูกลมเหล็ยมคม เพื่อให้เกิดการดีสชาร์จระหว่าง ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าทั้งสอง สม่่าเสมอตลอดแนวที่วางขนานกัน

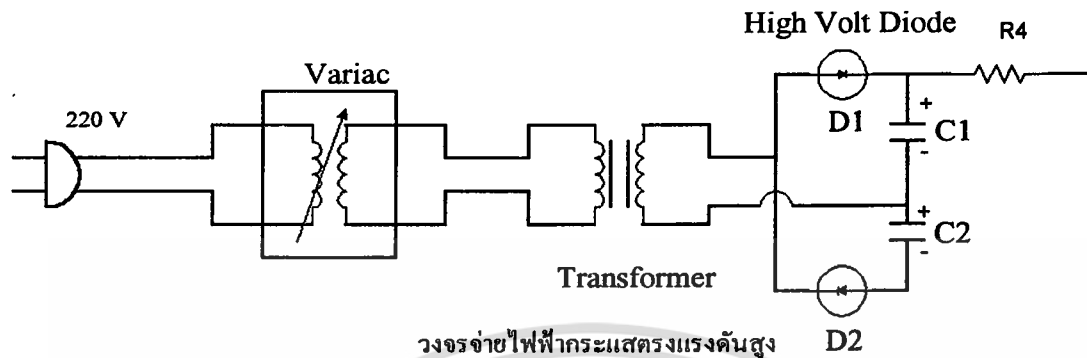
สำหรับระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองซึ่งประกอบเป็นช่องเลเซอร์สามารถปรับได้ตาม ความต้องการ

3.4 ระบบจ่ายไฟแรงดันสูง

1. ชุดจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง (HV power supply) สามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 0-15 กิโลโวลต์ เพื่อจ่ายให้วงจรลัมไจน์

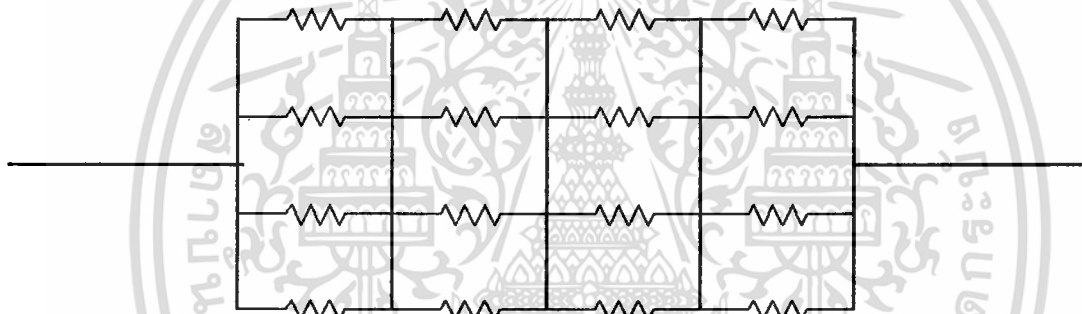
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วงจรกลับไลน์



วงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง

รูปที่ 3.2 วงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง



การต่อตัวต้านทาน (R₄)

รูปที่ 3.3 การต่อตัวต้านทาน(R₄)

3.5 ตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน

จากวงจรกลับไลน์ ความจุของตัวเก็บประจุ C_1 ต้องมากกว่าของ C_2 อาจจะใช้อัตราส่วนตั้งแต่ 2:1 ขึ้นไป และเพื่อจะให้ความเหนียวหนาในวงจรกระตุ้นเลเซอร์มีค่าต่ำมาก ๆ ดังนั้นใน วงจรกระตุ้น C_1 และ C_2 จำเป็นต้องเป็นตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน ในที่นี้สร้างโดยใช้แผ่นไมลาร์ เป็นไดอิเล็กตริก ซึ่งมีแผ่นอลูมิเนียมฟอล์ย 2 แผ่นประกบอยู่ โดยแผ่นอลูมิเนียมจะทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ แผ่นไมลาร์และแผ่นอลูมิเนียมทั้งหมดนี้จะวางเรียงเป็นชั้นอยู่บนแผ่นอะคริลิกเพื่อให้เรียบ ค่าความจุของ C_1 และ C_2 คำนวณได้จากสูตร

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 A / d \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

C = ค่าความจุของตัวเก็บประจุ มีหน่วยเป็นฟารัด (farad : F)

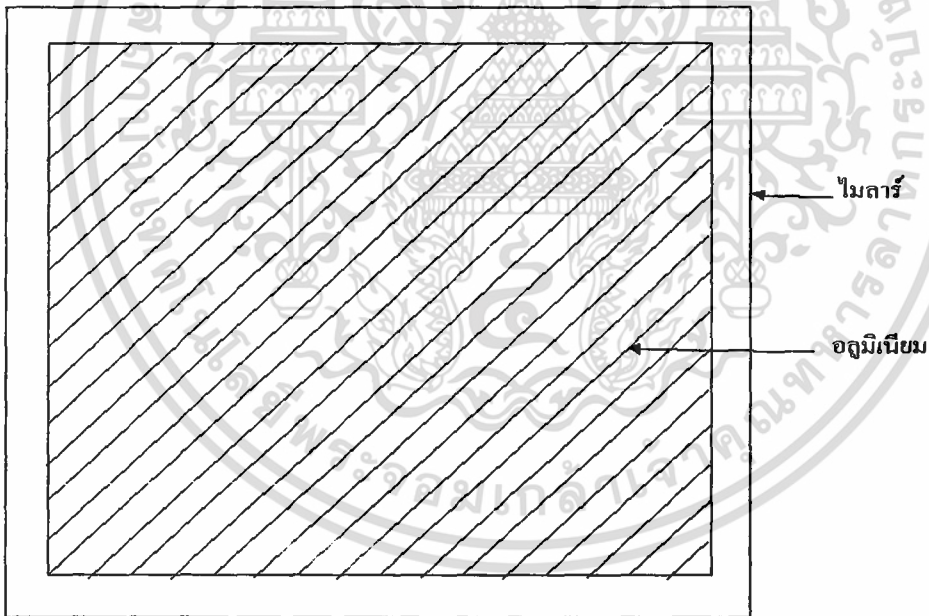
ϵ_r = สภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ (relative permittivity) ของไดอิเล็กตริก
(แผ่นไมลาร์มีค่า = 3.0)

ϵ_0 = สภาพยอมทางไฟฟ้าของสุญญากาศ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 8.85×10^{-12}
ฟารัด/เมตร

A = พื้นที่ผิวของแผ่นอลูมิเนียมพอลิไดออกไซด์นำคู่ขนาน

d = ความหนาของแผ่นไดอิเล็กตริก

ในโครงการพิเศษนี้ เราเลือกขั้วไฟฟ้าความยาว 400 มิลลิเมตร ดังนั้นความยาวแผ่นอลูมิเนียมจะต้องมีขนาดสั้นกว่า ซึ่งในที่นี้ใช้ความยาว 380 มิลลิเมตร ส่วนความกว้างของแผ่นอลูมิเนียมสำหรับ C_1 และ C_2 เท่ากับ 180 และ 90 มิลลิเมตร ตามลำดับ สำหรับไมลาร์ที่ใช้จะต้องมีขนาดใหญ่กว่าแผ่นอลูมิเนียมที่ประกอบอยู่พอสมควรทั้งนี้เพื่อป้องกันการอาร์คของไฟฟ้าระหว่างแผ่นอลูมิเนียมทั้งสอง

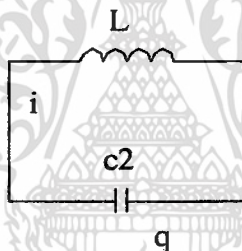


รูปที่ 3.4 ตัวเก็บประจุแผ่นขนาน โดยใช้แผ่นไมลาร์เป็นไดอิเล็กตริกวางอยู่ระหว่าง แผ่นอลูมิเนียม 2 แผ่น ซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า (มองจากด้านบน) แผ่นไมลาร์จะต้องมีขนาดใหญ่กว่าแผ่นอลูมิเนียมเล็กน้อย เพื่อป้องกันการอาร์คของไฟฟ้าระหว่างแผ่นอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ C_1 แผ่นออลูมิเนียมมีขนาดพื้นที่ (A) 380×180 ตารางมิลลิเมตร ความหนาของแผ่นไมลาร์(Mylar) $d = 0.35$ มิลลิเมตร จากการคำนวณได้ค่าความจุของ $C_1 = 5.2$ นาโนฟารัด
 สำหรับ C_2 แผ่นออลูมิเนียมมีพื้นที่ 380×90 ตารางมิลลิเมตร ความหนาของแผ่นไมลาร์ $= 0.35$ มิลลิเมตร จากการคำนวณได้ค่าความจุ $C_2 = 2.6$ นาโนฟารัด

จากการวัดค่า C_1 และ C_2 โดยใช้ LC มิเตอร์ พบว่าได้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณนี้มาก
 หลังจากที่เราคำนวณค่า C_1, C_2 ที่จะต้องใช้ในวงจรบลิบ์ไลน์ได้แล้ว ต่อไปเราคำนวณดูว่า ความเร็วในการกระตุ้นของวงจรบลิบ์ไลน์ที่ใช้ จะสามารถกระตุ้นก๊าซไนโตรเจนได้ในเวลาที่สั้นกว่า 40 นาโนวินาที เพื่อทำให้เกิดประชากรผกผันได้หรือไม่นั้น เราต้องคำนวณหาเวลาที่ แรงดันไฟฟ้าขึ้นสูงสุดในวงจรพัลส์ฟอร์มมิง(pulse forming)ที่ใช้ ซึ่งในที่นี้แทนได้ด้วยวงจรสมมูล ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรพัลส์ฟอร์มมิง

จากกฎของ Kirchoff จะได้ว่า

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + \frac{1}{C_2} q = 0 \quad (3.2)$$

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + \frac{1}{LC} q = 0 \quad (3.3)$$

$$q = q_m \cos(\omega t + \phi) \quad (3.4)$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC_2}} \quad (3.5)$$

โดยที่ $q =$ ประจุไฟฟ้าในตัวเก็บประจุหน่วยเป็นคูลอมบ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L = ความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำ หน่วยเป็นเฮนรี

ω = ความถี่เชิงมุมของการแกว่งกวัด หน่วยเป็นรอบต่อวินาที

T = คาบของการแกว่งกวัด หน่วยเป็นวินาที

เราจะได้ว่า

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{LC_2} \quad (3.6)$$

เวลาที่แรงดันไฟฟ้าขึ้นสูงสุดในช่วงครึ่งรอบหนึ่ง = T_r

T_r เป็นเวลาหนึ่งในสี่ของคาบการแกว่งกวัด

$$T_r = \frac{T}{4} = \frac{\pi}{2}\sqrt{LC_2} \quad (3.7)$$

เราจะคำนวณเวลาที่แรงดันไฟฟ้าขึ้นสูงสุดในวงจรที่สร้าง

L = ความเหนี่ยวนำในวงจร ซึ่งค่าความเหนี่ยวนำใน C_2 มีค่าสูงกว่าส่วนอื่น ๆ ดังนั้น

จึงคิดเฉพาะใน C_2 เท่านั้น = $\mu_r \mu_0 dl/w$

μ_r = สภาพให้ซึมได้ทางแม่เหล็กสัมพัทธ์ = 1

μ_0 = สภาพให้ซึมได้ทางแม่เหล็กของสุญญากาศ

$$= 4\pi \times 10^{-8} \text{ เฮนรี/เมตร}$$

d = ความหนาของไดอิเล็กตริก

l = ความยาวของแผ่นไดอิเล็กตริก

w = ความกว้างของแผ่นไดอิเล็กตริกวัดขนานไปกับขั้วไฟฟ้า

$$L = 1.26 \times 10^{-6} \times 0.35 \times 10^{-3} \times 0.15/0.40 \text{ เฮนรี}$$

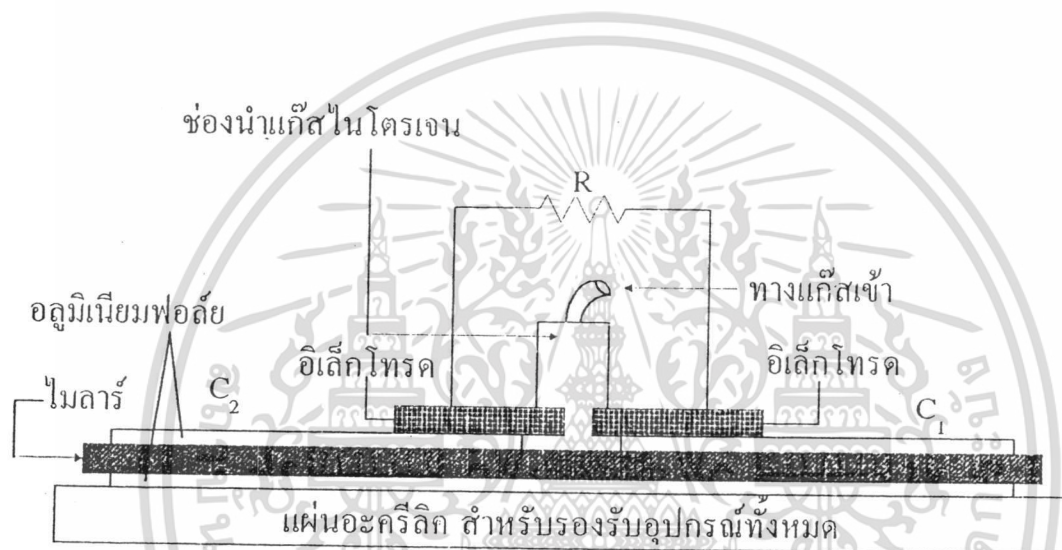
$$= 0.165 \text{ นาโนเฮนรี}$$

$$T_r = (\pi/2)\sqrt{L_2 C_2} = 1.0 \times 10^{-9} = 1.0 \text{ นาโนวินาที}$$

เนื่องจากช่วงชีวิต (life time, T_e) ของโมเลกุลซึ่งอยู่ที่ระดับพลังงาน $C^3\pi_u$ ที่ความดันบรรยากาศ ประมาณ 2.6 นาโนวินาที แต่จากการคำนวณจะเห็นว่า $T_r < T_e$ วงจรปลั๊กอินสามารถเพิ่มพลังงานให้กับอิเล็กตรอนในสถานะพื้นของโมเลกุลไนโตรเจนไปสู่สถานะ $C^3\pi_u$ ได้ จึงสามารถทำให้เกิดสภาพประชากรผกผันได้ แต่เนื่องจากเวลาของระดับอิเล็กตรอนในชั้น $C^3\pi_u$ สั้นกว่าระดับพลังงานของชั้น $B^3\pi_g$ การเกิดเลเซอร์เป็นแบบซูเปอร์เรเดียน (Superradiant) ซึ่งไม่ต้องการกระจกของกล่องเลเซอร์ช่วยขยายระบบของเลเซอร์ แต่จากทฤษฎีและการทดลองจะทราบว่าเป็นเลเซอร์ที่มีความเป็นอาพันธ์ไม่คั่นักและมีประสิทธิภาพต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบสร้าง ที อี เอ ไนโตรเจนเลเซอร์ เพื่อความสะดวกและกระทัดรัดของระบบเลเซอร์ในการสร้าง C_1 กับ C_2 จะใช้แผ่นไมลาร์ของ C_1 และ C_2 เป็นแผ่นเดียวกัน ส่วนแผ่นอลูมิเนียมพอลิเอทิลีนแผ่นล่างเป็นแผ่นเดียวกัน แต่แผ่นอลูมิเนียมพอลิเอทิลีนบนจะแยกกัน เพื่อเป็นตัวแยกค่า C_1 และ C_2 ดังภาพตัดขวางในภาพประกอบ

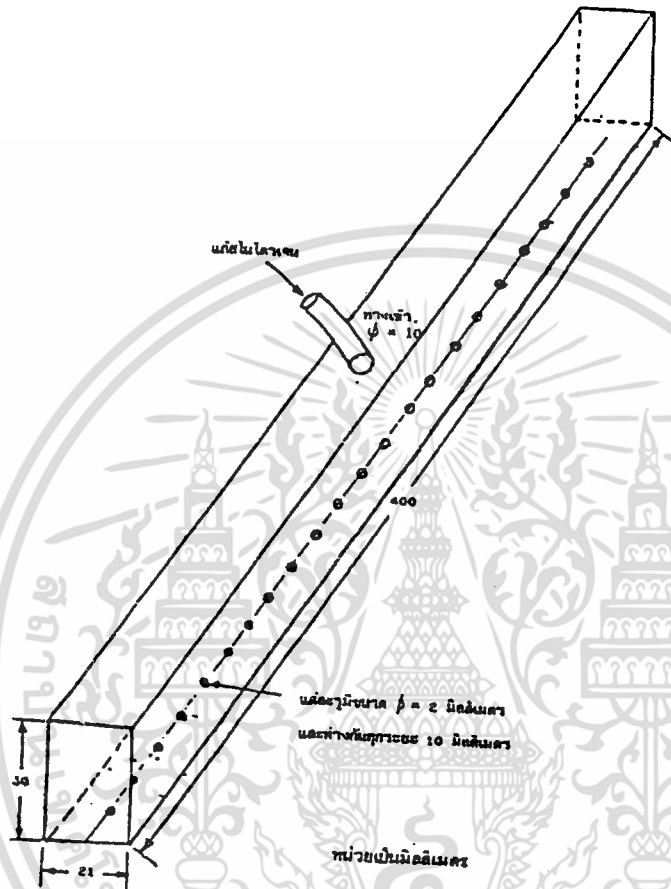


รูปที่ 3.6 ภาพตัดขวางของขั้วไฟฟ้า ซึ่งวางอยู่บนตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 โดย C_1 และ C_2 ใช้แผ่นไมลาร์แผ่นเดียวกัน

3.6 ระบบจ่ายก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่ช่องเลเซอร์ ประกอบด้วย

1. ถังก๊าซไนโตรเจนความดัน 2000 ปอนด์/ตารางนิ้ว พร้อมเกจวัดความดันของการไหลของก๊าซในท่อ ในช่วงความดัน 0-20 ปอนด์/ตารางนิ้ว (ความดันบรรยากาศ = 14.7 ปอนด์/ตารางนิ้ว)
2. สายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 10 มิลลิเมตร
3. ก่อสร้างนำก๊าซเข้าสู่ช่องเลเซอร์ ได้จากการตัดแผ่นอะคริลิกพร้อมกับเจาะรูก๊าซเข้า แล้วนำมาประกอบกันเป็นกล่องสี่เหลี่ยมโดยใช้น้ำยาเชื่อมประสานอะคริลิก สำหรับรูปร่างและขนาดของก่องนำก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่ช่องเลเซอร์ แสดงในรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 รูปร่างและขนาดของกล่องนำก๊าซไนโตรเจน

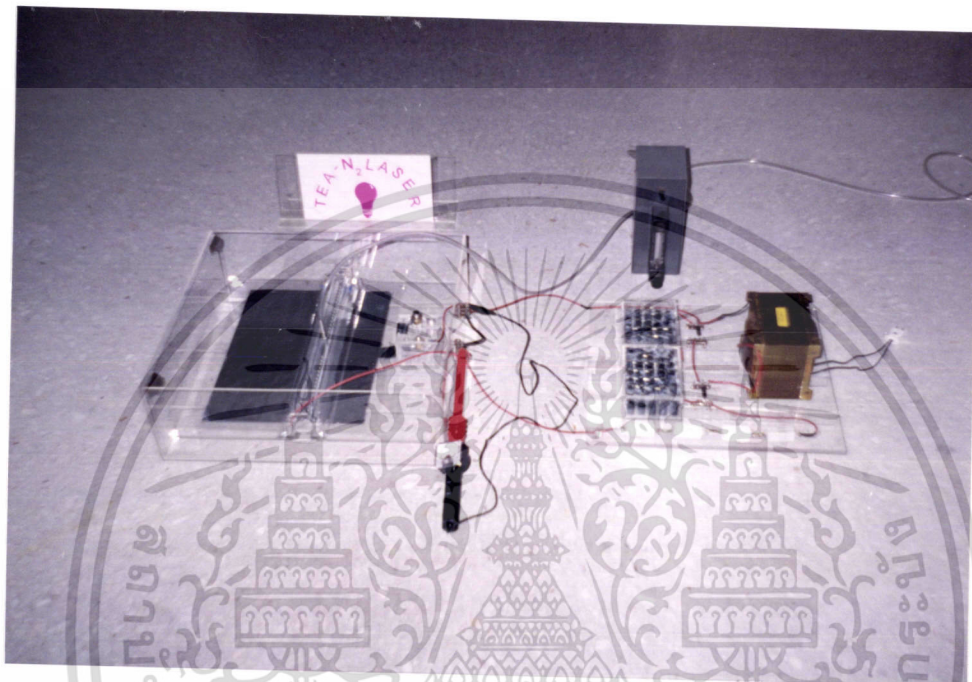
3.7 ขั้นตอนการประกอบระบบไนโตรเจนเลเซอร์

หลังจากที่ทำการออกแบบและสร้างส่วนต่าง ๆ ของระบบไนโตรเจนเลเซอร์เสร็จเรียบร้อยแล้ว ซึ่งสรุปส่วนที่สำคัญได้ดังนี้

1. ขั้วอิเล็กโทรดหรือขั้วไฟฟ้าอลูมิเนียมยาว 40 เซนติเมตร
2. ชุดจ่ายไฟแรงสูงกระแสตรง ปรับแรงดันไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0-15 กิโลโวลต์
3. ตัวเก็บประจุแผ่นขนาน C_1, C_2 ขนาดความจุ 5.2 และ 2.6 นาโนฟารัด ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อประกอบสิ่งต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เป็นระบบไนโตรเจนเลเซอร์ที่สมบูรณ์ รูปถ่ายของระบบไนโตรเจน แสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 รูปถ่ายของระบบ TEA - N₂ LASER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง ผลการทดลอง และอภิปรายผล

4.1 การทดสอบการทำงานของเลเซอร์

1. จัดชุดกำเนิดแสงเลเซอร์ ทำการปรับระยะของแท่งอลูมิเนียมซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า ให้ระยะห่างเท่ากับ 1.499 มิลลิเมตร โดยใช้ฟิลเตอร์ที่ใช้วัดระยะห่างของหัวเทียนรถยนต์เป็นตัวช่วยในการปรับระยะ เพื่อให้ระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรดเท่ากันตลอดความยาว
2. ตั้งระยะของสปาร์กแกปให้ห่างกัน 2.286 มิลลิเมตร โดยใช้ฟิลเตอร์เช่นกัน (เพื่อให้ได้ค่าที่แน่นอนขึ้น)
3. ปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนเข้าไปยังช่องเลเซอร์ โดยทำการปล่อยก๊าซ ที่อัตรา 5 ลิตร/นาที่ แล้วป้อนแรงดันไฟฟ้าจากชุดจ่ายไฟแรงดันสูงกระแสตรง เข้าไปยังชุดกำเนิดแสงเลเซอร์ โดยการปรับแรงดันช้า ๆ จนกว่าสปาร์กแกปจะเริ่มทำการสปาร์ก ให้หยุดที่ ค่าแรงดันไฟฟ้านั้น ๆ แล้วสังเกตว่าเกิดแสงเลเซอร์หรือไม่ (โดยสังเกตจากฉากเรืองแสง ถ้าเกิดแสงเลเซอร์จะสังเกตเห็นจุดสว่างขึ้นบนฉากเรืองแสง) ถ้ายังไม่เกิดให้ปรับแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แต่ต้องระวังไม่ให้ค่าแรงดันไฟฟ้า สูงเกิน 15 กิโลโวลต์ เพราะจะมีผลทำให้แผ่นไมลาร์ทะลุหรือเกิดความเสียหายได้
4. ปรับแรงดันไฟฟ้า ให้ลดลงจนค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าเป็นศูนย์ หรือจะทำให้เกิดการคายประจุที่สปาร์กแกป เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าเป็นศูนย์ก็ได้
5. ปรับอัตราการปล่อยก๊าซ เพิ่มขึ้นเป็น 10 ลิตร/นาที่ และ 15 ลิตร/นาที่ ตามลำดับ แล้วทำการทดลองตามข้อ 3
6. ทำการปรับระยะห่างของสปาร์กแกป เป็น 2.671 มิลลิเมตร , 3.029 มิลลิเมตร , 3.791 มิลลิเมตร และ 4.426 มิลลิเมตร ตามลำดับ แล้วทำการทดลองตามข้อ 3-5 บันทึกผลการทดลอง และสิ่งที่สังเกตเห็นบนฉากเรืองแสง(ถ้าเห็นเป็นจุดเรืองแสงบนฉากเรืองแสงแสดงว่าเกิดเป็นแสงเลเซอร์)
7. ปรับระยะห่างของขั้วไฟฟ้าเป็น 1.778 มิลลิเมตร , 2.286 มิลลิเมตร และ 3.029 มิลลิเมตร ตามลำดับแล้วทำการทดลองตามข้อ 3-6 บันทึกผลและสรุปผลการทดลอง

ตารางที่ 2 ตารางบันทึกผลการทดลอง

ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า (มิลลิเมตร)	ระยะห่างสปาร์กแกป (มิลลิเมตร)	อัตราการปล่อยก๊าซ (ลิตร/นาท)	แรงดันที่เกิดการสปาร์ก (กิโลโวลต์)	ผลที่เกิดขึ้น		หมายเหตุ
				การเกิดสปาร์ก	การเกิดแสงเลเซอร์	
1.499	2.286	5	12	เกิด	ไม่เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ไม่สม่ำเสมอ
		10	12	เกิด	ไม่เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ไม่สม่ำเสมอ
		15	12	เกิด	ไม่เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ไม่สม่ำเสมอ
1.449	2.671	5	12	เกิด	ไม่เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ไม่สม่ำเสมอ
		10	12	เกิด	ไม่เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ไม่สม่ำเสมอ
		15	12	เกิด	ไม่เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ไม่สม่ำเสมอ
1.449	3.029	5	13	เกิด	ไม่เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ไม่สม่ำเสมอ
		10	13	เกิด	ไม่เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ไม่สม่ำเสมอ
		15	13	เกิด	ไม่เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ไม่สม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง (ต่อ)

ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า (มิลลิเมตร)	ระยะห่างสปาร์กแกป (มิลลิเมตร)	อัตราการปล่อยก๊าซ (ลิตร/นาฬิกา)	แรงดันที่เกิดการสปาร์ก (กิโลโวลต์)	ผลที่เกิดขึ้น		หมายเหตุ
				การเกิดสปาร์ก	การเกิดแสงเลเซอร์	
1.449	3.791	5	14	เกิด	ไม่เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ไม่สม่ำเสมอ
		10	14	เกิด	ไม่เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ไม่สม่ำเสมอ
		15	14	เกิด	ไม่เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ไม่สม่ำเสมอ
1.499	4.426	5	-	ไม่เกิด	ไม่เกิด	- ปรับโวลต์จนถึง 15 kV
		10	-	ไม่เกิด	ไม่เกิด	- ปรับโวลต์จนถึง 15 kV
		15	-	ไม่เกิด	ไม่เกิด	- ปรับโวลต์จนถึง 15 kV
1.778	2.286	5	12	เกิด	ไม่เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ไม่สม่ำเสมอ
		10	12	เกิด	ไม่เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ไม่สม่ำเสมอ
		15	12	เกิด	ไม่เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ไม่สม่ำเสมอ
1.778	2.671	5	13	เกิด	ไม่เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ไม่สม่ำเสมอ
		10	13	เกิด	ไม่เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ไม่สม่ำเสมอ
		15	13	เกิด	ไม่เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ไม่สม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง (ต่อ)

ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า (มิลลิเมตร)	ระยะห่างสปาร์กแกป (มิลลิเมตร)	อัตราการผลิตก๊าซ (ลิตร/นาทีก)	แรงดันที่เกิดการสปาร์ก (กิโลโวลต์)	ผลที่เกิดขึ้น		หมายเหตุ
				การเกิดสปาร์ก	การเกิดแสงเลเซอร์	
1.778	3.029	5	14	เกิด	ไม่เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ไม่สม่ำเสมอ
		10	14	เกิด	ไม่เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ
		15	14	เกิด	ไม่เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ
1.778	3.791	5	14	เกิด	ไม่เกิด	-นาน ๆ ครั้งจึงจะเกิดการสปาร์ก
		10	14	เกิด	ไม่เกิด	-นาน ๆ ครั้งจึงจะเกิดการสปาร์ก
		15	14	เกิด	ไม่เกิด	-นาน ๆ ครั้งจึงจะเกิดการสปาร์ก
1.778	4.426	5	-	ไม่เกิด	ไม่เกิด	-ปรับโวลต์จนถึง 15 kV
		10	-	ไม่เกิด	ไม่เกิด	-ปรับโวลต์จนถึง 15 kV
		15	-	ไม่เกิด	ไม่เกิด	-ปรับโวลต์จนถึง 15 kV
		5	10	เกิด	ไม่เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ
2.286	2.286	10	10	เกิด	ไม่เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ
		15	10	เกิด	ไม่เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า (มิลลิเมตร)	ระยะห่างสปาร์กแกป (มิลลิเมตร)	อัตราการปล่อยก๊าซ (ลิตร/นาทีก)	แรงดันที่เกิดการสปาร์ก (กิโลโวลต์)	ผลที่เกิดขึ้น		หมายเหตุ
				การเกิดสปาร์ก	การเกิดแสงเลเซอร์	
2.286	2.671	5	10	เกิด	เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ แต่สังเกตเห็นแสงเลเซอร์ได้ในบางครั้งของการสปาร์กเท่านั้น
		10	10	เกิด	เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ แต่สังเกตเห็นแสงเลเซอร์ได้ในบางครั้งของการสปาร์กเท่านั้น
		15	10	เกิด	เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ แต่สังเกตเห็นแสงเลเซอร์ได้ในบางครั้งของการสปาร์กเท่านั้น
2.286	3.029	5	12	เกิด	เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ แต่สังเกตเห็นแสงเลเซอร์ได้ในบางครั้งของการสปาร์กเท่านั้น
		10	12	เกิด	เกิด	-เกิดการสปาร์กสม่ำเสมอ แต่สังเกตเห็นแสงเลเซอร์ได้ในบางครั้งของการสปาร์กเท่านั้น
	15	12	เกิด	เกิด	-เกิดการสปาร์กที่สม่ำเสมอ สังเกตเห็นแสงเลเซอร์ได้ในทุกๆครั้งของการสปาร์ก และมีความเข้มมาก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง (ต่อ)

ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า (มิลลิเมตร)	ระยะห่างสปาร์กแกป (มิลลิเมตร)	อัตราการปล่อยก๊าซ (ลิตร/นาฬิกา)	แรงดันที่เกิดการสปาร์ก (กิโลโวลต์)	ผลที่เกิดขึ้น		หมายเหตุ
				การเกิดสปาร์ก	การเกิดแสงเลเซอร์	
2.286	3.791	5	14	เกิด	เกิด	-นาน ๆ ครั้งจึงเกิดการสปาร์ก สังเกตเห็นแสงเลเซอร์ได้ในบางครั้งของการสปาร์กเท่านั้น
		10	14	เกิด	เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ไม่สม่ำเสมอ สังเกตเห็นแสงเลเซอร์ได้ในบางครั้งของการสปาร์ก
		15	14	เกิด	เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ไม่สม่ำเสมอ สังเกตเห็นแสงเลเซอร์ได้ในบางครั้งของการสปาร์กและมีความเข้มมาก
2.286	4.426	5	-	ไม่เกิด	ไม่เกิด	-ปรับโวลต์จนถึง 15 kV
		10	-	ไม่เกิด	ไม่เกิด	-ปรับโวลต์จนถึง 15 kV
		15	-	ไม่เกิด	ไม่เกิด	-ปรับโวลต์จนถึง 15 kV
3.029	2.286	5	12	เกิด	ไม่เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ไม่สม่ำเสมอ
		10	12	เกิด	ไม่เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ไม่สม่ำเสมอ
		15	12	เกิด	ไม่เกิด	-เกิดการสปาร์กที่ไม่สม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง(ต่อ)

ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า (มิลลิเมตร)	ระยะห่างสปาร์กแกป (มิลลิเมตร)	อัตราการผลิตก๊าซ (ลิตร/นาท)	แรงดันที่เกิดการสปาร์ก (กิโลโวลต์)	ผลที่เกิดขึ้น		หมายเหตุ
				การเกิดสปาร์ก	การเกิดแสงเลเซอร์	
3.029	2.671	5	12	เกิด	ไม่เกิด	-นานครึ่งจึงเกิดการสปาร์ก
		10	12	เกิด	ไม่เกิด	-นานครึ่งจึงเกิดการสปาร์ก
		15	12	เกิด	เกิด	-นานครึ่งจึงเกิดการสปาร์กแต่เกิดแสงเลเซอร์ในบางครั้งของการสปาร์กเท่านั้น
3.029	3.029	5	13	เกิด	ไม่เกิด	-นานครึ่งจึงเกิดการสปาร์ก
		10	13	เกิด	ไม่เกิด	-นานครึ่งจึงเกิดการสปาร์ก
		15	13	เกิด	เกิด	-นานครึ่งจึงเกิดการสปาร์กและเกิดแสงเลเซอร์ในบางครั้งของการสปาร์กเท่านั้น
3.029	3.791	5	14	เกิด	ไม่เกิด	-นานครึ่งจึงเกิดการสปาร์ก
		10	14	เกิด	ไม่เกิด	-นานครึ่งจึงเกิดการสปาร์กและเกิดแสงเลเซอร์ในบางครั้งของการสปาร์กเท่านั้น
		15	14	เกิด	เกิด	-นานครึ่งจึงเกิดการสปาร์กและเกิดแสงเลเซอร์ในบางครั้งของการสปาร์กเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง(ต่อ)

ระยะห่าง ระหว่างขั้ว ไฟฟ้า (มิลลิเมตร)	ระยะห่าง สปาร์กแกป (มิลลิเมตร)	อัตราการ ปล่อยก๊าซ (ลิตร/นาท)	แรงดันที่ เกิดการ สปาร์ก (กิโลโวลต์)	ผลที่เกิดขึ้น		หมายเหตุ
				การเกิด การ สปาร์ก	การเกิด แสง เลเซอร์	
3.029	4.426	5	-	ไม่เกิด	ไม่เกิด	-ปรับ โวลต์จนถึง 15 kV
		10	-	ไม่เกิด	ไม่เกิด	-ปรับ โวลต์จนถึง 15 kV
		15	-	ไม่เกิด	ไม่เกิด	-ปรับ โวลต์จนถึง 15 kV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 อภิปรายผลการทดลอง

1. จากการทดลองทั้งหมดพอจะประมาณผลได้ว่า ในการเกิดการสปาร์ก บางครั้งก็สามารถสังเกตเห็นเป็นจุดสีม่วงเมื่อนำฉากเรืองแสงอุลตราไวโอเลตไปรองรับ บางครั้งก็ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ ซึ่งแสงที่เป็นจุดสีม่วงนั้นคือ แสงเลเซอร์ที่ออกมาที่อยู่ในช่วงอุลตราไวโอเลต เนื่องจากว่าในบางครั้งพลังงานที่สะสมภายในมีค่าน้อยเกินกว่าที่จะไปกระตุ้นอิเล็กตรอนของไนโตรเจนให้ขึ้นไปยังระดับพลังงานที่สูงมากพอ จึงทำให้เราไม่สามารถสังเกตเห็นแสงเลเซอร์ได้

2. จากการทดลองในครั้งนี้พบว่า ที่ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเป็น 2.286 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างสปาร์กแก๊ป เป็น 3.029 มิลลิเมตร และมีอัตราการปล่อยก๊าซเป็น 15 ลิตร/นาที จะเกิดการสปาร์ก ด้วยความถี่ที่พอเหมาะ และในการสปาร์ก ทุกครั้งจะสามารถสังเกตเห็นแสงเลเซอร์ได้

3. ในการเพิ่มอัตราการปล่อยก๊าซให้มากขึ้นพบว่าความถี่ของการสปาร์กก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งเมื่อทำการเพิ่มอัตราการปล่อยก๊าซนั้น ก็จะเป็นการเพิ่มจำนวน ก๊าซไนโตรเจนให้มากขึ้น มีผลทำให้มีจำนวนอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นที่มากขึ้น จึงเป็นการเพิ่มโอกาสในการเกิดแสงเลเซอร์ให้มากขึ้นไปด้วย

4. เมื่อสปาร์กแก๊ปมีระยะห่างที่มากขึ้น จะต้องมีการเพิ่มพลังงานให้กับระบบมากขึ้นจึงจะทำให้เกิดการสปาร์ก และเกิดแสงเลเซอร์ได้ แต่ในที่นี้ชุดจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงของเรามีขีดความสามารถจำกัดแค่ 0-15 กิโลโวลต์ เท่านั้น เมื่อทำการปรับสปาร์กแก๊ปมีค่าประมาณ 4.426 มิลลิเมตร จึงไม่สามารถสังเกตเห็นการสปาร์กได้เลย

5. เมื่อทำการเพิ่มระยะห่างของขั้วไฟฟ้า จะทำให้ความถี่ของการสปาร์กลดลงบ้างเล็กน้อย

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. การวิจัยในครั้งนี้สามารถสร้างชุดกำเนิดแรงดันไฟฟ้าที่มีความดันไฟฟ้าสูง(High Voltage Power Supply) ที่ให้แรงดันไฟฟ้าขาออก 15,000V โดยใช้ transformer ที่มีแรงดันไฟฟ้าขาเข้า 220 V และแรงดันไฟฟ้าขาออก 5,000 V โดยการผ่านวงจรทวิแรงดัน ที่ค่าการเก็บประจุแต่ละด้านมีค่า 0.33 ไมโครฟารัด สามารถทนแรงดันไฟฟ้าได้ 13,500V ทำได้โดยนำตัวเก็บประจุขนาด 10 ไมโครฟารัด ความต่างศักย์ 450 V จำนวน 30 ตัว มาต่ออนุกรมกัน

2. ในการสร้างไนโตรเจนเลเซอร์กระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศนี้ใช้แท่งอลูมิเนียมที่มีความหนา 0.5 เซนติเมตร กว้าง 3 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร มาทำเป็นขั้วไฟฟ้า โดยระหว่างขั้วไฟฟ้าจะต่อตัวต้านทานขนาด 1 เมกกะโอห์ม เพื่อให้มีความต่างศักย์ตกคร่อมที่ตัวเก็บประจุทั้ง 2 ข้าง (คือทั้งที่ C_1 และ C_2)

3. ใช้แผ่นไมลาร์หนา 0.35 มิลลิเมตร ประกอบอยู่ระหว่างแผ่นอลูมิเนียมฟอล์ยเพื่อทำเป็นตัวเก็บประจุ

ซึ่งให้ค่าความจุสามารถคำนวณได้จาก

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 A/d$$

C = ค่าความจุนีหน่วยเป็นฟารัด

ϵ_r = ค่าเพอร์มิตติวิตีสัมพัทธ์ของไดอิเล็กตริก(แผ่นไมลาร์) มีค่าเท่ากับ 3

ϵ_0 = ค่าเพอร์มิตติวิตีของสุญญากาศ มีค่าเท่ากับ 8.85×10^{-12} F/m

A = พื้นที่ผิวของแผ่นตัวนำคู่ขนาน

d = ความหนาของไดอิเล็กตริก

สำหรับ C_1 แผ่นอลูมิเนียมฟอล์ยมีขนาดพื้นที่ (A) 380 X 90 mm

ความหนาของแผ่นไมลาร์ (d) 0.35 mm

จากการคำนวณ จะได้ค่าความจุ $C_1 \approx 2.6$ nF

สำหรับ C_2 แผ่นอลูมิเนียมฟอล์ยมีขนาดพื้นที่ (A) 380 X 180 mm

ความหนาของแผ่นไมลาร์ (d) 0.35 mm

จากการคำนวณ จะได้ค่าความจุ $C_2 \approx 5.2$ nF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เมื่อปรับระยะห่างระหว่างสปาร์กแกปมีค่าเท่ากับ 3.029 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 2.286 มิลลิเมตร และใช้อัตราการปล่อยก๊าซ 15 ลิตร/นาทิจ จะเกิดการสปาร์กที่สม่ำเสมอที่สุด และในแต่ละการสปาร์กพบว่าจะให้แสงเลเซอร์ที่มีความเข้มที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการใช้ transformer ที่ใช้ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกสูงถึง 5,000 V พบว่าในปัจจุบันยังมีปัญหาในด้านการผลิตอยู่มาก จึงทำให้มีอายุการใช้งานที่น้อย ดังนั้นควรที่จะใช้ transformer ที่มีแรงดันขาออกที่ต่ำลงมา แล้วเพิ่มวงจรทวิแรงดันให้มากขึ้น ก็จะเพิ่มอายุการใช้งานของ transformer ให้มากขึ้นไม่ต้องทำการเปลี่ยนกันบ่อยครั้ง

2. ในการใช้แผ่นไมลาร์ประกบอยู่ระหว่างแผ่นอลูมิเนียมฟอล์ยนั้น พบว่าแผ่นไมลาร์สามารถทนแรงดันได้สูงสุดประมาณ 15 kV เท่านั้น และพบว่าแผ่นอลูมิเนียมฟอล์ยนั้นขาดง่าย ดังนั้นเราควรหาวัสดุที่จะนำมาใช้ทำเป็นตัวเก็บประจุที่มีความทนทานมากกว่านี้

3. การเกิดการสปาร์กนั้นพบว่ายังมีการสปาร์กที่ไม่สม่ำเสมอ จึงควรทำการพัฒนาชุดกระตุ้นให้สามารถกระตุ้นแบบเป็นจังหวะได้ เพื่อให้สังเกตผลที่เกิดขึ้นได้ง่ายมากขึ้น

4. ในปัจจุบันนี้ทางภาควิชาฯยังไม่สามารถหาอุปกรณ์ที่จะทำการวัดความเข้มของแสงเลเซอร์ที่อยู่ในรูปที่เป็นจังหวะได้ดี จึงทำให้ไม่สามารถตรวจสอบได้ว่าที่สภาวะใด จึงจะให้แสงเลเซอร์ที่ดีมีความเข้มมากที่สุดได้

5. ในการใช้ก๊าซไนโตรเจนนั้นพบว่าต้องใช้ถังก๊าซซึ่งมีขนาดใหญ่ จึงทำให้มีความลำบากในการเคลื่อนย้าย ดังนั้นจึงควรพัฒนาให้สามารถใช้ก๊าซไนโตรเจนจากระบบอื่นได้ เช่น ใช้พัดลมอัดอากาศ เนื่องจากว่าในบรรยากาศโดยทั่วไปก็ประกอบไปด้วยก็ประกอบไปด้วยก๊าซไนโตรเจนจำนวนมากอยู่แล้ว

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

- ชัยวิทย์ สิลาวัชชาโนย และคณะ. การประชุมวิชาการ ว.ท.ท. ครั้งที่ 15. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
167; 2532
- บัณฑิต ณ.ลำพูน. การประชุมวิชาการ ว.ท.ท. ครั้งที่ 10 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 66;2527
- ประสาทพร จรุงจาและประเสริฐ ไกรสิงห์เคชา. การประชุมวิชาการ ว.ท.ท. ครั้งที่ 13 .
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ 158;2530.
- ประสาทพร จรุงจา, พิเชษฐ ถิมสุวรรณ และพิษณุ เจริญสมศักดิ์. วารสารนิทรรศการ
เทคโนโลยี ครั้งที่ 6 . ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
ธนบุรี. 30;2534.
- นาวาอากาศเอกไพโรจน์ ไตรรัตน์. เอกสารวิจัยระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. วทบ.
(ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ .
- วุทธิ พันธมนาวิน, พิเชษฐ ถิมสุวรรณ และพชัย เรืองแก้ว. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์
เสนอต่อสภาวิจัยแห่งชาติ. 14;2529
- วุทธิ พันธมนาวิน. เลเซอร์ฟิสิกส์ มิตรนราการพิมพ์. กทม.2532.
- วรรณพงษ์ เตรียมโพธิ์ และชนากร โอสดจันทร์. การประชุมวิชาการว.ท.ท. ครั้งที่ 16
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 30;2534.
- สุรัชย์ อิมวิสัย. เอกสารวิจัยระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต วทบ.(ฟิสิกส์) สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าธนบุรี. 2524.

ภาษาอังกฤษ

- Bell, W.E. Applied Physics Letters . 4:34;1964.
- Chang, T.Y. Review of Physics Review. 99:1264;1955.
- Gordon, J.P. and others. Physics Review. 99:1264;1955.
- Hazen, Fundamental of D.C. and A.C. Corcuots. New York : Saunders College
Publishing,1990.
- Heard, H.G. Nature. 200:667;1963.
- Holliday, D. and R.Resnick. Physics part II. Tokyo: John Wiley & Sons,1962.
- Ingle, D. and S.R. Crouc. Spectrochemical Analysis. Singapore : Prentice-Hall, 1988.
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Javan, A. and others. Physics Review Letters. 6 : 106 ;1961.
- Kunabenchi , R.S., M.R. Corbal and Sradatti. Progress in Quantum Electronics. 9:259;1984.
- Mathias, L.E.S. and J.T. Parker. Applied Physics Letters. 13 : 16 ; 1963.
- Milonni, P. and J.Eberly. Lasers. Singapore : John Wiley & Sons, 1991
- O'Shea D.C., R. Callen and w. Rhodes. An Introduction to Laser and Their Applications.
California : Addison Wesley Publishing Company, 1976
- Patel, C.K.N. Physics Review. 136A : 1189;1964
- Rickwood K.R. and A.A. Serafetinides. Review of Scientific Instruments. 57 : 1299 ;1986.
- Rigden J.D. and A.D. White. Proceeding IRE. 50 : 7 ; 1962
- Rothem, A. and S. Rosenwaks. Optics Communication. 30 : 227-230 ;1979.
- Ryder, D.J. Engineering Electronics. Tokyo : McGraw-Hill, 1967.
- Schawlow, A.L. and C.H. Townes. Physics Review. 112 : 1940 ; 1958
- Sirichai Prasertwong. Master's Thesis M.Sc. Mississippi State University. May 1983.
Photocopied.
- Stankov K. and Kutevs. Optics Communications. 56 : 336-338 ;1985.
- Stong , C.L. Scientific American. 230 : 122-125 ;1974.
- Svedberg, A. and others. Applied Physics Letters. 12 : 102 ; 1968.
- Tan, C.H. and K.S. Low. Laser and Plasma Technology. Singapore : World Scientific, 1985.
- Willets. S. Collin. Introduction to Gas Lasers. Hungary : Pergamon Press, 1974.
- Wilson, J. and J.F.B. Hawkes. Lasers Principle and Applications. Singapore : Prentice Hall,
1987.
- Yoriv, A. An Introduction to The Theory and Applications of Quantum Mechanics.
Singapore: John Wiley & Sons, 1982.

ภาคผนวก

ความปลอดภัยในการใช้เลเซอร์

การป้องกันอันตรายอันเกิดจากแสงเลเซอร์และระบบเลเซอร์นั้นเป็นเรื่องละเอียดอ่อน ต้องใช้ความสุ่มและรอบคอบ ประกอบกับประสบการณ์ในการทำงานทางด้านเลเซอร์มาพอสมควร จึงจะเข้าใจและป้องกันได้ ในทุก ๆ ด้าน อย่างไรก็ตามมีความจำเป็นต้องกล่าวเกี่ยวกับการป้องกันหลักหรือการป้องกันพื้นฐาน (Basic Preventions) ไว้เพื่อเป็นการเตรียมการและให้ผู้ที่ จะใช้เลเซอร์ได้ตระหนักถึงความปลอดภัย โดยทั่วไปในการทำงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี นั้นเราจำเป็นต้องเน้น ความปลอดภัยเป็นอันดับแรก (Safety First)

หลักการใหญ่ในการป้องกันอันตรายจากเลเซอร์ก็คือ พยายามออกแบบและจัดการ ทดลอง/ปฏิบัติการเกี่ยวกับแสงเลเซอร์นั้น โดยให้สถานที่ทำงานถูกจัดแบ่งส่วนแล้วทำให้โอกาสที่แสงเลเซอร์จะกระทบถูกคอดังนัยน์ตาและผิวหนังได้น้อยมากไม่ว่าจะเป็นทางตรง (Direct exposure) หรือโดยการสะท้อนกลับ (Reflection) แต่อย่างไรก็ตามเราไม่สามารถจะจัดการให้ เป็นไปตามประสงค์ดังกล่าวได้ทุกสถานที่และโอกาส ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการ ป้องกันดังต่อไปนี้

1. การใช้แว่นตาพิเศษ ที่มีค่าออปติคัลเดนซิตี (Optical Density ,OD) สูงมาสวมใส่ ป้องกันนัยน์ตา อย่างไรก็ตามเราไม่สามารถใช้แว่นตาพิเศษที่มี OD สูงป้องกันแสงเลเซอร์ได้ หลายช่วงคลื่นของสเปกตรัมจะมีแว่นตาพิเศษที่มี OD สูง ๆ เป็นเฉพาะช่วงคลื่น ในช่วงคลื่น หนึ่งเท่านั้น ออปติคัลเดนซิตี (OD) นั้นก็คือวัดความสามารถในการตัดทอน (Attenuation) ความเข้มของแสงตกกระทบ (Incident light) ซึ่งเป็นไปตามสูตร

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

เมื่อ I_0 เป็นความเข้มตกกระทบ (Incident intensity)

I เป็นความเข้มที่ทะลุผ่าน (Transmitted intensity)

2. การจัดแนวเส้นทางของเลเซอร์ (Laser beam path) การติดตั้งการทดลอง/ปฏิบัติการที่ เกี่ยวข้องกับเลเซอร์กำลังสูงแบบให้ลำแสงต่อเนื่องหรือแบบเป็นพัลส์นั้น ควรจะจัดเส้นทางของ แสง (Beam path) ให้ปลอดภัยจากอุปสรรคและมีแนวโน้มที่นัยน์ตาของผู้ปฏิบัติงานอยู่นอก เส้นทางของลำแสงเลเซอร์

3. การระมัดระวังเกี่ยวกับการสะท้อนกลับของแสงเลเซอร์ (Laser reflection) ในการ ทดลอง/ปฏิบัติการเกี่ยวกับเลเซอร์ที่มีช่วงคลื่นในย่าน $400 \text{ nm} < \lambda < 700 \text{ nm}$ (Visible region) และย่านเนียร์อินฟราเรด $700 < \lambda < 1.4 \mu\text{m}$ นั้นนอกเหนือจากการระมัดระวังมิให้นัยน์ตาของผู้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิบัติมองโดยตรงหรือลำแสงเลเซอร์ตกกระทบ (Incident laser beam) เข้าสู่เนยน์ตาแล้ว เราจำเป็นต้องระวังในเรื่องของแสงเลเซอร์ที่ยังออกมาแล้วไปกระทบเป้าหรือสิ่งกีดขวางเกิดเป็นแสงสะท้อนกลับเข้าสู่เนยน์ตาของผู้ปฏิบัติการอีกด้วย แสงเลเซอร์ที่สะท้อนกลับเป็นสิ่งที่บางครั้งคาดไม่ถึง อาทิเช่น กระทบตัวเรือนของนาฬิกาข้อมือ โครงโลหะของอุปกรณ์ต่าง ๆ กระจก เลนส์ ฯลฯ แสงสะท้อนกลับโดยตรง เป็นแสงที่อันตรายมากเกิดจากการสะท้อนกลับจากกระจกเงาหรือผิวโลหะขัดมัน แสงนี้将有ความเข้มสูงและเมื่อผ่านเข้าเนยน์ตา เลนส์เนยน์ตาจะรวมแสงที่เรตินาทำให้เกิดความหนาแน่นของกำลังสูงมาก จะทำอันตรายแก่เรตินาได้ง่าย แสงสะท้อนกลับอีกรูปแบบหนึ่งก็คือแสงสะท้อนแบบกระจายออก แสงนี้将有ความเข้มของแสงลดลงเป็นสัดส่วนผกผันกับระยะทางกำลังสอง ดังนั้นหากเนยน์ตาของผู้ปฏิบัติการอยู่ไกลจากจุดสะท้อนกลับเท่าใด ความเข้มจะลดลงอย่างมาก ๆ โอกาสจะทำอันตรายต่อเรตินาจะลดน้อยลง

โดยทั่วไปการป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับเนยน์ตานั้นจากการยิงเลเซอร์ แบบที่มีพัลส์ (Pulse) มีกำลังสูงนั้นผู้ปฏิบัติการมักจะใช้แว่นพิเศษสวมและหันหน้าออกจากระบบเลเซอร์และเป้า แล้วหลังเวลาจะกดปุ่มยิงเลเซอร์ ในการยิงเลเซอร์นั้นก็จะต้องมีการนับ (Count down) ให้ผู้อยู่ใกล้เคียงได้ยินเป็นการเตือนให้เตรียมตัวล่วงหน้าก่อนลงมือยิงเลเซอร์เป็นต้น

4. การจัดเครื่องกีดขวาง และสัญญาณเตือน ในการดำเนินงานเกี่ยวกับแสงเลเซอร์กำลังสูง แบบต่อเนื่องหรือแบบพัลส์นั้น ในบริเวณปฏิบัติการหรือห้องปฏิบัติการควรมีเครื่องหมายเตือน และสัญญาณไฟกระพริบเพื่อเตือนผู้อยู่ใกล้เคียงให้ระมัดระวังแสงเลเซอร์ (ซึ่งบางครั้งอาจเป็นช่วงความยาวคลื่นที่ตาเปล่ามองไม่เห็น) นอกจากนี้ต้องมีเครื่องกีดขวาง เพื่อป้องกันผู้ปฏิบัติการหรือบุคคลภายนอกเข้าใกล้บริเวณที่แสงเลเซอร์จะผ่านออกมาหรือป้องกันมิให้ไปถูก/จับบริเวณที่มีศักดาไฟฟ้าสูง (High Voltage) เพราะจะเป็นอันตรายถึงชีวิตทันที

5. การฝึกอบรมผู้ปฏิบัติการทางเลเซอร์ ในการป้องกันระยะยาวและได้ผลดีนั้นควรมีการฝึกอบรมผู้ที่ใช้หรือมาปฏิบัติการเกี่ยวกับระบบเลเซอร์ให้ทราบถึงวิธีการป้องกันและระวังอันตรายที่จะเกิดขึ้น นอกจากนี้ควรมีคู่มือการปฏิบัติการเกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้เลเซอร์ ตลอดจนกฎระเบียบข้อบังคับในเรื่องการรักษาความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการให้ผู้ปฏิบัติการอ่านและรับทราบก่อน

ประวัติผู้เขียน

นางสาวปิยะรัช ศรีเหนียง เกิดเมื่อวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2519 ที่กรุงเทพมหานคร จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนสตรีวัชรพงษ์ ปีการศึกษา 2535 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2536

นางสาวรัตนสุตา ทองแดง เกิดเมื่อวันที่ 2 สิงหาคม พ.ศ. 2518 ที่จังหวัดชลบุรี จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนพนัสพิทยาคาร อำเภอพนัสนิคม จังหวัดชลบุรี ปีการศึกษา 2535 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2536



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้