

การสร้างไนโตรเจนเลเซอร์ชนิดกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ

ปริญญาณิพนธ์

ของ

นาวาอากาศเอก ไพโรจน์ ไตรรัตน์

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอกฟิสิกส์

มีนาคม 2537

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

190652

คณะกรรมการควบคุมและคณะกรรมการสอบได้พิจารณาปริญญาบัตรฉบับนี้แล้ว
เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
วิชาเอกฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

คณะกรรมการควบคุม

.....
.....ประธาน
(รศ.ดร.พิเศษฐ ลิ้มสุวรรณ)

.....
.....กรรมการ
(ผศ.ดร.ณสรศักดิ์ พลภาค)

คณะกรรมการสอบ

.....
.....ประธาน
(รศ.ดร.พิเศษฐ ลิ้มสุวรรณ)

.....
.....กรรมการ
(ผศ.ดร.ณสรศักดิ์ พลภาค)

.....
.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(อาจารย์บัญชา ศิลป์สกุลสุข)

บัณฑิตวิทยาลัยอนุมัติให้รับปริญญาบัตรฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอกฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....
.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ดร.ศิริยุภา พูลสุวรรณ)

วันที่ 4 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2537

ประกาศคุณประการ

ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจาก รศ.ดร.พิเชษฐ
ล้มสุวรรณ, ผศ.ดร.ณสรศักดิ์ พลโภาค, ผศ.ศิริชัย ประเสริฐวงศ์, อ.ประสาทพร
จงรุจา, อ.บัญชา ศิลป์สกุลสุข และ ดร.พงศ์พันธ์ จินดาอุดม ที่ให้คำปรึกษา
แนะแนวทางรวมทั้งตรวจแก้ไขตลอดเวลาที่ทำการวิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณ
เป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ คุณสมศักดิ์ ธีระวัฒนสุข, คุณมงคล ราชนิยม, คุณนพพร
รัตนช่วง โดยเฉพาะคุณสมศักดิ์ ที่ช่วยสร้างเครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูง

ขอขอบพระคุณ คุณพรพนา อยู่เจริญ และคุณพัชรา ศรีสนิท ที่ช่วยใน
การพิมพ์และแก้ไข ทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จด้วยดี

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่หลายท่านที่ภาควิชาฟิสิกส์ สจข. และ มศว.
ประสานมิตร ที่อำนวยความสะดวกในการวิจัยและการนำเสนอวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และภริยาของข้าพเจ้าที่ให้กำลังใจ
และทุนทรัพย์ในการวิจัยครั้งนี้ และกราบขอบพระคุณบูรพาจารย์ของข้าพเจ้า
ขอกราบขอบพระคุณกองทัพอากาศ ผู้บังคับบัญชาทุกระดับที่ให้ความกรุณาอนุเคราะห์
ทุนการศึกษาบางส่วน และต่อเวลาการศึกษาให้หลายครั้ง

นอ.ไพโรจน์ ไตรรัตน์

สารบัญ

บทที่	หน้า
1	บทนำ..... 1
	ภูมิหลัง..... 1
	การวิจัยและพัฒนาไนโตรเจนเลเซอร์ในต่างประเทศ..... 3
	การวิจัยและพัฒนาไนโตรเจนเลเซอร์ในประเทศไทย..... 4
	วัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงการวิทยานิพนธ์..... 5
	วัตถุประสงค์ของโครงการ..... 5
	ขอบเขตของโครงการ..... 5
2	ทฤษฎี..... 7
	ทฤษฎีของเลเซอร์ทั่วไป..... 7
	สมการไอน์สไตน์..... 8
	การดูดกลืนและการขยายโพตอนในระบบอะตอม..... 12
	การเพิ่มพลังงานให้กับตัวกลางเลเซอร์..... 14
	ตัวอย่างการเพิ่มพลังงาน..... 15
	ตัวสันป้องเชิงทัศน..... 16
	ทฤษฎีของไนโตรเจนเลเซอร์..... 21
	หลักของแฟรงค์คอนดอน..... 24
	การแบ่งไนโตรเจนเลเซอร์ตามความยาวคลื่น..... 26
	หลักการของไนโตรเจนเลเซอร์ชนิดกระตุ้นตามขวางที่ความดัน บรรยากาศ..... 29
3	การออกแบบและการสร้างไนโตรเจนเลเซอร์..... 30
	การออกแบบและการคำนวณ..... 30
	ขั้วไฟฟ้าและช่องเลเซอร์..... 30
	วงจรกระตุ้นของไนโตรเจนเลเซอร์..... 31
	ชุดจ่ายไฟแรงดันสูง..... 32

ตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน.....	33
ระบบจ่ายแก๊สไนโตรเจนเข้าสู่ช่องเลเซอร์.....	37
ขั้นตอนการประกอบระบบไนโตรเจนเลเซอร์.....	38
4 การทดลองและผลการทดลอง.....	40
การทดสอบการทำงานของเลเซอร์.....	40
การวัดพลังงานของแสงเลเซอร์.....	40
ขั้นตอนในการวัดพลังงานของแสงไนโตรเจนเลเซอร์.....	41
อภิปรายผล.....	47
5 สรุป และข้อเสนอแนะ.....	49
สรุปผลการวิจัย.....	49
ข้อเสนอแนะ.....	49
บรรณานุกรม.....	51
ภาคผนวก.....	54
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	68

บัญชีตาราง

ตาราง

หน้า

- 1 แสดงการเรียงตัวของอิเล็กตรอนในโมเลกุลไนโตรเจน..... 22
- 2 แสดงค่าพลังงานของแสงไนโตรเจนเลเซอร์ เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้า
ค่าต่างๆ กัน โดยความดันของแก๊สไนโตรเจนที่ผ่านเข้าสู่ช่องเลเซอร์
คงที่เท่ากับ 3 ปอนด์/ตารางนิ้ว..... 42
- 3 แสดงค่าพลังงานของไนโตรเจนเลเซอร์ที่ความดันของแก๊สไนโตรเจน
ค่าต่างๆ กัน โดยค่าแรงดันไฟฟ้าคงที่เท่ากับ 11.1 กิโลโวลต์
และไม่มีกระจกสะท้อนทางด้านหลังของช่องเลเซอร์..... 43
- 4 แสดงค่าพลังงานของไนโตรเจนเลเซอร์ที่ความดันของแก๊สไนโตรเจน
ค่าต่างๆ กัน โดยค่าแรงดันไฟฟ้าคงที่เท่ากับ 11.1 กิโลโวลต์
และมีกระจกสะท้อนทางด้านหลังของช่องเลเซอร์..... 44
- 5 แสดงค่าแฟกเตอร์ที่ใช้คูณกับค่าที่อ่านได้สำหรับแต่ละเกรตติง..... 64

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ

หน้า

1	(ก) การดูดกลืนโฟตอนแบบกระตุ้น.....	8
	(ข) การปลดปล่อยโฟตอนแบบธรรมชาติ.....	8
	(ค) การปลดปล่อยโฟตอนแบบกระตุ้น.....	8
2	แสดงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทำอันตรกิริยากับตัวกลางที่ผ่าน.....	12
3	(ก) การขยายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	14
	(ข) การลดทอนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวกลางดูดกลืนเมื่อ $N_2 < N_1$	14
4	แสดงการเกิดเลเซอร์ชนิด 3 ระดับ และ 4 ระดับ.....	16
5	หลักการวางเรโซเนเตอร์.....	17
6	การจัดกล่องเรโซแนนซ์.....	19
7	แสดงการจัดกล่องของเลเซอร์แบบต่าง ๆ.....	21
8	แสดงระดับพลังงานสำคัญของโมเลกุลไนโตรเจน.....	23
9	แสดงระดับพลังงานการสั่นของโมเลกุล.....	25
10	กราฟของระดับพลังงานในโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจน.....	27
11	ระดับพลังงาน 3 ระดับของโมเลกุลไนโตรเจน ซึ่งให้แสงเลเซอร์ ที่มีความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร.....	28
12	แสดงขนาดและการวางขั้วไฟฟ้า.....	31
13	วงจรสมมูลของวงจรบัลลิสต์.....	32
14	แผนภาพแสดงตัวเก็บประจุแผ่นขนาน.....	34
15	วงจรพัลส์ฟอร์มมิง.....	35
16	แสดงภาพตัดขวางของขั้วไฟฟ้า.....	37
17	แสดงรูปร่างและขนาดของกล่องนำแก๊สไนโตรเจน.....	38
18	ภาพถ่ายแสดงระบบของ ทีอีเอ ไนโตรเจนเลเซอร์.....	39
19	ไดอะแกรมของระบบ ทีอีเอ ไนโตรเจนเลเซอร์.....	39
20	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของแสงไนโตรเจนเลเซอร์ กับแรงดันไฟฟ้า.....	45

21	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของแสงไนโตรเจนเลเซอร์ กับความดันของแก๊สไนโตรเจน.....	46
22	วงจรเรียงกระแส.....	56
23	ไดอะแกรมของวงจรทริก.....	59
24	ไดอะแกรมของชุดจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง.....	60
25	แสดงการทำงานภายในเครื่องโมนโครมาเตอร์.....	62
26	แสดงรูปร่างของเครื่องโมนโครมาเตอร์.....	63
27	มาตรวัดพลังงาน Rm-6600 พร้อมหัววัด RjP-734.....	66

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

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

เลเซอร์มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- 1) เป็นแสงเอกรงค์ (Monochromatic)
- 2) มีความเจิดจ้า (Brightness)
- 3) มีความเป็นอาพันธ์ (Coherence)
- 4) มีทิศทางแน่นอน (Directionality)
- 5) มีการกระจายของแสงน้อย (Low divergence)

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

ในปี ค.ศ. 1954 กอร์ดอน และคนอื่น ๆ. (Gordon and others. 1958:1264) แห่งมหาวิทยาลัยโคลัมเบียสหรัฐอเมริกา ได้สร้างเมเซอร์ (Maser) ซึ่งมาจากคำเต็มว่า (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) สำเร็จเป็นครั้งแรก โดยอาศัยหลักการของการปลดปล่อยแบบกระตุ้นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงไมโครเวฟ

ในปี ค.ศ. 1958 ชาวลโล และทาวเนส (Schawlow and Townes. 1958:1940) เสนอว่าสามารถใช้หลักการของเมเซอร์ในการผลิตคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงที่ตามองเห็น เรียกว่าเมเซอร์เชิงทัศน (optical maser) หรือเลเซอร์ได้ ซึ่ง 2 ปีต่อมา ไมมาน (Maiman. 1960:493) แห่งห้องปฏิบัติการวิจัยของบริษัทอีวส์แห่งสหรัฐอเมริกา ได้สร้างเลเซอร์สำเร็จเป็นครั้งแรก โดยเลเซอร์เครื่องแรกนี้เป็นเลเซอร์ทับทิม (ruby laser) ให้แสงสีชมพูเป็นช่วง ๆ (pulse) มีความยาวคลื่น 694.3 นาโนเมตร

ต่อมาในปลายปี ค.ศ. 1960 จาแวน และคนอื่น ๆ. (Javan and others. 1961:106) ได้สร้างแก๊สเลเซอร์ โดยใช้แก๊สผสมระหว่างฮีเลียมกับนีออนเป็น

เลเซอร์แก๊สเครื่องแรก ซึ่งให้รังสีอินฟราเรดอย่างต่อเนื่องที่มีความยาวคลื่น 1.15 ไมโครเมตร

ในปี ค.ศ. 1962 ริคเดนและไวท์ (Rigden and White. 1962:7) แห่งห้องปฏิบัติการเบลล์ ได้ประสบความสำเร็จในการสร้างฮีเลียม-นีออน ที่ให้สีแดงอย่างต่อเนื่องที่มีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร ซึ่งถือว่าเป็นเลเซอร์เครื่องแรกที่ทำงานแบบต่อเนื่องในช่วงตามองเห็น

จากปี ค.ศ. 1962 เป็นต้นมา ได้มีการค้นพบเลเซอร์แบบอื่นๆ อีกมากมาย ซึ่งสรุปเฉพาะการพัฒนาด้านแก๊สเลเซอร์ที่สำคัญ ได้ดังนี้

ค.ศ. 1963 แมทเทียส และปาร์กเกอร์ (Mathias and Parker. 1963:16) ได้สร้างไนโตรเจนเลเซอร์ ซึ่งให้แสงเลเซอร์ในย่านอินฟราเรด 860-1240 นาโนเมตร

ค.ศ. 1963 เฮิร์ด (Heard. 1963:667) พบว่าไนโตรเจนเลเซอร์ สามารถให้แสงเลเซอร์ในย่านอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร

ค.ศ. 1964 บริจ (Bridges. 1964:128) แห่งบริษัทอีวส์ สร้างเลเซอร์อาร์กอนเป็นครั้งแรก

ในปีเดียวกัน เบลล์ (Bell. 1964:34) แห่งบริษัทสเปกตราฟิสิกส์ ก็สามารถสร้างเลเซอร์อาร์กอนได้เช่นกัน

ค.ศ. 1964 พาเทล (Patel. 1964:1189) สร้างเลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์ (carbondioxide laser) กำลังต่ำขึ้นเป็นครั้งแรก

ค.ศ. 1966 วอลเตอร์ (Walter. 1966:474) แห่งสถาบันโพลิเทคนิค บรูคลิน สหรัฐอเมริกา ได้สร้างเลเซอร์คอปเปอร์เวปเปอร์ (Copper vapor laser)

ค.ศ. 1968 ได้มีการสร้างเลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์มากกว่า 200 วัตต์ เป็นครั้งแรก

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

การวิจัยและพัฒนาในโตรเจนเลเซอร์ในต่างประเทศ

ในโตรเจนเลเซอร์เป็นชนิดเลเซอร์แก๊สมเลกุล (molecular gas laser) ที่ให้แสงเลเซอร์ย่านอินฟราเรด (860-1240 นาโนเมตร)

ในปีเดียวกันคือ ค.ศ. 1963 เอิร์ดสร้างในโตรเจนเลเซอร์ในย่านอัลตราไวโอเล็ต และพบว่าเส้นสเปกตรัมที่มีความเข้มมากที่สุด มีความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร เป็นที่เข้าใจกันว่า เมื่อก้าวถึงในโตรเจนเลเซอร์ก็จะหมายถึงแสงเลเซอร์ความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร เนื่องจากลำแสงเลเซอร์ที่ได้มีลักษณะเป็นพัลส์ อีกทั้งระบบของในโตรเจนเลเซอร์ไม่ยุ่งยาก จึงได้มีการวิจัยและพัฒนาเลเซอร์ชนิดนี้กันอย่างกว้างขวาง

ในระยะแรกๆ หลังจากที่เอิร์ดค้นพบระบบของในโตรเจนเลเซอร์การวิจัยและพัฒนายังคงเป็นระบบความดันต่ำ ซึ่งมีการกระตุ้นเป็นพัลส์ดีสชาร์จ (pulse discharge) มีด้วยกันสองลักษณะ คือในโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามยาว (Longitudinal excitation N_2 laser: LE- N_2 laser) ซึ่งเป็นแบบที่ลำแสงเลเซอร์ในทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้า อีกแบบหนึ่งคือในโตรเจนเลเซอร์ชนิดกระตุ้นตามขวาง (transverse excitation nitrogen laser: TE- N_2 -laser) ซึ่งเป็นแบบที่ให้ลำแสงในทิศตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า

ต่อมาในปี ค.ศ. 1968 สเวดเบิร์ก (Svedberg, 1968:102) ได้สร้างระบบในโตรเจนเลเซอร์กระตุ้นตามขวาง ที่มีความดันภายในช่องเลเซอร์เท่ากับ ความดันบรรยากาศ (Transversely Excited at Atmospheric Pressure N_2 laser : TEA- N_2 Laser)

หลังจากนั้น ได้มีการวิจัยและพัฒนาในโตรเจนเลเซอร์แบบ ทีอีเอ (TEA) ขนาดต่างๆกัน โดยมีหัวไฟฟ้าภายในช่องเลเซอร์ที่มีความยาวตั้งแต่ 10 เซนติเมตร ถึง 100 เซนติเมตร อย่างไรก็ตามความยาวของหัวไฟฟ้าภายในช่องเลเซอร์ที่ดีที่สุดมีความยาว 40 เซนติเมตร คุณาเบนจิ และคนอื่น ๆ. (Kunabenchi and others, 1984:273) เพราะเกิดสภาวะของการอิมพัลส์ของในโตรเจนเลเซอร์

ในโตรเจนเลเซอร์แบบ ทีอีเอ สามารถให้แสงที่มีพัลส์ช่วงสั้น ๆ และมีกำลังขาออกสูง ทั้งสามารถออกแบบให้มีขนาดกระทัดรัดได้อีกด้วย และที่สำคัญที่สุดไม่ต้องใช้ระบบสุญญากาศ ดังนั้นในโตรเจนเลเซอร์แบบนี้จึงเป็นที่นิยมสร้างกันมาก

ในปี ค.ศ.1982 ริควูด และแมกอินเนส (Rickwood and McInnes. 1982:1667) ได้เริ่มใช้ตัวนำพรีไอออนไนซ์แบบสารกึ่งตัวนำ (semiconductor preionizer) มาใช้กับระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ โดยมีสารกึ่งตัวนำสองชนิดที่นำมาใช้คือ เยอรมันเนียม (Ge) และซิลิคอน (Si)

ต่อมาในปี ค.ศ. 1986 ริควูด และเซอราเฟตินิดส์ (Rickwood and Serafetinides. 1986:1299) ก็ได้นำเทคนิคนี้มาใช้กับระบบไนโตรเจนเลเซอร์ ตัวพรีไอออนไนซ์แบบสารกึ่งตัวนำนี้ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเลเซอร์ชนิดกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ แต่ตัวพรีไอออนไนซ์แบบสารกึ่งตัวนำต้องให้ค่าใช้จ่ายในการสร้างสูง และหากต้องการสร้างระบบเลเซอร์ที่มีขนาดใหญ่และมีกำลังสูง การสร้างตัวพรีไอออนไนซ์ทำได้ยาก จึงมีปัญหา

ต่อมา ความสนใจในการที่จะพัฒนาให้ได้ระบบเลเซอร์ที่มีขนาดกระทัดรัดเบา ราคาไม่แพง ทำให้เกิดเลเซอร์แบบ ทีอีเอ ที่ความดันบรรยากาศ ใช้วัสดุใหม่มาใช้แทนตัวพรีไอออนไนซ์แบบสารกึ่งตัวนำ โดยสารที่จะมาใช้แทนนี้จะต้องทำให้ระบบเลเซอร์มีการดิสชาร์จที่สม่ำเสมอ สามารถใช้งานได้นาน

การวิจัยและพัฒนาไนโตรเจนเลเซอร์ในประเทศไทย

ปี พ.ศ. 2527 บัณฑิต ณ.ลำพูน (บัณฑิต.2527:66) ได้สร้างไนโตรเจนเลเซอร์ชนิดกระตุ้นตามขวางที่ความดันต่ำ ที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ปี พ.ศ. 2530 ประสาทพร จรุงจา และ ประเสริฐ ไกรสิงห์เดชา (ประสาทพร และประเสริฐ. 2530:158) ได้สร้างไนโตรเจนเลเซอร์ชนิดกระตุ้นตามขวางที่ความดันต่ำ ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตทับแก้ว

ปี พ.ศ. 2532 ชัยวิทย์ ศิวาวิชานาโย และคนอื่น ๆ. (ชัยวิทย์ และคนอื่น ๆ. 2532:167) ได้สร้างไนโตรเจนเลเซอร์ชนิดกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศต่ำ ที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ปี พ.ศ. 2533 วรณพงษ์ เตரியมโพธิ์ และ ธนากร โอสถจันทร์ (วรณพงษ์ และธนากร. 2533:154) ได้สร้างไนโตรเจนเลเซอร์ชนิดกระตุ้นตามขวางที่ความดันต่ำ ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงการงานวิทยานิพนธ์

จากข้อมูลรายงาน การศึกษาวิจัยและพัฒนาไนโตรเจนเลเซอร์ในประเทศไทย จะเห็นว่างานวิจัยและพัฒนาไนโตรเจนเลเซอร์ในประเทศไทยที่ดำเนินการมาเกือบทั้งหมดเป็นแบบความดันต่ำ จึงจำเป็นต้องใช้ระบบสุญญากาศ ทำให้เกิดความยากต่อการใช้งาน มีเพียง ชัยวิทย์ และคนอื่นๆ เท่านั้นที่ได้รายงานการออกแบบและสร้างไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ อย่างไรก็ตาม ในรายงานดังกล่าวยังไม่ได้มีการศึกษาคุณสมบัติเฉพาะของเลเซอร์แบบนี้ จึงควรศึกษาหลักการทํางาน และคุณสมบัติเฉพาะของไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ (TEA-N₂ Laser) อย่างจริงจัง และเนื่องจากว่าเลเซอร์ชนิดนี้ให้แสงเลเซอร์ที่มีลักษณะเป็นพัลส์ช่วงสั้นๆ จึงได้มีการประยุกต์ใช้งานด้านต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง เช่น ในการศึกษาปฏิกิริยาโฟโตเคมี (Photochemical reaction), ทางด้านฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรสโกปี (fluorescence spectroscopy), ใช้ในการหาช่วงเวลาในสถานะกระตุ้นของอะตอมหรือโมเลกุล

วัตถุประสงค์ของโครงการงาน

1. ออกแบบและสร้างระบบ ทีอีเอ ไนโตรเจนเลเซอร์ (TEA-N₂ laser) โดยใช้วัสดุภายในประเทศทั้งหมด
2. ศึกษาคุณสมบัติเฉพาะของเลเซอร์ที่สร้าง

ขอบเขตของโครงการงาน

ออกแบบและสร้างส่วนต่างๆ ของระบบเลเซอร์ ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1. ออกแบบและสร้างชุดจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง
2. ออกแบบและสร้างตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน 2 ตัว ที่ใช้เป็นตัวเก็บประจุ
3. ออกแบบและสร้างช่องเลเซอร์ พร้อมระบบจ่ายแก๊สไนโตรเจนเข้าสู่ช่องเลเซอร์
4. ประกอบส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกันเป็นระบบเลเซอร์ที่สมบูรณ์

5. ทดสอบการทำงานของระบบเลเซอร์

6. ศึกษาคุณสมบัติเฉพาะของเลเซอร์ ซึ่งได้แก่ การวัดความเข้มของแสงเลเซอร์ที่เปลี่ยนไปเมื่อเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้า และเมื่อเปลี่ยนความดันของแก๊สไนโตรเจน

บทที่ 2

ทฤษฎี

ทฤษฎีของเลเซอร์ทั่วไป (วทณ. 2532:60)

องค์ประกอบที่สำคัญในการเกิดแสงเลเซอร์มี 3 ประการ คือ

- 1) ตัวกลางเลเซอร์ (laser medium)
- 2) การเกิดประชากรผกผัน (population inversion)
- 3) ตัวสั่นพ้อง (resonator) ทำให้เกิดการป้อนกลับ (feed back)

ในปี ค.ศ. 1917 ไอน์สไตน์เสนอทฤษฎีการปลดปล่อยโฟตอนของอะตอมแบบกระตุ้น (stimulated emission) โดยพิจารณาอันตรกิริยาของโฟตอนกับอะตอมมี 3 แบบด้วยกัน คือ

1. การดูดกลืนแบบกระตุ้น

ถ้ามีโฟตอนจากภายนอกมากระตุ้นให้อะตอมเปลี่ยนระดับพลังงาน จากระดับพลังงานต่ำ E_1 ไปสู่ระดับพลังงานที่สูงกว่า E_2 อะตอมจะดูดกลืนโฟตอนที่มีพลังงานเท่ากับผลต่างของระดับพลังงาน เรียกขบวนการนี้ว่าขบวนการดูดกลืนแบบกระตุ้นดังรูปที่ 1 (ก) โดยเขียนสมการพลังงานของการดูดกลืนได้ ดังนี้

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

ในเมื่อ ν_{21} = ความถี่ของโฟตอนที่ถูกดูดกลืน

h = ค่าคงตัวของพลังค์

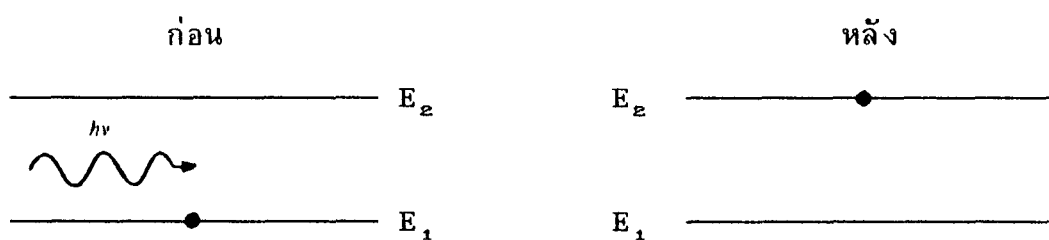
2. การปลดปล่อยโฟตอนแบบธรรมชาติ (spontaneous emission)

ถ้าอะตอมที่อยู่ระดับพลังงานที่สูงกว่า E_2 อะตอมจะอยู่ที่ระดับพลังงานนั้นได้ไม่นาน (ประมาณ 10^{-8} - 10^{-9} วินาที) ก็จะปลดปล่อยโฟตอนออกมาซึ่งมีความถี่ $\nu_{21} = (E_2 - E_1)/h$ แล้วทำให้อะตอมกลับมาอยู่ในระดับพลังงานต่ำ E_1 ดังรูปที่ 1 (ข) เรียกขบวนการนี้ว่าการปลดปล่อยโฟตอนแบบธรรมชาติ

3. การปลดปล่อยโฟตอนแบบกระตุ้น (Stimulated emission)

ในรูปที่ 1 (ค) ถ้าอะตอมขณะเริ่มต้นอยู่ที่ระดับพลังงาน E_2 และมีโฟตอนภายนอกความถี่ $\nu = (E_2 - E_1)/h$ เข้ามากระตุ้นทำให้อะตอมเปลี่ยน

ระดับพลังงาน E_2 และในที่สุดอะตอมจะกลับมายังระดับพลังงาน E_1 และขณะเดียวกัน จะมีการปลดปล่อยโฟตอนออกมาเพิ่มอีกตัวร่วมกับตัวเดิม 1 ตัว กลายเป็น 2 ตัว ดังภาพประกอบ 1 (ค) ทางขวามือ เรียกขบวนการนี้ว่าการปลดปล่อยแบบกระตุ้น จุดสำคัญของการปลดปล่อยโฟตอนโดยวิธีการปลดปล่อยแบบกระตุ้นมี 2 ประการ คือประการแรกพลังงานของโฟตอนตัวที่ 2 ที่เกิดจากการกระตุ้นจะเท่ากับพลังงานของโฟตอนตัวแรก นั่นคือความถี่หรือความยาวคลื่นของโฟตอนทั้งสองเท่ากัน และประการที่ 2 โฟตอนทั้งสองจะมีเฟสเดียวกัน ซึ่งเรียกว่ามีความเป็นอาพันธ์



ภาพประกอบ 1 (ก) การดูดกลืนโฟตอนแบบกระตุ้น



ภาพประกอบ 1 (ข) การปลดปล่อยโฟตอนแบบธรรมชาติ



ภาพประกอบ 1 (ค) การปลดปล่อยโฟตอนแบบกระตุ้น

สมการไอน์สไตน์ (วทล. 2529:14)

ในปี 1917 ไอน์สไตน์ได้เสนอทฤษฎีการปลดปล่อยแบบกระตุ้นดังสมการ

$$W_{21} = B_{21} \rho(\nu) \quad (1)$$

โดย W_{21} = อัตราการปลดปล่อยแบบกระตุ้น
 B_{21} = สัมประสิทธิ์ไอน์สไตน์ของการปลดปล่อยแบบกระตุ้น
 $\rho(\nu)$ = ความหนาแน่นของพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

อัตราการปลดปล่อยแบบกระตุ้น = สัมประสิทธิ์ไอน์สไตน์ของการปลดปล่อยแบบกระตุ้น
 x ความหนาแน่นพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

$$W_{12} = B_{12} \rho(\nu) \quad (2)$$

โดย W_{12} = อัตราการดูดกลืนแบบกระตุ้น
 B_{12} = สัมประสิทธิ์ไอน์สไตน์ของการดูดกลืน

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

$$\text{อัตราการดูดกลืนแบบกระตุ้น} = \text{อัตราการปลดปล่อยแบบธรรมชาติ} + \text{อัตราการปลดปล่อยแบบกระตุ้น}$$

$$W_{12} = B_{21} \rho(\nu) + A_{21} \quad (3)$$

โดยที่ $A_{21} = \frac{1}{(t_{\text{spont}})_{21}}$ เป็นอัตราการปลดปล่อยแบบธรรมชาติ

$$(t_{\text{spont}})_{21} = \text{คือเวลาที่อะตอมเปลี่ยนสถานะจาก } |2\rangle \longrightarrow |1\rangle$$

ในขณะที่อะตอมอยู่ในสถานะสมดุลทางความร้อน การแผ่รังสีของวัตถุดำตามทฤษฎีของพลังค์

$$\rho(\nu) = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1} \quad (4)$$

- h = ค่าคงที่ของพลังค์
 $= 6.625 \times 10^{-34}$ จูล/วินาที
 ν = ความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
 c = ความเร็วของแสงในสุญญากาศ
 k = ค่าคงที่ของโบลซ์มาน
 $= 1.38 \times 10^{-23}$ จูล/เคลวิน
 T = อุณหภูมิเป็นองศาสัมบูรณ์ (Kelvin)

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

$$N_2 W_{21} = N_1 W_{12} \quad (5)$$

โดยที่ N_1 เป็นจำนวนอะตอมในสถานะพลังงาน $|1\rangle$

N_2 เป็นจำนวนอะตอมในสถานะพลังงาน $|2\rangle$

แทนค่าสมการ (2) และ (3) ลงใน (5) จะได้สมการ

$$N_2 [B_{21}\rho(\nu) + A_{21}] = N_1 B_{12}\rho(\nu) \quad (6)$$

แทนค่า $\rho(\nu)$ จากสมการ (4) ลงใน (6) จะได้สมการ

$$N_2 \left| B_{21} \frac{8\pi h \nu^3}{c^3 (e^{h\nu/kT} - 1)} + A_{21} \right| = N_1 \left| B_{12} \frac{8\pi h \nu^3}{c^3 (e^{h\nu/kT} - 1)} \right| \quad (7)$$

การแจกแจงของโบลซ์มานเป็นไปตามสมการข้างล่าง

$$\frac{N_2}{N_1} = e^{-h\nu/kT} \quad (8)$$

แทนสมการ (8) ลงในสมการ (7) จะได้

$$\frac{8\pi h \nu^3}{c^3 (e^{h\nu/kT} - 1)} = \frac{A_{21}}{B_{12} e^{h\nu/kT} - B_{21}} \quad (9)$$

เมื่อไม่มีการแยกของระดับพลังงาน (nondegeneracy)

$$B_{12} = B_{21} \quad (10)$$

ดังนั้น

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \quad (11)$$

เรียกสมการ (10) และสมการ (11) ว่าสมการไอน์สไตน์

เพื่อความสะดวกในการนำไปประยุกต์ต่อไป จะเขียนสมการใหม่เป็น อัตราการเกิดการปลดปล่อยแบบกระตุ้น W_1

$$W_1 = \frac{B_{21} \rho(\nu) C^3 \rho(\nu)}{8\pi h \nu^3} = \frac{C^3 \rho(\nu)}{8\pi h \nu^3 t_{spont}} \quad (12)$$

เพราะว่าการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดมีช่วงสเปกตรัมกว้าง จึงต้องคูณสมการ การปลดปล่อยด้วยฟังก์ชันไลน์เซพ (Lineshape function)

$$W_1(\nu) = \frac{C^3 \rho(\nu) g(\nu)}{8\pi h \nu^3 t_{spont}} \quad (13)$$

โดย $g(\nu) =$ เป็นฟังก์ชันที่แสดงการกระจายของความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อะตอมปลดปล่อย เรียกฟังก์ชันนี้ว่า ฟังก์ชันไลน์เซฟ

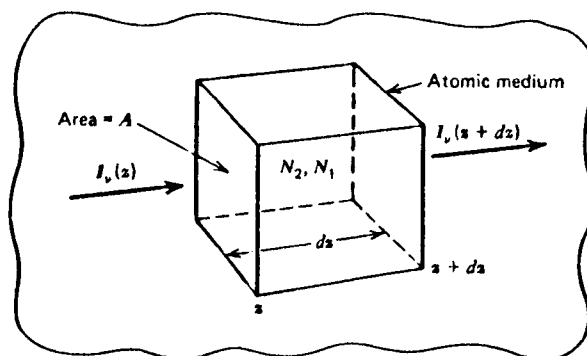
$$= \int_{-\infty}^{\infty} g(\nu) d\nu$$

การดูดกลืนและการขยายโฟตอนในระบบอะตอม

เมื่อโฟตอนผ่านเข้าไปยังตัวกลาง การสูญเสียสุทธิของโฟตอนต่อหน่วยปริมาตร คือ

$$\frac{P}{\text{Volume}} = (N_1 - N_2) W_1 h\nu$$

- โดย $P =$ กำลังที่สูญเสียของโฟตอน
 $N_1 =$ ความหนาแน่นของจำนวนอะตอมต่อลูกบาศก์เมตรใน ระดับพลังงาน $|1\rangle$
 $N_2 =$ ความหนาแน่นของจำนวนอะตอมต่อลูกบาศก์เมตรใน ระดับพลังงาน $|2\rangle$
 $W_1 =$ อัตราการเปลี่ยนแปลงของสถานะ $|i\rangle$
 $h =$ ค่าคงตัวของพลังค์
 $\nu =$ ความถี่ของโฟตอน



ภาพประกอบ 2 แสดงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทำอันตรกิริยากับตัวกลางที่ผ่าน ยาริว (Yariv. 1982:153)

จากภาพประกอบพิจารณาปริมาตร Adz ของตัวกลางที่มีความหนาแน่นอะตอม N_2 และ N_1 โฟตอน มีความเข้มตกกระทบ $I(z)$ ตกกระทบที่ผิว A นี้ รั้งผ่านทะลุไปผิวอีกด้านที่ $z + dz$ โดยมีความเข้ม $I(z + dz)$ การเปลี่ยนแปลงสุทธิของ I คือความเข้มของโฟตอนที่ผ่านผิวทั้งสองคือ

$$[I(z+dz) - I(z)] A = \frac{dI}{dz} Adz \quad (14)$$

ซึ่งสมการ (14) จะเท่ากับ $-(N_1 - N_2) W_1 h \nu Adz$

$$\text{ดังนั้น} \quad \frac{dI}{dz} = -(N_1 - N_2) W_1 h \nu \quad (15)$$

จากสมการ (13) แทนค่า $I = c \rho(\nu)$

$$\text{จะได้ค่า} \quad W_1(\nu) = \frac{c^2 I \nu}{8\pi h \nu^2 t_{spnt} g(\nu)} \quad (16)$$

แทนค่าสมการ (16) ลงในสมการ (15)

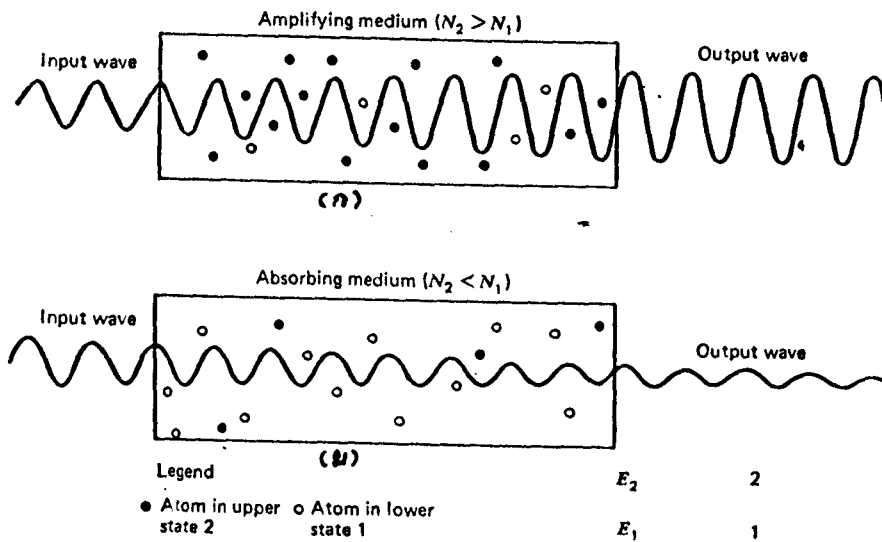
$$\frac{dI}{dz} = (N_2 - N_1) \frac{c^2}{8\pi \nu^2 t_{spnt}} g(\nu) I \nu \quad (17)$$

ผลเฉลยของสมการที่ (17) คือ

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

$$\beta(\nu) = (N_2 - N_1) \frac{c^2}{8\pi \nu^2 t_{spnt}} \quad (18)$$

$\beta(\nu)$ = กำลังขยายเลเซอร์



ภาพประกอบ 3 (ก) เป็นการขยายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อเกิดประชากรผกผัน $N_2 > N_1$

ภาพประกอบ 3 (ข) การลดทอนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวกลางดูดคลื่น เมื่อ $N_2 < N_1$ ยารีฟ (Yariv. 1982:154)

จะเห็นว่าการขยายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีพลังงานมากขึ้น เมื่อผ่านตัวกลางเกิดได้เฉพาะตัวกลางที่เกิดสภาพประชากรผกผันเท่านั้น

การเพิ่มพลังงานให้กับตัวกลางเลเซอร์

ในการเพิ่มพลังงานให้กับอะตอมหรือโมเลกุลของตัวกลางเลเซอร์ เพื่อให้เกิดประชากรผกผัน จำเป็นต้องศึกษากลศาสตร์สถิติของระบบของแก๊ส โดยใช้การแจกแจงของโบลซ์มาน ดังสมการ

$$N_j = N_1 \exp (-\Delta E_{j,1} / kT) \tag{19}$$

โดยที่ E_1 = พลังงานในระดับพลังงานต่ำ
 E_j = พลังงานในระดับพลังงานที่สูงกว่า E_1

$$N_j = \text{จำนวนอะตอมในระดับพลังงาน } |j\rangle$$

$$N_i = \text{จำนวนอะตอมในระดับพลังงาน } |i\rangle$$

$$\Delta E_{j,i} = E_j - E_i$$

จากสมการที่ (19) จะเห็นว่าจำนวนอะตอม N_j จะมีค่ามากกว่าจำนวนอะตอม N_i เสมอ

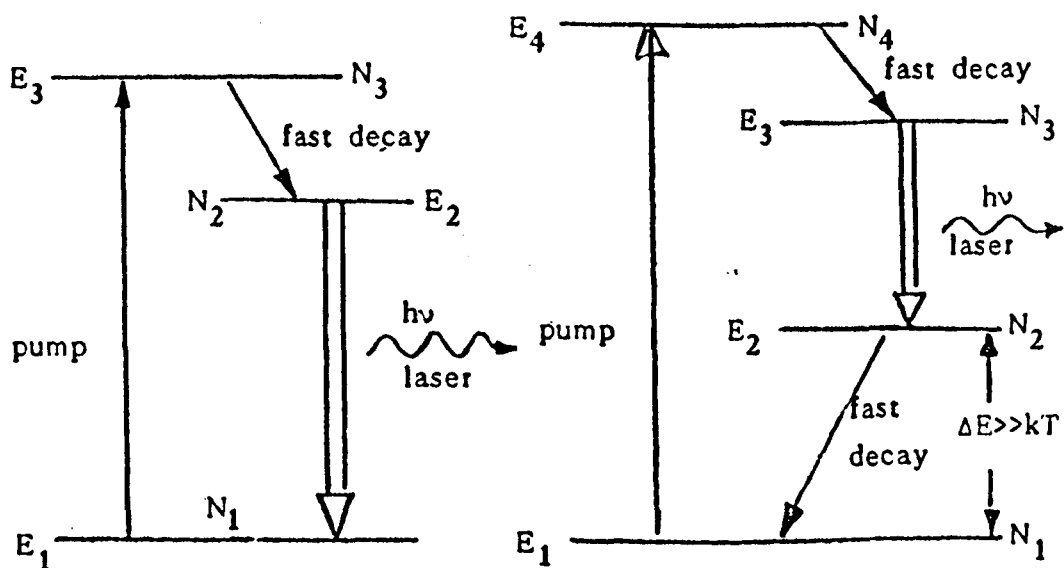
ดังนั้นการเกิดประชากรผกผันจึงเป็นขบวนการที่ผิดปกติจากธรรมชาติ โดยต้องทำให้ระบบของอะตอมของตัวกลางเลเซอร์มีจำนวนอะตอม $N_j > N_i$ ซึ่งทำได้โดยเพิ่มพลังงานให้กับอะตอมในระดับพลังงาน E_i เพื่อให้อะตอมขึ้นไปสู่ระดับพลังงาน E_j อย่างรวดเร็ว และต้องทำให้ $N_j > N_i$ ซึ่งมีตัวกลางบางชนิดเท่านั้นสามารถทำให้เกิดประชากรผกผันได้ การเพิ่มพลังงานดังกล่าวมีหลายวิธี เช่น

- การใช้แสง
- การใช้การคายประจุของอิเล็กตรอน
- การชนด้วยลำอิเล็กตรอน
- การใช้เลเซอร์ชนิดอื่นมาเพิ่มพลังงาน
- การใช้ปฏิกิริยาทางเคมีที่ให้พลังงานจำนวนมากอย่างรวดเร็ว

ตัวอย่างการเพิ่มพลังงาน วุฑฒิ. (วุฑฒิ และคนอื่น ๆ. 2529:14)

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 จะเกิดสภาพประชากรผกผันและเมื่ออะตอมเปลี่ยนระดับพลังงานจาก E_2 ไปสู่ E_1 ก็จะปล่อยแสงเลเซอร์ออกมาเมื่อถูกกระตุ้น ตัวอย่างของเลเซอร์ที่เกิดจากขบวนการนี้ คือ เลเซอร์ทับทิม



ภาพประกอบ 4 แสดงการเกิดเลเซอร์ชนิด 3 ระดับ และชนิด 4 ระดับ

2) การเพิ่มพลังงาน 4 ระดับ (four level pumping)

รูปที่ 4 (ข) คือขบวนการเกิดเลเซอร์ 4 ระดับ ซึ่งจะต้องมีจำนวนอะตอม N_3 มากกว่า N_2

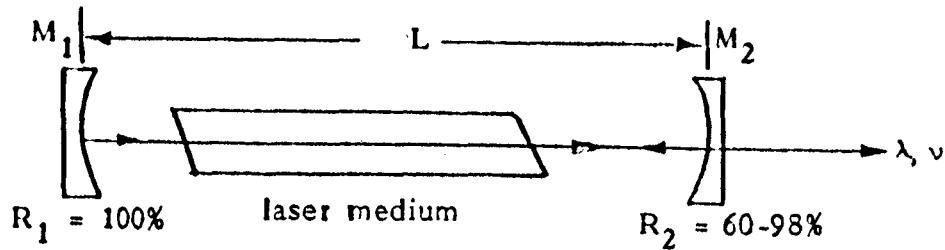
ในรูปอะตอม N_1 รับพลังงานแล้วจะไปสู่ระดับพลังงาน E_4 เป็นจำนวน N_4 และลดพลังงานอย่างรวดเร็วมาอยู่ที่ E_3 ทำให้ระดับพลังงานนี้มีจำนวนอะตอมเป็น N_3 เมื่ออะตอมเหล่านี้ปลดปล่อยแสงเลเซอร์พลังงาน $E = h\nu_{32}$ ก็จะลดพลังงานมาสู่ E_2 อะตอมที่อยู่ในระดับพลังงานนี้มี N_2 ตัว ลดพลังงานมาสู่ E_1

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

ตัวสั่นพ้องเชิงทัศน (Optical resonator)

การเกิดเลเซอร์ยังต้องการองค์ประกอบที่สามคือ ตัวทำให้เกิดการสั่นพ้องหรือเรโซเนเตอร์ ซึ่งประกอบไปด้วยกระจกที่ฉาบด้วยไดอิเล็กทริก กระจกนี้จะยอมให้เลเซอร์ความยาวคลื่นเฉพาะสะท้อนกลับ หรือทะลุผ่านเรโซเนเตอร์เป็นตัวป้องกันมิให้แสงความยาวคลื่นอื่น ๆ มารบกวน



ภาพประกอบ 5 แสดงถึงหลักการของเรโซเนเตอร์ (วูทลี และคนอื่น ๆ. 2529:

16)

ในภาพประกอบที่ 5 M_1 และ M_2 เป็นกระจกเงามีค่าการสะท้อนกลับเป็น 100 % และ 60-98 % ตามลำดับ โดยเลือกสะท้อนเฉพาะเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นที่เหมาะสม

โฟตอนที่เกิดจากการปลดปล่อยแบบกระตุ้น จะวิ่งไปมาในตัวกลางเลเซอร์ทำให้เกิดการขยาย อันมีผลทำให้เลเซอร์ที่ได้มีความเข้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุดที่ทำให้เกิดการแกว่งกวัดทางเลเซอร์ (laser oscillation) โดยมีเงื่อนไขว่าการขยาย (gain) ของการแกว่งกวัดทางเลเซอร์จะต้องมีค่าเท่ากับการสูญเสียในเรโซเนเตอร์ เรียกว่าการขยายขีดเริ่ม (threshold gain) โดยกำหนดให้เป็นค่า β_{th}

กำหนดให้ R_1, R_2 เป็นค่าสะท้อนกลับที่กระจก M_1, M_2

α_L เป็นการสูญเสียพลังงานต่อระยะทาง

L เป็นระยะห่างระหว่างกระจก M_1, M_2

β เป็นสัมประสิทธิ์การขยายสัญญาณน้อย ๆ

จะได้สมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มเลเซอร์ กับระยะห่างของกระจกเลเซอร์

$$I = I_0 e^{(\beta - \alpha_L)L} \quad (20)$$

ความเข้มเลเซอร์ที่สะท้อนจากกระจก M_2 คือ

$$M_2 = R_2 \exp [(\beta - \alpha_1)L] \quad (21)$$

เมื่อครบหนึ่งรอบคือสะท้อนที่ M_1 ความเข้มจะเป็น G

$$G = R_1 R_2 \exp[2(\beta - \alpha_1)L] \quad (22)$$

$$= \frac{\text{ความเข้มของแสงภายหลังวิ่งครบหนึ่งรอบ}}{\text{ความเข้มของแสงเมื่อตอนเริ่มต้น}}$$

ดังนั้น G คือกำลังขยายรวมของเลเซอร์เมื่อโพتونวิ่งครบหนึ่งรอบ

ถ้า G มากกว่า 1 จะเกิดการเพิ่มพลังงานของโพตอนภายในกล่องเลเซอร์
เงื่อนไขขีดเริ่มของการเกิดการแกว่งกวัดทางเลเซอร์ โอเชีย, คอลเลนและโรเดส
(O Shea, Callen and Rhodes. 1976:71)

$$G = 1 = R_1 R_2 \exp[2(\beta_{th} - \alpha_1)L] \quad (23)$$

โดย β_{th} คือการขยายขีดเริ่มหรือการขยายที่พอดีเกิดเลเซอร์จากสมการ (23)

โดยใส่ \ln ฐาน e ทั้งสองข้างจะได้สมการ

$$\beta_{th} = \alpha_1 + \frac{1}{2L} \ln \left| \frac{1}{R_1 R_2} \right| = \alpha_1 + \alpha_0 \quad (24)$$

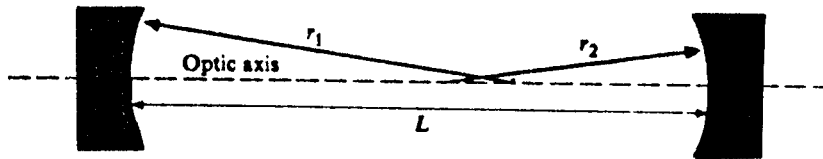
โดย α_1 = การสูญเสียพลังงานโพตอนในการดูดกลืนและการกระเจิง
ภายในตัวกลางเลเซอร์

และ α_0 = การสูญเสียพลังงานโพตอนในส่วนของลำแสงเลเซอร์นอก
กระจก

จากสมการที่ (24) ในการเกิดการแกว่งกวัดทางเลเซอร์ได้นั้น

กำลังขยายจะต้องมีค่าเท่ากับผลรวมของการสูญเสีย

จากที่กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่าจำเป็นต้องใช้กระจกที่เหมาะสมในการจัดระยะ L ระหว่าง M_1 และ M_2 เพื่อให้เกิดเสถียรภาพ (stability) ซึ่งจะทำให้เกิดการแกว่งกวัดทางเลเซอร์ง่ายขึ้น



ภาพประกอบ 6 แสดงการจัดกล่องเรโซแนนซ์ โอเชีย, คอลเลน และโรเดส (O' Shea, Callen and Rhodes. 1976:74)

จากรูปให้ r_1, r_2 เป็นรัศมีความโค้งของกระจก M_1, M_2 ตามลำดับ
 L เป็นระยะระหว่างกระจก
 กำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยค่า g คือพารามิเตอร์ของตัวสั้นพ้อง
 โดยกำหนดว่า

$$g_1 = 1 - \frac{L}{r_1}, \quad g_2 = 1 - \frac{L}{r_2} \quad (25)$$

ถ้า r มากกว่าศูนย์เป็นกระจกเว้า
 และ r น้อยกว่าศูนย์เป็นกระจกนูน
 เสถียรภาพของเรโซแนนซ์จะเกิดขึ้นเมื่อ

$$0 < g_1 g_2 < 1 \quad (26)$$

มิลโลนี และเอบเบอลี (Milonni & Eberly. 1991:478)

และเรโซแนนซ์จะไม่เสถียรเมื่อ

$$g_1 g_2 < 0 \quad \text{หรือ} \quad g_1 g_2 > 1 \quad (27)$$

ส่วนกรณีของ $g_1 g_2 = 0$

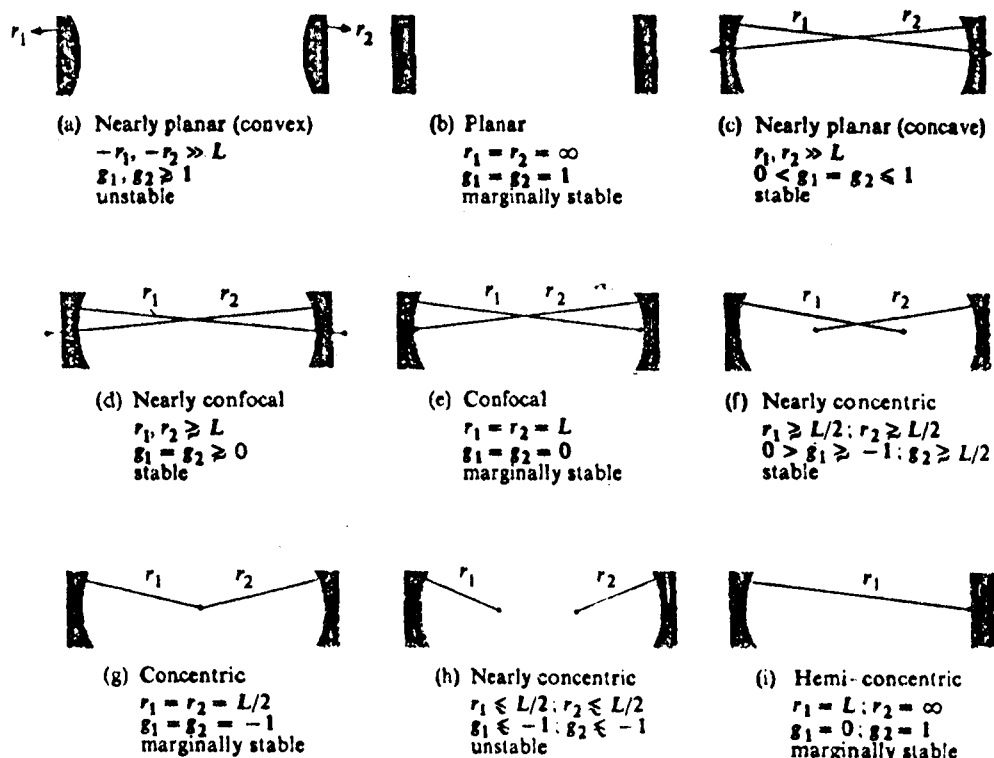
$$g_1 g_2 = 1$$

คือเสถียรภาพขอบเขต

ตัวอย่างของความเสถียรภาพ (stable), ความไม่เสถียรภาพ (unstable) และเสถียรภาพขอบเขต (marginally stability)

- (a) การจัดกล่องเลเซอร์ที่ใช้กระจกขนานทั้งสองด้าน จะทำให้ระบบของเลเซอร์ไม่มีเสถียรภาพ
- (b) การจัดกล่องเลเซอร์ที่ใช้กระจกเรียบทั้งสองข้าง จะทำให้ระบบของเลเซอร์มีเสถียรภาพดีแต่จัดให้ขนานกันยากมากจึงไม่นิยมใช้
- (c) การจัดกล่องเลเซอร์ที่ใช้กระจกเว้าสองข้าง ทำให้ระบบเลเซอร์มีเสถียรภาพเป็นระบบหนึ่งที่น่าสนใจใช้กัน
- (d) การจัดกล่องเลเซอร์ที่ใช้กระจกเว้าทั้งสองข้างมีรัศมีความโค้งมากกว่าระยะห่างทำให้ระบบเลเซอร์มีเสถียรภาพ
- (e) การจัดกล่องเลเซอร์ที่ใช้กระจกเว้าทั้งสองข้างมีรัศมีความโค้งเท่ากับระยะห่าง ระบบของเลเซอร์จะเป็นเสถียรภาพขอบเขต
- (f) การจัดกล่องเลเซอร์ที่ใช้กระจกเว้าทั้งสองข้างโดยมีรัศมีความโค้งมากกว่าหรือเท่ากับครึ่งหนึ่งของระยะห่างของกระจก ทำให้ระบบเลเซอร์มีเสถียรภาพ
- (g) การจัดกล่องเลเซอร์ที่ใช้กระจกเว้าทั้งสองข้างโดยมีรัศมีความโค้งเป็นครึ่งหนึ่งของระยะห่าง ระบบของเลเซอร์จะเป็นแบบเสถียรภาพขอบเขต
- (h) การจัดกล่องเลเซอร์ที่ใช้กระจกเว้าทั้งสองข้าง โดยรัศมีความโค้งเท่ากับหรือน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของระยะห่างของกระจก ระบบของเลเซอร์จะไม่มีเสถียรภาพ
- (i) การจัดกล่องเลเซอร์ที่ใช้กระจกโค้งด้านหนึ่งอีกด้านหนึ่งเป็นกระจกเรียบ โดยรัศมีความโค้งเท่ากับระยะห่างของกระจก กระจกเรียบมีรัศมีความโค้งเป็นอนันต์ ระบบของเลเซอร์จะเป็นเสถียรภาพขอบเขต

ในการนำแบบของการจัดกล่องเลเซอร์ต้องเลือกแบบที่มีเสถียรภาพ และเมื่อไปทดลองแล้วเกิดเลเซอร์ได้จริงๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของเลเซอร์



ภาพประกอบ 7 แสดงการจัดกล่องของเลเซอร์แบบต่างๆ โอเชีย, คอลเลน และ ไรเดส (O' Shea, Callen and Rhodes. 1972:75)

ดังนั้นในการเลือกชนิดของกระจก M_1 และ M_2 และการจัดกล่องเรโซแนนซ์ จึงมีส่วนสำคัญในการเกิดการแกว่งกวัดเลเซอร์ นอกจากการเกิดประชากรผกผัน

ทฤษฎีของไนโตรเจนเลเซอร์ อินเกล และสแตนเลย์ (Ingle and Stanley 1988:31)

ไนโตรเจนเลเซอร์เป็นเลเซอร์ที่มีแก๊สไนโตรเจนเป็นตัวกลางแก๊สไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบสำคัญที่มีมากที่สุดในอากาศ มีสัญลักษณ์ทางเคมี N^{14} และมีการจัดเรียงตัวของอิเล็กตรอนดังแสดงในตารางที่ 1

ตาราง 1 แสดงการเรียงตัวของออร์บิทัลในโมเลกุลของไนโตรเจน
สิริชัย (Sirichai. 1983:13)

MOLECULE	STATE	$1\pi_u$	$3\sigma_g$	$1\pi_g$	$3\sigma_u$	OTHER
N ₂	X ¹ Σ _g ⁺	4	2	0	0	
	A ³ Σ _u ⁺	3	2	1	0	
	W ³ Δ _u	3	2	1	0	
	B ³ Π _g	4	1	1	0	
	B' ³ Σ _u ⁻	3	2	1	0	
	a' ¹ Σ _u ⁻	3	2	1	0	
	a ¹ Π _g	4	1	1	0	
	W ¹ Δ _u	3	2	1	0	
	5Σ _g ⁺	2	2	2	0	
		3	1	1	1	
	7Σ _u ⁺	2	1	2	1	
	C ³ Π _u	4	2	1	0	-2σ _u
	5Π _u	3	1	2	0	
	E ³ Σ _g ⁺	4	1	0	0	3sσ _g
	C' ³ Π _u	3	1	2	0	
	b' ¹ Σ _u ⁺	3	2	1	0	

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

ถ้าหมุนไป 180° แล้วเครื่องหมายของออร์บิทัลเปลี่ยนไปตรงกันข้าม เรียกโมเลกุลออร์บิทัลว่า π ออร์บิทัล

พลังงานรวมของไนโตรเจนโมเลกุล = E

$$E = E_e + E_v + E_r \quad (28)$$

E_e = พลังงานของอิเล็กตรอนในโมเลกุลของไนโตรเจน

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

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

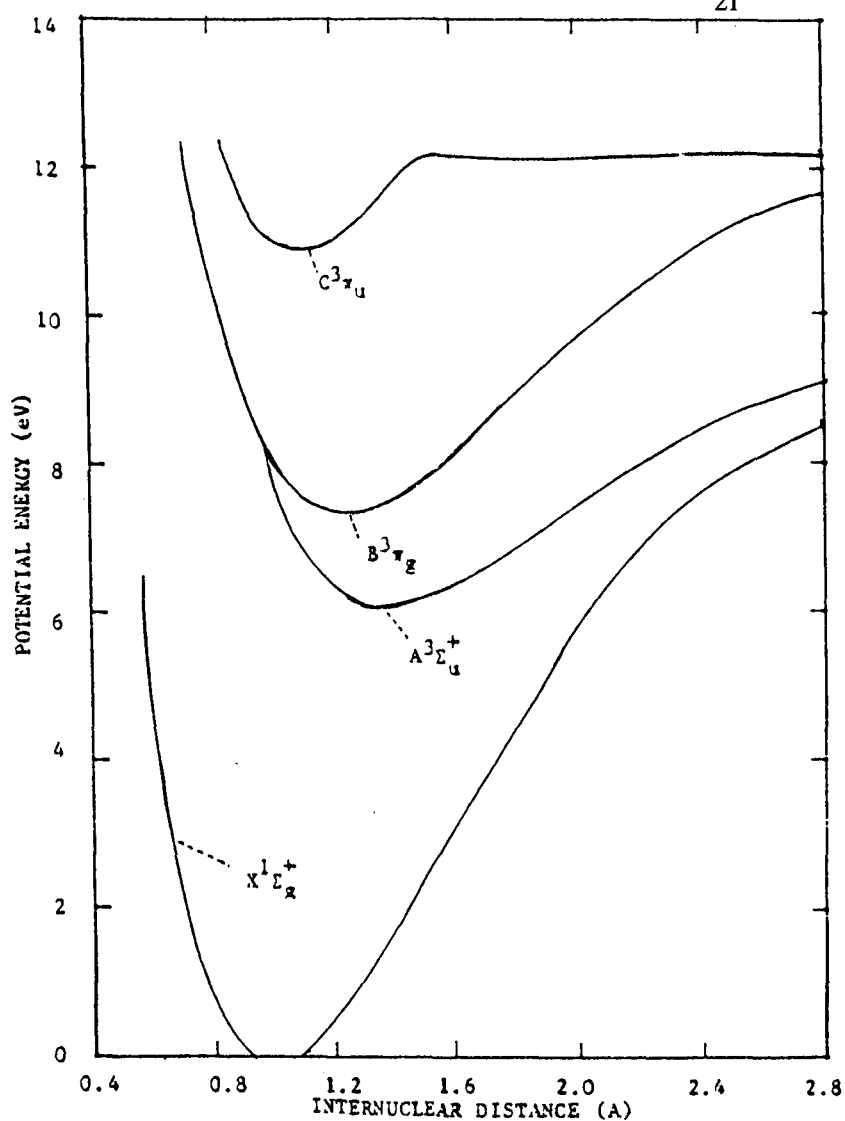
โดย v = เลขควอนตัมการสั่น

ω = ความถี่เชิงมุม

J = เลขควอนตัมเชิงมุมรวม

I = โมเมนต์ความเฉื่อย

เพราะฉะนั้น $E = E_e + (v + 1/2) \hbar\omega + \frac{J(J+1)\hbar^2}{2I}$ (29)



ภาพประกอบ 8 แสดงระดับพลังงานสำคัญของโมเลกุลไนโตรเจน สิริชัย

(Sririchai. 1983:14)

สัญลักษณ์ห้อยท้ายของระดับพลังงานโมเลกุล π_u, π_g มาจากภาษาเยอรมัน ที่เรียกว่าฟังก์ชันคลื่น โดย

ψ_{even} เป็นฟังก์ชันคู่ เรียกว่าสถานะ g มาจากคำว่า gerade แปลว่าคู่ ฟังก์ชันคี่ ψ_{odd} เป็นฟังก์ชันคี่ เรียกว่าสถานะ u มาจากคำว่า ungerade odd. แปลว่าคี่

จากสเปกตรัมเนื่องจากโมเลกุลมี 3 แบบ คือ

1. สเปกตรัมย่านไมโครเวฟ เกิดจากการหมุนของโมเลกุล
2. สเปกตรัมย่านอินฟราเรด เกิดจากการหมุนและการสั่นของโมเลกุล
3. สเปกตรัมย่านแสงที่มองเห็นและอัลตราไวโอเล็ตเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับอิเล็กตรอนในโมเลกุล

หลักของแฟรงค์คอนดอน (Frank Condon Principle)

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

การเปลี่ยนแปลงของการสั่นที่เกิดขึ้นกับสถานะการสั่น เมื่อกำหนดให้ระยะห่างของนิวเคลียสที่ถูกกระตุ้นคือ r'_e มีค่ามากกว่าระยะห่างของนิวเคลียสที่สถานะพื้น r''_e เขียนได้เป็น

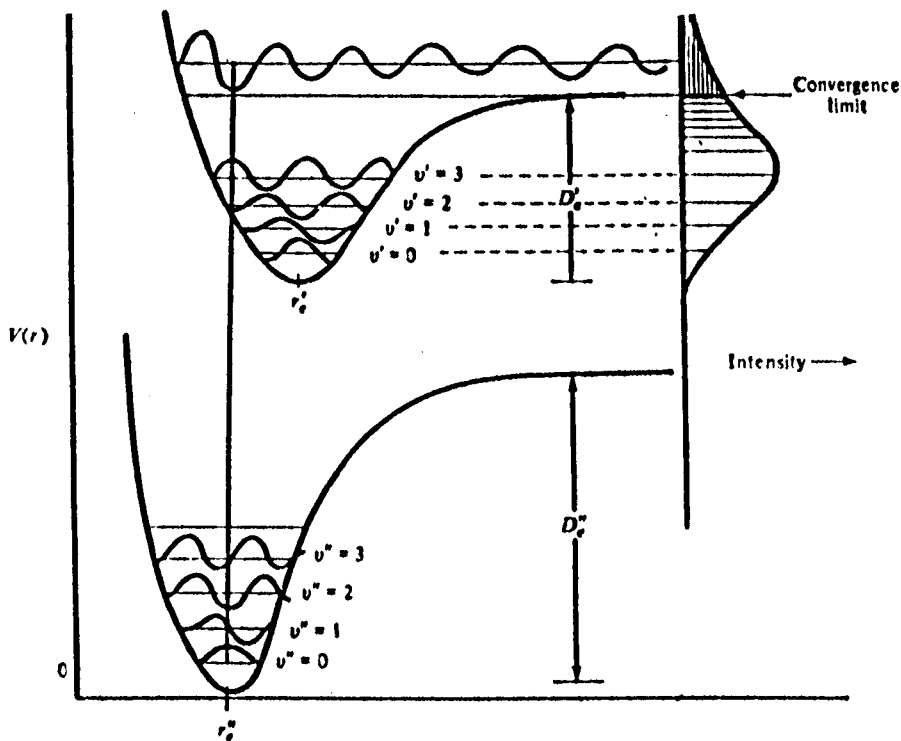
$$r'_e > r''_e$$

โดยกำหนดให้ $r'_e =$ ระยะห่างของนิวเคลียสสถานะกระตุ้น

$r''_e =$ ระยะห่างของนิวเคลียสสถานะพื้น

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

ในกรณีของไนโตรเจนเลเซอร์ เป็นการกลับกันคืออิเล็กตรอนในพลังงานที่สูงกว่าเลขควอนตัม $v' = 0$ จะลดระดับพลังงานมายังระดับพลังงานที่มีเลขควอนตัมต่ำกว่า $v'' = 0$ ได้สเปกตรัมความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร



ภาพประกอบ 9 แสดงระดับพลังงานการสั่นของโมเลกุล อินเกล และสแตนเลย์ (Ingle. and Stanley. 1988:333)

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)

ในกรณีที่ $r_e'' = r_e'$ การเปลี่ยนแปลงของอิเล็กตรอนในโมเลกุลที่มีเลขควอนตัมการสั่น $v'' = 0$ ไปยังระดับพลังงานที่สูงกว่า มีเลขควอนตัมการสั่น $v' = 0$ หรือ $(0 \rightarrow 0)$ มีความเข้มของเส้นสเปกตรัมมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการเกิดเลเซอร์ในโตรเจนที่มีความยาวคลื่น

$$= 337.1 \text{ นาโนเมตร ในระบบบวกที่สอง}$$

ถ้า $r_e' \gg r_e''$ หมายความว่าระยะห่างของนิวเคลียสของโมเลกุลที่ถูกระตุ้นมีค่ามากกว่าระยะห่างของนิวเคลียสของโมเลกุลสถานะพื้นมากๆ โมเลกุลก็จะสลายตัว

อย่างไรก็ตาม ในการเกิดไนโตรเจนเลเซอร์จำเป็นต้องเพิ่มพลังงานให้กับอิเล็กตรอนในสถานะพื้น $x^1\Sigma_g^+$ ไปสู่ระดับพลังงาน $C^3\Pi_u$ เพื่อให้เกิดจำนวนประชากรผกผัน เนื่องจากมีนักวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาวิชาสเปกโทรสโคปีไว้ก่อนแล้ว และยังสามารถวัดช่วงเวลาของระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในระดับพลังงานต่างๆ เช่น

อิเล็กตรอนในระดับ $C^3\Pi_u$ มีช่วงเวลา 40 นาโนวินาทีที่ความดันต่ำ และ 2.6 นาโนวินาทีที่ความดันบรรยากาศ

อิเล็กตรอนในระดับ $B^3\Pi_g$ มีช่วงเวลา 10 ไมโครวินาที

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

จึงทำให้เป็นการสะดวก ในการที่จะหาวงจรที่ให้แรงดันไฟฟ้าแรงสูงในเวลาสั้น ๆ เพื่อเพิ่มพลังงานให้กับอิเล็กตรอนในโมเลกุลของไนโตรเจน

การแบ่งไนโตรเจนเลเซอร์ตามความยาวคลื่น แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

1. ระบบบวกที่สอง ($C^3\Pi_u - B^3\Pi_g$) ให้แสงเลเซอร์ในย่านอัลตราไวโอเล็ตความยาวคลื่น 0.3371 ไมโครเมตร, 0.358 ไมโครเมตรและ 0.316 ไมโครเมตร

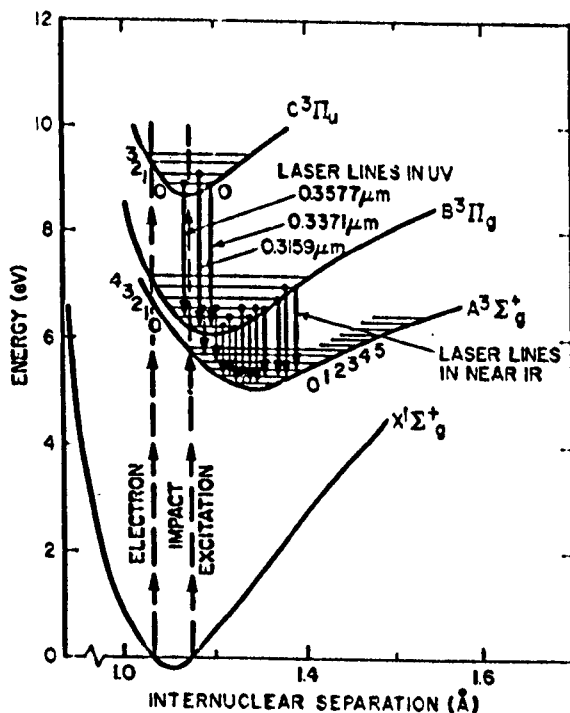
2. ระบบบวกที่หนึ่ง ($B^3\Pi_g - A^3\Sigma_u^+$) ให้แสงเลเซอร์ความยาวคลื่น 0.745 ไมโครเมตร ถึง 1.235 ไมโครเมตร

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

ส่วนสเปกตรัมย่านอื่นที่ไม่ได้แบ่งพวกไว้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอิเล็กตรอนในระบบ $w^3\Delta_u - a^1\Pi_g$ ให้แสงเลเซอร์ความยาวคลื่น 3.7 ไมโครเมตร เส้นสเปกตรัมที่เกิดจากการสั่นของโมเลกุล สามารถสังเกตได้ประมาณ 80 เส้น ซึ่งมีความยาวคลื่นในช่วงอินฟราเรด 5.4 ไมโครเมตร ถึง 8.04 ไมโครเมตร

สเวดเบิร์ก สร้างเลเซอร์ไนโตรเจนชนิดกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ (TEA N_2 - LASER) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับอิเล็กตรอนจาก $C^3\Pi_u \longrightarrow B^3\Pi_g$ หรือระบบบวกที่สองให้แสงเลเซอร์ย่านอัลตราไวโอเล็ต

มีความเข้มมากที่สุดที่ความยาวคลื่น 0.3371 ไมโครเมตร ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้
ก็จะศึกษาเฉพาะ ที่ไอเอ ไนโตรเจนเลเซอร์



ภาพประกอบ 10 กราฟของระดับพลังงานในโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจน วิลเลต (Willett. 1974:343)

อธิบายการเกิดแสงเลเซอร์ของไนโตรเจนเลเซอร์ จากกราฟแบบง่าย 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 มิลลิบาร์ที่ความดันบรรยากาศ (760 ทอร์) มีช่วงชีวิต $T_c = 2.6 \times 10^{-9}$ วินาที ซึ่งเป็นเวลาที่สั้นมาก ในการป้อนพลังงานให้กับโมเลกุลของไนโตรเจนต้องใช้วงจรบลัมไลน์ (Blumlein circuit) ซึ่งจะกล่าวดังรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

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

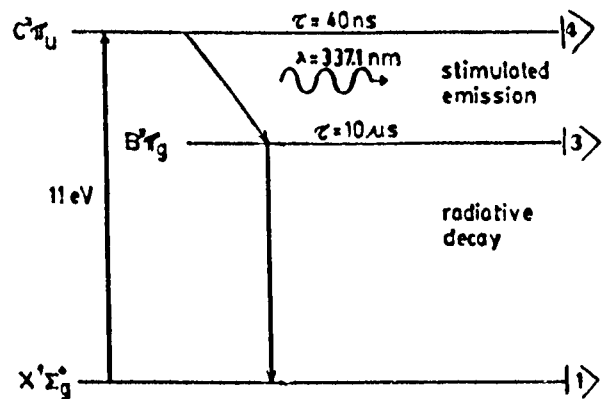
$$Q_{00}(C^3\Pi_u) = 6.2 \times 10^{-18} \text{ ซม.}^2 > Q_{01}(B^3\Pi_g) = 4.5 \times 10^{-18} \text{ ซม.}^2$$

$$> Q_{00}(B^3\Pi_g) = 1.8 \times 10^{-18} \text{ ซม.}^2$$

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

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

เพื่อความสะดวกเราจะเขียนระดับพลังงานใหม่ ซึ่งจะแทนด้วยเส้นตรง ดังรูป



ภาพประกอบ 11 ระดับพลังงาน 3 ระดับของโมเลกุลไนโตรเจน ซึ่งให้แสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร

จากภาพประกอบ 11 ระหว่างที่เกิดการปล่อยประจุไฟฟ้า โมเลกุลไนโตรเจนได้รับพลังงานและเปลี่ยนสถานะจากระดับที่ $|1\rangle$ ไปยังระดับที่ $|4\rangle$ ผลต่างของระดับพลังงานสองระดับนี้มีค่าประมาณ 11 อิเล็กตรอนโวลต์ แล้วจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงจากระดับที่ $|4\rangle$ มายังระดับ $|3\rangle$ ซึ่งจะให้โฟตอนมีความยาวคลื่น

337.1 นาโนเมตร จึงต้องมีกระบวนการของประชากรผกผันและการปลดปล่อย โดยการกระตุ้นระหว่างระดับพลังงานที่ $|4\rangle$ กับที่ $|3\rangle$ แต่เนื่องจากช่วงชีวิต (life time) ของโมเลกุลไนโตรเจนในระดับที่ $|4\rangle$ มีเวลาเพียง 40 นาโนวินาที และในระดับที่ $|3\rangle$ นานเพียง 10 ไมโครวินาที ดังนั้นในการที่จะทำให้เกิดการผกผันของประชากรระหว่างระดับพลังงานทั้งสองนั้น จำเป็นจะต้องกระตุ้นให้โมเลกุลไนโตรเจนขึ้นไปสู่ระดับที่ $|4\rangle$ ด้วยเวลาที่น้อยกว่า 40 นาโนวินาที จึงต้องใช้วงจรกระตุ้นแบบพัลส์ที่รวดเร็วมาก ซึ่งเป็นวงจรที่มีค่าความเหนี่ยวนำต่ำมาก ๆ นั้นเอง เนื่องจากการกระตุ้นนี้ใช้เวลาสั้นมาก ๆ ทำให้จำนวนประชากรในระดับที่ $|4\rangle$ มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อถึงระดับที่พอเหมาะพร้อมกับการปลดปล่อยโฟตอน ดังนั้นแสงเลเซอร์จึงเกิดในเวลาสั้นมากและมีความเข้มสูง เรียกว่าเป็นเลเซอร์ชนิดปลดปล่อยพลังงานอย่างยิ่งยวด (Superradiant laser) หรือเรียกว่าการปลดปล่อยธรรมชาติแบบขยาย (Amplified spontaneous emission) ซึ่งทำให้เกิดเลเซอร์ชนิดที่ไม่ต้องใช้กระจก (mirrorless lasing) และเป็นแบบพัลส์ มิลลอนนิ และเออบเบอส์ (Milonni and Eberby, 1991:399)

หลักการของไนโตรเจนเลเซอร์ชนิดกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ

ทฤษฎีและหลักการของไนโตรเจนเลเซอร์ ชนิดกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ ก็เหมือนกับหลักการของไนโตรเจนเลเซอร์ทั่ว ๆ ไป ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติไนโตรเจนเลเซอร์ชนิดง่าย ๆ ที่สร้างกันโดยทั่วไปเป็นชนิดกระตุ้นตามขวางที่ความดันต่ำ กล่าวคือในระบบเลเซอร์ชนิดนี้จะต้องใช้ปั๊มสุญญากาศช่วยในการดูดอากาศออกจากช่องเลเซอร์เสียก่อน แล้วจึงผ่านแก๊สไนโตรเจนเข้าไปในระบบ แต่ความดันภายในระบบจะต้องต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ส่วนไนโตรเจนเลเซอร์ชนิดกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศได้ออกแบบให้สามารถทำงานได้ในบรรยากาศ นั่นคือไม่ต้องใช้ปั๊มสุญญากาศดูดอากาศออกจากระบบเลเซอร์ แต่สามารถให้แก๊สไนโตรเจนเข้าไปในระบบ และกระตุ้นด้วยไฟฟ้าได้เลย

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้างไนโตรเจนเลเซอร์

การออกแบบและการคำนวณ

ไนโตรเจนเลเซอร์ชนิดกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ หรือที่ไอไนโตรเจนเลเซอร์ ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- หัวอิเล็กโทรดหรือหัวไฟฟ้าและช่องเลเซอร์
- วงจรกระตุ้นเลเซอร์
- ตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน
- ระบบจ่ายแก๊สไนโตรเจนเข้าสู่ช่องเลเซอร์

ดังนั้นในลำดับต่อไปนี้จะเป็นการออกแบบและการคำนวณแต่ละส่วนแล้วทำการสร้างและประกอบเป็นระบบที่ไอไนโตรเจนเลเซอร์ที่สมบูรณ์ เพื่อใช้ในการศึกษาคูสมบัติเฉพาะของเลเซอร์ชนิดนี้

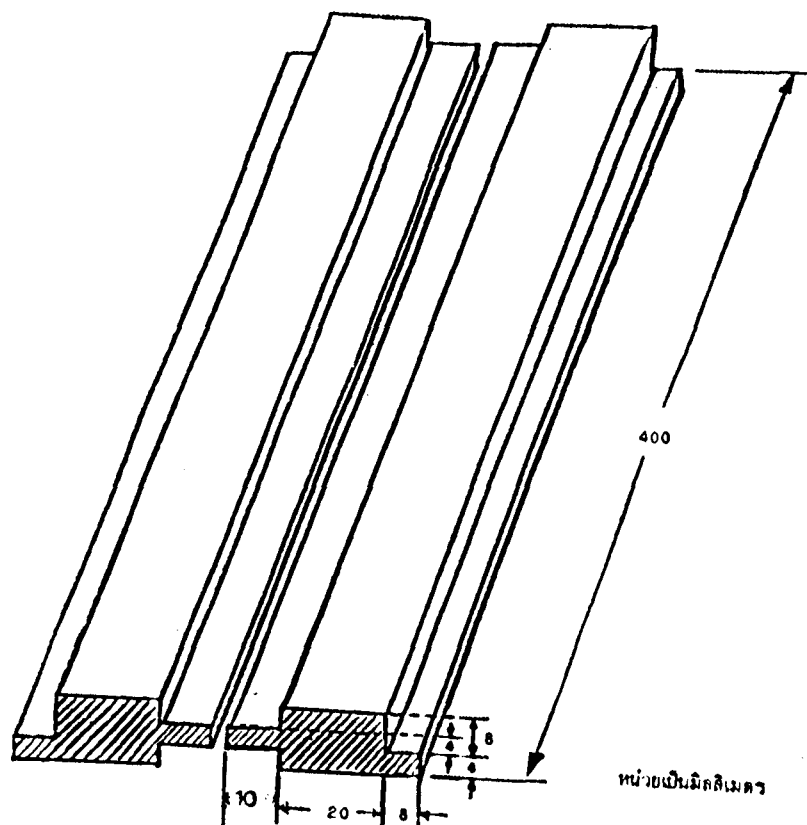
หัวไฟฟ้าและช่องเลเซอร์

วัสดุที่จะใช้เป็นหัวไฟฟ้าได้แก่ อลูมิเนียม สำหรับรูปร่างของผิวหน้าของหัวไฟฟ้าที่นิยมใช้กันมากที่สุดนั้น เสนอโดย จาง (Chang, 1973:405) ในรูปของสมการ

$$y = \pi + k \operatorname{Cosh} x \quad (30)$$

โดยการเปลี่ยนค่า k ตัวอย่างเช่น ตั้งแต่ 0.01-0.2 จะได้ผิวหน้าของหัวไฟฟ้าเป็นผิวโค้งต่าง ๆ กันตามค่า k ซึ่งต่อไปจะต้องหาค่า k ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผิวโค้งที่ทำให้สนามไฟฟ้าระหว่างหัวไฟฟ้า 2 อัน ที่วางขนานกันและมีความสม่ำเสมอมากที่สุด

อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติจะต้องตัดผิวแท่งอลูมิเนียมด้วยลวดไฟฟ้า ซึ่งควบคุมการตัดด้วยคอมพิวเตอร์ (CNC controller) ซึ่งขณะนี้ยังไม่มีหน่วยงานใดในภาครัฐบาลและภาคเอกชนสามารถตัดให้ผิวโค้งตามสมการที่ (30) ได้ ดังนั้นไนโตรเจนเลเซอร์นี้ใช้หัวไฟฟ้าแต่ละอันทำจากอลูมิเนียม โดยแต่ละอันมีความยาว 400 มิลลิเมตร และกัดใส่ด้วยเครื่องให้ได้รูปร่างดังภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 แสดงขนาดและการวางตัวของไฟฟ้า

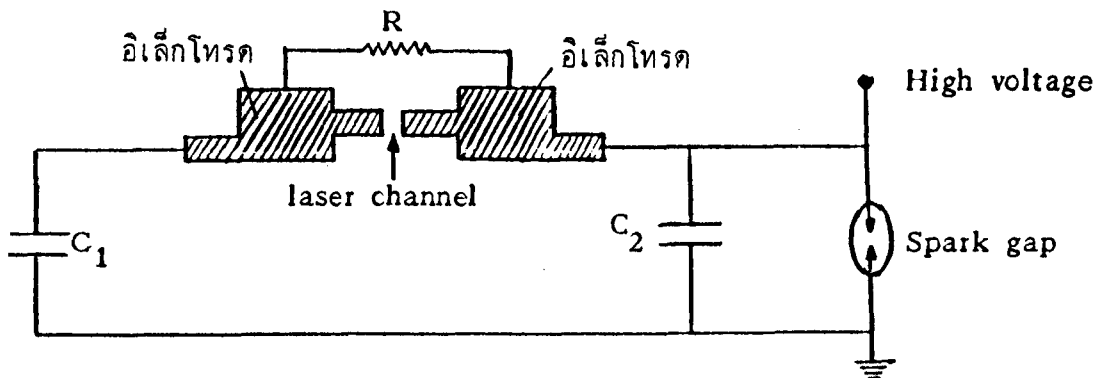
จากภาพประกอบที่ 12 ขั้วไฟฟ้าแต่ละอันจะมีความกว้าง 4 มิลลิเมตร ยาว 400 มิลลิเมตร วางขนานกัน

สำหรับระยะห่างระหว่างขั้วของไฟฟ้าทั้งสอง ซึ่งประกอบเป็นช่องเลเซอร์ สามารถปรับได้ตามความต้องการ

วงจรกระตุ้นของไนโตรเจนเลเซอร์ ทาน และโล (Tan and Low, 1985:133)

ดังที่กล่าวมาแล้วว่า การที่จะทำให้เกิดการผกผันของประชากรระหว่างระดับพลังงานที่ $|4\rangle$ และที่ $|3\rangle$ จะต้องใช้วงจรกระตุ้นที่มีค่าความเหนี่ยวนำต่ำมากๆ วงจรที่มีลักษณะเช่นนี้ ได้แก่ วงจรคาปาซิเตอร์ ชาร์จทรานสเฟอร์ (capacitor-charge transfer circuit), วงจรบลัมไลน์ (Blumlein circuit), การกระตุ้นแบบคลื่นเดินทาง (traveling-wave excitation), แอลซีอินเวอร์ชัน (LC inversion) เป็นต้น

ในโครงการวิจัยนี้ ได้เลือกใช้วงจรบลัมไลน์เป็นวงจรกระตุ้นของไนโตรเจนเลเซอร์ เพราะว่าเป็นวงจรที่สร้างได้ง่าย และนิยมใช้กันมากที่สุด



ภาพประกอบ 13 วงจรสมมูลของวงจรลัมไลน์

หลักการทํางานของวงจรลัมไลน์ เมื่อให้ประจุกับตัวเก็บประจุสะสม C_1 (storage capacitor) กับตัวเก็บประจุสร้างพัลส์ (pulse forming line capacitor) ซึ่ง C_1 มีค่าความจุมากกว่า C_2 เป็นอัตราส่วนตั้งแต่ 2:1 ขึ้นไป เมื่อ C_1 , C_2 ได้รับการอัดประจุจนเต็มจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงโดยผ่าน R เมื่อสปาร์กแกปทํางาน ประจุใน C_2 จะไหลลงดินอย่างรวดเร็วทำให้เกิดความต่างศักย์คร่อมระหว่างขั้วไฟฟ้าของช่องเลเซอร์สูงขึ้นอย่างทันทีทันใด และถ้าหากความต่างศักย์นี้สูงพอที่จะทำให้อิเล็กโตรดเจือปนที่ไหลผ่านช่องเลเซอร์ถึงจุดเบรกดาว์นแล้ว ก็จะทำให้เกิดการคายประจุอย่างรวดเร็วระหว่างขั้วไฟฟ้าภายในช่องเลเซอร์

สำหรับสปาร์กแกปในวงจร จะทำหน้าที่เป็นสวิทช์หรือสะพานไฟฟ้าศักย์สูง เพื่อส่งพัลส์ศักย์สูงและกระแสสูงให้แก่ขั้วอิเล็กโตรด ในโครงการงานวิจัยนี้สปาร์กแกปทำด้วยแท่งอลูมิเนียม 2 แท่ง ผิวหน้าของแต่ละแท่งทำใหมัน และวางผิวมันเข้าหากันให้ห่างกันประมาณ 5 มิลลิเมตร ระยะห่างที่เหมาะสมต่อการดีสชาร์จภายในช่องเลเซอร์จะได้จากการทดลอง ซึ่งจะกล่าวไว้ในผลการทดลอง

ชุดจ่ายไฟแรงดันสูง (High Voltage Power)

ชุดจ่ายไฟแรงดันสูงประกอบด้วยเครื่องปรับค่าแรงดันไฟฟ้า (variac), หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 15 กิโลโวลต์, 30 มิลลิแอมป์ พร้อมวงจรเรียงกระแส เพื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงได้ตั้งแต่ 0-15 กิโลโวลต์

ตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน

จากวงจรกระตุ้นของไนโตรเจนในภาพประกอบ 13 ความจุของตัวเก็บประจุ C_1 ต้องมากกว่าของ C_2 อาจจะใช้อัตราส่วนตั้งแต่ 2:1 ขึ้นไป และเพื่อจะให้ความเหนี่ยวนำในวงจรกระตุ้นเลเซอร์มีค่าต่ำมาก ๆ ดังนั้นในวงจรกระตุ้น C_1 และ C_2 จำเป็นต้องเป็นตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน ในที่นี้สร้างโดยใช้แผ่นไมลาร์เป็นไดอิเล็กทริก ซึ่งมีแผ่นอลูมิเนียม (พอลิ) 2 แผ่นประกบอยู่ โดยแผ่นอลูมิเนียมจะทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ แผ่นไมลาร์และแผ่นอลูมิเนียมทั้งหมดนี้จะวางเรียงเป็นชั้นอยู่บนแผ่นอะคริลิกเพื่อให้เรียบ ค่าความจุของ C_1 และ C_2 คำนวณได้จากสูตร

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

ในเมื่อ C = ค่าความจุของตัวเก็บประจุ มีหน่วยเป็นฟารัด (farad:F)

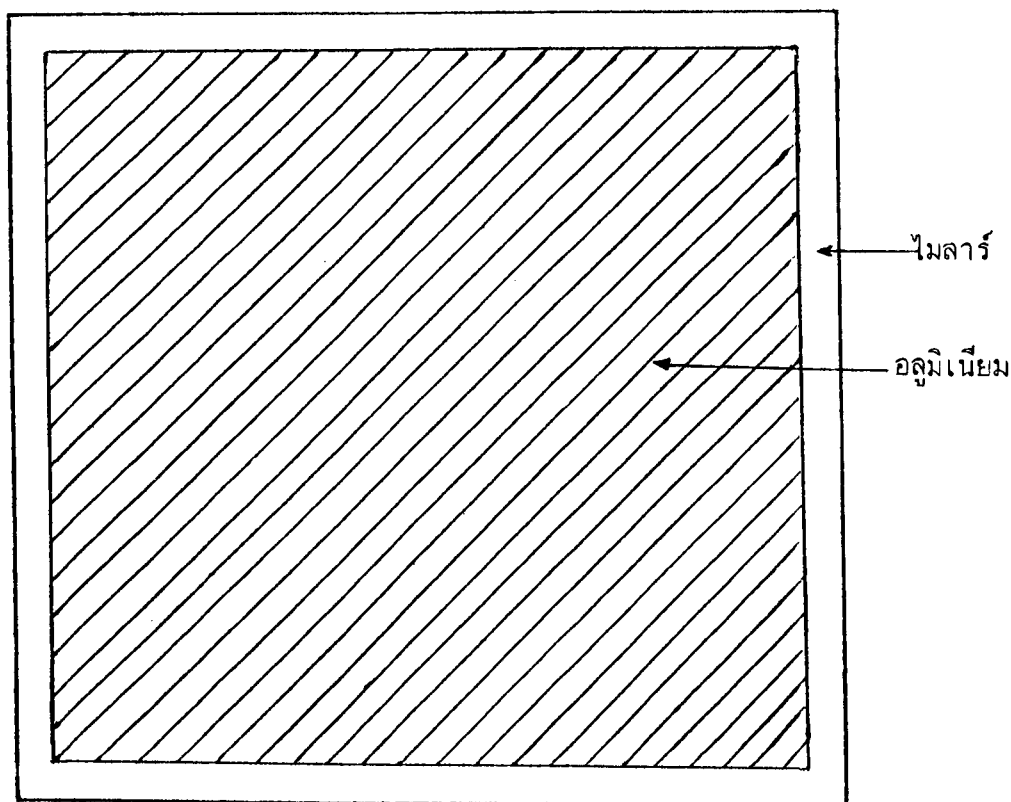
ϵ_r = สภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ (relative permittivity) ของไดอิเล็กทริก (แผ่นไมลาร์มีค่า = 3.0), ฮาเซน (Hazen. 1990:352)

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

A = พื้นที่ผิวของแผ่นอลูมิเนียมตัวนำคู่ขนาน

d = ความหนาของแผ่นไดอิเล็กทริก

ในการวิจัยครั้งนี้ เราเลือกขั้วไฟฟ้าความยาว 400 มิลลิเมตร ดังนั้นความยาวแผ่นอลูมิเนียมจะต้องมีขนาดสั้นกว่า ซึ่งในที่นี้ใช้ความยาว 380 มิลลิเมตร ส่วนความกว้างของแผ่นอลูมิเนียมสำหรับ C_1 และ C_2 เท่ากับ 180 และ 90 มิลลิเมตร ตามลำดับ สำหรับไมลาร์ที่ใช้จะต้องมีขนาดใหญ่กว่าแผ่นอลูมิเนียมที่ประกบอยู่ ทั้งนี้เพื่อป้องกันการอาร์คของไฟฟาระหว่างแผ่นอลูมิเนียมทั้งสอง ภาพประกอบ 14 แสดงการวางแผ่นไมลาร์ และแผ่นอลูมิเนียม



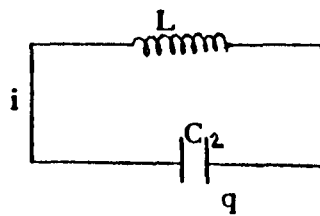
ภาพประกอบ 14 แผนภาพแสดงตัวเก็บประจุแผ่นขนาน โดยใช้แผ่นไมลาร์เป็น ไดอิเล็กทริกวางอยู่ระหว่างแผ่นอลูมิเนียม 2 แผ่น ซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า (มองจากด้านบน) แผ่นไมลาร์จะต้องมีขนาดใหญ่กว่าแผ่นอลูมิเนียมเล็กน้อย เพื่อป้องกันการอาร์คของไฟฟ้าระหว่างแผ่นอลูมิเนียม

สำหรับ C_1 แผ่นอลูมิเนียมมีขนาดพื้นที่ (A) 380×180 (มิลลิเมตร)²
 ความหนาของแผ่นไมลาร์ (Mylar) $d = 0.35$ มิลลิเมตร
 จากการคำนวณได้ค่าความจุของ $C_1 = 5.2$ นาโนฟารัด

สำหรับ C_2 แผ่นอลูมิเนียมมีพื้นที่ 380×90 (มิลลิเมตร)² ความหนาของ
 แผ่นไมลาร์ = 0.35 มิลลิเมตร จากการคำนวณได้ค่า
 ความจุ $C_2 = 2.6$ นาโนฟารัด

จากการวัดค่า C_1 และ C_2 โดยใช้ LC มิเตอร์ พบว่าได้ค่าใกล้เคียง
 กับค่าที่คำนวณขึ้นมาก

หลังจากที่เราคำนวณค่า C_1 , C_2 ที่จะต้องใช้ในวงจรบลิ้มไล่น์ได้แล้ว
 ต่อไปเราคำนวณดูว่า ความเร็วในการกระตุ้นของวงจรบลิ้มไล่น์ที่ใช้จะสามารถ
 กระตุ้นแก๊สไนโตรเจนได้ในเวลาที่สั้นกว่า 40 นาโนวินาที เพื่อทำให้เกิดประกายกร
 ผกผันได้หรือไม่ นั่นคือเราต้องคำนวณหาเวลาที่แรงดันไฟฟ้าขึ้นสูงสุดในวงจรพัลส์
 พอร์มมิง (pulse forming) ที่ใช้ ซึ่งในที่นี้แทนได้ด้วยวงจรสมมูล ดังภาพ
 ประกอบ 15



ภาพประกอบ 15 วงจรพัลส์พอร์มมิง

จากกฎของ Kirchoff จะได้ว่า

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

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{LC_2} q = 0$$

$$q = q_m \text{ Cos } (\omega t + \phi)$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC_2}}$$

- โดยที่ q = ประจุไฟฟ้าในตัวเก็บประจุหน่วยเป็นคูลอมบ์
- L = ความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำ หน่วยเป็นเฮนรี่
- ω = ความถี่เชิงมุมของการแกว่งกวัด หน่วยเป็นรอบต่อวินาที
- T = คาบของการแกว่งกวัด หน่วยเป็นวินาที

เราจะได้ $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{LC_2}$ ฮอลลิเด และเรสนิก (Holliday.

D. and Resnick 1962:949)

เวลาที่แรงดันไฟฟ้าขึ้นสูงสุดในวงจรพัลส์ฟอร์มมิง = T_r

T_r เป็นเวลาหนึ่งในสี่ของคาบการแกว่งกวัด

$$T_r = \frac{T}{4} = \frac{\pi \sqrt{LC_2}}{2}$$

เราจะคำนวณเวลาที่แรงดันไฟฟ้าขึ้นสูงสุดในวงจรที่สร้าง

$$\begin{aligned} L &= \text{ความเหนี่ยวนำในวงจร ซึ่งค่าความเหนี่ยวนำใน } C_2 \\ &\text{มีค่าสูงกว่าส่วนอื่น ๆ ดังนั้นจึงคิดเฉพาะใน } C_2 \text{ เท่านั้น} \\ &= \mu_r \mu_0 dl/w \end{aligned}$$

$$\mu_r = \text{สภาพให้ซึมได้ทางแม่เหล็กสัมพัทธ์} = 1$$

$$\begin{aligned} \mu_0 &= \text{สภาพให้ซึมได้ทางแม่เหล็กของสุญญากาศ} \\ &= 4\pi \times 10^{-8} \text{ เฮนรี/เมตร} \end{aligned}$$

$$d = \text{ความหนาของไดอิเล็กทริก}$$

$$l = \text{ความยาวของแผ่นไดอิเล็กทริก}$$

$$w = \text{ความกว้างของแผ่นไดอิเล็กทริกวัดขนานไปกับขั้วไฟฟ้า}$$

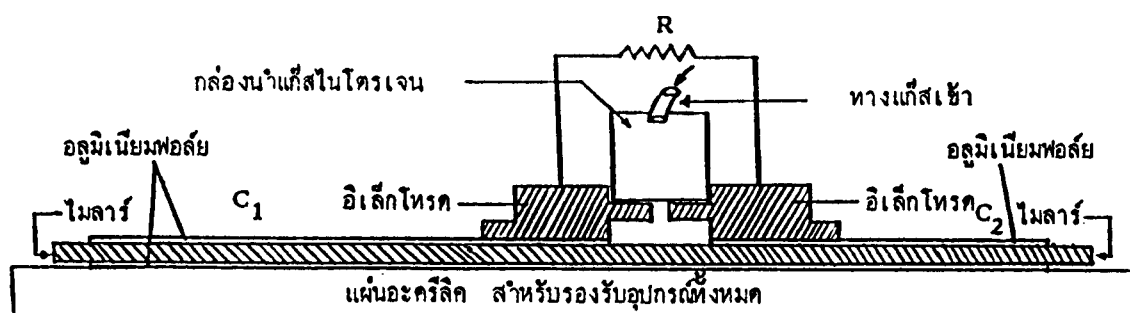
$$\begin{aligned} L &= 1.26 \times 10^{-6} \times 0.35 \times 10^{-3} \times 0.15/0.40 \text{ เฮนรี} \\ &0.165 \text{ นาโนเฮนรี} \end{aligned}$$

$$T_r = \frac{\pi \sqrt{L_2 C_2}}{2} = \frac{3.14}{2} (1.65 \times 10^{-10} \times 2.6 \times 10^{-9})^{1/2}$$

$$= 1.0 \times 10^{-9} = 1.0 \text{ นาโนวินาที}$$

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

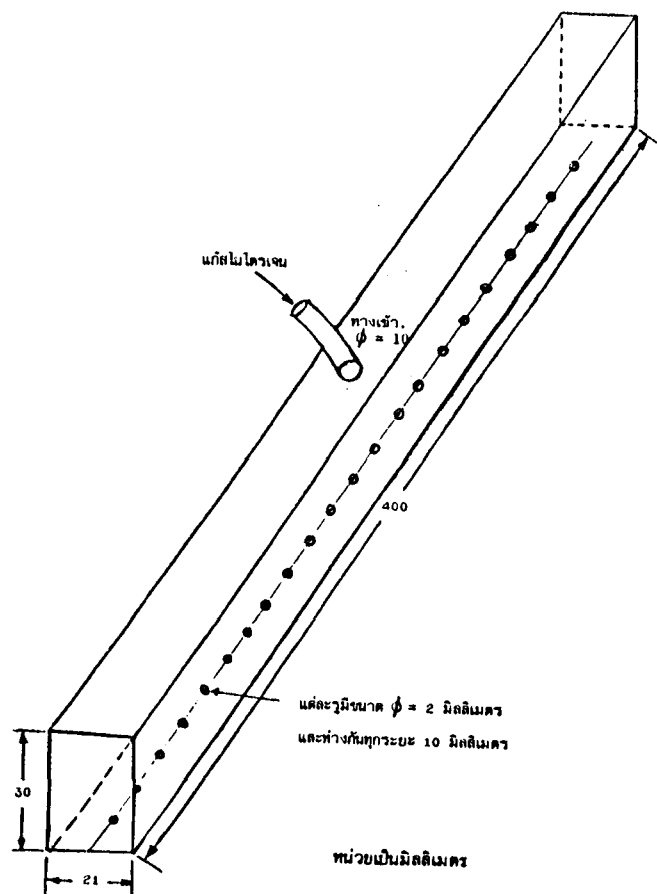
ในการออกแบบสร้าง ที่อีเอ ไนโตรเจนเลเซอร์ เพื่อความสะดวกและ
 ความสะดวกของระบบเลเซอร์ในการสร้าง C_1 กับ C_2 จะใช้แผ่นไมลาร์ของ C_1
 และ C_2 เป็นแผ่นเดียวกัน ส่วนแผ่นอลูมิเนียมแผ่นล่างเป็นแผ่นเดียวกัน แต่แผ่น
 อลูมิเนียมบนจะแยกกัน เพื่อเป็นตัวแยกค่า C_1 และ C_2 ดังภาพตัดขวางใน
 ภาพประกอบ 16



ภาพประกอบ 16 แสดงภาพตัดขวางของหัวไฟฟ้า ซึ่งวางอยู่บนตัวเก็บประจุ C_1
 และ C_2 โดย C_1 และ C_2 ใช้แผ่นไมลาร์แผ่นเดียวกัน

ระบบจ่ายแก๊สไนโตรเจนเข้าสู่ช่องเลเซอร์ ประกอบด้วย

1. ถังแก๊สไนโตรเจนความดัน 2000 ปอนด์/ตารางนิ้ว พร้อมเกจวัดความดันของการไหลของแก๊สในท่อ ในช่วงความดัน 0-20 ปอนด์/ตารางนิ้ว (ความดันบรรยากาศ = 14.7 ปอนด์/ตารางนิ้ว)
2. สายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 10 มิลลิเมตร
3. กล่องนำแก๊สเข้าสู่ช่องเลเซอร์ ได้จากการตัดแผ่นอะคริลิกพร้อมทั้งเจาะรูแก๊สเข้าและรูแก๊สออก แล้วนำมาประกอบกันเป็นกล่องสี่เหลี่ยมโดยใช้น้ำยาเชื่อมประสานอะคริลิก สำหรับรูปร่างและขนาดของกล่องนำแก๊สไนโตรเจนเข้าสู่ช่องเลเซอร์ แสดงในภาพประกอบ 16



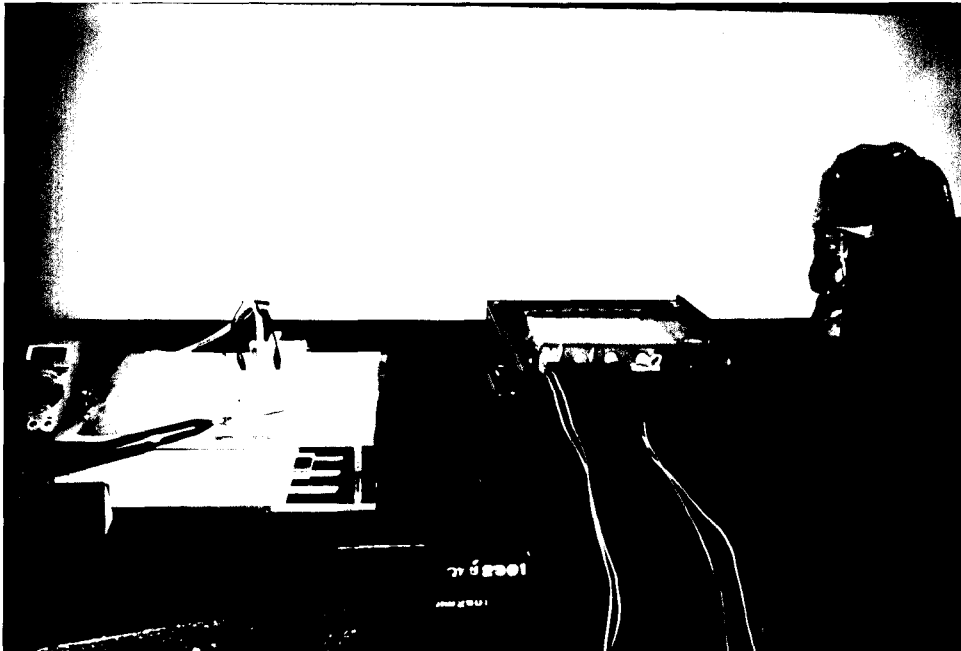
ภาพประกอบ 17 แสดงรูปร่างและขนาดของกล่องนำแก๊สไนโตรเจน

ขั้นตอนการประกอบระบบไนโตรเจนเลเซอร์

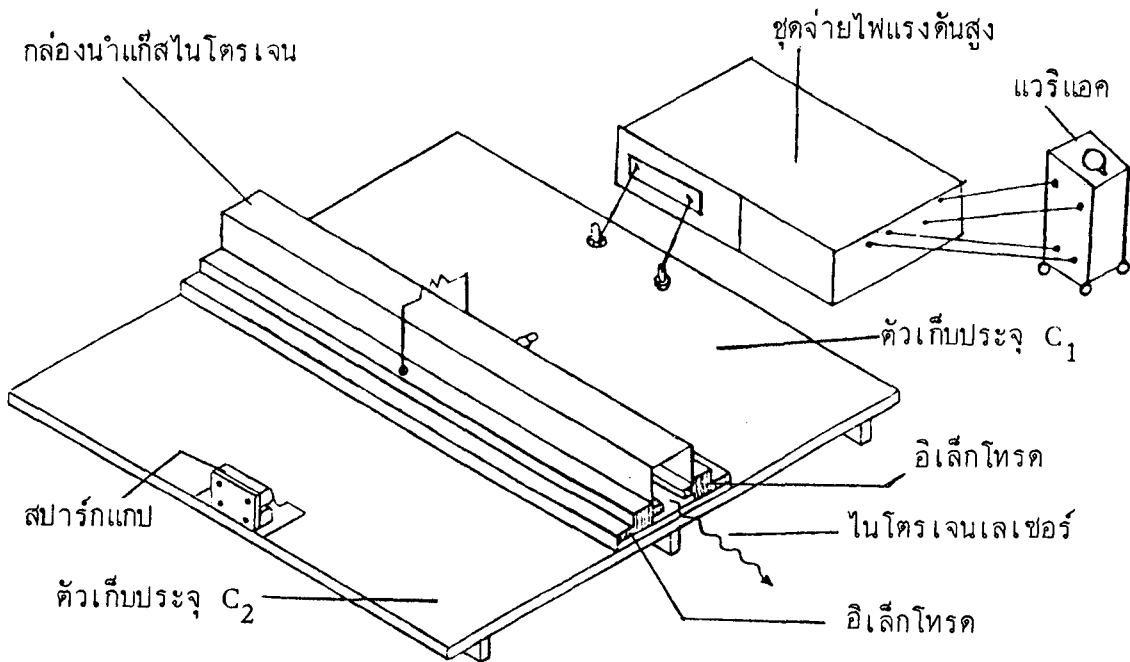
หลังจากที่ทำการออกแบบและสร้างส่วนต่างๆของระบบไนโตรเจนเลเซอร์เสร็จเรียบร้อยแล้ว ซึ่งสรุปส่วนที่สำคัญได้ดังนี้

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

เมื่อประกอบส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกันเป็นระบบไนโตรเจนเลเซอร์ที่สมบูรณ์
 ภาพถ่ายของระบบไนโตรเจนเลเซอร์ แสดงในภาพประกอบ 18 และแสดงโดย
 ไดอะแกรมในภาพประกอบ 19



ภาพประกอบ 18 ภาพถ่ายแสดงระบบของ ทีอีเอ ไนโตรเจนเลเซอร์



ภาพประกอบ 19 ไดอะแกรมของระบบ ทีอีเอ ไนโตรเจนเลเซอร์

บทที่ 4

การทดลอง ผลการทดลอง และอภิปรายผล

การทดสอบการทำงานของเลเซอร์

จากภาพประกอบ 19 ในการทดลองได้ปรับระยะของแท่งอลูมิเนียม ซึ่งทำหน้าที่เป็นอิเล็กโทรดหรือขั้วไฟฟ้าห่างกัน 1.45 มิลลิเมตร โดยใช้ฟิลเลอร์ที่ใช้วัดระยะห่างของหัวเทียนรถยนต์เป็นตัวช่วยปรับระยะ เพื่อให้ระยะระหว่างแท่งอลูมิเนียมทั้งสองห่างเท่ากันตลอดแนวความยาว 40 เซนติเมตร ต่อจากนั้นทำการทดสอบการทำงานของระบบเลเซอร์ตามลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ป้อนไฟให้กับตัวเก็บประจุ C_2 โดยการปรับแอมป์และจูนกระทั่งแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_2 มีค่าประมาณ 12 กิโลโวลต์ สปาร์กแก๊ปจะทำงานทำให้เกิดการ glow discharge ภายในช่องเลเซอร์ เป็นห้วงๆ (พัลส์)

2. ปลอ่ยแก๊สไนโตรเจนเข้าไปยังช่องเลเซอร์ โดยให้ความดันของแก๊สไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 2-20 ปอนด์/ตารางนิ้ว จะมีลำแสงเลเซอร์ถูกปล่อยออกจากปลายทั้ง 2 ข้างของช่องเลเซอร์ สามารถตรวจสอบอย่างคร่าว ๆ ได้โดยใช้กระดาษสีขาวหรือกระดาษเรืองแสง รับแสงที่ออกมาจะเห็นแสงเป็นจุดเข้มบนกระดาษและถึงแม้ว่าจะเลื่อนกระดาษรับแสงออกไปเป็นระยะไกล ๆ ก็ยังปรากฏจุดเข้มของแสง แต่ขนาดของจุดใหญ่ขึ้นเล็กน้อย

3. ทำการวัดความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ที่ได้โดยใช้ monochromator ปรากฏว่าแสงที่ได้มีความยาวคลื่น 337 นาโนเมตร

การวัดพลังงานของแสงเลเซอร์

ในงานวิจัยนี้ ได้ใช้เครื่องวัดพลังงานของแสงเลเซอร์รุ่น Rm-6600 Universal Radiometer ผลิตภัณฑ์ของบริษัท Laser Precision Corp ประเทศสหรัฐอเมริกา

ขั้นตอนในการวัดพลังงานของแสงไนโตรเจนเลเซอร์

พลังงานของแสงไนโตรเจนเลเซอร์ขึ้นกับแรงดันไฟฟ้า

ในการทดลองนี้ได้ทำการวัดพลังงานของแสงไนโตรเจนเลเซอร์ที่ถูกปล่อยออกมาจากช่องเลเซอร์ เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าค่าต่าง ๆ กัน ในการวัดพลังงานที่แรงดันไฟฟ้าแต่ละค่าได้ทำการวัด 5 ครั้ง ดังนั้นต้องทำการวัดพลังงานของแสงเลเซอร์หลาย ๆ ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย ซึ่งผลการทดลองแสดงในตาราง 2 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของแสงไนโตรเจนเลเซอร์กับแรงดันไฟฟ้า แสดงในภาพประกอบ 20

พลังงานของแสงไนโตรเจนเลเซอร์ขึ้นกับความดันของแก๊สไนโตรเจน

ในการทดลองนี้ ได้ทำการวัดพลังงานของแสงไนโตรเจนเลเซอร์เมื่อปล่อยให้แก๊สไนโตรเจนเข้าไปในกล่องเลเซอร์ เพื่อผ่านเข้าไปในช่องเลเซอร์ที่มีความดันต่าง ๆ กัน ในการวัดพลังงานที่ความดันของแก๊สไนโตรเจนแต่ละค่าได้ทำการวัด 5 ครั้งเช่นกัน ดังนั้นค่าพลังงานที่วัดได้ที่รายงานในตาราง 3 จะเป็นค่าเฉลี่ยของพลังงาน นอกจากนั้นยังได้ทดลองใช้กระจกสะท้อนแสงวางทางด้านหลังของช่องเลเซอร์ เพื่อศึกษาดูว่าจะมีผลต่อค่าพลังงานของเลเซอร์ซึ่งปล่อยออกมาทางช่องเลเซอร์อีกด้านหนึ่งหรือไม่? (ซึ่งในการวัดพลังงานจะวางหัววัดพลังงานที่ช่องเลเซอร์ด้านนี้) ผลการวัดพลังงานของแสงไนโตรเจนเลเซอร์ที่ค่าความดันต่างๆ โดยมีกระจกสะท้อนแสงช่วย แสดงในตาราง 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของแสงไนโตรเจนเลเซอร์กับความดันของแก๊สไนโตรเจน แสดงในภาพประกอบ 21

ตาราง 2 ค่าพลังงานของแสงไนโตรเจนเลเซอร์ เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าค่าต่างๆ
กัน โดยความดันของแก๊สไนโตรเจนที่ผ่านเข้าสู่ช่องเลเซอร์คงที่เท่ากับ 3 ปอนด์/
ตารางนิ้ว

แรงดันไฟฟ้า (kV)	พลังงานของ ไนโตรเจนเลเซอร์ (μJ)	พลังงานเฉลี่ย (μJ)	0.1 % ของ $1/2 CV^2$ (μJ)
6.8	54	50	60
	60		
	40		
	43		
	53		
8.8	96	100	101
	100		
	104		
10.4	110	105	141
	101		
	101		
	111		
	100		
13.2	152	148	226
	145		
	151		
	145		
14.3	169	169	266

ตาราง 3 ค่าพลังงานของไนโตรเจนเลเซอร์ที่ความดันของแก๊สไนโตรเจนค่า
 ต่างๆกัน โดยค่าแรงดันไฟฟ้าคงที่เท่ากับ 11.1 กิโลโวลต์ และไม่มีกระจก
 สะท้อนทางด้านหลังของช่องเลเซอร์

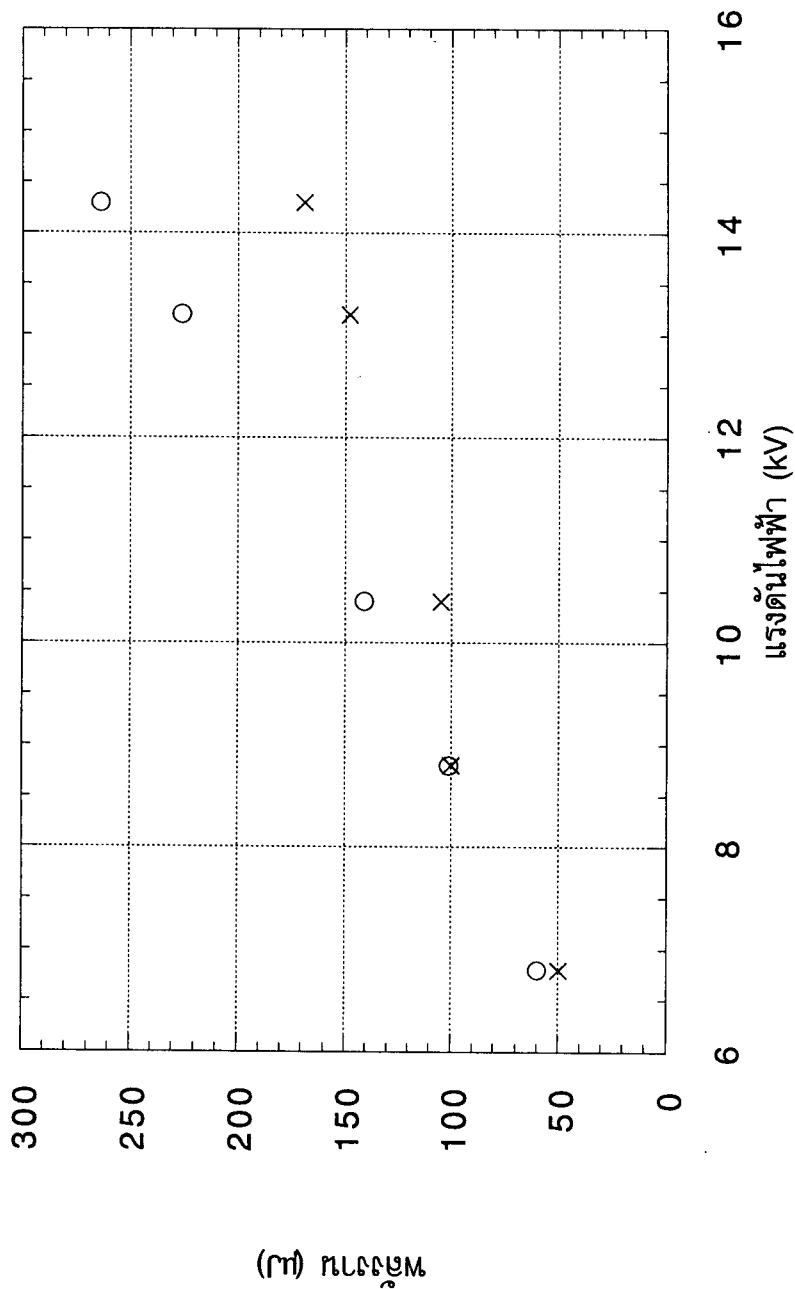
ความดันของแก๊ส (psi)	พลังงานของไนโตรเจนเลเซอร์ เมื่อไม่มีกระจกสะท้อน (mJ)
3	0.15
4	0.17
5	0.18
6	0.19
7	0.17
8	0.19
9	0.18
10	0.19
11	0.19
12	0.18
13	0.19
14	0.19
15	0.19
16	0.19

ตาราง 4 ค่าพลังงานของไนโตรเจนเลเซอร์ที่ความดันของแก๊สไนโตรเจนค่า
 ต่างๆ กัน โดยค่าแรงดันไฟฟ้าคงที่เท่ากับ 11.1 กิโลโวลต์ และมีกระจก
 สะท้อนทางด้านหลังของช่องเลเซอร์

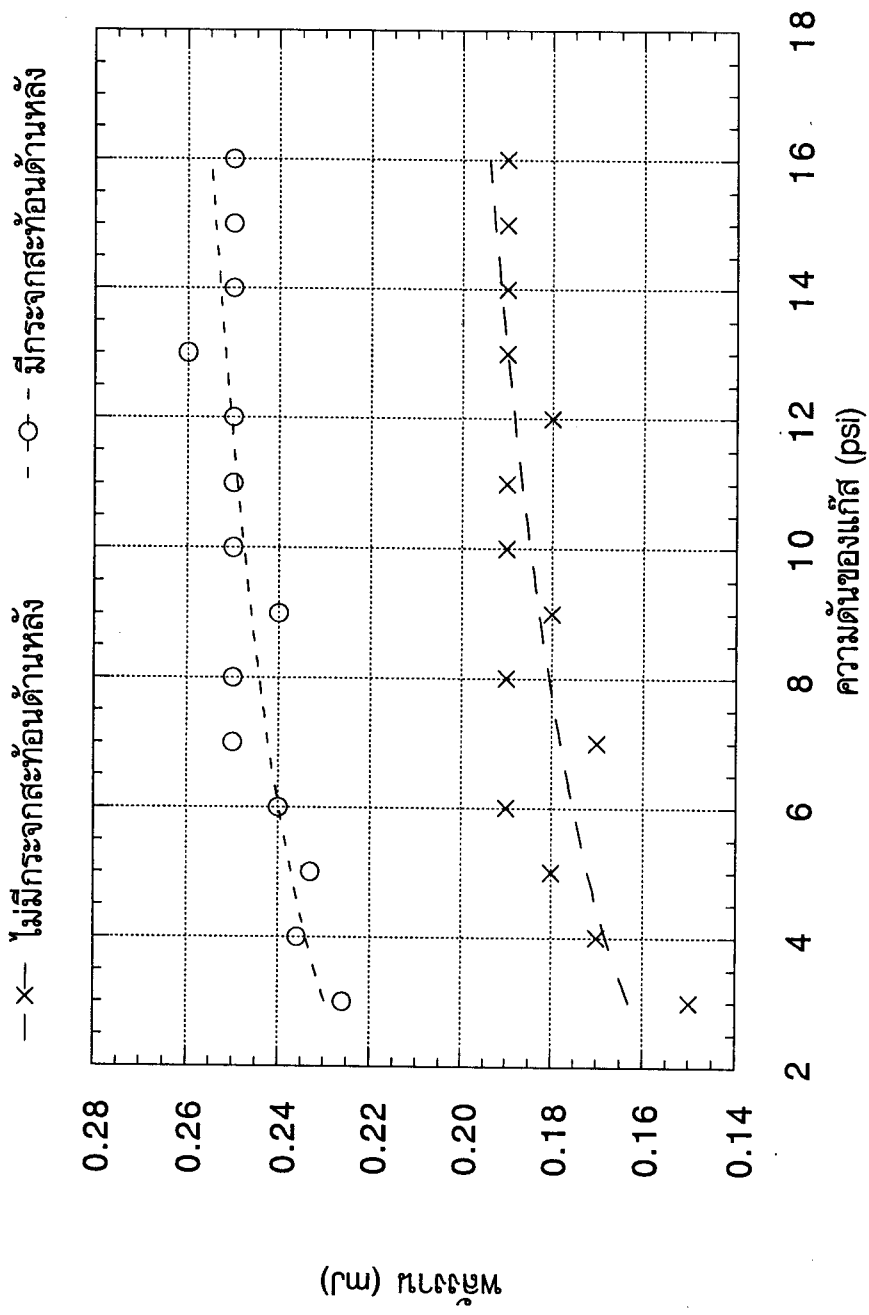
ความดันของแก๊ส (psi)	พลังงานของไนโตรเจนเลเซอร์เมื่อมีกระจกสะท้อนด้านหลัง (mJ)
3	0.226
4	0.236
5	0.233
6	0.240
7	0.250
8	0.240
9	0.250
10	0.240
11	0.250
12	0.250
13	0.260
14	0.250
15	0.250
16	0.250

○ จากการคำนวณ

× จากการทดลอง



ภาพประกอบ 20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของแสงไนโตรเจนเลเซอร์กับแรงดันไฟฟ้า



ภาพประกอบ 21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของแสงไนโตรเจนเลเซอร์กับความดันของแก๊สไนโตรเจน

อภิปรายผล

1. จากผลการวัดพลังงานของแสงไนโตรเจนเลเซอร์ที่แรงดันไฟฟ้าต่างๆ กัน ดังแสดงในตาราง 2 และภาพประกอบ 20 จะเห็นว่าการเพิ่มของพลังงานของแสงเลเซอร์เกือบจะเป็นเส้นตรง อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองตามที่รายงานในต่างประเทศ พบว่าประสิทธิภาพทางแสงของไนโตรเจนเลเซอร์ประมาณ 0.1% คุณนาเบนจิ และคนอื่น ๆ. (Kunabenchi and others. 1984:260) ดังนั้นถ้าคำนวณพลังงานที่สะสมอยู่ภายในระบบเลเซอร์ ($\frac{1}{2}C_2V^2$) โดยใช้ค่าแรงดันไฟฟ้าในตาราง 2 แล้วคำนวณหาพลังงานของแสงไนโตรเจนเลเซอร์ โดยคิดเป็น 0.1% ของ $\frac{1}{2}C_2V^2$ ซึ่งผลการคำนวณแสดงใน column สุดท้ายของตาราง 2

จากกราฟในภาพประกอบ 20 จะเห็นว่าพลังงานของแสงไนโตรเจนเลเซอร์ที่ได้จากการทดลองน้อยกว่าที่ได้จากการคำนวณ ดังนั้นถ้าคำนวณหาประสิทธิภาพทางแสงของไนโตรเจนเลเซอร์ที่เราสร้าง ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{พลังงานของแสงเลเซอร์ต่อพัลส์} \times 100 \%}{\text{พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ}}$$

จากตาราง 2 ที่ 10.4 กิโลโวลต์ วัดพลังงานของแสงไนโตรเจนเลเซอร์ ต่อ 1 พัลส์ ได้ 105 ไมโครจูล

$$\begin{aligned} \text{พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ (C}_2) &= \frac{1}{2} C_2 V^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 2.6 \times 10^{-9} \times (10.4 \times 10^3)^2 \\ &= 0.141 \text{ จูล} \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้นประสิทธิภาพ} = \frac{105 \times 10^{-6} \times 100}{0.141} = 0.075 \%$$

จะเห็นว่า ทีอีเอ ไนโตรเจนเลเซอร์ ที่สร้างในงานวิจัยนี้ มีประสิทธิภาพทางแสงต่ำกว่าของ ทีอีเอ ไนโตรเจนเลเซอร์ ที่สร้างในต่างประเทศเพียงเล็กน้อย คือประมาณ 0.025 %

2. จากผลการทดลองในตาราง 3 พบว่าจะเกิดการปลดปล่อยแสงเลเซอร์จากช่องเลเซอร์ เมื่อความดันของแก๊สไนโตรเจนมีค่าตั้งแต่ 3 ปอนด์/ตารางนิ้วขึ้นไป เมื่อเพิ่มความดันของแก๊สไนโตรเจนจะเห็นว่าพลังงานของแสงไนโตรเจนเลเซอร์จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเริ่มมีค่าคงที่ เมื่อความดันเข้าใกล้ความดันบรรยากาศ คือ 14.7 ปอนด์/ตารางนิ้ว

3. จากการทดลองวัดพลังงานของแสงไนโตรเจนเลเซอร์ เมื่อมีกระจกสะท้อนแสง และไม่มีกระจกสะท้อนแสงช่วย ดังนั้นภาพประกอบ 21 จะเห็นว่าเมื่อมีกระจกสะท้อนแสงช่วย พลังงานของแสงไนโตรเจนเลเซอร์จะเพิ่มขึ้นประมาณ 25 %

บทที่ 5

สรุป และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้ สามารถสร้างไนโตรเจนเลเซอร์ชนิดกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ โดยใช้วัสดุภายในประเทศทั้งหมดได้สำเร็จ โดยเลเซอร์ที่สร้างมีประสิทธิภาพทางแสงประมาณ 0.075 % ซึ่งน้อยกว่าของเลเซอร์ที่สร้างในต่างประเทศเพียงเล็กน้อย ยิ่งกว่านั้นพลังงานสูงสุดของแสงเลเซอร์ที่ได้จากงานวิจัยนี้สูงถึง 250 ไมโครจูล ซึ่งเพียงพอสำหรับใช้เป็นต้นกำเนิดแสงในการกระตุ้นสารเคมีตาย เพื่อผลิตตายเลเซอร์ได้ ดังนั้นผลจากงานวิจัยนี้จะสามารถนำไปสู่การวิจัยและพัฒนาตายเลเซอร์ชนิดกระตุ้นด้วยไนโตรเจนเลเซอร์ต่อไปในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยครั้งนี้มีข้อที่ควรปรับปรุง เพื่อให้ได้ระบบเลเซอร์ที่ดีขึ้น ดังต่อไปนี้

1. ควรใช้หลอดไทรatron (thyatron) แทนสปาร์กแกปซึ่งสร้างเอง เพราะสปาร์กแกปทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าตอนเกิดเลเซอร์ไม่คงที่ และมีออกไซด์เกาะที่ขั้วสปาร์กแกป เมื่อใช้เป็นระยะเวลาหนึ่ง
2. ควรเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้ได้ถึงประมาณ 30 กิโลโวลต์ เพื่อให้สูงพอที่จะจ่ายให้แก่อิเล็กทรอนิกส์ เมื่อระยะระหว่างอิเล็กโทรดเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ได้พลังงานของแสงไนโตรเจนเลเซอร์เพิ่มขึ้นด้วย
3. การสร้างตัวเก็บประจุชนิดจำกัดเรื่อง การทนต่อแรงดันไฟฟ้าแรงสูงเกิน 15 กิโลโวลต์ ควรจัดหาซื้อตัวเก็บประจุที่มีค่าความจุสูง แต่มีความเหนียวแน่นต่ำ มาต่อขนานกับแกนตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน
4. ควรปรับปรุงกล่องนำแก๊สให้มีทางเข้า 2 ทาง เพื่อการกระจายของแก๊สอย่างสม่ำเสมอ นอกจากนั้นควรมีฝาครอบขั้วไฟฟ้า เพื่อให้มีการสูญเสียแก๊สไนโตรเจนน้อยลง

5. ควรใช้สารเคมีที่ไวต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต (PPO diphenyloxazole, $C_{15}H_{11}NO$) ในการทดสอบแสงเลเซอร์

6. ควรจะวัดรูปร่างของพัลส์ และความกว้างของพัลส์ของแสงเลเซอร์ที่ได้ เนื่องจากในงานวิจัยนี้ยังไม่ได้ทำการวัด เพราะยังขาดหัววัดแสงที่เร็วพอที่จะวัดพัลส์ของแสงไนโตรเจนเลเซอร์ได้

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

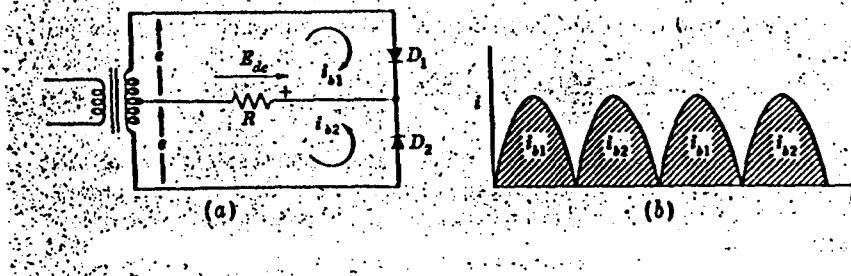
- ชัยวิทย์ ศิลาวัชานาไย และคนอื่น ๆ. การประชุมวิชาการ ว.ท.ท. ครั้งที่ 15. มหาวิทยาลัย เชียงใหม่. 167 ; 2532.
- บัณฑิต ณ.ลำนุ่น. การประชุมวิชาการ ว.ท.ท. ครั้งที่ 10. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 66 ; 2527.
- ประสาทร จรุงจา และประเสริฐ ไกรสิงห์เดชา. การประชุมวิชาการ ว.ท.ท. ครั้งที่ 13. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. 158 ; 2530.
- ประสาทร จรุงจา, พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ และพิษณุ เจริญสมศักดิ์. วารสารนิทรรศการเทคโนโลยี ครั้งที่ 6. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 30 ; 2534.
- วุฒิ พันธุมานวิน, พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ และพ่ายพ์ เรื่องแก้ว. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เสนอต่อสภาวิจัยแห่งชาติ. 14 ; 2529.
- วุฒิ พันธุมานวิน. เลเซอร์ฟิสิกส์. มิตรนราการพิมพ์ กทม. 2532.
- วรรณพงษ์ เจริญโพธิ์ และชนากร โอสถจันทร์. การประชุมวิชาการ ว.ท.ท. ครั้งที่ 16. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 25 ; 2533.
- สุรชัย ยิ้มวิสัย. เอกสารวิจัยระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต วทบ. (ฟิสิกส์). สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2524
- Bell, W.E. Applied Physics Letters 4 : 34 ; 1964.
- Chang, T.Y. Review of Scientific Instruments. 44 : 405-407 ; 1973.
- Gordon, J.P. and others. Physics Review. 99 : 1264 ; 1955.
- Hazen, Fundamental of D.C. and A.C. Circuits. 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. Crouch. Spectrochemical Analysis. Singapore : Prentice-Hall, 1988.
- Javan, A. and others. Physics Review Letters. 6 : 106 ; 1961.
- Kunabenchi, R.S., M.R. Corbal and Sradatti. Progress in Quantum Eletronics. 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 Kurtevs. 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.
- Willetts. 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

ภาคผนวก ก.
แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูง

แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง (High voltage power supply) ชนิดกระแสตรง ปรับค่าได้ตั้งแต่ 0-15 กิโลโวลต์ ใช้หลักของวงจรเรียงกระแสชนิดเต็มคลื่นไรเดอร์ (Ryder, 1967:506)



ภาพประกอบ 22 วงจรเรียงกระแส

$$\text{คำนวณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ } E_{dc} = \frac{2E_m}{\pi}$$

E_{dc} = แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

E_m = ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด

จะได้ $E_{dc} = \sqrt{2} E_{r.m.s.}$ ไรเดอร์ (Ryder; 1967:513)

$E_{r.m.s.}$ = ค่าแรงดันยังผล

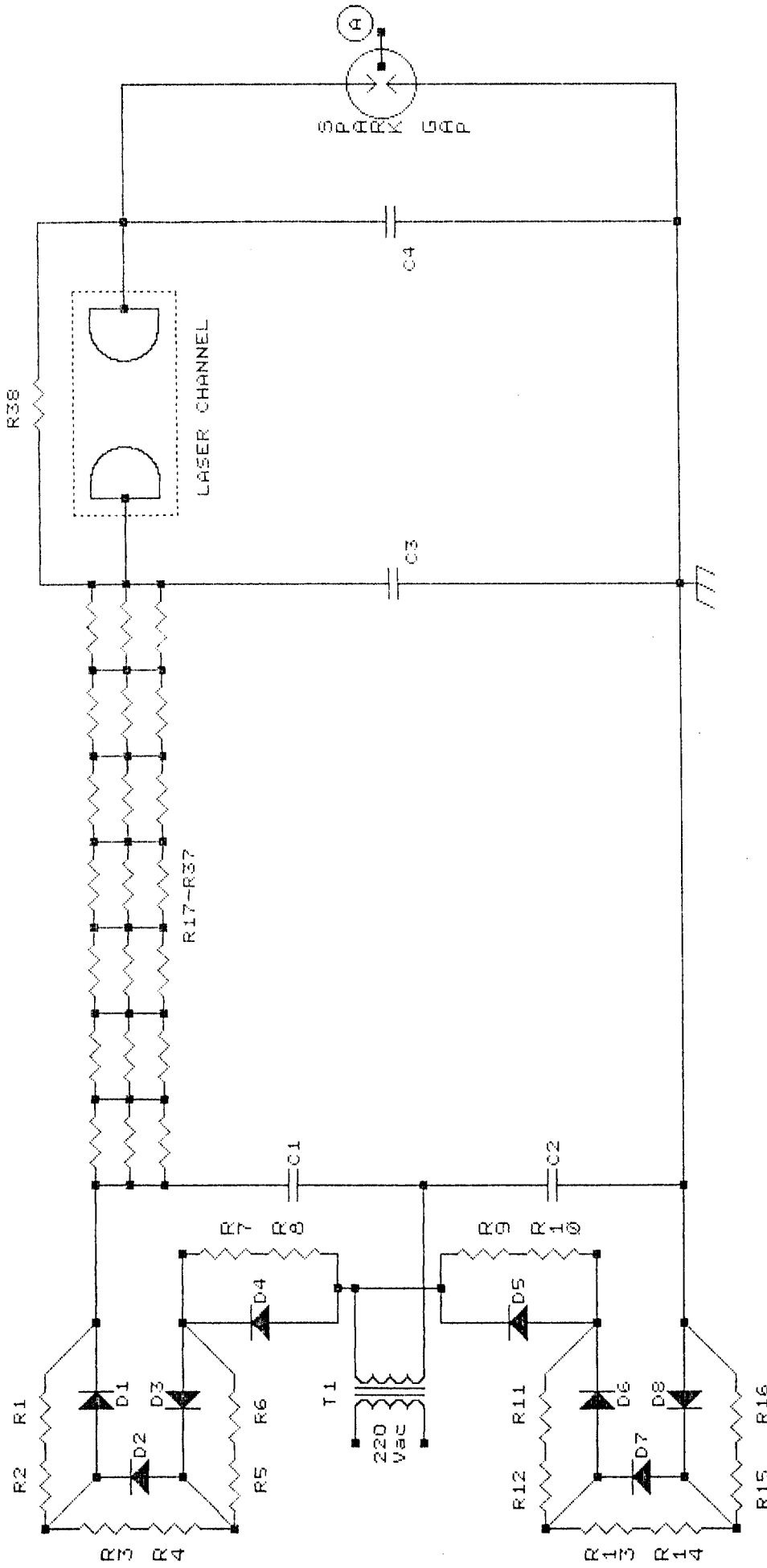
ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีค่าเป็น $\sqrt{2}$ เท่าของค่าแรงดันยังผล เมื่อมีการกรองกระแสด้วยตัวเก็บประจุ

การทำงานของวงจร

เมื่อจ่ายไฟ $220 V_{ac}$ ให้กับ T_1 ซึ่งเป็นหม้อแปลงจ่ายกำลังแรงดันสูง (high voltage power transformer) จะได้แรงดันออกมา $5,000 V_{ac}$ และป้อนเข้าสู่วงจร ทวีแรงดันเป็น 2 เท่า (voltage doubler) ซึ่งในขณะเดียวกันก็เปลี่ยนไฟกระแสสลับให้เป็นไฟกระแสตรงด้วย โดยจะประกอบด้วย D_1-D_8 และ C_1-C_2 สำหรับ R_1-R_{10} เป็นวงจรแบ่งแรงดัน (voltage divider) ให้ตกคร่อมไดโอดแต่ละตัวเท่ากัน ส่วน $R_{17}-R_{37}$ ต่อรวมกันเป็นตัวจำกัดกระแสของแหล่งจ่ายกำลัง ซึ่งในขณะนี้มีแรงดันประมาณ $7,000 V_{ac}$ ซึ่งแรงดันนี้จะประจุ (charge) C_3 ซึ่งเป็นคาปาซิเตอร์ที่เก็บพลังงานหลัก (bank capacitor) ทำให้แรงดันสุดท้ายที่ตกคร่อม C_3 มีค่าเท่ากับแรงดันจากแหล่งจ่ายกำลังส่วน R_{30} ทำหน้าที่ประจุไฟให้แก่ C_4 ซึ่งเป็น dump capacitor และแรงดันสุดท้ายที่ตกคร่อม C_4 ก็มีค่าเท่ากับแรงดันจากแหล่งจ่ายกำลังเช่นเดียวกัน ในขณะที่ช่องกำเนิดเลเซอร์ (laser channel) จะไม่มีแรงดันตกคร่อมเนื่องจากแรงดันที่ตกคร่อม C_3 และ C_4 มีค่าเท่ากัน ซึ่งระบบกำเนิดเลเซอร์จะอยู่ในสภาวะพร้อมที่จะทำงานแล้ว

สำหรับวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นแรงดันสูงจะประกอบด้วย D_9-D_{10} และ C_5-C_6 ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันจาก $220 V_{ac}$ ให้เป็นไฟกระแสตรงโดยมีแรงดันประมาณ $620 V_{ac}$ แล้วประจุ C_7 ซึ่งเป็น trigger capacitor โดยผ่านตัวจำกัดกระแส R_{39} และ T_2 เป็นหม้อแปลงกำเนิดสัญญาณกระตุ้นแรงดันสูง (high voltage trigger transformer) C_8 เป็น blocking capacitor โดยทำหน้าที่กั้นไฟตรงที่มาจากสปาร์กแก๊ป (spark gap) ส่วน SCR ทำหน้าที่คายประจุจาก C_7 ผ่าน T_2 ด้านปฐมภูมิ (primary) เมื่อได้รับสัญญาณทริก (trig) จากวงจรทริกอัตโนมัติ (auto trigger) ซึ่งประกอบด้วย IC_1 , D_{11} , C_9-C_{10} , VR และ $R_{40}-R_{42}$ โดยมี LED_2 เป็นตัวแสดงผลว่า SCR ได้รับสัญญาณทริกหรือไม่ สำหรับ D_{16} ทำหน้าที่จำกัดแรงดันย้อนกลับของ T_2 ส่วน $D_{12}-D_{17}$, $C_{11}-C_{14}$, IC_2 และ T_3 ทำงานร่วมกันเป็นแหล่งจ่ายกำลังให้กับวงจรทริกอัตโนมัติ ส่วน $R_{43}-R_{44}$, C_{15} , DIAC และ LED_1 ทำงานร่วมกันเป็นวงจรเตือนให้ระวังไฟฟ้าแรงดันสูงโดยจะกระพริบตลอดเวลา

เมื่อจ่ายไฟ 220 V_{ac} ให้กับวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นแรงดันสูงแล้ว วงจร
 ทริกออตโนมิตีจะส่งสัญญาณทริกไปยัง SCR ซึ่งจะสังเกตเห็น LED₂ กระพริบ SCR
 จะนำกระแสและคายประจุจาก C₇ ผ่าน T₂ ด้านปฐมภูมิ(primary) ซึ่งจะทำให้
 เกิดสัญญาณกระตุ้นแรงดันสูงประมาณ 30,000 V ที่ด้านทุติยภูมิ (secondary)
 ของ T₂ ที่จุด A ซึ่งเป็นขั้วสำหรับกระตุ้นให้สปาร์คแก่พ่นากระแส ทำให้แรงดันที่
 ตกคร่อม C₄ ลดลงสู่ระดับกราวด์เนื่องจากถูกคายประจุลงกราวด์ และในขณะ
 ช่องกำเนิดเลเซอร์จะมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับแรงดันจากแหล่งจ่ายกำลัง ทำให้
 เกิดการกระตุ้นแก๊สไนโตรเจน ซึ่งเป็นสารตัวกลางเลเซอร์เกิดเป็นเลเซอร์แบบ
 พัลส์ในที่สุด สำหรับความถี่ในการทริกสามารถปรับได้โดย VR ที่อยู่ในวงจรทริก
 ออตโนมิตี



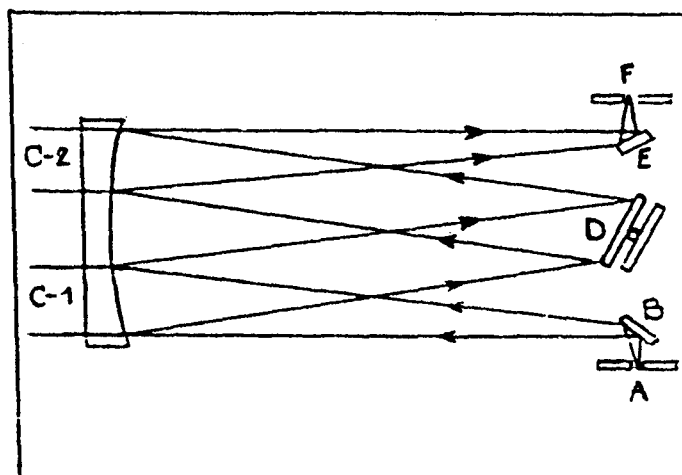
ภาพประกอบ 24 โดอะแกรมของชุดจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

11/14/93	
Title N2-LASER HIGH VOLTAGE POWER SUPPLY	
Size B	Document Number REV
Date: January 1, 1980	Sheet 1 of 1

ภาคผนวก ข
โมโนโครมาเตอร์

โมนโครมาเตอร์ (monochromater) (สรุขัย; 2524:15) เครื่องมือที่ใช้วัดความยาวคลื่นของไนโตรเจนเลเซอร์ คือโมนโครมาเตอร์ ของบริษัทฟิชเชอร์ ซายแอนทิฟิก (Fisher Scientific รุ่น J.H. 82:410) ซึ่งใช้หลักการของเกรตติงเป็นตัวแยกแสง

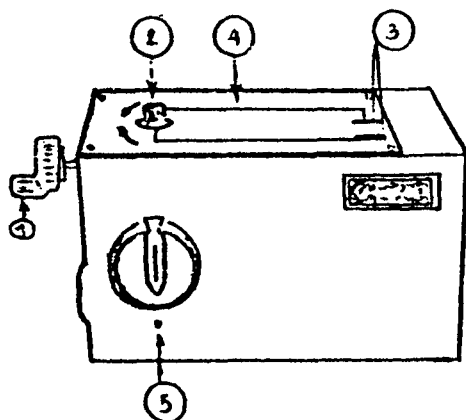
หลักการทำงานของเครื่องมือ แสดงดังภาพประกอบ 25



ภาพประกอบ 25 แสดงการทำงานภายในเครื่องโมนโครมาเตอร์

- A = ช่องเล็กยาวให้แสงเข้า
- F = ช่องเล็กยาวให้แสงออก
- D = เกรตติง
- C = กระจกสะท้อนตัวใหญ่
- B, E = กระจกสะท้อนทำมุม 45°

เมื่อแสงเดินทางผ่านช่องเล็กยาว A จะกระทบกับกระจก B ซึ่งทำมุม 45° แล้วสะท้อนไปสู่กระจกตัวใหญ่ C-1 แล้วสะท้อนไปสู่เกรตติง D และกระจายไปสู่กระจกที่ C-2 อีกครั้ง แสงแต่ละสีจะรวมกันแล้วสะท้อนที่กระจก E ไปสู่ช่องเล็กยาว F ช่องเล็กยาว F และ A วางในแนวเส้นตรงเดียวกันแต่หันไปคนละทาง เกรตติง D ประกอบด้วยเกรตติง 2 อัน หันหลังประกบกัน ซึ่งจะเลือกใช้ได้โดยหมุนปุ่มเลือกเกรตติงที่ตัวเครื่องโมนโครมาเตอร์ แสงที่ออกมาทางช่องเล็กยาว F อาจดูด้วยตาเปล่า ถ้าเป็นแสงที่มองเห็นธรรมชาติไม่ใช่แสงเลเซอร์ ถ้าเป็นแสงเลเซอร์ ควรทดสอบด้วยเครื่องตรวจสอบโพตอน หรือในกรณีของแสงไนโตรเจนเลเซอร์ใช้กระดาษเรืองแสงที่มีความไวต่อแสงอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งถ้าใช้เครื่องตรวจสอบโพตอน ก็อาจต่อเข้ากับเครื่องนับต่อไป



ภาพประกอบ 26 แสดงรูปร่างของเครื่องโมนโครมาเตอร์

- 1) ปุ่มเลือกความยาวคลื่น
- 2) ปุ่มเลือกเกรตติง
- 3) ช่องอ่านความยาวคลื่น
 - high 0-900 นาโนเมตร
 - low 0-500 นาโนเมตร
- 4) ฝาครอบ
- 5) สกรูตรึงกระจกซึ่งเอียง 45°
(กระจก B หรือ E ในภาพประกอบ 25)

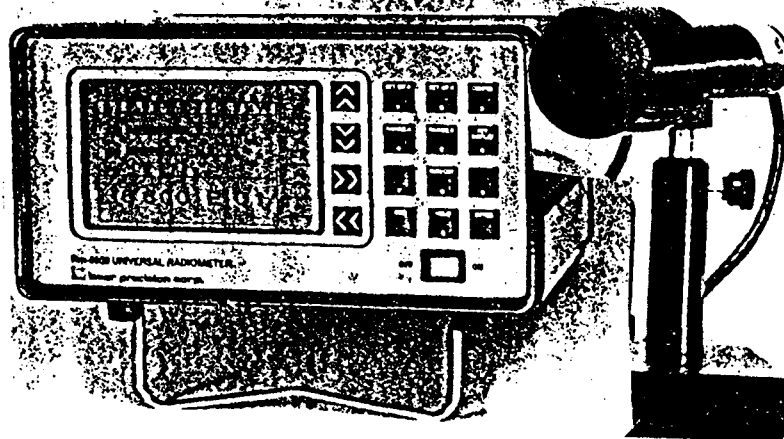
การอ่านค่าความยาวคลื่นต้องคูณด้วยแฟกเตอร์ที่กำหนดไว้ในตาราง

ตาราง 5 แสดงค่าแฟกเตอร์ที่ใช้คูณกับค่าที่อ่านได้สำหรับแต่ละเกรตติง

จำนวนร่องของเกรตติง (ร่อง/มิลลิเมตร)	แฟกเตอร์ที่ใช้คูณกับค่าที่อ่านได้
2360	1 (อ่านที่ช่อง low)
1180	2 (อ่านที่ช่อง low)
590	2 (อ่านที่ช่อง high)
295	4 (อ่านที่ช่อง high)

ภาคผนวก ค
มาตรฐานพลังงานรุ่น Rm-6600

มาตรวัดพลังงาน (Joule meter) ในการวิจัยครั้งนี้ใช้มาตรวัดพลังงานของบริษัท เลเซอร์พรีซิชั่นคอป (Laser precision corp.) รุ่น Rm-6600 พร้อมด้วยหัววัด RjP-743 เป็นชนิดไพโรอิเล็กทริก (Pyroelectric) มีช่วงการวัดตั้งแต่อัลตราไวโอเล็ต ถึงย่านอินฟราเรดที่ไกลออกไป ดังภาพประกอบ 27



ภาพประกอบ 27 มาตรวัดพลังงาน Rm-6600 พร้อมด้วยหัววัด RjP-734

ข้อมูลจำเพาะของหัววัดแบบ RjP-734

การตอบสนองต่อสเปกตรัม	0.18-3 μm (0.5%)
	3.0-16 μm (-4.0%)
พัลส์ของพลังงานที่วัดได้สูงสุด	0.4 J/cm^2
ความหนาแน่นกำลังสูงสุดต่อพัลส์	1 MW/cm^2
พื้นที่ของเครื่องวัด	5.0 cm^2
เส้นผ่าศูนย์กลางของเครื่องวัด	25 mm
ความหนาแน่นกำลังเฉลี่ยสูงสุด	2 W/cm
ความกว้างของพัลส์สูงสุด	1msec.
อัตราของพัลส์สูงสุด	40 pps.
ระดับคลื่นรบกวนที่สมมูล	1×10^{-5} J
มิติในหน่วยของนิ้ว	2.8 x 8
(เส้นผ่าศูนย์กลาง x ความลึก)	

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ นาวาอากาศเอก ไพโรจน์ ช่อสกุล ไตรรัตน์
 เกิดวันที่ 2 มีนาคม พุทธศักราช 2489
 สถานที่เกิด ต.ลำโรงใต้ อ.พระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ
 สถานที่อยู่ปัจจุบัน 296/6 ซอยวัดด่านลำโรง ต.ลำโรงเหนือ
 อ.เมือง จ.สมุทรปราการ โทร.394-4128
 สถานที่ทำงาน ภาควิชาฟิสิกส์กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ
 แขวงคลองถนน เขตบางเขน กทม.
 โทร. 534-3697

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2506	มัธยมศึกษาตอนปลาย	จากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
พ.ศ. 2513	วท.บ. (วิชาเอกฟิสิกส์)	จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2536	วท.ม. (วิชาเอกฟิสิกส์)	จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

การสร้างไนโตรเจนเลเซอร์ชนิดกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ

บทคัดย่อ

ของ

นาวาอากาศเอก ไพโรจน์ ไตรรัตน์

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอกฟิสิกส์

มีนาคม 2537

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อออกแบบและสร้างไนโตรเจนเลเซอร์ชนิด กระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ โดยใช้วัสดุภายในประเทศ ใช้อิเล็กโทรด ทำด้วยอลูมิเนียม แต่ละแท่งมีขนาดกว้าง 10 มิลลิเมตร ยาว 400 มิลลิเมตร และ วางห่างกัน 1.45 มิลลิเมตร แก๊สไนโตรเจนถูกใส่เข้าไปยังช่องเลเซอร์ระหว่าง อิเล็กโทรด โดยผ่านรูเล็ก ๆ จากทางตอนบนของช่องเลเซอร์ เลเซอร์ที่สร้างจะ ถูกกระตุ้นโดยวงจรบัลลิสต์ ซึ่งประกอบด้วยตัวเก็บประจุแผ่นขนาน C_1 , C_2 ที่ ทำด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอล์ย และแผ่นไมลาร์ ตัวเก็บประจุจะถูกประจุ โดยชุดจ่าย ไฟแรงดันสูงกระแสตรงขนาด 14 กิโลโวลต์ ความยาวคลื่นของแสงไนโตรเจน เลเซอร์หาได้โดยใช้โมโนโครมาเตอร์ และพบว่าเท่ากับ 337 นาโนเมตร จาก การวัดพลังงานของแสงไนโตรเจนเลเซอร์ที่แรงดัน 11.1 กิโลโวลต์ ได้ 190 ไมโครจูล และเมื่อใส่กระจกสะท้อนแสงเข้าไปทางด้านหลังของช่องเลเซอร์ ปรากฏว่าวัดพลังงานได้ 250 ไมโครจูล นอกจากนั้นยังได้ทำการวัดพลังงานของ แสงไนโตรเจนเลเซอร์ที่ความดันต่าง ๆ ของแก๊สไนโตรเจนด้วย

A CONSTRUCTION OF A TRANSVERSELY EXCITED AT ATMOSPHERIC
PRESSURE NITROGEN LASER

AN ABSRACT

BY

GROUP CAPTAIN PHAIROT TRIRAT

Presented in partial fulfillment of the requirements for the
Master of Science degree in Physics
at Srinakharinwirot University

March 1994

The purpose of this research is to design and construct a transversely excited at atmospheric pressure nitrogen laser by utilizing local materials. The electrodes are made of aluminum and placed in parallel with 1.45 mm apart to form the laser channel of $1.45 \times 10 \times 400 \text{ mm}^3$. Nitrogen gas is flowed into the laser channel through series of holes from the top of electrodes. The laser is excited by the Blumlein circuit consists of parallel-plate capacitors capacitors C_1 , C_2 , made of aluminum foil and mylar sheets. The capacitors are charged by a d.c. high voltage power supply of 14 kV. The wavelength of nitrogen laser light is observed, using a monochromator, to be 337 nm. The output power of the pulsed nitrogen laser is measured to be $190 \mu\text{J}$ at a charging voltage of 11.1 kV. When a rear mirror is added, the output power is measured to be $250 \mu\text{J}$. The nitrogen pressure dependence of the output power is also measured.