

แหล่งกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงสำหรับ
ไนโตรเจนเลเซอร์



นายคณิต เย็นวิทย์ 41054005
นางสาวจิรัชฌา อิศรางกูร ณ อยุธยา 41054009



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน... 43951
วัน, เดือน, ปี... 18 ต.ค. 2545

b.....
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
คณะ วิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

High Voltage Power Supply for
Nitrogen 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
2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อ โครงการพิเศษ	แหล่งกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงสำหรับในโตรเจนเลเซอร์		
นักศึกษา	นายคณิต	เย็นวิชัย	41054005
	นางสาวจิรัชมา	อิสรางกูร ณ อยุธยา	41054009
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.วราวุฒิ	เถาถัดดา	
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์		
ปีการศึกษา	2544		

บทคัดย่อ

โครงสร้างของระบบในโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ ประกอบด้วยวงจรมัลติไลน์และแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ซึ่งจากเดิมแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงสามารถปรับค่าได้ในช่วง 0-15 กิโลโวลต์ จากผลการทดลองพบว่า เมื่อทำการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงเพิ่มมากขึ้น ความเข้มของลำแสงเลเซอร์ที่ออกมาจะมีค่ามากขึ้นตามแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเพิ่มเข้าไป ในโครงการพิเศษนี้จะทำการพัฒนาแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงให้สามารถปรับค่าได้เพิ่มมากขึ้นในช่วง 0-25 กิโลโวลต์ ในส่วนของวงจรมัลติไลน์จะสร้างขึ้นมาจากแผ่นอลูมิเนียมและแผ่นไมลาร์ซึ่งทำหน้าที่เป็นเพลทและโคอีเล็กทริกของตัวเก็บประจุแบบเพลทขนาน โดยใช้แผ่นอะคริลิกปิดทับแผ่นอลูมิเนียมเพื่อให้แผ่นอลูมิเนียมติดแนบสนิทกับแผ่นไมลาร์ มีขั้วไฟฟ้าของช่องเลเซอร์และสปาร์กแกปทำจากโลหะสแตนเลส รวมทั้งมีวงจรควบคุมจังหวะการเกิดพัลส์ของแสงเลเซอร์ซึ่งใช้ความถี่ในช่วง 0.5-10 เฮิร์ต

Special Project Title	High Voltage Power Supply for Nitrogen Laser		
Name	Kanit	Yenvichai	41054005
	Jiratcha	Isarangura	41054009
Special Project Advisor	Ass.Prof. Dr.Warawoot Thaoladda		
Department	Applied Physics		
Academic Year	2544		

Abstract

The structure of Transverse Excitation Nitrogen laser at atmosphere is supported by blumlein circuit and high DC voltage power supply. Previous power supply can adjust in the range of 0 -15 kilovolts. In the experiment , if higher DC voltage is supplied , the irradiance of nitrogen laser beam will increase. In addition , the power supply can adjust in the range of 0-25 kilovolts. Part of blumlein circuit is made of aluminium and milar that function as plate and dielectric in capacitor respectively. The electrode and spark gap are stanless metal. Pulse Generator can be operated in the range of 0.5 –10 Hertz.

สารบัญ

	หน้า
<u>บทที่ 1</u>	
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<u>บทที่ 2</u>	
2.1 ทฤษฎีทั่วไปของการเกิดเลเซอร์	4
2.1.1 Einstein Relations	4
2.1.2 Stimulated Absorption	6
2.1.3 Spontaneous Emission	7
2.1.4 Stimulated Emission	7
2.2 งานวิจัยและหลักการของไนโตรเจนเลเซอร์	8
<u>บทที่ 3</u>	
3.1 การออกแบบและสร้างชุดไนโตรเจนเลเซอร์	11
3.2 ส่วนประกอบของไนโตรเจนเลเซอร์	
แบบกระตุ้นตามขวาง	12
3.2.1 ขั้วไฟฟ้าและช่องเลเซอร์	12
3.2.2 ระบบจ่ายไฟแรงดันสูง	13
3.2.3 ตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน	13
3.2.4 ชุดวงจรควบคุมจังหวะการเกิด	
ไนโตรเจนเลเซอร์	17
3.2.5 ระบบจ่ายแก๊สไนโตรเจนเข้าช่องเลเซอร์	19
3.3 ขั้นตอนการประกอบระบบจ่ายไฟกระแสตรงแรงดันสูง	19
3.4 ขั้นตอนการประกอบระบบไนโตรเจนเลเซอร์	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4	
4.1 การทดสอบการทำงานของโนโตรเจนเลเซอร์แบบ กระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ และศึกษา สมบัติของแสงเลเซอร์	21
4.1.1 ทดสอบการทำงานของโนโตรเจนเลเซอร์แบบ กระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ	21
ผลการทดลอง	22
ตารางผลการทดลองการเกิดแสงเลเซอร์ที่ระยะห่างของ ขั้วอิเล็กโตรดและค่าอัตราการไหลของแก๊สต่าง	24
4.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดัน สูงที่ป้อนให้กับโนโตรเจนเลเซอร์(Applied Voltage)กับ ค่าความเข้มแสงที่อัตราการไหลของแก๊สโนโตรเจนค่าต่างๆ	32
ผลการทดลอง	34
ตารางผลการทดลองการวัดค่าความเข้มของแสงเลเซอร์	35
บทที่ 5	
5.1 สรุปผล	36
5.2 ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ	37
เอกสารอ้างอิง	39

สารบัญรูป

	หน้า
2.1 Einstein Relations	4
2.2 Population Inversion	6
2.3 Stimulated Absorption	6
2.4 Spontaneous Emission	7
2.5 Stimulated Emission	8
2.6 ระดับพลังงานในโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจน	9
2.7 ระดับพลังงาน 3 ระดับของโมเลกุลไนโตรเจน ให้แสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 337.1 nm.	10
3.1 วงจรบดัมไลน์	12
3.2 วงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง	13
3.3 ตัวเก็บประจุแผ่นขนานโดยใช้ไมลาร์เป็น ไดอิเล็กทริกวางอยู่ระหว่างอลูมิเนียม พอลี 2 แผ่นซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า	14
3.4 วงจรพัลส์ฟอร์มมิ่ง	15
3.5 ภาพตัดขวางของขั้วไฟฟ้าซึ่งวางอยู่บน ตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 โดย C_1 และ C_2 ใช้แผ่นไมลาร์แผ่นเดียวกัน	16
3.6 วงจรควบคุมจังหวะการเกิดไนโตรเจนเลเซอร์	17
3.7 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ความถี่ 0.5 – 10 เฮิร์ต	18
3.8 ลักษณะสัญญาณขาออก	18
3.9 รูปร่างและขนาดของท่อไนโตรเจน	19
3.10 ระบบจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง	20
3.11 ภาพถ่ายระบบไนโตรเจนเลเซอร์แบบ กระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ	21
4.1 แสดงถึงชุดจุดระเบิดหัวเทียน	22
4.2 แสดงถึงลักษณะการสปาร์กที่ขั้วไฟฟ้า	22
4.3 แสดงถึงลักษณะของจุดแสงไนโตรเจนเลเซอร์ที่บันทึก ภาพที่ระยะห่างของฉาก 20 เซนติเมตร	23

4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
ที่ป้อนเข้าไปในระบบกับความเข้มแสง เมื่อวางตัวตรวจจับ
ทางแสง (DET200) ห่าง 3 เมตร ระยะห่างของเสาไว้รูกแกว
เท่ากับ 12.451 มิลลิเมตร ระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรด
เท่ากับ 2.794 มิลลิเมตร

34



บทที่ 1

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมา ที่มาของปัญหาและแนวทางการแก้ปัญหาทฤษฎี วัตถุประสงค์ของการทำ วิธีการ โดยย่อและประโยชน์ที่ได้รับจากการทำ

1.1 ความเป็นมา

เลเซอร์ (LASER) ย่อมาจากคำว่า Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation คุณสมบัติที่โดดเด่นของเลเซอร์มีดังนี้คือ 1. เป็นแสงที่มีความยาวคลื่นเพียงค่าเดียว (Monochromaticity) เนื่องจากเลเซอร์ได้จากการ transit จากชั้นพลังงานเดียวกันโดยการถูกกระตุ้น ดังนั้นแสง (photon) ทุกตัวจะมีความยาวคลื่นและความถี่เท่ากัน 2. ความเป็นอาพันธ์ (Coherence) เลเซอร์ประกอบไปด้วยโฟตอนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากอะตอมในเวลาเดียวกัน ดังนั้นเฟสของแสงจึงเท่ากันทั้งระยะและเวลา (Spatial & Temporal) 3. Directionality นั่นคือแสงเลเซอร์ที่เปล่งออกมามีทิศทางที่แน่นอน และมีการลู่ออก (Divergence) ต่ำ เมื่อเทียบกับกับแสงอื่นทั่วไป 4. Brightness คือแสงเลเซอร์จะมีความเข้มสูงมาก และยังมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มของลำแสงตามระยะทางน้อย ดังนั้นจึงได้มีการนำแสงเลเซอร์ไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆมากมาย เช่น ทางด้านการแพทย์และทางด้านงานอุตสาหกรรม ด้วยคุณสมบัติประโยชน์ของเลเซอร์ในหลายๆด้าน จึงมีคำกล่าวที่ว่า “ Laser is masterpiece and the best architecture of light human ever had ”

ในปี ค.ศ. 1917 Albert Einstein ได้ตั้งสมมติฐานของความเป็นไปได้ที่จะเกิดกระบวนการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น (Stimulated Emission) หลังจากสงครามโลกครั้งที่ 2 ก็ได้มีนักวิทยาศาสตร์หลายคนพยายามทดลองเพื่อพิสูจน์สมมติฐานของกระบวนการเปล่งแบบถูกกระตุ้นของไอซ์สไตน์ จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1951 C.H. Towne ได้แนวคิดในทางปฏิบัติเพื่อให้เกิดกระบวนการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น และในปี ค.ศ. 1953 ได้มีการประดิษฐ์ MASER เป็นเครื่องแรกของโลกโดยอาศัยหลักการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นให้แสงออกมาในย่านของไมโครเวฟ ในปี ค.ศ. 1960 T.H. Maiman ได้สร้างเลเซอร์ทับทิม (Ruby Laser) ซึ่งให้แสงสีชมพูที่มีความยาวคลื่น 694.3 นาโนเมตรสำเร็จเป็นเครื่องแรก ต่อมาได้มีการประดิษฐ์คิดค้นและสร้างเลเซอร์ชนิดต่างๆออกมามากมาย โดยจะเรียกชื่อตามตัวกลางของเลเซอร์นั้น เช่น CO₂ Laser , Nd:YAG Laser ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ประเภทตามสถานะของตัวกลางของเลเซอร์ชนิดนั้น คือ เลเซอร์ของแข็ง (Solidstate Laser) ซึ่งตัวกลางจะอยู่ในรูปของของแข็งหรือผลึก เช่น เลเซอร์ทับทิม เลเซอร์สารกึ่งตัวนำ เลเซอร์ของเหลวจะมีตัวกลางอยู่ในสถานะของของเหลวหรืออยู่ในรูปของสารละลาย เช่น ดายเลเซอร์ ซึ่งมีตัวกลางเป็นสีย้อมผ้าที่ทำละลายในแอลกอฮอล์ หรือ

อาร์ซีโตน สูดทำย คือแก๊สเลเซอร์ ซึ่งตัวกลางจะอยู่ในรูปของแก๊สหรือแก๊สผสม เช่น ฮีเลียมนีออนเลเซอร์ คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ อาร์กอนเลเซอร์และ ไนโตรเจนเลเซอร์ ซึ่งเป็นเลเซอร์ชนิดที่ตัวกลางพบอยู่มาก ในอากาศ จึงสามารถทำงานได้ที่ความดันบรรยากาศ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. สามารถออกแบบและสร้างวงจรแหล่งไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงให้แก่ระบบไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศได้
2. พัฒนาระบบไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และมีความเข้มของลำแสงมากขึ้น
3. ศึกษาสมบัติของไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศที่ควบคุมจังหวะของการเกิดแสงเลเซอร์จากชุดจุดระเบิดหัวเทียน
4. ออกแบบและพัฒนาระบบไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศให้มีความแข็งแรงทนทานมากขึ้น

1.3 ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้จะทำการสร้างชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงให้สามารถปรับค่าได้สูงขึ้นจากชุดแหล่งจ่ายชุดเดิมที่ปรับค่าได้ 0-15 กิโลโวลต์ ให้สามารถปรับค่าได้ 0-25 กิโลโวลต์ เพื่อทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดันให้แก่ระบบไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศโดยควบคุมจังหวะการเกิดแสงเลเซอร์ด้วยชุดจุดระเบิดหัวเทียน โดยใช้ความถี่ในช่วง 0.5-10 เฮิร์ต สามารถปรับระยะห่างระหว่างขั้วสปาร์กแก๊ปได้ตั้งแต่ 0-8 มิลลิเมตร ควบคุมอัตราการไหลของแก๊สได้ตั้งแต่ 0.25-15 ลิตร/นาที่ ทำการศึกษาสมบัติเกี่ยวกับความเข้มของลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์เมื่อจ่ายแรงดันไฟสูงกว่า 15 กิโลโวลต์ขึ้นไปจนถึง 20 กิโลโวลต์ สังเกตผลที่เกิดขึ้น สรุปและวิเคราะห์ผล และพัฒนาตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนานให้มีความแข็งแรงมากขึ้น

1.4 วิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาทฤษฎีและหลักการของไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาและออกแบบวงจรทวีแรงดันสำหรับเป็นแหล่งจ่ายแรงดันให้แก่ไนโตรเจนเลเซอร์

ขั้นตอนที่ 3 ออกแบบและสร้างชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

ขั้นตอนที่ 4 นำชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงมาใช้กับระบบไนโตรเจนเลเซอร์เดิม

ขั้นตอนที่ 5 พัฒนาวงจรรควบคุมจังหวะการเกิดไนโตรเจนเลเซอร์จากชุดจุดระเบิดหัวเทียนให้เหมาะสมกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

ขั้นตอนที่ 6 พัฒนาตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนานในวงจรบลัมไลน์เป็นตัวเก็บประจุแบบจานกระเบื้อง

ขั้นตอนที่ 7 ศึกษาและทำการวัดความเข้มของลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์ที่แรงดันไฟฟ้าสูงกว่า 15 กิโลโวลต์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสร้างและพัฒนาระบบไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศให้มีประสิทธิภาพให้ดีขึ้น และควบคุมจังหวะการเกิดแสงเลเซอร์ได้
2. สามารถสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงได้
3. เป็นการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านเลเซอร์โดยใช้อุปกรณ์ภายในประเทศ
4. เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและพัฒนาระบบไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศต่อไปในอนาคต

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีเบื้องต้นในการเกิดเลเซอร์ หลักการในการเกิดใน โตรเจนเลเซอร์ และทฤษฎีของวงจรถวีแรงดัน

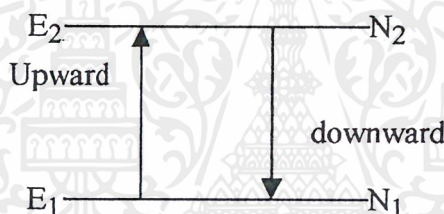
2.1 ทฤษฎีทั่วไปของการเกิดเลเซอร์

2.1.1 Einstein Relation

ไอส์ไตน์ ได้เสนอสมการความสัมพันธ์ของ 3 กระบวนการ คือ กระบวนการ Stimulated Absorption, Spontaneous Emission และ Stimulated Emission โดยถ้าพิจารณาที่สมดุลความร้อน (Thermal Equilibrium) จะได้ว่า

อัตราการดูดกลืน = อัตราการปลดปล่อย

Rate of Absorption = Rate of Emission



รูป 2.1

Einstein Relation

N_1, N_2 = จำนวนอะตอมในชั้น E_1, E_2

N = จำนวนโฟตอนต่อปริมาตร

ค่าความหนาแน่นของพลังงาน

Energy density = $Nh\nu$ (J/m^3)

Upward transition rate = Stimulated absorption rate

= $N_1\rho_\nu B_{12}$

B_{12} = ค่าคงที่สัมประสิทธิ์การดูดกลืน (Constant coefficient of absorption) จาก $E_1 \rightarrow E_2$

ทำนองเดียวกัน Downward transition rate โดยกระบวนการ

Stimulate Emission = $N_2\rho_\nu B_{21}$

และ Downward transition โดยกระบวนการ Spontaneous Emission ขึ้นกับ Life time (τ_{21})

ดังนั้น Probability ที่อะตอมจะเกิด Spontaneous Emission ในช่วงเวลา $dt = dt/\tau_{21} = A_{21}dt$ ดังนั้นจะได้

$$A_{21} = 1/\tau_{21}$$

และ Spontaneous Emission rate = $N_2 A_{21}$

B_{12}, B_{21} และ A_{21} เรียกว่า สัมประสิทธิ์ไอซ์ไตน์ (Einstein Coefficients)

ดังนั้นที่ สมดุลความร้อน (Thermal Equilibrium)

$$N_1 \rho_\nu B_{12} = N_2 \rho_\nu B_{21} + N_2 A_{21}$$

หรือ

$$\rho_\nu = \frac{(A_{21} / B_{21})}{\left(\frac{B_{12} N_1}{B_{21} N_2} - 1 \right)}$$

แล้วจำนวนอะตอมในแต่ละระดับพลังงาน N_1, N_2, N_3, \dots ที่อุณหภูมิ $T^\circ\text{K}$ สามารถคำนวณได้จากสถิติของ Boltzmann (Boltzmann Statistics)

$$N_j = N_0 \frac{\exp\left(\frac{-E_j}{K_B T}\right)}{\sum_{i=1}^a \exp\left(\frac{-E_i}{K_B T}\right)}$$

พบว่าสมการการกระจายของ Boltzmann อะตอมส่วนใหญ่จะอยู่ที่ E_1 (Ground State) และค่าอัตราส่วนระหว่าง N_1 กับ N_2 เป็นดังนี้คือ

$$\frac{N_1}{N_2} = \exp\left(\frac{E_2 - E_1}{K_B T}\right)$$

แทนค่า $\frac{N_1}{N_2}$ ลงไปจะได้

$$\rho_\nu = \frac{(A_{21} / B_{21})}{\left(\frac{B_{12}}{B_{21}} \right) \exp\left(\frac{H\nu}{K_B T}\right) - 1}$$

เปรียบเทียบกับทฤษฎีของวัตถุดำ (Black Body Theory) ค่า Energy density (ρ_ν)

$$\rho_\nu = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \left[\frac{1}{\exp\left(\frac{h\nu}{K_B T}\right) - 1} \right]$$

เมื่อเปรียบเทียบกันทั้ง 2 สมการแล้วจะได้ว่า

$$\frac{B_{12}}{B_{21}} = 1 \quad \text{และ} \quad \frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi h \nu^3}{C^3}$$

นั่นคือ $B_{12} = B_{21}$ และ $A_{21} = B_{21} \frac{8\pi h \nu^3}{C^3}$ เรียกว่า Einstein Relation

จาก Einstein Relation ทำให้ค่า R ได้ดังนี้คือ

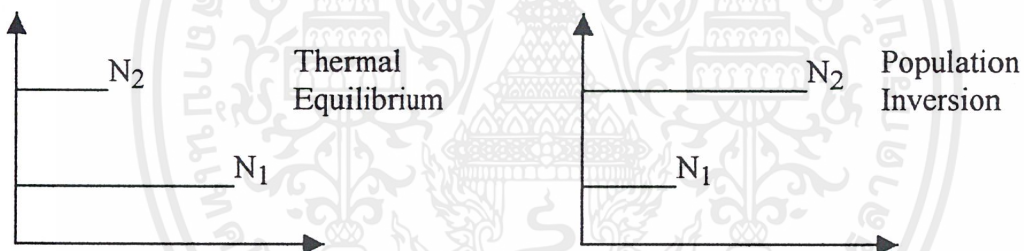
$R = \text{Rate of Spontaneous Emission/Rate of Stimulated Emission}$

$$R = \frac{N_2 A_{21}}{N_2 B_{21} \rho_\nu} = \frac{8\pi h \nu^3}{\rho_\nu C^3}$$

$$R = \exp\left(\frac{h\nu}{K_B T}\right) - 1$$

จาก Einstein Relation

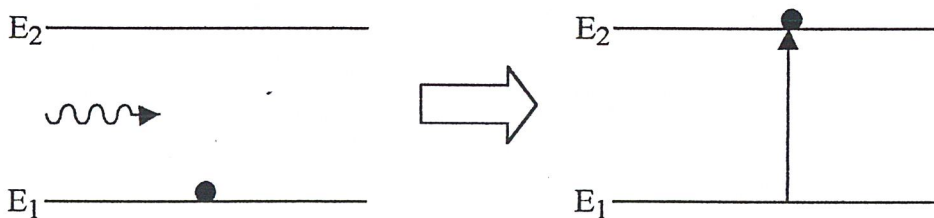
1. ในสภาวะสมดุลความร้อน กระบวนการ Spontaneous Emission จะเด่นกว่าซัดกว่า Stimulated Emission
2. $B_{21} = B_{12}$
3. ถ้าต้องการให้เกิดกระบวนการ Stimulated Emission จะต้องทำให้ $N_2 > N_1$ เรียกว่า “Population Inversion”



รูป 2.2 Population Inversion

2.1.2 Stimulated Absorption

การดูดกลืนของอะตอมจะเกิดขึ้นเมื่อมีการกระตุ้นโดยใช้พลังงานต่างๆ เช่น พลังงานความร้อน แสง และกล



รูป 2.3 stimulated absorption

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ค่าพลังงานที่ใช้กระตุ้นอย่างน้อยต้องเท่ากับ $E_2 - E_1$; $E_{\text{external}} \geq E_2 - E_1$

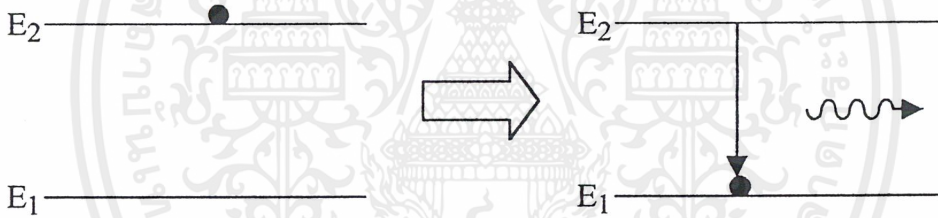
ถ้าเป็นพลังงานแสง (E_{photon}) ; $E_{\text{photon}} \geq E_2 - E_1$

หรือ $\lambda_{\text{photon}} \text{ (nm)} = 1,240 / E_{\text{photon}} \text{ (eV)}$

หลังจากที่อะตอมถูกกระตุ้น ทำให้เกิดกระบวนการ Absorption แล้วอะตอมจะพยายามเปลี่ยนระดับพลังงานลงมายังระดับที่ต่ำกว่าพร้อมกับปล่อยพลังงานที่เกี่ยวข้องออกมา กระบวนการนี้เองที่เรียกว่า "Emission" Emission มีอยู่ 2 รูปแบบ

2.1.3 Spontaneous Emission

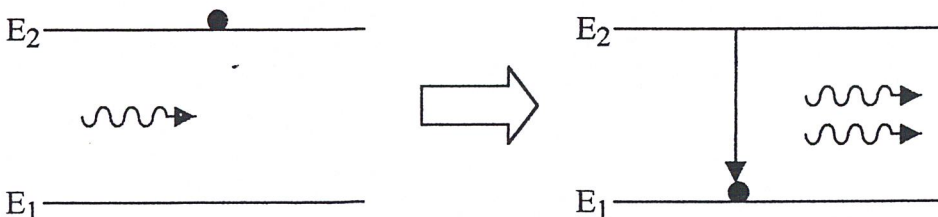
อิเล็กตรอนซึ่งอยู่ในสถานะกระตุ้น (E_2) จะสามารถอยู่ในสถานะนี้ได้เพียงช่วงระยะเวลาหนึ่งซึ่งมีค่าเท่ากับค่าช่วงชีวิต (Lift Time) เท่านั้น เมื่อหมดช่วงชีวิตแล้วก็จะตกลงมายังสถานะพื้น (E_1) เองโดยจะปลดปล่อยโฟตอนออกมา ซึ่งอัตราการเกิดการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเองนี้จะมีสัดส่วนตามจำนวนอิเล็กตรอนที่ชั้นพลังงาน E_2 เท่านั้น



รูป 2.4 spontaneous emission

2.1.4 Stimulated Emission

ในกรณีที่อิเล็กตรอนอยู่ในสถานะกระตุ้น (E_2) ยังไม่ถึงเวลาที่อิเล็กตรอนจะตกลงสู่สถานะพื้น (E_1) แต่มีโฟตอนซึ่งมีค่าพลังงานเท่ากับผลต่างของระดับพลังงานในสถานะกระตุ้นและสถานะพื้นเข้ามา จะทำให้อิเล็กตรอนที่สถานะกระตุ้นตกลงมายังสถานะพื้นและปลดปล่อยโฟตอนออกมาอย่างทันทีทันใด โดยโฟตอนที่ปลดปล่อยออกมานี้จะมีความถี่และเฟสที่เหมือนกับโฟตอนที่เข้ามากระตุ้นทุกประการ



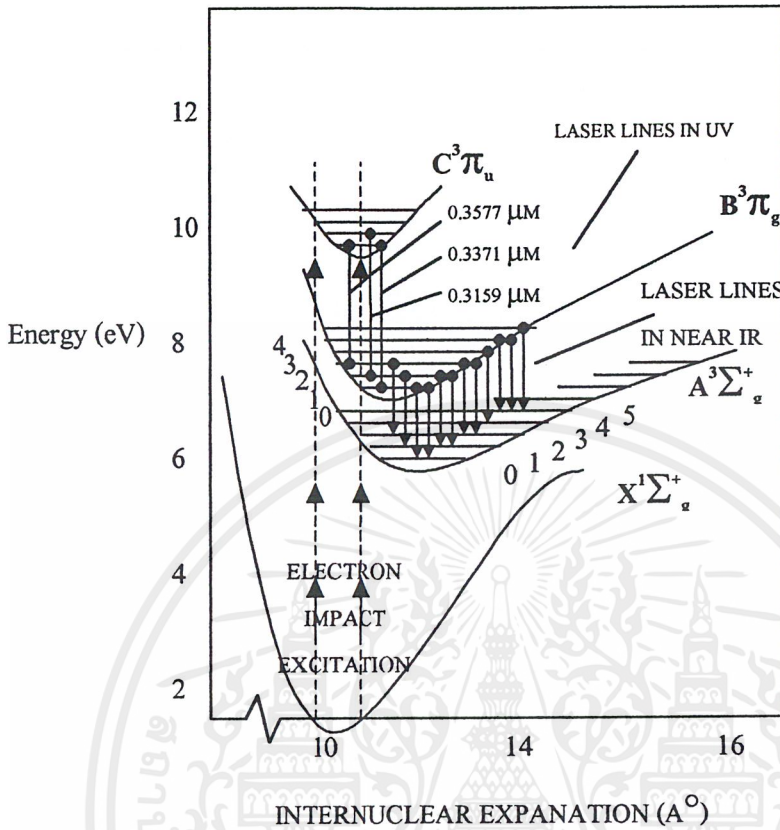
รูป 2.5 stimulated emission

2.2 งานวิจัยและหลักการของไนโตรเจนเลเซอร์

ในปี ค.ศ. 1963 เฮิร์ด (Heard) ได้สร้างไนโตรเจนเลเซอร์ที่ให้แสงเป็นพัลส์ในย่านอัลตราไวโอเลต มีความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร สำเร็จเป็นเครื่องแรก หลังจากนั้นก็มีผู้สนใจสร้างและพัฒนาไนโตรเจนเลเซอร์มากขึ้นแต่ยังทำงานที่ความดันต่ำ ซึ่งมีการกระตุ้นเป็นแบบพัลส์ดิสชาร์จ (Pulse Discharge) มีด้วยกันสองลักษณะคือ ไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามยาว (Longitudinal Excitation N_2 Laser:LE- N_2 Laser) ซึ่งเป็นแบบที่ให้ลำแสงเลเซอร์ในทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้า อีกแบบหนึ่งคือไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวาง (Transversely Excitation N_2 Laser:LE- N_2 Laser) เป็นแบบที่ให้ลำแสงเลเซอร์ในทิศทางตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า ต่อมาในปี ค.ศ. 1968 สเวดเบิร์ก (Svedberg) ได้สร้างระบบไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ (Transversely Excited at Atmospheric Pressure N_2 Laser:TEA N_2 -Laser) สำเร็จเป็นเครื่องแรก ซึ่งนับเป็นจุดเริ่มต้นของการสร้างไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ ซึ่งเป็นระบบที่ให้แสงเป็นพัลส์ช่วงสั้นๆ มีกำลังสูง และที่สำคัญคือสามารถทำงานได้ที่ความดันบรรยากาศ จึงไม่ต้องจัดสร้างระบบสุญญากาศขึ้น

ในประเทศไทยเริ่มมีผู้สนใจและสร้างไนโตรเจนเลเซอร์สำเร็จเป็นเครื่องแรกในปี พ.ศ. 2527 โดย รศ.ดร.บัณฑิต ณ ลำพูน แห่งมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยไนโตรเจนเลเซอร์ที่สร้างขึ้นใช้แผ่นแก้วจำนวนสองแผ่นประกบเข้ากับขั้วไฟฟ้าสองแท่ง และให้ประจุแก่ตัวเก็บประจุจากสปาร์กแกปที่สร้างขึ้นแบบง่ายๆ จะได้แสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร มีความกว้างของพัลส์ 10 นาโนวินาที มีพลังงานที่แรงดันไฟฟ้า 16 กิโลโวลต์ 17 เมกกะวัตต์ ทำงานที่ความดัน 70 ทอร์ ต่อมาในปี พ.ศ. 2537 นาวาอากาศเอก ไพโรจน์ ไตรรัตน์ ก็ได้สร้างไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศสำเร็จ โดยใช้วงจรถวลัมไลน์เป็นวงจรกระตุ้น ซึ่งประกอบด้วยตัวเก็บประจุแผ่นขนานที่ทำด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์และแผ่นไมลาร์ มีขั้วไฟฟ้าทำจากแท่งอลูมิเนียม แสงจากไนโตรเจนเลเซอร์มีลักษณะเป็นพัลส์วัดความยาวคลื่นได้ 337 นาโนเมตร วัดพลังงานที่แรงดันไฟฟ้า 11.1 กิโลโวลต์ ได้ 190 ไมโครจูล ทำงานที่ความดันบรรยากาศ แต่ยังไม่สามารถควบคุมจังหวะในการเกิดแสงเลเซอร์ได้

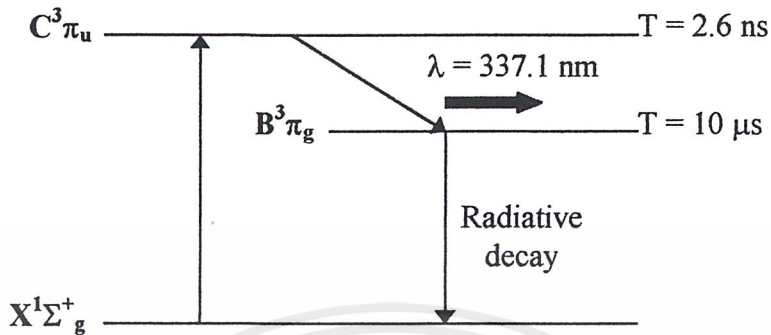
ในงานวิจัยนี้จะทำการสร้างไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศโดยใช้วงจรถวลัมไลน์เช่นเดียวกับที่นาวาอากาศเอกไพโรจน์ ไตรรัตน์จัดสร้างขึ้น แต่จะใช้ขั้วไฟฟ้าทำจากโลหะสแตนเลสตัดมุม 45 องศา ควบคุมจังหวะการเกิดไนโตรเจนเลเซอร์ด้วยชุดจุกระเบิดหัวเทียนปรับความถี่ได้ 0.5-10 เฮิร์ต การเกิดไนโตรเจนเลเซอร์นั้นจะอาศัยหลักการพื้นฐานเช่นเดียวกับเลเซอร์โดยทั่วไป โดยตัวกลางเลเซอร์ของไนโตรเจนเลเซอร์จะเป็นแก๊สไนโตรเจน (N_2) ซึ่งถือว่าเป็นแก๊สที่มีความหนาแน่นมากในธรรมชาติ และมีระดับพลังงานแสดงดังรูป 2.6



รูป 2.6 ระดับพลังงานใน โมเลกุลของแก๊สไนโตรเจน

ระดับพลังงานใน โมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนแสดงดังในรูป จะแบ่งการเกิดแสงเลเซอร์ได้ 2 กลุ่มตามความยาวคลื่นคือ กลุ่มแรกให้แสงในย่านอัลตราไวโอเล็ตมีความยาวคลื่น 0.3577, 0.3371 และ 0.3159 ไมโครเมตร ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนระดับพลังงานจากสถานะ $C^3\pi_u$ ไปยังสถานะ $B^3\pi_g$ และอีกกลุ่มให้แสงในย่านอินฟราเรดมีความยาวคลื่นระหว่าง 0.745 – 1.235 ไมโครเมตร เกิดจากการเปลี่ยนระดับพลังงานจากสถานะ $B^3\pi_g$ ไปยังสถานะ $A^3\Sigma_g^+$

สำหรับโครงการนี้ จะสร้างไนโตรเจนเลเซอร์ที่เกิดจากการเปลี่ยนระดับพลังงานจากสถานะ $C^3\pi_u$ ไปยังสถานะ $B^3\pi_g$ ซึ่งให้แสงในย่านอัลตราไวโอเล็ตที่มีความเข้มมากที่สุดที่ความยาวคลื่น 0.3371 ไมโครเมตร เพื่อความสะดวกในการพิจารณาจึงเขียนระดับพลังงานของโมเลกุลไนโตรเจนจากรูป 2.6 ใหม่ โดยแทนระดับพลังงานเป็นเส้นตรงดังรูป 2.7



รูป 2.7 ระดับพลังงาน 3 ระดับของโมเลกุลไนโตรเจน ให้แสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร

เมื่อโมเลกุลไนโตรเจนในระดับพลังงาน (สถานะพื้น) ถูกกระตุ้นจะเปลี่ยนระดับพลังงานไปยัง โดยผลต่างของระดับพลังงานทั้ง 2 นี้มีค่า 11.2 eV และจะเปลี่ยนระดับพลังงานจาก $C^3\pi_u$ มายัง $B^3\pi_g$ โดยปลดปล่อยโฟตอนที่มีความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตรออกมาจะเห็นว่าเงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับเลเซอร์ทำงานแบบต่อเนื่องคือ ค่าช่วงชีวิต (Life Time) ในระดับพลังงานชั้นบน (Upper Level) จะต้องยาวนานกว่าค่าช่วงชีวิตในระดับพลังงานชั้นล่าง (Lower Level) แต่ในกรณีของไนโตรเจนเลเซอร์มิได้เป็นเช่นนั้น กล่าวคือช่วงชีวิตของระดับพลังงานชั้นบนสั้นมาก มีค่าเพียง 40 นาโนวินาทีที่ความดันต่ำ และ 2.6 นาโนวินาทีที่ความดันบรรยากาศ แต่ที่ระดับพลังงานชั้นล่างกลับมีช่วงชีวิตที่ยาวนานกว่าคือมีค่าถึง 10 ไมโครวินาที ด้วยเหตุนี้เองจึงเป็นขีดจำกัดที่ทำให้ไนโตรเจนเลเซอร์กำเนิดแสงแบบพัลส์ และการเกิดประชากรผกผันที่สภาวะสุดท้ายจะต้องเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีเวลาน้อยกว่าช่วงชีวิตของระดับพลังงานชั้นบน จากนั้นค่าประชากรผกผันก็จะลดลงจนถึงระดับที่ไม่ทำให้เกิดเลเซอร์ได้ ซึ่งจะเรียกว่า Self Terminating จึงมีผลทำให้ไนโตรเจนเลเซอร์กำเนิดแสงแบบพัลส์ (Pulse) ในช่วงเวลาที่สั้นมาก และมีความเข้มสูง เรียกว่าเป็นเลเซอร์ชนิด Amplified Spontaneous Emission ซึ่งทำให้เกิดแสงเลเซอร์ได้โดยไม่ต้องใช้กระจก (Mirrorless Lasing) นั่นเอง

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้างไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและการสร้างไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ทำงานที่ความดันบรรยากาศ โดยใช้วงจรบลิ้มไลน์เป็นวงจรกระตุ้นรวมถึงรายละเอียดของระบบใช้ในการควบคุมจังหวะในการเกิดแสงไนโตรเจนเลเซอร์ และองค์ประกอบอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

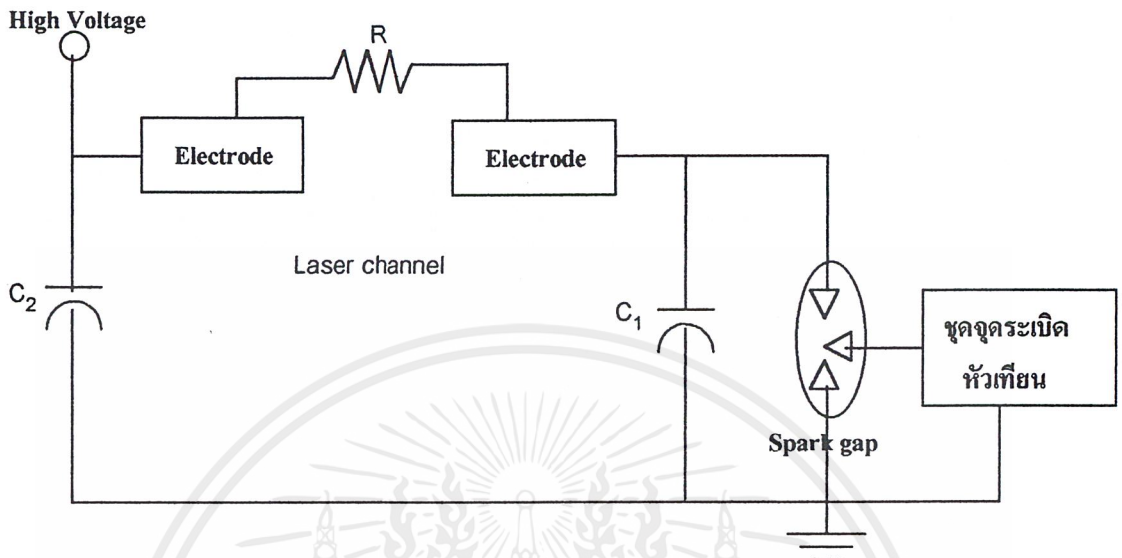
3.1 การออกแบบและสร้างชุดไนโตรเจนเลเซอร์

ไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ (Transversely Excited at Atmospheric Pressure – N_2 Laser : TEA- N_2 Laser) สามารถให้แสงที่เป็นพัลส์แคบ และมีกำลังสูง อีกทั้งสามารถออกแบบให้มีขนาดกะทัดรัดได้อีกด้วย และที่สำคัญที่สุดคือ ไม่ต้องใช้ระบบสุญญากาศ ซึ่งในการสร้างและพัฒนาระบบไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางนี้สนใจเฉพาะไนโตรเจนเลเซอร์ที่ให้แสงในช่วงอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตรเท่านั้น จึงต้องมีขบวนการผกผันของประชากร และการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นจากระดับพลังงาน $C^3\Pi_u$ ไปยัง $B^3\Pi_g$ แต่เนื่องจากช่วงชีวิตของโมเลกุลไนโตรเจนในระดับ $C^3\Pi_u$ มีค่าเพียง 2.6 นาโนวินาที แต่ในระดับพลังงาน $B^3\Pi_g$ มีค่าถึง 10 ไมโครวินาที ดังนั้นถ้าทำให้เกิดการผกผันของประชากรระหว่างระดับพลังงานทั้งสองนั้น จำเป็นจะต้องกระตุ้นให้โมเลกุลไนโตรเจนขึ้นไปทีระดับพลังงาน $C^3\Pi_u$ ด้วยเวลาที่น้อยกว่า 2.6 นาโนวินาที จึงต้องใช้วงจรกระตุ้นแบบพัลส์ที่เร็วมาก คือวงจรที่มีค่าอินดักแตนซ์ต่ำๆ นั่นเอง วงจรที่มีลักษณะเช่นนี้ได้แก่ วงจรคาปาซิเตอร์ชาร์จทรานสเฟอร์ (Capacitor-Charge Transfer Circuit) และวงจรบลิ้มไลน์ (Blumlein Circuit) เป็นต้น

ในโครงการนี้ ได้เลือกใช้วงจรบลิ้มไลน์เป็นวงจรกระตุ้นของไนโตรเจนเลเซอร์เนื่องจากเป็นวงจรที่สร้างได้ง่ายและนิยมใช้กันมากที่สุด ดังนั้นในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะวงจรบลิ้มไลน์เท่านั้น

การทำงานของวงจรบลิ้มไลน์ดังรูป 3.1 สามารถอธิบายได้ดังนี้ ตัวเก็บประจุสตอเรจ (Storage Capacitor) C_1 และตัวเก็บประจุพัลส์ฟอร์มมิงไลน์ (Pulse Formingline Capacitor) C_2 ถูกประจุจนเต็มจากแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง (High Voltage) เมื่อสปรັกแก๊ปทำงานประจุใน C_1 จะไหลลงกราวด์อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดความต่างศักย์ตกคร่อมระหว่างช่องเลเซอร์ มีค่าเท่ากับความต่างศักย์จากแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง

เนื่องจากขั้วไฟฟ้าที่ต่อกับ C_1 ในขณะนี้มีศักย์เท่ากับกราวด์ ดังนั้นจึงเกิดการคายประจุของ C_2 อย่างรวดเร็วผ่านขั้วไฟฟ้าภายในช่องเลเซอร์เป็นผลให้มีอิเล็กตรอนพลังงานสูงวิ่งจากขั้วไฟฟ้าของ C_2 ไปยัง C_1 โมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนที่ไหลผ่านระหว่างช่องเลเซอร์จะถูกกระตุ้นโดยการชนของอิเล็กตรอนเหล่านั้น (Electron Collisional Excitation Process) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมก็จะเกิดแสงเลเซอร์ออกมาตามแนวยาวของช่องเลเซอร์



รูป 3.1 วงจรปลั๊กไลน์

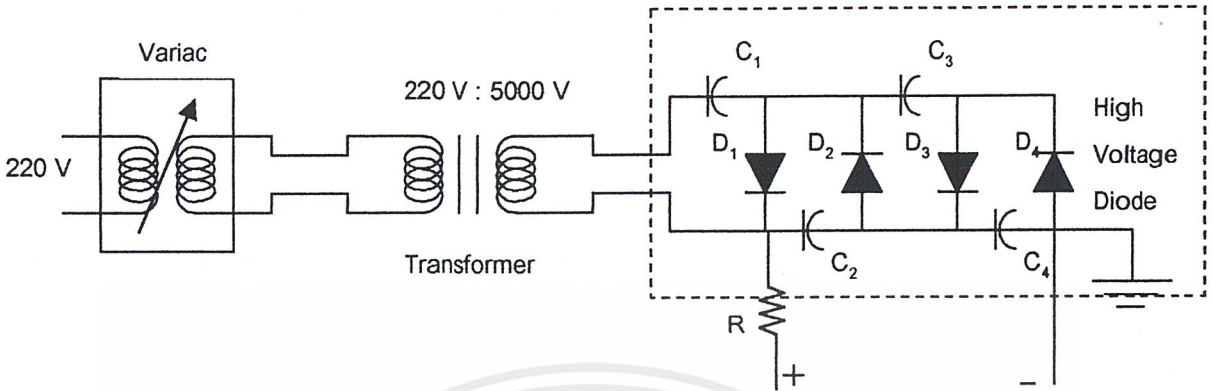
3.2 ส่วนประกอบของไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวาง

ส่วนประกอบต่างๆที่สำคัญในการสร้างไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางมีดังต่อไปนี้

3.2.1 ขั้วไฟฟ้าและช่องเลเซอร์

ขั้วไฟฟ้าทำจากโลหะสแตนเลสขนาด 30x400 ตารางมิลลิเมตร วางขนานกัน 2 อัน ขอบของขั้วไฟฟ้าทั้งสองจะตัดทำมุม 45 องศา เพื่อให้เกิดการดิซซาร์จระหว่างผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าทั้งสอง สม่่าเสมอตลอดแนวที่วางขนานกัน สำหรับระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองซึ่งประกอบเป็นช่องเลเซอร์สามารถปรับได้ตามความต้องการตั้งแต่ 0-5 มิลลิเมตร

3.2.2 ระบบจ่ายไฟแรงดันสูง



รูป 3.2 วงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง

เมื่อสัญญาณครึ่งไซเคิลด้านบวกของแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงปรากฏที่วงจร ไดโอด D_1 จะได้รับการไบอัสตรงจึงนำกระแสส่วนไดโอด D_2 จะได้รับการไบอัสกลับจึงไม่นำกระแสจึงเกิดการอัดประจุ C_1 จนมีค่าถึง V_m และเมื่อสัญญาณครึ่งไซเคิลด้านลบปรากฏ ไดโอด D_2 จะได้รับการไบอัสตรง ในขณะที่ไดโอด D_1 จะได้รับการไบอัสกลับจึงเกิดการอัดประจุ C_1 มีค่า $2V_m$ ดังสมการ

$$\begin{aligned} -V_{c2} + V_{c1} + V_m &= 0 \\ -V_{c2} + V_m + V_m &= 0 \\ V_{c2} &= 2V_m \end{aligned}$$

ระหว่างสัญญาณด้านบวก D_3 ได้รับการไบอัสตรงแรงดันตกคร่อม C_2 จะอัดประจุ C_3 จนถึง $2V_m$ และเมื่อสัญญาณด้านลบเข้ามา D_2 และ D_4 จะได้รับการไบอัสตรงแรงดันจาก C_3 จะอัดประจุ C_4 จนถึง $2V_m$ ลักษณะเช่นนี้ แรงดันตกคร่อมที่ C_2 เป็น $2V_m$ ที่ C_1 กับ C_3 เป็น $3V_m$ ที่ C_2 กับ C_4 เป็น $4V_m$

วงจรทวิแรงดันไฟฟ้าเหมาะที่จะนำไปใช้กับงานที่ต้องการแรงดันไฟฟ้าสูงมากและกระแสไฟฟ้าต่ำมาก ยิ่งจำนวนแรงดันไฟฟ้าของวงจรเพิ่มขึ้นเท่าใด ค่ากระแสไฟฟ้าของวงจรก็จะยิ่งลดต่ำลงเท่านั้น เช่น ภาคแรงดันไฟฟ้าสูงในวงจรเครื่องรับโทรทัศน์หรือในเครื่องฟอกอากาศ เป็นต้น

3.2.3 ตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน

จากวงจรบลิบไลต์ความจุของตัวเก็บประจุ C_2 ต้องมีค่ามากกว่า C_1 อาจจะใช้อัตราส่วนตั้งแต่ 2 : 1 ขึ้นไป และเพื่อให้ความเหนี่ยวนำในวงจรกระตุ้นเลเซอร์มีค่าต่ำมากๆ ดังนั้น C_1 และ C_2 จำเป็นต้องเป็นตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนานในที่นี้สร้างโดยใช้แผ่นไมลาร์ (Mylar) เป็นไดอิเล็กตริกซึ่งมีแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ 2 แผ่นประกบอยู่ โดยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์จะทำหน้าที่เป็นเพลทของตัวเก็บประจุแบบแผ่น

ไมลาร์ และแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ทั้งหมดนี้จะวางเรียงเป็นชั้นอยู่บนแผ่นอะคริลิกเพื่อให้เรียบ ค่าความจุของ C_1 และ C_2 คำนวณได้จากสูตร

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

เมื่อ C = ค่าความจุของตัวเก็บประจุ มีหน่วยเป็นฟารัด (farad : F)

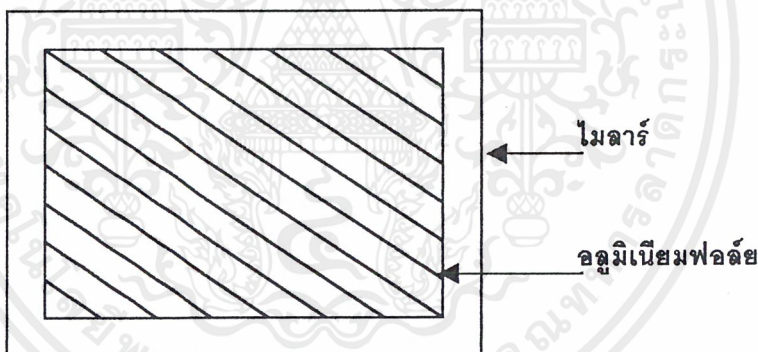
ϵ_r = สภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ (Relative Permittivity) ของไดอิเล็กตริก (แผ่นไมลาร์มีค่า = 3.0)

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

A = พื้นที่ผิวของเพลทของตัวเก็บประจุ

d = ความหนาของแผ่นไดอิเล็กตริก

ในโครงการนี้ขั้วไฟฟ้าสแตนเลสมีความยาว 400 มิลลิเมตร คำนึงถึงความยาวของแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์จะต้องมีขนาดสั้นกว่าขั้วไฟฟ้าสแตนเลสเล็กน้อย ในโครงการนี้ใช้ความยาว 380 มิลลิเมตร ส่วนความกว้างของแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์สำหรับ C_1 และ C_2 เท่ากับ 90 และ 180 มิลลิเมตร ตามลำดับ สำหรับไมลาร์ที่ใช้จะต้องมีขนาดใหญ่กว่าแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ที่ประกบอยู่พอสมควรทั้งนี้เพื่อป้องกันการอาร์คของไฟฟ้าระหว่างแผ่นอลูมิเนียมทั้งสอง

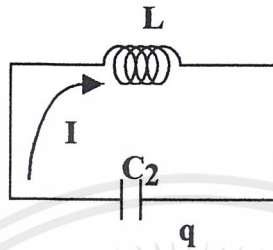


รูป 3.3 ตัวเก็บประจุแผ่นขนานโดยใช้ไมลาร์เป็นไดอิเล็กตริกวางอยู่ระหว่างอลูมิเนียมฟอยล์ 2 แผ่น ซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า

สำหรับ C_1 แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์มีพื้นที่ 380×90 ตารางมิลลิเมตร ความหนาของแผ่นไมลาร์ $d = 0.35$ มิลลิเมตร จากการคำนวณได้ค่าความจุของ $C_1 = 2.6$ นาโนฟารัด

สำหรับ C_2 แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์มีพื้นที่ 380×180 ตารางมิลลิเมตร ความหนาของแผ่นไมลาร์ $d = 0.35$ มิลลิเมตร จากการคำนวณได้ค่าความจุของ $C_2 = 5.2$ นาโนฟารัด

หลังจากที่คำนวณค่า C_1 และ C_2 ที่ใช้ในวงจรกลับไลน์ได้แล้ว ต่อไปต้องคำนวณดูว่าความเร็วในการกระตุ้นของวงจรกลับไลน์ที่ใช้จะสามารถกระตุ้นแก๊สในโตรเจนได้ในเวลาที่สั้นกว่า 2.6 นาโนวินาที เพื่อทำให้เกิดประชากรผกผันได้หรือไม่ นั่นคือต้องคำนวณหาเวลาที่แรงดันไฟฟ้าขึ้นถึงจุดสูงสุดในวงจรพัลส์ฟอร์มมิง (Pulse Forming) ที่ใช้ซึ่งในที่นี้แทนได้ด้วยวงจรสมมูลดังรูป



รูป 3.4 วงจรพัลส์ฟอร์มมิง

จากกฎของ Krichoff จะได้ว่า

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

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

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

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

โดยที่ q = ประจุไฟฟ้าในตัวเก็บประจุหน่วยเป็นคูลอมบ์

L = ความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำ หน่วยเป็นเฮนรี

ω = คาบความถี่เชิงมุมของการแกว่งกวัด หน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที

T = คาบของการแกว่งกวัด หน่วยเป็นวินาที

จะได้
$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{LC_2}$$

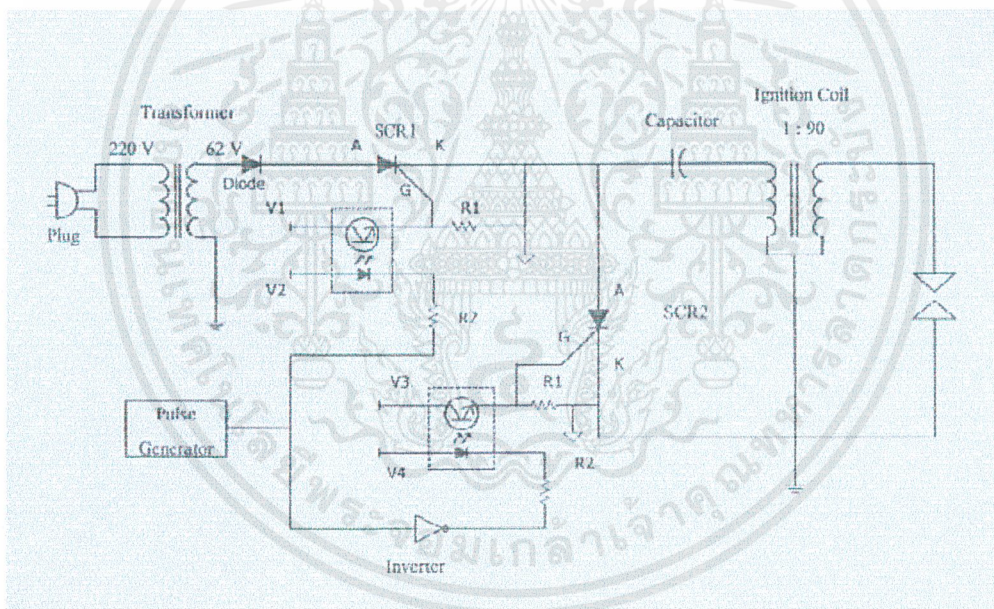
เวลาที่แรงดันไฟฟ้าขึ้นถึงจุดสูงสุดในวงจรพัลส์ฟอร์มมิง = T

T_r เป็นเวลาหนึ่งในสี่ของคาบการแกว่งกวัด

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

3.2.4 ชุดวงจรควบคุมจังหวะการเกิดในโทรเจนเลเซอร์

ชุดวงจรควบคุมจังหวะการเกิดแสงในโทรเจนเลเซอร์ประกอบด้วยหม้อแปลงทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ให้เป็น 62 โวลต์ ไดโอดจะทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับจากหม้อแปลงกระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะยังไม่ไหลผ่านตัว SCR1 จนกว่าจะมีสัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse Generator) มากระตุ้นที่ขาเกตของ SCR1 จึงจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังตัวเก็บประจุโดยไม่ผ่าน SCR2 และเมื่อแรงดันที่ขาแอนโอดมีค่าที่ต่ำกว่าที่ขาแคโทด SCR1 ก็จะหยุดนำกระแส ในขณะที่ถ้ามีสัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์มากระตุ้นที่ขาเกต SCR2 ตัวเก็บประจุก็จะเกิดการคายประจุออกมาอย่างรวดเร็วผ่าน SCR2 ทำให้ที่ขดลวดปฐมภูมิของคอยล์จุดระเบิดมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าอย่างรวดเร็ว เกิดอำนาจแม่เหล็กเหนี่ยวนำ ทำให้เกิดไฟฟ้าแรงดันสูงขึ้นที่ขดลวดทุติยภูมิของคอยล์จุดระเบิดเกิดเป็นประกายไฟที่เขี้ยวของหัวเทียนขึ้น



รูป 3.6 วงจรควบคุมจังหวะการเกิดในโทรเจนเลเซอร์

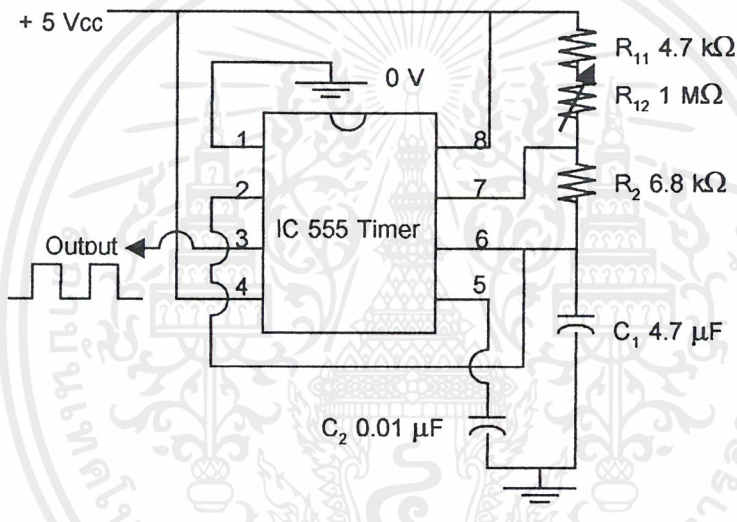
วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse Generator) ที่มากระตุ้นที่ขาเกตของ SCR1 และ SCR2 จะสร้างจากวงจรออสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ (Astable Multivibrator) โดยใช้ไอซีแอลเอ็ม 555 ไทมเมอร์ (LM 555 Timer) เป็นตัวกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave) ลักษณะของวงจรและลักษณะของสัญญาณที่ออกมาจะแสดงดังรูป 3.7 และ 3.8 ตามลำดับ ซึ่งสามารถคำนวณค่าตัวต้านทานที่นำมาต่อในวงจรได้จาก

$$t_1 = 0.693(R_1+R_2)C_1$$

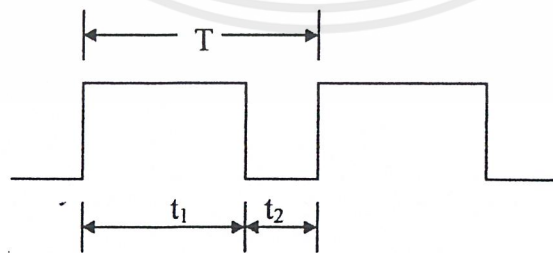
$$t_2 = 0.693(R_2)C_1$$

เมื่อ t_1 คือคาบเวลาของสัญญาณด้านบวก t_2 คือคาบเวลาของสัญญาณด้านลบ

ในโครงการนี้จะออกแบบและสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ให้สามารถปรับค่าความถี่ได้ในช่วง 0.5-10 เฮิรต์ ดังนั้นค่าคาบเวลาใน 1 สัญญาณคลื่น (T) จะมีค่าระหว่าง 0.1-2 วินาที โดยกำหนดให้ t_2 เท่ากับ 0.02 วินาที t_1 จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.08-1.98 วินาที ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าตัวต้านทานที่นำมาต่อในวงจรดังแสดงในรูป 3.7



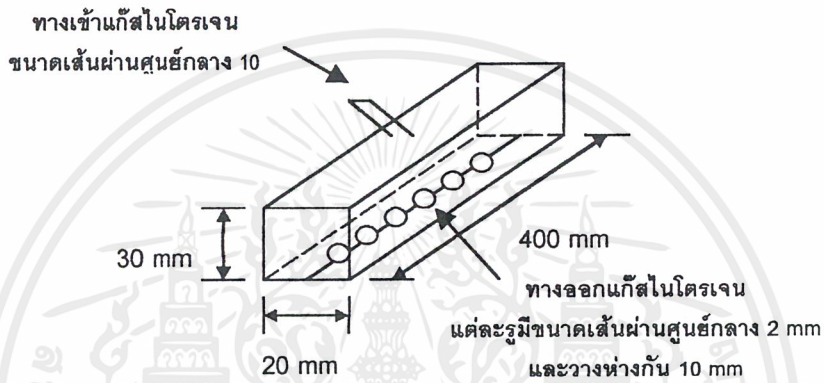
รูป 3.7 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ความถี่ 0.5 – 10 เฮิรต์



รูป 3.8 ลักษณะสัญญาณขาออก

3.2.5 ระบบจ่ายแก๊สไนโตรเจนเข้าสู่ห้องเลเซอร์ ประกอบด้วย

1. ถังแก๊สไนโตรเจนความดัน 200 ปอนด์/ตารางนิ้วพร้อมเกจวัดความดันและวาล์วควบคุมความดันของการไหลของแก๊สไนโตรเจนในช่วงความดัน 0-200 ปอนด์/ตารางนิ้ว (ความดันบรรยากาศ = 14.7 ปอนด์ / ตารางนิ้ว)
2. สายยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 มิลลิเมตร
3. ถังนำแก๊สเข้าสู่ห้องเลเซอร์ ได้จากการตัดแผ่นอะครีลิก พร้อมกับเจาะรูแก๊สเข้า แล้วนำมาประกอบกันเป็นกล่องสี่เหลี่ยม โดยใช้น้ำยาเชื่อมประสานอะครีลิกดังรูป

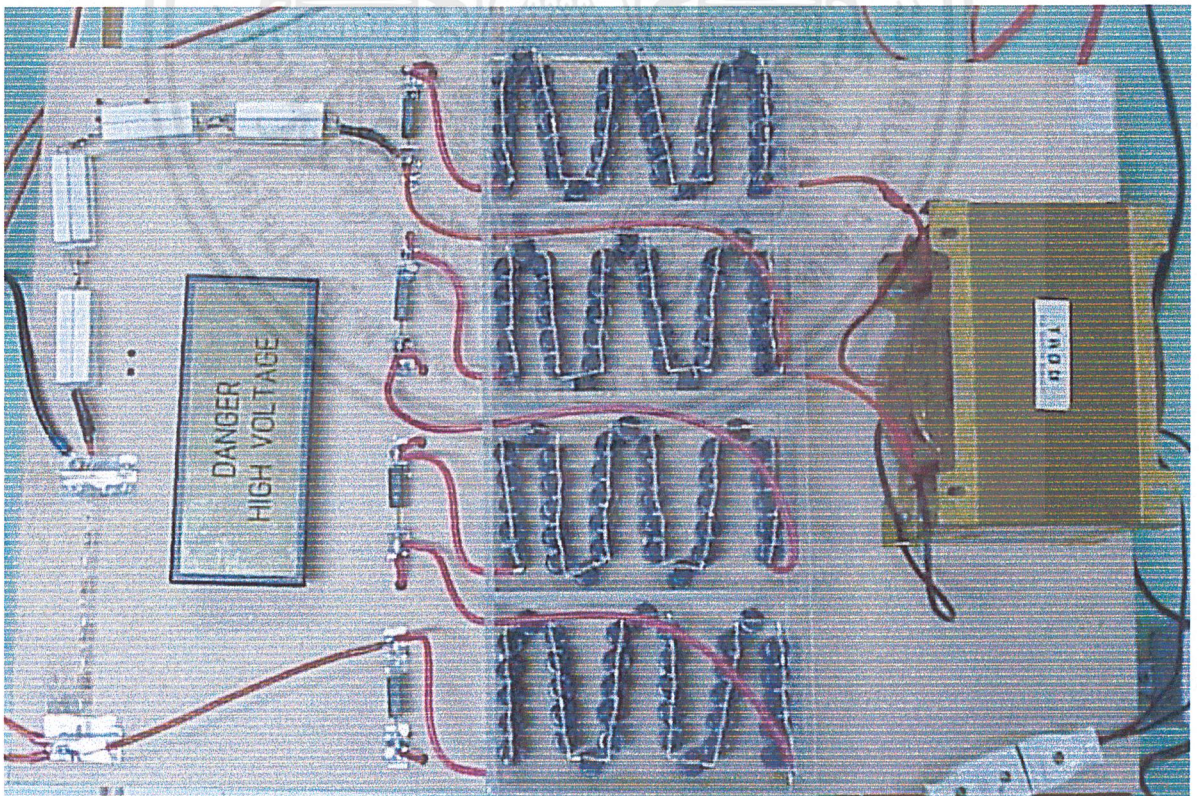


รูป 3.9 รูปร่างและขนาดของท่อนำแก๊ส

3.3 ขั้นตอนการประกอบระบบจ่ายไฟกระแสตรงแรงดันสูง

หลังจากได้ศึกษาวงจรทีวีแรงดันแบบ 3 เท่าและ 4 เท่ามาแล้ว เราจึงนำวงจรทีวีแรงดันแบบ 4 เท่ามาใช้โดยต่อวงจรดังรูป 3.2 โดยแต่ละส่วนของวงจรประกอบด้วย

1. หม้อแปลงแรงดันซึ่งแปลงจากไฟกระแสสลับแรงดัน 220 V เป็นไฟกระแสสลับ 5000 V
2. ตัวเก็บประจุที่สามารถทนแรงดันสูงได้เนื่องจากตัวเก็บประจุแต่ละตัวต้องสามารถทนแรงดันได้เป็น 2 เท่าของแรงดันจากหม้อแปลงซึ่งมีค่า $V_{rms}=5,000$ V ซึ่งจะให้แรงดันได้สูงสุดถึง $(1.414)V_{rms}$ ซึ่งเท่ากับ 7,070 V ดังนั้นตัวเก็บประจุจึงจะต้องสามารถทนแรงดันได้ 14,140 V ดังนั้นเราจึงใช้ตัวเก็บประจุขนาด 450 V 10 μ F นำมาต่ออนุกรมกัน 35 ตัว ซึ่งจะได้ตัวเก็บประจุที่สามารถทนแรงดันได้ 15,750 kV และมี ความจุ 10/35 μ F โดยจะให้ค่ากระแสต่ำ ซึ่งระบบของเราไม่จำเป็นต้องใช้ค่ากระแสสูง จึงใช้ค่าของตัวเก็บประจุจากการต่ออนุกรมกันนี้ได้
3. ไดโอดทนแรงดันสูง โดยใช้ไดโอดของ HITACHI เบอร์ HVR 1X-4 ซึ่งสามารถทนแรงดันได้ 15,000 kV เมื่อไบอัสย้อนกลับ



รูปที่ 3.10 ระบบจ่ายไฟกระแสตรงแรงดันสูง

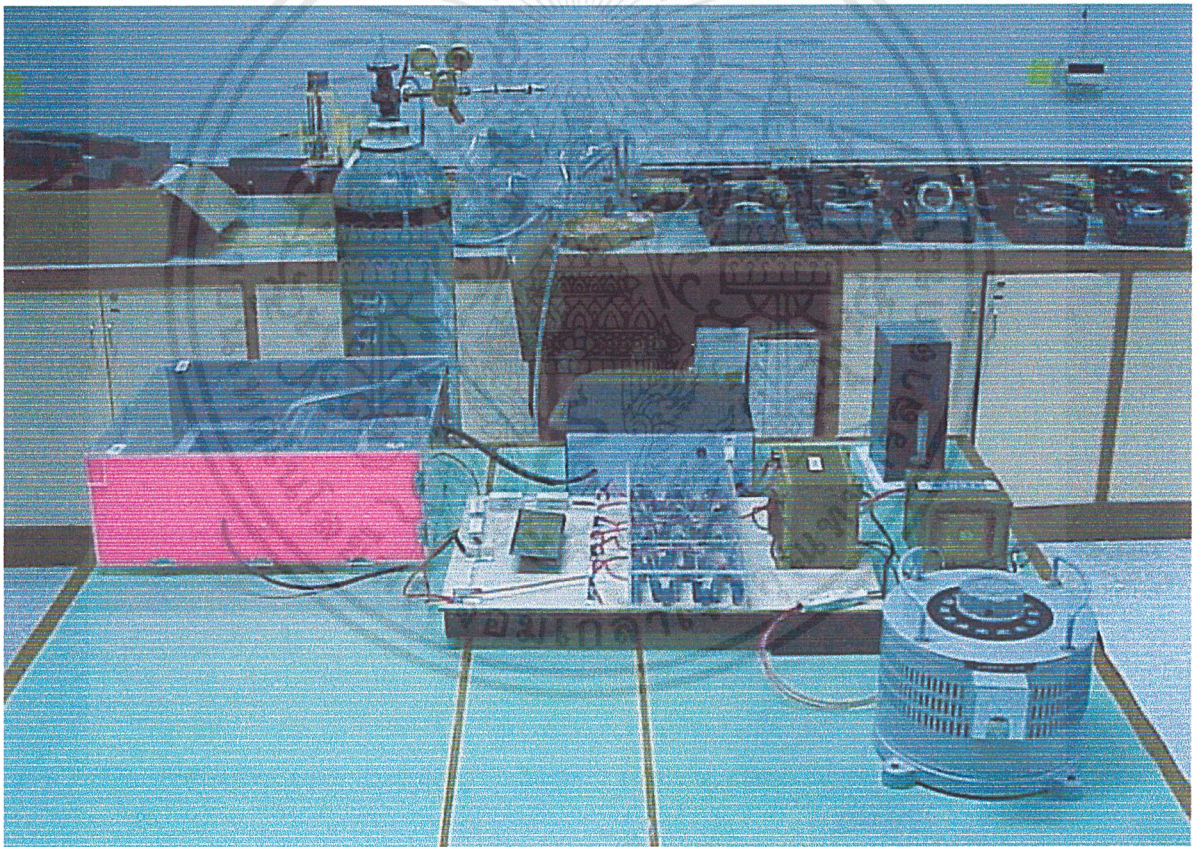
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ขั้นตอนการประกอบระบบไนโตรเจนเลเซอร์

หลังจากที่ทำการออกแบบและสร้างส่วนต่างๆของระบบไนโตรเจนเลเซอร์เสร็จเรียบร้อยแล้ว จะได้ระบบเลเซอร์ที่มีองค์ประกอบหลักดังนี้

1. ขั้วอิเล็กโทรดหรือขั้วไฟฟ้าสแตนเลสขนาด 30 x 400 ตารางมิลลิเมตร
2. ชุดจ่ายไฟแรงสูงกระแสตรง ปรับแรงดันไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0-25 กิโลโวลต์
3. ตัวเก็บประจุแผ่นขนาน C_1, C_2 ขนาดความจุ 2.6 และ 5.2 นาโนฟารัด ตามลำดับ
4. ชุดวงจรควบคุมจังหวะการเกิดแสงไนโตรเจนเลเซอร์

เมื่อนำส่วนประกอบต่างๆมาประกอบเข้าด้วยกันจะได้ระบบไนโตรเจนเลเซอร์ดังแสดงในรูป 3.10 ซึ่งเป็นภาพถ่ายระบบไนโตรเจนเลเซอร์ที่สร้างขึ้น



รูป 3.11 ภาพถ่ายระบบไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ

บทที่ 4

การทดลอง และผลการทดลอง

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงวิธีการทดสอบการทำงานของไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ และการหาสภาวะที่ทำให้เกิดแสงเลเซอร์ที่ดีที่สุด เช่น อัตราการไหลของแก๊ส ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนให้กับชุดไนโตรเจนเลเซอร์ ความกว้างของสปาร์กแกป เป็นต้น และทำการศึกษาสมบัติของไนโตรเจนเลเซอร์ที่ได้ออกมา เช่น ความเข้มของแสงเลเซอร์ ซึ่งจะกล่าวถึงวิธีการทดลอง และ ผลการทดลอง โดยแยกเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

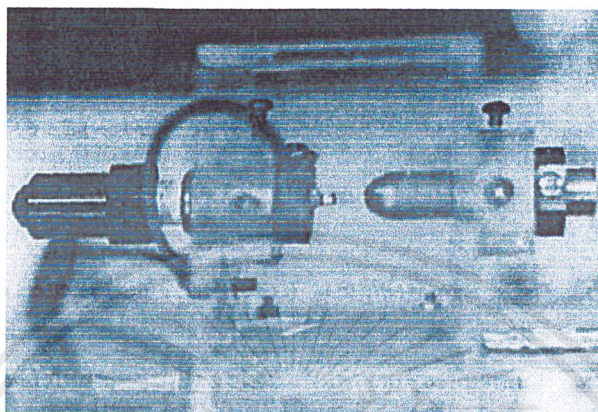
4.1 การทดสอบการทำงานของไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ และศึกษาสมบัติของแสงเลเซอร์

4.1.1 ทดสอบการทำงานของไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ

1. จัดชุดกำเนิดแสงไนโตรเจนเลเซอร์โดยปรับระยะห่างของขั้วไฟฟ้าเป็น 2.667 มิลลิเมตร โดยใช้ฟิลเตอร์ที่ใช้สำหรับวัดระยะห่างของเจ็วหัวเทียนรถยนต์
2. ตั้งระยะของสปาร์กแกป ให้ห่างกัน 12.451 มิลลิเมตร
3. เปิดสวิตซ์ที่ชุดจุกระเบิดหัวเทียนเพื่อให้ชุดจุกระเบิดหัวเทียนควบคุมจังหวะของการเกิดแสงเลเซอร์ สังเกตผลที่เกิดขึ้นที่เจ็วหัวเทียน
4. ป้อนแรงดันจากชุดจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงให้กับชุดไนโตรเจนเลเซอร์ เพิ่มแรงดันอย่างช้าๆจนเกิดการสปาร์กที่ขั้วไฟฟ้า สังเกตผลที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าและสังเกตว่าเกิดแสงเลเซอร์หรือไม่ โดยสังเกตจากมารับแสงที่ติดกระดาษเรืองแสงหรือกระดาษสีขาว ถ้าเกิดแสงเลเซอร์จะสังเกตเห็นจุดสว่างขึ้นที่ฉากรับแสง
5. ปลดอยแก๊สไนโตรเจนที่มีความบริสุทธิ์ 99.99 % เข้าไปยังช่องเลเซอร์ด้วยอัตราการไหลของแก๊ส 1 ลิตร/นาที่ สังเกตที่ฉากรับแสงว่าเกิดแสงเลเซอร์หรือไม่
6. เปลี่ยนค่าระยะห่างของขั้วไฟฟ้าเป็น 2.794 มิลลิเมตร สังเกตที่ฉากรับแสง แล้วบันทึกผลการเกิดแสงเลเซอร์
7. เปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงที่ให้กับชุดไนโตรเจนเลเซอร์เป็น 14.0 , 14.5 , 15.0 , 15.5 , 16.0 , 16.5 , 17.0 กิโลโวลต์ สังเกตที่ฉากรับแสง แล้วบันทึกผลการเกิดแสงเลเซอร์
8. เปลี่ยนอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนเป็น 2 , 3 , 4 ลิตร/นาที่ สังเกตที่ฉากรับแสง แล้วบันทึกผลการเกิดแสงเลเซอร์
9. สรุปและวิเคราะห์ผล

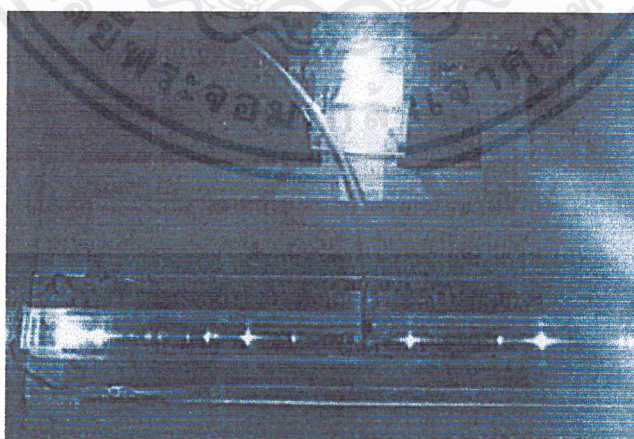
ผลการทดลอง

เมื่อเปิดสวิตซ์ที่ชุดจุดระเบิดหัวเทียนให้ชุดจุดระเบิดหัวเทียนทำงานเพื่อควบคุมจังหวะของการเกิดเลเซอร์ จะสังเกตเป็นประกายไฟที่เขียวหัวเทียนตามจังหวะการกระตุ้น



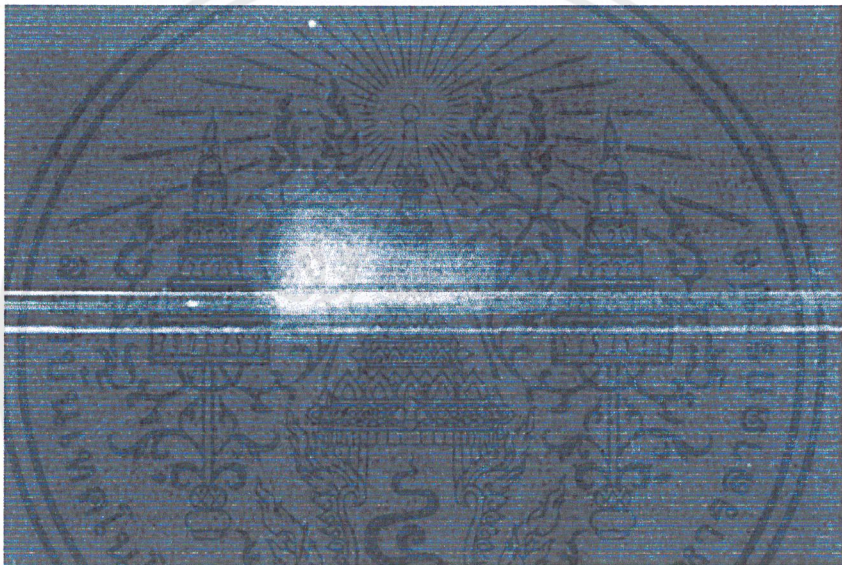
รูปที่ 4.1 แสดงถึงชุดจุดระเบิดหัวเทียน

เมื่อปรับแรงดันจากชุดจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงให้กับชุดไนโตรเจนเลเซอร์ เพิ่มแรงดันขึ้นช้าๆ จนแรงดันมีค่าประมาณ 14 กิโลโวลต์ จะเริ่มเกิดการสปาร์กที่ขั้วไฟฟ้าแต่เกิดการสปาร์กที่ขั้วไฟฟ้าเพียงครั้งเดียว เมื่อเพิ่มแรงดันสูงขึ้นจนถึง 14.5 กิโลโวลต์ จะเกิดการสปาร์กที่มากขึ้นแต่ยังไม่สม่ำเสมอ เมื่อเพิ่มแรงดันมากขึ้นจนถึงที่ 15 กิโลโวลต์ จะเกิดการสปาร์กที่ขั้วไฟฟ้าสม่ำเสมอ สังเกตที่ฉากรับแสงพบว่า ไม่เกิดจุดแสงเลเซอร์ขึ้น แต่เห็นเป็นลักษณะของแสงจากการสปาร์ก เมื่อเพิ่มแรงดันสูงขึ้นเรื่อยๆ จะสังเกตเห็นผลที่ฉากรับแสงได้เช่นเดียวกัน ซึ่งลักษณะการสปาร์กที่ขั้วไฟฟ้าของลักษณะของแสงที่ปรากฏที่ฉากรับแสงแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 4.2 แสดงถึงลักษณะการสปาร์กที่ขั้วไฟฟ้า

เมื่อปรับแรงดันไฟฟ้าจากชุดจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงลดลงมาที่ 15 กิโลโวลต์ แล้วปล่อยแก๊สในโตรเจนที่มีความบริสุทธิ์ 99.99% เข้าไปยังช่องเลเซอร์ด้วยอัตราการไหลของแก๊ส 1 ลิตร/นาที ตั้งเกตที่ฉากรับแสงจะเริ่มเห็นเป็นจุดแสงเลเซอร์บ้างในบางครั้ง แต่ยังไม่ชัดเจนนัก เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นเรื่อยๆ พบว่าจุดแสงเลเซอร์จะเข้มมากขึ้นเรื่อยๆ โดยที่ลำแสงเลเซอร์มีลักษณะที่ไม่เป็นวงกลม แต่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทำการบันทึกภาพจุดแสงที่ปรากฏที่ฉาก (วางฉากห่างจากช่องที่แสงเลเซอร์ออกเป็นระยะ 20 เซนติเมตร) ด้วยกล้องถ่ายรูป Pantax รุ่น Super A ใช้เลนส์ขนาด 50 มิลลิเมตร เปิดหน้ากล้องไว้ที่ 1.7 และตั้งชัตเตอร์ไว้ที่ B ภาพที่บันทึกได้จะแสดงได้ดังในรูป



รูปที่ 4.3 แสดงถึงลักษณะของจุดแสงในโตรเจนเลเซอร์ที่บันทึกภาพที่ระยะห่างของฉาก 20 เซนติเมตร

เมื่อเราเปลี่ยนค่าระยะห่างของสปาร์กแกป อัตราการไหลของแก๊ส และแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนให้กับระบบในโตรเจนเลเซอร์ พบว่า อัตราการเกิดแสงเลเซอร์มีค่าเปลี่ยนแปลงไป ดังตารางผลการทดลองต่อไปนี้

ตารางผลการทดลองการเกิดแสงเลเซอร์ที่ระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรดและค่าอัตราการไหลของแก๊สต่าง
ที่ระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรดมีค่าเท่ากับ 2.794 มิลลิเมตร

1. อัตราการไหลของแก๊สในโตรเจนเท่ากับ 1 ลิตร/นาที

	14.0	14.5	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0		14.0	14.5	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0
1	0	1	1	1	1	0	1	26	0	1	1	1	1	1	0
2	0	1	0	0	1	1	0	27	0	1	1	1	1	0	0
3	0	1	0	1	1	1	1	28	0	0	1	1	1	1	0
4	0	1	1	0	1	1	1	29	0	1	1	1	0	1	1
5	0	1	1	0	0	1	1	30	0	0	1	0	1	1	0
6	0	1	0	1	1	1	1	31	0	1	0	0	0	1	0
7	0	0	1	1	1	1	1	32	0	1	1	1	1	1	1
8	0	1	1	0	1	1	0	33	0	1	0	0	0	1	0
9	0	1	0	0	1	0	1	34	0	1	1	0	1	1	1
10	0	1	0	0	1	1	1	35	0	1	0	1	0	1	1
11	0	1	1	0	1	1	1	36	0	1	0	1	1	1	1
12	0	1	1	1	0	1	1	37	0	1	0	1	1	0	1
13	0	1	1	1	1	0	1	38	0	1	0	0	1	1	1
14	0	1	1	1	1	0	1	39	0	0	0	1	1	1	0
15	0	1	0	0	0	1	1	40	0	1	1	1	1	1	1
16	0	1	1	1	1	1	0	41	0	1	1	0	1	1	1
17	0	0	0	0	1	0	1	42	0	0	1	1	1	0	1
18	0	0	1	1	1	1	1	43	0	0	0	1	0	0	1
19	0	0	0	1	1	1	0	44	0	1	1	0	1	1	1
20	0	0	1	0	1	1	1	45	0	1	0	1	1	1	1
21	0	1	0	0	1	1	0	46	0	0	0	0	1	1	1
22	0	1	1	1	1	1	1	47	0	1	1	0	1	1	0
23	0	0	1	1	0	0	0	48	0	1	1	1	1	1	1
24	0	1	1	0	1	0	1	49	0	0	0	1	1	1	1
25	0	1	1	1	0	0	1	50	0	1	1	0	1	1	0
									0%	74%	90%	56%	80%	76%	70%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 2 ลิตร/นาที

	14.0	14.5	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0		14.0	14.5	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0
1	0	1	1	1	1	0	1	26	0	1	1	1	1	1	1
2	0	0	1	1	1	1	1	27	0	0	1	1	1	1	1
3	0	0	0	1	1	0	1	28	0	0	1	0	1	1	0
4	0	0	1	1	1	1	1	29	0	1	1	1	1	1	1
5	0	1	1	1	1	1	1	30	0	0	1	0	1	1	0
6	0	0	1	0	1	0	1	31	0	0	0	0	0	1	1
7	0	0	1	0	0	1	1	32	0	0	0	0	1	1	1
8	0	1	1	0	0	0	1	33	0	0	1	1	0	1	1
9	0	1	1	0	0	1	1	34	0	0	1	1	1	1	1
10	0	0	0	1	1	1	1	35	0	0	1	1	0	1	1
11	0	1	0	1	0	1	1	36	0	0	1	1	1	1	1
12	0	0	1	1	1	1	0	37	0	1	1	0	1	1	1
13	0	1	1	1	1	1	1	38	0	0	1	1	1	0	1
14	0	0	1	1	1	1	1	39	0	1	1	0	1	1	1
15	0	1	0	0	0	1	1	40	0	0	1	1	1	1	1
16	0	0	1	1	1	1	1	41	0	1	0	0	1	1	1
17	0	0	1	1	1	1	1	42	0	0	1	1	1	0	1
18	0	1	1	1	0	1	1	43	0	0	1	1	1	1	1
19	0	1	1	1	0	1	1	44	0	1	1	1	1	0	0
20	0	1	1	0	1	0	1	45	0	0	1	1	1	1	1
21	0	1	0	0	1	1	0	46	0	1	1	1	1	1	1
22	0	0	0	1	0	1	1	47	0	0	0	0	1	0	1
23	0	0	1	1	1	0	1	48	0	0	1	0	1	1	1
24	0	1	0	1	0	0	1	49	0	0	1	0	0	0	1
25	0	0	1	0	1	1	1	50	0	1	1	0	0	1	1
									0%	40%	78%	62%	72%	76%	90%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 3 ลิตร/นาที

	14.0	14.5	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0		14.0	14.5	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0
1	1	1	1	1	1	1	1	26	0	0	1	1	0	1	1
2	0	1	0	0	0	1	1	27	0	1	0	1	1	1	1
3	0	0	1	0	0	1	1	28	0	1	0	1	1	1	1
4	0	1	1	1	1	1	0	29	0	1	1	1	1	1	1
5	0	1	0	1	1	1	1	30	0	0	1	0	1	1	1
6	0	0	0	0	1	1	1	31	1	1	1	1	0	1	1
7	0	1	0	1	1	1	1	32	0	0	1	1	1	1	1
8	0	1	1	1	0	1	0	33	0	0	1	1	1	1	0
9	0	1	1	1	1	1	1	34	0	0	0	1	0	1	1
10	0	1	1	0	0	0	1	35	0	0	1	1	1	1	1
11	0	0	1	1	1	1	1	36	0	1	1	1	1	1	1
12	0	0	1	0	1	1	1	37	0	1	1	1	1	1	0
13	1	1	1	0	1	1	1	38	0	1	1	0	1	1	1
14	0	0	0	1	0	1	1	39	0	0	0	1	1	1	0
15	0	0	1	1	0	1	1	40	0	1	0	1	1	1	1
16	0	0	1	1	1	0	1	41	0	1	1	1	1	1	1
17	1	0	1	1	0	1	1	42	1	0	1	0	1	1	0
18	0	0	1	1	0	1	1	43	0	0	1	1	0	1	1
19	0	0	1	1	1	1	0	44	0	1	0	1	1	1	1
20	0	1	0	1	1	1	1	45	0	1	0	1	0	1	1
21	0	1	1	0	1	1	1	46	0	0	1	0	0	1	1
22	0	0	0	1	0	1	1	47	0	1	0	0	1	1	1
23	0	0	0	1	1	1	1	48	0	1	1	1	1	1	1
24	0	0	0	1	1	1	1	49	0	0	1	1	1	1	0
25	0	0	1	1	1	1	1	50	0	1	0	0	1	1	1
									10%	50%	64%	74%	70%	96%	84%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 4 ลิตร/นาที

	14.0	14.5	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0		14.0	14.5	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0
1	0	1	1	1	1	1	1	26	0	0	1	0	1	1	1
2	0	0	0	1	1	1	1	27	0	1	0	1	0	1	1
3	0	0	1	1	1	1	1	28	1	1	1	0	0	1	1
4	0	1	1	0	0	1	1	29	0	0	0	1	0	1	1
5	0	0	1	0	1	1	1	30	0	1	0	1	1	1	1
6	0	0	0	1	1	1	1	31	0	1	0	1	1	1	1
7	0	1	0	1	1	1	1	32	0	0	1	1	1	0	1
8	0	0	0	0	1	1	1	33	0	1	1	1	0	1	0
9	1	0	1	1	1	1	1	34	1	1	1	1	1	1	1
10	0	0	0	0	1	1	1	35	0	0	1	1	1	1	1
11	0	0	0	0	1	0	1	36	0	0	0	1	1	1	1
12	0	1	1	1	0	1	1	37	0	0	1	1	1	0	1
13	0	1	0	1	1	1	0	38	0	0	0	1	1	1	0
14	0	1	0	0	1	0	1	39	0	1	1	1	1	1	1
15	0	1	1	0	0	0	1	40	0	0	0	1	1	1	1
16	0	0	1	1	1	1	1	41	0	1	1	1	1	1	1
17	0	0	1	1	1	1	1	42	0	1	0	0	1	0	1
18	0	0	0	1	1	1	1	43	0	1	1	1	1	1	1
19	0	1	1	1	1	1	1	44	0	1	0	1	1	1	1
20	0	1	0	1	1	0	1	45	0	0	1	1	1	1	1
21	0	0	0	0	0	1	1	46	0	0	1	0	0	1	1
22	0	1	1	0	1	1	1	47	0	1	1	0	1	1	1
23	0	1	1	1	0	0	1	48	0	0	0	1	1	1	1
24	0	1	0	1	1	1	1	49	0	0	0	1	1	1	1
25	0	0	1	0	0	1	1	50	0	1	0	0	1	1	1
									6%	50%	52%	68%	78%	84%	94%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ระยะห่างของขั้วอิเล็กโตรดมีค่าเท่ากับ 2.667 มิลลิเมตร

1. อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนเท่ากับ 1 ลิตร/นาที

	14.0	14.5	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0		14.0	14.5	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0
1	1	1	1	1	1	1	1	26	0	1	1	1	1	1	0
2	1	0	1	1	1	0	0	27	1	1	1	1	0	1	0
3	0	1	1	1	0	0	0	28	1	0	0	1	0	1	1
4	0	0	0	1	1	0	0	29	1	0	0	1	1	1	0
5	1	0	0	0	0	0	0	30	1	0	1	0	1	1	0
6	1	0	1	0	1	0	0	31	1	0	1	1	1	1	0
7	0	1	1	1	1	0	0	32	0	1	1	1	1	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	33	0	0	0	1	0	0	0
9	1	0	0	0	1	1	0	34	1	1	0	1	1	1	0
10	0	0	1	1	0	1	0	35	0	1	1	1	0	1	1
11	0	1	1	1	1	1	0	36	0	1	0	1	0	1	0
12	1	1	0	1	0	0	0	37	0	0	1	0	0	1	0
13	1	0	1	0	1	0	0	38	0	0	1	1	1	1	0
14	1	1	1	0	0	0	0	39	1	0	1	1	1	1	0
15	1	0	0	0	1	0	0	40	1	1	1	1	1	1	0
16	1	0	0	0	1	0	0	41	0	1	1	1	0	0	0
17	1	0	1	1	1	0	1	42	1	1	1	0	0	1	0
18	0	0	0	1	0	0	0	43	0	0	1	0	1	1	0
19	1	0	1	0	0	0	0	44	1	1	0	0	1	1	0
20	1	0	1	1	1	0	1	45	1	1	1	1	1	1	0
21	1	0	1	0	1	0	1	46	1	1	1	1	1	0	1
22	1	0	1	1	1	1	0	47	1	1	0	0	1	1	0
23	1	1	1	1	1	1	0	48	1	1	1	1	1	1	0
24	1	1	1	1	1	1	0	49	1	1	1	1	1	1	1
25	0	0	1	0	1	1	0	50	1	0	1	1	1	0	0
									66%	46%	70%	66%	68%	56%	16%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนเท่ากับ 2 ลิตร/นาที

	14.0	14.5	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0		14.0	14.5	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0
1	1	1	1	1	1	1	1	26	1	1	0	0	0	1	0
2	0	1	0	0	1	1	0	27	1	0	0	1	1	1	0
3	0	1	1	1	1	1	0	28	0	1	0	1	1	1	0
4	0	1	0	0	1	1	1	29	0	1	1	1	1	0	0
5	1	1	1	1	0	1	1	30	0	0	0	1	1	0	0
6	0	0	1	1	0	1	0	31	1	1	0	0	1	1	0
7	1	1	1	1	1	1	1	32	1	1	1	1	0	1	0
8	0	0	1	1	1	1	0	33	1	1	1	0	1	1	0
9	0	0	1	1	1	0	0	34	1	0	1	1	0	1	0
10	0	1	1	1	1	0	1	35	0	0	1	1	0	1	0
11	0	1	1	0	1	0	1	36	0	0	1	0	0	1	1
12	0	0	0	1	1	0	0	37	0	0	0	1	1	1	0
13	0	1	1	1	1	1	1	38	0	0	0	1	1	1	0
14	0	0	1	1	1	1	1	39	0	1	1	1	1	0	0
15	0	0	1	0	1	0	0	40	1	1	1	0	1	1	0
16	0	0	1	1	1	1	1	41	1	1	1	1	0	0	0
17	1	1	0	1	0	1	0	42	1	0	0	1	1	1	0
18	0	1	1	1	1	1	1	43	0	0	1	1	1	1	0
19	0	1	1	0	1	1	0	44	0	1	1	1	0	0	0
20	1	1	0	0	1	1	0	45	0	0	0	1	1	1	0
21	0	0	1	0	1	1	0	46	0	1	1	0	0	1	0
22	1	0	0	1	1	1	0	47	1	1	0	0	1	1	1
23	1	0	0	1	0	1	0	48	0	1	0	1	1	1	1
24	1	0	1	1	1	1	0	49	0	0	0	0	1	1	0
25	0	1	0	0	1	1	0	50	0	1	1	0	1	0	0
									36%	56%	60%	66%	76%	78%	26%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนเท่ากับ 3 ลิตร/นาที

	14.0	14.5	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0		14.0	14.5	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0
1	1	1	1	1	1	1	1	26	0	1	1	1	1	1	1
2	1	1	0	1	1	1	1	27	0	0	0	1	1	1	0
3	1	1	1	1	1	0	1	28	0	0	1	0	1	0	1
4	0	1	1	1	1	1	0	29	0	1	1	0	1	1	0
5	0	1	1	0	0	1	0	30	0	0	1	1	1	1	0
6	1	0	1	0	0	1	0	31	0	1	0	0	1	1	0
7	0	1	0	0	1	1	0	32	0	0	0	0	1	1	0
8	0	0	1	0	0	1	1	33	0	1	0	0	1	1	0
9	0	0	0	1	0	0	0	34	1	1	0	0	0	1	0
10	1	1	1	1	1	1	0	35	0	0	1	0	1	1	0
11	1	0	1	0	1	0	0	36	0	0	1	1	1	1	0
12	1	1	1	0	1	1	0	37	0	0	1	1	1	1	0
13	0	1	1	0	1	1	0	38	0	1	1	0	0	1	0
14	0	1	1	0	1	0	0	39	0	1	0	1	1	1	0
15	1	1	1	1	1	1	0	40	0	0	0	1	1	1	0
16	1	0	1	1	1	1	0	41	0	1	1	0	0	1	0
17	0	0	1	0	1	1	1	42	1	1	1	0	1	1	0
18	0	0	1	1	1	1	0	43	0	0	1	1	1	1	0
19	0	0	1	0	0	1	0	44	0	1	0	1	0	1	1
20	0	0	0	0	1	1	0	45	0	1	0	1	1	1	0
21	0	1	1	1	1	1	0	46	1	0	1	1	1	1	0
22	1	0	0	1	0	1	0	47	0	0	1	0	1	1	1
23	0	1	1	1	0	1	1	48	0	1	1	1	1	1	0
24	0	0	0	0	0	0	0	49	1	1	1	1	1	1	1
25	0	1	1	1	1	0	0	50	1	1	0	1	1	1	1
									30%	56%	68%	54%	76%	86%	24%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนเท่ากับ 4 ลิตร/นาที

	14.0	14.5	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0		14.0	14.5	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0
1	0	1	0	1	1	1	1	26	0	1	0	1	1	1	1
2	0	0	1	0	1	1	1	27	0	0	0	0	0	1	1
3	0	1	0	1	1	1	0	28	0	1	0	0	1	0	1
4	0	1	0	1	0	1	1	29	0	1	1	1	1	1	1
5	0	1	0	1	1	0	1	30	0	1	1	1	0	1	1
6	0	0	1	0	1	1	1	31	0	0	0	0	1	0	0
7	0	0	0	1	0	1	0	32	0	1	1	0	0	0	1
8	0	0	0	0	1	0	1	33	0	1	0	0	0	0	1
9	0	1	1	1	1	0	0	34	0	0	1	0	1	1	1
10	0	1	0	1	1	1	1	35	0	0	1	1	0	1	1
11	0	0	0	1	0	1	1	36	0	1	0	0	1	0	1
12	0	1	0	1	0	1	1	37	0	0	1	1	1	1	1
13	0	0	1	1	1	0	0	38	0	1	1	0	1	1	1
14	0	0	1	0	1	1	0	39	0	1	1	0	0	1	1
15	0	0	1	1	1	1	1	40	0	0	1	0	1	0	1
16	0	1	1	0	1	0	1	41	0	1	0	0	1	1	1
17	0	0	1	1	1	1	0	42	0	0	1	1	1	1	1
18	0	0	1	1	1	0	1	43	0	1	1	0	0	0	1
19	0	0	1	0	1	0	1	44	0	0	0	0	1	0	1
20	0	1	0	0	0	1	1	45	0	1	1	0	1	1	1
21	0	1	0	1	1	1	0	46	0	0	1	0	0	0	1
22	0	0	1	1	0	1	0	47	0	0	0	1	1	1	1
23	0	1	0	0	1	0	0	48	0	0	1	1	1	1	0
24	0	0	0	0	1	1	0	49	0	1	0	1	1	1	1
25	0	1	0	0	0	1	1	50	0	0	1	0	1	1	1
									0%	50%	52%	48%	70%	66%	76%

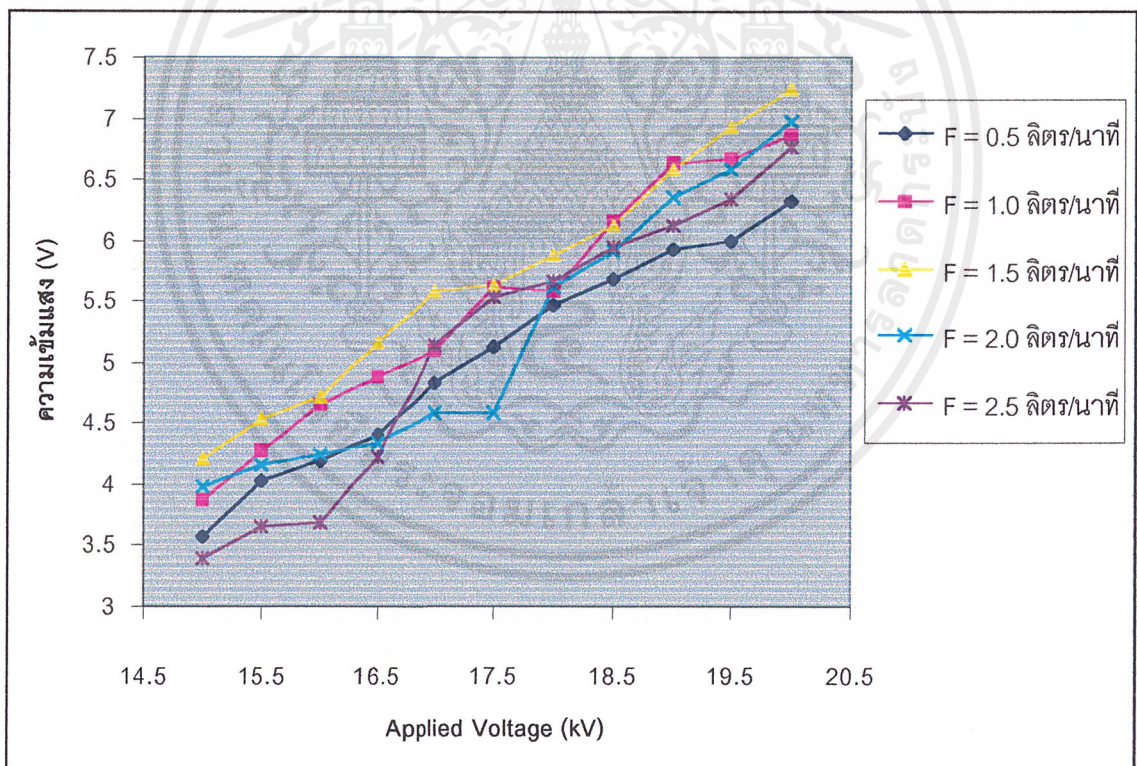
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงที่ป้อนให้กับไนโตรเจนเลเซอร์ (Applied Voltage) กับค่าความเข้มแสงที่อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนค่าต่างๆ

1. จัดชุดกำเนิดแสงไนโตรเจนเลเซอร์โดยปรับระยะห่างของขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 2.794 มิลลิเมตร ตั้งระยะห่างของสปาร์กแก๊ปเท่ากับ 12.451 มิลลิเมตร ด้วยฟิลเตอร์ที่ใช้วัดระยะห่างของเขี้ยวหัวเทียนรถยนต์
2. เปิดสวิตช์ที่ชุดจุดระเบิดหัวเทียนเพื่อให้ชุดจุดระเบิดหัวเทียนควบคุมจังหวะของการเกิดเลเซอร์
3. ปลดปล่อยแก๊สไนโตรเจนที่มีความบริสุทธิ์ 99.99% เข้าไปยังช่องเลเซอร์ด้วยอัตราการไหลของแก๊ส 0.5 ลิตร/นาที่ และป้อนแรงดันจากชุดจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง 15 กิโลโวลต์
4. นำหัววัดความเข้มแสงชนิดโฟโตไดโอดแบบ High – Speed Silicon Detector – DET 200 ของบริษัท Thorlabs มาวัดความเข้มแสงโดยต่อเข้ากับออสซิลโลสโคปของบริษัท Tektronix รุ่น TDS 420 A
5. อ่านค่าแรงดันและบันทึกค่าแรงดันที่อ่านได้จากออสซิลโลสโคปแล้วนำไปหาค่าเฉลี่ย
6. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3 – 5 แต่เพิ่มแรงดันเป็น 15.5 , 16.0 , 16.5 , 17.0 , 17.5 , 18.0 , 18.5 , 19.0 , 19.5 และ 20.0 กิโลโวลต์ ตามลำดับ
7. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3 – 6 แต่เพิ่มอัตราการไหลของแก๊สเป็น 1.0 , 1.5 , 2.0 และ 2.5 ลิตร/นาที่ตามลำดับ
8. นำผลของค่าข้อมูลเฉลี่ยที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงที่ป้อนให้กับชุดเลเซอร์และความเข้มแสง เมื่อมีอัตราการไหลของแก๊สค่าต่างๆกัน
8. สรุปและวิเคราะห์ผล

ผลการทดลอง

เมื่อจัดชุดกำเนิดแสงใน โตรเจนเลเซอร์ โดยปรับระยะห่างของขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 2.794 มิลลิเมตร ตั้งระยะของสปาร์กแกปให้ห่างกัน 12.451 มิลลิเมตร เปิดสวิตซ์ที่ชุดจุดระเบิดหัวเทียนเพื่อให้ชุดจุดระเบิดหัวเทียนควบคุมจังหวะของการเกิดแสงเลเซอร์ ปล่อยแก๊สในโตรเจนที่มีความบริสุทธิ์ 99.99% เข้าไปยังช่องเลเซอร์โดยเริ่มต้นที่อัตราการไหลของแก๊ส 2 ลิตร/นาที่ จ่ายแรงดันจากชุดจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง 15 กิโลโวลต์ นำหัววัดความเข้มแสงชนิดโฟโตไดโอดต่อเข้ากับออสซิลโลสโคปอ่านและบันทึกค่าแรงดันที่อ่านได้จากออสซิลโลสโคปแล้วนำไปหาค่าเฉลี่ย เพิ่มแรงดันเป็น 15.5 , 16.0 , 16.5 , 17.0 , 17.5 , 18.0 และ 18.5 , 19.0 , 19.5 และ 20.0 กิโลโวลต์ตามลำดับ ทำการทดลองเช่นเดิม แต่เพิ่มอัตราการไหลของแก๊สเป็น 3 และ 4 ลิตร/นาที่ ตามลำดับในแต่ละค่าแรงดัน นำผลของค่าข้อมูลเฉลี่ยที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงที่ป้อนให้กับชุดในโตรเจนเลเซอร์และความเข้มแสง เมื่อมีอัตราการไหลของแก๊สค่าต่างๆกัน พบว่าจะได้กราฟดังแสดงในรูป



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนเข้าไปในระบบกับความเข้มแสง เมื่อวางตัวตรวจจับทางแสง (DET200) ห่าง 3 เมตร ระยะห่างของสปาร์กแกปเท่ากับ 12.451 มิลลิเมตร ระยะห่างของขั้วอิเล็กโตรดเท่ากับ 2.794 มิลลิเมตร

ตารางผลการทดลองการวัดค่าความเข้มของแสงเลเซอร์เมื่อวางตัวตรวจจับทางแสง (DET200) ห่าง 3 เมตร ระยะห่างของสปาร์กแก๊ปเท่ากับ 12.451 มิลลิเมตร ระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรดเท่ากับ 2.794 มิลลิเมตร

แรงดันไฟฟ้า (V)	อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน (ลิตร/นาทีก)				
	0.5	1	1.5	2	2.5
15	3.57	3.86	4.21	3.98	3.4
15.5	4.03	4.28	4.54	4.17	3.66
16	4.19	4.65	4.72	4.24	3.68
16.5	4.4	4.89	5.16	4.34	4.22
17	4.83	5.09	5.58	4.58	5.14
17.5	5.13	5.62	5.63	4.59	5.54
18	5.47	5.59	5.88	5.61	5.67
18.5	5.69	6.15	6.12	5.91	5.94
19	5.93	6.64	6.59	6.36	6.13
19.5	5.99	6.67	6.93	6.59	6.34
20	6.32	6.86	7.24	6.97	6.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะสรุปผลการทดลองในการทดสอบการทำงานของไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศที่ควบคุมจังหวะการเกิดแสงเลเซอร์จากชุดจุดระเบิดหัวเทียน สมบัติของลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์ที่ได้ทำการทดลองจากบทที่ 4 รวมทั้งปัญหาต่างๆที่พบขณะทำงานและข้อเสนอแนะที่ควรจะมีการปรับปรุงและแก้ไข

5.1 สรุปผล

1. สามารถสร้างไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศที่ควบคุมจังหวะการเกิดแสงเลเซอร์ได้โดยชุดจุดระเบิดหัวเทียน โดยใช้ไอซี LM 555 เป็นตัวกำเนิดสัญญาณ ซึ่งสามารถปรับความถี่ได้ในช่วง 0.5 – 10 เฮิร์ต จากการทดลองพบว่าลำแสงจากไนโตรเจนเลเซอร์จะมีความเข้มมากที่สุด เมื่อมีอัตราการไหลของแก๊ส 1.5 ลิตร/นาที แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนให้ชุดไนโตรเจนเลเซอร์มีค่า 20.0 กิโลโวลต์ ที่ระยะห่างของสปาร์กแก๊ปเท่ากับ 12.451 มิลลิเมตรและระยะห่างของขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 2.794 มิลลิเมตร
2. จากการศึกษาพบว่าภาคตัดขวางลำแสงจากไนโตรเจนเลเซอร์ที่สร้างขึ้นมีลักษณะไม่เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าอย่างที่คาดหวัง แต่จะมีลักษณะออกทางรี ๆ มีการกระจายความเข้มแสงที่เราพบว่าความเข้มสูงสุดของลำแสงไม่ได้อยู่ที่กึ่งกลางของลำแสง แต่จะอยู่เยื้องไปทางด้านข้างเล็กน้อย
3. จากผลการทดลองพบว่าความเข้มของแสงเลเซอร์จะแปรผันตรงกับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนให้กับชุดไนโตรเจนเลเซอร์ เนื่องจากเมื่อป้อนค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับระบบมากขึ้น จะทำให้พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีประจุหรืออิเล็กตรอนสะสมอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อมีการกระตุ้นให้เกิดการคายประจุผ่านช่องเลเซอร์ (Laser channel) จะมีอิเล็กตรอนที่ถูกปลดปล่อยออกมาเพื่อไปกระตุ้นโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนจำนวนมากเป็นผลให้มีการเกิดประชากรผกผันจำนวนมากด้วย ดังนั้นลำแสงเลเซอร์ที่เกิดจึงมีความเข้มสูงกว่าเมื่อเทียบกับกรณีที่ป้อนแรงดันไฟฟ้าต่ำ
4. เนื่องจากด้วยลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางทำงานที่ความดันบรรยากาศมีพลังงานมากกว่าลำแสงเลเซอร์ชนิดอื่น จึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการกระตุ้นสารละลายคายที่ประกอบด้วยสาร โรคา มิน 6 จี ที่ทำละลายในแอลกอฮอล์ 99% ให้เกิดเลเซอร์ได้
5. ในกรณีที่ค่าเก็บประจุของตัวเก็บประจุสตอเรจและค่าเก็บประจุของตัวเก็บประจุพัลส์ฟอร์มมิง ไลน์มีค่ามาก จะทำให้มีค่าประจุที่จะไปกระตุ้นแก๊สไนโตรเจนมีค่ามากขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าความเข้มของลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์มีค่ามากขึ้น แต่จะทำให้ช่วงเวลาในการกระตุ้นให้อิเล็กตรอนย้ายระดับพลังงานจากระดับ

$B^3\pi_u$ ไปสู่ระดับพลังงาน $C^3\pi_u$ มีค่ามากกว่าช่วงชีวิตที่ระดับพลังงาน $C^3\pi_u$ ซึ่งจะไม่เกิดสภาพประชากรผกผัน แต่ในกรณีที่ค่าเก็บประจุของตัวเก็บประจุต่อเรียงและค่าเก็บประจุของตัวเก็บประจุฟลัสท์ฟอร์มิงไอน์มีค่าน้อยจะทำให้ช่วงเวลาในการกระตุ้นให้อิเล็กตรอนย้ายระดับพลังงานจากระดับ $B^3\pi_u$ ไปสู่ระดับพลังงาน $C^3\pi_u$ มีค่าน้อยกว่าช่วงชีวิตที่ระดับพลังงาน $C^3\pi_u$ ซึ่งจะเกิดสภาพประชากรผกผัน แต่จำนวนประจุที่จะไปกระตุ้นแก๊สในโตรเจนจะมีน้อย ซึ่งจะไม่สามารถทำให้เกิดลำแสงในโตรเจนเลเซอร์ได้

5.2 ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ

1. แหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงที่สร้างขึ้นสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้ในช่วง 0 - 25 กิโลโวลต์เท่านั้น และในขณะที่ทำการทดลองเมื่อปรับแรงดันไฟฟ้าไปที่ค่า 18 กิโลโวลต์ พบว่าเริ่มเกิดเสียงดังที่แหล่งกำเนิดแรงดัน ดังนั้นในการทดลองจึงปรับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงไม่เกิน 18 กิโลโวลต์ เพื่อความปลอดภัย เนื่องจากเกรงจะเกิดความเสียหายขึ้น แต่จากผลการทดลองพบว่า เมื่อปรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมากขึ้น ค่าความเข้มของแสงก็จะมีค่ามากขึ้นด้วย
2. เมื่อปรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงไปที่ 20 กิโลโวลต์ พบว่า วงจรควบคุมจังหวะการเกิดแสงเลเซอร์ไม่สามารถทำงานได้ เนื่องจากฟิวส์ขาด เพราะมีการดึงกระแสมากเกินไป ดังนั้นจึงควรจะมีการปรับปรุงวงจรควบคุมจังหวะการเกิดเลเซอร์ขึ้นใหม่ เพื่อให้เหมาะสมกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ งาน ซึ่งจะทำให้ระบบเลเซอร์สามารถทำงานได้ ที่ค่าแรงดันที่วงจรจ่ายแรงดันสามารถจ่ายได้
3. ในกรณีของระบบในโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศชนิดตัวเก็บประจุแบบจานกระเบื้อง พบว่าไม่เกิดลำแสงในโตรเจนเลเซอร์ออกมา เนื่องจากตัวเก็บประจุแบบจานกระเบื้องที่ใช้ นั้นมีค่าความจุต่ำกว่าค่าความจุของตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน 5.2 เท่า ซึ่งทำให้ปริมาณของอิเล็กตรอนที่ไปกระตุ้นโมเลกุลของแก๊สในโตรเจนมีค่าไม่เพียงพอที่จะกระตุ้นให้เกิดเลเซอร์
4. ในกรณีของระบบในโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศชนิดตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน สารไดอิเล็กทริกที่นำมาใช้ทำเป็นตัวเก็บประจุนี้เป็นแผ่นไมลาร์ ซึ่งสามารถทนแรงดันไฟฟ้าได้ประมาณ 15 กิโลโวลต์ ดังนั้น หากจะสร้างแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงให้จ่ายแรงดันได้สูงกว่า 15 กิโลโวลต์ ควรปรับปรุงระบบโดยการใช้วัสดุไดอิเล็กทริกอื่นที่สามารถทนแรงดันที่สูงได้มากกว่านี้ เนื่องจากแผ่นไมลาร์ที่มีขายทั่วไปในประเทศมีความหนาที่สุดเท่าที่ใช้ในการทดลองอยู่แล้ว
5. จากการสังเกตการใช้งานระบบในโตรเจนเลเซอร์พบว่าเมื่อปรับระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าของช่องเลเซอร์ให้ห่างมากขึ้น (พร้อมกับระยะของสปาร์กแกปให้เหมาะสม) แสงเลเซอร์ที่เกิดมีแนวโน้มว่าจะมีความเข้มแสงมากขึ้น แต่การจัดระยะห่างของขั้วไฟฟ้าให้ได้ระยะที่ต้องการนั้นทำได้ยาก เนื่องจากความไม่

สมบูรณ์ของขั้วไฟฟ้า เช่น ผิวหน้าของขั้วไม่ขนานกันจริงประกอบกับ ระบบจับยึดขั้วไม่สามารถปรับได้ สะดวก ดังนั้นการติดตั้งขั้วไฟฟ้าให้อยู่ในสภาพเดิมทุกครั้งจึงทำได้ยาก การศึกษาผลของระยะห่างของขั้วไฟฟ้าต่อกำลังงานแสงจึงไม่สามารถทำการทดลองซ้ำได้ จึงไม่มีผลการทดลองเป็นตัวเลขแสดงมีเพียงแต่ผลจากการสังเกตเท่านั้น ถ้าต้องการศึกษาผลที่แน่นอนจะต้องมีการปรับปรุงขั้วไฟฟ้าให้ดีขึ้น พร้อมกับปรับปรุงระบบจับยึดขั้วไฟฟ้าให้สามารถปรับระยะได้สะดวกและแน่นอน และถ้าไม่สามารถออกแบบให้สามารถปรับระยะขั้วไฟฟ้าในขณะที่ใช้งานเลเซอร์ (ขณะป้อนไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง) ได้ก็จะช่วยให้การศึกษาทำได้ง่ายขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Wilson, J. F. B. Hawkes. Laser : Principles and Applications. New York : Prentic-Hall , Inc. 1987.
- [2] รัตน์สุดา ทองแดง. “ไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศสำหรับกระตุ้นระบบคายเลเซอร์.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2541.
- [3] มงคล ทองสงคราม. “อิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น”, พิมพ์ครั้งที่ 4 , หน้า 59-62 , ห้างหุ้นส่วนจำกัด วิ.เจ. พรินติ้ง , 2541.



HIGH – SPEED SILICON DETECTOR – DET210

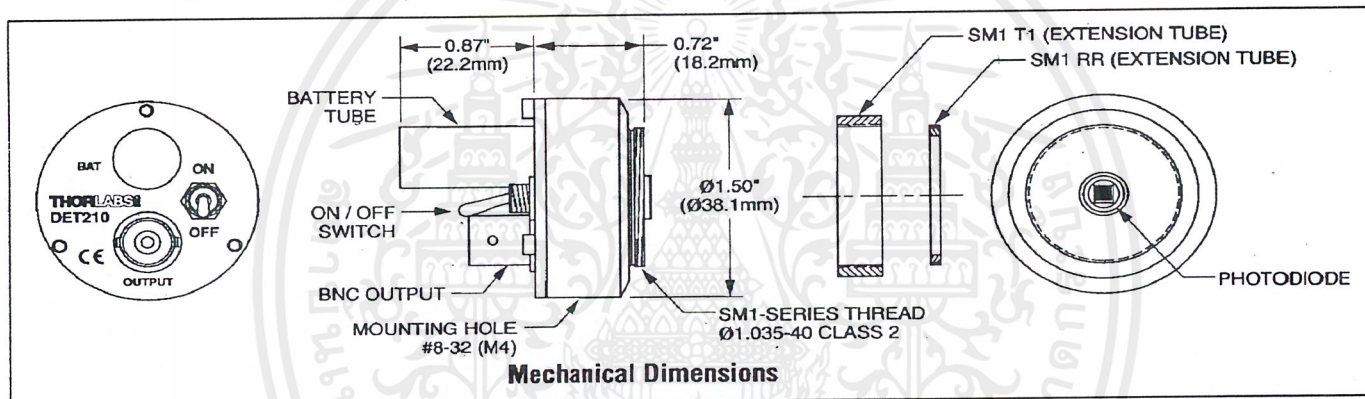
DESCRIPTION

Thorlab's DET210 is a ready-to-use high speed photo detector. The unit comes complete with a photo diode and internal 12V bias battery enclosed in a ruggedized aluminum housing. The head includes a removable 1" optical coupler (SM1T1) which provides easy mounting of ND and spectral filters and other Thorlab's 1" stackable lens mount accessories. Also available are fiber adapters (SMA, FC and ST style.) An #8-32 tapped hole is provided on the base of the housing to mount the detector directly to a Thorlabs positioning device (1/2" post holder, mounting plates, etc.).

SPECIFICATIONS:

Detector: Silicon PIN
Spectral Response: 185-1100nm
Peak Wavelength: 920nm±50nm
Rise/Fall Time: <1ns
Diode Capacitance: 1.8pF
NEP: 5 X10⁻¹⁴W/√Hz
Dark Current: 2.5nA
Active Area: 0.8mm², Ø1mm

Housing: Black Anodized Aluminum
Size: 1.5" RD x 1.60"
Output: BNC, DC-Coupled
Bias: 12V Battery (Type A23)
Mounting: 8-32 Tapped Hole
Diode Socket: TO-5, Anode Marked
Damage Threshold: 100mW CW
 0.5J/cm² (10 ns pulse)



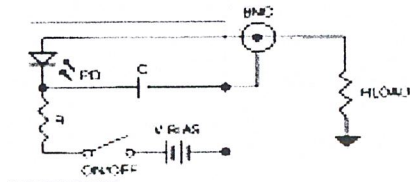
Thorlab's DET series are ideal for measuring both pulsed and CW light sources. The DET210 includes a reverse-biased PIN photo diode, bias battery, and an ON/OFF switch packaged in a ruggedized housing. The BNC output signal is the direct photocurrent out of the photo diode anode and is a function of the incident light power and wavelength. The responsivity, $\mathcal{R}(\lambda)$, can be read from Figure 1 to estimate the amount of photocurrent to expect. Most users will wish to convert this photocurrent to a voltage for viewing on an oscilloscope or DVM. This is accomplished by adding an external load resistance, R_{LOAD} . The output voltage is derived as:

$$V_{OUT} = P \cdot \mathcal{R}(\lambda) \cdot R_{LOAD}$$

The bandwidth, f_{BW} , and the rise-time response, T_R , are determined from the diode capacitance, C_j , and the load resistance, R_{LOAD}

$$f_{BW} = 1 / (2\pi \cdot R_{LOAD} \cdot C_j), \quad T_R = 0.35 / f_{BW}$$

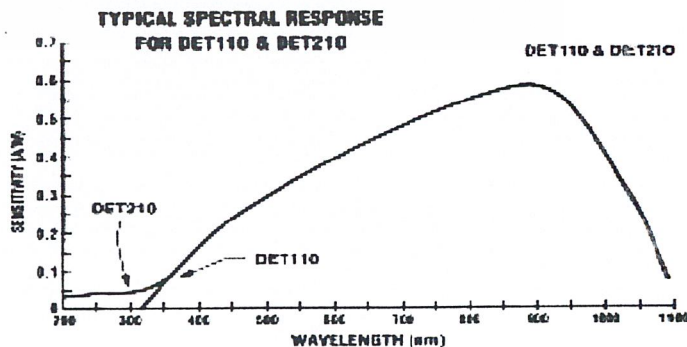
Notes
 1. Measuring with a 50Ω Terminating Resistor.



For maximum bandwidth, we recommend using a 50Ω coax cable with a 50Ω terminating resistor at the end of the coax. This will also minimize ringing by matching the coax with its characteristic impedance. If bandwidth is not important, you can increase the amount of voltage for a given input light by increasing the R_{LOAD} up to a maximum of 10KΩ.

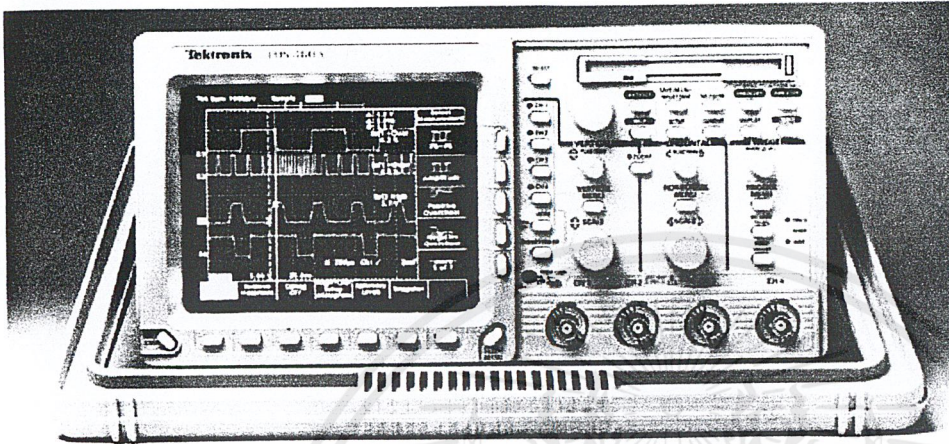
Also Available: DETs with Large Area Silicon, Germanium, InGaAs Detectors, and amplified detectors.

Note: The detector has an AC path to ground even with the switch in the off position. It is normal to see an output response to an AC signal with the switch in this state. However, because the detector is unbiased, operation in this mode is not recommended.



Digital Storage Oscilloscopes

TDS430A * TDS460A * TDS420A



Features

- Be Confident You Are Seeing Actual Signals with up to 400 MHz Bandwidth and $\pm 1.5\%$ Accuracy
 - Capture Transient Events to the Full Scope Bandwidth with Its 100 MS/s Sample Rate
 - 2 and 4 Channels
 - Record Lengths to 120 K (Opt. XL)
 - Floppy Disk Storage
 - Speed Up Your Circuit Analysis with 25 Built-in Automatic Measurements and Extended Waveform Math/FFT (Opt. XL)
 - Roll Mode Allows You to See Acquired Data Points Without Waiting for the Acquisition of the Complete Waveform
 - Use the Video Trigger Mode to See NTSC, PAL, SECAM Signals or Your Own Custom Video Signals
 - Capture Those Glitches with the 10 ns Peak Detect Mode

Differential Measurements

- ADA400A Analog Differential Amplifier (10 $\mu\text{V}/\text{div}$ sensitivity)
 - P5200/P5205/P5210 High Voltage Differential Probes (up to 5600 V) for Floating Measurements (Please see [Differential Preamplifier, ADA400A](#) and [High Voltage Differential Probes, P5200 * P5205 * P5210](#) for details on ADA400A, P5200, P5205 and P5210)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applications

- Biophysical/Biomedical Research
 - Electrophysical and Electromechanical System Design
 - Audio System Measurement and Analysis
 - Manufacturing Test and Quality Control
 - Power Supply and Power-related Design
 - Product Service and Maintenance

TDS400A Digital Storage Oscilloscopes

For professionals who demand high precision and fidelity from their measurements, the TDS400A Digital Storage Scopes combine excellent performance and broad feature set, all at affordable prices. A choice of 2 and 4 channel models ranging from 200 MHz to 400 MHz with a 100 MS/s sample rate on all channels makes the TDS400A Series a worthy fit for a variety of demanding applications.

The highly featured, portable and easy to use TDS420A, 430A and 460A personal lab scopes are ideal for simple to complex applications, including electro-mechanical research and analysis, power electronics/power supply design, bio-physical research and analysis, and digital and analog design.

With its standard video trigger capability, the scopes are ideal instruments for measuring video signals including NTSC, PAL and SECAM.

The TDS400A Series uses the renowned TDS Graphical User Interface which offers intuitive icon-based menus along with help text, making scope operation extremely simple. Knobs and buttons allow easy selection of commonly used scope functions. The standard floppy disk drive makes the saving of screen images or data to a disk simple. The disk can then be inserted into your PC for importing to desktop publishing or spreadsheet programs.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.วราวุฒิ เถาลัดคา ที่ให้โอกาสในการทำงานและความสนับสนุนทางด้านงบประมาณในงานวิจัย คำชี้แนะและแนวทางอันเป็นประโยชน์ต่างๆ รวมทั้งความอนุเคราะห์ในด้านอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆในการปฏิบัติงานวิจัย

ขอขอบคุณ อ.สุรชาติ กมลฉลิก , อ.สุรศักดิ์ พิพัฒน์ศาสตร์ , อ.ภูมิินทร์ จินดาจิราวัฒน์ และที่ ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี สำหรับคำชี้แนะและแนวทางอันเป็นประโยชน์ต่างๆ รวมทั้งที่ช่วยอำนวยความสะดวกต่างๆในขณะที่ทำงานวิจัย

และขอขอบคุณ สุขุม ลัยกิจมงคล และเพื่อนๆที่ไม่ได้กล่าวถึงทุกคน สำหรับคำแนะนำที่ดีและกำลังใจที่ให้มาตลอด

