

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสร้างไนโตรเจนเลเซอร์

แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันต่ำ

Construction of a Transversely Excited

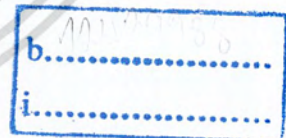
Low-Pressure Nitrogen Laser



นายวุฒิพงษ์ พิพัฒน์พัลลภ

นางสาวสุพัตรา หมั่นสมบูรณ์พงษ์

เลขหมู่.....123374
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี..... - 8 ๗๑. 2555



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างไนโตรเจนเลเซอร์

แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันต่ำ



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**CONSTRUCTION OF A TRANSVERSELY EXCITED
LOW-PRESSURE NITROGEN LASER**



**MISTER WUTTHIPHONG Phiphatphunlop
MISS SUPHATTRA Muensombunphong**

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN APPLIED PHYSICS-SCIENCE AND INDUSTRY INSTRUMENTATION
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

ACADEMIC YEAR 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การสร้างไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันต่ำ
Construction of a Transversely Excited Low-Pressure Nitrogen Laser

ชื่อนักศึกษา นายวุฒิพงษ์ พิพัฒน์พัลลภ
นางสาวสุพัตรา หมั่นสมบุรณ์พงษ์

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ – เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.วราวุฒิ เถาลัดดา

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา ฟิสิกส์
ประยุกต์ - เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2553

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.วิชาญ เตชิตธีระ	
ดร.วรการ นียากร	
ดร.ประธาน บุรณศิริ	
รศ.ดร.วราวุฒิ เถาลัดดา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การสร้างไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันต่ำ
ชื่อนักศึกษา	นายวุฒิพงษ์ พิพัฒน์พัลลภ นางสาวสุพัตรา หมั่นสมบุรณ์พงษ์
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ – เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.วราวุฒิ เถาลัดดา

บทคัดย่อ

ไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันต่ำระดับสุญญากาศ ที่สร้างขึ้นตามโครงการพิเศษนี้ใช้วงจรบริมไลน์เป็นวงจรกระตุ้น โครงสร้างของเลเซอร์ประกอบด้วย ตัวเก็บประจุชนิดแผ่นขนาน 2 ตัว ค่อกันอย่างขนาน มีแผ่นอลูมิเนียมเพลทหนา 0.15 มิลลิเมตร และมีแผ่นไมลาร์หนา 0.35 มิลลิเมตร เป็นขั้วไฟฟ้าและโคอิเล็กตริก ตามลำดับ ขั้วไฟฟ้าสแตนเลสขนาด 400 x 40 x 5 มิลลิเมตร สองชิ้นทำหน้าที่เป็นช่องเลเซอร์ สปาร์กแกปประกอบด้วยแท่งสแตนเลสปลายมนและหัวเทียนทำหน้าที่เป็นกรวด ขั้วไฟฟ้าสแตนเลสและสปาร์กแกป ถูกออกแบบให้สามารถปรับระยะห่างระหว่างขั้วได้ ตัวเก็บประจุทั้งสองจะถูกประจุด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงซึ่งปรับค่าได้ถึง 12.6 kV สามารถควบคุมจังหวะการเกิดแสงเลเซอร์ได้ในช่วงความถี่ 0.5-15 Hz โดยใช้วงจรกระตุ้นจังหวะการจุดระเบิดของหัวเทียนระบบเลเซอร์ถูกติดตั้งในระบบปิดที่สร้างจากแผ่นอะคริลิกและถูกทำให้เป็นสุญญากาศโดยโรตารีปั๊ม ก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ 99.99 % ถูกป้อนผ่านช่องเลเซอร์จากทางด้านล่าง จากการทดลองพบว่าเลเซอร์จะเกิดอย่างสม่ำเสมอและมีความเข้มสูงสุด เมื่อปรับขั้วไฟฟ้าของช่องเลเซอร์ ให้มีระยะห่าง 3.480 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างสปาร์กแกป 2.997 มิลลิเมตร และใช้แรงดันไฟฟ้า 10.2 กิโลโวลต์

Title	Construction of a Transversely Excited Low-pressure Nitrogen Laser
Students	Mister Wuttiphong Phiphatphunlop. Miss Suphattra Muensombunphong.
Degree	Bachelor of Science
Programme	Applied Physics-Science and Industry Instrumentation
Academic Year	2010
Project Advisor	Associate Professor Dr. Warawoot Thowladda

Abstract

A transversely excited low-pressure nitrogen laser in this special project was constructed using the Blumlein circuit excitation method. The structure of the laser system consisted of 2 parallel-plate capacitors. The aluminium sheets of 0.15 mm thickness were used as the electrodes and a mylar sheet of 0.35 mm thickness was used as a dielectric. The laser channel consisted of two stainless steel bar electrodes with dimension of 400 x 40 x 5 mm. The spark gap consisted of a stainless steel rod electrode with hemispherical end and a grounded spark plug. The spacing of the laser channel electrodes and spark gap can be accurately adjusted. The capacitors were charged by dc high voltage power supply that can be adjusted continuously up to 12.6 kV. The laser pulse repetition rate was controlled by a spark plug ignition circuit which the frequency can be adjusted between 0.5-15 Hz. The laser system was placed in the acrylic enclosure and evacuated by rotary pump. Nitrogen gas of 99.99 % purity was feed through the laser channel from under. The experiment show that the optimum spacing of the laser channel and the spark gap should be 3.480 mm. and 2.997 mm. respectively with dc high voltage of 10.2 kV.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความเมตตากรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก รศ.ดร. วราวุฒิ เถาลัดดา อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ซึ่งให้คำปรึกษา และแนะนำแนวทางในการดำเนินงานวิจัยเป็นอย่างดี รวมทั้งอนุเคราะห์จัดหาอุปกรณ์และงบประมาณในการดำเนินงานวิจัย ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านเป็นที่สุดและขอกราบ ขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ พี่สมทบ แซ่เจี๋ย ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในส่วนของวงจร อิเล็กทรอนิกส์ จนโครงการพิเศษชิ้นนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดมา

ขอขอบพระคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์รวมทั้งบุคคลที่มีความปรารถนาดี แก่ข้าพเจ้าที่คอยให้กำลังใจข้าพเจ้าตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา - มารดา และครอบครัวที่คอยให้คำสั่งสอน ให้กำลังใจ และ เสนอแนะแนวทางที่ดีให้แก่ข้าพเจ้าจนข้าพเจ้าได้ทำงานจนสำเร็จลุล่วง

วุฒิพงษ์ พิพัฒน์พัลลภ

สุพัตรา หมั่นสมบุญพงษ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 งานวิจัยและทฤษฎีของเลเซอร์ทั่วไป	4
2.1.1 การเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น(Stimulated Emission)	5
2.1.1.1 การดูดกลืนแสง (Absorption)	5
2.1.1.2 การเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง (spontaneous Emission)	6
2.1.1.3 การเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น(stimulated Emission)	7
2.1.2 การเกิดประชากรผกผัน(Population Inversion)	8
2.1.3 ตัวสั้นพ้องเชิงทัศน(Optical Resonator)	10
2.2 หลักการของไนโตรเจนเลเซอร์	13
2.2.1 ไนโตรเจนเลเซอร์หลักการของไนโตรเจนเลเซอร์	13
2.2.1.1 ไนโตรเจนเลเซอร์	13
2.2.1.2 หลักการของไนโตรเจนเลเซอร์	14
2.2.1.3 ไนโตรเจนเลเซอร์ในระบบความดันต่ำ	16
2.3 การประยุกต์ใช้งาน ไนโตรเจนเลเซอร์	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน	
3.1 การออกแบบและสร้างชุดไนโตรเจนเลเซอร์	18
3.2 ส่วนประกอบของไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวาง	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2.1 ขั้วไฟฟ้า และช่องเลเซอร์	19
3.2.2 ระบบจ่ายไฟแรงดันสูง	19
3.2.3 ตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน	21
3.2.4 ชุดวงจรควบคุมจังหวะการเกิดไนโตรเจนเลเซอร์	26
3.2.5 ระบบจ่ายแก๊สไนโตรเจนเข้าสู่ช่องเลเซอร์	29
3.2.6 ระบบสุญญากาศสำหรับไนโตรเจนเลเซอร์	30
3.3 ขั้นตอนการประกอบไนโตรเจนเลเซอร์	30
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 การทดสอบการทำงานของชุดกำเนิดแสงเลเซอร์	32
4.2 ผลการทดลอง	37
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	38
5.2 ข้อเสนอแนะ	39
เอกสารอ้างอิง	40

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 กระบวนการดูดกลืนแสง	6
รูปที่ 2.2 กระบวนการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง	6
รูปที่ 2.3 กระบวนการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น	7
รูปที่ 2.4 การกระจายแบบโบลท์ซมานของจำนวนอะตอม ที่ระดับพลังงาน E_1 และ E_2 ที่สภาวะสมดุลเชิงความร้อน	8
รูปที่ 2.5 การเกิดประชากรผกผัน	9
รูปที่ 2.6 ตัวสั้นพ้องเชิงทัศนที่ประกอบด้วยกระจก 2 บาน M_1 และ M_2 มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน R_1 และ R_2 และมีรัศมีความโค้ง เป็น r_1 และ r_2 ตามลำดับ	12
รูปที่ 2.7 การจัดวางตัวสั้นพ้องเชิงทัศนแบบต่างๆ	13
รูปที่ 2.8 ระดับพลังงานของไนโตรเจนที่เกี่ยวข้องต่อการเกิดเลเซอร์	15
รูปที่ 3.1 วงจรบลัมไลน์	19
รูปที่ 3.2 วงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง	20
รูปที่ 3.3 วงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง(ภาพระบบจริง)	20
รูปที่ 3.4 (ก) ตัวเก็บประจุแผ่นขนานโดยใช้แผ่นไมลาร์เป็นไดอิเล็กตริก วางอยู่ระหว่างแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ 2 แผ่น ซึ่งทำหน้าที่เป็น ตัวเก็บประจุ (มองจากด้านบน)	22
(ข) ภาพจริงของระบบ	23
รูปที่ 3.5 วงจรพัลส์ฟอร์มมิง	24
รูปที่ 3.6 ก) ภาพตัดขวางของขั้วไฟฟ้า ซึ่งวางอยู่บนตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 โดย C_1 และ C_2 ใช้แผ่นไมลาร์แผ่นเดียวกัน	26
ข) ภาพของขั้วไฟฟ้า ซึ่งวางอยู่บนตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 โดย C_1 และ C_2 ใช้แผ่นไมลาร์แผ่นเดียวกัน(ระบบสุญญากาศ)	26
รูปที่ 3.7 วงจรควบคุมจังหวะการเกิดไนโตรเจนเลเซอร์	27
รูปที่ 3.8 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ปรับความถี่ตั้งแต่ 0.5 -15 เฮิร์ต	
(ก) วงจรมัลติไวเบรเตอร์ที่สร้างจากไอซี LM 555	28
(ข) ลักษณะสัญญาณขาออก	28
(ค) ลักษณะสัญญาณขาออกจากออสซิลโลสโคป	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.9 ชุดกระตุ้นหัวใจเทียม	29
รูปที่ 3.10 รูปร่างช่องนำกระแส	29
รูปที่ 3.11 ฝากรอบระบบความดันต่ำ	30
รูปที่ 3.12 ระบบไนโตรเจนเลเซอร์ในบรรยากาศ	31
รูปที่ 3.13 ระบบไนโตรเจนเลเซอร์ในความดันต่ำ	31



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ผลการทดสอบวงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง	21
ตารางที่ 2 ตารางบันทึกผลการทดลอง	34



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

เลเซอร์(LASER) เป็นคำที่ย่อมาจากคำว่า Light Amplifier by Stimulated Emission of Radiation มีความหมายว่า การแผ่รังสีที่เกิดจากการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นและมีการขยายสัญญาณคลื่นแสงนั้นด้วย(สมศักดิ์,2529) เลเซอร์จะมีลักษณะที่แตกต่างจากแสงโดยทั่วไป คือมีคุณสมบัติที่เป็นแสงเอกรงค์ (Monochromaticity) หมายถึงมีเพียงความถี่เดียวหรือให้แสงที่มีค่าความยาวคลื่นเพียงค่าเดียวเท่านั้น เลเซอร์เป็นแสงที่มีคุณสมบัติพิเศษที่มีการลู่ออก (Divergence) น้อย เมื่อเทียบกับแสงอื่นทั่วไปทำให้มีทิศทางในการเคลื่อนที่ที่แน่นอน และยังมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มของลำแสงตามระยะทางน้อย จึงมีการนำเลเซอร์ไปใช้งานในด้านต่างๆ อย่างมากมาย ทั้งทางการแพทย์ การทหาร หรือในด้านอุตสาหกรรม

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันได้มีการพัฒนาและสร้างเลเซอร์ชนิดต่างๆ ขึ้นมาอย่างไม่หยุดยั้ง เลเซอร์เครื่องแรกของโลก คือ เลเซอร์ทับทิม (Ruby Laser) สร้างขึ้นในปี ค.ศ. 1960 โดย ไมมาน (T.H.Maiman) แห่งห้องปฏิบัติการวิจัยของบริษัทฮิวส์ ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นเลเซอร์ที่มีตัวกลางเป็นผลึกทับทิม ให้แสงสีชมพูมีความยาวคลื่น 694.3 นาโนเมตร(Heacht,1992) ต่อมาได้มีการประดิษฐ์คิดค้นและสามารถสร้างเลเซอร์ชนิดต่างๆ ออกมาอีกมากมาย โดยจะเรียกชื่อเลเซอร์ตามตัวกลางของเลเซอร์นั้น จึงจัดแบ่งเลเซอร์ตามสถานะของตัวกลางเลเซอร์(Laser Medium) ได้เป็น 3 สถานะ คือ เลเซอร์ของแข็ง(Solid State Laser) ซึ่งตัวกลางเลเซอร์อยู่ในรูปของแข็งหรือผลึก เช่น เลเซอร์ทับทิม เลเซอร์สารกึ่งตัวนำเป็นต้น เลเซอร์ของเหลว(Liquid Laser) ตัวกลางเลเซอร์จะมีสถานะเป็นของเหลวหรืออยู่ในรูปสารละลาย เป็นต้น และสุดท้ายคือแก๊สเลเซอร์(Gas Laser) ซึ่งตัวกลางเลเซอร์อยู่ในรูปของแก๊สหรือแก๊สผสม เช่น ฮีเลียมนีออนเลเซอร์ซึ่งเป็นแก๊สเลเซอร์เครื่องแรก คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์อาร์กอนเลเซอร์ ไนโตรเจนเลเซอร์ซึ่งเป็นเลเซอร์ชนิดที่ตัวกลางเลเซอร์เป็นแก๊สที่พบมากที่สุด ในอากาศจึงสามารถทำงานได้ที่ความดันบรรยากาศ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้เริ่มมีแนวคิดที่จะสร้างเลเซอร์ขึ้นในประเทศไทย แต่ประสบปัญหาเรื่องงบประมาณจึงทำให้การสร้างเลเซอร์ล่าช้ามาก แต่ก็สามารถสร้างคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ตัวแรกได้สำเร็จและทดลองใช้งานในปี พ.ศ. 2523 (สมศักดิ์, 2529) นับเป็นจุดเริ่มต้นของวงการเลเซอร์ในประเทศไทยซึ่งต่อมามีผู้สนใจในการสร้างและพัฒนาเลเซอร์ชนิดต่างๆ มากขึ้น โนโตรเจนก็เป็นแก๊สเลเซอร์อีกชนิดหนึ่ง ที่สร้างได้โดยใช้วัสดุอุปกรณ์ภายในประเทศ ทำให้ลดต้นทุนในการการผลิตลงและไม่ยุ่งยากมากนักในการสร้าง อีกทั้งตัวกลางเลเซอร์ซึ่งเป็นแก๊สในโตรเจนยังเป็นแก๊สที่พบมากในอากาศ จึงเป็นเลเซอร์ที่ทำงานได้ที่มีความดันบรรยากาศ โดยไม่ต้องจัดสร้างระบบสุญญากาศขึ้นทั้งยังให้แสงในย่านอัลตราไวโอเล็ต (337.1 นาโนเมตร) แต่ในโครงการพิเศษเรื่องนี้จะเป็นจัดสร้างระบบความดันต่ำให้แก่ระบบในโตรเจนเลเซอร์ ซึ่งจะทำให้เกิดพัลส์เลเซอร์ได้ง่ายกว่าการทำในสภาพบรรยากาศ เนื่องจากข้อเสียเมื่อจัดทำในสภาพบรรยากาศคือต้องจัดให้ระบบขนานกันและใกล้มาก ในโตรเจนเลเซอร์เป็นเลเซอร์ชนิดที่สามารถปรับความยาวคลื่นได้อีกด้วย จึงเหมาะที่จะนำไปใช้งานด้านต่างๆ ที่ต้องการแสงที่อยู่ในช่วงที่ตามองเห็น และสามารถปรับความยาวคลื่นได้เช่น ใช้ในวงการแพทย์หรือในงานด้านสเปกโตรสโคปี เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 สามารถออกแบบและสร้าง โนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันต่ำได้
- 1.2.2 สามารถออกแบบและสร้างวงจรควบคุมจังหวะการเกิด โนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันต่ำจากชุดจุกระเบิดหัวเทียน
- 1.2.3 ศึกษาสมบัติของ โนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันต่ำที่ควบคุมจังหวะการเกิดเลเซอร์จากชุดจุกระเบิดหัวเทียน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 สร้างระบบจ่ายไฟแรงดันสูง ด้วยวงจรทวิแรงดัน 0-12.6 kV
- 1.3.2 สร้างวงจรบัลลัมไลน์
- 1.3.3 ประกอบส่วนต่างๆ เป็นระบบเลเซอร์ที่สมบูรณ์
- 1.3.4 ทดสอบระบบกำเนิดเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.5 ทดสอบคุณสมบัติเฉพาะของเลเซอร์ ที่ขึ้นกับพารามิเตอร์ต่างๆ

1.3.6 สรุปและวิเคราะห์ผล

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ช่วงเวลา	ขั้นตอนการดำเนินงาน
มิถุนายน พ.ศ. 2553	- ศึกษาทฤษฎีและหลักการ โดยทั่วไปของไนโตรเจนเลเซอร์
มิถุนายน – กรกฎาคม พ.ศ. 2553	- ศึกษาหลักการออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ของไนโตรเจนเลเซอร์
สิงหาคม พ.ศ. 2553	- ออกแบบและสร้างชุดจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงให้แก่ระบบไนโตรเจนเลเซอร์
กันยายน – ตุลาคม พ.ศ. 2553	- ออกแบบและสร้างชุดไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันต่ำระดับสูญญากาศ - ออกแบบและสร้างวงจรควบคุมจังหวะการเกิดไนโตรเจนเลเซอร์จากชุดจุดระเบิดหัวเทียน
พฤศจิกายน – ธันวาคม พ.ศ. 2553	- ศึกษาสมบัติของไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันต่ำระดับสูญญากาศที่ควบคุมจังหวะการเกิดแสงเลเซอร์จากชุดจุดระเบิดหัวเทียน
มกราคม – กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554	- ปรับปรุงและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ที่พบ - สรุปการทำโครงการพิเศษ และแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถสร้างและพัฒนาไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันต่ำระดับสูญญากาศให้มีประสิทธิภาพที่ดี และควบคุมจังหวะการเกิดแสงเลเซอร์ได้

1.5.2 เป็นการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านเลเซอร์ โดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่หาได้ภายในประเทศ

1.5.3 เป็นพื้นฐานสำหรับผู้สนใจที่จะทำการพัฒนาระบบให้ดีขึ้น หรือนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

บทนี้ได้นำเสนอหลักการพื้นฐานในการเกิดแสงเลเซอร์โดยทั่วไป หลักการในการคิดในโตรเจนเลเซอร์ และหลักการในการเกิดคายเลเซอร์ รวมถึงงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยจัดแบ่งรายละเอียดต่างๆ ตามลำดับดังต่อไปนี้

2.1 งานวิจัยและทฤษฎีของเลเซอร์ทั่วไป

หลังจากที่ไอน์สไตน์(Einstein) ได้อธิบายหลักการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น (Stimulated Emission) ของโฟตอนในอะตอมในปี ค.ศ. 1917 แล้วนั้น กอร์ดอนและคณะ(Gordon and Other)(Haecht,1992) แห่งมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย สหรัฐอเมริกาก็ได้สร้างเลเซอร์(Maser) ซึ่งมาจากคำเต็มว่า Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation สำเร็จในปีครั้งแรกในปี ค.ศ. 1954 โดยอาศัยหลักการของการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นให้แสงในย่านไมโครเวฟ และในปี ค.ศ. 1960 ไมมานแห่งห้องปฏิบัติการวิจัยของบริษัทอีวีสแห่งสหรัฐอเมริกา ได้สร้างเลเซอร์ทาบิมที่ให้แสงสีชมพูมีความยาวคลื่น 694.3 นาโนเมตร สำเร็จเป็นเครื่องแรก นับเป็นจุดเริ่มต้นของการสร้างและพัฒนาเลเซอร์ชนิดต่างๆ ต่อมา โดยสารที่จะนำมาใช้เป็นตัวกลางเลเซอร์ ต้องมีคุณสมบัติพิเศษที่สามารถทำให้เกิดขบวนการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอะตอมหรือโมเลกุลด้วยการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นได้

การเรียกชื่อเลเซอร์ชนิดต่างๆ ก็จะเรียกตามชื่อของตัวกลางเลเซอร์นั้นๆ เช่น ระบบเลเซอร์ที่มีตัวกลางเลเซอร์เป็นแก๊สผสมระหว่างฮีเลียม ก็จะเรียกฮีเลียมนีออนเลเซอร์หรือเลเซอร์ที่มีตัวกลางเป็นแก๊สไนโตรเจนก็จะเรียกว่า ไนโตรเจนเลเซอร์ หรือเลเซอร์ที่มีตัวกลางเป็นสารละลาย คายก็จะเรียกคายเลเซอร์ ซึ่งเลเซอร์ชนิดต่างๆ จะอาศัยหลักการพื้นฐานที่เหมือนกันดังนี้คือ

2.1.1 การเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น(Stimulated Emission)

จากการศึกษาทางกลศาสตร์ควอนตัม พบว่าระดับพลังงานของอะตอมหรือโมเลกุลจะมีค่าเป็นระดับขั้นที่ไม่ต่อเนื่องกัน โดยระดับพลังงานที่ต่ำที่สุดที่อิเล็กตรอนอยู่ได้อย่างเสถียรเรียกว่าสถานะพื้น(Ground State) ระดับพลังงานอื่นๆ ที่มีระดับพลังงานสูงกว่านี้จะเรียกว่า สถานะกระตุ้น(Excited State) อิเล็กตรอนจะมีการเปลี่ยนระดับพลังงานจากระดับพลังงานที่ต่ำกว่าได้ เมื่อมีการดูดกลืน หรือคายพลังงานออกมาในรูปของโฟตอน โดยผลต่างของระดับพลังงานทั้งสองระดับนั้น จะสัมพันธ์กับค่าความถี่ของแสงที่ถูกดูดกลืนหรือปลดปล่อยออกมาดังสมการ

$$\Delta E = h\nu \quad (2.1)$$

เมื่อ $\Delta E = E_2 - E_1$

= ค่าผลต่างของระดับพลังงานสุดท้ายกับระดับพลังงานเริ่มต้น

ν = ความถี่ของแสงที่ถูกดูดกลืนหรือคายออกมา

h = ค่าคงที่ของพลังค์ มีค่าเท่ากับ 6.626×10^{-34} J.s

การเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจะอธิบายได้จากปรากฏการณ์ทางแสง 3 ปรากฏการณ์คือ

2.1.1.1 การดูดกลืนแสง (Absorption)

ในสภาวะปกติอิเล็กตรอนจะอยู่ที่ระดับพลังงานที่ต่ำที่สุด (E_1) แต่ถ้ามีโฟตอนที่มีค่าความถี่ที่เหมาะสมมากระตุ้น อิเล็กตรอนก็จะดูดกลืนพลังงานของโฟตอนนั้นแล้วเปลี่ยนสถานะไปยังระดับพลังงานที่สูงกว่า(E_2) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 อาจเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการดูดกลืนแสงแบบถูกกระตุ้น(Stimulated Absorption)

อัตราการดูดกลืนแสงแบบถูกกระตุ้น(Stimulated Absorption Rate) จะแปรผันกับจำนวนอิเล็กตรอนที่สถานะพื้นและความหนาแน่นของพลังงานของโฟตอนที่เข้ามากระตุ้น ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.2)



รูปที่ 2.1 กระบวนการดูดกลืนแสง(John Wilson and J.F.B.Hawkes,1987)

$$\text{อัตราการดูดกลืนแสงแบบถูกกระตุ้น} = B_{12}N_1\rho(V_{12}) \quad (2.2)$$

เมื่อ B_{12} = สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง(Stimulated Absorption Coefficient)

N_1 = จำนวนอิเล็กตรอนที่ระดับพลังงาน E_1

$\rho(V_{12})$ = ความหนาแน่นของพลังงานของ โฟตอน(Photon Energy Density)

2.1.1.2 การเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง (spontaneous Emission)

อิเล็กตรอนซึ่งอยู่ในสถานะกระตุ้น(E_2) จะสามารถอยู่ในสถานะนี้ได้เพียงช่วงระยะเวลาหนึ่งซึ่งมีค่าเท่ากับค่าช่วงชีวิต(Life time)เท่านั้น เมื่อหมดช่วงชีวิตแล้วก็จะตกลงมายังสถานะพื้น(E_1) เอง โดยจะปลดปล่อยโฟตอนออกมาดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งอัตราการเกิดการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเองนี้มีสัดส่วนตามจำนวนอิเล็กตรอนที่ชั้นพลังงาน E_2 คือ N_2 เท่านั้น ดังนั้น

$$\text{อัตราการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง} = A_{21}N_2 \quad (2.3)$$

เมื่อ A_{21} = สัมประสิทธิ์การเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง(Spontaneous Emission Coefficient)

N_2 = จำนวนอิเล็กตรอนที่ระดับพลังงาน E_2



รูปที่ 2.2 กระบวนการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง(John Wilson and J.F.B.Hawkes,1987)

2.1.1.3 การเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น(stimulated Emission)

ในกรณีที่อิเล็กตรอนอยู่ในสถานะกระตุ้น(E_2) ยังไม่ถึงเวลาที่อิเล็กตรอนจะตกลงสู่สถานะพื้น(E_1) แต่มีโฟตอนซึ่งมีค่าพลังงานเท่ากับผลต่างของระดับพลังงานในสถานะกระตุ้นและสถานะพื้นเข้ามา จะทำให้อิเล็กตรอนที่สถานะกระตุ้นตกลงมายังสถานะพื้นและปลดปล่อยโฟตอนออกมาอย่างทันทีทันใด โดยโฟตอนที่ปลดปล่อยออกมานี้จะมีความถี่และเฟสที่เหมือนกับโฟตอนที่เข้ามากระตุ้นทุกประการ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 การเปล่งแสงแบบนี้จึงเรียกว่าการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น ถ้าโฟตอนที่เข้ามาในระบบมีความหนาแน่นของพลังงาน $\rho(\nu_{12})$ อัตราการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นจะแปรผันกับจำนวนอิเล็กตรอนในชั้นพลังงาน E_2 และ ความหนาแน่นของพลังงานที่มากระตุ้น ดังนั้นอัตราการเกิดการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นจะเป็นไปตามความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\text{อัตราการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น} = B_{21}N_2 \rho(\nu_{12}) \quad (2.4)$$

โดย B_{21} = สัมประสิทธิ์การเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น
(Stimulated Emission Coefficient)

และ $B_{21} = B_{12}$

การเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นนี้เองที่เป็นหลักการอย่างหนึ่งในการที่ทำให้แสงเลเซอร์มีเฟสเดียวกัน มีค่าความถี่เดียวและยังเป็นที่มาของคำว่า Light Amplification ด้วย เนื่องจากว่าโฟตอนที่เข้าไปกระตุ้น 1 ตัว คือเกิดการขยายแสงนั่นเอง ซึ่งการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นนี้จะป็นพื้นฐานที่สำคัญประการหนึ่งในการเกิดแสงเลเซอร์ทุกชนิด



รูปที่ 2.3 กระบวนการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น(John Wilson and J.F.B.Hawkes,1987)

ในสภาวะสมดุลเชิงความร้อนอัตราการดูดกลืนแสงและอัตราการเปล่งแสงจะสมดุลกัน เพื่อให้จำนวน $N_1 + N_2$ มีค่าคงที่ ซึ่งจะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการดูดกลืนแสง = อัตราการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง + อัตราการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น

จากสมการที่ (2.2),(2.3) และ (2.4) จะได้ว่า

$$B_{12}N_1 \rho(\nu_{12}) = A_{21}N_2 + B_{21}N_2 \rho(\nu_{12}) \quad (2.5)$$

ไอน์สไตน์(Einstein) เป็นผู้ริบาชความสัมพันธ์ในสมการที่ (2.5) จึงเรียกค่าสัมประสิทธิ์ B_{12} , A_{21} และ B_{21} ว่าเป็น Einstein Coefficients

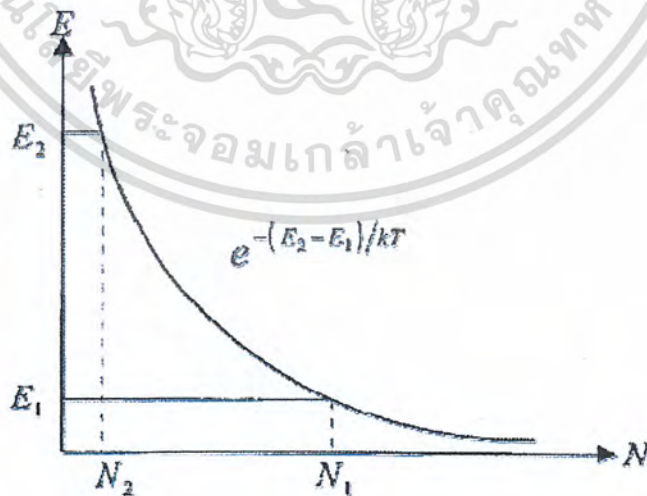
2.1.2 การเกิดประชากรผกผัน(Population Inversion)

เมื่อพิจารณาระบบที่มีระดับพลังงานเพียง 2 ระดับพลังงาน คือ E_1 และ E_2 (โดย $E_1 < E_2$) และแต่ละระดับพลังงานมีจำนวนอะตอมเป็น N_1 และ N_2 ตามลำดับ ที่ภาวะสมดุลเชิงความร้อน สัดส่วนของจำนวนอะตอมในแต่ละระดับพลังงานจะเป็นไปตามหลักการกระจายแบบ โบลท์ซมาน (Boltzmann Distribution) ดังสมการ

$$\frac{N_2}{N_1} = e^{-(E_2-E_1)/kT} \quad (2.6)$$

เมื่อ k = ค่าคงที่ของ โบลท์ซมาน

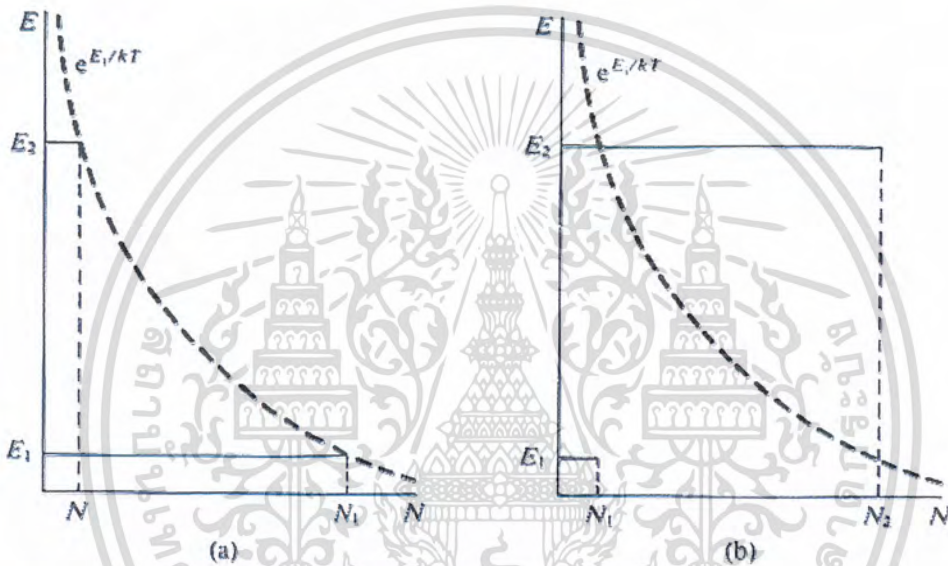
T = อุณหภูมิสัมบูรณ์



รูปที่ 2.4 การกระจายแบบ โบลท์ซมานของจำนวนอะตอมที่ระดับพลังงาน E_1 และ E_2 ที่ภาวะสมดุลเชิงความร้อน(รัตนสูตร,2544)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ในสมการที่ (2.6) เมื่อนำมาเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าในสภาวะสมดุลเชิงความร้อน ที่ระดับพลังงานต่ำจะมีจำนวนอะตอมมากกว่าที่ระดับพลังงานสูง ($N_1 > N_2$) ดังนั้นถ้าฉายโฟตอนเข้าไปในระบบก็จะทำให้เกิดการดูดกลืนแสงมากกว่าที่จะเกิดการเปล่งแสง แต่ถ้าทำการรบกวนระบบจนทำให้เงื่อนไข $N_2 > N_1$ แล้วเมื่อทำการฉายโฟตอนเข้าไปในระบบก็จะทำให้เกิดการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นมากกว่าการดูดกลืนแสง จากสมการที่ (2.6) พบว่าจะเกิดเงื่อนไขนี้ได้เมื่อ T มีค่าติดลบ จึงอาจเรียกสภาวะของระบบเช่นนี้ว่าเป็น Negative Temperature และเรียกสภาวะที่เกิดเงื่อนไข $N_2 > N_1$ ว่า เกิดการผกผันของประชากร ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การเกิดประชากรผกผัน(วารวดี,2553)

พิจารณาอัตราส่วนของอัตราการเกิดการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นต่ออัตราการดูดกลืนแสงแบบถูกกระตุ้น(สมการที่ 2.4 และ 2.2 ตามลำดับ) จะได้

$$\frac{\text{อัตราการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น}}{\text{อัตราการดูดกลืนแสงแบบถูกกระตุ้น}} = \frac{B_{21}N_2\rho(\nu_{12})}{B_{12}N_1\rho(\nu_{12})}$$

เมื่อ $B_{21} = B_{12}$ จะได้ว่า

$$\frac{\text{อัตราการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น}}{\text{อัตราการดูดกลืนแสงแบบถูกกระตุ้น}} = \frac{N_2}{N_1} \tag{2.7}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.7) จะแสดงให้เห็นว่า ถ้า $N_2 > N_1$ แล้ว จะทำให้ระบบเกิดการเปล่งแสงแบบ ถูกกระตุ้นในอัตราที่มากกว่าการเกิดการดูดกลืนแสงแบบถูกกระตุ้น ซึ่งปรากฏที่ $N_2 > N_1$ นี้เรียกว่า การเกิดประชากรผกผัน การทำให้เกิดประชากรผกผันมีหลักการที่สำคัญคือต้องเพิ่มพลังงานให้แก่ อะตอมหรือ โมเลกุลของตัวกลางเลเซอร์ ซึ่งในทางปฏิบัติได้แก่การใช้แสงที่มีความหนาแน่นสูงเป็นตัวเพิ่มพลังงาน(Optical Pumping) การทำแก๊สดีสชาร์จ การกระตุ้น โดยใช้แสงเลเซอร์ชนิดอื่นเป็น แหล่งพลังงานเป็นต้น ซึ่งจะเรียกการเพิ่มพลังงานให้กับระบบด้วยวิธีการต่างๆนี้ว่า Energy Pumping

2.1.3 ตัวสั่นพ้องเชิงทัศน(Optical Resonator)

ระบบเลเซอร์โดยทั่วไปแล้วจำเป็นต้องมีตัวสั่นพ้องเชิงทัศน ซึ่งประกอบด้วยกระจกเคลือบ สารไดอิเล็กทริกที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ 100% (กระจกหลัง) และมีค่าอยู่ระหว่าง 65-95% (กระจกหน้า) เพื่อทำหน้าที่ให้โฟตอนที่เกิดจากขบวนการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเองสะท้อนกลับไป มาผ่านตัวกลางเลเซอร์ทำให้โฟตอนมีความเข้มสูงมากขึ้น ซึ่งจะให้อัตราการเกิดการเปล่งแสง แบบถูกกระตุ้นเพิ่มสูงขึ้นแต่ในสภาวะสมดุลเชิงความร้อนพบว่าอัตราการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง จะมากกว่าอัตราการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นมาก ซึ่งพิจารณาได้จากสัดส่วนระหว่างอัตราเปล่งแสง แบบถูกกระตุ้นต่ออัตราการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง(สมการที่ 2.4 และ 2.3 ตามลำดับ) พบว่าจะ เป็นไปตามสมการที่(2.8)

$$\frac{\text{อัตราการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น}}{\text{อัตราการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง}} = \frac{B_{21}N_2\rho(\nu_{12})}{B_{12}N_1\rho(\nu_{12})} = \frac{B_{21}}{A_{21}}\rho(\nu_{12}) \quad (2.8)$$

จากสมการที่(2.5) จัดรูปใหม่จะได้

$$\rho(\nu_{12}) = \frac{A_{21} / B_{21}}{(B_{12}N_1 / B_{21}N_2) - 1} \quad (2.9)$$

แทนค่า(N_1/N_2) จากสมการที่(2.6) จะ ได้

$$\rho(\nu_{12}) = \frac{A_{21} / B_{21}}{B_{12} / B_{21} \exp(h\nu / kT) - 1} \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาการแผ่รังสีในวัตถุดำ

$$\rho(\nu_{12}) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \left(\frac{1}{\exp(h\nu/kT) - 1} \right) \quad (2.11)$$

เปรียบเทียบสมการที่(2.10) กับ (2.11) จะได้

$$\frac{B_{21}}{A_{21}} = \frac{c^3}{8\pi h\nu^3} \quad (2.12)$$

สัดส่วนของอัตราการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นต่ออัตราการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเองจะมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{\text{อัตราการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น}}{\text{อัตราการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง}} = \frac{1}{\exp(h\nu/kT) - 1} \quad (2.13)$$

ความสัมพันธ์ในสมการที่(2.13) พบว่าที่สภาวะสมดุลเชิงความร้อนอัตราส่วนระหว่าง การเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นกับอัตราการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเองจะมีค่าที่น้อยมาก เช่นแสงที่มีความถี่ 4.74×10^{14} Hz ที่อุณหภูมิ 370 เคลวิน สัดส่วนของอัตราการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นต่ออัตราการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเองจะมีค่าประมาณ 10^{-27} (John Wilson and J.F.B.Hawkes,1987) นั่นคือเกือบจะไม่มี การเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นเลย ซึ่งจะทำให้ระบบไม่เกิดแสงเลเซอร์แต่จากสมการที่ (2.8) แสดงให้เห็นว่าถ้าต้องการให้เกิดอัตราการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นในอัตราที่มากกว่าอัตราการเกิดการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเองแล้วนั้น จะต้องใช้โฟตอนที่มีความหนาแน่นของพลังงาน $\rho(\nu_{12})$ สูงมากๆ เข้าไปในระบบ ทำได้โดยการเพิ่มความยาวของตัวกลางเลเซอร์ออกไปมากๆ เพื่อให้เกิดการขยายความเข้มของพลังงาน แต่ในทางปฏิบัติจะมีความยุ่งยากในการจัดวางระบบอย่างมาก จึงใช้วิธีการจัดวางกระจก 2 บาน ไว้ที่ปลายทั้งสองด้านของระบบเลเซอร์แทน เพื่อให้แสงเกิดการสะท้อนกลับไปกลับมาอยู่ภายในตัวกลางเลเซอร์ เป็นเสมือนการเพิ่มความยาวของระยะทางในการเคลื่อนที่ของแสงและทำให้มีความหนาแน่นของพลังงานมีค่ามากขึ้นนั่นเอง ซึ่งจะมีผลให้เกิดการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นที่มากกว่าเกิดการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง การจัดวางตัวสันพ้องเชิงทัศนศาสตร์แสดงดังรูปที่ 2.6 ซึ่งแสดงถึงตัวสันพ้องเชิงทัศนศาสตร์ ที่ประกอบด้วยกระจกเว้า 2 บาน ที่วางห่างกันเป็นระยะทาง L โดยกระจก M_1 และ M_2 มีรัศมีความโค้ง r_1 และ r_2 ตามลำดับ

ในการวิเคราะห์ตัวสันพ้องเชิงทัศนศาสตร์หนึ่งๆว่าจะมีลักษณะที่มีการสูญเสียต่ำ(Low Loss) หรือไม่จะพิจารณาจากค่า g-parameter ซึ่งเป็นปริมาณที่ไม่มีหน่วย โดยระบบที่มีเสถียรภาพจะมีเงื่อนไขดังสมการที่(2.14)

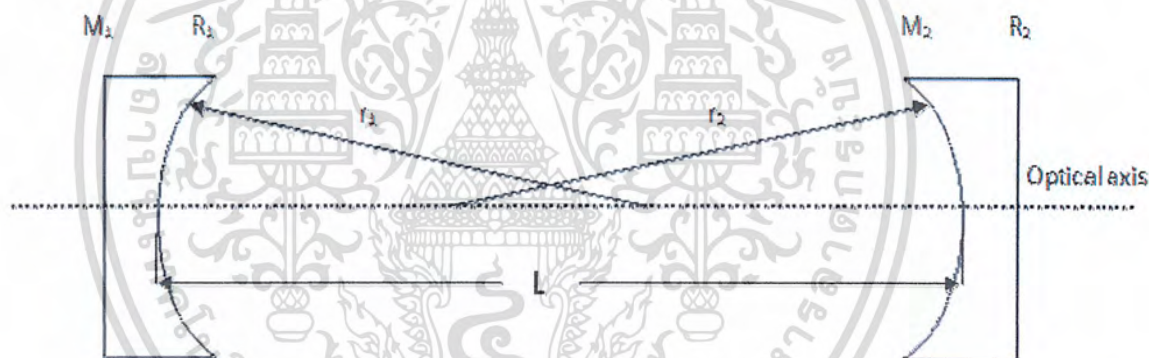
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$0 \leq g_1 g_2 \leq 1 \quad (2.14)$$

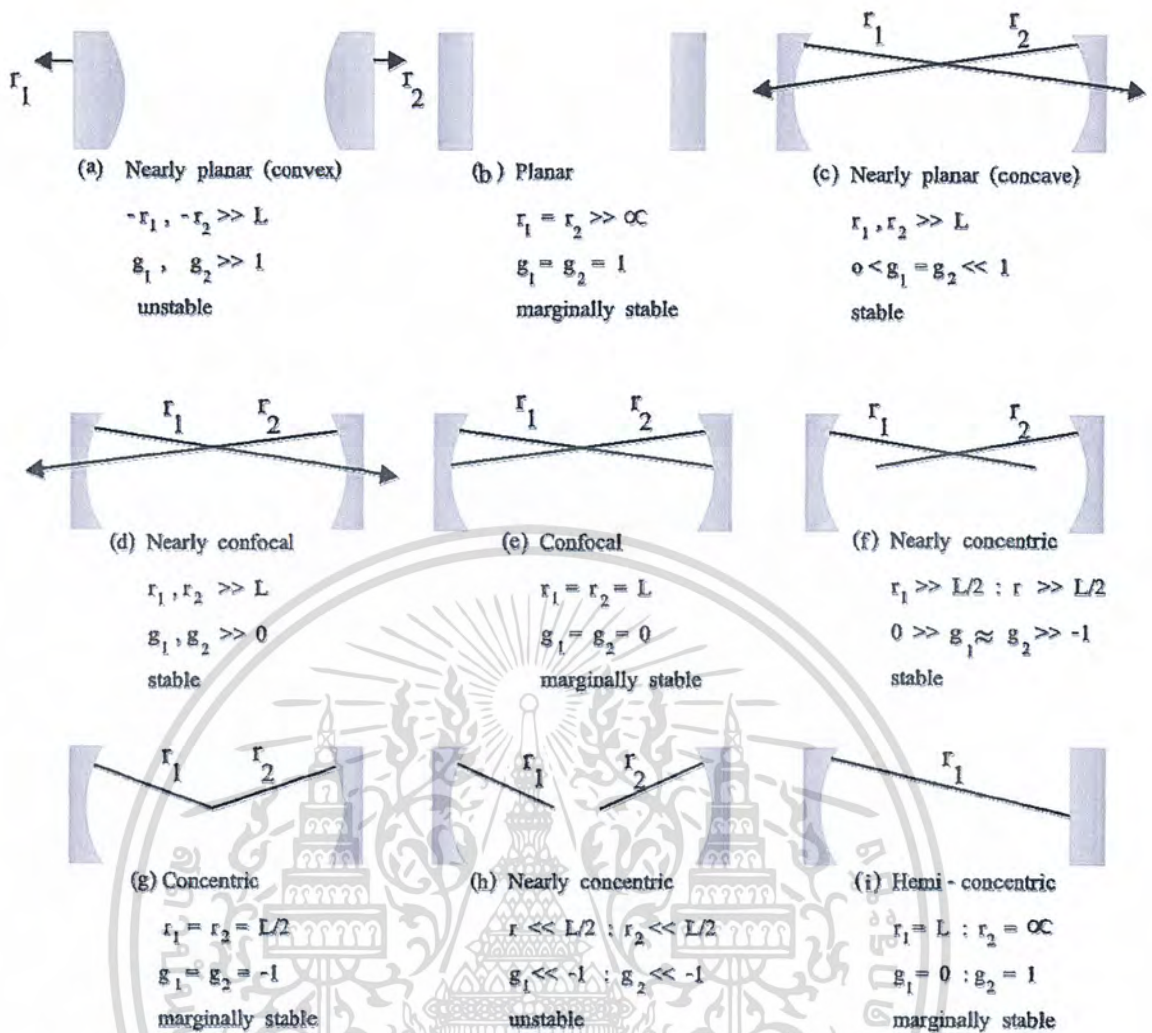
เมื่อ $g_1 = 1 - \frac{L}{r_1}$ สำหรับกระจก M_1

และ $g_2 = 1 - \frac{L}{r_2}$ สำหรับกระจก M_2

จากสมการที่ (2.14) ถ้า $0 < g_1 g_2 < 1$ ระบบจะมีเสถียรภาพที่ดี แต่ถ้าหากว่า $g_1 g_2 < 0$ หรือ $g_1 g_2 > 1$ พบว่าระบบจะไม่มีเสถียรภาพ(Unstable) คือเมื่อเกิดการสะท้อนภายในระบบจะทำให้เกิดการสูญเสียมาก(High Loss) ซึ่งมีผลทำให้ไม่เกิดแสงเลเซอร์ขึ้น การจัดวางกระจกมีด้วยกันหลายแบบ แต่จะต้องจัดวางให้เป็นไปตามเงื่อนไขดังสมการที่(2.14) จึงจะทำให้เกิดแสงเลเซอร์ที่มีเสถียรภาพที่ดี



รูปที่ 2.6 ตัวสั้นพ้องเชิงทัศนที่ประกอบด้วยกระจก 2 บาน M_1 และ M_2 มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน R_1 และ R_2 และมีรัศมีความโค้งเป็น r_1 และ r_2 ตามลำดับ(รัตนสูตร,2544)



รูปที่ 2.7 การจัดวางตัวสันห้องเชิงทัศนแบบต่างๆ(วราวุฒิ,2553)

2.2 หลักการของไนโตรเจนเลเซอร์

2.2.1 ไนโตรเจนเลเซอร์หลักการของไนโตรเจนเลเซอร์(วิบูลย์,2549)

2.2.1.1 ไนโตรเจนเลเซอร์

ไนโตรเจนเลเซอร์ เป็นตัวอย่างหนึ่งของการศึกษาถึงกลไกการทำงานของเลเซอร์ เกิดจากการกระตุ้นพลังงานให้กับ โมเลกุลของก๊าซไนโตรเจนนั้น โดยวิธีเดียวกับฮีเลียมนีออนที่เรียกว่า Gas Discharge โดยใช้แรงดันไฟตรงสูงประมาณ 15000 โวลต์ พลังงานจะถูกถ่ายทอดให้แก่อะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซไนโตรเจน ทำให้โมเลกุลของก๊าซไนโตรเจนอยู่ในสภาวะถูกกระตุ้น(Excited state) ได้จากนั้น บางโมเลกุลจะมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของโฟตอนและจะไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระตุ้น(Stimulate) ให้โมเลกุลในสถานะถูกกระตุ้น(excited state) อื่นๆ ปลดปล่อยโฟตอนตาม ออกมาด้วยก็จะได้แสง laser ออกมา โดยมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง ultraviolet

2.2.1.2 หลักการของไนโตรเจนเลเซอร์

ตัวกลางของเลเซอร์(Laser medium) ที่ใช้ในไนโตรเจนเลเซอร์ก็คือก๊าซไนโตรเจน เลเซอร์ ชนิดนี้สามารถทำงานที่ความดันระหว่าง 20 Torr (2700 Pa) จนถึงความดันบรรยากาศ

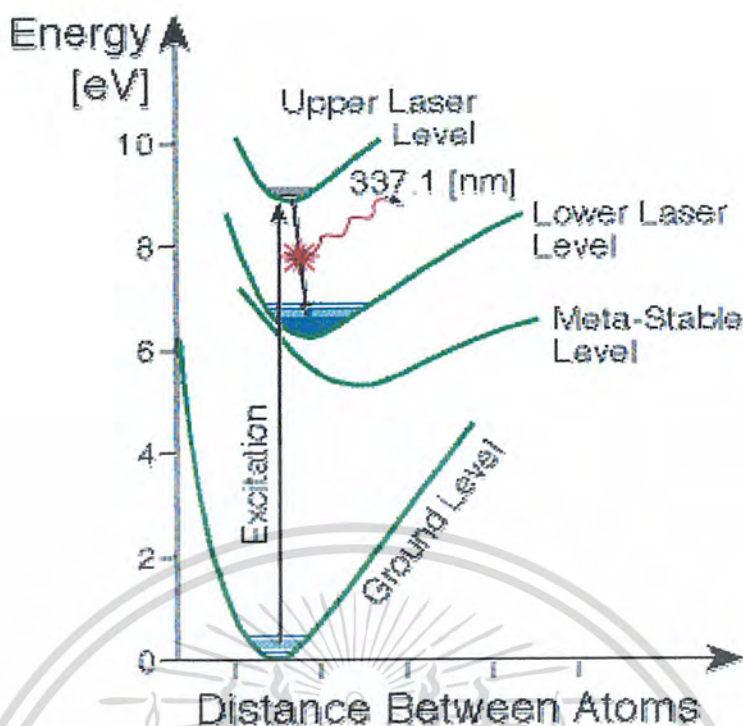
ไนโตรเจนเลเซอร์จะให้การเปลี่ยนระดับพลังงานระหว่างระดับ vibrational states ซึ่งจะให้โฟตอนออกมาที่ความยาวคลื่นมีค่าเท่ากับ 337.1 นาโนเมตร อยู่ในย่านอัลตราไวโอเล็ต โดยลักษณะการเกิดเลเซอร์ชนิดนี้จะถูกเรียกว่า “self – terminating” การเกิดเลเซอร์เป็นดังสมการ

$$\tau_1 = \tau$$

โดยที่ τ_1 เป็นค่าช่วงชีวิต (lifetime) ของระดับพลังงานชั้นล่าง

τ เป็นค่าช่วงชีวิต (lifetime) ของระดับพลังงานชั้นบน

เงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับเลเซอร์ที่ทำงานแบบต่อเนื่อง คือค่าช่วงชีวิต (lifetime) ในระดับชั้นพลังงานที่สูงกว่าจะต้องยาวนานกว่าค่า lifetime ในระดับชั้นพลังงานต่ำกว่า แต่ในไนโตรเจนเลเซอร์แล้วในระดับพลังงานที่สูงกว่าจะมี lifetime สั้นมาก ส่วนชั้นพลังงานที่ต่ำกว่ากลับมีอายุชีวิตที่นานกว่า ด้วยเหตุนี้เองการเกิด ไนโตรเจนเลเซอร์ หรือสภาพประชากรผกผัน (Population Inversion) ในโมเลกุลของไนโตรเจน จึงมีขีดจำกัดนานเกินกว่าค่าอายุชีวิตของชั้นพลังงานที่สูงกว่า เนื่องจากเลเซอร์จะเกิดขึ้นเมื่อค่าประชากรผกผัน (Population Inversion) ของสถานะสุดท้ายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่หลังจากนั้นอีกไม่นาน(ระดับ ns) ค่าประชากรผกผัน (Population Inversion) ก็จะลดลงถึงระดับที่มาสสามารถทำให้เกิดเลเซอร์ได้ซึ่งเราเรียกลักษณะเช่นนี้ว่า “self-terminating” ดังนั้นไนโตรเจนเลเซอร์เป็นเลเซอร์แบบ “self-terminating” โคอะแกรมแสดงระดับพลังงานของไนโตรเจนเลเซอร์ แสดงไว้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ระดับพลังงานของไนโตรเจนที่เกี่ยวข้องต่อการเกิดเลเซอร์(Colin S. Willett,1974)

เพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้นในแต่ละระดับพลังงาน electronics จะแสดงไว้เฉพาะระดับ vibration ต่ำสุดเท่านั้น จากรูปการเปลี่ยนแปลงที่ได้ output ออกมา มีความยาวคลื่น $\lambda = 337 \text{ nm}$ เป็นการเปลี่ยนระดับพลังงานระหว่างระดับ vibration ต่ำสุดของสภาวะถูกกระตุ้น(excited state) $C^3\Pi_g$ (state C) $B^2\Pi_g$ (state B) อายุขีวิต lifetime ของ state C มีค่าเท่ากับ 40 ns ในขณะที่ช่วงชีวิต (lifetime) ของ state B มีค่าเท่ากับ 10 ns ดังนั้น ไนโตรเจนเลเซอร์ จึงสามารถทำงานแบบต่อเนื่องได้โดยให้เลเซอร์แบบพัลส์หลายๆ ที่มีกำลังสูงๆ จึงเหมาะที่จะใช้เป็นตัวปั๊มพลังงานแก่ระบบเลเซอร์ชนิดอื่นๆ

ลักษณะรูปร่างของไนโตรเจนเลเซอร์จะเหมือนกับคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์แบบ TEA(Transverse Excited Atmospheric) จะทำงานโดยการปล่อยประจุผ่านก๊าซไนโตรเจนด้วยขั้วไฟฟ้าที่วางขนานกันเป็นแนวยาว โดยที่แสงจะเกิดขึ้นในทิศทางตั้งฉากกับการปล่อยประจุ ลักษณะเด่นของไนโตรเจนเลเซอร์ที่แตกต่างไปจากเลเซอร์ก๊าซอื่นๆ ได้แก่ การที่ Gain มีค่ามากจนไม่ต้องการการป้อนกลับ(feedback) เพื่อการขยายสัญญาณเชิงแสง ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมี optical cavity กล่าวคือ การเคลื่อนที่ของแสงเพียงข้างเดียวในตัวกลางก็พอที่จะทำให้เกิดแสงเลเซอร์ได้ ไนโตรเจนเลเซอร์บางแบบใช้กระจกเพียงข้างเดียวเพื่อให้แสงวิ่งกลับครึ่งหนึ่งก่อนออกทางปลายอีกข้างหนึ่ง การทำงานแบบ Gain สูงและไม่ต้องการการ feedback เช่นนี้ อาจจะเรียกชื่อได้อีกอย่าง

หนึ่งว่าเป็นแหล่งกำเนิดแสงประเภท “Superradiant” ลักษณะลำแสงของไนโตรเจนเลเซอร์จึงมีการบานออกของลำแสงสูง เช่นเดียวกับเลเซอร์ของสารกึ่งตัวนำ(Semiconductor Laser)

ไนโตรเจนเลเซอร์ที่ผลิตจำหน่ายอยู่จะมี peak power ประมาณ 10 kW โดยมีพัลส์ขนาด 10 nanoseconds และมี Repetition Rate 500 Hz เนื่องจากแสงไนโตรเจนเลเซอร์มีลักษณะเป็นพัลส์สั้นๆ และอยู่ในช่วงอุตราไวโอเล็ต จึงมีประโยชน์ในการศึกษากระบวนการทางด้าน Photochemical เพราะพลังงานของโฟตอนมีค่าสูงพอในการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเคมีการแยกตัวของโมเลกุล ไนโตรเจนเลเซอร์ได้ผลิตออกมาจำหน่ายตั้งแต่ปี ค.ศ. 1972 เป็นเลเซอร์ที่ทำให้เอาท์พุทอยู่ในย่านของอุตราไวโอเล็ตชนิดแรกที้ออกสู่ตลาดใช้เป็นตัวปั๊มพลังงานให้กับเลเซอร์ชนิดอื่นได้แก่ ดายเลเซอร์(dye laser) และเคมีสตรียเลเซอร์(chemistry laser)เนื่องจากไนโตรเจนเลเซอร์นี้ มีวิธีการสร้างที่ไม่ยากและไม่ซับซ้อนมากนัก ดังนั้นนักวิจัยจึงมักสร้างไว้ใช้เองในห้องปฏิบัติการ ข้อดีของไนโตรเจนเลเซอร์ คือ มีราคาต่ำ การทำงานของเลเซอร์ไม่ซับซ้อนมากนัก สามารถทำงานได้ด้วยความดันบรรยากาศ และให้ output pulse ออกมาในช่วง nanoseconds หรือ subnanoseconds โดยไม่ต้องใช้วิธีที่เรียกว่า Mode Locking

ข้อเสียของไนโตรเจนเลเซอร์ คือ มีประสิทธิภาพ (efficiency) ต่ำซึ่งมีข้อจำกัดให้ output pulse ของไนโตรเจนเลเซอร์มีพลังงานประมาณ 10 มิลลิจูล(mJ) และทำให้กำลังเฉลี่ยมีไม่กี่ร้อยมิลลิวัตต์ เนื่องจากไนโตรเจนเลเซอร์มีข้อจำกัดเหล่านี้จึงทำให้ Nd:YAG และ Excimer laser ถูกนำมาใช้งานแทนที่ไนโตรเจนเลเซอร์ แต่อย่างไรก็ตามไนโตรเจนเลเซอร์ก็ใช้กันอย่างกว้างขวางในห้องปฏิบัติการทั่วไปที่ยังต้องการเลเซอร์ที่มีกำลังไม่สูงมากนักและมีงบประมาณจำกัด

2.2.1.3 ไนโตรเจนเลเซอร์ในระบบความดันต่ำ

ไนโตรเจนเลเซอร์ในระบบความดันต่ำ มีระบบการทำงานเหมือนกับไนโตรเจนเลเซอร์ทั่วไปในระบบบรรยากาศเพียงแต่มีการใช้งานภายใต้ระบบความดันต่ำซึ่งจะง่ายต่อการเกิดไนโตรเจนเลเซอร์กว่าในสภาวะบรรยากาศ เนื่องจากในระบบความดันต่ำจะไม่มีแก๊สอื่นเข้ามาเกี่ยวข้อง และการวางแผนสแตนด์เลสไม่จำเป็นต้องใกล้เคียงกันและขนานกันมากเท่ากับในสภาวะบรรยากาศจึงสะดวกต่อการสร้างกว่าในระบบบรรยากาศ ซึ่งไนโตรเจนเลเซอร์พิเศษนี้จะมีการปั๊มระบบให้เป็นสภาวะความดันต่ำด้วยปั๊มสุญญากาศ

2.3 การประยุกต์ใช้งานไนโตรเจนเลเซอร์(วิษณุ,2549)

ส่วนใหญ่การประยุกต์ใช้ในไนโตรเจนเลเซอร์สำหรับหลายๆปีมานี้เป็น pumping pulse ของ Dye laser เป็นพัลส์สั้นๆที่มีพลังงานสูง ในย่านใกล้คลื่น Ultraviolet คือ จะมีลักษณะเฉพาะสำหรับความยาวคลื่นของ Dye laser ที่มองเห็นเป็นจำนวนมาก รุ่นที่กระทัดรัดสามารถเป็น แหล่งกำเนิด pump สำหรับ Dye laser ที่ราคาไม่แพง ที่มีงบประมาณจำกัด

เหมือนกับแหล่งกำเนิดคลื่น Ultraviolet อื่นๆ nitrogen-laser สามารถใช้ศึกษาและวัดปรากฏการณ์เรืองแสง ได้มีการประยุกต์นำ nitrogen-laser ในการผ่าตัด นอกจากนั้นไนโตรเจนเลเซอร์ยังสามารถใช้เป็นแหล่งกำเนิดคลื่น Ultraviolet ได้ตามจุดประสงค์ต่างๆ ของห้องทดลอง



123374

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

การออกแบบและการสร้างไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันต่ำ

บทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างไนโตรเจนเลเซอร์ คือ จะกล่าวถึง การออกแบบและโครงสร้างไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางทำงานที่ความดันต่ำ โดยใช้วงจรบลิ้มไลน์เป็นวงจรกระตุ้นรวมถึงรายละเอียดของระบบที่ใช้ในการควบคุมจังหวะในการเกิดแสงไนโตรเจนเลเซอร์ และองค์ประกอบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

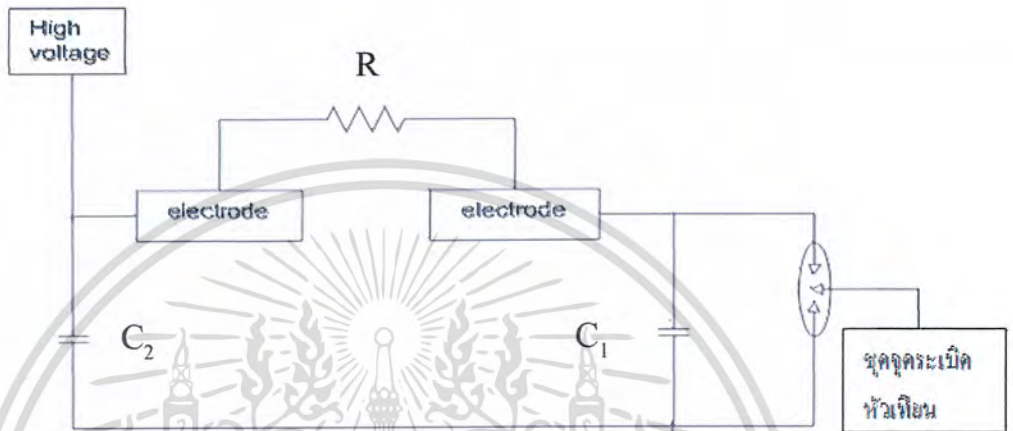
3.1 การออกแบบและสร้างชุดไนโตรเจนเลเซอร์(ปิยะรัตน์ และรัตน์สุตา,2540)

ไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันต่ำ(Transversely Excited at Low Pressure – N_2 Laser : TEA- N_2 Laser) สามารถทำให้แสงที่เป็นพัลส์แคบ และมีกำลังสูง อีกทั้งสามารถออกแบบให้มีขนาดกะทัดรัดได้อีกด้วย และที่สำคัญที่สุด คือ ใช้ระบบสุญญากาศ ซึ่งในการพัฒนาไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางนี้สนใจเฉพาะไนโตรเจนเลเซอร์ที่ให้แสงในช่วงอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตรเท่านั้น จึงต้องมีขบวนการผกผันของประชากรและการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นจากระดับพลังงาน $C^3\Pi_u$ ไปยัง $B^3\Pi_g$ แต่เนื่องจากช่วงชีวิตของโมเลกุลไนโตรเจนในระดับ $C^3\Pi_u$ มีค่าเพียง 2.6 นาโนวินาทีแต่ในระดับพลังงาน $B^3\Pi_g$ มีค่าถึง 10 ไมโครวินาที ดังนั้นถ้าทำให้เกิดการผกผันของประชากรระหว่างระดับพลังงานทั้งสองนั้น จำเป็นจะต้องใช้วงจรกระตุ้นแบบพัลส์ที่เร็วมาก คือ วงจรที่มีค่าอินดักแตนซ์ต่ำๆ นั่นเอง วงจรที่มีลักษณะเช่นนี้ได้แก่ วงจรคาปาซิเตอร์ทรานสเฟอร์ (Capacitor-Charge Transfer Circuit) และวงจรบลิ้มไลน์ (Blumlein Circuit) เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วงจรบลิ้มไลน์เป็นวงจรกระตุ้นของไนโตรเจนเลเซอร์เนื่องจากเป็นวงจรที่สร้างได้ง่ายและนิยมใช้กันมากที่สุด ดังนั้นในที่นี้จะขอกกล่าวเฉพาะวงจรบลิ้มไลน์เท่านั้น

การทำงานของวงจรบลิ้มไลน์ดังรูปที่ 3.1 สามารถอธิบายได้ดังนี้ ตัวเก็บประจุสตอเรจ (Storage Capacitor) C_1 และตัวเก็บประจุพัลส์ฟอร์มมิงไลน์ (Pulse Forming Line Capacitor) C_2 ถูกประจุจนเต็มจากแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง (High Voltage) เมื่อสปาร์กแกปทำงานประจุใน C_1 เมื่อสปาร์กแกปทำงานประจุใน C_1 จะไหลลงกราวด์อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดความต่างศักย์ตกคร่อมระหว่างช่องเลเซอร์ มีค่าเท่ากับความต่างศักย์จากแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง

เนื่องจากขั้วไฟฟ้าที่ต่อกับ C_1 ในขณะนี้มีศักย์เท่ากับกราวด์ ดังนั้นจึงเกิดการคายประจุ C_2 อย่างรวดเร็วผ่านขั้วไฟฟ้าภายในช่องเลเซอร์เป็นผลให้มีอิเล็กตรอนพลังงานสูงวิ่งจากขั้วไฟฟ้าของ C_2 ไปยัง C_1 โมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนที่ไหลผ่านระหว่างช่องเลเซอร์ จะถูกกระตุ้นโดยการชนของอิเล็กตรอนเหล่านั้น (Electron Collisional Excitation Process) ภายใต้อุณหภูมิที่เหมาะสมก็จะเกิดแสงเลเซอร์ออกมาตามแนวยาวของช่องเลเซอร์



รูปที่ 3.1 วงจรบัลติม์ไลน์ (รัตน์สุตา, 2544)

3.2 ส่วนประกอบของไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวาง

ส่วนประกอบต่างๆ ที่สำคัญในการสร้างไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางมีดังต่อไปนี้

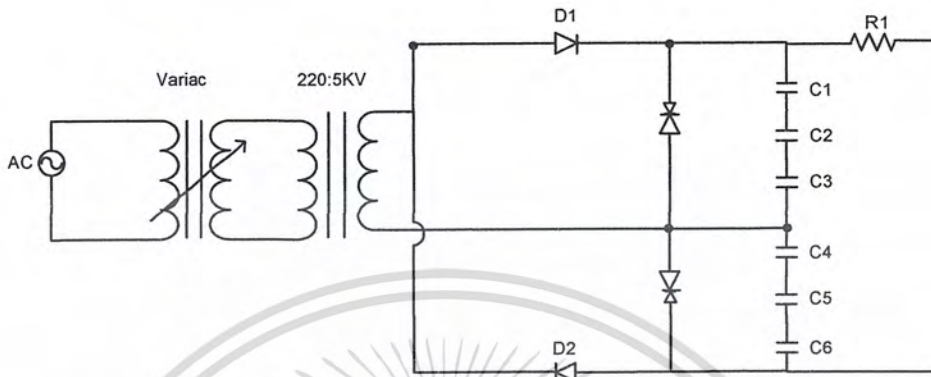
3.2.1 ขั้วไฟฟ้า และช่องเลเซอร์

ขั้วไฟฟ้าทำจากโลหะสแตนเลสขนาด 30 X 400 ตารางมิลลิเมตร วางขนานกัน 2 อัน ขอบเขตของขั้วไฟฟ้าทั้งสองจะตัดทำมุม 45 องศาเพื่อให้เกิดการดิซชาร์จระหว่างผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าทั้งสองสม่ำเสมอตลอดแนวที่วางขนานกันสำหรับระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองซึ่งประกอบเป็นช่องเลเซอร์สามารถปรับได้ตามความต้องการตั้งแต่ 0 – 5 มิลลิเมตร

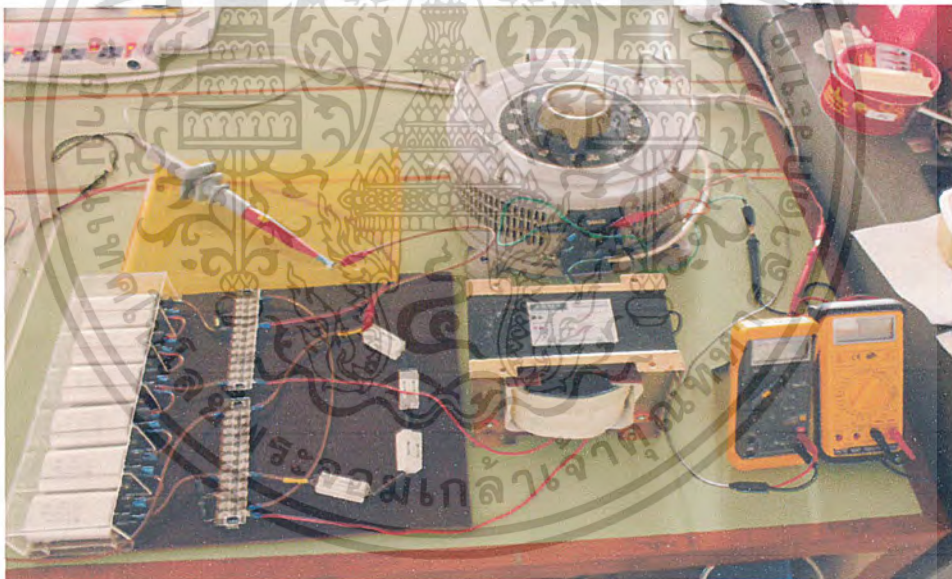
3.2.2 ระบบจ่ายไฟแรงดันสูง

ชุดจ่ายไฟแรงดันสูงสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงปรับค่าได้ระหว่าง 0-15 กิโลโวลต์ เพื่อจ่ายให้วงจรบัลติม์ไลน์ ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งเป็นวงจรทวีแรงดันแบบเต็มคลื่น (Full Wave Voltage Multiplier Circuit) ประกอบด้วยหม้อแปลงที่มีแรงดันขาเข้า 220 โวลต์ แรงดันขาออก 5 กิโลโวลต์ สามารถปรับค่าแรงดันขาเข้าได้ด้วยวาริแอก (Variac) ไดโอด (D_1 และ D_2) เบอร์ ESJC16 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถทนแรงดันได้ 15 กิโลโวลต์ ตัวเก็บประจุ (C_1 และ C_6) มีค่า 1.13 μF 2100 V/AC ตัวต้านทาน(R) มีค่า 100 กิโลโอห์ม(เป็นชนิดตัวต้านทาน 10 วัตต์ ต่อขนาน 4 ตัว และต่ออนุกรมกัน 4 ชุด) 40 วัตต์ ทำหน้าที่จำกัดกระแส(Current Limit)



รูปที่ 3.2 วงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง



รูปที่ 3.3 วงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง(ภาพระบบจริง)

ในวงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ที่ช่วงสัญญาณแรงดันต้านบวก ไดโอด D_1 จะได้รับการไบอัสตรง ส่วนไดโอด D_2 ได้รับการไบอัสกลับจึงไม่นำกระแส ทำให้ $C_1 - C_3$ มีการอัดประจุจนมีค่าเท่ากับค่าแรงดันของขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลง และในช่วงสัญญาณด้านลบ ไดโอด D_1

ได้รับการไบอัสกลับ และไดโอด D_2 ได้รับการไบอัสตรงทำให้ $C_4 - C_6$ มีการอัดประจุจนมีการค่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับค่าแรงดันของขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลง แรงดันที่ตกคร่อม C_1 และ C_2 จึงมีค่าเป็นสองเท่าของแรงดันของขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลง

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบวงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง

แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ(input)V	แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง(output)V
1	84
7	483
16	1044
24	1596
30	1926
38	2450
46	2998
52	3400
63	4110
71	4640
77	5000
92	5930
109	7040
124	8000
138	8920
150	9890
152	10040

3.2.3 ตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน

จากวงจรบลัมไลน์ความจุของตัวเก็บประจุ C_2 ต้องมีค่ามากกว่า C_1 อาจจะใช้อัตราส่วนตั้งแต่ 2:1 ขึ้นไป และเพื่อจะให้ความเหนี่ยวนำในวงจรกระตุ้นเลเซอร์มีค่าต่ำมากๆ ดังนั้น C_1 และ C_2 จำเป็นต้องเป็นตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนานในที่นี้สร้างโดยใช้แผ่นไมลาร์ (Mylar) เป็นไดอิเล็กตริก ซึ่งมีแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ 2 แผ่นประกบอยู่ โดยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์จะทำหน้าที่เป็นเพลทของตัวเก็บประจุแบบแผ่นไมลาร์ และแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ทั้งหมดนี้จะวางเรียงเป็นชั้นอยู่บนแผ่นอะคริลิกเพื่อให้เรียบ ค่าความจุของ C_1 และ C_2 คำนวณได้จากสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เมื่อ C = ค่าความจุของตัวเก็บประจุ มีหน่วยเป็นฟารัด (farad : F)

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

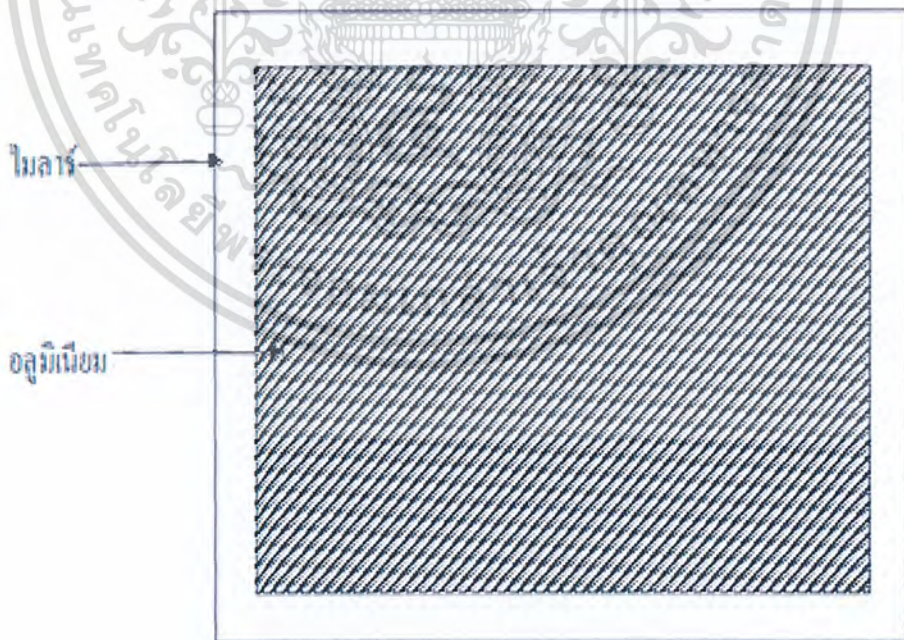
ϵ_0 = สภาพยอมทางไฟฟ้าของสุญญากาศ มีค่าเท่ากับ 8.85×10^{-12}

ฟารัดเมตร

A = พื้นที่ผิวของเพลทของตัวเก็บประจุ

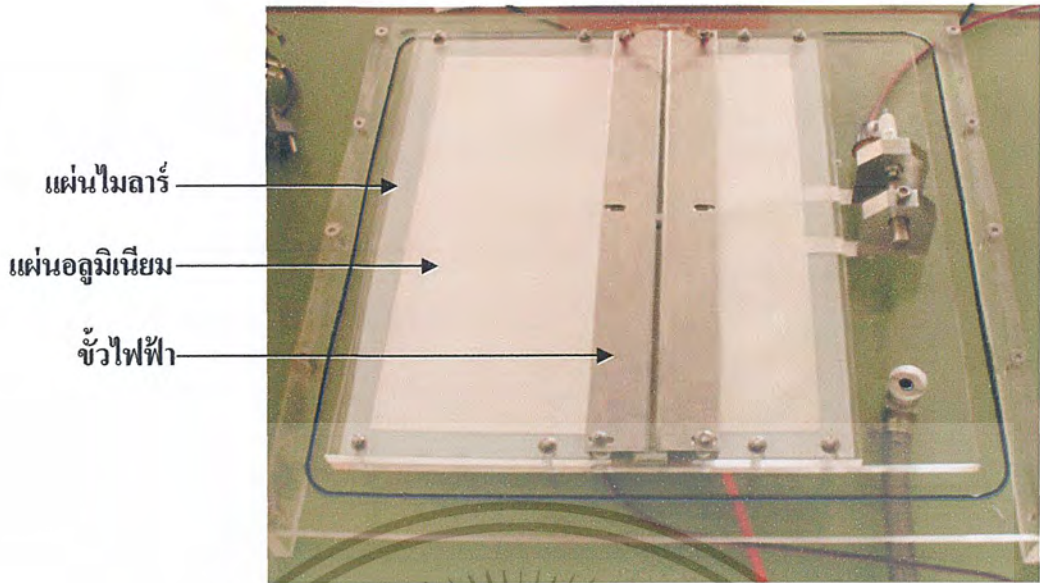
d = ความหนาของแผ่นไดอิเล็กตริก

ในงานวิจัยนี้ขั้วไฟฟ้าสแตนเลสมีความยาว 400 มิลลิเมตร ดังนั้นความยาวของแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์จะต้องมีขนาดสั้นกว่าขั้วไฟฟ้าสแตนเลสเล็กน้อยในงานวิจัยนี้ใช้ความยาว 380 มิลลิเมตร ส่วนความกว้างของแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ สำหรับ C_1 และ C_2 เท่ากับ 90 และ 180 มิลลิเมตร ตามลำดับ สำหรับไมลาร์ที่ใช้จะต้องมีขนาดใหญ่กว่าแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ที่ประกอบอยู่พอสมควรทั้งนี้เพื่อป้องกันการอาร์คของไฟฟ้าระหว่างแผ่นอลูมิเนียมทั้งสอง



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

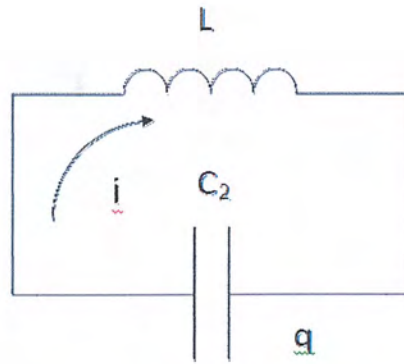
รูปที่ 3.4 (ก) ตัวเก็บประจุแผ่นขนาน โดยใช้แผ่น ไมลาร์เป็นไดอิเล็กทริกวางอยู่ระหว่างแผ่น อลูมิเนียมพอยล์ 2 แผ่น ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุ (มองจากด้านบน)(รัตนสุตา,2544)

(ข) ภาพจริงของระบบ

สำหรับ C_1 แผ่นอลูมิเนียมมีพื้นที่ 380×90 ตารางมิลลิเมตร ความหนาของแผ่นไมลาร์ $d = 0.35$ มิลลิเมตร จากการคำนวณ ได้ค่าความจุของ $C_2 = 5.2$ นาโนฟารัด

หลังจากที่คำนวณค่า C_1 และ C_2 ที่ใช้ในวงจรบัสไลน์ได้แล้ว ต่อไปต้องคำนวณดูค่า ความเร็วในการกระตุ้นของวงจรบัสไลน์ที่ใช้จะสามารถกระตุ้นแก๊สในโตรเจนได้ในเวลาที่สั้น กว่า 2.6 นาโนวินาที เพื่อทำให้เกิดประชากรผกผันได้หรือไม่นั้นต้องคำนวณหาเวลาที่แรงดันไฟฟ้า ขึ้นถึงจุดสูงสุดในวงจรพัลส์ฟอร์มมิง (Pulse Forming) ที่ใช้ซึ่งในที่นี้แทนได้ด้วยวงจรสมมูลดังรูปที่

3.5



รูปที่ 3.5 วงจรพัลส์ฟอร์มิ่ง(รัตนสุตา,2544)

จากกฎของ Kirchoff จะได้

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

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + \frac{q}{LC_2} = 0 \quad (3.3)$$

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

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

โดยที่

q = ประจุไฟฟ้าในตัวเก็บประจุ หน่วยเป็นคูลอมบ์

L = ความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำ หน่วยเป็นเฮนรี

ω = ความถี่เชิงมุมของการแกว่งกวัด หน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที

T = คาบของการแกว่งกวัด หน่วยเป็นวินาที

จะได้

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

เวลาที่แรงดันไฟฟ้าขึ้นถึงจุดสูงสุดในวงจรพัลส์ฟอร์มมิง = T

T_r เป็นเวลาหนึ่งในสี่ของคาบการแกว่งกวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ดังนั้นเวลาที่แรงดันไฟฟ้าขึ้นถึงจุดสูงสุดในวงจรที่สร้างสามารถคำนวณได้โดย

$L =$ ความเหนี่ยวนำในวงจร ซึ่งค่าความเหนี่ยวนำใน C_2 มีค่าสูงกว่าส่วนอื่นๆ ดังนั้น จึงคิดได้เฉพาะใน C_2 เท่านั้น

$$L = \mu_r \mu_0 dl / w$$

เมื่อ $\mu_r =$ สภาพซึมซาบทางแม่เหล็กสัมพัทธ์ = 1

$\mu_0 =$ สภาพซึมซาบได้ทางแม่เหล็กของสุญญากาศ มีค่าเท่ากับ $4\pi \times 10^{-8}$ เฮนรี/เมตร

$d =$ ความหนาของไดอิเล็กตริก = 0.35×10^{-3} เมตร

$l =$ ความยาวของแผ่นไดอิเล็กตริก = 0.18 เมตร

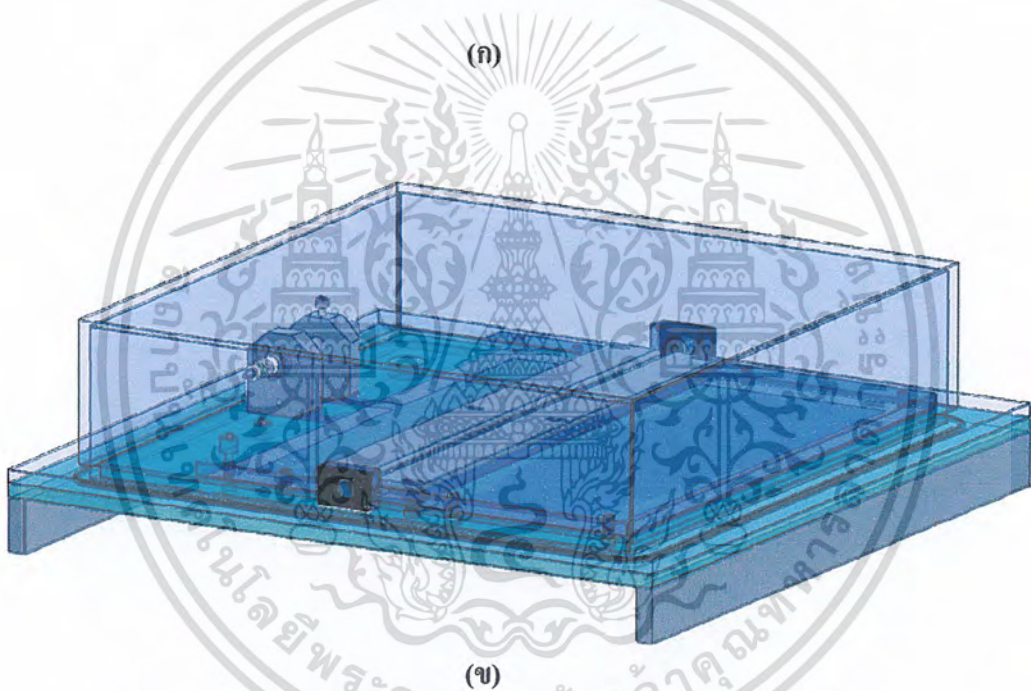
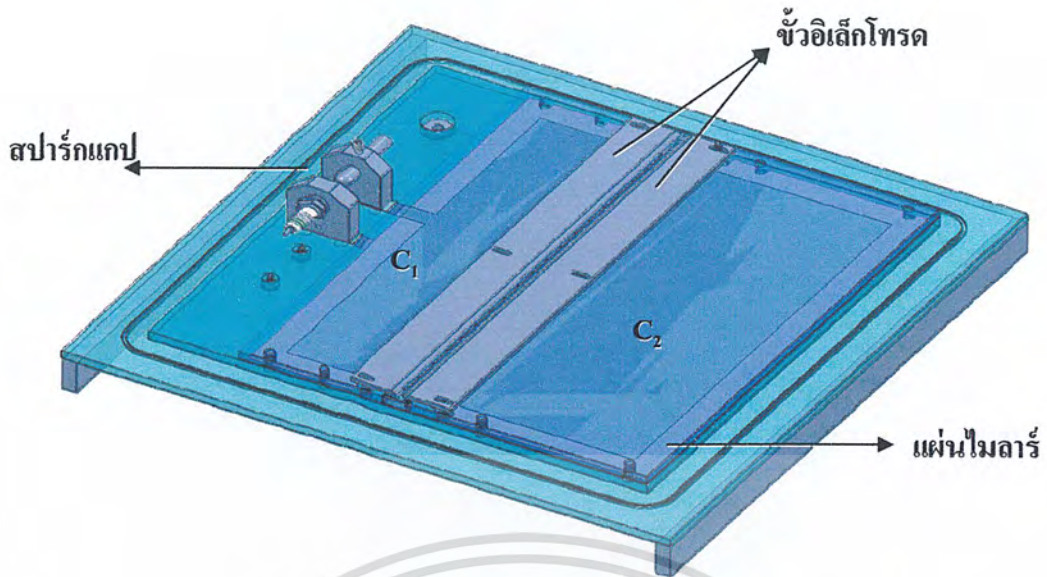
$w =$ ความกว้างของแผ่นไดอิเล็กตริกวัดขนานไปกับขั้วไฟฟ้า = 0.38 เมตร

จะได้ $L = (1.26 \times 10^{-7}) \times (0.35 \times 10^{-3}) \times (0.18/0.35)$ เฮนรี = 0.021 นาโนเฮนรี

$$T_r = \frac{\pi}{2} \sqrt{LC_2} = 0.52 \times 10^{-9} = 0.52 \text{ นาโนวินาที}$$

เนื่องจากช่วงชีวิตที่ระดับพลังงาน $C^3\pi_u(T_c)$ ที่ความดันบรรยากาศมีค่า 2.6 นาโนวินาที แต่จากการคำนวณจะเห็นว่า $T_r < T_c$ ดังนั้นวงจรบลิบ์ไลน์ที่สร้างขึ้นจึงสามารถกระตุ้นอิเล็กตรอนที่สถานะพีโมเลกุลในโตรเจนไปสู่ระดับพลังงาน $C^3\pi_u$ แล้วทำให้เกิดสภาพประชากรผกผันได้ แต่เนื่องจากช่วงชีวิตของระดับพลังงาน $C^3\pi_u$ สั้นกว่าที่ระดับพลังงาน $B^3\pi_u$ การเกิดเลเซอร์เป็นแบบซูเปอร์เรเดียนท์ (Superradiant) จึงไม่จำเป็นต้องใช้ตัวสั้นพ้องเชิงทัศน

ในการออกแบบสร้างไนโตรเจนเลเซอร์แบบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ เพื่อความสะดวกและกะทัดรัดของระบบเลเซอร์ ในการสร้าง C_1 กับ C_2 แผ่นไมลาร์ที่ใช้จะเป็นแผ่นเดียวกัน ส่วนแผ่นอลูมิเนียมพอยล์แผ่นบนจะแยกกันเพื่อเป็นตัวแยกค่า C_1 และ C_2 ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ก) ภาพของขั้วไฟฟ้า ซึ่งวางอยู่บนตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 โดย C_1 และ C_2 ใช้แผ่นไมลาร์แผ่นเดียวกัน

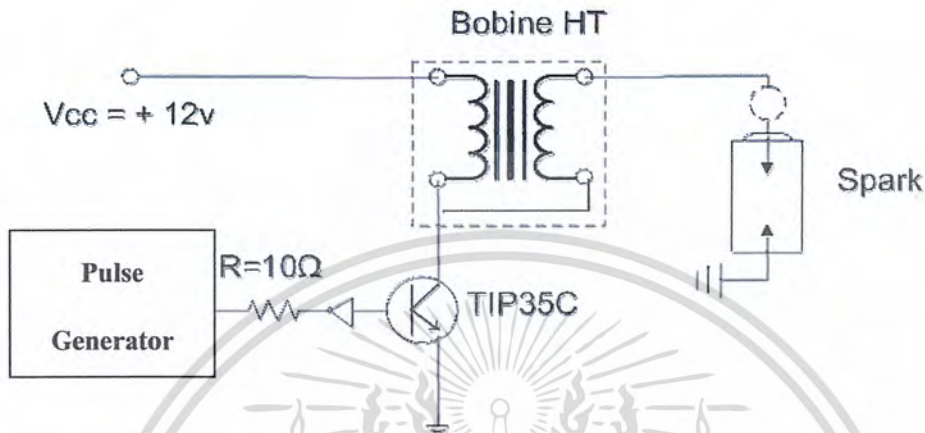
ข) ภาพของขั้วไฟฟ้า ซึ่งวางอยู่บนตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 โดย C_1 และ C_2 ใช้แผ่นไมลาร์แผ่นเดียวกัน(ระบบความดันต่ำ)

3.2.4 ชุดวงจรควบคุมจังหวะการเกิดไนโตรเจนเลเซอร์

ชุดวงจรควบคุมจังหวะการเกิดแสงไนโตรเจนเลเซอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ประกอบด้วยหม้อแปลงทำหน้าที่แปลงไฟฟ้าสลับ 220 โวลต์ ให้เป็น 12 โวลต์ ไดโอดจะทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับจากหม้อแปลงให้เป็นกระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะยังไม่ไหลผ่าน Transistors (TIP35C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จนกว่าจะมีสัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์(Pulse Generator) มากระตุ้นที่ขาเบสของ TIP35C จึงจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังตัวเก็บประจุทำให้ที่ขดลวดปฐมภูมิของคอยล์จุกระเบิดมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าอย่างรวดเร็ว เกิดอำนาจแม่เหล็กเหนี่ยวนำให้เกิดไฟฟ้าแรงดันสูงขึ้นที่ขดลวดทุติยภูมิของคอยล์จุกระเบิดเกิดเป็นประกายไฟที่เขี้ยวหัวเทียนขึ้น



รูปที่ 3.7 วงจรควบคุมจังหวะการเกิดโนโตรเจนเลเซอร์

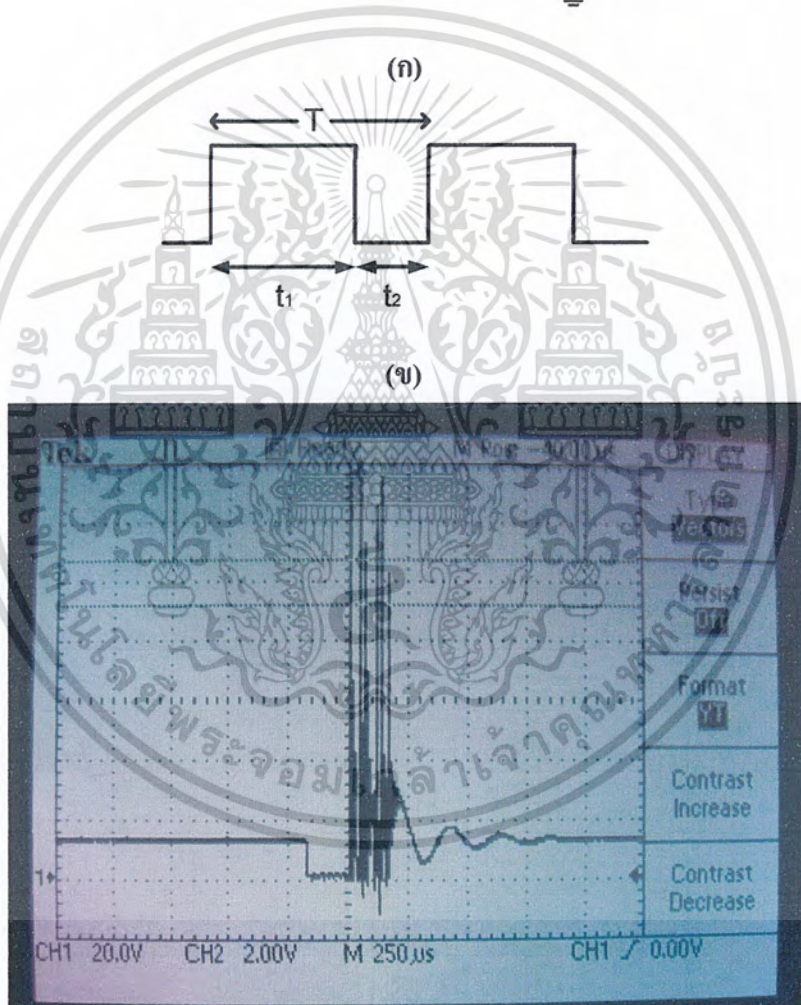
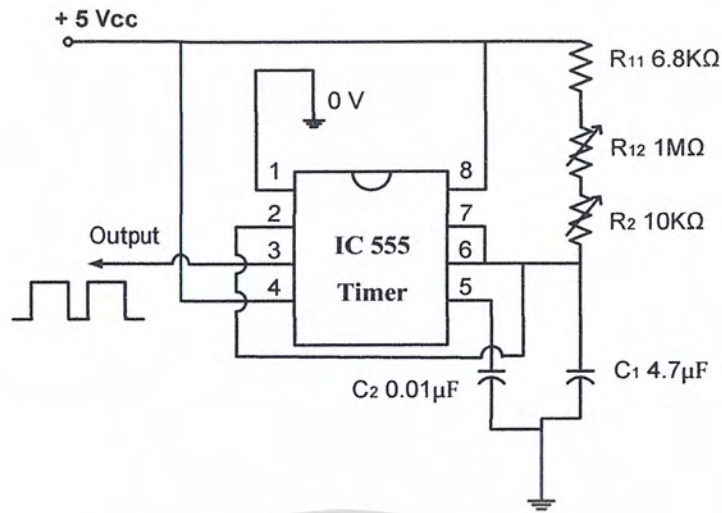
วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์(Pulse Generator) ที่มากระตุ้นขาเบสของ Transistors(TIP35C) จะสร้างจากวงจรออสซิลเลเตอร์แบบไม่มีที่ไวเบรเตอร์ (Astable Multivibrator) โดยใช้ไอซี 555 ไทมเมอร์(LM 555 Timer) เป็นตัวกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave) ลักษณะของวงจรและลักษณะของสัญญาณที่ออกมาจะแสดงดังรูปที่ 3.8ก, 3.8ข และ 3.8ค ตามลำดับ ซึ่งสามารถคำนวณค่าความต้านทานที่นำมาต่อในวงจรได้จาก

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

$$t_2 = 0.693(R_2)C_1$$

เมื่อ t_1 คือ คาบเวลาของสัญญาณด้านบวก และ t_2 คือคาบเวลาของสัญญาณด้านลบ

ในงานวิจัยนี้จะออกแบบและสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ให้สามารถปรับค่าความถี่ได้ในช่วง 0.5 – 15 เฮิร์ต ดังนั้นค่าคาบเวลาใน 1 สัญญาณคลื่น (T) จะมีค่าระหว่าง 0.1 – 2 วินาที โดยกำหนดให้ t_2 จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.25 มิลลิวินาที ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าตัวต้านทานที่นำมาต่อในวงจรดังแสดงในรูป 3.7ก



(ค)

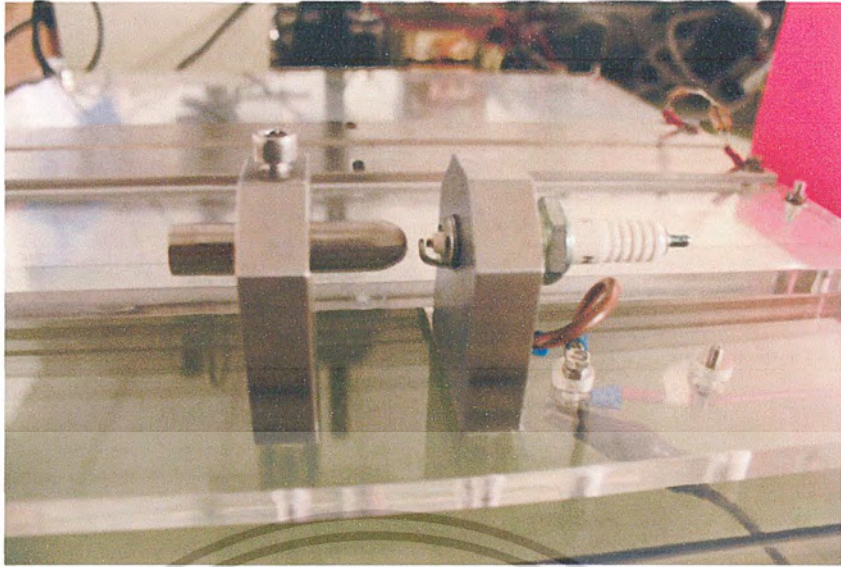
รูปที่ 3.8 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ปรับความถี่ตั้งแต่ 0.5 –15 เฮิร์ต

(ก) วงจรมัลติไวเบรเตอร์ที่สร้างจากไอซี LM 555

(ข) ลักษณะสัญญาณขาออก

(ค) ลักษณะสัญญาณขาออกจากออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ชุดกระตุ้นหัวเทียน

3.2.5 ระบบจ่ายแก๊สไนโตรเจนเข้าสู่ช่องเลเซอร์ ประกอบด้วย

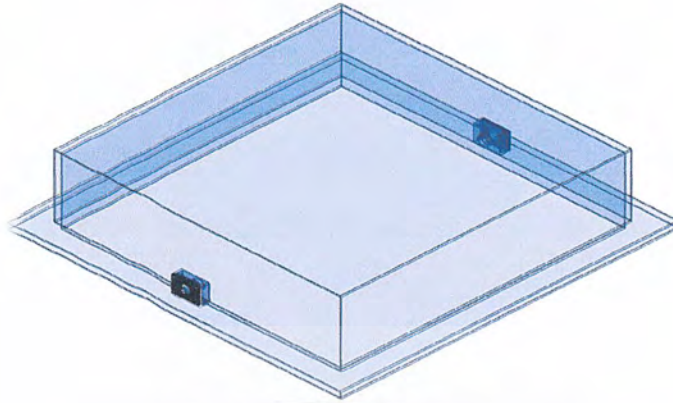
1. ถังแก๊สไนโตรเจนความดัน 200 ปอนด์/ตารางนิ้วพร้อมเกจวัดความดันและวาล์วควบคุมความดันของการไหลของแก๊สไนโตรเจนในช่วงความดัน 0-200 ปอนด์/ตารางนิ้ว
2. สายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 8 มิลลิเมตร
3. ก่อ่งนำแก๊สเข้าสู่ช่องเลเซอร์



รูปที่ 3.10 รูปร่างช่องนำแก๊สไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 ระบบสุญญากาศสำหรับไนโตรเจนเลเซอร์



รูปที่ 3.11 ฝาคอบบระบบความดันต่ำ

3.3 ขั้นตอนการประกอบไนโตรเจนเลเซอร์

หลังจากที่ทำการออกแบบและสร้างส่วนต่างๆ ของระบบไนโตรเจนเลเซอร์เสร็จเรียบร้อยแล้ว จะได้ระบบเลเซอร์ที่มีองค์ประกอบหลักดังนี้

1. ขั้วอิเล็กโทรดหรือขั้วไฟฟ้าสแตนเลสขนาด 30 X 400 ตารางมิลลิเมตร หนา 5 มิลลิเมตร
2. ชุดจ่ายไฟแรงสูงกระแสตรง ปรับแรงดันไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0-12.6 กิโลโวลต์
3. ตัวเก็บประจุแผ่นขนาน(ไมลาร์) C_1 , C_2 ขนาดความจุ 2.6 และ 5.2 นาโนฟารัด ตามลำดับ
4. ชุดวงจรควบคุมจังหวะการเกิดแสงไนโตรเจนเลเซอร์
5. ระบบจ่ายแก๊สไนโตรเจน
6. ระบบปั๊มสุญญากาศสำหรับไนโตรเจนเลเซอร์

เมื่อนำส่วนประกอบต่าง ๆ มาประกอบเข้าด้วยกันจะได้ระบบไนโตรเจนเลเซอร์ ดังรูปที่ 3.12 และ รูปที่ 3.13



รูปที่ 3.12 ระบบไนโตรเจนเลเซอร์ในบรรยากาศ



รูปที่ 3.13 ระบบไนโตรเจนเลเซอร์ในความดันต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง ผลการทดลอง และการอภิปรายผล

4.1 การทดสอบการทำงานของชุดกำเนิดแสงเลเซอร์

1. จัดชุดกำเนิดแสงเลเซอร์
2. ปรับระยะห่างของแท่งอคูมิเนียมซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าให้ระยะห่างเริ่มต้นที่ 2.286 มิลลิเมตร โดยใช้ฟิลเลอร์ช่วยในการปรับระยะ เพื่อให้ระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรดเท่ากันตลอดความยาว
3. ปรับระยะห่างของสปาร์กแกปโดยเริ่มต้นที่ 2.286 มิลลิเมตร โดยใช้ฟิลเลอร์เช่นเดียวกัน
4. เปิดระบบจ่ายไฟแรงดันสูง และปรับสูงขึ้น จนเห็นว่าเกิดการสปาร์กที่ขั้วหัวเทียนอย่างสม่ำเสมอ และเกิดการสปาร์กที่ขั้วไฟฟ้าอย่างสม่ำเสมอด้วย
5. ทำการจ่ายระบบแก๊สในโตรเจนเลเซอร์ จนเห็นว่ามิแสงเลเซอร์ตกลงบนฉากเรืองแสง ถ้ายังไม่เกิดแสงเลเซอร์ให้ปรับแรงดันเพิ่มขึ้น แต่ต้องระวังไม่ให้เกิน 12,600 โวลต์ (เป็นขีดจำกัดความสามารถของระบบจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง)
6. ถ้าการสปาร์กเป็นไปอย่างสม่ำเสมอแล้ว ให้เพิ่มอัตราการจ่ายแก๊สในโตรเจนเลเซอร์
7. ปิดวาล์วระบบแก๊สในโตรเจนเลเซอร์
8. ปรับแรงดันไฟฟ้า ให้ลดลงจนค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าเป็นศูนย์ หรือจะทำให้เกิดการคายประจุที่สปาร์กแกป เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าเป็นศูนย์ก็ได้
9. ถ้าการสปาร์กยังไม่สม่ำเสมอและยังไม่เกิดแสงเลเซอร์ให้ทำการเปลี่ยนแปลงระยะห่างสปาร์กแกปให้สูงขึ้นเป็น 2.794 มิลลิเมตร , 2.997 มิลลิเมตร และ 3.023 มิลลิเมตรตามลำดับโดยใช้ฟิลเลอร์
10. ทำการทดลองเช่นเดียวกับ ข้อ 4 ถึงข้อ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. ถ้าการสปาร์คยังไม่สม่ำเสมอและยังไม่เกิดแสงเลเซอร์ให้ทำการเปลี่ยนแปลง ระยะห่างของขั้วไฟฟ้าให้สูงขึ้น เป็น 2.794 มิลลิเมตร , 3.277 มิลลิเมตร , 3.480 มิลลิเมตร และ 3.658 มิลลิเมตร ตามลำดับ
12. ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับ ข้อ 4 และ 8
13. บันทึกผลและสรุปผลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ตารางบันทึกผลการทดลอง

ระยะ ขั้วไฟฟ้า (mm)	ระยะห่าง สปาร์กแกป (mm)	แรงดันที่เกิด การสปาร์ก (kV)	ผลที่เกิดขึ้น		หมายเหตุ
			การสปาร์ก	การเกิดแสง เลเซอร์	
2.286	2.286	8.4	เกิด	เกิด	เกิดการสปาร์กขึ้นอย่าง สม่ำเสมอ เกิดแสงเลเซอร์ไม่ สม่ำเสมอและไม่ชัดเจน
	2.794	9.0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ยังไม่เกิดการสปาร์กที่ขั้วหัว เทียน และที่ขั้วไฟฟ้า
	3.023	10.0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ยังไม่เกิดการสปาร์กที่ขั้วหัว เทียน และที่ขั้วไฟฟ้า
	2.997	10.0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ยังไม่เกิดการสปาร์กที่ขั้วหัว เทียน และที่ขั้วไฟฟ้า
	3.023	10.0	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ยังไม่เกิดการสปาร์กที่ขั้วหัว เทียน และที่ขั้วไฟฟ้า
2.794	2.286	8.4	เกิด	เกิด	เกิดการสปาร์กขึ้นที่ขั้วหัว เทียนและขั้วไฟฟ้า เกิดแสง เลเซอร์บ่อยขึ้นแต่ยังไม่ สม่ำเสมอและไม่ชัดเจน
	2.794	9.0	เกิด	เกิด	เกิดการสปาร์กและเกิดแสง เลเซอร์แต่ไม่ชัดเจนและไม่ สม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะ ขั้วไฟฟ้า (mm)	ระยะห่าง สปาร์กแกป (mm)	แรงดันที่เกิด การสปาร์ก (kV)	ผลที่เกิดขึ้น		หมายเหตุ
			การสปาร์ก	การเกิดแสง เลเซอร์	
2.794	2.997	9.5	เกิด	เกิด	เกิดการสปาร์กและเกิด เลเซอร์แต่ไม่ชัดเจน สม่ำเสมอขึ้น
	3.023	10.1	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ระยะห่างของสปาร์กแกป มากเกินไป
3.277	2.286	8.4	เกิด	เกิด	เกิดการสปาร์กขึ้นที่ขั้วหัว เทียนและขั้วไฟฟ้า เกิดแสง เลเซอร์บ้างบางครั้งแต่ไม่ ชัดเจน
	2.794	8.9	เกิด	ไม่เกิด	เกิดการสปาร์กขึ้นที่ขั้วหัว เทียนและขั้วไฟฟ้า
		9.0	เกิด	ไม่เกิด	เกิดการสปาร์กถี่ขึ้น
		9.2	เกิด	เกิด	เกิดเลเซอร์แต่ไม่เป็นไปตาม การสปาร์กของขั้วไฟฟ้าเพิ่ม การจ่ายแก๊สใน โตรเจนความ เข้มเพิ่มขึ้น
		8.5	เกิด	ไม่เกิด	เริ่มสปาร์กที่ขั้วหัวเทียนและ ขั้วไฟฟ้า
	2.997	9.0	เกิด	ไม่เกิด	การสปาร์กสม่ำเสมอขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะ ขั้วไฟฟ้า (mm)	ระยะห่าง สปาร์กแกป (mm)	แรงดันที่เกิด การสปาร์ก (kV)	ผลที่เกิดขึ้น		หมายเหตุ
			การสปาร์ก	การเกิดแสง เลเซอร์	
3.277	2.997	10.6	เกิด	เกิด	การสปาร์กถี่ขึ้นและแรงขึ้น แต่ไม่ต่อเนื่องเกิดแสง เลเซอร์ในบางครั้งแต่ยังไม่ ชัดเจน
	3.023	10.5	เกิด	ไม่เกิด	เริ่มสปาร์กถี่ขึ้นที่ขั้วหัวเทียน และขั้วไฟฟ้า
		11.12	เกิด	ไม่เกิด	สปาร์กบางครั้ง ไม่สม่ำเสมอ
		11.32	เกิด	เกิด	การสปาร์กถี่ขึ้นแต่ไม่ ต่อเนื่องเกิดเลเซอร์บางครั้ง แต่ไม่ชัดเจน
		11.60	เกิด	เกิด	เกิดเลเซอร์บางครั้งแต่ไม่ ชัดเจน
3.480	2.997	9.5	เกิด	ไม่เกิด	เริ่มสปาร์กที่ขั้วหัวเทียนและ ที่ขั้วไฟฟ้า
		10.2	เกิด	เกิด	การสปาร์กถี่ขึ้น และต่อเนื่อง เกิดเลเซอร์ชัดขึ้นบ่อยขึ้น และสม่ำเสมอเกิดเลเซอร์ ชัดเจน และเข้มนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะ ขั้วไฟฟ้า (mm)	ระยะห่าง สปาร์กแกป (mm)	แรงดันที่เกิด การสปาร์ก (kV)	ผลที่เกิดขึ้น		หมายเหตุ
			การสปาร์ก	การเกิดแสง เลเซอร์	
3.658	2.997	8.0	เกิด	ไม่เกิด	เริ่มสปาร์กที่ขั้วหัวเทียน
		10.1	เกิด	เกิด	การสปาร์กสม่ำเสมอขึ้น ถึง ขึ้นและเกิดเลเซอร์ชัดเจนขึ้น

4.2 ผลการทดลอง

1. จากการทดลองทั้งหมดพอจะประมาณผลได้ว่า ในการเกิดการสปาร์ก บางครั้งก็สามารถสังเกตเห็นเป็นจุดสว่างบนฉากเรืองแสงอุลตราไวโอเลตไปรองรับ บางครั้งก็ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ ซึ่งแสงที่เป็นจุดสว่างนึ่งคือ แสงเลเซอร์ที่ออกมาที่อยู่ในช่วงอุลตราไวโอเลต เนื่องจากว่าในบางครั้งพลังงานที่สะสมภายในมีค่าน้อยเกินกว่าที่จะ ไปกระตุ้นอิเล็กตรอนของไนโตรเจนให้ขึ้นไปยังระดับพลังงานที่สูงมากพอ จึงทำให้เราไม่สามารถสังเกตเห็นแสงเลเซอร์ได้
2. จากการทดลองในครั้งนี้พบว่า ที่ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเป็น 3.480 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างสปาร์กแกป เป็น 2.997 มิลลิเมตร และมีอัตราการปล่อยแก๊สที่พอเหมาะ จะเกิดการสปาร์ก ด้วยความถี่ที่พอดี และในการสปาร์กทุกครั้งจะสามารถสังเกตเห็นแสงเลเซอร์ได้
3. ในการเพิ่มอัตราการปล่อยแก๊สให้มากขึ้นพบว่าความถี่ของการสปาร์กก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งเมื่อทำการเพิ่มอัตราการปล่อยแก๊สนั้น ก็จะเป็นการเพิ่มจำนวนอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นที่มากขึ้น จึงเป็นการเพิ่มโอกาสในการเกิดแสงเลเซอร์ให้มากขึ้นได้
4. เมื่อสปาร์กแกปมีระยะห่างที่มากขึ้น จะต้องมีการเพิ่มพลังงานให้กับระบบมากขึ้น จึงจะทำให้เกิดการสปาร์ก และเกิดแสงเลเซอร์ได้ แต่ในที่นี้ชุดจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงของเรามีขีดความสามารถจำกัดแค่ 0-12.6 กิโลโวลต์ เท่านั้น เมื่อทำการปรับสปาร์กแกปมีค่าประมาณ 3.023 มิลลิเมตร จึงไม่สามารถสังเกตเห็นการสปาร์กได้เลย
5. เมื่อทำการเพิ่มระยะห่างของขั้วไฟฟ้า จะทำให้ความถี่ของการสปาร์กลดลงบ้างเล็กน้อย แต่จะได้เลเซอร์ที่มีความเข้มมากขึ้น

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. การวิจัยในครั้งนี้สามารถสร้างชุดกำเนิดแรงดันไฟฟ้าที่มีความดันไฟฟ้าสูง (High Voltage Power Supply) ที่ให้แรงดันไฟฟ้าขาออก 15,000 โวลต์ โดยใช้ transformer ที่มีแรงดันไฟฟ้าขาเข้า 220 โวลต์ และแรงดันไฟฟ้าขาออก 5,000 โวลต์ โดยการผ่านวงจรทวิแรงดัน ที่ค่าการเก็บประจุแต่ละตัวมีค่า $1.13 \mu\text{F}$ 2100 V/AC โดยตัวเก็บประจุแต่ละตัวมีค่า $0.376 \mu\text{F}$ สามารถทนแรงดันไฟฟ้าได้ 12,600 โวลต์

2. ในการสร้างใน โดรนเลนเซอร์กระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศนี้ใช้แท่งอลูมิเนียมที่มีความหนา 0.5 เซนติเมตร กว้าง 3 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร มาทำเป็นขั้วไฟฟ้า โดยระหว่างขั้วไฟฟ้าจะต่อตัวต้านทางขนาด 10 เมกกะโอห์ม เพื่อให้มีความต่างศักย์ตกคร่อมที่ตัวเก็บประจุทั้ง 2 ข้าง (คือทั้งที่ C_1 และ C_2)

3. ใช้แผ่นไมลาร์หนา 0.35 มิลลิเมตร ประกอบอยู่ระหว่างแผ่นอลูมิเนียมฟอล์ยเพื่อทำเป็นตัวเก็บประจุ

ซึ่งให้ค่าความจุสามารถคำนวณได้จาก

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

เมื่อ C = ค่าความจุของตัวเก็บประจุ มีหน่วยเป็นฟารัด (farad : F)

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

ϵ_0 = สภาพยอมทางไฟฟ้าของสุญญากาศ มีค่าเท่ากับ 8.85×10^{-12} ฟารัดเมตร

A = พื้นที่ผิวของเพลทของตัวเก็บประจุ

d = ความหนาของแผ่นไดอิเล็กตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ C_1 แผ่นอลูมิเนียมฟอล์ยมีขนาดพื้นที่ (A) 380X90 mm

ความหนาของแผ่น ไมลาร์(d) 0.35 mm

จากการคำนวณ จะได้ค่าความจุ $C_1 \approx 2.6$ nF

สำหรับ C_2 แผ่นอลูมิเนียมฟอล์ยมีขนาดพื้นที่ (A) 380X180 mm

ความหนาของแผ่น ไมลาร์(d) 0.35 mm

จากการคำนวณ จะได้ค่าความจุ $C_2 \approx 5.2$ nF

4. เมื่อปรับระยะห่างสปาร์กแกปมีค่าเท่ากับ 2.997 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 3.480 มิลลิเมตร และใช้อัตราการปล่อยแก๊สที่พอเหมาะ จะเกิดการสปาร์กที่สม่ำเสมอที่สุด และในแต่ละการสปาร์กพบว่าจะให้แสงเลเซอร์ที่มีความเข้มที่สุด

5. จากการทดลองแสงเลเซอร์ไม่ได้เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าและมีความเข้มสูงอย่างที่คาดหวังจะมีลักษณะเป็นเส้นเรียวยาวและไม่สว่างเท่าที่ควร

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรปรับปรุงวงจรทวิแรงดันให้มีค่าแรงดันเพิ่มขึ้นมากกว่า 12,600 โวลต์ เพื่อให้เกิดแสงเลเซอร์ที่มีความเข้มมากขึ้นและเกิดการสปาร์กที่สม่ำเสมอมากขึ้น

2. การเกิดการสปาร์กนั้นพบว่ายังมีการสปาร์กที่ไม่สม่ำเสมอ จึงควรทำการพัฒนาชุดกระตุ้นให้สามารถกระตุ้นแบบเป็นจังหวะได้ และมีเสถียรภาพมากกว่านี้ เพื่อให้สังเกตเห็นผลได้ง่ายขึ้น

3. ในการทดลองยังไม่มีอุปกรณ์ที่จะทำการวัดความเข้มของแสงเลเซอร์ที่อยู่ในรูปที่เป็นจังหวะได้ดี จึงทำให้ไม่สามารถตรวจสอบได้ว่าที่สภาวะใด จึงจะให้แสงเลเซอร์ที่ดีมีความเข้มมากที่สุดได้

4. ในการทดลองที่สภาวะความดันต่ำนั้นยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรเนื่องจากพบปัญหาเกี่ยวกับการรั่วไหลของอากาศบริเวณฐานซึ่งต้องรับน้ำหนักพอสมควร จึงควรแก้ไขเรื่องฐานให้รองรับน้ำหนักได้มากกว่านี้

เอกสารอ้างอิง

สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว. 2529. เลเซอร์เอ็นจีเนียริง. กรุงเทพมหานคร . สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปิยรัตน์ ศรีเหนียง, รัตน์สุดา ทองแดง. 2539. ไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ. ปรินซ์นิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

รัตน์สุดา ทองแดง. 2544. ไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศสำหรับปัมระบบคายเลเซอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วราวุฒิ เถาลัดดา. 2553. **Optoelectronics**. กรุงเทพมหานคร.

วิษณุ เพชรภา. 2549. **Laser and Applications**. กรุงเทพมหานคร.

Jeff Hecht. 1992. **Laser Pioneer**. Boston. Academic Press.

Joseph T. Verdeyen. 1995. **Laser Electronics**. 3rd Ed. New Jersey. Prentic-Hall, Inc.

John Wilson, J.F.B. Hawkes. 1987. **Lasers: Principles and Application**. New York. Prentic-Hall, Inc.

Colin S. Willett. 1974. **Introduction to Gas Lasers: Population Inversion Mechanisms**. New York. Pergamon Press.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Complementary power transistors

Features

- Low collector-emitter saturation voltage
- Complementary NPN - PNP transistors

Applications

- General purpose

Description

The devices are manufactured in epitaxial-base planar technology and are suitable for power linear and switching applications.

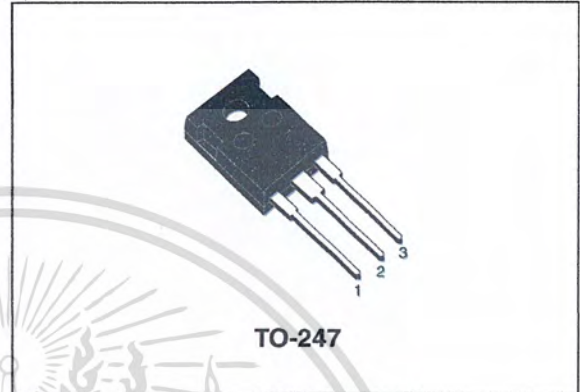


Figure 1. Internal schematic diagrams

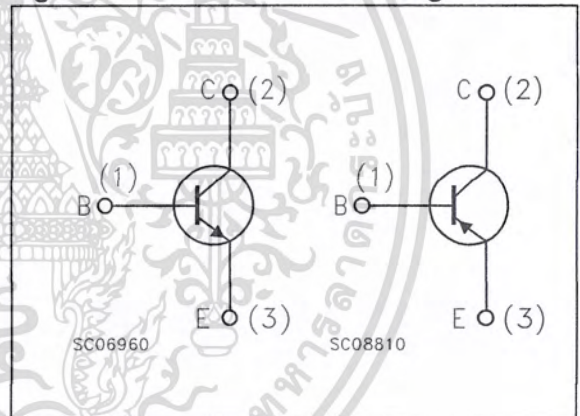


Table 1. Device summary

Order code	Marking	Package	Packaging
TIP35C	TIP35C	TO-247	Tube
TIP36C	TIP36C		

1 Electrical ratings

Table 2. Absolute maximum ratings

Symbol	Parameter		Value	Unit
		NPN	TIP35C	
		PNP	TIP36C	
V_{CBO}	Collector-base voltage ($I_E = 0$)		100	V
V_{CEO}	Collector-emitter voltage ($I_B = 0$)		100	V
V_{EBO}	Emitter-base voltage ($I_C = 0$)		5	V
I_C	Collector current		25	A
I_{CM}	Collector peak current ($t_p < 5$ ms)		50	A
I_B	Base current		5	A
P_{tot}	Total dissipation at $T_{case} = 25$ °C		125	W
T_{stg}	Storage temperature		-65 to 150	°C
T_J	Max. operating junction temperature		150	°C

For PNP type voltage and current values are negative.

Table 3. Thermal data

Symbol	Parameter		Value	Unit
$R_{thj-case}$	Thermal resistance junction-case	max	1	°C/W

2 Electrical characteristics

($T_{\text{case}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; unless otherwise specified)

Table 4. Electrical characteristics

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{CEO}	Collector cut-off current ($I_{\text{B}} = 0$)	$V_{\text{CE}} = 60\text{ V}$			1	mA
I_{EBO}	Emitter cut-off current ($I_{\text{C}} = 0$)	$V_{\text{EB}} = 5\text{ V}$			1	mA
I_{CES}	Collector cut-off current ($V_{\text{BE}} = 0$)	$V_{\text{CE}} = 100\text{ V}$			0.7	mA
$V_{\text{CEO(sus)}}^{(1)}$	Collector-emitter sustaining voltage ($I_{\text{B}} = 0$)	$I_{\text{C}} = 30\text{ mA}$	100			V
$V_{\text{CE(sat)}}^{(1)}$	Collector-emitter saturation voltage	$I_{\text{C}} = 15\text{ A}$ $I_{\text{C}} = 25\text{ A}$	$I_{\text{B}} = 1.5\text{ A}$ $I_{\text{B}} = 5\text{ A}$		1.8 4	V V
$V_{\text{BE(on)}}^{(1)}$	Base-emitter voltage	$I_{\text{C}} = 15\text{ A}$ $I_{\text{C}} = 25\text{ A}$	$V_{\text{CE}} = 4\text{ V}$ $V_{\text{CE}} = 4\text{ V}$		2 4	V V
$h_{\text{FE}}^{(1)}$	DC current gain	$I_{\text{C}} = 1.5\text{ A}$ $I_{\text{C}} = 15\text{ A}$	$V_{\text{CE}} = 4\text{ V}$ $V_{\text{CE}} = 4\text{ V}$	25 10	50	
h_{fe}	Small signal current gain	$I_{\text{C}} = 1\text{ A}$ $f = 1\text{ kHz}$	$V_{\text{CE}} = 10\text{ V}$	25		
f_{T}	Transition frequency	$I_{\text{C}} = 1\text{ A}$ $f = 1\text{ MHz}$	$V_{\text{CE}} = 10\text{ V}$	3		MHz

1. Pulsed duration = 300 ms, duty cycle $\geq 1.5\%$.

For PNP type voltage and current are negative.

HVR SERIES

微波炉用 HVR 系列双向高压二极管

HVR SERIES BI-DIRECTIONAL HIGH VOLTAGE DIODES FOR MICROWAVE OVENS

 HVR-2X系列(HVE-2X Series)(T_A=25°C)

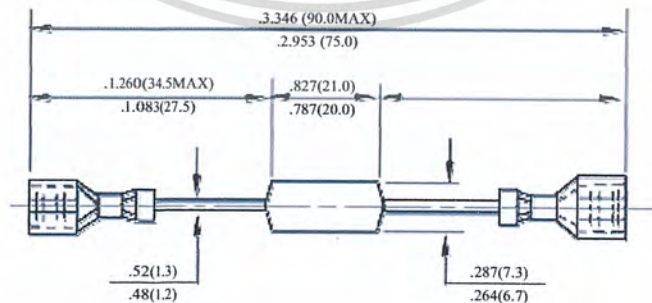
项目 Description	峰值反向电压 Peak Reverse Voltage		反向击穿电压 Reverse Breakdown Voltage		反向漏电流 Reverse Leakage Current
符号 Symbols	V _{RM} (KV)		V _B (KV)		I _{RM} (μA)
	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	
条件 Conditions	I _{RM} = 10 μA	I _{RM} = 10 μA	I _{RM} = 100 μA	I _{RM} = 100 μA	V _R = V _{RM}
HVR-2X0620A	6.0	1.3	7.0min.	1.5 - 2.1	10
HVR-2X062H0A		1.5		1.8 - 2.4	
HVR-2X062H0A(M)		1.7		2.1 - 2.8	
HVR-2X062H1A(ML)		1.7		2.1 - 2.8	

注：“0”A 表示无端子，“1”A 表示有端子；“M”或“ML”申明该产品仅用于微波炉。

"0" no terminal, "1" with terminal; "M" or "ML" means products used in micro wave oven only.

最大额定值(ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS):

项目 Description	符号 Symbols	数值(Ratings)		单位 Units	条件 Conditions
		D1	D2		
贮存温度 Storage Temperature	T _{STG}	-40 ~ +30		°C	
结温 Junction Temperature	T _J	130		°C	
高温漏流 High Temperature Reverse Leakage Current	I _R	100		μA	T _A = 125°C



外形尺寸
Outline dimensions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง www.DataSheet4U.com

SN54HC04, SN74HC04 HEX INVERTERS

SCLS078B - DECEMBER 1982 - REVISED MAY 1997

- Package Options Include Plastic Small-Outline (D), Shrink Small-Outline (DB), Thin Shrink Small-Outline (PW), and Ceramic Flat (W) Packages, Ceramic Chip Carriers (FK), and Standard Plastic (N) and Ceramic (J) 300-mil DIPs

description

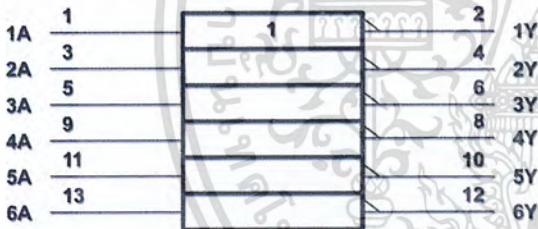
These devices contain six independent inverters. They perform the Boolean function $Y = \bar{A}$ in positive logic.

The SN54HC04 is characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C . The SN74HC04 is characterized for operation from -40°C to 85°C .

FUNCTION TABLE
(each inverter)

INPUT A	OUTPUT Y
H	L
L	H

logic symbol†

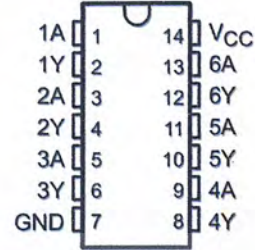


† This symbol is in accordance with ANSI/IEEE Std 91-1984 and IEC Publication 617-12. Pin numbers shown are for the D, DB, J, N, PW, and W packages.

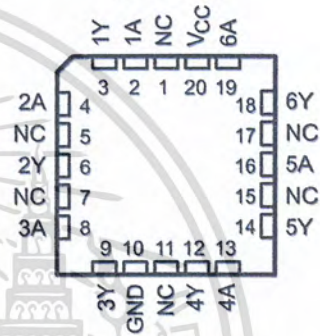
logic diagram (positive logic)



SN54HC04 ... J OR W PACKAGE
SN74HC04 ... D, DB, N, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



SN54HC04 ... FK PACKAGE
(TOP VIEW)



NC - No internal connection



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

**TEXAS
INSTRUMENTS**

Copyright © 1997, Texas Instruments Incorporated

SN54HC04, SN74HC04 HEX INVERTERS

SCLS078B – DECEMBER 1982 – REVISED MAY 1997

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range†

Supply voltage range, V_{CC}	-0.5 V to 7 V
Input clamp current, I_{IK} ($V_I < 0$ or $V_I > V_{CC}$) (see Note 1)	± 20 mA
Output clamp current, I_{OK} ($V_O < 0$ or $V_O > V_{CC}$) (see Note 1)	± 20 mA
Continuous output current, I_O ($V_O = 0$ to V_{CC})	± 25 mA
Continuous current through V_{CC} or GND	± 50 mA
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Note 2): D package	127°C/W
DB package	158°C/W
N package	78°C/W
PW package	170°C/W
Storage temperature range, T_{stg}	-65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES: 1. The input and output voltage ratings may be exceeded if the input and output current ratings are observed.
2. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51, except for through-hole packages, which use a trace length of zero.

recommended operating conditions

		SN54HC04			SN74HC04			UNIT
		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
V_{CC}	Supply voltage	2	5	6	2	5	6	V
V_{IH}	High-level input voltage	$V_{CC} = 2$ V	1.5		1.5			V
		$V_{CC} = 4.5$ V	3.15		3.15			
		$V_{CC} = 6$ V	4.2		4.2			
V_{IL}	Low-level input voltage	$V_{CC} = 2$ V	0	0.5	0	0.5		V
		$V_{CC} = 4.5$ V	0	1.35	0	1.35		
		$V_{CC} = 6$ V	0	1.8	0	1.8		
V_I	Input voltage	0		V_{CC}	0		V_{CC}	V
V_O	Output voltage	0		V_{CC}	0		V_{CC}	V
t_t	Input transition (rise and fall) time	$V_{CC} = 2$ V	0	1000	0	1000		ns
		$V_{CC} = 4.5$ V	0	500	0	500		
		$V_{CC} = 6$ V	0	400	0	400		
T_A	Operating free-air temperature	-55		125	-40		85	°C



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

SN54HC04, SN74HC04 HEX INVERTERS

SCLS078B – DECEMBER 1982 – REVISED MAY 1997

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

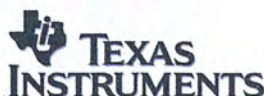
PARAMETER	TEST CONDITIONS		V _{CC}	T _A = 25°C			SN54HC04		SN74HC04		UNIT
				MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
V _{OH}	V _I = V _{IH} or V _{IL}	I _{OH} = -20 μA	2 V	1.9	1.998		1.9		1.9	V	
			4.5 V	4.4	4.499		4.4		4.4		
			6 V	5.9	5.999		5.9		5.9		
		I _{OH} = -4 mA	4.5 V	3.98	4.3		3.7		3.84		
		I _{OH} = -5.2 mA	6 V	5.48	5.8		5.2		5.34		
V _{OL}	V _I = V _{IH} or V _{IL}	I _{OL} = 20 μA	2 V		0.002	0.1		0.1		0.1	V
			4.5 V		0.001	0.1		0.1		0.1	
			6 V		0.001	0.1		0.1		0.1	
		I _{OL} = 4 mA	4.5 V		0.17	0.26		0.4		0.33	
		I _{OL} = 5.2 mA	6 V		0.15	0.26		0.4		0.33	
I _I	V _I = V _{CC} or 0		6 V		±0.1	±100		±1000		±1000	nA
I _{CC}	V _I = V _{CC} or 0, I _O = 0		6 V					40		20	μA
C _i			2 V to 6 V		3	10		10		10	pF

switching characteristics over recommended operating free-air temperature range, C_L = 50 pF (unless otherwise noted) (see Figure 1)

PARAMETER	FROM (INPUT)	TO (OUTPUT)	V _{CC}	T _A = 25°C			SN54HC04		SN74HC04		UNIT
				MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
t _{pd}	A	Y	2 V		45	95		145		120	ns
			4.5 V		9	19		29		24	
			6 V		8	16		25		20	
t _t		Y	2 V		38	75		110		95	ns
			4.5 V		8	15		22		19	
			6 V		6	13		19		16	

operating characteristics, T_A = 25°C

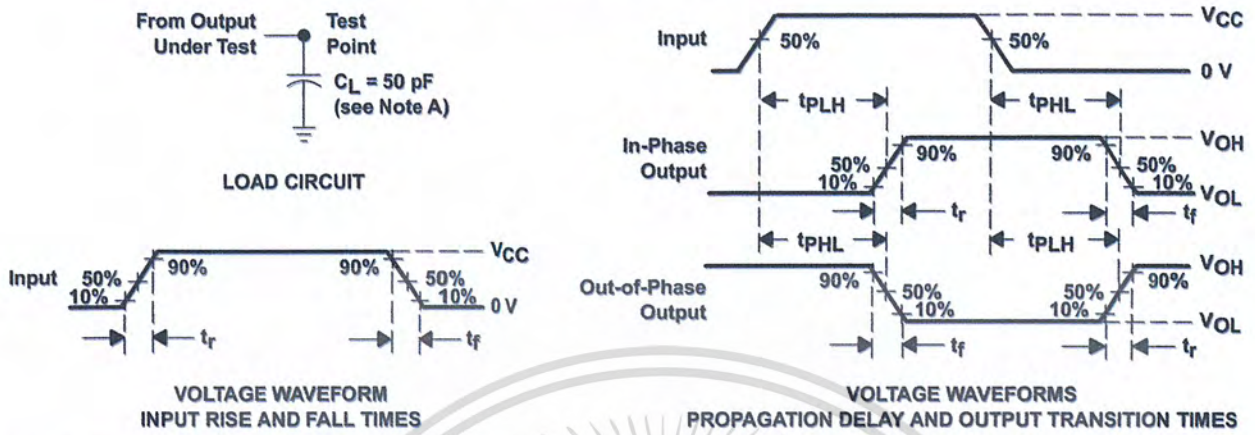
PARAMETER	TEST CONDITIONS	TYP	UNIT
C _{pd} Power dissipation capacitance per inverter	No load	20	pF



SN54HC04, SN74HC04 HEX INVERTERS

SCLS078B – DECEMBER 1982 – REVISED MAY 1997

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



- NOTES:
- A. C_L includes probe and test-fixture capacitance.
 - B. Phase relationships between waveforms were chosen arbitrarily. All input pulses are supplied by generators having the following characteristics: $PRR \leq 1$ MHz, $Z_O = 50 \Omega$, $t_r = 6$ ns, $t_f = 6$ ns.
 - C. The outputs are measured one at a time with one input transition per measurement.
 - D. t_{PLH} and t_{PHL} are the same as t_{pd} .

Figure 1. Load Circuit and Voltage Waveforms



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments and its subsidiaries (TI) reserve the right to make changes to their products or to discontinue any product or service without notice, and advise customers to obtain the latest version of relevant information to verify, before placing orders, that information being relied on is current and complete. All products are sold subject to the terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgement, including those pertaining to warranty, patent infringement, and limitation of liability.

TI warrants performance of its semiconductor products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are utilized to the extent TI deems necessary to support this warranty. Specific testing of all parameters of each device is not necessarily performed, except those mandated by government requirements.

CERTAIN APPLICATIONS USING SEMICONDUCTOR PRODUCTS MAY INVOLVE POTENTIAL RISKS OF DEATH, PERSONAL INJURY, OR SEVERE PROPERTY OR ENVIRONMENTAL DAMAGE ("CRITICAL APPLICATIONS"). TI SEMICONDUCTOR PRODUCTS ARE NOT DESIGNED, AUTHORIZED, OR WARRANTED TO BE SUITABLE FOR USE IN LIFE-SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS OR OTHER CRITICAL APPLICATIONS. INCLUSION OF TI PRODUCTS IN SUCH APPLICATIONS IS UNDERSTOOD TO BE FULLY AT THE CUSTOMER'S RISK.

In order to minimize risks associated with the customer's applications, adequate design and operating safeguards must be provided by the customer to minimize inherent or procedural hazards.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right of TI covering or relating to any combination, machine, or process in which such semiconductor products or services might be or are used. TI's publication of information regarding any third party's products or services does not constitute TI's approval, warranty or endorsement thereof.

Copyright © 1998, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



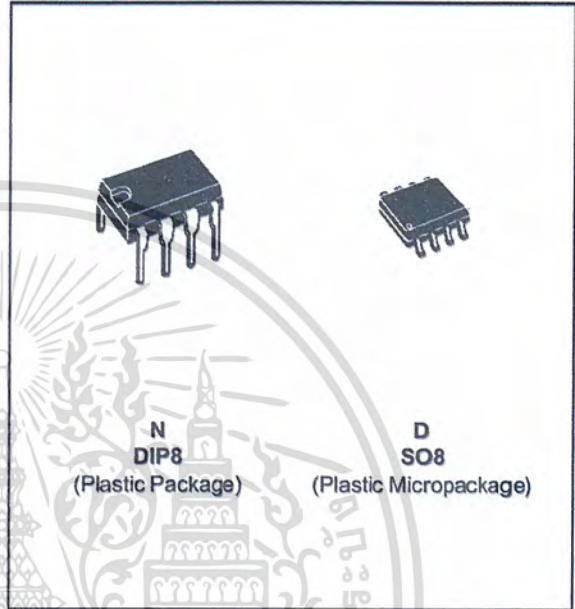
NE555 SA555 - SE555

GENERAL PURPOSE SINGLE BIPOLAR TIMERS

- LOW TURN OFF TIME
- MAXIMUM OPERATING FREQUENCY GREATER THAN 500kHz
- TIMING FROM MICROSECONDS TO HOURS
- OPERATES IN BOTH ASTABLE AND MONOSTABLE MODES
- HIGH OUTPUT CURRENT CAN SOURCE OR SINK 200mA
- ADJUSTABLE DUTY CYCLE
- TTL COMPATIBLE
- TEMPERATURE STABILITY OF 0.005% PER°C

DESCRIPTION

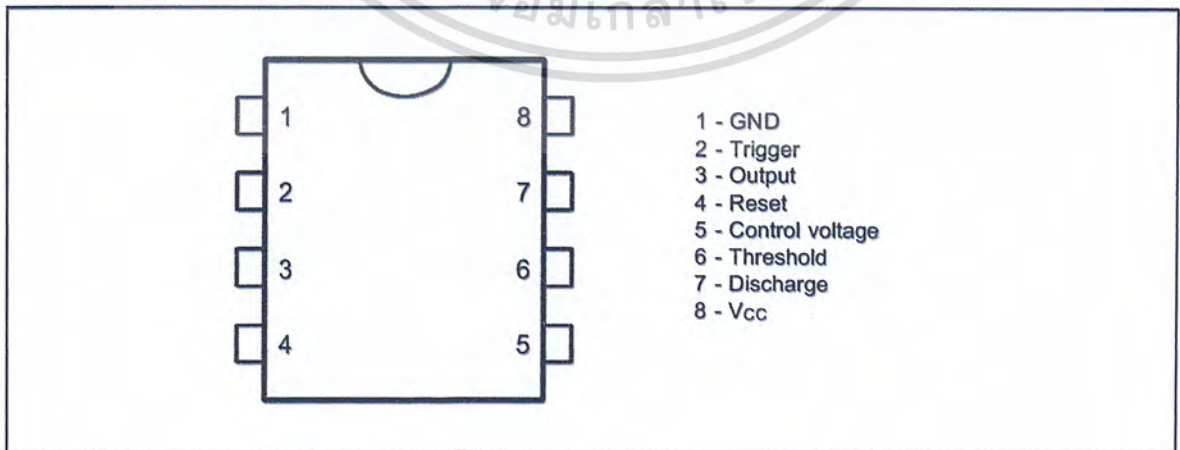
The NE555 monolithic timing circuit is a highly stable controller capable of producing accurate time delays or oscillation. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For a stable operation as an oscillator, the free running frequency and the duty cycle are both accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output structure can source or sink up to 200mA. The NE555 is available in plastic and ceramic minidip package and in a 8-lead micropackage and in metal can package version.



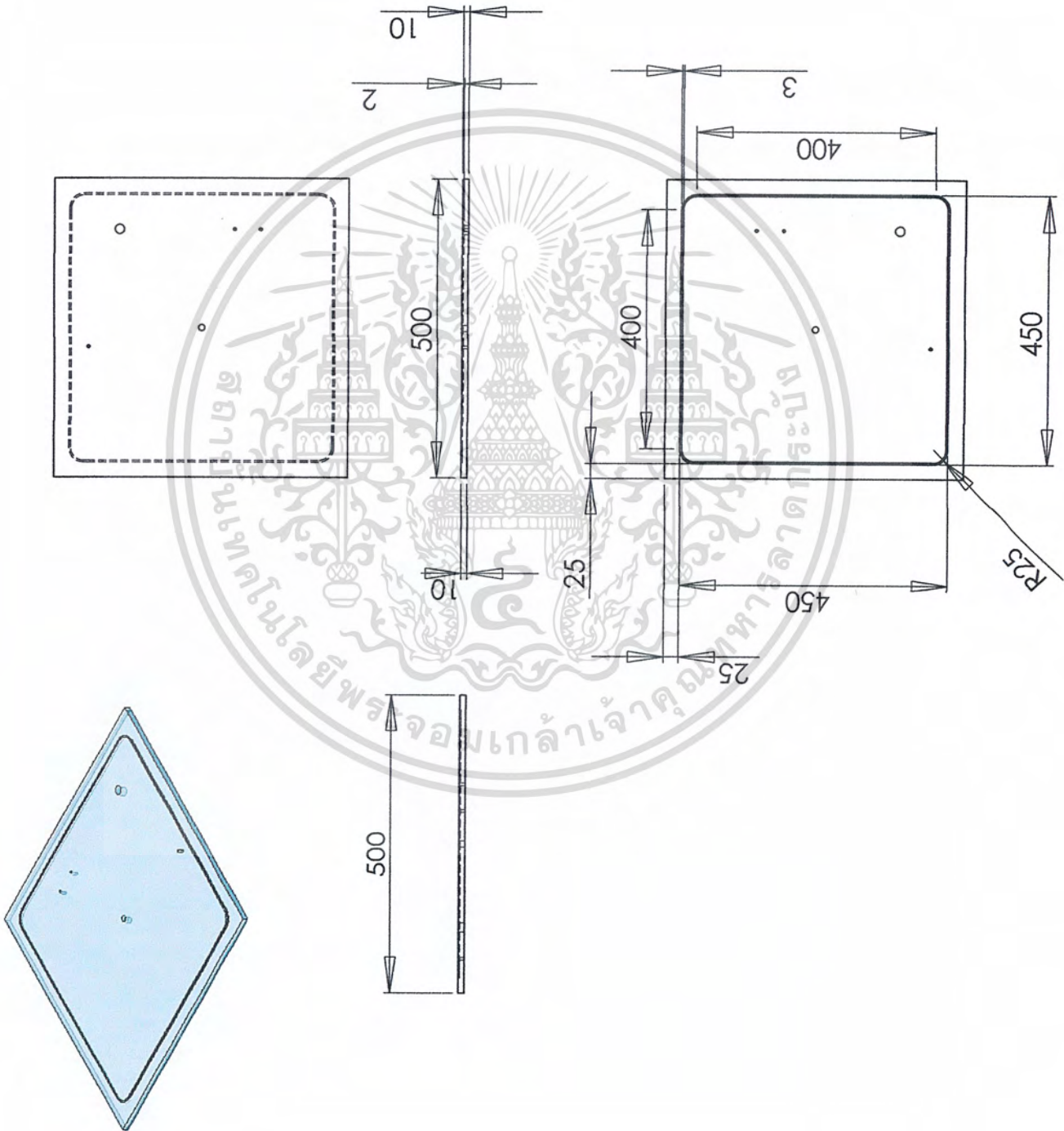
ORDER CODES

Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
NE555	0°C, 70°C	•	•
SA555	-40°C, 105°C	•	•
SE555	-55°C, 125°C	•	•

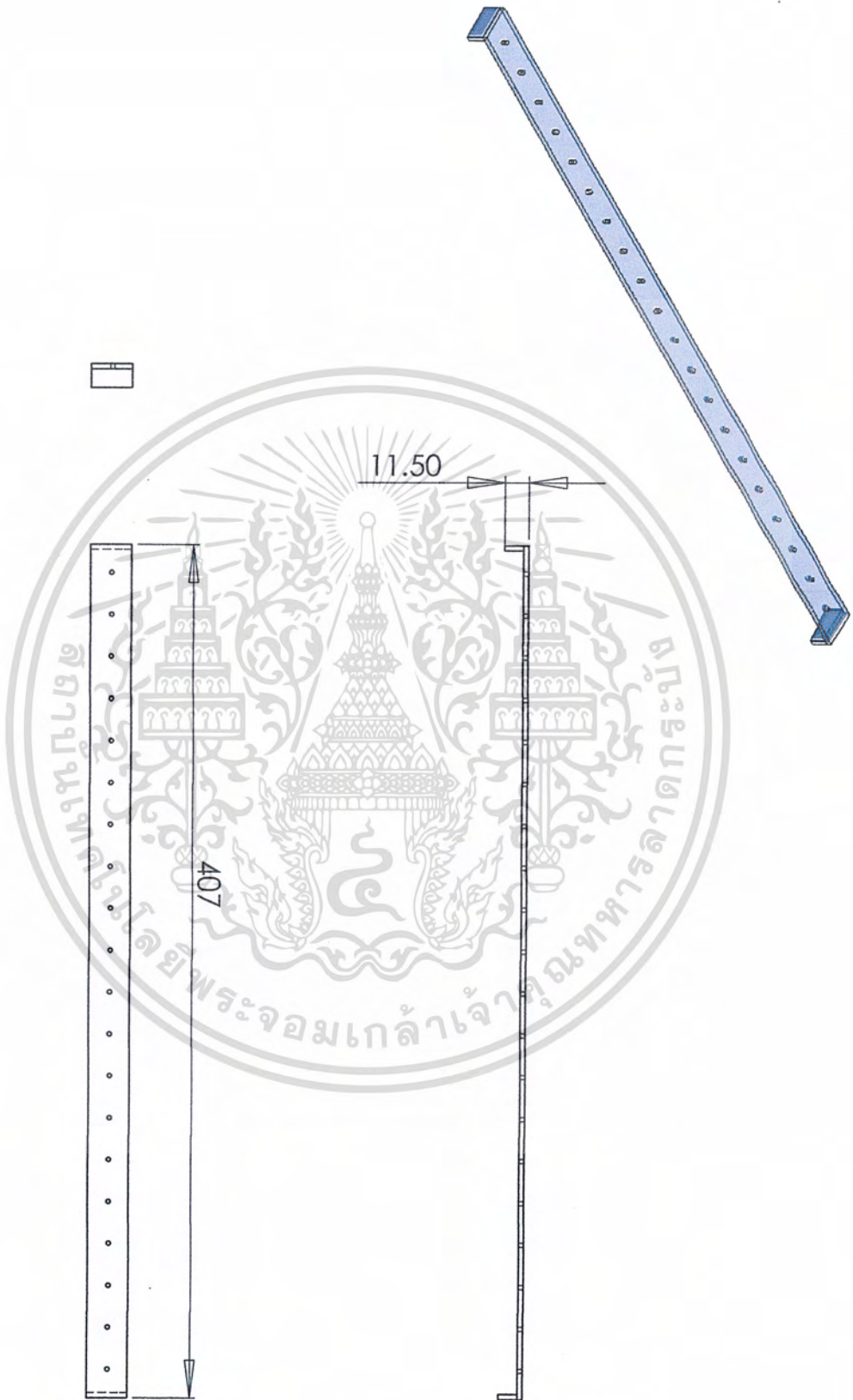
PIN CONNECTIONS (top view)



Acrylic x1

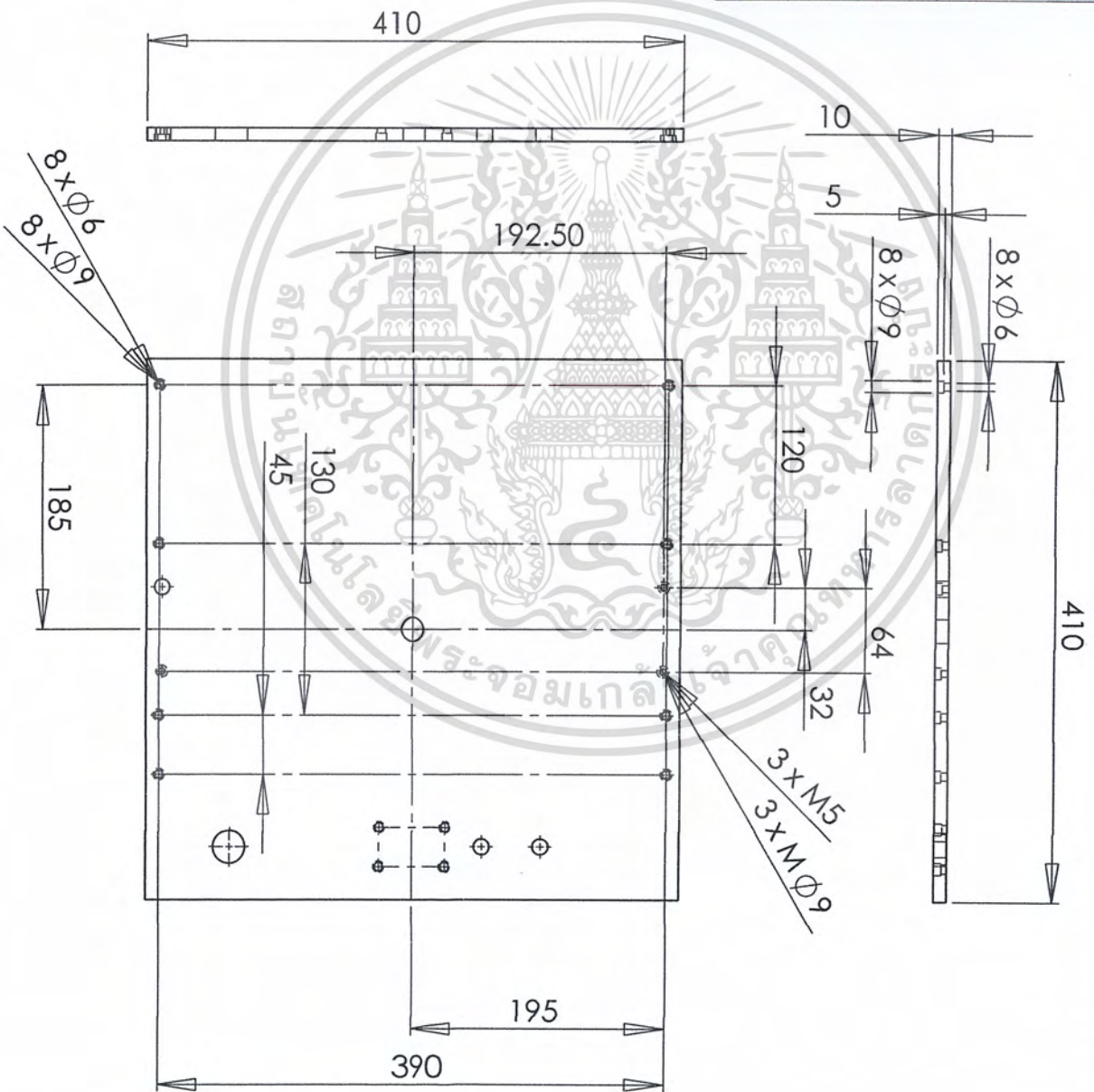
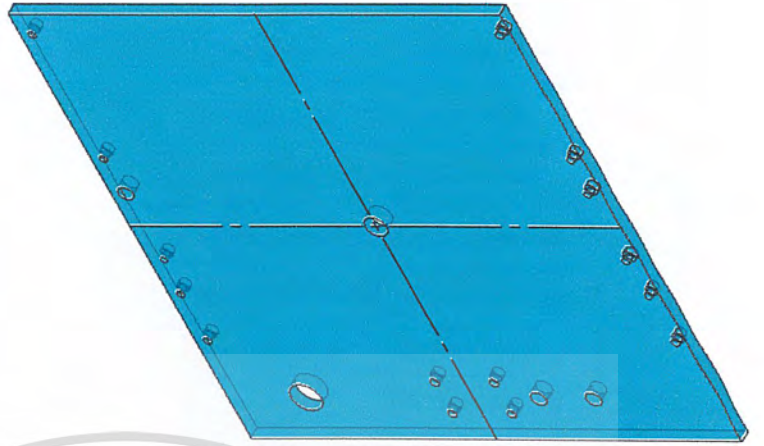


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



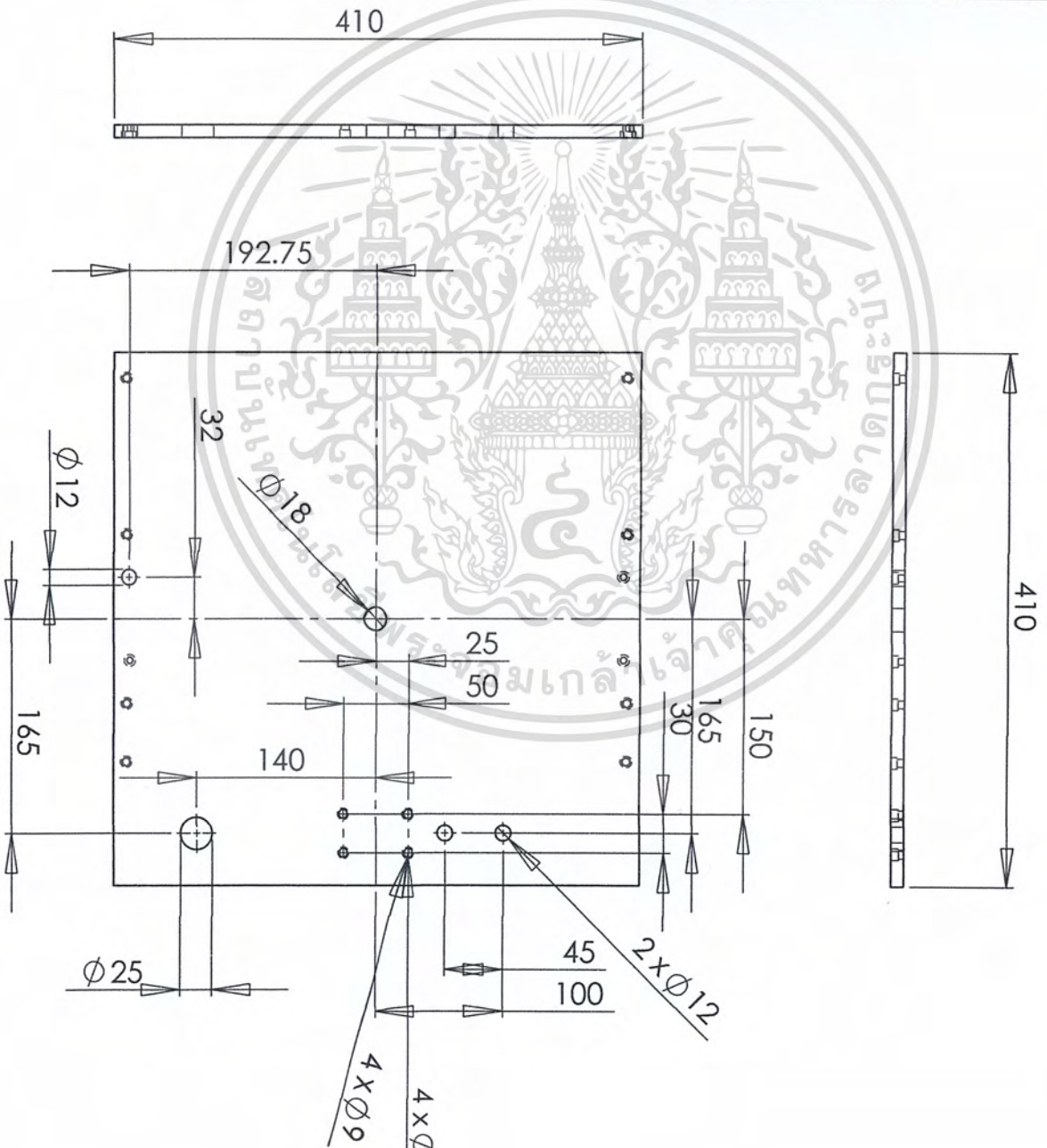
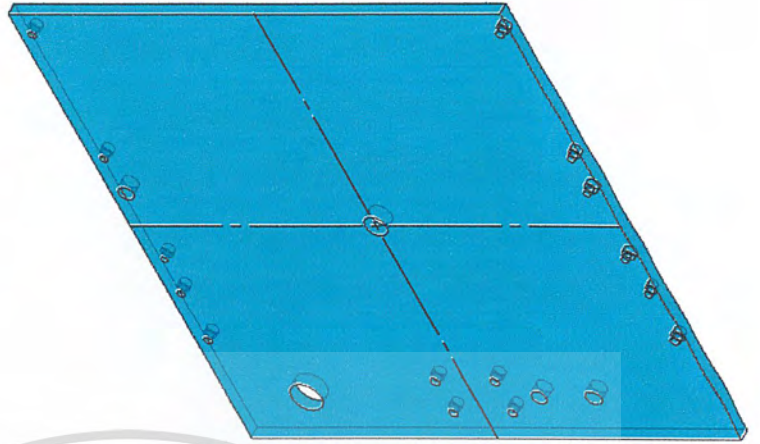
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Acrylic Plate 1/2



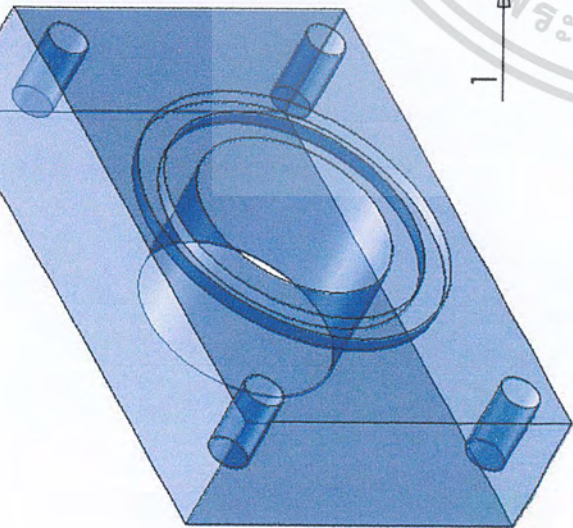
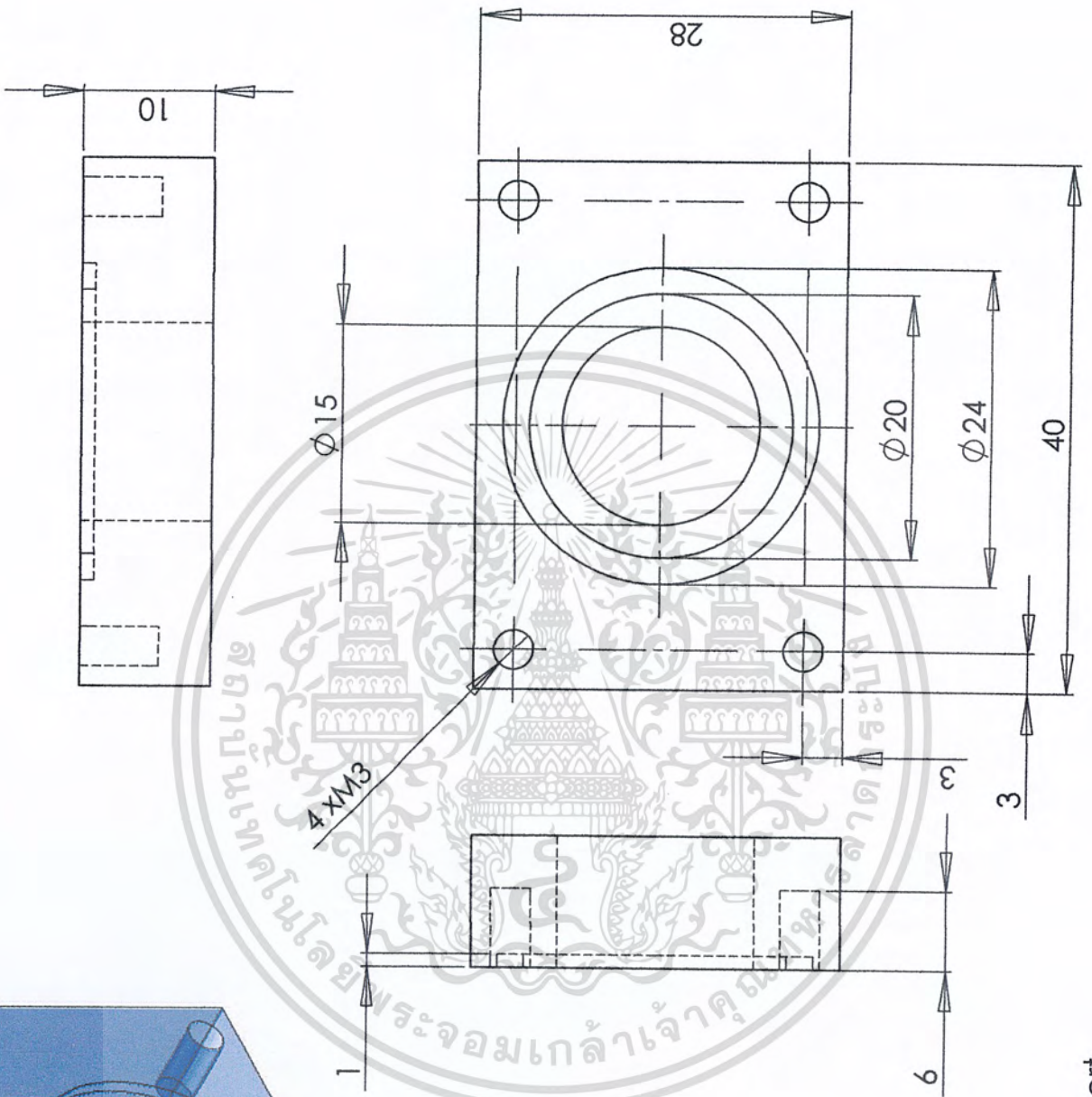
Acrylic x 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



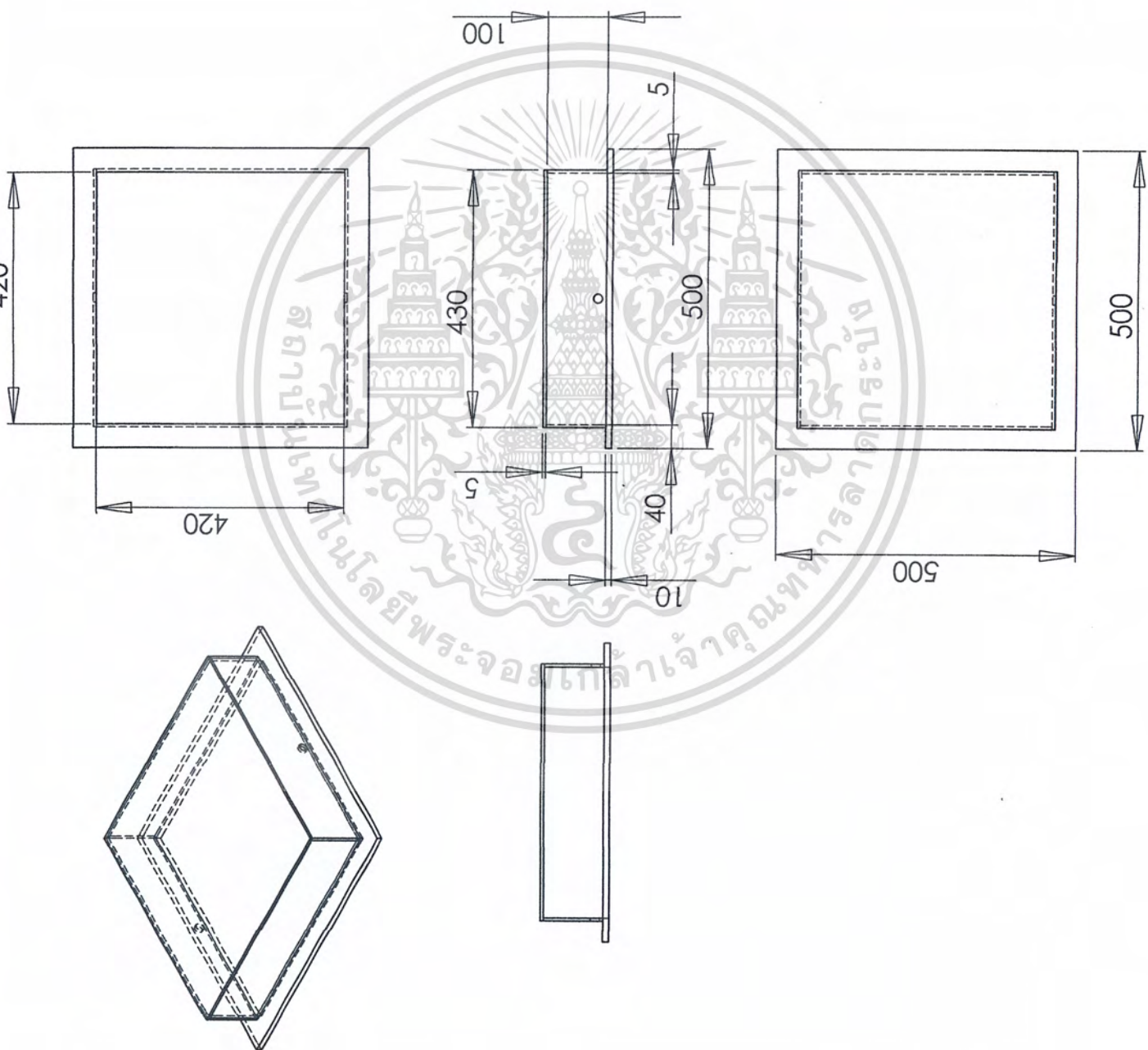
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Acrylic x 2

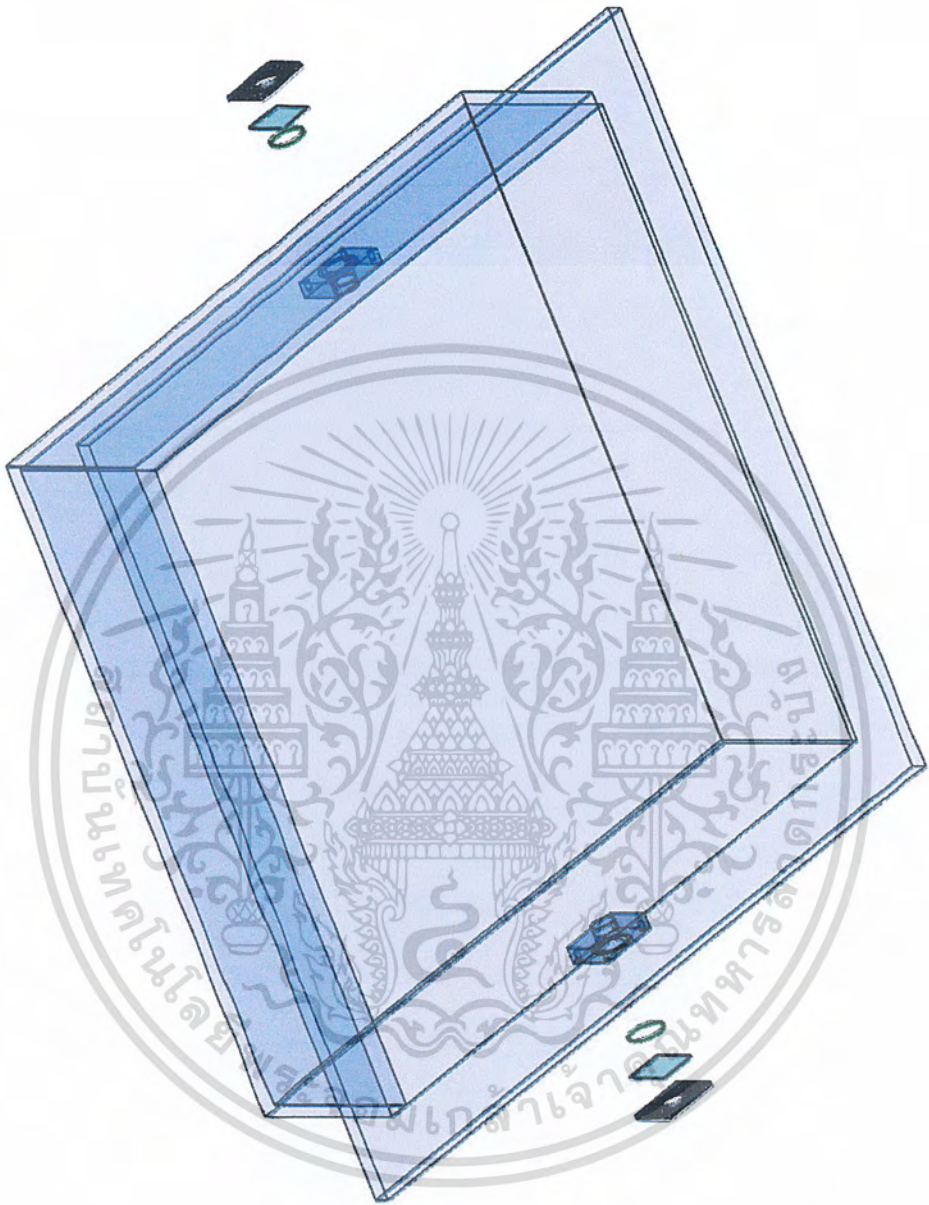


Window Acrylic Support

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

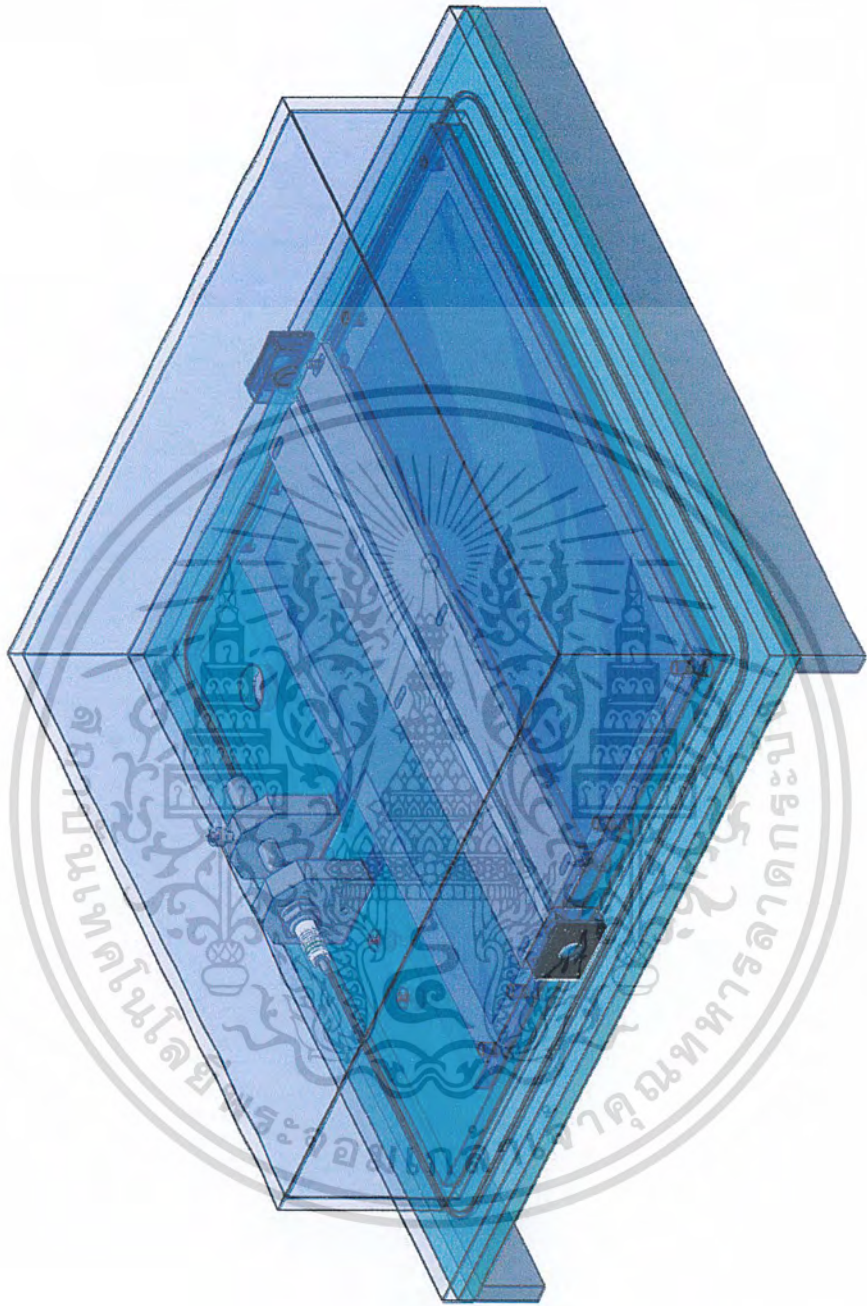


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ประวัติผู้เขียน

นายวุฒิพงษ์ พิพัฒน์พัลลภ เกิดเมื่อวันที่ 12 เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2531 ที่จังหวัดปทุมธานี จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนปทุมวิไล ปีการศึกษา 2549 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2550

นางสาวสุพัตรา หมั่นสมบูรณ์พงษ์ เกิดเมื่อวันที่ 7 เดือนกันยายน พ.ศ.2531 ที่จังหวัดราชบุรี จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนราชโบริกานุเคราะห์ ปีการศึกษา 2549 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2550



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้