การพัฒนาไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ สำหรับปั๊มระบบดายเลเซอร์

DEVELOPMENT OF TEA-N_2 LASER AS A PUMPING SYSTEM FOR DYE LASER

รัตน์สุดา ทองแสง

RUTSUDA THONGSAENG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2544

ISBN 974-648-175-4

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศสำหรับปั๊มระบบดายเลเซอร์

DEVELOPMENT OF TEA- N_2 LASER AS A PUMPING SYSTEM FOR DYE LASER

T039764

รัตน์สุดา ทองแดง

RUTSUDA THONGDAENG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2544

ISBN 974-648-175-4

เลขหมู่..........

เลขทะเบียน 39764

วัน, เดือน, ปี 12 1 ส.ค. 2544

.b..........

i..........

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์...ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF TEA- N_2 LASER AS A PUMPING SYSTEM FOR DYE LASER

RUTSUDA THONGDAENG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2001

ISBN 974-648-175-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2001

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาไนโตรเจนเลเซอร์ แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศสำหรับปั๊มระบบดายเลเซอร์
DEVELOPMENT OF TEA-N_2 LASER AS A PUMPING SYSTEM FOR DYE LASER

ชื่อนักศึกษา นางสาวรัตน์สุดา ทองแดง

รหัสประจำตัว 40065009

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.วราวุฒิ เถาลัดดา

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		**ลายมือชื่อ**
ผศ.ดร.ปรีชา	เทียนสมประสงค์	
ผศ.ดร.วราวุฒิ	เถาลัดดา	
ดร.รัชภาคย์	จิตต์อารี	
ผศ.วิชาญ	เตชิตธีระ	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ 27 เมษายน 2544 เวลา 14.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ อาคารจุฬาภรณวลัยลักษณ์ ชั้น 3 ห้อง 307

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัตชู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....21.....**เดือน**.....พฤษภาคม.....**พ.ศ.**.....2544.....

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศสำหรับปั๊มระบบดายเลเซอร์
นักศึกษา	นางสาวรัตน์สุดา ทองแดง
รหัสประจำตัว	40065009
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
พ.ศ.	2544
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราวุฒิ เถาลัดดา

บทคัดย่อ

ไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ปั๊มระบบดายเลเซอร์มีโครงสร้างประกอบด้วยวงจรบลัมไลน์และแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง วงจรบลัมไลน์สร้างจากอลูมิเนียมฟอยล์และแผ่นไมล์ทำหน้าที่เป็นเพลทและไดอิเล็กตริกของตัวเก็บประจุแบบเพลทขนาน มีขั้วไฟฟ้าของช่องเลเซอร์และสปาร์กแกปทำจากโลหะสแตนเลส แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงปรับค่าได้ในช่วงระหว่าง 0 - 15 กิโลโวลต์ ไนโตรเจนเลเซอร์ที่สร้างขึ้นนี้จะมีวงจรควบคุมจังหวะการเกิดพัลส์ของแสงเลเซอร์ด้วยความถี่ 0.5-10 เฮิร์ต ไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางทำงานที่ความดันบรรยากาศที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้ดีเมื่อมีอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 0.5 ลิตร/นาที แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง 14 กิโลโวลต์ ให้แสงเลเซอร์มีความยาวคลื่นที่วัดได้ 337 ± 0.22 นาโนเมตร มีความกว้างของพัลส์ 3.40 ± 0.19 นาโนวินาที มีการลู่ออกของลำแสง 4.7×9.0 มิลลิเรเดียน ลำแสงจากไนโตรเจนเลเซอร์นำไปกระตุ้นสารละลายดายที่ประกอบด้วยโรดามิน 6 จี ทำละลายในเอทานอล 99% โดยความเข้มข้นของสารละลายดายที่เหมาะสมกับระบบที่พัฒนาขึ้นมีค่าประมาณ 1×10^{-2} โมล/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Development of TEA-N_2 Laser as a Pumping System for Dye Laser
Student	Miss.Rutsuda Thongdaeng
Student ID.	40065009
Degree	Master of Science
Programme	Applied Physics
Year	2001
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr.Warawoot Thowladda

ABSTRACT

Transversely Excited at Atmospheric Pressure-N_2 Laser (TEA-N_2 Laser) as a pumping System for Dye Laser is comprised of Blumline circuit and direct current high voltage power supply. The Blumline circuit consists of parallel-plate capacitors, electrodes of laser channel and spark gap. The parallel-plate capacitors made of aluminum foils and mylar sheet as plates and dielectric of the capacitor respectively. The electrodes of laser channel and spark gap made of stainless steel. The direct current high voltage power supply can be adjusted between 0 - 15 kV. The laser pulse repetition rate is controlled by a trigger circuit which the frequency can be adjusted between 0.5 - 10 Hz. TEA-N_2 Laser that developed in this thesis can be operated at Nitrogen flow of 0.5 l/min and direct current high voltage of 14 kV. The measured wavelength of nitrogen laser light is 337 ± 0.22 nm. The pulse width is 3.40 ± 0.19 nsec. The beam divergence is 4.7×9.0 mrad. The TEA-N_2 Laser in this condition has successfully pumped a Dye Laser System that consisted of Rhodamin 6 G dissolved in 99% ethanol and filled in dye cell. The suitable concentration of dye solution for this system is about 1×10^{-2} mol/l.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความเมตตากรุณาเป็นอย่างยิ่ง จาก ผศ.ดร.วราวุฒิ เถาลัดดา อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการดำเนินงานวิจัยเป็นอย่างดี รวมทั้งอนุเคราะห์จัดหาอุปกรณ์และงบประมาณในการดำเนินงานวิจัย ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านเป็นที่สุดและขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่ให้ความอนุเคราะห์มอบทุนการศึกษาและเงินอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ขวัญ อารยธนิตกุล อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่อนุเคราะห์ให้ข้าพเจ้ายืมระบบดายเลเซอร์มาใช้ในการทดสอบการทำงานของไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่จัดสร้างขึ้น เพื่อใช้ในการปั๊มระบบดายเลเซอร์

ขอขอบพระคุณ ดร.รัชภาคย์ จิตต์อารี อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้คำแนะนำและชี้แนะแนวทางในการนำเกรตติงเลี้ยวเบนมาใช้ในการวัดความยาวคลื่นของลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์วิษณุ เพชรภา อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อนุเคราะห์ให้ยืมกล้องวีดีโอ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ คุณอัศวิน เรณูสวัสดิ์ ที่อนุเคราะห์จัดหาอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้รวมทั้งคำแนะนำที่เป็นประโยชน์เป็นอย่างยิ่ง

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา พี่น้อง เพื่อน ๆ รวมทั้งบุคคลที่มีความปรารถนาดีมอบให้ข้าพเจ้าทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจและแนะนำแนวทางที่ดีในชีวิตแก่ข้าพเจ้าตลอดมา

รัตน์สุดา ทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II
กิตติกรรมประกาศ.....III
สารบัญ.....IV
สารบัญตาราง.....VII
สารบัญรูป.....VIII
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความสำคัญและที่มา.....1
1.2 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย.....2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....3
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....3
1.5.1 แผนการดำเนินการ.....3
1.5.2 ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการ.....4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....4

บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....5
2.1 งานวิจัยและทฤษฎีของเลเซอร์ทั่วไป.....5
2.2.1 การเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น.....6
2.1.1.1 การดูดกลืนแสง.....6
2.1.1.2 การเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง.....7
2.1.1.3 การเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น.....8
2.1.2 การเกิดประชากรผกผัน.....9
2.1.3 ตัวสั่นพ้องเชิงทัศน์.....11
2.2 งานวิจัยและหลักการของไนโตรเจนเลเซอร์.....15
2.3 งานวิจัยและหลักการของดายเลเซอร์.....18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การออกแบบและสร้างไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศสำหรับปั๊มระบบดายเลเซอร์....................22
3.1 การออกแบบและสร้างชุดไนโตรเจนเลเซอร์สำหรับปั๊มดายเลเซอร์....................22
3.1.1 การออกแบบและสร้างชุดไนโตรเจนเลเซอร์....................22
3.1.2 ส่วนประกอบของไนโตรเจนเลเซอร์....................24
3.1.2.1 ขั้วไฟฟ้าและช่องเลเซอร์....................24
3.1.2.2 ระบบจ่ายไฟแรงดันสูง....................24
3.1.2.3 ตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน....................25
3.1.2.4 ชุดควบคุมการเกิดไนโตรเจนเลเซอร์....................29
3.1.2.5 ระบบจ่ายแก๊สไนโตรเจน....................32
3.1.3 ขั้นตอนการประกอบระบบไนโตรเจนเลเซอร์....................32
3.2 การจัดวางไนโตรเจนเลเซอร์สำหรับปั๊มระบบดายเลเซอร์....................34
3.2.1 การคำนวณหาตำแหน่งที่วางดายเซลล์....................35
3.2.2 เกรตติงเลี้ยวเบน....................36
3.2.3 การเตรียมความเข้มข้นสารละลายดาย....................39

บทที่ 4 การทดลอง ผลการทดลอง และอภิปรายผล....................42
4.1 การทดสอบการทำงานของไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ และศึกษาสมบัติของแสงเลเซอร์....................42
4.1.1 ทดสอบการทำงานของไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ....................42
4.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงที่ป้อนให้กับชุดไนโตรเจนเลเซอร์กับค่าความเข้มแสงที่อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนค่าต่าง ๆ 47
4.1.3 การวัดค่าความกว้างของพัลส์ของไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ....................49
4.1.4 ความยาวคลื่นของไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศโดยใช้เกรตติง....................51
4.1.5 การลู่ออกของแสงจากไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวาง....................57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.2 การทดสอบการทำงานของไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ เมื่อนำไปปั๊มระบบดายเลเซอร์และศึกษาสมบัติของดายเลเซอร์...........61

4.2.1 ทดสอบการทำงานของไนโตรเจนเลเซอร์เมื่อนำไปปั๊มระบบดายเลเซอร์..61

4.2.2 หาความเข้มข้นของสารละลายโรดามิน 6 จี ที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดแสงจากระบบดายเลเซอร์...66

4.2.3 การลู่ออกของลำแสงจากระบบดายเลเซอร์เมื่อกระตุ้นด้วยลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์..72

บทที่ 5 สรุปและข้อแสนอแนะ..76

5.1 สรุปผลการวิจัย...76

5.2 ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ..78

เอกสารอ้างอิง..80

ภาคผนวก...81

ประวัติผู้เขียน..101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 ค่าความกว้างของพัลส์ที่อ่านได้จากออสซิโลสโคป..50

4.2 การวัดความยาวคลื่นโดยใช้เกรตติงเลี้ยวเบน เมื่อวางเกรตติงให้ระนาบของเกรตติงตั้งฉากกับลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์ 55

4.3 การวัดความยาวคลื่นโดยใช้เกรตติงเลี้ยวเบน เมื่อวางเกรตติงให้แสงตกกระทบทำมุมค่าต่าง ๆ กับเส้นปกติของเกรตติง..56

4.4 ค่าเฉลี่ยขนาดของลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์ที่ระยะห่างของฉากค่าต่าง ๆ 58

4.5 ค่าเฉลี่ยขนาดของลำแสงจากระบบดายเลเซอร์ที่ระยะห่างของฉากค่าต่าง ๆ......................73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 กระบวนการดูดกลืนแสง..7
2.2 กระบวนการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง..8
2.3 กระบวนการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น..9
2.4 การกระจายแบบโบลท์ซมานที่สภาวะสมดุลเชิงความร้อน..10
2.5 การเกิดประชากรผกผัน..10
2.6 ตัวสั่นพ้องเชิงทัศน์ที่ประกอบด้วยกระจก 2 บาน..13
2.7 การจัดวางตัวสั่นพ้องเชิงทัศน์แบบต่าง ๆ..14
2.8 ระดับพลังงานในโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจน..16
2.9 ระดับพลังงาน 3 ระดับของโมเลกุลไนโตรเจน..17
2.10 ตัวกลางชนิดต่าง ๆ ของดายเลเซอร์..19
2.11 ระดับพลังงานของโมเลกุลดาย และการเกิดแสงดายเลเซอร์..20
3.1 วงจรบลัมไลน์..23
3.2 วงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง..24
3.3 ตัวเก็บประจุแผ่นขนาน..26
3.4 วงจรพัลส์ฟอร์มมิง..26
3.5 ภาพตัดขวางของขั้วไฟฟ้า..29
3.6 วงจรควบคุมจังหวะการเกิดไนโตรเจนเลเซอร์..30
3.7 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์
3.7ก วงจรมัลติไวเบรเตอร์ที่สร้างจากไอซี LM 555..31
3.7ข ลักษณะสัญญาณขาออก..31
3.8 รูปร่างและขนาดของกล่องนำแก๊สไนโตรเจน..32
3.9 ภาพถ่ายระบบไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่จัดสร้างขึ้น..33
3.10 การจัดวางไนโตรเจนเลเซอร์สำหรับระบบดายเลเซอร์..34
3.11 การลู่ออกของลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์..36
3.12 การกระจายแสงของเกรตติง..37
3.13 โครงสร้างของสารโรดามีน 6 จี..39
4.1 การเกิดการสปาร์กที่เขี้ยวหัวเทียน เมื่อเปิดสวิตซ์ที่ชุดจุดระเบิดหัวเทียน..43
4.2 ลักษณะการเกิดการสปาร์กที่ขั้วไฟฟ้า..44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.3ก แสงที่เกิดจากการสปาร์กที่ขั้วไฟฟ้าเมื่อยังไม่ได้ปล่อยแก๊สไนโตรเจนเข้าระบบ..........44

4.3ข แสงที่เกิดจากการสปาร์กที่ขั้วไฟฟ้าเมื่อปล่อยแก๊สไนโตรเจนเข้าระบบ..........44

4.4 ลักษณะของจุดแสดงไนโตรเจนเลเซอร์ที่บันทึกภาพที่ระยะห่างของฉาก 20 เซนติเมตร......45

4.5 การกระจายความเข้มแสงภายในจุดแสงไนโตรเจนเลเซอร์..........46

4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนเข้าไปในระบบกับความเข้มแสง เมื่อว่างตัววัดแสงห่าง 3 เมตร..........48

4.7 ลักษณะของสัญญาณแสงไนโตรเจนเลเซอร์ที่วัดได้เมื่อต่อเข้ากับออสซิโลสโคป..........50

4.8 การวางเกรตติงในลักษณะต่าง ๆ..........52

4.9 ลักษณะของลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์ที่บันทึกภาพเมื่อวางฉากที่ตำแหน่งต่าง ๆ..........59

4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของฉากกับขนาดของลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์........60

4.11 การจัดวางระบบดายเลเซอร์..........62

4.12 ลักษณะของลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์..........64

4.13 การจัดระบบดายเลเซอร์และลำแสงที่ออกมาจากระบบดายเลเซอร์ เมื่อวางเกรตติงไว้ด้านหลัง และวางกระจกราบที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อน 80% ไว้ด้านหน้า..........65

4.14 การจัดวางระบบดายเลเซอร์และลำแสงที่ออกมาจากระบบดายเลเซอร์ เมื่อวางกระจกราบที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อน 100 % ไว้ด้านหลัง และวางกระจกราบที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อน 80 % ไว้ด้านหน้า..........65

4.15 ดายเซลล์ที่บรรจุสารละลายโรดามิน 6 จี ความเข้มข้น 7×10^{-2} โมล/ลิตร..........68

4.16 ดายเซลล์ที่บรรจุสารละลายโรดามิน 6 จี ความเข้มข้น 2×10^{-2} โมล/ลิตร..........68

4.17 ดายเซลล์ที่บรรจุสารละลายโรดามิน 6 จี ความเข้มข้น 1×10^{-2} โมล/ลิตร..........69

4.18 ดายเซลล์ที่บรรจุสารละลายโรดามิน 6 จี ความเข้มข้น 9×10^{-3} โมล/ลิตร..........69

4.19 ดายเซลล์ที่บรรจุสารละลายโรดามิน 6 จี ความเข้มข้น 8×10^{-3} โมล/ลิตร..........70

4.20 ดายเซลล์ที่บรรจุสารละลายโรดามิน 6 จี ความเข้มข้น 6×10^{-3} โมล/ลิตร..........70

4.21 ดายเซลล์ที่บรรจุสารละลายโรดามิน 6 จี ความเข้มข้น 3×10^{-2} โมล/ลิตร..........71

4.22 ลักษณะของลำแสงจากระบบดายเลเซอร์ เมื่อวางฉากที่ตำแหน่งต่าง ๆ..........74

4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของฉากกับขนาดของลำแสงจากระบบดายเลเซอร์ เมื่อสารละลายโรดามิน 6 จี ที่บรรจุลงในดายเซลล์มีความเข้มข้น 1×10^{-2} โมล/ลิตร..........75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาของการดำเนินงานวิจัย วัตถุประสงค์ของงานวิจัย วิธีการและขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย ตลอดจนประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย ซึ่งจะเรียงตามลำดับหัวข้อดังต่อไปนี้

1.1 ความสำคัญและที่มา

เลเซอร์ (LASER) เป็นคำที่ย่อมาจากคำว่า Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation มีความหมายว่า การแผ่รังสีที่เกิดจากการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นและมีการขยายสัญญาณคลื่นแสงนั้นด้วย[1] เลเซอร์จะมีลักษณะที่แตกต่างจากแสงโดยทั่ว ๆ ไป คือ มีคุณสมบัติที่เป็นแสงเอกรงค์ (Monochromaticity) หมายถึงมีเพียงความถี่เดียวหรือให้แสงที่มีค่าความยาวคลื่นเพียงค่าเดียวเท่านั้น เลเซอร์เป็นแสงที่มีคุณสมบัติพิเศษที่มีการลู่ออก (Divergence) น้อย เมื่อเทียบกับแสงอื่นทั่วไปทำให้มีทิศทางในการเคลื่อนที่ที่แน่นอน และยังมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มของลำแสงตามระยะทางน้อย จึงมีการนำเลเซอร์ไปใช้งานในด้านต่าง ๆ อย่างมากมาย ทั้งทางการแพทย์ การทหาร หรือในด้านอุตสาหกรรม

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันได้มีการพัฒนาและสร้างเลเซอร์ชนิดต่าง ๆ ขึ้นมาอย่างไม่หยุดยั้ง เลเซอร์เครื่องแรกของโลก คือ เลเซอร์ทับทิม (Ruby Laser) สร้างขึ้นในปี ค.ศ. 1960 โดย ไมมาน (T.H.Maiman) แห่งห้องปฏิบัติการวิจัยของบริษัทฮิวส์ ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นเลเซอร์ที่มีตัวกลางเป็นผลึกทับทิม ให้แสงสีชมพูมีความยาวคลื่น 694.3 นาโนเมตร[2] ต่อมาได้มีการประดิษฐ์คิดค้นและสามารถสร้างเลเซอร์ชนิดต่าง ๆ ออกมาอีกมากมายโดยจะเรียกชื่อเลเซอร์ตามตัวกลางของเลเซอร์นั้น จึงจัดแบ่งเลเซอร์ตามสถานะของตัวกลางเลเซอร์ (Laser Medium) ได้เป็น 3 สถานะ คือ เลเซอร์ของแข็ง (Solid State Laser) ซึ่งตัวกลางเลเซอร์อยู่ในรูปของแข็งหรือผลึก เช่น เลเซอร์ทับทิม เลเซอร์สารกึ่งตัวนำเป็นต้น เลเซอร์ของเหลว (Liquid Laser) ตัวกลางเลเซอร์จะมีสถานะเป็นของเหลวหรืออยู่ในรูปสารละลายได้แก่ ดายเลเซอร์ ซึ่งตัวกลางเลเซอร์จะเป็นสีย้อมผ้า (Dye) ที่ทำละลายในแอลกอฮอล์ หรือ อาร์ซีโตนเป็นต้น โดยทั่วไปจึงมักเรียกเลเซอร์ของเหลวว่า ดายเลเซอร์ และสุดท้ายคือแก๊สเลเซอร์ (Gas Laser) ซึ่งตัวกลางเลเซอร์อยู่ในรูปของแก๊สหรือแก๊สผสม เช่น ฮีเลียมนีออนเลเซอร์ซึ่งเป็นแก๊สเลเซอร์เครื่องแรก คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ อาร์กอนเลเซอร์ ไนโตรเจนเลเซอร์ซึ่งเป็นเลเซอร์ชนิดที่ตัวกลางเลเซอร์เป็นแก๊สที่พบมากที่สุดในอากาศจึงสามารถทำงานได้ที่ความดันบรรยากาศ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี พ.ศ. 2517 ศ.ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว[1] อาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้เริ่มมีแนวคิดที่จะสร้างเลเซอร์ขึ้นในประเทศไทย แต่ประสบปัญหาเรื่องงบประมาณจึงทำให้การสร้างเลเซอร์ล่าช้ามาก แต่ก็สามารถสร้างคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ตัวแรกได้สำเร็จและทดลองใช้งานในปี พ.ศ. 2523 นับเป็นจุดเริ่มต้นของวงการเลเซอร์ในประเทศไทย ซึ่งต่อมามีผู้สนใจในการสร้างและพัฒนาเลเซอร์ชนิดต่าง ๆ มากขึ้น ไนโตรเจนเลเซอร์ก็เป็นแก๊สเลเซอร์อีกชนิดหนึ่ง ที่สร้างได้โดยใช้วัสดุอุปกรณ์ภายในประเทศ ทำให้ลดต้นทุนในการผลิตลงและไม่ยุ่งยากมากนักในการสร้าง อีกทั้งตัวกลางเลเซอร์ซึ่งเป็นแก๊สไนโตรเจนยังเป็นแก๊สที่พบมากในอากาศ จึงเป็นเลเซอร์ที่ทำงานได้ที่ความดันบรรยากาศ โดยไม่ต้องจัดสร้างระบบสุญญากาศขึ้น ทั้งยังให้แสงในย่านอัลตร้าไวโอเลต (337.1 นาโนเมตร) ซึ่งเป็นย่านที่มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการปั๊มระบบดายเลเซอร์ เพื่อให้เกิดแสงเลเซอร์ในช่วงที่ตามองเห็นได้ และยังเป็นเลเซอร์ชนิดที่สามารถปรับความยาวคลื่นได้อีกด้วย จึงเหมาะที่จะนำไปใช้งานด้านต่าง ๆ ที่ต้องการแสงที่อยู่ในช่วงที่ตามองเห็น และสามารถปรับความยาวคลื่นได้ เช่น ใช้ในวงการแพทย์ หรือในงานด้านสเปกโตรสโคปีเป็นต้น

1.2 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย

จากการศึกษาพบว่าไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศให้แสงในย่านอัลตร้าไวโอเลตความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร ซึ่งเป็นย่านที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นตัวเพิ่มพลังงานให้กับระบบดายเลเซอร์เป็นอย่างยิ่ง เนื่องมาจากดายเลเซอร์เป็นเลเซอร์ชนิดของเหลวที่มีตัวกลางเลเซอร์เป็นสารละลายสีย้อมผ้านั้น เป็นเลเซอร์ชนิดที่ต้องใช้แสงเป็นตัวเพิ่มพลังงาน (Optical Pumping) ให้กับระบบ ซึ่งทำได้ 2 วิธีคือ ใช้แสงจากหลอดไฟแฟลช หรือใช้แสงจากเลเซอร์ชนิดอื่นเป็นตัวเพิ่มพลังงาน โดยแสงที่จะนำมาใช้เป็นตัวเพิ่มพลังงานให้ระบบดายเลเซอร์นั้น จะต้องเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นที่เหมาะสมกับช่วงการดูดกลืนและปลดปล่อยแสงของสารดายที่นำมาใช้เป็นตัวกลางของดายเลเซอร์ ในงานวิจัยนี้พิจารณาเฉพาะสารดายชนิด โรดามีน 6 จี (Rhodamine 6 G) ทำละลายในเอทิลแอลกอฮอล์เป็นตัวกลางเลเซอร์ ซึ่งมีการปลดปล่อยแสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 570-610 นาโนเมตร[3] ผู้วิจัยจึงได้สร้างไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศขึ้น เพื่อใช้สำหรับปั๊มระบบดายเลเซอร์ เพื่อให้ได้แสงในช่วงที่ตามองเห็นได้ เพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับผู้ที่สนใจจะได้นำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้งานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.3.1 สามารถออกแบบและสร้างไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศได้

1.3.2 สามารถออกแบบและสร้างวงจรควบคุมจังหวะการเกิดไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศจากชุดจุดระเบิดหัวเทียน

1.3.3 ศึกษาสมบัติของไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศที่ควบคุมจังหวะการเกิดแสงเลเซอร์จากชุดจุดระเบิดหัวเทียน

1.3.4 สามารถนำแสงจากไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศไปใช้กระตุ้นระบบดายเลเซอร์ได้

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการสร้างชุดจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงสามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 0-15 กิโลโวลต์ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับชุดไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศที่ออกแบบและสร้างขึ้น โดยควบคุมจังหวะการเกิดแสงเลเซอร์ในช่วง 0.5-10 Hz ด้วยชุดจุดระเบิดหัวเทียน สามารถปรับระยะห่างระหว่างสปาร์กแกปตั้งแต่ 0-8 มิลลิเมตร ควบคุมอัตราการไหลของแก๊สได้ตั้งแต่ 0.25-15 ลิตร/นาที เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 12-14.5 กิโลโวลต์ ศึกษาสมบัติของลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์ นำแสงจากไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศไปกระตุ้นสารละลายดาย สังเกตผลที่เกิดขึ้น สรุปและวิเคราะห์ผล

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 แผนการดำเนินงานแบ่งเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาทฤษฎีและหลักการโดยทั่วไปของไนโตรเจนเลเซอร์และดายเลเซอร์

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาหลักการออกแบบส่วนประกอบต่าง ๆ ของไนโตรเจนเลเซอร์สำหรับปั๊มระบบดายเลเซอร์

ขั้นตอนที่ 3 ออกแบบและสร้างชุดจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงให้แก่ระบบไนโตรเจนเลเซอร์

ขั้นตอนที่ 4 ออกแบบและสร้างชุดไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 5 ออกแบบและสร้างวงจรควบคุมจังหวะการเกิดไนโตรเจนเลเซอร์จากชุดจุดระเบิดหัวเทียน

ขั้นตอนที่ 6 ศึกษาสมบัติของไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศที่ควบคุมจังหวะการเกิดแสงเลเซอร์จากชุดจุดระเบิดหัวเทียน

ขั้นตอนที่ 7 นำชุดไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศที่ควบคุมจังหวะการเกิดแสงเลเซอร์จากชุดจุดระเบิดหัวเทียนไปปั๊มระบบดายเลเซอร์

ขั้นตอนที่ 8 ปรับปรุงและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่พบ

ขั้นตอนที่ 9 สรุปการทำวิทยานิพนธ์ และแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต

1.5.2 ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการในแต่ละขั้นตอน

เดือนที่ / ลำดับ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ขั้นตอนที่ 1	↔											
ขั้นตอนที่ 2	↔	↔										
ขั้นตอนที่ 3			↔									
ขั้นตอนที่ 4				↔	↔							
ขั้นตอนที่ 5						↔	↔					
ขั้นตอนที่ 6								↔	↔			
ขั้นตอนที่ 7									↔	↔		
ขั้นตอนที่ 8										↔	↔	
ขั้นตอนที่9											↔	↔

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถสร้างและพัฒนาไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศให้มีประสิทธิภาพที่ดี และควบคุมจังหวะการเกิดแสงเลเซอร์ได้

1.6.2 เป็นการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านเลเซอร์ โดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่หาได้ภายในประเทศ

1.6.3 สามารถนำไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางไปปั๊มระบบดายเลเซอร์เพื่อให้ได้แสงในช่วงที่ตามองเห็นได้

1.6.4 เป็นพื้นฐานสำหรับผู้สนใจที่จะทำการพัฒนาระบบให้ดีขึ้น หรือนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

บทนี้ได้นำเสนอหลักการพื้นฐานในการเกิดแสงเลเซอร์โดยทั่วไป หลักการในการเกิดไนโตรเจนเลเซอร์ และหลักการในการเกิดดายเลเซอร์ รวมถึงงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยจัดแบ่งรายละเอียดต่าง ๆ ตามลำดับดังต่อไปนี้

2.1 งานวิจัยและทฤษฎีของเลเซอร์ทั่วไป

หลังจากที่ไอน์สไตน์ (Einstein) ได้อธิบายหลักการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น (Stimulated Emission) ของโฟตอนในอะตอมในปี ค.ศ. 1917 แล้วนั้น กอร์ดอนและคณะ(Gordon and Other)[2] แห่งมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย สหรัฐอเมริกาก็ได้สร้างเมเซอร์ (Maser) ซึ่งมาจากคำเต็มว่า Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation สำเร็จเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1954 โดยอาศัยหลักการของการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นให้แสงในย่านไมโครเวฟ และในปี ค.ศ. 1960 ไมมานแห่งห้องปฏิบัติการวิจัยของบริษัทฮิวส์แห่งสหรัฐอเมริกา ได้สร้างเลเซอร์ทับทิมที่ให้แสงสีชมพูมีความยาวคลื่น 694.3 นาโนเมตร สำเร็จเป็นเครื่องแรก นับเป็นจุดเริ่มต้นของการสร้างและพัฒนาเลเซอร์ชนิดต่าง ๆ ต่อมา โดยสารที่จะนำมาใช้เป็นตัวกลางเลเซอร์ จะต้องมีคุณสมบัติพิเศษที่สามารถทำให้เกิดประชากรผกผัน (Population Inversion) ขึ้นภายในเนื้อสาร และสามารถทำให้เกิดขบวนการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอะตอมหรือโมเลกุลด้วยการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นได้

การเรียกชื่อเลเซอร์ชนิดต่าง ๆ ก็จะเรียกตามชื่อของตัวกลางเลเซอร์นั้น ๆ เช่น ระบบเลเซอร์ที่มีตัวกลางเลเซอร์เป็นแก๊สผสมระหว่างฮีเลียมกับนีออน ก็จะเรียกฮีเลียมนีออนเลเซอร์ หรือเลเซอร์ที่มีตัวกลางเป็นแก๊สไนโตรเจนก็จะเรียกว่า ไนโตรเจนเลเซอร์ หรือเลเซอร์ที่มีตัวกลางเป็นสารละลายดายก็จะเรียกดายเลเซอร์ ซึ่งเลเซอร์ชนิดต่าง ๆ จะอาศัยหลักการพื้นฐานที่เหมือนกันดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 การเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น (Stimulated Emission)

จากการศึกษาทางกลศาสตร์ควอนตัม พบว่าระดับพลังงานของอะตอมหรือโมเลกุลจะมีค่าเป็นระดับขั้นที่ไม่ต่อเนื่องกัน โดยระดับพลังงานที่ต่ำที่สุดที่อิเล็กตรอนอยู่ได้อย่างเสถียรเรียกว่า สถานะพื้น (Ground State) ระดับพลังงานอื่น ๆ ที่มีระดับพลังงานสูงกว่านี้จะเรียกว่า สถานะกระตุ้น (Excited State) อิเล็กตรอนจะมีการเปลี่ยนระดับพลังงานจากระดับพลังงานที่ต่ำกว่าไปยังระดับพลังงานที่สูงกว่า หรือจากระดับพลังงานที่สูงกว่ามายังระดับพลังงานที่ต่ำกว่าได้ เมื่อมีการดูดกลืน หรือคายพลังงานออกมาในรูปของโฟตอน โดยผลต่างของระดับพลังงานทั้งสองระดับนั้นจะสัมพันธ์กับค่าความถี่ของแสงที่ถูกดูดกลืนหรือปลดปล่อยออกมาดังสมการ

$$\Delta E = h\nu \tag{2.1}$$

เมื่อ ΔE = $E_2 - E_1$

= ค่าผลต่างของระดับพลังงานสุดท้ายกับระดับพลังงานเริ่มต้น

ν = ความถี่ของแสงที่ถูกดูดกลืนหรือคายออกมา

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

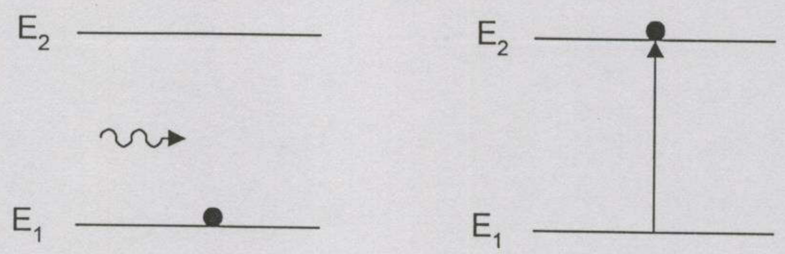
การเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจะอธิบายได้จากปรากฏการณ์ทางแสง 3 ปรากฏการณ์คือ

2.1.1.1 การดูดกลืนแสง (Absorption)

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

อัตราการเกิดการดูดกลืนแสงแบบถูกกระตุ้น (Stimulated Absorption Rate) จะแปรผันกับจำนวนอิเล็กตรอนที่สถานะพื้นและความหนาแน่นของพลังงานของโฟตอนที่เข้ามากระตุ้น ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 กระบวนการดูดกลืนแสง[4]

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

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

N_1 = จำนวนอิเล็กตรอนที่ระดับพลังงาน E_1

$\rho(\nu_{12})$ = ความหนาแน่นของพลังงานของโฟตอน (Photon Energy Density)

2.1.1.2 การเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง (Spontaneous Emission)

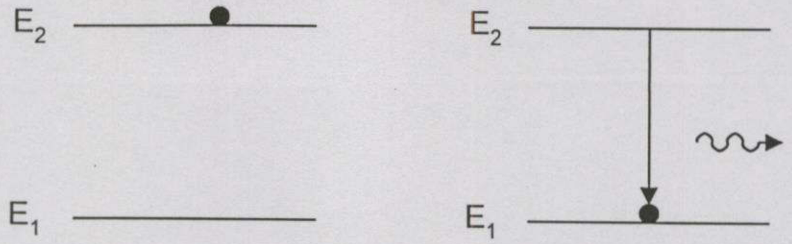
อิเล็กตรอนซึ่งอยู่ในสถานะกระตุ้น (E_2) จะสามารถอยู่ในสถานะนี้ได้เพียงช่วงระยะเวลาหนึ่งซึ่งมีค่าเท่ากับค่าช่วงชีวิต (Life Time) เท่านั้น เมื่อหมดช่วงชีวิตแล้วก็จะตกลงมายังสถานะพื้น (E_1) เองโดยจะปลดปล่อยโฟตอนออกมาดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งอัตราการเกิดการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเองนี้จะมีสัดส่วนตามจำนวนอิเล็กตรอนที่ชั้นพลังงาน 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 กระบวนการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง[4]

2.1.1.3 การเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น (Stimulated Emission)

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

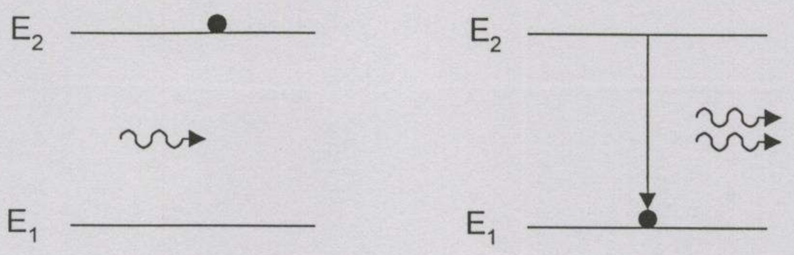
$$\text{อัตราการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น} = B_{21}N_2\rho(\nu_{12}) \qquad (2.4)$$

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

และ $B_{21} = B_{12}$

การเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นนี้เองที่เป็นหลักการอย่างหนึ่งในการที่ทำให้แสงเลเซอร์มีเฟสเดียวกัน มีค่าความถี่เดียวและยังเป็นที่มาของคำว่า Light Amplification ด้วย เนื่องจากว่าโฟตอนที่เข้าไปกระตุ้น 1 ตัว จะทำให้ได้โฟตอนเพิ่มขึ้นมาอีก 1 ตัวเป็น 2 ตัว คือเกิดการขยายแสงนั่นเอง ซึ่งการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นนี้จะเป็นพื้นฐานที่สำคัญประการหนึ่งในการเกิดแสงเลเซอร์ทุกชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 กระบวนการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น[4]

ในสภาวะสมดุลเชิงความร้อนอัตราการดูดกลืนแสงและอัตราการเปล่งแสงจะสมดุลกัน เพื่อให้จำนวน $N_1 + N_2$ มีค่าคงที่ ซึ่งจะได้ว่า

อัตราการดูดกลืนแสง = อัตราการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง
+ อัตราการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น

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

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

ไอนสไตน์ (Einstein) เป็นผู้อธิบายความสัมพันธ์ในสมการที่ (2.5) จึงเรียกค่าสัมประสิทธิ์ B_{12} , A_{21} และ B_{21}) ว่าเป็น Einstein Coefficients

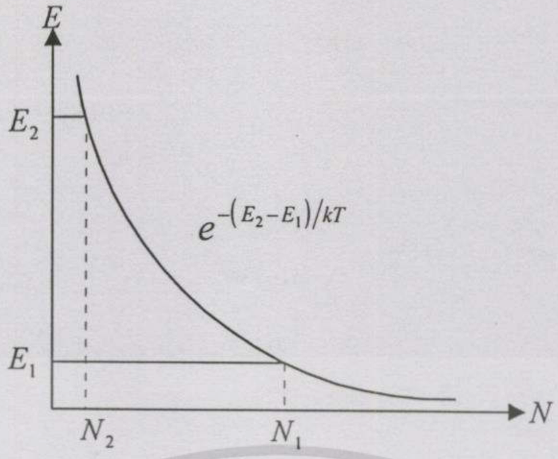
2.1.2. การเกิดประชากรผกผัน (Population Inversion)

เมื่อพิจารณาระบบที่มีระดับพลังงานเพียง 2 ระดับพลังงาน คือ E_1 และ E_2 (โดย $E_2 > E_1$) และแต่ละระดับพลังงานมีจำนวนอะตอมเป็น N_1 และ N_2 ตามลำดับ ที่สภาวะสมดุลเชิงความร้อน สัดส่วนของจำนวนอะตอมในแต่ละระดับพลังงานจะเป็นไปตามหลักการกระจายแบบโบลท์ซมาน (Boltzmann Distribution) ดังสมการ

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

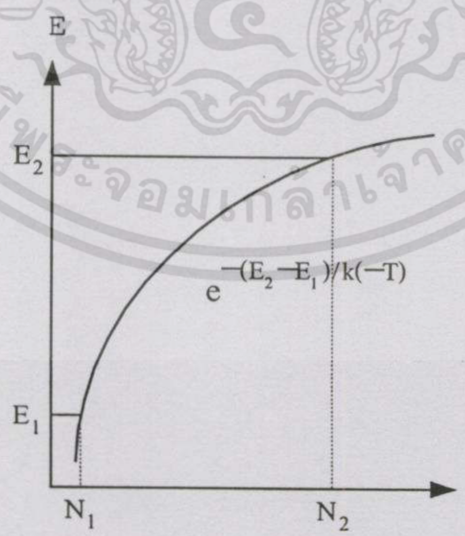
เมื่อ k = ค่าคงที่ของโบลท์ซมาน
T = อุณหภูมิสัมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การกระจายแบบโบลท์ซมานของจำนวนอะตอมที่ระดับพลังงาน E_1 และ E_2 ที่สภาวะสมดุลเชิงความร้อน

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



รูปที่ 2.5 การเกิดประชากรผกผัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาสัดส่วนของอัตราการเกิดการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นต่ออัตราการดูดกลืนแสงแบบถูกกระตุ้น (สมการที่ 2.4 และ 2.2 ตามลำดับ) จะได้ว่า

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

เมื่อ $B_{21} = B_{12}$ จะได้ว่า

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

จากสมการที่ (2.7) จะแสดงให้เห็นว่า ถ้า $N_2 > N_1$ แล้ว จะทำให้ระบบเกิดการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นในอัตราที่มากกว่าการเกิดการดูดกลืนแสงแบบถูกกระตุ้น ซึ่งปรากฏการณ์ที่ $N_2>N_1$ นี้เรียกว่าการเกิดประชากรผกผัน การทำให้เกิดประชากรผกผันมีหลักการที่สำคัญคือต้องเพิ่มพลังงานให้แก่อะตอมหรือโมเลกุลของตัวกลางเลเซอร์ ซึ่งในทางปฏิบัติได้แก่การใช้แสงที่มีความหนาแน่นสูงเป็นตัวเพิ่มพลังงาน (Optical Pumping) การทำแก๊สดิสชาร์จ การกระตุ้นโดยใช้แสงเลเซอร์ชนิดอื่นเป็นแหล่งพลังงานเป็นต้น ซึ่งจะเรียกการเพิ่มพลังงานให้กับระบบด้วยวิธีการต่าง ๆ นี้ว่า Energy Pumping

2.1.3. ตัวสั่นพ้องเชิงทัศน์ (Optical Resonator)

ระบบเลเซอร์โดยทั่วไปแล้วจำเป็นต้องมีตัวสั่นพ้องเชิงทัศน์ ซึ่งประกอบด้วยกระจกเคลือบสารไดอิเล็กตริกที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ 100 % (กระจกหลัง) และมีค่าอยู่ระหว่าง 65 – 95 % (กระจกหน้า) เพื่อทำหน้าที่ให้โฟตอนที่เกิดจากขบวนการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเองสะท้อนกลับไปมาผ่านตัวกลางเลเซอร์ทำให้โฟตอนมีความเข้มสูงมากขึ้น ซึ่งจะทำให้อัตราการเกิดการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นเพิ่มสูงขึ้น แต่ในสภาวะสมดุลเชิงความร้อนพบว่าอัตราการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเองจะมากกว่าอัตราการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นมาก ซึ่งพิจารณาได้จากสัดส่วนระหว่างอัตราการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นต่ออัตราการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง (สมการที่ 2.4 และ 2.3 ตามลำดับ) พบว่าจะเป็นไปตามสมการที่ (2.8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$= \frac{B_{21}}{A_{21}}\rho(\nu_{12}) \qquad (2.8)$$

จากสมการที่ (2.5) จัดรูปใหม่จะได้ $$\rho(\nu_{12}) = \frac{A_{21}/B_{21}}{(B_{12}N_1/B_{21}N_2) - 1} \qquad (2.9)$$

แทนค่า (N_1/N_2) จากสมการที่ (2.6) จะได้

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

พิจารณาการแผ่รังสีในวัตถุดำ[4] $$\rho(\nu_{12}) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3}\left(\frac{1}{\exp(h\nu/kT) - 1}\right) \qquad (2.11)$$

เปรียบเทียบสมการที่(2.10) กับ (2.11)จะได้ $$\frac{B_{21}}{A_{21}} = \frac{c^3}{8\pi h\nu^3} \qquad (2.12)$$

สัดส่วนของอัตราการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นต่ออัตราการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเองจะมีความสัมพันธ์ดังนี้

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

ความสัมพันธ์ในสมการที่ (2.13) พบว่าที่สภาวะสมดุลเชิงความร้อนอัตราส่วนระหว่างการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นกับอัตราการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเองจะมีค่าที่น้อยมาก เช่นแสงที่มีความถี่ 4.74×10^{14} เฮิร์ต ที่อุณหภูมิ 370 เคลวิน สัดส่วนของอัตราการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นต่ออัตราการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเองจะมีค่าประมาณ 10^{-27} [4] นั่นคือเกือบจะไม่มีการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นเลย ซึ่งจะทำให้ระบบไม่เกิดแสงเลเซอร์ แต่จากสมการที่ (2.8) แสดงให้เห็นว่าถ้าต้องการให้เกิดอัตราการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในอัตราที่มากกว่าอัตราการเกิดการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเองแล้วนั้น จะต้องมีโฟตอนที่มีความหนาแน่นของพลังงาน $\rho(\nu_{12})$ สูงมาก ๆ เข้าไปในระบบ ทำได้โดยการเพิ่มความยาวของตัวกลางเลเซอร์ออกไปมาก ๆ เพื่อให้เกิดการขยายความเข้มของพลังงาน แต่ในทางปฏิบัติจะมีความยุ่งยากในการจัดวางระบบอย่างมาก จึงใช้วิธีการจัดวางกระจก 2 บานไว้ที่ปลายทั้งสองด้านของระบบเลเซอร์แทน เพื่อให้แสงเกิดการสะท้อนกลับไปกลับมาอยู่ภายในตัวกลางเลเซอร์ เป็นเสมือนการเพิ่มความยาวของระยะทางในการเคลื่อนที่ของแสง และทำให้มีความหนาแน่นของพลังงานมีค่ามากขึ้นนั่นเอง ซึ่งจะมีผลให้เกิดการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นที่มากกว่าเกิดการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง การจัดวางตัวสั่นพ้องเชิงทัศน์แสดงดังรูปที่ 2.6 ซึ่งแสดงถึงตัวสั่นพ้องเชิงทัศน์ ที่ประกอบด้วยกระจกเว้า 2 บาน ที่วางห่างกันเป็นระยะทาง L โดยกระจก M_1 และ M_2 มีรัศมีความโค้ง r_1 และ r_2 ตามลำดับ

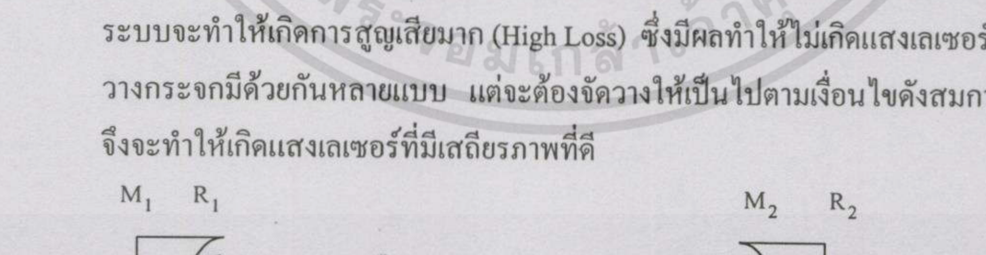
ในการวิเคราะห์ตัวสั่นพ้องเชิงทัศน์หนึ่ง ๆ ว่าจะมีลักษณะที่มีการสูญเสียต่ำ (Low Loss) หรือไม่จะพิจารณาจากค่า g – parameter ซึ่งเป็นปริมาณที่ไม่มีหน่วย โดยระบบที่มีเสถียรภาพจะมีเงื่อนไขดังสมการที่(2.14)

$$0 \leq g_1 g_2 \leq 1 \tag{2.14}$$

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

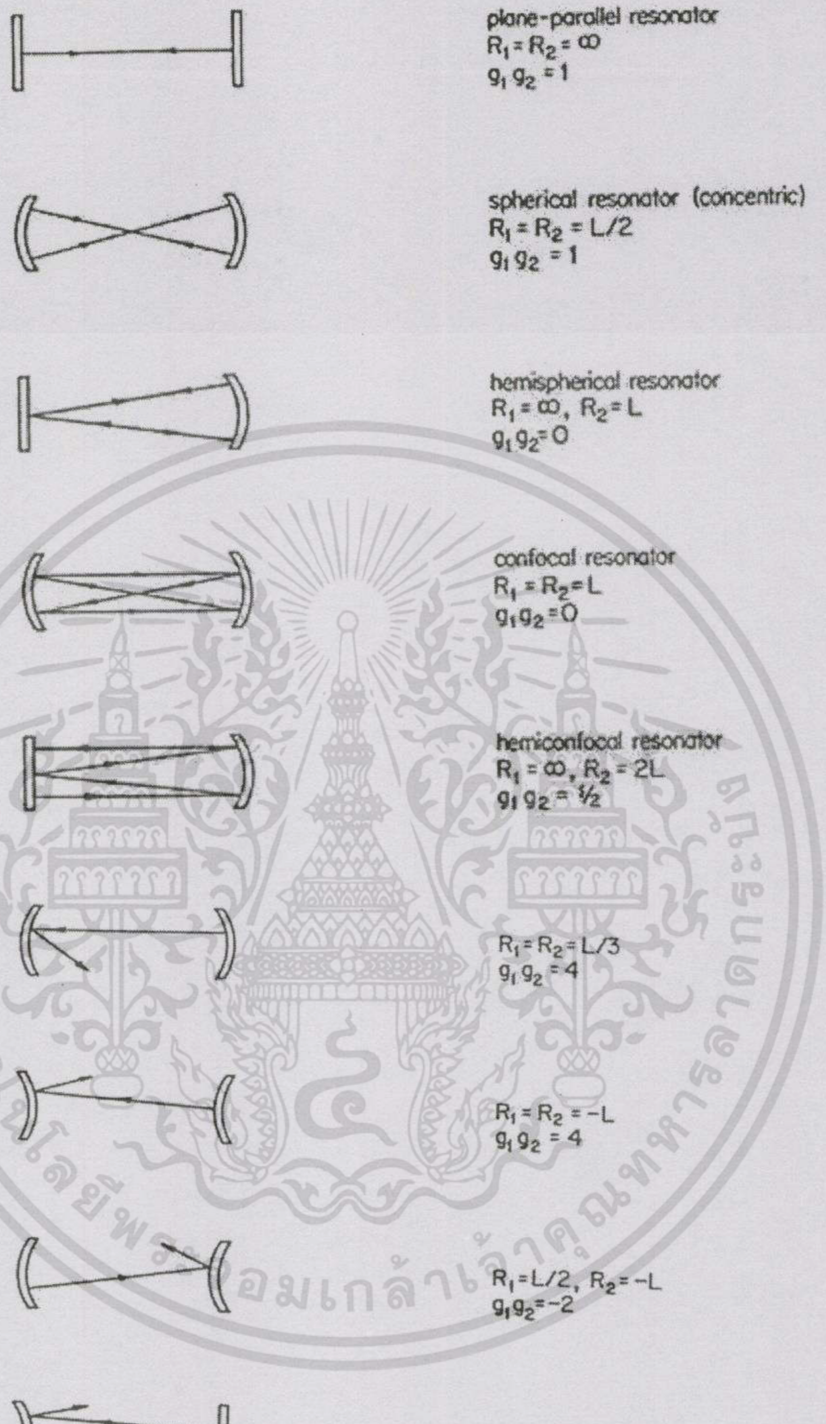
และ $g_2 = 1 - \frac{L}{r_2}$ สำหรับกระจก M_2

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 ตัวสั่นพ้องเชิงทัศน์ที่ประกอบด้วยกระจก 2 บาน M_1 และ M_2 มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน R_1 และ R_2 และมีรัศมีความโค้งเป็น r_1 และ r_2 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 การจัดวางตัวสั่นพ้องเชิงทัศน์แบบต่าง ๆ[5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

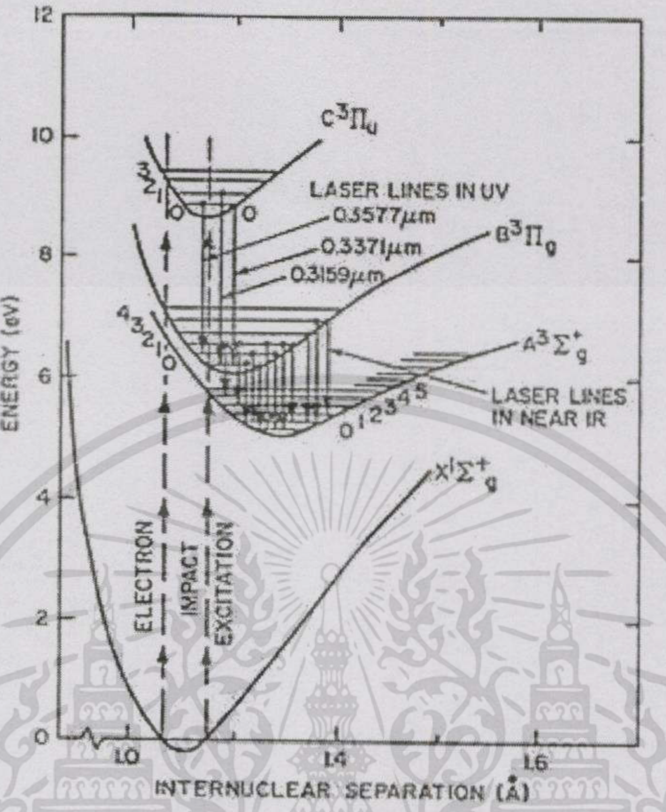
2.2 งานวิจัยและหลักการของไนโตรเจนเลเซอร์

ในปี ค.ศ. 1963 เฮิร์ด (Heard)[2] ได้สร้างไนโตรเจนเลเซอร์ที่ให้แสงเป็นพัลส์ในย่านอัลตร้าไวโอเลต มีความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร สำเร็จเป็นเครื่องแรก หลังจากนั้นก็มีผู้สนใจสร้างและพัฒนาไนโตรเจนเลเซอร์มากขึ้นแต่ยังทำงานที่ความดันต่ำ ซึ่งมีการกระตุ้นเป็นแบบพัลส์ดิสชาร์จ (Pulse Discharge) มีด้วยกันสองลักษณะคือไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามยาว (Longitudinal Excitation N_2 Laser:LE-N_2 Laser) ซึ่งเป็นแบบที่ให้ลำแสงเลเซอร์ในทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้า อีกแบบหนึ่งคือไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวาง (Transverse Excitation N_2-Laser:TE- N_2 Laser) เป็นแบบที่ให้ลำแสงเลเซอร์ในทิศทางตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า ต่อมาในปี ค.ศ. 1968 สเวดเบอร์ก(Svedberg)ได้สร้างระบบไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ (Transversely Excited at Atmospheric Pressure N_2 Laser:TEA N_2 -Laser) สำเร็จเป็นเครื่องแรก ซึ่งนับเป็นจุดเริ่มต้นของการสร้างไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ ซึ่งเป็นระบบที่ให้แสงเป็นพัลส์ช่วงสั้น ๆ มีกำลังสูง และที่สำคัญคือสามารถทำงานได้ที่ความดันบรรยากาศ จึงไม่ต้องจัดสร้างระบบสุญญากาศขึ้น

ในประเทศไทยเริ่มมีผู้สนใจและสร้างไนโตรเจนเซอร์สำเร็จเป็นเครื่องแรกในปี พ.ศ. 2527 โดย รศ.ดร.บัณฑิต ณ ลำพูน แห่งมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยไนโตรเจนเลเซอร์ที่สร้างขึ้นใช้แผ่นแก้วจำนวนสองแผ่นประกบเข้ากับขั้วไฟฟ้าสองแท่ง และให้ประจุแก่ตัวเก็บประจุจากสปาร์กแกปที่สร้างขึ้นแบบง่าย ๆ จะได้แสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร มีความกว้างของพัลส์ 10 นาโนวินาที มีพลังงานที่แรงดันไฟฟ้า 16 กิโลโวลต์ 17 เมกกะวัตต์ ทำงานที่ความดัน 70 ทอร์ ต่อมาในปี พ.ศ. 2537 นาวาอากาศเอกไพโรจน์ ไตรรัตน์ ก็ได้สร้างไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศสำเร็จ โดยใช้วงจรบลัมไลน์เป็นวงจรกระตุ้น ซึ่งประกอบด้วยตัวเก็บประจุแผ่นขนานที่ทำด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์และแผ่นไมลาร์ มีขั้วไฟฟ้าทำจากแท่งอลูมิเนียม แสงจากไนโตรเจนเลเซอร์มีลักษณะเป็นพัลส์วัดความยาวคลื่นได้ 337 นาโนเมตร วัดพลังงานที่แรงดันไฟฟ้า 11.1 กิโลโวลต์ ได้ 190 ไมโครจูล ทำงานที่ความดันบรรยากาศ แต่ยังไม่สามารถควบคุมจังหวะในการเกิดแสงเลเซอร์ได้[6]

ในงานวิจัยนี้จะทำการสร้างไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ โดยใช้วงจรบลัมไลน์เช่นเดียวกับที่นาวาอากาศเอกไพโรจน์ ไตรรัตน์จัดสร้างขึ้น แต่จะใช้ขั้วไฟฟ้าทำจากโลหะสแตนเลสตัดมุม 45 องศา ควบคุมจังหวะการเกิดไนโตรเจนเลเซอร์ด้วยชุดจุดระเบิดหัวเทียนปรับความถี่ได้ 0.5–10 เฮิร์ต และส่งผ่านแสงจากไนโตรเจนเลเซอร์ไปกระตุ้นสารละลายดายชนิดโรดามิน 6 จี เพื่อให้เกิดดายเลเซอร์ ซึ่งการเกิดไนโตรเจนเลเซอร์นั้นจะอาศัยหลักการพื้นฐานเช่นเดียวกับเลเซอร์โดยทั่วไป โดยตัวกลางเลเซอร์ของไนโตรเจนเลเซอร์จะเป็นแก๊สไนโตรเจน (N_2) ซึ่งถือว่าเป็นแก๊สที่มีความหนาแน่นมากในธรรมชาติ และมีระดับพลังงานแสดงดังรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



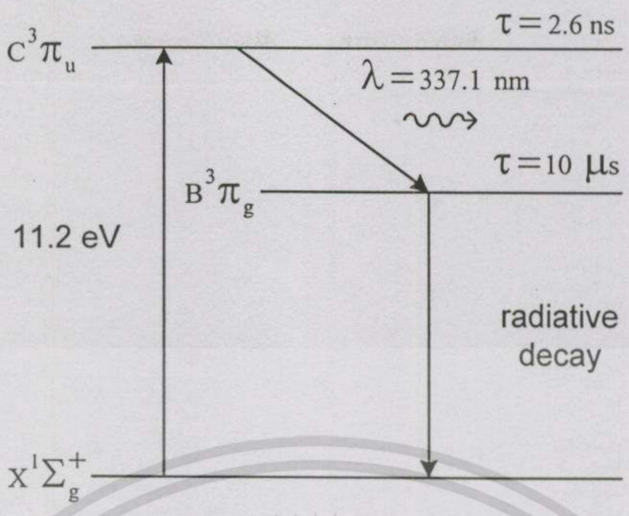
รูปที่ 2.8 ระดับพลังงานในโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจน สัญลักษณ์ $X^1\Sigma^+_g$ จะแทนสถานะพื้น $A^3\Sigma^+_g$, $C^3\pi_u$ และ $B^3\pi_g$ จะแทนสถานะกระตุ้น[7]

ระดับพลังงานในโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนดังแสดงในรูปที่ 2.8 จะแบ่งการเกิดแสงเลเซอร์ได้ 2 กลุ่มตามความยาวคลื่น[7] คือ กลุ่มแรกให้แสงในย่านอัลตร้าไวโอเลตมีความยาวคลื่น 0.3577, 0.3371 และ 0.3159 ไมโครเมตร ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนระดับพลังงานจากสถานะ $C^3\pi_u$ มายังสถานะ $B^3\pi_g$ และอีกกลุ่มให้แสงในย่านอินฟาเรดมีความยาวคลื่นระหว่าง 0.745 – 1.235 ไมโครเมตร เกิดจากการเปลี่ยนระดับพลังงานจากสถานะ $B^3\pi_g$ ไปยังสถานะ $A^3\Sigma^+_g$

สำหรับงานวิจัยนี้จะสร้างไนโตรเจนเลเซอร์ที่เกิดจากการเปลี่ยนระดับพลังงานจากสถานะ $C^3\pi_u$ ไปยังสถานะ $B^3\pi_g$ ซึ่งให้แสงในย่านอัลตร้าไวโอเลตมีความเข้มมากที่สุดที่ความยาวคลื่น 0.3371 ไมโครเมตร เพื่อความสะดวกในการพิจารณาจึงเขียนระดับพลังงานของโมเลกุลไนโตรเจนจากรูปที่ 2.8 ใหม่ โดยแทนระดับพลังงานเป็นเส้นตรงดังรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.9 ระดับพลังงาน 3 ระดับของโมเลกุลไนโตรเจน ให้แสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร

เมื่อโมเลกุลในระดับพลังงาน $X\,^1\Sigma^+_g$ (สถานะพื้น) ถูกกระตุ้นจะเปลี่ยนระดับพลังงานไปยัง $C^3\pi_u$ โดยผลต่างของระดับพลังงานทั้ง 2 นี้มีค่า 11.2 eV และจะเปลี่ยนระดับพลังงานจาก $C^3\pi_u$ มายัง $B^3\pi_g$ โดยปลดปล่อยโฟตอนที่มีความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตรออกมา จะเห็นว่าเงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับเลเซอร์ที่ทำงานแบบต่อเนื่องคือค่าช่วงชีวิต (Life Time) ในระดับพลังงานชั้นบน (Upper Level) จะต้องยาวนานกว่าค่าช่วงชีวิตในระดับพลังงานชั้นล่าง (Lower Level) แต่ในกรณีของไนโตรเจนเลเซอร์มิได้เป็นเช่นนั้น กล่าวคือช่วงชีวิตของระดับพลังงานชั้นบนสั้นมากมีค่าเพียง 40 นาโนวินาทีที่ความดันต่ำ และ 2.6 นาโนวินาทีที่ความดันบรรยากาศ แต่ที่ระดับพลังงานชั้นล่างกลับมีช่วงชีวิตที่ยาวนานกว่าคือมีค่าถึง 10 ไมโครวินาที ด้วยเหตุนี้เองจึงเป็นขีดจำกัดที่ทำให้ไนโตรเจนเลเซอร์กำเนิดแสงแบบพัลส์ และการเกิดประชากรผกผันที่สภาวะสุดท้ายจะต้องเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีเวลาที่น้อยกว่าค่าช่วงชีวิตของระดับพลังงานชั้นบน จากนั้นค่าประชากรผกผันก็จะลดลงจนถึงระดับที่ไม่ทำให้เกิดเลเซอร์ได้ ซึ่งจะเรียกว่า Self Terminating จึงมีผลให้ไนโตรเจนเลเซอร์กำเนิดแสงแบบพัลส์ (Pulse) ในช่วงเวลาที่สั้นมาก และมีความเข้มสูง เรียกว่าเป็นเลเซอร์ชนิด Amplified Spontaneous Emission ซึ่งทำให้เกิดแสงเลเซอร์ได้โดยไม่ต้องใช้กระจก (Mirrorless Lasing) นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

39764

2.3 งานวิจัยและหลักการของดายเลเซอร์

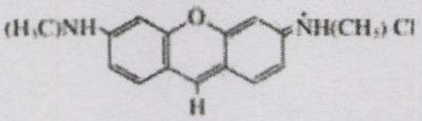
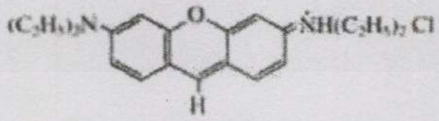
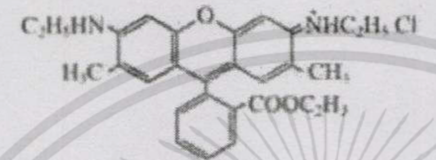
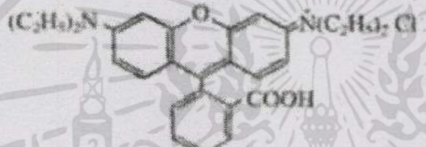
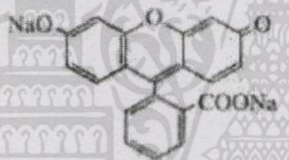
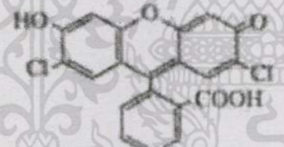
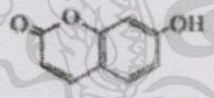
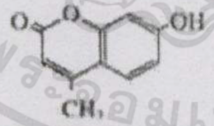
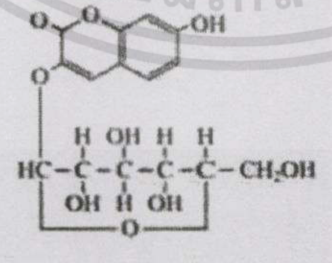
ในปี ค.ศ. 1966 โซโรคินและลานการ์ด (Sorokin and Lankard)[2] แห่งห้องปฏิบัติการวิจัยและพัฒนาของบริษัท IBM ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้นำเลเซอร์ทับทิมไปกระตุ้นสารละลายชนิดโรดามีน 6 จี สำเร็จเป็นครั้งแรก ในปีเดียวกันนั้นโซโรคินก็ได้นำไฟแฟลชไปใช้ในการกระตุ้นสารละลายดายชนิดโคโรอลูมิเนียมไพโรไซยานีน (Chloroaluminum Phtalocyanine) สำเร็จ หลังจากนั้นก็ได้มีการนำเลเซอร์ชนิดต่าง ๆ ไปกระตุ้นสารละลายดาย เช่น KrF Laser, Nd^{3+} Laser , Argon ion Laser เป็นต้น ไนโตรเจนเลเซอร์ก็เป็นเลเซอร์อีกชนิดหนึ่งที่มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นตัวกระตุ้นสารละลายดาย โดยลานการ์ดได้ประสบความสำเร็จในการนำไนโตรเจนเลเซอร์ไปกระตุ้นสารละลายดายเพื่อให้เกิดดายเลเซอร์ในปี ค.ศ. 1969 ให้แสงที่เป็นพัลส์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าแสงจากดายเลเซอร์จะมีทั้งที่เป็นแสงต่อเนื่องและเป็นพัลส์ขึ้นอยู่กับชนิดของเลเซอร์ที่นำมากระตุ้น และชนิดของสารละลายดาย โดยดายเลเซอร์เป็นเลเซอร์ชนิดที่ใช้ระบบออปติคอลปั๊มคือใช้แสงเป็นตัวเพิ่มพลังงาน มีตัวกลางเลเซอร์อยู่ในสถานะของเหลว ซึ่งส่วนมากจะเป็นสารประกอบทางเคมีที่ละลายอยู่ในเอทานอล เมทานอล หรือน้ำเป็นต้น ซึ่งชนิดของสารดายมีด้วยกันมากมายหลายชนิดดังแสดงตัวอย่างของสารดายที่เป็นตัวกลางของดายเลเซอร์ดังรูปที่ 2.10

ตัวกลางของดายเลเซอร์มีอยู่มากมายหลายชนิดด้วยกัน แต่สารละลายดายที่นิยมนำมาใช้เป็นตัวกลางเลเซอร์กันมากที่สุดตัวหนึ่งคือ โรดามีน 6 จี (Rhodamine 6G) เนื่องจากสามารถให้แสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงที่กว้างมาก อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการเกิดเลเซอร์ได้ดีกว่าสารละลายดายชนิดอื่น

เมื่อพิจารณาโครงสร้างของสารละลายดายพบว่าจะมีโมเลกุลที่ซับซ้อนมาก ประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีพันธะเป็นเบนซินริง (Benzen Ring) สามารถเขียนระดับพลังงานได้ดังรูปที่ 2.11

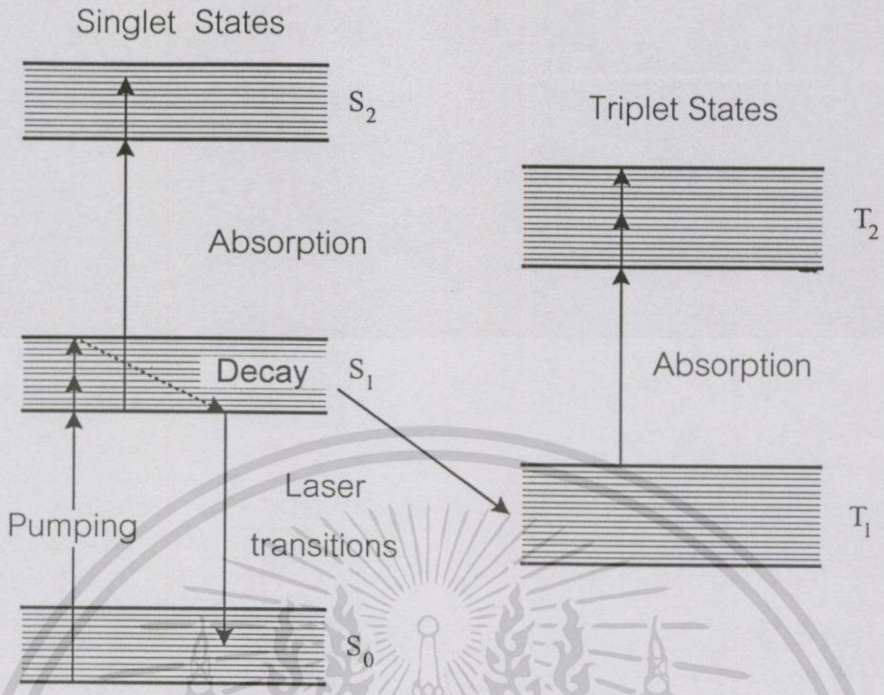
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dye	Structure	Solvent	Wavelength
Acridine red		EtOH	Red 600–630 nm
Pyronin B		MeOH H_2O	Yellow
Rhodamine 6G		EtOH MeOH H_2O DMSO Polymethyl-methacrylate	Yellow 570–610 nm
Rhodamine B		EtOH MeOH Polymethyl-methacrylate	Red 605–635 nm
Na-fluorescein		EtOH H_2O	Green 530–560 nm
2,7-Dichloro-fluorescein		EtOH	Green 530–560 nm
7-Hydroxy-coumarin		H_2O (pH ~ 9)	Blue 450–470 nm
4-Methylem-belliferone		H_2O (pH ~ 9)	Blue 450–470 nm
Esculin		H_2O (pH ~ 9)	Blue 450–470 nm

รูปที่ 2.10 ตัวกลางชนิดต่าง ๆ ของดายเลเซอร์[3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ระดับพลังงานของโมเลกุลดาย และการเกิดแสงดายเลเซอร์[8]

ภายในโมเลกุลของดายจะมีระดับพลังงานแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มหนึ่งเรียกว่า สถานะซิงเกลท(Singlet State) ใช้สัญลักษณ์เป็น S_0 S_1 และ S_2 ที่สถานะนี้จะเกิดขึ้นเมื่อสปินรวมของอิเล็กตรอนในแต่ละโมเลกุลมีค่าเป็นศูนย์ และอีกกลุ่มหนึ่งเรียกว่า สถานะทริบเปลท(Triplet State) ใช้สัญลักษณ์ T_1 และT_2 สถานะนี้จะเกิดเมื่อสปินรวมของอิเล็กตรอนในแต่ละโมเลกุลมีค่าเป็นหนึ่ง

เมื่อสารละลายดายถูกปั๊มด้วยไฟแฟลชหรือเลเซอร์ชนิดอื่น โมเลกุลของดายที่ระดับพลังงาน S_0 จะถูกกระตุ้นและเปลี่ยนระดับพลังงานไปยังระดับพลังงาน S_1 แต่ที่แต่ละระดับพลังงานพบว่าจะมีลักษณะเป็นแถบพลังงาน จึงมีผลทำให้อะตอมที่ถูกกระตุ้นอาจจะไปอยู่ที่ระดับพลังงานย่อยต่าง ๆ ที่ S_1 ได้ แต่จะมีการปลดปล่อยพลังงานและตกลงมายังระดับพลังงานที่ต่ำที่สุดของระดับพลังงาน S_1 อย่างรวดเร็วโดยไม่มีการเปล่งแสง และจะเกิดการผกผันของประชากรระหว่าง $S_1 \rightarrow S_0$ เมื่อมีโฟตอนเข้ามากระตุ้นที่ระดับพลังงาน S_1 ก็จะทำให้เกิดการปลดปล่อยโฟตอนออกมาเกิดเป็นแสงเลเซอร์ แต่เนื่องจากระดับพลังงาน S_0 มีลักษณะเป็นแถบพลังงานที่กว้าง ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานจาก S_1 ไปยัง S_0 จึงทำให้เกิดแสงเลเซอร์ได้หลายความถี่นั่นเอง ดังนั้นดายเลเซอร์จึงมีลักษณะพิเศษคือ สามารถออกแบบให้ปรับความยาวคลื่นได้ตามต้องการ

การเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของดายเลเซอร์ไม่ได้เกิดที่ระดับพลังงาน S_1 ไปยังระดับพลังงาน S_0 เท่านั้น แต่อาจจะเกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานจากระดับพลังงาน S_1 ไปยังระดับพลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งาน T_1 ได้เนื่องจากเกิดการชนกันของโมเลกุลดายทำให้ค่าสปินเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งหากเกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานในลักษณะนี้จะมีผลทำให้การเกิดเลเซอร์หยุดชงักลง เนื่องจากว่าค่าช่วงชีวิตของระดับพลังงาน T_1 มีช่วงชีวิตที่ยาวนานมาก และอาจจะทำให้เกิดการดูดกลืนแสงจากระดับพลังงาน T_1 ไปยังระดับพลังงาน T_2 ซึ่งมีผลทำให้การเปลี่ยนระดับพลังงานจากระดับพลังงาน S_1 ไปยัง S_0 เกิดได้น้อยลง เพื่อหลีกเลี่ยงปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้จะต้องใช้แสงที่มาปั๊ม ดายเลเซอร์ที่มีลักษณะเป็นพัลส์ที่สั้น ๆ เพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานจากระดับพลังงาน S_0 ไปยังระดับพลังงาน S_1 ก่อนที่จำนวนโมเลกุลในระดับ T_1 จะมากพอที่จะดูดกลืนแสงเลเซอร์ที่เกิดขึ้น หรืออาจจะใช้วิธีการเควนชิง (Quenching) คือการเติมโมเลกุลของสารบางชนิดลงไปในสารละลายดาย เช่น Cyclo-Octatetraent (COT) เพื่อช่วยให้เกิดการลดระดับพลังงานของโมเลกุลจาก T_1 ไปยัง S_0 ได้เร็วขึ้น

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้างไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ สำหรับปั๊มระบบดายเลเซอร์

บทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างไนโตรเจนเลเซอร์เพื่อใช้สำหรับปั๊มระบบดายเลเซอร์ ซึ่งจะแยกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนแรกจะกล่าวถึง การออกแบบและสร้างไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางทำงานที่ความดันบรรยากาศ โดยใช้วงจรบลัมไลน์เป็นวงจรกระตุ้น รวมถึงรายละเอียดของระบบที่ใช้ในการควบคุมจังหวะในการเกิดแสงไนโตรเจนเลเซอร์ และองค์ประกอบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ในส่วนที่สองจะกล่าวถึงการจัดวางระบบดายเลเซอร์ และ การเตรียมความเข้มข้นของสารละลายดายค่าต่าง ๆ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1 การออกแบบและสร้างชุดไนโตรเจนเลเซอร์สำหรับปั๊มระบบดายเลเซอร์

3.1.1 การออกแบบและสร้างชุดไนโตรเจนเลเซอร์[9]

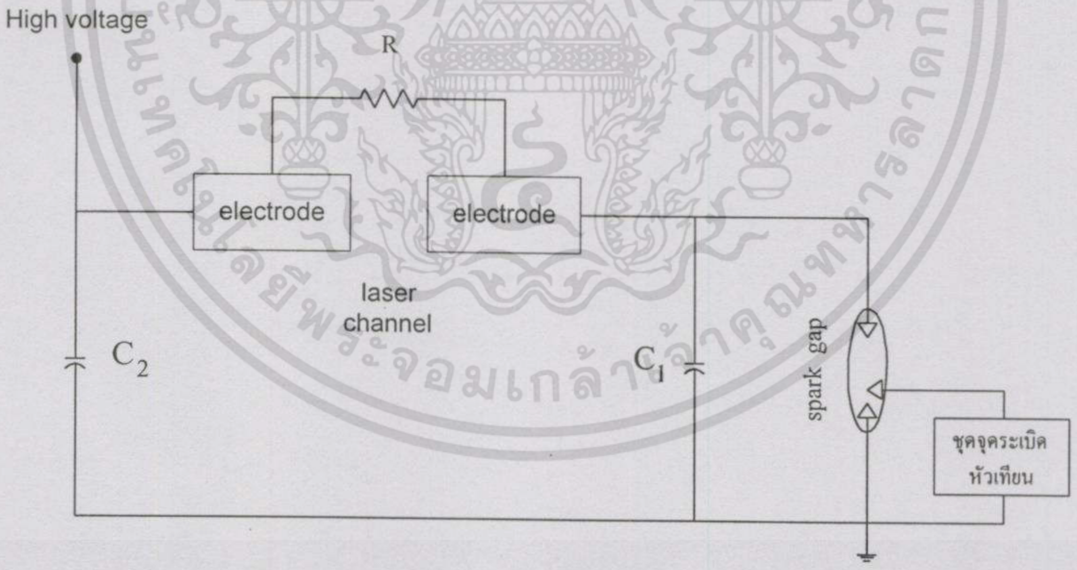
ไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ (Transversely Excited at Atmospheric Pressure - N_2 Laser : TEA-N_2 Laser) สามารถให้แสงที่เป็นพัลส์แคบ และมีกำลังสูง อีกทั้งสามารถออกแบบให้มีขนาดกะทัดรัดได้อีกด้วย และที่สำคัญที่สุด คือไม่ต้องใช้ระบบสุญญากาศ ซึ่งในการสร้างและพัฒนาระบบไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางนี้สนใจเฉพาะไนโตรเจนเลเซอร์ที่ให้แสงในช่วงอัลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตรเท่านั้น จึงต้องมีขบวนการผกผันของประชากร และการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นจากระดับพลังงาน $C^3\pi_u$ ไปยัง $B^3\pi_g$ แต่เนื่องจากช่วงชีวิตของโมเลกุลไนโตรเจนในระดับ $C^3\pi_u$ มีค่าเพียง 2.6 นาโนวินาทีแต่ในระดับพลังงาน $B^3\pi_g$ มีค่าถึง 10 ไมโครวินาที ดังนั้นถ้าทำให้เกิดการผกผันของประชากรระหว่างระดับพลังงานทั้งสองนั้น จำเป็นจะต้องกระตุ้นให้โมเลกุลไนโตรเจนขึ้นไปที่ระดับพลังงาน $C^3\pi_u$ ด้วยเวลาที่น้อยกว่า 2.6 นาโนวินาทีจึงต้องใช้วงจรกระตุ้นแบบพัลส์ที่เร็วมาก คือวงจรที่มีค่าอินดัคแตนซ์ต่ำ ๆ นั่นเอง วงจรที่มีลักษณะเช่นนี้ได้แก่วงจรคาปาซิเตอร์ชาร์จทรานสเฟอร์(Capacitor-Charge Transfer Circuit) และวงจรบลัมไลน์ (Blumlein Circuit) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วงจรบลัมไลน์เป็นวงจรกระตุ้นของไนโตรเจนเลเซอร์ เนื่องจากเป็นวงจรที่สร้างได้ง่ายและนิยมใช้กันมากที่สุด ดังนั้นในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะวงจรบลัมไลน์เท่านั้น

การทำงานของวงจรบลัมไลน์ดังรูปที่ 3.1 สามารถอธิบายได้ดังนี้ ตัวเก็บประจุสตอเรจ (Storage Capacitor) C_1 และตัวเก็บประจุพัลส์ฟอร์มิงไลน์ (Pulse Formingline Capacitor) C_2 ถูกประจุจนเต็มจากแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง (High Voltage) เมื่อสปาร์กแกปทำงานประจุใน C_1 จะไหลลงกราวด์อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดความต่างศักย์ตกคร่อมระหว่างช่องเลเซอร์ มีค่าเท่ากับความต่างศักย์จากแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง

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



รูปที่ 3.1 วงจรบลัมไลน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ส่วนประกอบของ ไนโตรเจนเลเซอร์เลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวาง

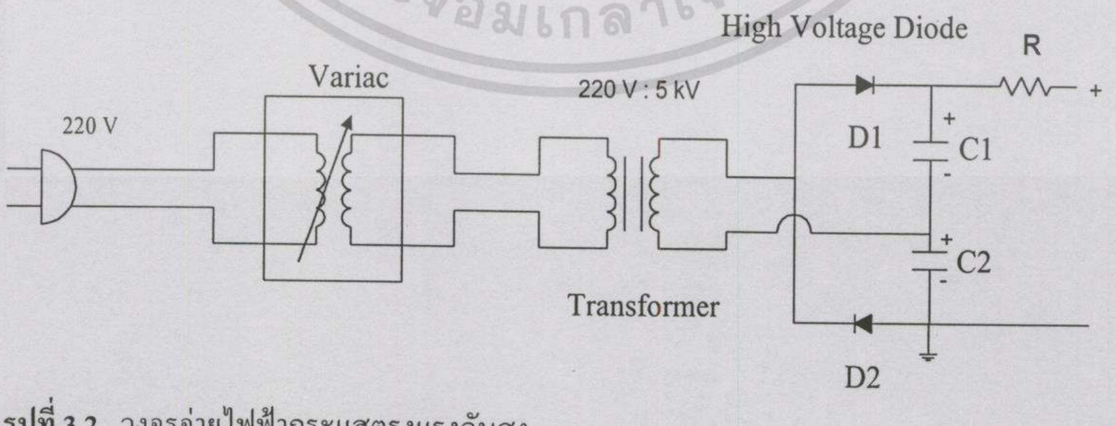
ส่วนประกอบต่าง ๆ ที่สำคัญในการสร้างไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวาง มีดังต่อไปนี้

3.1.2.1 ขั้วไฟฟ้า และช่องเลเซอร์

ขั้วไฟฟ้าทำจากโลหะสแตนเลสขนาด 30×400 ตารางมิลลิเมตร วางขนานกัน 2 อัน ขอบของขั้วไฟฟ้าทั้งสองจะตัดทำมุม 45 องศา เพื่อให้เกิดการดิสชาร์จระหว่างผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าทั้งสองสม่ำเสมอตลอดแนวที่วางขนานกัน สำหรับระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองซึ่งประกอบเป็นช่องเลเซอร์สามารถปรับได้ตามความต้องการตั้งแต่ 0-5 มิลลิเมตร

3.1.2.2 ระบบจ่ายไฟแรงดันสูง

ชุดจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงปรับค่าได้ระหว่าง 0-15 กิโลโวลต์ เพื่อจ่ายให้วงจรบลัมไลน์ ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งเป็นวงจรทวีแรงดันแบบเต็มคลื่น (Full Wave Voltage Multiplier Circuit) ประกอบด้วยหม้อแปลงที่มีแรงดันขาเข้า 220 โวลต์ แรงดันขาออก 5 กิโลโวลต์ สามารถปรับค่าแรงดันขาเข้าได้ด้วยวาริแอค (Variac) ไดโอด (D1 และ D2) สามารถทนแรงดันได้ 15 กิโลโวลต์ ตัวเก็บประจุ (C1 และ C2) มีค่า 0.33 ไมโครฟารัด ตัวต้านทาน (R) มีค่า 100 กิโลโอห์ม 40 วัตต์ ทำหน้าที่จำกัดกระแส (Current Limit)



รูปที่ 3.2 วงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ที่ช่วงสัญญาณแรงดันด้านบวก ไดโอด D1 จะได้รับการไบอัสตรง ส่วนไดโอด D2 ได้รับการไบอัสกลับจึงไม่นำกระแส ทำให้ C1 มีการอัดประจุจนมีค่าเท่ากับค่าแรงดันของขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลง และในช่วงสัญญาณด้านลบ ไดโอด D1 ได้รับการไบอัสกลับ และไดโอด D2 ได้รับการไบอัสตรงทำให้ C2 มีการอัดประจุจนมีค่าเท่ากับค่าแรงดันของขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลง แรงดันที่ตกคร่อม C1 และ C2 จึงมีค่าเป็นสองเท่าของแรงดันของขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลง

3.1.2.3 ตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน

จากวงจรบลัมไลน์ความจุของตัวเก็บประจุ C_2 ต้องมีค่ามากกว่า C_1 อาจจะใช้อัตราส่วนตั้งแต่ 2:1 ขึ้นไป และเพื่อจะให้ความเหนี่ยวนำในวงจรกระตุ้นเลเซอร์มีค่าต่ำมาก ๆดังนั้น C_1 และ C_2 จำเป็นต้องเป็นตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน ในที่นี้สร้างโดยใช้แผ่นไมลาร์ (Mylar) เป็นไดอิเล็กตริกซึ่งมีแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ 2 แผ่นประกบอยู่ โดยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์จะทำหน้าที่เป็นเพลทของตัวเก็บประจุแบบแผ่นไมลาร์ และแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ทั้งหมดนี้จะวางเรียงเป็นชั้นอยู่บนแผ่นอะครีลิกเพื่อให้เรียบ ค่าความจุของ C_1 และ C_2 คำนวณได้จากสูตร

$$C = \varepsilon_r \varepsilon_0 A / d \tag{3.1}$$

เมื่อ C = ค่าความจุของตัวเก็บประจุ มีหน่วยเป็นฟารัด (farad : F)

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

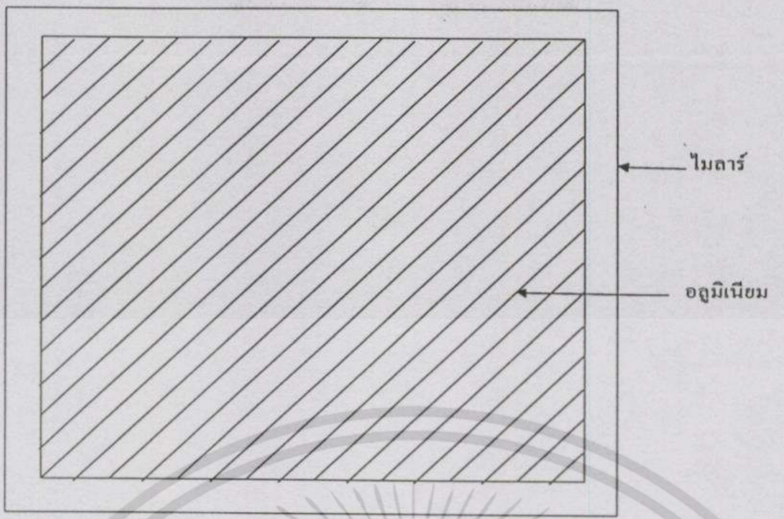
ε_0 = สภาพยอมทางไฟฟ้าของสุญญากาศ มีค่าเท่ากับ 8.85×10^{-12} ฟารัด/ เมตร

A = พื้นที่ผิวของเพลทของตัวเก็บประจุ

d = ความหนาของแผ่นไดอิเล็กตริก

ในงานวิจัยนี้ขั้วไฟฟ้าสแตนเลสมีความยาว 400 มิลลิเมตร ดังนั้นความยาวของแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์จะต้องมีขนาดสั้นกว่าขั้วไฟฟ้าสแตนเลสเล็กน้อย ในงานวิจัยนี้ใช้ความยาว 380 มิลลิเมตร ส่วนความกว้างของแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์สำหรับ C_1 และ C_2 เท่ากับ 90 และ 180 มิลลิเมตร ตามลำดับ สำหรับไมลาร์ที่ใช้จะต้องมีขนาดใหญ่กว่าแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ที่ประกบอยู่พอสมควรทั้งนี้เพื่อป้องกันการอาร์คของไฟฟ้าระหว่างแผ่นอลูมิเนียมทั้งสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

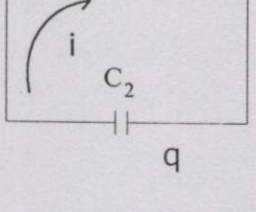


รูปที่ 3.3 ตัวเก็บประจุแผ่นขนานโดยใช้แผ่นไมลาร์เป็นไดอิเล็กทริกวางอยู่ระหว่างแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ 2 แผ่น ซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า(มองจากด้านบน)

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_2ที่ใช้ในวงจรบลัมไลน์ได้แล้ว ต่อไปต้องคำนวณดูว่าความเร็วในการกระตุ้นของวงจรบลัมไลน์ที่ใช้จะสามารถกระตุ้นแก๊สไนโตรเจนได้ในเวลาที่สั้นกว่า 2.6 นาโนวินาที เพื่อทำให้เกิดประชากรผกผันได้หรือไม่นั้นต้องคำนวณหาเวลาที่แรงดันไฟฟ้าขึ้นถึงจุดสูงสุดในวงจรพัลส์ฟอร์มมิง (Pulse Forming) ที่ใช้ซึ่งในที่นี้แทนได้ด้วยวงจรสมมูลย์ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 วงจรพัลส์ฟอร์มมิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกฎของ Kirchoff จะได้ว่า

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

$$\frac{d^2q}{dt^2}+\frac{q}{LC_2}=0 \tag{3.3}$$

$$q = q_m \mathrm{Cos}\,(\omega t+\phi) \tag{3.4}$$

$$\omega=\frac{1}{\sqrt{LC_2}} \tag{3.5}$$

โดยที่ q = ประจุไฟฟ้าในตัวเก็บประจุหน่วยเป็นคูลอมป์

L = ความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำ หน่วยเป็นเฮนรี

ω = ความถี่เชิงมุมของการแกว่งกวัด หน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที

T = คาบของการแกว่งกวัด หน่วยเป็นวินาที

จะได้

$$T=\frac{2\pi}{\omega}=2\pi\sqrt{LC_2} \tag{3.6}$$

เวลาที่แรงดันไฟฟ้าขึ้นถึงจุดสูงสุดในวงจรพัลส์ฟอร์มมิง = T

T_r เป็นเวลาหนึ่งในสี่ของคาบการแกว่งกวัด

$$T_r=\frac{T}{4}=\frac{\pi}{2}\sqrt{LC_2} \tag{3.7}$$

ดังนั้นเวลาที่แรงดันไฟฟ้าขึ้นถึงจุดสูงสุดในวงจรที่สร้างสามารถคำนวณได้โดย

L = ความเหนี่ยวนำในวงจร ซึ่งค่าความเหนี่ยวนำใน C_2 มีค่าสูงกว่าส่วนอื่น ๆ ดังนั้น จึงคิดเฉพาะใน C_2 เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

μ_r = สภาพซึมซาบทางแม่เหล็กสัมพัทธ์ = 1

μ_0 = สภาพซึมซาบได้ทางแม่เหล็กของสุญญากาศ

= $4\pi \times 10^{-8}$ เฮนรี/เมตร

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

l = ความยาวของแผ่นไดอิเล็กตริก = 0.18 เมตร

w = ความกว้างของแผ่นไดอิเล็กทริกวัดขนานไปกับขั้วไฟฟ้า

= 0.38 เมตร

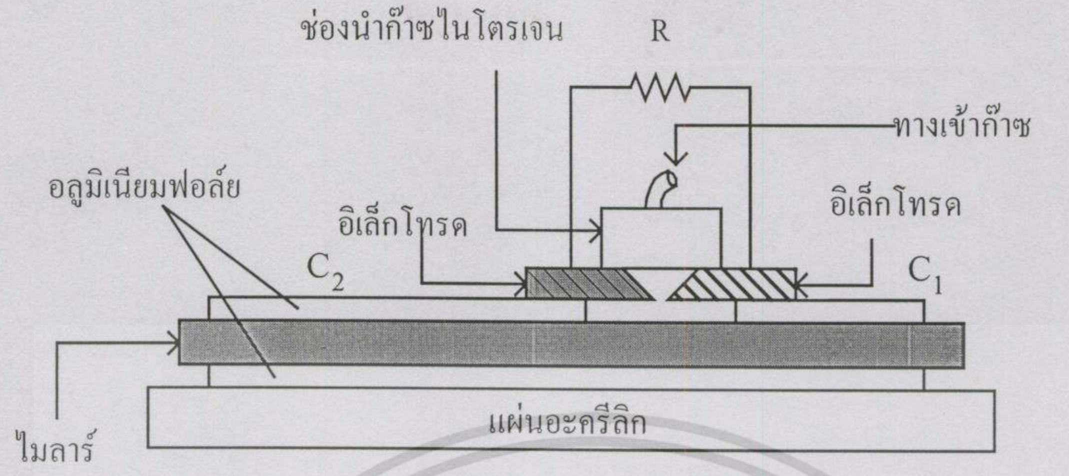
จะได้ $L = 1.26 \times 10^{-7} \times 0.35 \times 10^{-3} \times 0.18/0.38$ เฮนรี = 0.021 นาโนเฮนรี

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

เนื่องจากช่วงชีวิตที่ระดับพลังงาน $C^3\pi_u$ (T_c) ที่ความดันบรรยากาศมีค่า 2.6 นาโนวินาที แต่จากการคำนวณจะเห็นว่า $T_r < T_c$ ดังนั้นวงจรบลัมไลน์ที่สร้างขึ้นจึงสามารถกระตุ้นอิเล็กตรอนที่สถานะพื้นของโมเลกุลไนโตรเจนไปสู่ระดับพลังงาน $C^3\pi_u$ แล้วทำให้เกิดสภาพประชากรผกผันได้ แต่เนื่องจากช่วงชีวิตของระดับพลังงาน $C^3\pi_u$ สั้นกว่าที่ระดับพลังงาน $B^3\pi_g$ การเกิดเลเซอร์เป็นแบบซูเปอร์เรเดียนท์ (Supperradiant) จึงไม่จำเป็นต้องใช้ตัวสั่นพ้องเชิงทัศน์

ในการออกแบบสร้างไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ เพื่อความสะดวกและกระทัดรัดของระบบเลเซอร์ ในการสร้าง C_1 กับ C_2 แผ่นไมลาร์ที่ใช้จะเป็นแผ่นเดียวกัน ส่วนแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์แผ่นล่างก็เป็นแผ่นเดียวกัน แต่แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์แผ่นบนจะแยกกันเพื่อเป็นตัวแยกค่า C_1 และ C_2 ดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

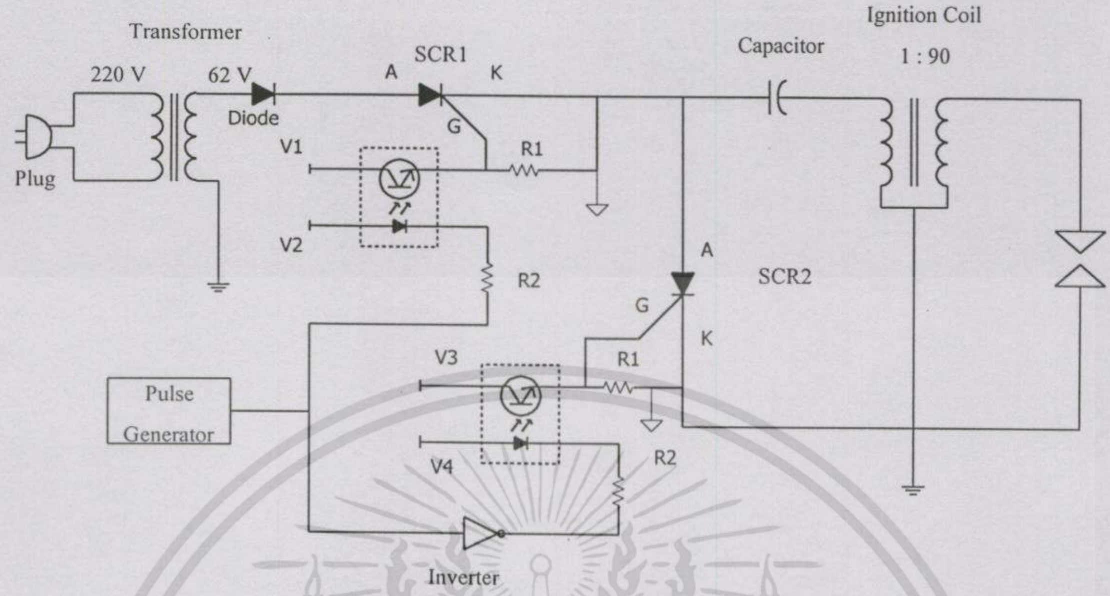


รูปที่ 3.5 ภาพตัดขวางของขั้วไฟฟ้า ซึ่งวางอยู่บนตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 โดย C_1 และ C_2 ใช้แผ่นไมลาร์แผ่นเดียวกัน

3.1.2.4 ชุดวงจรควบคุมจังหวะการเกิดไนโตรเจนเลเซอร์[10]

ชุดวงจรควบคุมจังหวะการเกิดแสงไนโตรเจนเลเซอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ประกอบด้วยหม้อแปลงทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ให้เป็น 62 โวลต์ ไดโอดจะทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับจากหม้อแปลงให้เป็นกระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะยังไม่ไหลผ่านตัว SCR1 จนกว่าจะมีสัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์(Pulse Generator) มากระตุ้นที่ขาเกทของ SCR1 จึงจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังตัวเก็บประจุโดยไม่ผ่าน SCR2 และเมื่อแรงดันที่ขาแอโนดมีค่าที่ต่ำกว่าที่ขาแคโทด SCR1 ก็จะหยุดนำกระแส ในขณะนี้ถ้ามีสัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์มากระตุ้นที่ขาเกท SCR2 ตัวเก็บประจุก็จะเกิดการคายประจุออกมาอย่างรวดเร็วผ่าน SCR2 ทำให้ที่ขดลวดปฐมภูมิของคอยล์จุดระเบิดมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าอย่างรวดเร็ว เกิดอำนาจแม่เหล็กเหนี่ยวนำทำให้เกิดไฟฟ้าแรงดันสูงขึ้นที่ขดลวดทุติยภูมิของคอยล์จุดระเบิด เกิดเป็นประกายไฟที่เขี้ยวของหัวเทียนขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 วงจรควบคุมจังหวะการเกิดไนโตรเจนเลเซอร์

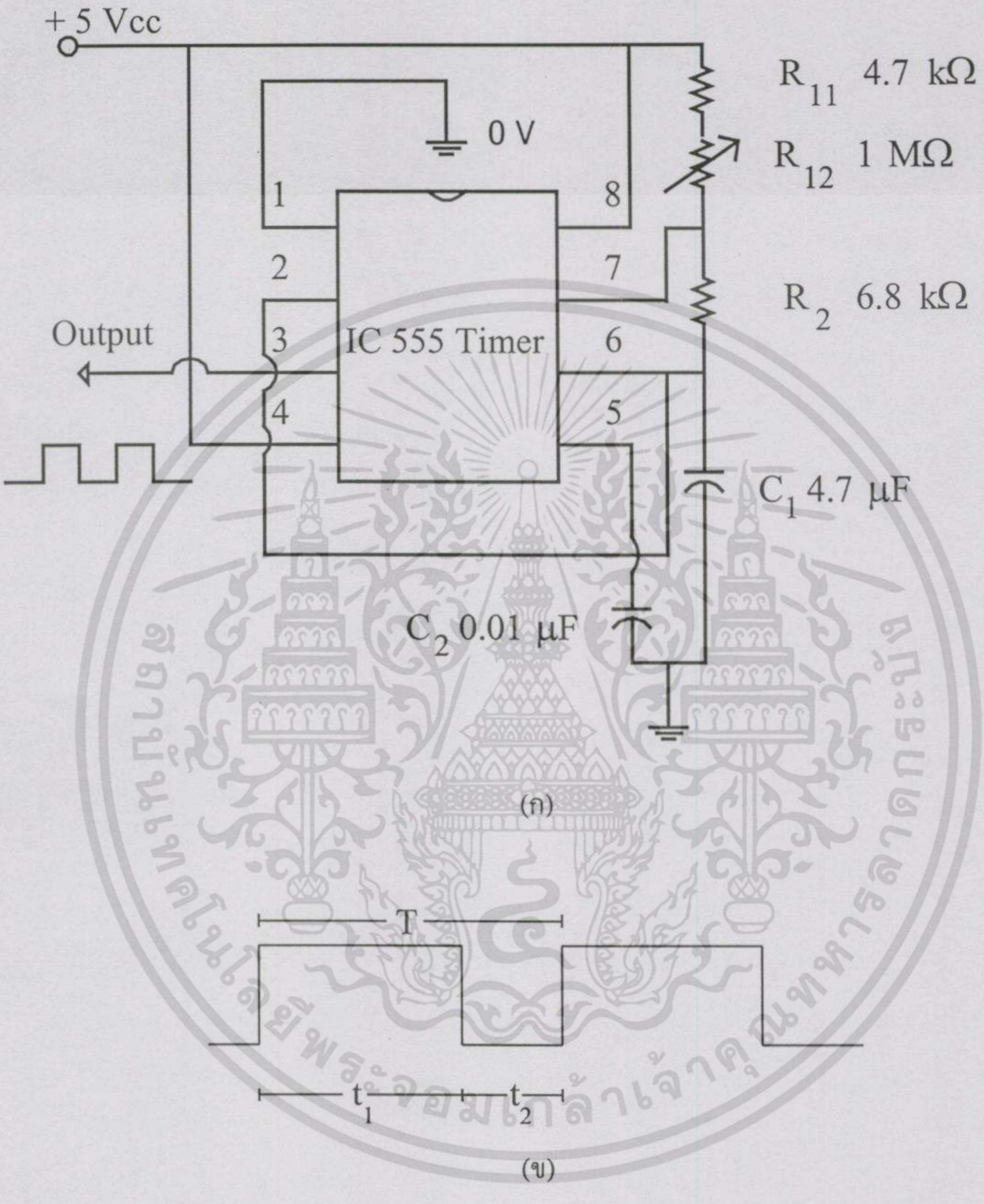
วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse Generator) ที่มากระตุ้นที่ขาเกทของ SCR1 และ SCR2 จะสร้างจากวงจรอะสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์ (Astable Multivibrator) โดยใช้ไอซีแอลเอ็ม 555 ไทเมอร์ (LM 555 Timer) เป็นตัวกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave) ลักษณะของวงจรและลักษณะของสัญญาณที่ออกมาจะแสดงดังรูปที่ 3.7ก และ 3.7ข ตามลำดับ ซึ่งสามารถคำนวณค่าตัวต้านทานที่นำมาต่อในวงจรได้จาก

$$t_1 = 0.693(R_1 + R_2)C_1$$
$$t_2 = 0.693(R_2)C_1$$

เมื่อ t_1 คือ คาบเวลาของสัญญาณด้านบวก t_2 คือ คาบเวลาของสัญญาณด้านลบ

ในงานวิจัยนี้จะออกแบบและสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ให้สามารถปรับค่าความถี่ได้ในช่วง 0.5–10 เฮิร์ต ดังนั้นค่าคาบเวลาใน 1 สัญญาณคลื่น (T) จะมีค่าระหว่าง 0.1–2 วินาที โดยกำหนดให้ t_2 เท่ากับ 0.02 วินาที t_1 จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.08-1.98 วินาที ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าตัวต้านทานที่นำมาต่อในวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.7ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ปรับความถี่ตั้งแต่ 0.5 – 10 เฮิร์ต

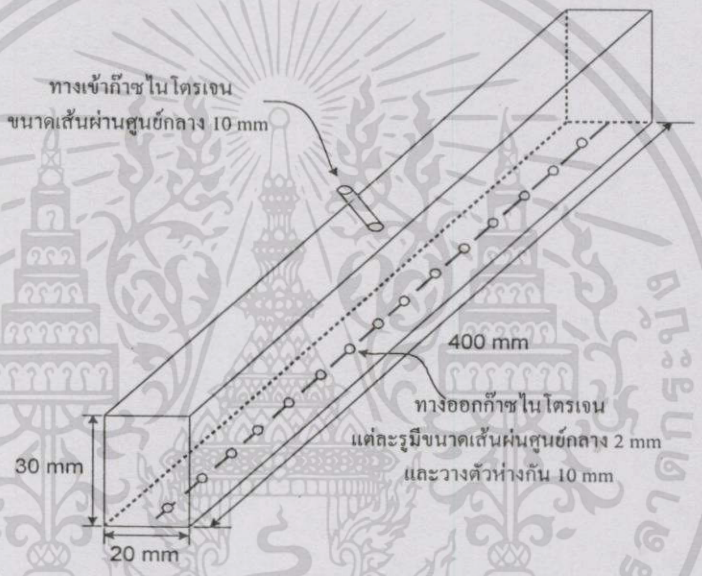
(ก) วงจรมัลติไวเบรเตอร์ที่สร้างจากไอซี LM 555

(ข) ลักษณะสัญญาณขาออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.5 ระบบจ่ายแก๊สไนโตรเจนเข้าสู่ช่องเลเซอร์ ประกอบด้วย

1. ถังแก๊สไนโตรเจนความดัน 2000 ปอนด์/ตารางนิ้วพร้อมเกจวัดความดันและวาล์วควบคุมความดันของการไหลของแก๊สในท่อในช่วงความดัน 0-200 ปอนด์/ตารางนิ้ว (ความดันบรรยากาศ = 14.7ปอนด์/ตารางนิ้ว)
2. สายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 10 มิลลิเมตร
3. กล่องนำแก๊สเข้าสู่ช่องเลเซอร์ ได้จากการตัดแผ่นอะครีลิก พร้อมกับเจาะรูแก๊สเข้า แล้วนำมาประกอบกันเป็นกล่องสี่เหลี่ยมโดยใช้น้ำยาเชื่อมประสานอะครีลิกดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 รูปร่างและขนาดของกล่องนำแก๊สไนโตรเจน

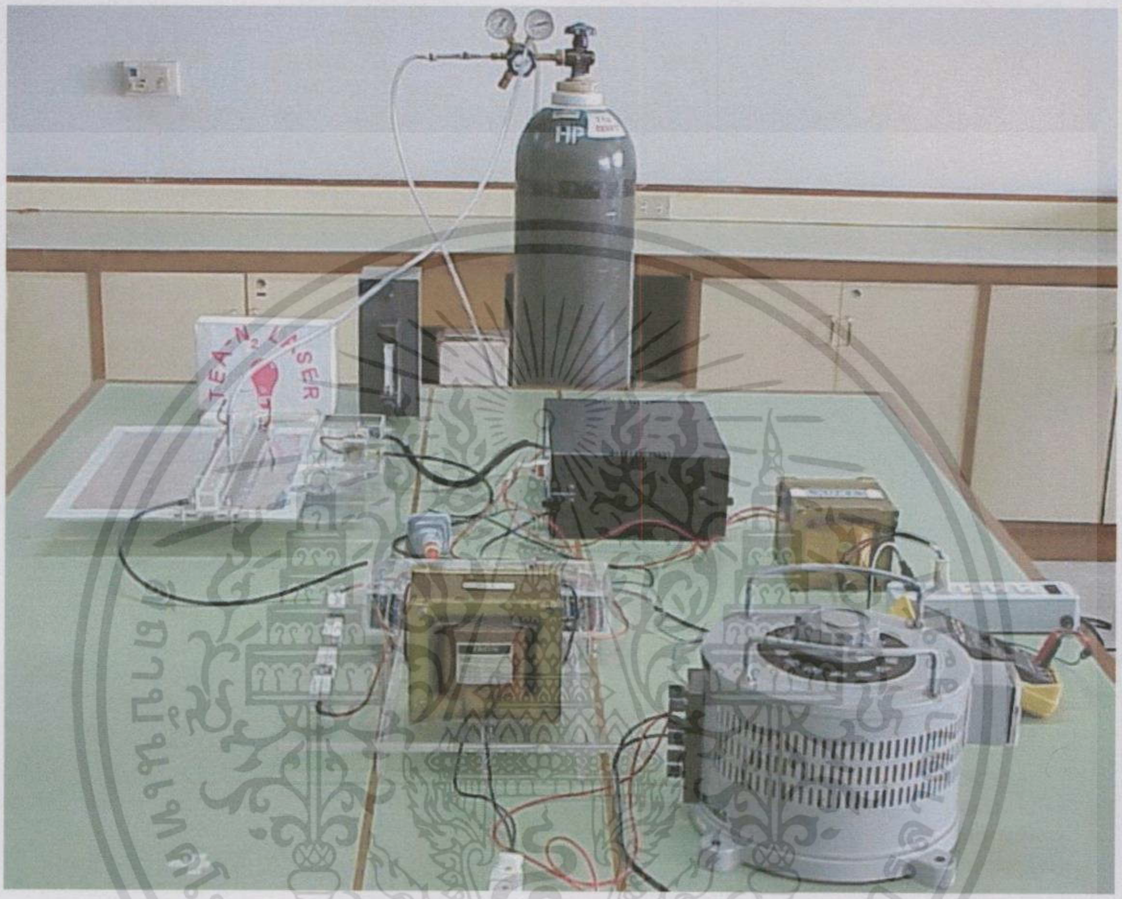
3.1.3 ขั้นตอนการประกอบระบบไนโตรเจนเลเซอร์

หลังจากที่ทำการออกแบบและสร้างส่วนต่าง ๆ ของระบบไนโตรเจนเลเซอร์เสร็จเรียบร้อยแล้ว จะได้ระบบเลเซอร์ที่มีองค์ประกอบหลักดังนี้

1. ขั้วอิเล็กโทรดหรือขั้วไฟฟ้าสแตนเลสขนาด 30 × 400 ตารางมิลลิเมตร
2. ชุดจ่ายไฟแรงสูงกระแสตรง ปรับแรงดันไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0 - 15 กิโลโวลต์
3. ตัวเก็บประจุแผ่นขนาน C_1 , C_2 ขนาดความจุ 2.6 และ 5.2 นาโนฟารัด ตามลำดับ
4. ชุดวงจรควบคุมจังหวะการเกิดแสงไนโตรเจนเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำส่วนประกอบต่าง ๆ มาประกอบเข้าด้วยกันจะได้ระบบไนโตรเจนเลเซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.9 ซึ่งเป็นภาพถ่ายระบบไนโตรเจนเลเซอร์ที่สร้างขึ้น

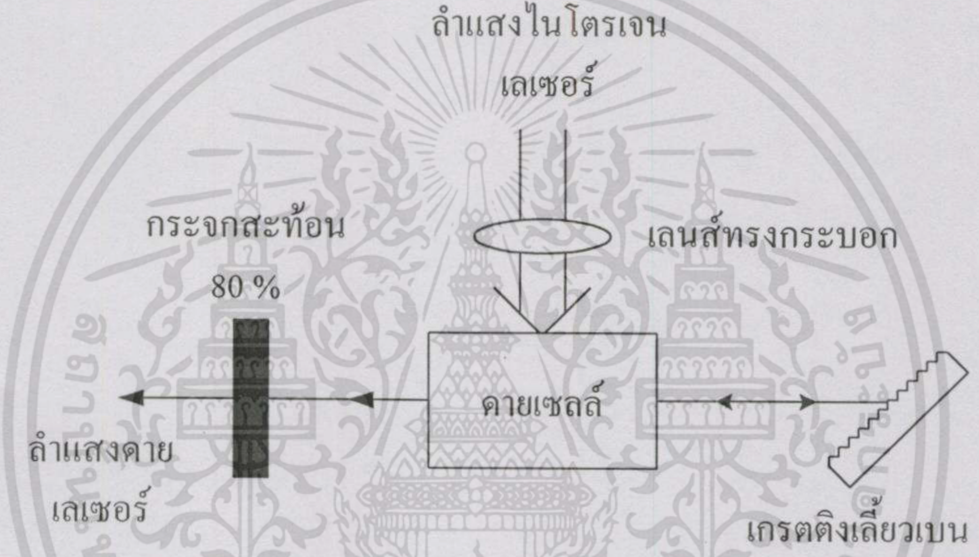


รูปที่ 3.9 ภาพถ่ายระบบไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่จัดสร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2. การจัดวางไนโตรเจนเลเซอร์สำหรับปั๊มระบบดายเลเซอร์

การจัดวางไนโตรเจนเลเซอร์สำหรับปั๊มระบบดายเลเซอร์ดังรูปที่ 3.10 ประกอบด้วยไนโตรเจนเลเซอร์ที่เป็นตัวเพิ่มพลังงานให้กับสารละลายดายที่บรรจุอยู่ภายในดายเซลล์ที่ทำจากควอทซ์ที่มีการเคลือบผิวลดการสะท้อน (Antireflection Coating) ขนาดบรรจุ 0.4×0.8×1 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีกระจกสะท้อน 80% เป็นกระจกหน้าและใช้เกรตติงชนิด 1800 เส้น/มิลลิเมตร เป็นตัวเลือกความยาวคลื่นแสงโดยติดไว้ที่ด้านหลัง



รูปที่ 3.10 การจัดวางไนโตรเจนเลเซอร์สำหรับปั๊มระบบดายเลเซอร์

ในการจัดวางไนโตเจนเลเซอร์สำหรับปั๊มระบบดายเลเซอร์นั้น มีสิ่งที่ต้องคำนึงถึง คือ สมบัติบางประการของลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์ โดยเฉพาะขนาดของลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์และการลู่ออกของแสง ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องนำไปคำนวณหาตำแหน่งในการวางดายเซลล์ สิ่งที่ต้องพิจารณาต่อมาคือคุณสมบัติของเกรตติงที่ใช้ รวมทั้งหลักการคำนวณค่าต่างๆ ของเกรตติงทั้งความยาวคลื่นและค่ามุม ประการสุดท้ายที่จะพิจารณา คือ ความเข้มข้นของสารละลายดายที่บรรจุลงในดายเซลล์จะต้องมีความเข้มข้นที่เหมาะสมจึงจะทำให้เกิดดายเลเซอร์ได้ ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การคำนวณหาตำแหน่งที่วางดายเซลล์

ในการคำนวณหาระยะห่างของดายเซลล์จากชุดไนโตรเจนเลเซอร์นั้น จะคำนวณโดยพิจารณาให้แสงจากไนโตรเจนเลเซอร์ตกกระทบที่ดายเซลล์ในแนวนอนมีระยะมากกว่าพื้นที่หน้าตัดของดายเซลล์ ในงานวิจัยนี้ใช้ดายเซลล์ที่มีแนวการรับแสงในแนวนอนมีขนาด 0.8 เซนติเมตร จึงต้องจัดให้แสงจากไนโตรเจนเลเซอร์ตกกระทบที่ดายเซลล์มากกว่า 0.8 เซนติเมตร (เลือกใช้ที่ 1 เซนติเมตร) ดังนั้นจะต้องทำการวางดายเซลล์ให้ห่างจากชุดไนโตรเจนเลเซอร์โดยพิจารณาจากสมบัติของแสงที่ออกมา และการลู่ออกของแสง ดังแสดงในรูปที่ 3.11

สมบัติของไนโตรเจนเลเซอร์ที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้มีการลู่ออกของแสงแบบ full angle ในแนวตั้งและแนวนอน 4.7×9.0 มิลลิเรเดียน และมีขนาดของแสงเมื่อวัดที่ตำแหน่งแสงเลเซอร์ออก (Laser Output) ในแนวตั้งและแนวนอนเป็น 0.28 และ 0.42 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดังแสดงในผลการทดลองบทที่ 4) พิจารณาเฉพาะขนาดของแสงในแนวนอนจะได้ว่าถ้าต้องการแสงที่มีขนาด 1 เซนติเมตร โดยแสงมีการลู่ออกแบบ full angle 9.0 มิลลิเรเดียน จะมีการลู่ออกแบบ half angle เท่ากับ 4.5 มิลลิเรเดียน สามารถคำนวณหาตำแหน่งในการวางดายเซลล์ได้จากสมการที่ (3.8)

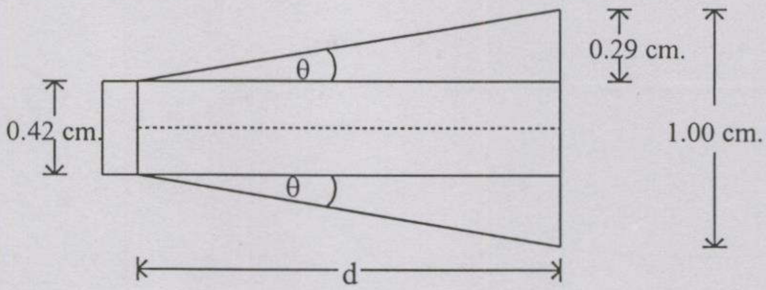
$$\tan\theta = \frac{\text{ด้านตรงข้ามมุม}\theta}{\text{ด้านประชิดมุม}\theta}$$

$$d = \frac{\text{ด้านตรงข้ามมุม}\theta}{\tan\theta} \tag{3.8}$$

จะได้ $$d = \frac{0.29}{\tan(4.5\times 10^{-3})} = 64.44 \quad \text{เซนติเมตร}$$

นั่นคือต้องวางดายเซลล์ห่างจากชุดไนโตรเจนเลเซอร์เป็นระยะทาง 64.44 เซนติเมตรในแนวขนานกับลำแสง จึงจะทำให้แสงจากชุดไนโตรเจนเลเซอร์ตกกระทบที่ดายเซลล์มีขนาด 1 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 การลู่ออกของลำแสงในไนโตรเจนเลเซอร์

3.2.2 เกรตติงเลี้ยวเบน (Diffraction grating)[11]

เกรตติงเป็นอุปกรณ์ทางแสงชนิดหนึ่งซึ่งมีลักษณะเป็นช่องเล็ก ๆ จำนวนมาก แต่ละช่องอยู่ห่างกันเป็นระยะ a แสงที่ออกจากแต่ละช่องของเกรตติงจะเกิดการแทรกสอดกันเกิดเป็นแถบมืดและแถบสว่างซึ่งแยกออกจากกันได้อย่างชัดเจน จึงมีการนำเกรตติงมาใช้เป็นตัวแยกลำแสงหรือใช้ในการวัดความยาวคลื่น ซึ่งจะพิจารณาจากสมการของเกรตติงดังต่อไปนี้

ในกรณีที่ลำแสงตกกระทบทำมุม α กับเส้นปกติ (Normalline) ดังรูปที่ 3.12 จะหาความแตกต่างของระยะทาง (Path Difference) ได้เป็น

$$\Delta = \overline{I_2H} + \overline{I_2K} \tag{3.9}$$

จากรูป
$$\overline{I_2H} = a\sin\alpha \tag{3.10}$$

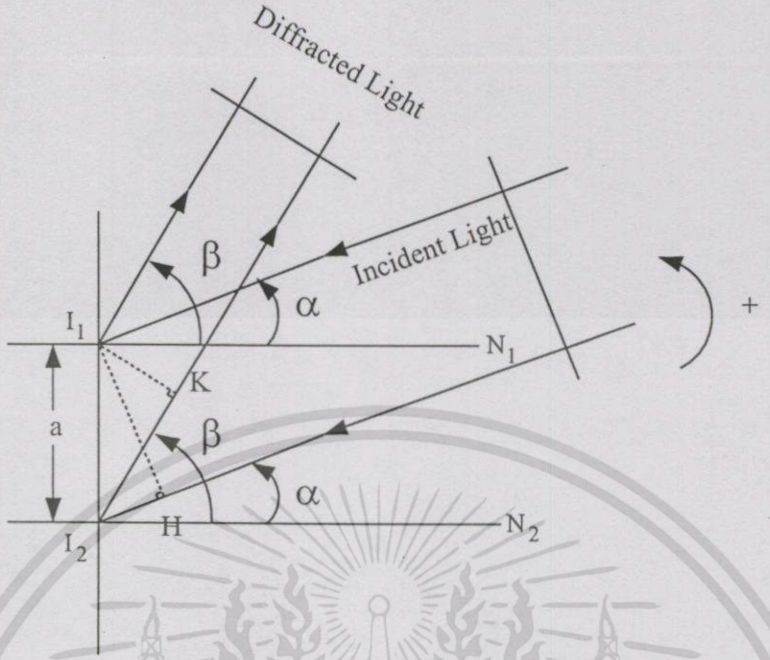
และ
$$\overline{I_2K} = a\sin\beta \tag{3.11}$$

เมื่อ
$$\overline{I_1I_2} = a = \text{ระยะห่างระหว่างช่องของเกรตติง}$$

แทนค่าจากสมการที่ (3.10) และ (3.11) ลงใน (3.9) จะได้

$$\begin{aligned}\Delta &= a\sin\alpha + a\sin\beta \\ &= a(\sin\alpha + \sin\beta)\end{aligned} \tag{3.12}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 การกระจายแสงของเกรตติง[12]

จาก[11]ได้ว่า $\Delta = k\lambda$

เมื่อ $k = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$

จะได้ $\Delta = a(\sin\alpha + \sin\beta) = k\lambda$

$$\sin\alpha + \sin\beta = \frac{k\lambda}{a} \tag{3.13}$$

เรียกสมการที่ (3.13) ว่าสมการของเกรตติงเลี้ยวเบน (Diffraction Grating Equation)[12]

หรืออาจจะเขียนได้ว่า

$$\sin\alpha + \sin\beta = nk\lambda \tag{3.14}$$

เมื่อ $n = \frac{1}{a}$ ซึ่งเป็นจำนวนช่องต่อหนึ่งหน่วยความยาวของเกรตติง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (3.14) เทอมทางซ้ายมืออาจมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้ขึ้นอยู่กับทิศทางของ β ของลำแสงเลี้ยวเบน ดังนั้นถ้าต้องการให้สมการที่ (3.14) ใช้ได้ในทุกกรณีจะต้องกำหนดเครื่องหมายของมุมตกกระทบและเครื่องหมายของมุมเลี้ยวเบน ซึ่งในที่นี้จะกำหนดให้มุม α และ β มีค่าเป็นบวกเมื่อมีทิศทวนเข็มนาฬิกาและมีค่าเป็นลบเมื่อมีทิศตามเข็มนาฬิกาโดยวัดเทียบกับเส้นปกติ

จากสมการที่ (3.14) พบว่ากรณีที่ k = 0 เกิดขึ้นเมื่อ β = -α หมายความว่าลำแสงเลี้ยวเบนในกรณีนี้คือแสงสะท้อนนั่นเอง ที่ตำแหน่งของแสงสะท้อนจะไม่มีการแยกสเปกตรัมของแสง นั่นคือที่อันดับ k = 0 จะเป็นแถบสว่างที่ประกอบด้วยแสงทุกความยาวคลื่น ส่วนอันดับที่สูงขึ้น ทั้งค่า k ที่เป็นบวกและเป็นลบ จะทำให้แถบหรือเส้นสเปกตรัมปรากฏอยู่ทั้งสองข้างของแถบสว่างกลาง สำหรับกรณีที่แสงตกกระทบมีทิศทางคงที่ ค่า β ของแถบสว่างในอันดับที่ k ไม่เท่ากับศูนย์ จะมีค่าขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น ถ้าแหล่งกำเนิดมีหลายความยาวคลื่น เกรตติงจะทำการแยกแสงแต่ละความยาวคลื่นได้โดยทำให้เกิดเส้นสเปกตรัมแยกกัน ด้วยเหตุนี้เกรตติงจึงมีประโยชน์มากในการใช้วัดความยาวคลื่นของแสงและการวิเคราะห์สเปรกตรัม

ในงานวิจัยนี้จะนำเกรตติงมาใช้งานใน 2 ลักษณะคือนำเกรตติงมาใช้ในการวัดความยาวคลื่นของลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์ซึ่งวิธีการ รายละเอียดและผลที่ได้จะกล่าวถึงในบทที่ 4 ต่อไป ในบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะการนำเกรตติงมาใช้เป็นตัวสั่นพ้องเชิงทัศน์โดยจัดวางเกรตติงไว้ทางด้านหลังของระบบดายเลเซอร์ในแบบที่เรียกว่า Littrow คือให้ β = α จากสมการที่ (3.14) จะได้เป็น

$$2\sin\beta = nk\lambda \qquad (3.15)$$

ดังนั้นจะต้องทำการจัดมุมของแสงเลี้ยวเบนให้มีขนาดสัมพันธ์กับค่าความยาวคลื่นที่ต้องการ เช่นหากต้องการให้ลำแสงจากดายเลเซอร์มีความยาวคลื่น 580 นาโนเมตร พิจารณาจากสมการที่ (3.15) จะต้องจัดมุมของแสงเลี้ยวเบนให้มีขนาด

$$\beta = \sin^{-1}\left(\frac{nk\lambda}{2}\right) = 31.47 \text{ องศา}$$

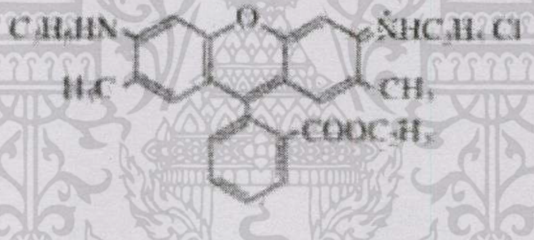
เมื่อ k = 1 n = 1800 เส้น/มิลลิเมตร λ = 580 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การเตรียมความเข้มข้นสารละลายดาย

ในการส่งผ่านลำแสงจากไนโตรเจนเลเซอร์ไปยังดายเซลล์ที่บรรจุด้วยสารละลายดาย พบว่าความเข้มข้นของสารละลายดายจะมีผลเป็นอย่างมากในการทำให้เกิดการวาวแสง (Florescence) ของสารละลายดาย นั่นคือหากว่าสารละลายดายมีความเข้มข้นมากเกินไป แสงจากไนโตรเจนเลเซอร์ก็ไม่สามารถทะลุผ่านเข้าไปในสารละลายดายได้เลย จะถูกดูดกลืนอยู่ที่บริเวณผิวหน้า แต่ถ้าสารละลายดายมีความเจือจางมากแสงจากไนโตรเจนเลเซอร์ก็จะทะลุผ่านเข้าไปภายในสารละลายมากเกินไป จึงทำให้เกิดการดูดกลืนอยู่ภายในหมด ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงความเข้มข้นของสารละลายดายที่บรรจุลงในดายเซลล์ให้มีค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุด

ในงานวิจัยนี้ใช้สารดายชนิดโรดามีน 6 จี ทำละลายในเอทานอล 99% จึงจะกล่าวถึงเฉพาะการเตรียมสารละลายดายชนิดโรดามีน 6 จีเท่านั้น ซึ่งโครงสร้างของโรดามีน 6 จีจะแสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 โครงสร้างของสารโรดามีน 6 จี[3]

จากสูตรโครงสร้างโมเลกุลของดาย พบว่าจะเป็นพันธะแบบไฮโดรคาร์บอนมีสูตรโมเลกุลเขียนได้เป็น $C_{28}H_{31}O_3N_2Cl$ ซึ่งคำนวณหามวลโมเลกุลได้โดย

มวลโมเลกุลของโรดามีน 6 จี $= (12.01115 \times 28) + (1.00800 \times 31) + (15.99900 \times 3)$

$+ (14.00670 \times 2) + (35.45300 \times 1)$

ดังนั้นโรดามีน 6 จี 1 โมลมีมวลโมเลกุล $=$ 479.0236

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	H มีมวลอะตอม	=	1.00800
	N มีมวลอะตอม	=	14.00670
	O มีมวลอะตอม	=	15.99900
	Cl มีมวลอะตอม	=	35.45300
	C มีมวลอะตอม	=	12.01115

การเตรียมสารละลายชนิดโรดามีน 6 จี มีขั้นตอนดังนี้

1. การหาปริมาณโรดามีน 6 จี ที่ต้องการใช้ (หน่วยเป็นกรัม)

เนื่องจากโรดามีน 6 จี มีมวลโมเลกุล 479.0236 นั่นคือ 1 โมลของโรดามิน 6 จี มีมวล 479.0236 กรัม ดังนั้นมวลของโรดามิน 6 จี ที่ต้องใช้เพื่อให้ได้จำนวนโมลที่ต้องการ สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$X = (Mol)(MW) \tag{3.16}$$

เมื่อ X คือ มวลของสารโรดามีน 6 จี ที่ต้องการหา (หน่วยเป็นกรัม)
MW คือ มวลโมเลกุลของโรดามีน 6 จี มีค่าเท่ากับ 479.0236
Mol คือ จำนวนโมลของสารที่ต้องการ

ตัวอย่างเช่นต้องการสารโรดามีน 6 จี จำนวน 1×10^{-2} โมล จะสามารถคำนวณหาน้ำหนักได้จากสมการที่ (3.16)

$$X = (1\times10^{-2})(479.0236)$$

$$= 4.7902 \quad \text{กรัม}$$

2. เมื่อทราบปริมาณของสารโรดามีน 6 จี ที่ต้องการ (X) จากข้อ (1) แล้ว ทำการชั่งสารโรดามีน 6 จี ด้วยเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ให้ได้มวลตามค่าที่คำนวณได้ (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)
3. นำสารละลายโรดามีนที่ได้จากการชั่งในข้อ (2) มาละลายในเอทานอล 99% แล้วเติมเอทานอลจนสารละลายมีปริมาตรครบ 1 ลิตร จะได้สารละลายโรดามีน 6 จี มีความเข้มข้นตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากไม่ต้องการสารละลายมากถึง 1 ลิตร อาจทำการเตรียมสารละลายในปริมาณเท่าที่ต้องการได้เช่น ต้องการสารละลายโรดามีน 6 จี ความเข้มข้น 1×10^{-2} โมล/ลิตร ที่มีปริมาตรเพียง 10 มิลลิลิตรเท่านั้น สามารถเตรียมได้โดย

ขั้นแรกต้องทำการคำนวณก่อนว่าในสารละลายโรดามิน 6 จี ความเข้มข้น 1×10^{-2} โมล ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จะมีสารโรดามิน 6 จีเป็นจำนวนเท่าไร จากค่าที่คำนวณได้พบว่าสารละลายโรดามิน 6 จี ที่มีความเข้มข้น 1×10^{-2} โมล ปริมาตร 1 ลิตร (1 ลิตร = 1,000 มิลลิลิตร) จะมีสารโรดามิน 6 จี 4.7902 กรัม ดังนั้นในสารละลายโรดามิน 6 จี ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จะมีสารโรดามีน 6 จีเป็นจำนวน $\frac{4.7902\times10}{1000} = 0.0479$ กรัม

ขั้นต่อมานำสารโรดามิน 6 จี หนัก 0.0479 กรัม ที่ชั่งได้ละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ 99% แล้วเติมเอทิลแอลกอฮอล์จนสารละลายมีปริมาตรครบ 10 มิลลิลิตร ก็จะได้สารละลายโรดามิน 6 จี ที่มีความเข้มข้น 1×10^{-2} โมล/ลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตรตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง ผลการทดลอง และอภิปรายผลการทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดสอบการทำงานของไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ การหาสภาวะที่ทำให้เกิดแสงเลเซอร์ที่ดีที่สุด เช่น อัตราการไหลของแก๊ส ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนให้กับชุดไนโตรเจนเลเซอร์เป็นต้น และศึกษาสมบัติของลำแสงไนโตรเจนบางประการ เช่น การลู่ออกของลำแสง ความกว้างของลำแสง ความยาวคลื่น และส่วนสุดท้ายจะกล่าวถึงการทดสอบการทำงานของไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศเมื่อนำไปใช้ปั๊มระบบดายเลเซอร์ รวมทั้งสังเกตหาค่าความเข้มข้นของสารละลายดายที่เหมาะสม และวัดการลู่ออกของแสงจากระบบดายเลเซอร์ ซึ่งจะกล่าวถึงวิธีการทดลอง ผลการทดลอง และการอภิปรายผลการทดลองแยกเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

4.1 การทดสอบการทำงานของไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ และศึกษาสมบัติของแสงเลเซอร์

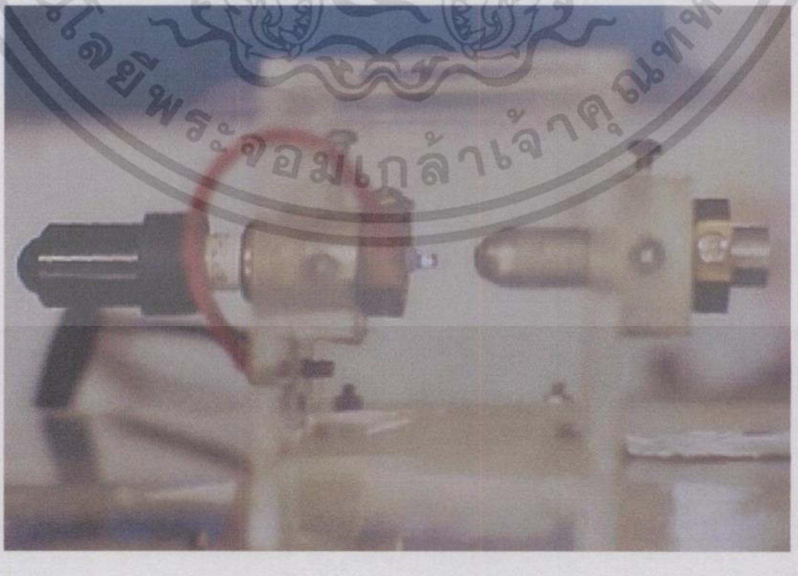
4.1.1 ทดสอบการทำงานของไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ

1. จัดชุดกำเนิดแสงไนโตรเจนเลเซอร์โดยปรับระยะห่างของขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 2.286 มิลลิเมตร โดยใช้ฟิลเลอร์ที่ใช้สำหรับวัดระยะห่างของเขี้ยวหัวเทียนรถยนต์
2. ตั้งระยะของสปาร์กแกป ให้ห่างกัน 6.706 มิลลิเมตร โดยใช้ฟิลเลอร์เช่นกัน
3. เปิดสวิตซ์ที่ชุดจุดระเบิดหัวเทียนเพื่อให้ชุดจุดระเบิดหัวเทียนควบคุมจังหวะของการเกิดแสงเลเซอร์ สังเกตผลที่เกิดขึ้นที่เขี้ยวหัวเทียน
4. ป้อนแรงดันจากชุดจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงให้กับชุดไนโตรเจนเลเซอร์ เพิ่มแรงดันช้า ๆ จนเกิดการสปาร์กที่ขั้วไฟฟ้า สังเกตผลที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าและสังเกตดูว่าเกิดแสงเลเซอร์หรือไม่ โดยสังเกตจากฉากรับแสงที่ติดกระดาษเรืองแสงหรือกระดาษขาว ถ้าเกิดแสงเลเซอร์จะสังเกตเห็นจุดสว่างขึ้นที่ฉากรับแสง
5. ปล่อยแก๊สไนโตรเจนที่มีความบริสุทธิ์ 99.99% เข้าไปยังช่องเลเซอร์ด้วยอัตราการไหลของแก๊ส 0.5 ลิตร/นาที สังเกตที่ฉากรับแสงว่าเกิดแสงเลเซอร์หรือไม่
6. สรุปและวิเคราะห์ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

เมื่อเปิดสวิตซ์ที่ชุดจุดระเบิดหัวเทียนให้ชุดจุดระเบิดหัวเทียนทำงานเพื่อควบคุมจังหวะของการเกิดเลเซอร์ จะสังเกตเห็นประกายไฟที่เขี้ยวหัวเทียนตามจังหวะการกระตุ้นดังแสดงในรูปที่ 4.1 เมื่อปรับแรงดันจากชุดจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงให้กับชุดไนโตรเจนเลเซอร์ เพิ่มแรงดันขึ้นช้า ๆ จนแรงดันมีค่าประมาณ 11.5 กิโลโวลต์ จะเริ่มเกิดการสปาร์กที่ขั้วไฟฟ้าแต่เกิดขึ้นเพียงครั้งเดียว เมื่อเพิ่มแรงดันสูงขึ้นจนถึงที่ 12 กิโลโวลต์ จะเกิดการสปาร์กที่มากขึ้นแต่ยังไม่สม่ำเสมอนัก เมื่อเพิ่มแรงดันมากขึ้นจนถึงที่ 12.5 กิโลโวลต์ จะเกิดการสปาร์กที่ขั้วไฟฟ้าที่สม่ำเสมอ สังเกตที่ฉากรับแสงพบว่าไม่เกิดจุดแสงเลเซอร์ขึ้นแต่เห็นเป็นลักษณะของแสงจากการสปาร์ก เมื่อเพิ่มแรงดันสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงที่ 14.5 กิโลโวลต์ จะสังเกตเห็นผลที่ฉากรับแสงได้เช่นเดียวกันซึ่งลักษณะการสปาร์กที่ขั้วไฟฟ้าและลักษณะของแสงที่ปรากฏที่ฉากรับแสงแสดงดังรูปที่ 4.2 และ 4.3ก ตามลำดับ เมื่อปรับแรงดันจากชุดจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงลดลงมาที่ 12.5 กิโลโวลต์ แล้วปล่อยแก๊สไนโตรเจนที่มีความบริสุทธิ์ 99.99% เข้าไปยังช่องเลเซอร์ด้วยอัตราการไหลของแก๊ส 0.5 ลิตร/นาที สังเกตที่ฉากรับแสงจะเริ่มเห็นเป็นจุดแสงเลเซอร์บ้างในบางครั้งแต่ยังไม่ชัดเจนมากนัก เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นเรื่อย ๆ พบว่าจุดแสงจะเข้มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนที่ค่าแรงดัน 14.5 กิโลโวลต์พบว่าจุดแสงเลเซอร์ที่ปรากฏที่ฉากจะมีความเข้มมากที่สุด ซึ่งลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์มีลักษณะที่ไม่เป็นวงกลมแต่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าดังแสดงในรูปที่ 4.3ข



รูปที่ 4.1 การเกิดการสปาร์กที่เขี้ยวหัวเทียน เมื่อเปิดสวิตซ์ที่ชุดจุดระเบิดหัวเทียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 การเกิดการสปาร์กที่ขั้วไฟฟ้า

(ก) (ข)

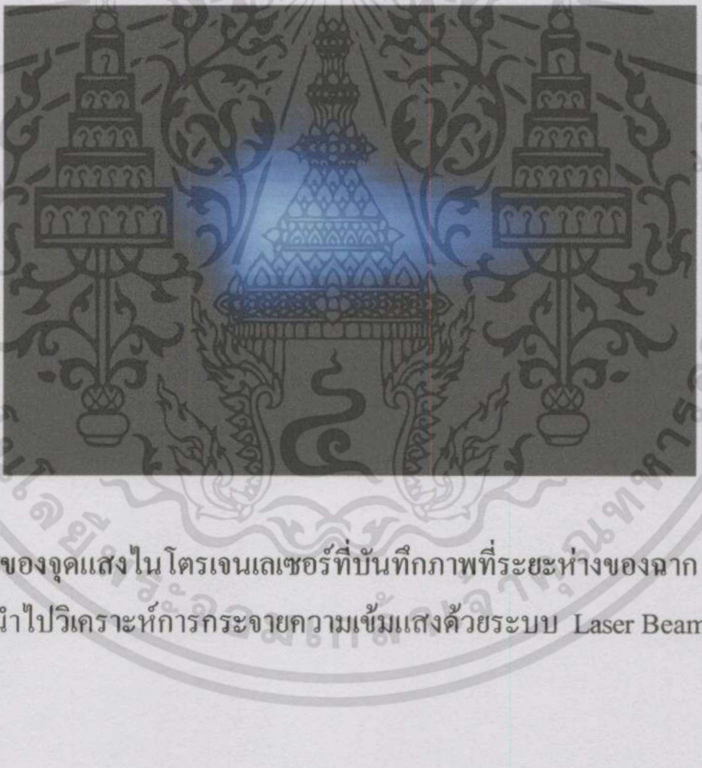
รูปที่ 4.3 ลักษณะของแสงที่ปรากฏที่ฉากรับแสง (ติดด้วยกระดาษขาว) วางฉากห่างจากชุดไนโตรเจนเลเซอร์ 20 เซนติเมตร

(ก) แสงที่เกิดจากการสปาร์กที่ขั้วไฟฟ้าเมื่อยังไม่ได้ปล่อยแก๊สไนโตรเจนเข้าระบบ (เป็นเพียงแสงจากการสปาร์ก)

(ข) แสงที่เกิดจากการสปาร์กที่ขั้วไฟฟ้าเมื่อปล่อยแก๊สไนโตรเจนเข้าระบบที่อัตราการไหลของแก๊ส 0.5 ลิตร/นาที (เกิดเป็นจุดแสงเลเซอร์)

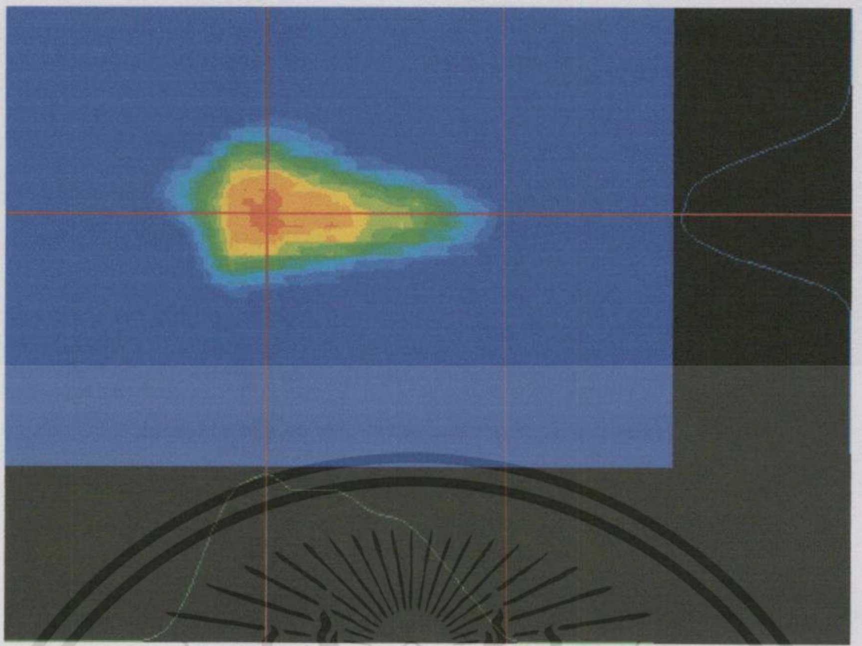
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการบันทึกภาพจุดแสงที่ปรากฏที่ฉาก (วางฉากห่างจากช่องที่แสงเลเซอร์ออกเป็นระยะ 20 เซนติเมตร) ด้วยกล้องถ่ายรูป Pantax รุ่น Super A ใช้เลนส์ขนาด 50 มิลลิเมตร เปิดหน้ากล้องไว้ที่ 1.7 และตั้งชัตเตอร์ไว้ที่ B นำภาพที่บันทึกได้ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ไปวิเคราะห์การกระจายความเข้มแสงภายในจุดแสงไนโตรเจนเลเซอร์ด้วยระบบ Laser Beam Profiler ที่พัฒนาขึ้นโดยภาพวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สจล. พบว่าได้ลักษณะการกระจายความเข้มแสงใน 2 มิติ และโครงร่างของลำแสงตามแนวแกนนอนและแกนตั้งแสดงดังรูปที่ 4.5ก โดยแถบแสงสีแดงจะแสดงถึงบริเวณที่มีความเข้มมากที่สุด แถบแสงสีส้ม สีเหลือง สีเขียว สีน้ำเงิน และ สีม่วง จะแสดงถึงบริเวณที่มีความเข้มที่น้อยลงตามลำดับ จากรูปที่ 4.5ก พบว่าบริเวณตรงกลางของจุดแสงไนโตรเจนจะมีความเข้มมากที่สุด และลักษณะการกระจายความเข้มแสงใน 3 มิติ แสดงดังรูปที่ 4.5ข



รูปที่ 4.4 ลักษณะของจุดแสงไนโตรเจนเลเซอร์ที่บันทึกภาพที่ระยะห่างของฉาก 20 เซนติเมตร (ภาพที่นำไปวิเคราะห์การกระจายความเข้มแสงด้วยระบบ Laser Beam Profiler)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.5 การกระจายความเข้มแสงภายในจุดแสงในโตรเจนเลเซอร์ (วัดด้วยระบบ Laser Beam Profiler ที่พัฒนาขึ้นโดยภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง)

(ก) การกระจายความเข้มแสงใน 2 มิติพร้อมโครงร่างของลำแสงตามแกนนอนและแกนตั้ง

(ข) การกระจายความเข้มแสงใน 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

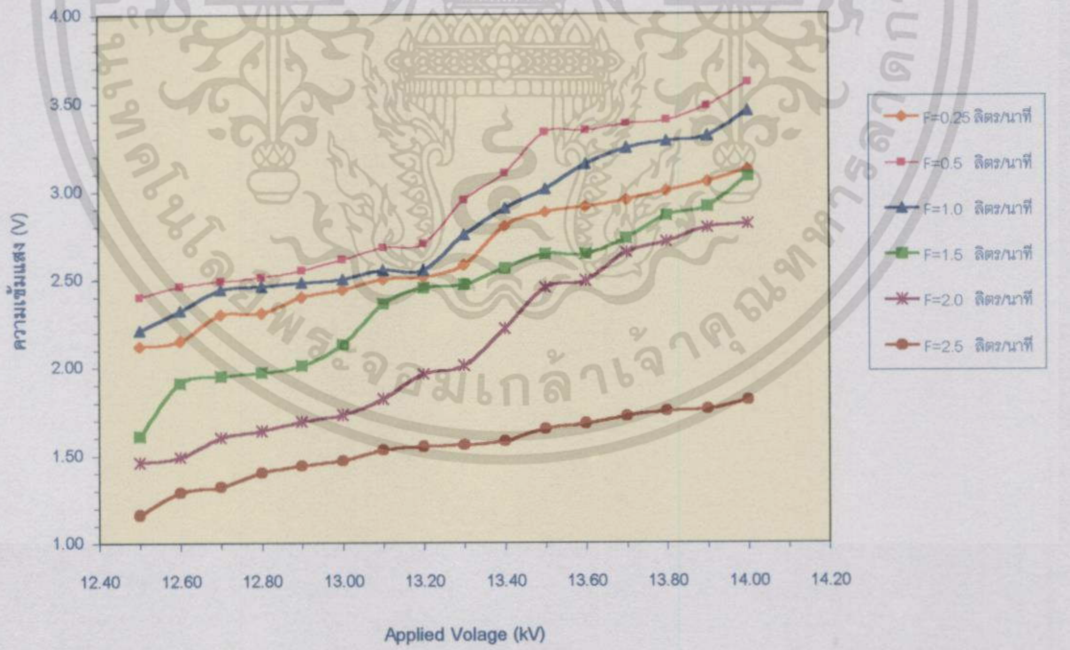
4.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงที่ป้อนให้กับชุดไนโตรเจนเลเซอร์ (Applied Voltage) กับค่าความเข้มแสงที่อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนค่าต่าง ๆ

1. จัดชุดกำเนิดแสงไนโตรเจนเลเซอร์โดยปรับระยะห่างของขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 2.286 มิลลิเมตร ตั้งระยะห่างของสปาร์กแกปเท่ากับ 6.706 มิลลิเมตร ด้วยฟิลเลอร์ที่ใช้วัดระยะห่างของเขี้ยวหัวเทียนรถยนต์
2. เปิดสวิตซ์ที่ชุดจุดระเบิดหัวเทียนเพื่อให้ชุดจุดระเบิดหัวเทียนควบคุมจังหวะของการเกิดแสงเลเซอร์
3. ปล่อยแก๊สไนโตรเจนที่มีความบริสุทธิ์ 99.99 % เข้าไปยังช่องเลเซอร์ด้วยอัตราการไหลของแก๊ส 0.25 ลิตร/นาที และป้อนแรงดันจากชุดจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง 12.5 กิโลโวลต์
4. นำหัววัดความเข้มแสงชนิดโฟโตไดโอดแบบ High-Speed Silicon Detector-DET200 ของบริษัท Thorlabs มาวัดความเข้มแสงโดยต่อเข้ากับออสซิโลสโคปของบริษัท Tektronix รุ่น TDS 420 A
5. อ่านค่าแรงดันและบันทึกค่าแรงดันที่อ่านได้จากออสซิโลสโคปจำนวน 100 ค่า แล้วนำไปหาค่าเฉลี่ย
6. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3-5 แต่เพิ่มแรงดันเป็น 12.6, 12.7, 12.8, 12.9, 13.0, 13.1, 13.2, 13.3, 13.4, 13.5, 13.6, 13.7, 13.8, 13.9 และ 14.0 กิโลโวลต์ ตามลำดับ
7. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3-6 แต่เพิ่มอัตราการไหลของแก๊สเป็น 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 ลิตร/นาที ตามลำดับ
8. นำผลของค่าข้อมูลเฉลี่ยที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงที่ป้อนให้กับชุดเลเซอร์และความเข้มแสง เมื่อมีอัตราการไหลของแก๊สค่าต่าง ๆ กัน
9. สรุปและวิเคราะห์ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

เมื่อจัดชุดกำเนิดแสงไนโตรเจนเลเซอร์โดยปรับระยะห่างของขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 2.286 มิลลิเมตร ตั้งระยะของสปาร์แกปให้ห่างกัน 6.706 มิลลิเมตร เปิดสวิตซ์ที่ชุดจุดระเบิดหัวเทียนเพื่อให้ชุดจุดระเบิดหัวเทียนควบคุมจังหวะของการเกิดแสงเลเซอร์ ปล่อยแก๊สไนโตรเจนที่มีความบริสุทธิ์ 99.99 % เข้าไปยังช่องเลเซอร์โดยเริ่มต้นที่อัตราการไหลของแก๊ส 0.25 ลิตร/นาที จ่ายแรงดันจากชุดจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง 12.5 กิโลโวลต์ นำหัววัดความเข้มแสงชนิดโฟโตไดโอดต่อเข้ากับออสซิโลสโคปอ่านและบันทึกค่าแรงดันที่อ่านได้จากออสซิโลสโคปจำนวน 100 ค่า แล้วนำไปหาค่าเฉลี่ย เพิ่มแรงดันเป็น 12.6, 12.7, 12.8, 12.9, 13.0, 13.1, 13.2, 13.3, 13.4 , 13.5, 13.6, 13.7, 13.8, 13.9 และ 14.0 กิโลโวลต์ ตามลำดับ ทำการทดลองเช่นเดิม แต่เพิ่มอัตราการไหลของแก๊สเป็น 0.5, 1, 1.5, 2.0 และ 2.5 ลิตร/นาที ตามลำดับ ในแต่ละค่าแรงดัน นำผลของค่าข้อมูลเฉลี่ยที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงที่ป้อนให้กับชุดไนโตรเจนเลเซอร์และความเข้มแสง เมื่อมีอัตราการไหลของแก๊สค่าต่าง ๆ กัน พบว่าจะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนเข้าไปในระบบกับความเข้มแสง เมื่อวางตัววัดแสง (Detector) ห่าง 3 เมตร ระยะห่างของสปาร์กแกปเท่ากับ 6.706 มิลลิเมตร ระยะห่างของขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 2.286 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

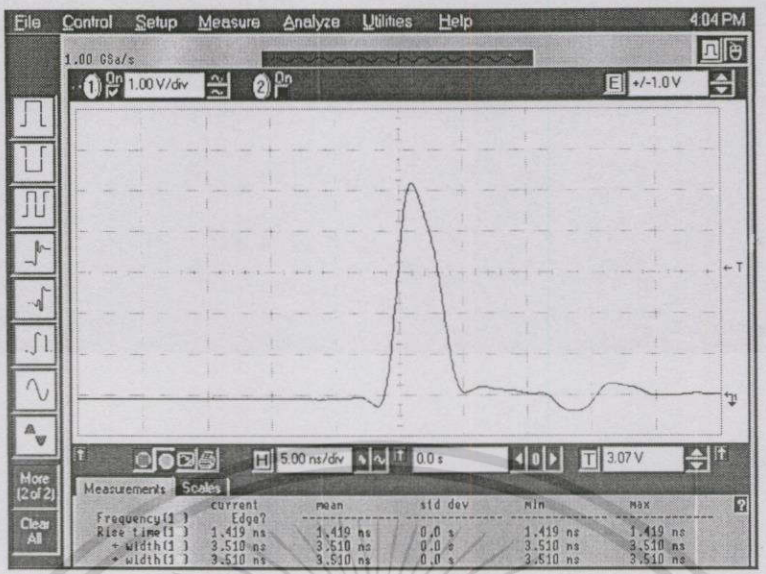
4.1.3 การวัดค่าความกว้างของพัลส์ (Pulse Width)ของไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ

1. จัดชุดกำเนิดแสงไนโตรเจนเลเซอร์โดยปรับระยะห่างของขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 2.286 มิลลิเมตร ปรับระยะของสปาร์แกปให้มีระยะห่าง 6.706 มิลลิเมตรโดยใช้ฟิลเลอร์ตั้งวาล์วที่ใช้สำหรับวัดระยะห่างของเขี้ยวหัวเทียน
2. เปิดสวิตซ์ที่ชุดจุดระเบิดหัวเทียน เพื่อให้ชุดจุดระเบิดหัวเทียนควบคุมจังหวะของการเกิดแสงเลเซอร์
3. ปล่อยแก๊สไนโตรเจนที่มีความบริสุทธิ์ 99.99 % เข้าไปยังช่องเลเซอร์ด้วยอัตราการไหลของแก๊ส 0.5 ลิตร/นาที และป้อนแรงดันจากชุดจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง 14.0 กิโลโวลต์
4. นำหัววัดความเข้มแสงชนิดโฟโตไดโอดแบบ High-Speed Silicon Detector-DET200 ของบริษัท Thorlabs มาวัดความเข้มแสงโดยต่อเข้ากับออสซิโลสโคปของบริษัท Hewlett Packard รุ่น Infiniium 54810A
5. บันทึกลักษณะของสัญญาณที่เกิดขึ้น พร้อมกับบันทึกความกว้างของพัลส์จำนวน 20 ค่า แล้วนำไปหาค่าเฉลี่ย
6. สรุปและวิเคราะห์ผล

ผลการทดลอง

เมื่อจัดชุดกำเนิดแสงไนโตรเจนเลเซอร์โดยปรับระยะห่างของขั้วไฟฟ้า 2.286 มิลลิเมตร ระยะห่างของสปาร์กแกป 6.706 มิลลิเมตร เปิดสวิตซ์ที่ชุดจุดระเบิดหัวเทียนเพื่อให้ชุดจุดระเบิดหัวเทียนควบคุมจังหวะของการเกิดแสงเลเซอร์ ปล่อยแก๊สไนโตรเจนที่มีความบริสุทธิ์ 99.99 % เข้าไปยังช่องเลเซอร์ด้วยอัตราการไหลของแก๊ส 0.5 ลิตร/นาที และป้อนแรงดันจากชุดจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง 14.0 กิโลโวลต์ นำหัววัดความเข้มแสงมาวัดความเข้มแสงโดยต่อเข้ากับออสซิโลสโคป บันทึกลักษณะสัญญาณของแสงไนโตรเจนเลเซอร์ด้วยออสซิโลสโคปแสดงดังรูปที่ 4.7 และบันทึกความกว้างของพัลส์จำนวน 20 ครั้งได้ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งหาค่าความกว้างพัลส์ได้ $3.40 \pm \frac{0.83}{\sqrt{20}} = 3.40 \pm 0.19$ นาโนวินาที ด้วยความเชื่อมั่น 63%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ลักษณะของสัญญาณแสงในโตรเจนเลเซอร์ที่วัดได้เมื่อต่อเข้าออสซิโลสโคป

ตารางที่ 4.1 ค่าความกว้างของพัลส์ที่อ่านได้จากออสซิโลสโคป

ครั้งที่	ความกว้างของพัลส์ (นาโนวินาที)	ครั้งที่	ความกว้างของพัลส์ (นาโนวินาที)
1	2.20	13	4.41
2	4.57	14	3.36
3	4.38	15	4.04
4	4.57	16	3.04
5	2.36	17	2.84
6	2.34	18	2.68
7	4.20	19	2.67
8	3.07	20	3.63
9	3.23	ค่าเฉลี่ย	3.40
10	4.34	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.83
11	2.36		
12	3.78	ความกว้างของพัลส์	3.40±0.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

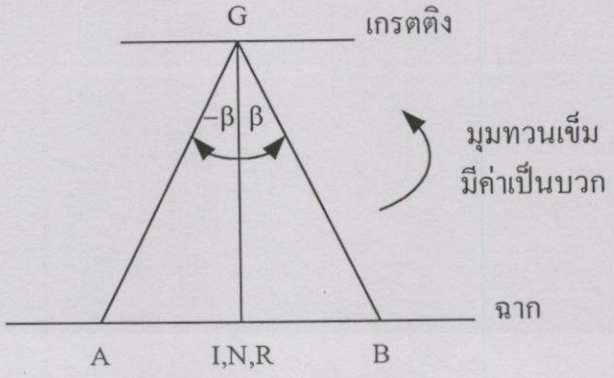
4.1.4 การวัดความยาวคลื่นของไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศโดยใช้เกรตติง

ตอนที่ 1 วางเกรตติงให้แสงตกกระทบทำมุมศูนย์องศากับเส้นปกติของเกรตติง ($\alpha = 0$)

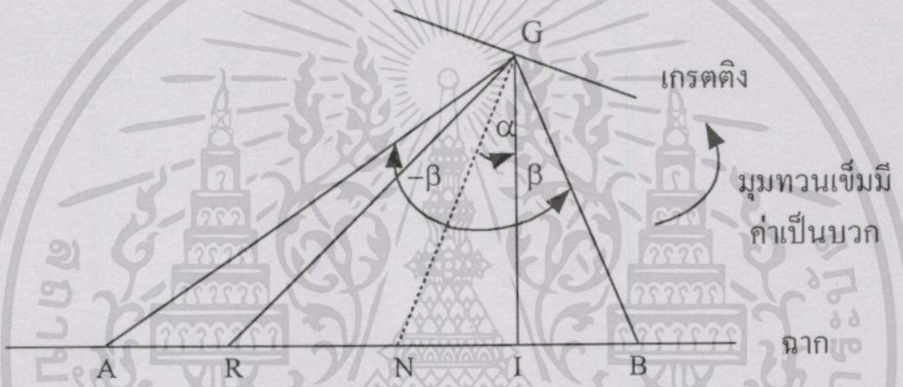
1. จัดชุดกำเนิดแสงไนโตรเจนเลเซอร์โดยปรับระยะห่างของขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 2.286 มิลลิเมตร ตั้งระยะของสปาร์กแกปให้ห่างกัน 6.706 มิลลิเมตรโดยใช้ฟิลเลอร์ที่ใช้สำหรับวัดระยะห่างของเขี้ยวหัวเทียนรถยนต์
2. เปิดสวิทซ์ที่ชุดจุดระเบิดหัวเทียนเพื่อให้ชุดจุดระเบิดหัวเทียนเป็นตัวควบคุมจังหวะของการเกิดแสงเลเซอร์
3. ปล่อยแก๊สไนโตรเจนที่มีความบริสุทธิ์ 99.99 % เข้าไปยังช่องเลเซอร์ด้วยอัตราการไหลของแก๊ส 0.5 ลิตร/นาที และป้อนแรงดันจากชุดจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง 14.0 กิโลโวลต์
4. นำเกรตติงชนิดเลี้ยวเบน (Diffraction Grating) ชนิด 1800 เส้น/มิลลิเมตร มาวางห่างจากช่องที่แสงเลเซอร์ออก โดยให้ระนาบของเกรตติงตั้งฉากกับลำแสงเลเซอร์ (มุมตกกระทบมีค่าเท่ากับศูนย์) วางเกรตติงห่างจากช่องที่แสงเลเซอร์ออกเป็นระยะ 7.55 เซนติเมตร
5. นำฉากรับแสงมาติดไว้ที่ช่องที่แสงเลเซอร์ออก โดยทำช่องให้มีขนาดเท่ากับขนาดของลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์ที่ออกมา
6. บันทึกระยะ $\overline{IG}$, $\overline{RI}$, $\overline{IA}$ และ $\overline{IB}$ ซึ่งลักษณะของตำแหน่งต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4.8ก

เมื่อ	I	คือ	ตำแหน่งของแสงเลเซอร์ที่ออกมา
	G	คือ	ตำแหน่งของเกรตติง
	R	คือ	ตำแหน่งของแสงที่สะท้อนจากเกรตติงที่ปรากฏบนฉาก
	A	คือ	ตำแหน่งของแสงที่หักเหจากเกรตติงที่ปรากฏที่ฉากทางด้านซ้าย
	B	คือ	ตำแหน่งของแสงที่หักเหจากเกรตติงที่ปรากฏที่ฉากทางด้านขวา
	N	คือ	ตำแหน่งของเส้นปกติ

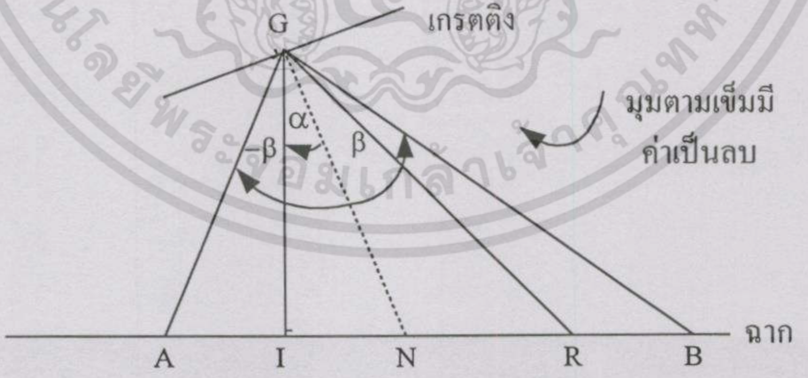
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.8 การวางเกรตติงในลักษณะต่างๆ กัน

(ก) วางเกรตติงในลักษณะที่มุมตกกระทบมีค่าเป็นศูนย์องศา

(ข) วางเกรตติงในลักษณะที่มุมตกกระทบมีค่าเป็นบวก

(ค) วางเกรตติงในลักษณะที่มุมตกกระทบมีค่าเป็นลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. คำนวณค่ามุมเลี้ยวเบนจากเกรตติงที่ปรากฏที่ฉากทางด้านซ้าย ($\beta_{(-)}$)
จากสมการที่(4.1)

จาก $$\tan\beta_{(-)} = \frac{\overline{IA}}{\overline{IG}}$$

$$\beta_{(-)} = \tan^{-1}\frac{\overline{IA}}{\overline{IG}} \qquad (4.1)$$

8. บันทึกค่าที่คำนวณได้ลงในตาราง
9. คำนวณหาค่ามุมเลี้ยวเบนจากเกรตติงที่ปรากฏที่ฉากทางด้านขวา ($\beta_{(+)}$)
จากสมการที่ (4.2)

จาก $$\tan\beta_{(+)} = \frac{\overline{IB}}{\overline{IG}}$$

$$\beta_{(+)} = \tan^{-1}\frac{\overline{IB}}{\overline{IG}} \qquad (4.2)$$

10. บันทึกค่าที่คำนวณได้ลงในตาราง
11. นำค่า $\beta_{(-)}$ และ $\beta_{(+)}$ ที่ได้ไปคำนวณหาความยาวคลื่นของไนโตรเจนเลเซอร์ จากสมการของเกรตติงเลี้ยวเบน (สมการที่ 3.13)
12. บันทึกค่า $\lambda_{(-)}$ และ $\lambda_{(+)}$ ที่คำนวณได้ลงในตาราง 4.2 เมื่อ $\lambda_{(-)}$ และ $\lambda_{(+)}$ คือ ความยาวคลื่นที่คำนวณจากมุม $\beta_{(-)}$ และ $\beta_{(+)}$ ตามลำดับ
13. ทำการทดลองเช่นเดิม แต่เลื่อนเกรตติงให้ห่างจากช่องที่แสงเลเซอร์ออกเป็นระยะ 10.10, 12.65, 15.20, 17.75, 20.30, 22.85, 25.40, 27.95 และ 30.50 เซนติเมตร ตามลำดับ
14. บันทึกผลการทดลองที่ได้ลงในตาราง 4.2
15. สรุปและวิเคราะห์ผล

ตอนที่ 2 วางเกรตติงให้แสงตกกระทบทำมุมค่าต่าง ๆ กับเส้นปกติของเกรตติง

1. ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 แต่วางเกรตติงห่างจากช่องที่แสงเลเซอร์ออกเป็นระยะ 22.80 เซนติเมตร (เมื่อระนาบของเกรตติงตั้งฉากกับลำแสง) ที่ตำแหน่งนี้แสงตกกระทบจะทำมุมศูนย์องศากับเส้นปกติของเกรตติง (α = 0) บันทึกระยะ $\overline{IG}, \overline{RI}, \overline{IA}$ และ $\overline{IB}$ ซึ่งลักษณะของตำแหน่งต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4.8ข และ 4.8ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คำนวณหาค่า $\beta_{(-)}$ และ $\beta_{(+)}$ จากสมการที่ (4.1) และ (4.2) ตามลำดับ
3. นำค่า $\beta_{(-)}$ และ $\beta_{(+)}$ ที่ได้ไปคำนวณหาความยาวคลื่นของไนโตรเจนเลเซอร์ จากสมการของเกรตติงเลี้ยวเบน (สมการที่ 3.13)
4. บันทึกค่า $\lambda_{(-)}$ และ $\lambda_{(-)}$ ที่คำนวณได้ลงในตาราง 4.3
5. ทำการทดลองเช่นเดิมแต่หมุนเกรตติงให้แสงตกกระทบทำมุมค่าต่าง ๆ กับเส้นปกติของเกรตติง โดยให้ $\overline{IG}$ มีระยะ 22.30, 22.40, 22.50, 22.60, 22.70, 22.80, 22.90, 23.00, 23.10, 23.20 และ 23.30 ตามลำดับ
6. บันทึกระยะ $\overline{IG}$, $\overline{RI}$, $\overline{IA}$ และ $\overline{IB}$ ซึ่งลักษณะของตำแหน่งต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ (4.8ก) , (4.8ข) และ (4.8ค) เมื่อมุมตกกระทบทำมุมศูนย์องศากับเส้นปกติของเกรตติง มุมตกกระทบมีค่าเป็นบวก และมุมตกกระทบมีค่าเป็นลบ ตามลำดับ (เมื่อให้มุมที่มีทิศทวนเข็มนาฬิกามีค่าเป็นบวก)
7. คำนวณหาค่ามุมตกกระทบจากสมการที่ (4.3)

จาก
$$\tan 2\alpha = \frac{\overline{RI}}{\overline{IG}}$$

$$\alpha = \frac{1}{2}\left(\tan^{-1}\frac{\overline{RI}}{\overline{IG}}\right) \tag{4.3}$$

8. เมื่อมุมตกกระทบมีค่าเป็นบวกคำนวณหาค่ามุม $\beta_{(-)}$ และ $\beta_{(+)}$ ได้จากสมการที่ (4.4) และ (4.5)

$$\beta_{(-)} = \tan^{-1}\left(\frac{\overline{IA}}{\overline{IG}}\right) + \frac{1}{2}\left(\tan^{-1}\frac{\overline{RI}}{\overline{IG}}\right) \tag{4.4}$$

$$\beta_{(+)} = \tan^{-1}\left(\frac{\overline{IB}}{\overline{IG}}\right) + \frac{1}{2}\left(\tan^{-1}\frac{\overline{RI}}{\overline{IG}}\right) \tag{4.5}$$

9. นำค่า α, $\beta_{(-)}$ และ $\beta_{(+)}$ ที่ได้ไปคำนวณหาความยาวคลื่น ($\lambda_{(-)}$ และ $\lambda_{(+)}$) โดยใช้สมการเกรตติงเลี้ยวเบน (สมการที่ 3.13)
10. สรุปและวิเคราะห์ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

เมื่อจัดชุดกำเนิดแสงไนโตรเจนเลเซอร์ โดยปรับระยะห่างของขั้วไฟฟ้า 2.286 มิลลิเมตร ระยะห่างของสปาร์กแกป 6.706 มิลลิเมตร เปิดสวิตซ์ที่ชุดจุดระเบิดหัวเทียนเพื่อควบคุมจังหวะของการเกิดแสงเลเซอร์ ปล่อยแก๊สไนโตรเจนที่มีความบริสุทธิ์ 99.99 % เข้าไปยังช่องเลเซอร์ด้วยอัตราการไหล 0.5 ลิตร/นาที และป้อนแรงดันจากชุดจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง 14.0 กิโลโวลต์ นำเกรตติงเลี้ยวเบนชนิด 1800 เส้นต่อมิลลิเมตรมาวัดความยาวคลื่นพบว่าเมื่อวางเกรตติงให้ระนาบของเกรตติงตั้งฉากกับลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์ (α = 0 องศา) ดังการทดลองตอนที่ 1 พบว่า ความยาวคลื่น(λ) = $3.37 \pm \frac{0.01}{\sqrt{20}}$ = $(3.37 \pm 2.24\times10^{-3})\times10^{-7}$ เมตร = 337 ± 0.22 นาโนเมตร และเมื่อวางเกรตติงให้แสงตกกระทบทำมุมค่าต่าง ๆ กับเส้นปกติของเกรตติง ดังการทดลองตอนที่ 2 ความยาวคลื่น(λ) = $3.37 \pm \frac{0.01}{\sqrt{22}}$ = $(3.37\pm2.13\times10^{-3})\times10^{-7}$ เมตร = 337 ± 0.21 นาโนเมตร

ตารางที่ 4.2 การวัดความยาวคลื่นโดยใช้เกรตติงเลี้ยวเบน เมื่อวางเกรตติงให้ระนาบของเกรตติงตั้งฉากกับลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์ ($\alpha = 0$ องศา)

ครั้งที่	$\overline{IG}$ (ซม.)	$\overline{RI}$ (ซม.)	$\overline{IA}$ (ซม.)	$\overline{IB}$ (ซม.)	α (องศา)	$\beta_{(-)}$ (องศา)	$\beta_{(+)}$ (องศา)	$\lambda_{(-)}$ ($\times10^{-7}$ เมตร)	$\lambda_{(+)}$ ($\times10^{-7}$ เมตร)
1	7.55	0.00	-5.70	5.75	0.00	-37.05	37.29	3.35	3.37
2	10.10	0.00	-7.75	7.70	0.00	-37.50	37.32	3.38	3.37
3	12.65	0.00	-9.65	9.70	0.00	-37.34	37.48	3.37	3.38
4	15.20	0.00	-11.60	11.65	0.00	-37.35	37.47	3.37	3.38
5	17.75	0.00	-13.55	13.55	0.00	-37.36	37.36	3.37	3.37
6	20.30	0.00	-15.55	15.50	0.00	-37.45	37.36	3.38	3.37
7	22.85	0.00	-17.40	17.50	0.00	-37.29	37.45	3.37	3.38
8	25.40	0.00	-19.35	19.35	0.00	-37.30	37.30	3.37	3.37
9	27.95	0.00	-21.40	21.40	0.00	-37.44	37.44	3.38	3.38
10	30.50	0.00	-23.35	23.35	0.00	-37.44	37.44	3.38	3.38
					ค่าเฉลี่ย			3.37	
					ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.01	
					ความยาวคลื่น			$3.37\pm 2.24\times10^{-3}$	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 การวัดความยาวคลื่นโดยใช้เกรตติงเลี้ยวเบน เมื่อวางเกรตติงให้แสงตกกระทบทำมุมค่าต่าง ๆ กับเส้นปกติของเกรตติง

ครั้งที่	$\overline{IG}$ (ซม.)	$\overline{RI}$ (ซม.)	$\overline{IA}$ (ซม.)	$\overline{IB}$ (ซม.)	α (องศา)	$\beta_{(-)}$ (องศา)	$\beta_{(+)}$ (องศา)	$\lambda_{(-)}$ ($\times 10^{-7}$ เมตร)	$\lambda_{(+)}$ ($\times 10^{-7}$ เมตร)
1	22.30	-3.15	-12.10	23.55	-4.02	-32.50	42.54	3.37	3.37
2	22.40	-2.60	-12.90	22.50	-3.31	-33.25	41.82	3.37	3.38
3	22.50	-2.00	-13.90	21.00	-2.54	-34.25	40.49	3.37	3.36
4	22.60	-1.45	-14.90	20.00	-1.84	-35.23	39.67	3.38	3.37
5	22.70	-0.70	-16.15	18.60	-0.88	-36.31	38.45	3.38	3.37
6	22.80	0.00	-17.35	17.45	0.00	-37.27	37.43	3.36	3.38
7	22.90	1.05	-19.60	15.65	1.31	-39.25	35.66	3.39	3.37
8	23.00	1.65	-21.00	14.80	2.05	-40.35	34.81	3.40	3.37
9	23.10	2.10	-21.90	14.20	2.60	-40.88	34.18	3.38	3.37
10	23.20	2.55	-23.00	13.55	3.14	-41.62	33.42	3.39	3.36
11	23.30	3.20	-24.55	12.70	3.91	-42.59	32.50	3.38	3.36
					ค่าเฉลี่ย			3.37	
					ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.01	
					ความยาวคลื่น			$3.37 \pm 2.13\times10^{-3}$	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 การลู่ออกของแสงจากไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ

1. จัดชุดกำเนิดแสงไนโตรเจนเลเซอร์โดยปรับระยะห่างของขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 2.286 มิลลิเมตร ปรับระยะของสปาร์แกปให้ห่างกัน 6.706 มิลลิเมตร โดยใช้ฟิลเลอร์สำหรับวัดระยะห่างของเขี้ยวหัวเทียน
2. เปิดสวิทซ์ที่ชุดจุดระเบิดหัวเทียนเพื่อควบคุมจังหวะการเกิดแสงเลเซอร์
3. ปล่อยแก๊สไนโตรเจนที่มีความบริสุทธิ์ 99.99 % เข้าไปยังช่องเลเซอร์ด้วยอัตราการไหลของแก๊ส 0.5 ลิตร/นาที และป้อนแรงดันจากชุดจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง 14.0 กิโลโวลต์
4. นำฉากไปวางห่างจากช่องที่แสงเลเซอร์ออกมาเป็นระยะทาง 10 เซนติเมตร บันทึกภาพโดยใช้กล้องถ่ายรูป Pentax รุ่นSuperA ใช้เลนส์ขนาด 50 มิลลิเมตร เปิดหน้ากล้องไว้ที่ 1.7 และตั้งชัตเตอร์ไว้ที่ B ทำการบันทึกภาพแสงเลเซอร์ 5 ภาพ
5. เลื่อนฉากออกมาที่ระยะ 30 , 50 ,100, 150, 200, 250 และ 300 เซนติเมตร ตามลำดับ บันทึกภาพเช่นเดิม
6. นำภาพที่ได้มาทำการวิเคราะห์และหาค่าเฉลี่ยขนาดของลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์
7. นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและขนาดของลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์
8. คำนวณหาค่าการลู่ออกของลำแสง (Beam Divergence) จากสมการ

$$\tan\theta = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{r}{D} \tag{4.6}$$

เมื่อ r = ขนาดของลำแสง D = ระยะห่างของฉาก

หรือจากสมการเส้นตรง $y = mx + c$ (4.7)

เมื่อ m = ความชันของกราฟ $= \frac{\Delta y}{\Delta x}$ c = จุดตัดแกน y

เปรียบเทียบสมการที่ (4.6) และ(4.7)จะสามารถหาการลู่ออกของแสง (θ) ได้ดังสมการที่ (4.8)

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{r}{D}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right) = \tan^{-1}(m) \tag{4.8}$$

9. สรุปและวิเคราะห์ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

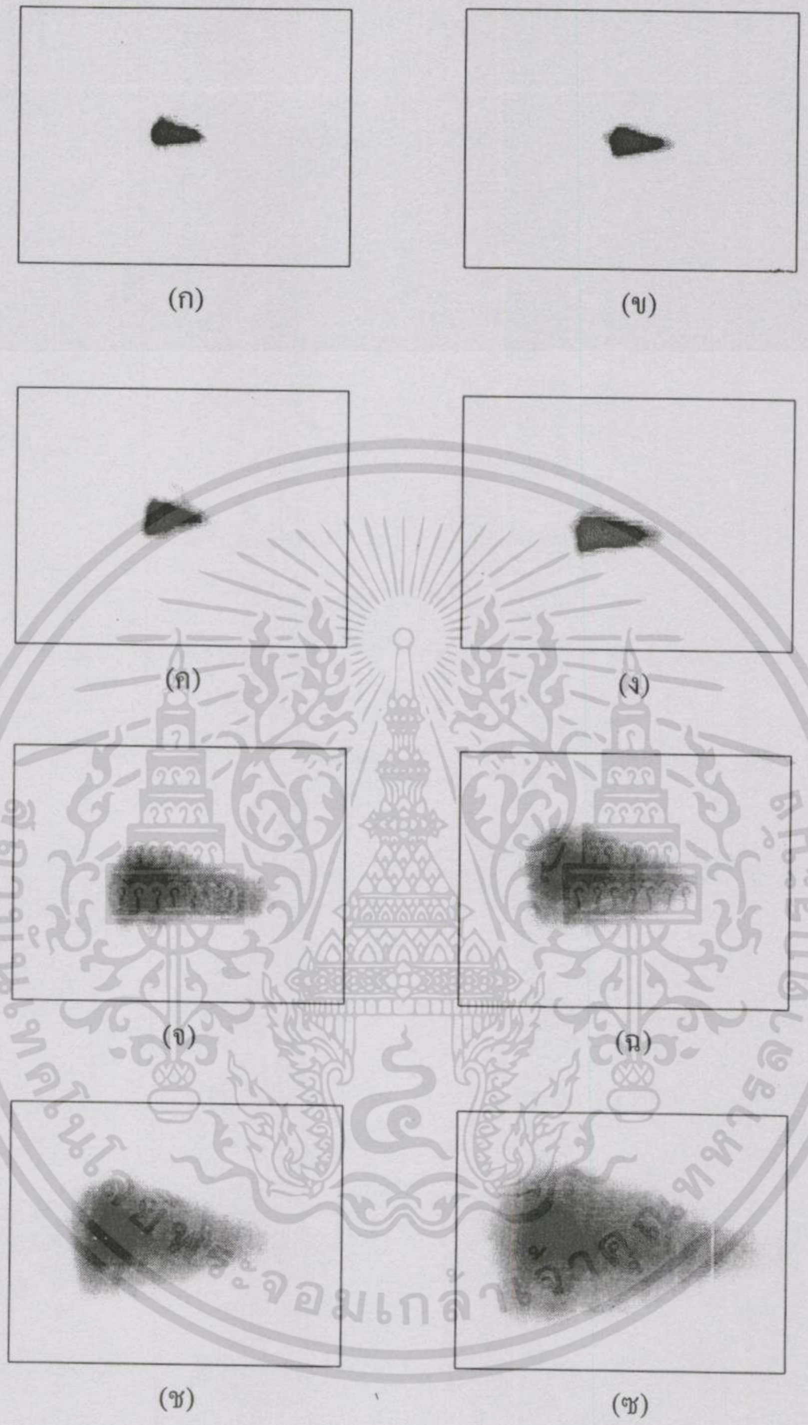
ผลการทดลอง

เมื่อจัดชุดกำเนิดแสงเลเซอร์โดยปรับระยะห่างของขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 2.286 มิลลิเมตร ตั้งระยะของสปาร์แกปให้ห่างกัน 6.706 มิลลิเมตร เปิดสวิทซ์ที่ชุดจุดระเบิดหัวเทียนให้ชุดจุดระเบิดหัวเทียนควบคุมจังหวะการเกิดแสงเลเซอร์ ปล่อยแก๊สไนโตรเจนที่มีความบริสุทธิ์ 99.99 % เข้าไปยังช่องเลเซอร์ที่อัตราการไหลของแก๊ส 0.5 ลิตร/นาที และป้อนแรงดันจากชุดจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง 14.0 กิโลโวลต์ นำฉากไปวางห่างจากช่องที่แสงเลเซอร์ออกมาเป็นระยะทาง 10, 30, 50, 100, 150, 200, 250 และ 300 เซนติเมตรตามลำดับ ทำการบันทึกภาพ ลักษณะของภาพที่บันทึกแสดงดังรูปที่ 4.9 ซึ่งเมื่อระยะห่างของฉากมากขึ้นลักษณะของลำแสงก็จะยิ่งมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น ทำการบันทึกภาพเมื่อวางฉากที่ตำแหน่งต่าง ๆ กัน ตำแหน่งละ 5 ภาพ วัดขนาดของลำแสงทั้งด้านกว้างและด้านยาว นำไปหาค่าเฉลี่ยผลที่ได้จะแสดงดังตารางที่ 4.4 และเมื่อนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของฉากกับขนาดของลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์จะแสดงดังรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยขนาดของลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์ที่ระยะห่างของฉากค่าต่าง ๆ

ระยะห่างของฉาก (ซม.)	ค่าเฉลี่ยขนาดของลำแสง	
	ด้านกว้าง(ซม.)	ด้านยาว(ซม.)
10	0.34	0.51
30	0.43	0.69
50	0.51	0.85
100	0.77	1.31
150	0.95	1.81
200	1.21	2.24
250	1.43	2.73
300	1.71	3.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ลักษณะของลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์ที่บันทึกภาพเมื่อวางฉากที่ตำแหน่งต่าง ๆ (ภาพขาวดำ ขนาดไม่เท่าจริง)

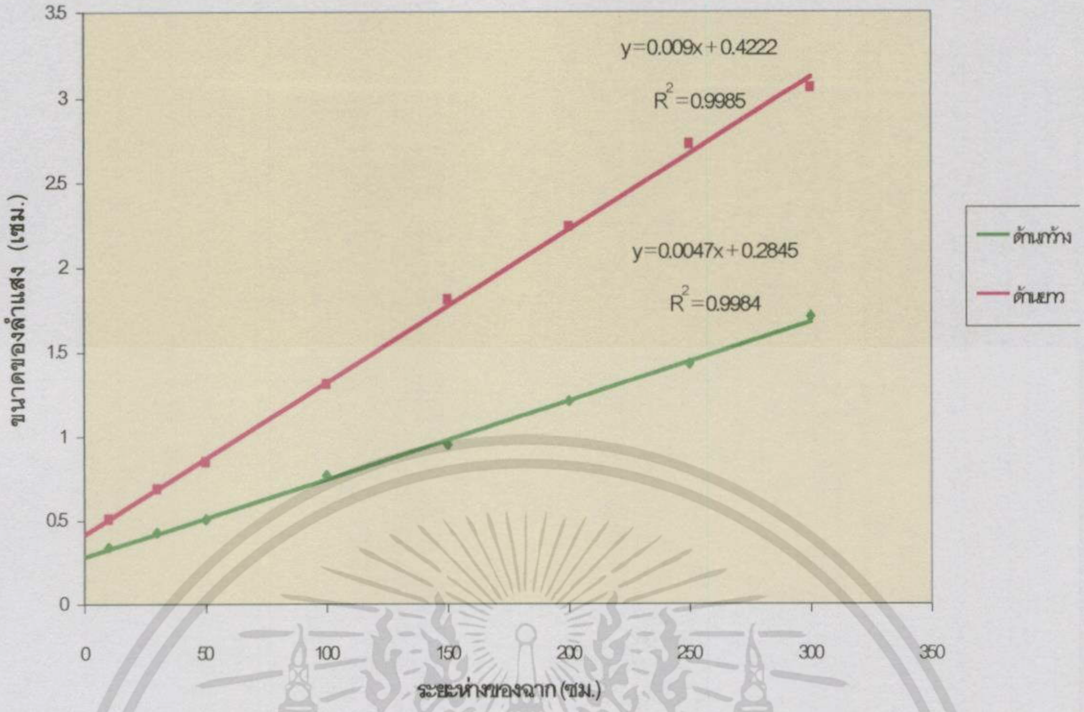
(ก) วางฉากห่าง 10 เซนติเมตร (ข) วางฉากห่าง 30 เซนติเมตร

(ค) วางฉากห่าง 50 เซนติเมตร (ง) วางฉากห่าง 100 เซนติเมตร

(จ) วางฉากห่าง 150 เซนติเมตร (ฉ) วางฉากห่าง 200 เซนติเมตร

(ช) วางฉากห่าง 250 เซนติเมตร (ซ วางฉากห่าง 300 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของฉากกับขนาดของลำแสงในโตรเจนเลเซอร์ เมื่อระยะห่างระหว่างสปาร์แกปเท่ากับ 6.706 มิลลิเมตร ระยะห่างขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 2.286 มิลลิเมตร แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 14 กิโลโวลต์ และอัตราการไหลของแก๊ส 0.5 ลิตร/นาที

จากรูปที่ 4.10 จะสามารถหาการลู่ออกของลำแสงได้ โดยคำนวณจากสมการที่ (4.8) เมื่อพิจารณาจากความชันของกราฟ (ค่า m) พบว่า

สมการเส้นตรงของขนาดแสงทางด้านกว้างมีค่า $m = 0.0047$

สมการเส้นตรงของขนาดแสงทางด้านยาวมีค่า $m = 0.0090$

ดังนั้น การลู่ออกของแสง(มุมเต็ม)ทางด้านกว้างมีค่าเท่ากับ $\theta = \tan^{-1}(0.0047)$

= 4.7 มิลลิเรเดียน

การลู่ออกของแสง(มุมเต็ม)ทางด้านยาวมีค่าเท่ากับ $\theta = \tan^{-1}(0.0090)$

= 9.0 มิลลิเรเดียน

ค่า R^2 ที่แสดงในกราฟจะหมายถึง ค่า Correlation ซึ่งเป็นตัวแสดงว่ากราฟที่นำมาใช้แทนข้อมูลนั้นมีความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใด คือค่ายิ่งเข้าใกล้ 1 มากเท่าใดกราฟก็จะแทนข้อมูลได้มากขึ้นเท่านั้น

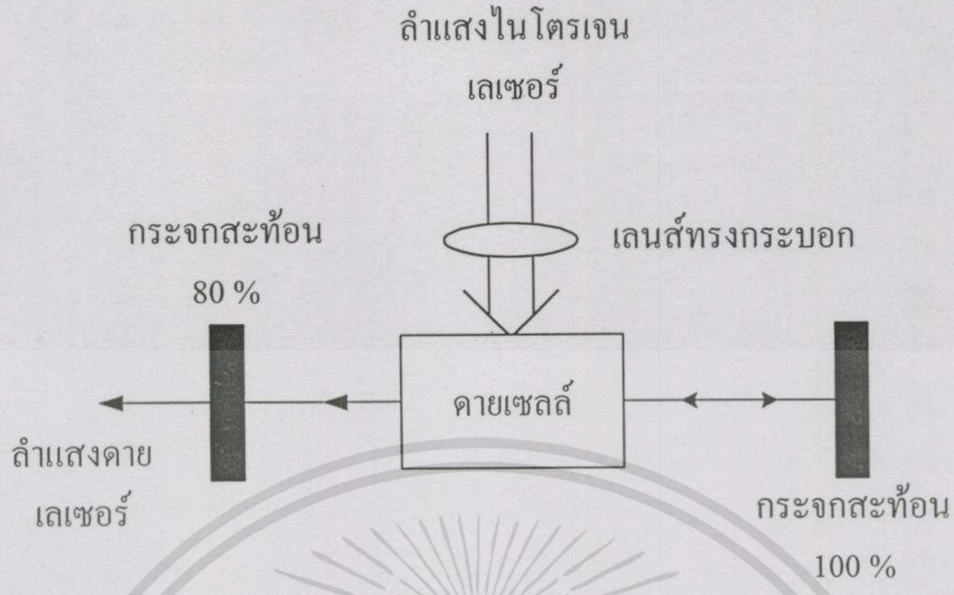
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบการทำงานของไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ เมื่อนำไปปั๊มระบบดายเลเซอร์ และศึกษาสมบัติของดายเลเซอร์

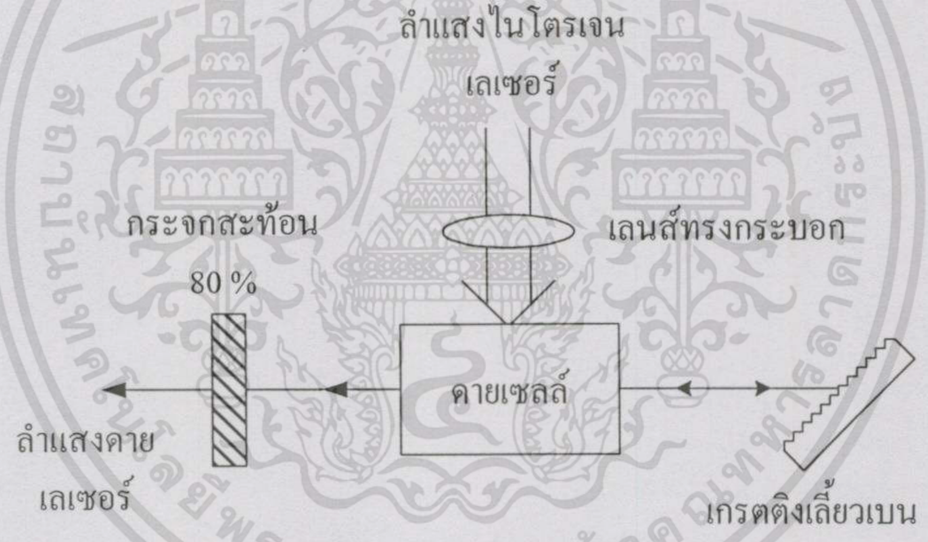
4.2.1 ทดสอบการทำงานของไนโตรเจนเลเซอร์เมื่อนำไปปั๊มระบบดายเลเซอร์

1. จัดชุดไนโตรเจนเลเซอร์โดยปรับระยะของสปาร์กแกปให้ห่างกัน 6.706 มิลลิเมตรโดยใช้ฟิลเลอร์ที่ใช้สำหรับวัดระยะห่างของเขี้ยวหัวเทียนรถยนต์
2. ปรับระยะห่างของขั้วไฟฟ้าตรงส่วนปลายของด้านที่ลำแสงเลเซอร์ออก (ด้านที่จะนำลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์ไปกระตุ้นระบบดายเลเซอร์) มีค่าเท่ากับ 3.505 มิลลิเมตร ส่วนปลายอีกด้านปรับจนกระทั่งสังเกตเห็นลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์ด้านที่จะนำไปกระตุ้นระบบดายเลเซอร์มีความเข้มมากที่สุด และเกิดลำแสงเลเซอร์สม่ำเสมอที่สุด
3. เปิดสวิตซ์ที่ชุดจุดระเบิดหัวเทียนเพื่อควบคุมจังหวะของการเกิดแสงเลเซอร์
4. ป้อนแรงดันจากชุดจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง 14.0 กิโลโวลต์ ปล่อยแก๊สไนโตรเจนบริสุทธิ์ 99.99% เข้าไปยังช่องเลเซอร์ด้วยอัตราการไหล 0.5 ลิตร/นาที
5. วัดขนาดของลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์ที่ตำแหน่งที่ลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์ออก แล้วนำไปคำนวณหาตำแหน่งของการวางดายเซลล์ดังสมการที่ (3.8) และตำแหน่งของการวางเลนส์ทรงกระบอก (Cylindrical Lens)
6. วางดายเซลล์ที่บรรจุสารละลายโรดามีน 6 จี ความเข้มข้น 1.0×10^{-2} โมล/ลิตร ห่างจากชุดไนโตรเจนเลเซอร์ตามตำแหน่งที่คำนวณได้จากข้อ (5)
7. นำกระดาษขาวมาวางไว้ที่ดายเซลล์สังเกตและบันทึกภาพลักษณะของแสงที่ปรากฏบนกระดาษขาว
8. นำกระดาษขาวออกจากดายเซลล์ สังเกตและบันทึกภาพลักษณะของแสงที่ปรากฏที่ดายเซลล์ และแสงที่ปรากฏที่ฉาก
9. จัดระบบดายเลเซอร์ดังรูปที่ 4.11ก โดยวางกระจกราบที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อน 100% ไว้ที่ด้านหลัง(กระจกหลัง) และวางกระจกราบที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อน 80% ไว้ด้านหน้า (กระจกหน้า) สังเกตและบันทึกผล
10. ทำการทดลองดังข้อ 1-6 แต่จัดระบบดายเลเซอร์ดังรูปที่ 4.11ข โดยวางเกรตติงเลี้ยวเบนชนิด 1800 เส้น/มิลลิเมตรไว้ด้านหลัง (เป็นเหมือนกระจกหลัง) และวางกระจกราบที่มีสัมประสิทธิ์ 80% ไว้ด้านหน้า(กระจกหน้า) สังเกตและบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.11 การจัดวางระบบดายเลเซอร์

(ก) วางกระจกราบที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อน 100 % ไว้ด้านหลัง (กระจกหลัง) และวางกระจกราบที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อน 80 % ไว้ด้านหน้า (กระจกหน้า)

(ข) วางเกรตติงเลี้ยวเบนขนาด1800 เส้น/มิลลิเมตร ไว้ด้านหลัง(เป็นเหมือนกระจกหลัง) และวางกระจกราบที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อน 80 % ไว้ด้านหน้า (กระจกหน้า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

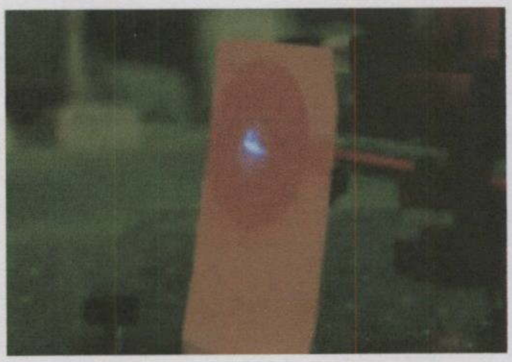
ผลการทดลอง

เมื่อจัดชุดไนโตรเจนเลเซอร์ให้เกิดลำแสงเลเซอร์ วัดขนาดของลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์ที่ตำแหน่งที่แสงออกได้ค่า 7 มิลลิเมตร นำไปคำนวณหาตำแหน่งของการวางดายเซลล์ดังสมการที่ (3.8) จะได้ตำแหน่งของการวางดายเซลล์เท่ากับ 33.33 เซนติเมตร จึงจัดวางดายเซลล์ห่างจากชุดไนโตรเจนเลเซอร์ 33.5 เซนติเมตร และวางเลนส์ทรงกระบอกซึ่งมีระยะโฟกัส 5 เซนติเมตร ห่างจากชุดไนโตรเจนเลเซอร์ 28.5 เซนติเมตร สังเกตแสงก่อนที่จะผ่านเลนส์ทรงกระบอกมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าดังแสดงในรูปที่ 4.12ก เมื่อส่งผ่านลำแสงไนโตรเจนผ่านเลนส์ทรงกระบอกภาพที่ปรากฏเมื่อนำกระดาษขาวไปวางไว้ที่ดายเซลล์จะแสดงดังรูปที่ 4.12ข ซึ่งสังเกตเห็นว่าลักษณะของลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์ในแนวตั้งเท่านั้นที่จะถูกโฟกัส ส่วนแสงในแนวนอนจะมีขนาดเท่าเดิม เมื่อนำกระดาษขาวออกจากดายเซลล์จะปรากฏภาพของลำแสงไนโตรเจนที่ตกกระทบลงบนดายเซลล์ดังแสดงในรูปที่ 4.12ค ซึ่งจะสังเกตเห็นลักษณะของลำแสงที่ตกกระทบที่ดายเซลล์มีลักษณะเป็นเส้นตรงที่อยู่ในแนวนอนพาดอยู่ที่ดายเซลล์เช่นเดียวกับที่ปรากฏบนกระดาษขาว แต่จะเห็นเป็นสีเหลือง

เมื่อจัดระบบดายเลเซอร์ดังรูปที่ 4.11ก โดยวางกระจกราบที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อน 100% ไว้ด้านหลัง(กระจกหลัง) และวางกระจกราบที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อน 80% ไว้ด้านหน้า(กระจกหน้า) และนำฉากไปวางตั้งฉากกับลำแสงจากระบบดายเลเซอร์จะปรากฏจุดแสงสีเหลืองขึ้น ซึ่งการจัดระบบดายเลเซอร์และลักษณะการเกิดลำแสงจากระบบดายเลเซอร์แสดงดังรูปที่ 4.13

เมื่อจัดระบบดายเลเซอร์ดังรูปที่ 4.11ข โดยวางเกรตติงขนาด 1800 เส้น/มิลลิเมตร ไว้ด้านหลัง (เป็นเหมือนกระจกหลัง) และวางกระจกราบที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อน 80% ไว้ด้านหน้า(กระจกหน้า) และนำฉากไปวางตั้งฉากกับลำแสงจากระบบดายเลเซอร์จะปรากฏจุดแสงสีเหลืองขึ้น ซึ่งระบบการจัดระบบดายเลเซอร์และลักษณะการเกิดลำแสงจากระบบดายเลเซอร์แสดงดังรูปที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)

(ค)

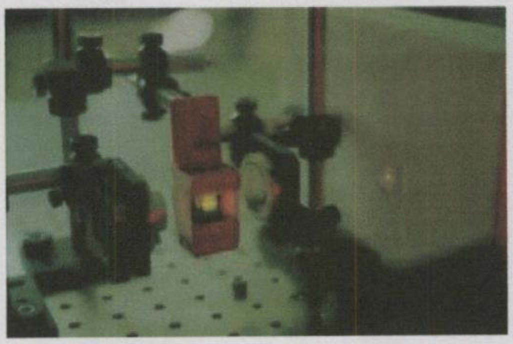
รูปที่ 4.12 ลักษณะของลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์

(ก) แสงที่ปรากฏก่อนที่ลำแสงจะผ่านเลนส์ทรงกระบอก

(ข) แสงที่ปรากฏบนกระดาษขาวหลังจากที่ลำแสงผ่านเลนส์ทรงกระบอก

(ค) แสงที่ปรากฏบนดายเซลล์หลังจากที่ลำแสงผ่านเลนส์ทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 การจัดระบบดายเลเซอร์และลำแสงที่ออกมาจากระบบดายเลเซอร์ เมื่อวางกระจกราบที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อน 100% ไว้ด้านหลัง และวางกระจกราบที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อน 80% ไว้ด้านหน้า

(ก)

(ข)

รูปที่ 4.14 การจัดระบบดายเลเซอร์และลำแสงที่ออกมาจากระบบดายเลเซอร์ เมื่อวางเกรตติงไว้ด้านหลัง และวางกระจกราบที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อน 80% ไว้ด้านหน้า

(ก) ภาพถ่ายด้านข้าง

(ข) ภาพถ่ายด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 หาความเข้มข้นของสารละลายโรดามิน 6 จี ที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดแสงจากระบบดายเลเซอร์

1. จัดชุดไนโตรเจนเลเซอร์โดยปรับระยะของสปาร์กแกปให้ห่างกัน 6.706 มิลลิเมตรโดยใช้ฟิลเลอร์ที่ใช้สำหรับวัดระยะห่างของเขี้ยวหัวเทียนรถยนต์
2. ปรับระยะห่างของขั้วไฟฟ้าตรงส่วนปลายของด้านที่ลำแสงเลเซอร์ออก (ด้านที่จะนำลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์ไปกระตุ้นระบบดายเลเซอร์) มีค่าเท่ากับ 3.505 มิลลิเมตร ส่วนปลายอีกด้านปรับจนกระทั่งสังเกตเห็นลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์ด้านที่จะนำไปกระตุ้นระบบดายเลเซอร์มีความเข้มมากที่สุด และเกิดลำแสงเลเซอร์สม่ำเสมอที่สุด
3. เปิดสวิตซ์ที่ชุดจุดระเบิดหัวเทียนเพื่อควบคุมจังหวะของการเกิดแสงเลเซอร์
4. ป้อนแรงดันจากชุดจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง 14.0 กิโลโวลต์ และปล่อยแก๊สไนโตรเจนบริสุทธิ์ 99.99% เข้าไปยังช่องเลเซอร์ด้วยอัตราการไหลของแก๊ส 0.5 ลิตร/นาที
5. วางดายเซลล์ที่บรรจุสารละลายโรดามิน 6 จี ความเข้มข้น 7.0×10^{-2} โมล/ลิตร ห่างจากชุดไนโตรเจนเลเซอร์ 33.5 เซนติเมตร และวางเลนส์ทรงกระบอกห่างจากชุดไนโตรเจนเลเซอร์ 28.5 เซนติเมตร (ค่าที่คำนวณได้จากการทดลอง 4.2.1) สังเกตและบันทึกภาพด้านข้างของดายเซลล์ที่เกิดขึ้นในขณะที่นำไนโตรเจนเลเซอร์ไปปั๊มระบบดายเลเซอร์
6. ทำการทดลองเช่นเดิมแต่เปลี่ยนสารละลายโรดามิน 6 จี ค่าความเข้มข้นต่าง ๆ สังเกตความลึกของแสงไนโตรเจนเลเซอร์ที่เข้าไปภายในสารละลายโรดามิน 6 จี และสังเกตลักษณะของแสงที่ปรากฏเมื่อนำกระดาษขาวไปวางเป็นฉากไว้ที่ด้านข้างของดายเซลล์
7. บันทึกค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้เกิดแสง และบันทึกสิ่งที่สังเกตเห็น
8. สรุปและวิเคราะห์ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

เมื่อจัดชุดไนโตรเจนเลเซอร์ให้ทำงาน แสงจากชุดไนโตรเจนเลเซอร์จะส่งผ่านไปยังเลนส์ทรงกระบอกและตกลงที่ดายเซลล์ ลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์จะปั๊มสารละลายโรดามิน 6 จี ที่บรรจุอยู่ภายในดายเซลล์ สังเกตเห็นได้ว่าเมื่อบรรจุสารละลายโรดามิน 6 จี ที่มีค่าความเข้มข้นมากกว่า 7×10^{-2} โมล/ลิตร ลงในดายเซลล์ ลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์ที่ไปกระตุ้นสารละลายดายนั้นจะไม่สามารถเข้าไปภายในสารละลายดายได้เลย

เมื่อสารละลายดายมีความเข้มข้น 7×10^{-2} โมล/ลิตร ลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์จะเข้าไปในสารละลายดายได้เพียงบริเวณผิวหน้าเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.15ก และเมื่อนำกระดาษขาวเป็นฉากไปวางไว้ในด้านข้างในทิศทางการเกิดแสงจากดายเลเซอร์พบว่าไม่มีแสงปรากฏที่ฉาก ดังแสดงในรูปที่ 4.15ข

เมื่อสารละลายดายมีความเข้มข้น 2×10^{-2} โมล/ลิตร ลำแสงจากไนโตรเจนเลเซอร์สามารถเข้าไปยังสารละลายดายได้ประมาณ 1 ใน 5 ของดายเซลล์ (ประมาณ 0.8 มิลลิเมตร) และสังเกตเห็นจุดแสงขนาดเล็กที่มีความเข้มแสงน้อยมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.16ก และ 4.16ข ตามลำดับ

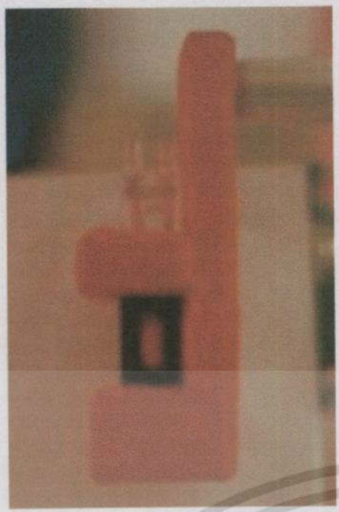
เมื่อสารละลายดายมีความเข้มข้น 1×10^{-2} โมล/ลิตร ลำแสงจากไนโตรเจนเลเซอร์สามารถเข้าไปภายในสารละลายได้ประมาณ 1 ใน 4 ของดายเซลล์ (ประมาณ 1 มิลลิเมตรจากขอบ) และสังเกตเห็นการวาวแสงและที่ฉากด้านหลังจะปรากฏเป็นจุดสีเหลืองขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.17ก และ 4.17ข ตามลำดับ

เมื่อสารละลายดายมีความเข้มข้น 9×10^{-3} และ 8×10^{-3} โมล/ลิตร ลำแสงจากไนโตรเจนเลเซอร์จะเข้าไปภายในสารละลายดายได้มากขึ้นตามลำดับ จนเข้าไปได้ลึกประมาณ 1 ใน 3 ของดายเซลล์ และยังสามารถสังเกตเห็นจุดแสงจากดายเลเซอร์บนฉากขาวที่นำมาวางไว้ด้านข้างได้ แต่มีความเข้มแสงน้อยลงตามความเข้มข้นของสารละลายดายที่ลดลงดังแสดงในรูปที่ 4.18 และ 4.19 ตามลำดับ

เมื่อสารละลายดายมีความเข้มข้น 6×10^{-3} โมล/ลิตร ลำแสงจากไนโตรเจนเลเซอร์จะเข้าไปภายในสารละลายดายได้ประมาณ 1 ใน 2 ของดายเซลล์ ที่ความเข้มข้นนี้ไม่สามารถสังเกตเห็นจุดแสงจากดายเลเซอร์บนฉากขาวได้ดังแสดงในรูปที่ 4.20ก และ 4.20ข ตามลำดับ

เมื่อสารละลายดายมีความเข้มข้น 3×10^{-3} โมล/ลิตร ลำแสงจากไนโตรเจนเลเซอร์จะถูกดูดกลืนโดยสารดายน้อย จึงสังเกตเห็นว่าลำแสงจากไนโตรเจนเลเซอร์ทะลุผ่านสารละลายดายไปถึงด้านหลังของดายเซลล์ได้ เมื่อสังเกตที่ฉากก็ไม่พบเป็นจุดแสงจากดายเลเซอร์แต่จะพบเป็นลักษณะของแสงสว่างดังแสดงในรูปที่ 4.21ก และ 4.21ข ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)

รูปที่ 4.15 ดายเซลล์ที่บรรจุสารละลายโรดามิน 6 จี ความเข้มข้น 7×10^{-2} โมล/ลิตร

(ก) ลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์เข้าไปเพียงบริเวณผิวของสารละลายดายเท่านั้น

(ข) ไม่เกิดแสงสว่างจากดายเลเซอร์บนฉาก

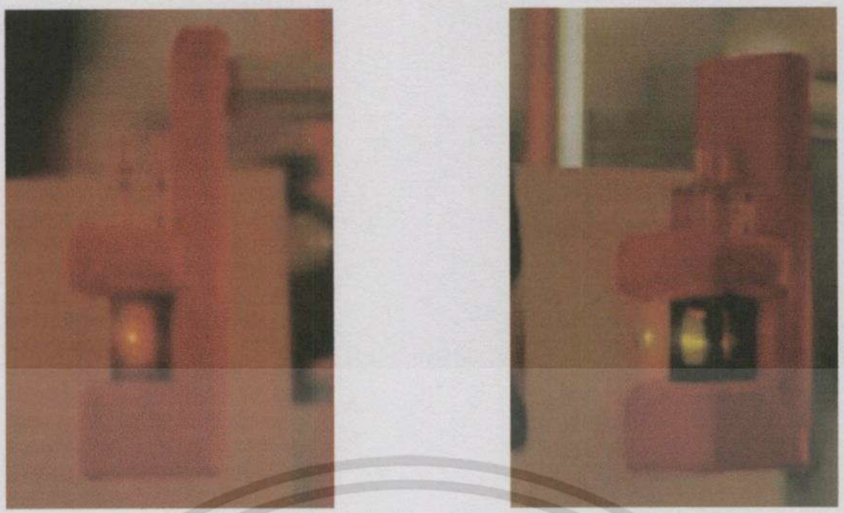
(ก) (ข)

รูปที่ 4.16 ดายเซลล์บรรจุสารละลายโรดามิน 6 จี ความเข้มข้น 2×10^{-2} โมล/ลิตร

(ก) ลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์เข้าไปในสารละลายดายได้มากขึ้น

(ข) เริ่มสังเกตเห็นแสงจากดายเลเซอร์บนฉาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)

รูปที่ 4.17 คายเซลล์บรรจุสารละลายโรดามิน 6 จี ความเข้มข้น 1×10^{-2} โมล/ลิตร

(ก) ลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์เข้าไปในสารละลายคายได้มากกว่ารูป 4.16ก (ประมาณ 1 มิลลิเมตร)

(ข) สังเกตเห็นแสงจากดายเลเซอร์ชัดเจน

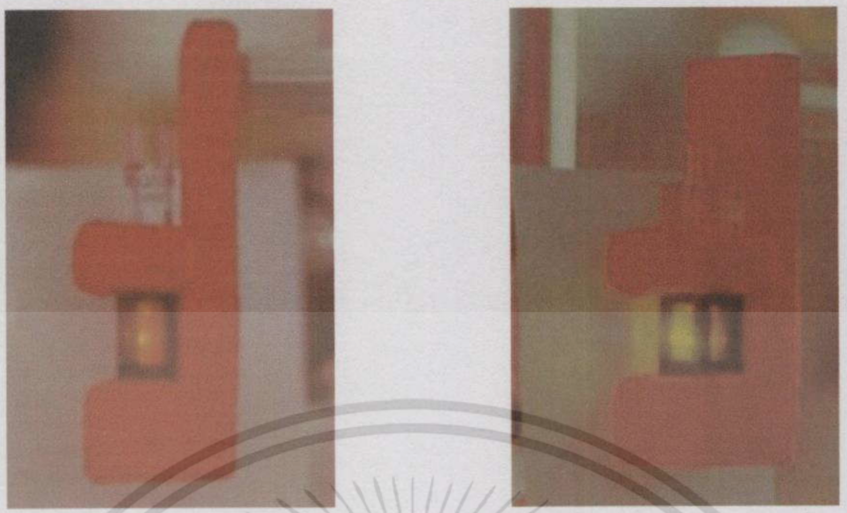
(ก) (ข)

รูปที่ 4.18 คายเซลล์บรรจุสารละลายโรดามิน 6 จี ความเข้มข้น 9×10^{-3} โมล/ลิตร

(ก) ลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์เข้าไปในสารละลายคายได้มากกว่ารูปที่ 4.17ก

(ข) สังเกตแสงที่ปรากฏบนกระดาษขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) (ข)

รูปที่ 4.19 ดายเซลล์บรรจุสารละลายโรดามิน 6 จี ความเข้มข้น 8×10^{-3} โมล/ลิตร

(ก) ลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์เข้าไปในสารละลายดายประมาณ 1 ใน 3

(ข) แสงจากดายเลเซอร์มีความเข้มน้อยลงมา

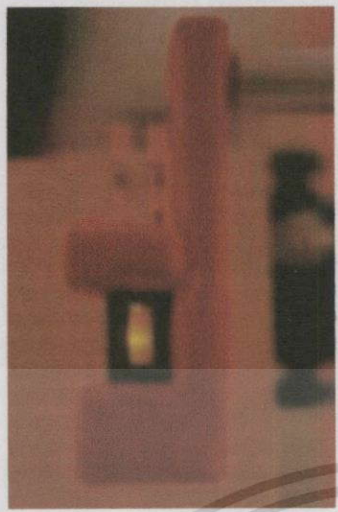
(ก) (ข)

รูปที่ 4.20 ดายเซลล์ที่บรรจุสารละลายโรดามิน 6 จี ความเข้มข้น 6×10^{-3} โมล/ลิตร

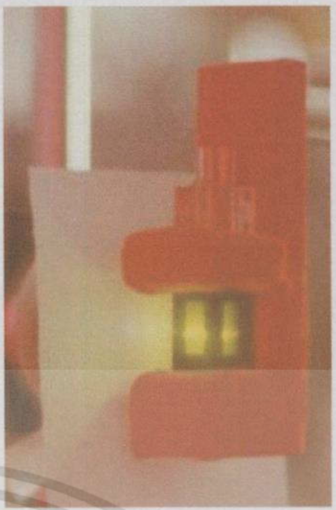
(ก) ลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์เข้าไปในสารละลายดายประมาณ 1 ใน 2

(ข) ไม่เกิดจุดแสงจากดายเลเซอร์มีความสว่างบนฉากจากการวาวแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.21 ดายเซลล์บรรจุสารละลายโรดามิน 6 จี ความเข้มข้น 3×10^{-3} โมล/ลิตร
(ก) ลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์ทะลุสารละลายดายจนถึงด้านหลังของดายเซลล์
(ข) ไม่เกิดจุดแสงจากดายเลเซอร์มีเพียงความสว่างบนฉากจากการวาวแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การลู่ออกของแสงจากระบบดายเลเซอร์เมื่อกระตุ้นด้วยลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์

1. จัดชุดไนโตรเจนเลเซอร์โดยปรับระยะของสปาร์กแกปให้ห่างกัน 6.706 มิลลิเมตร โดยใช้ฟีลเลอร์ที่ใช้สำหรับวัดระยะห่างของเขี้ยวหัวเทียนรถยนต์
2. ปรับระยะห่างของขั้วไฟฟ้าตรงส่วนปลายของด้านที่ลำแสงเลเซอร์ออก (ด้านที่จะนำลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์ไปกระตุ้นระบบดายเลเซอร์) มีค่าเท่ากับ 3.505 มิลลิเมตร ส่วนปลายอีกด้านปรับจนกระทั่งสังเกตดูลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์ด้านที่จะนำไปกระตุ้นระบบดายเลเซอร์มีความเข้มมากที่สุด และเกิดลำแสงเลเซอร์สม่ำเสมอที่สุด
3. เปิดสวิทซ์ที่ชุดจุดระเบิดหัวเทียน เพื่อให้ชุดจุดระเบิดหัวเทียนเป็นตัวควบคุมจังหวะของการเกิดเลเซอร์
4. ป้อนแรงดันจากชุดจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง 14.0 กิโลโวลต์ และปล่อยแก๊สไนโตรเจนเลเซอร์บริสุทธิ 99.99% เข้าไปยังช่องเลเซอร์ด้วยอัตราการไหลของแก๊ส 0.5 ลิตร/นาที
5. จัดระบบดายเลเซอร์ดังแสดงในรูปที่ 4.11ก โดยวางดายเซลล์ที่บรรจุสารละลายโรดามิน 6 จี ที่มีความเข้มข้น 1×10^{-2} โมล/ลิตร ห่างจากชุดไนโตรเจนเลเซอร์ประมาณ 33.5 เซนติเมตร และวางเลนส์ทรงกระบอกห่างจากชุดไนโตรเจนเลเซอร์ 28.5 เซนติเมตร
6. นำฉากไปวางห่างจากช่องที่แสงจากระบบดายเลเซอร์ออกมาเป็นระยะทาง 20 เซนติเมตร ทำการบันทึกภาพโดยใช้กล้องถ่ายรูป Pentax รุ่น SuperA ใช้เลนส์ขนาด 50 มิลลิเมตร เปิดหน้ากล้องไว้ที่ 1.7 และตั้งชัตเตอร์ไว้ที่ B ทำการบันทึกภาพแสงเลเซอร์ 5 ภาพ
7. เลื่อนฉากออกมาที่ระยะ 50 ,100, 150, 200 และ 250 เซนติเมตรตามลำดับ ทำการบันทึกภาพเช่นเดิม
8. นำภาพที่ได้มาทำการวิเคราะห์และหาค่าเฉลี่ยขนาดของลำแสง
9. นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของฉากและขนาดของลำแสง
10. คำนวณหาค่าการลู่ออกของลำแสงจากสมการที่ (4.8)
11. สรุปและวิเคราะห์ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

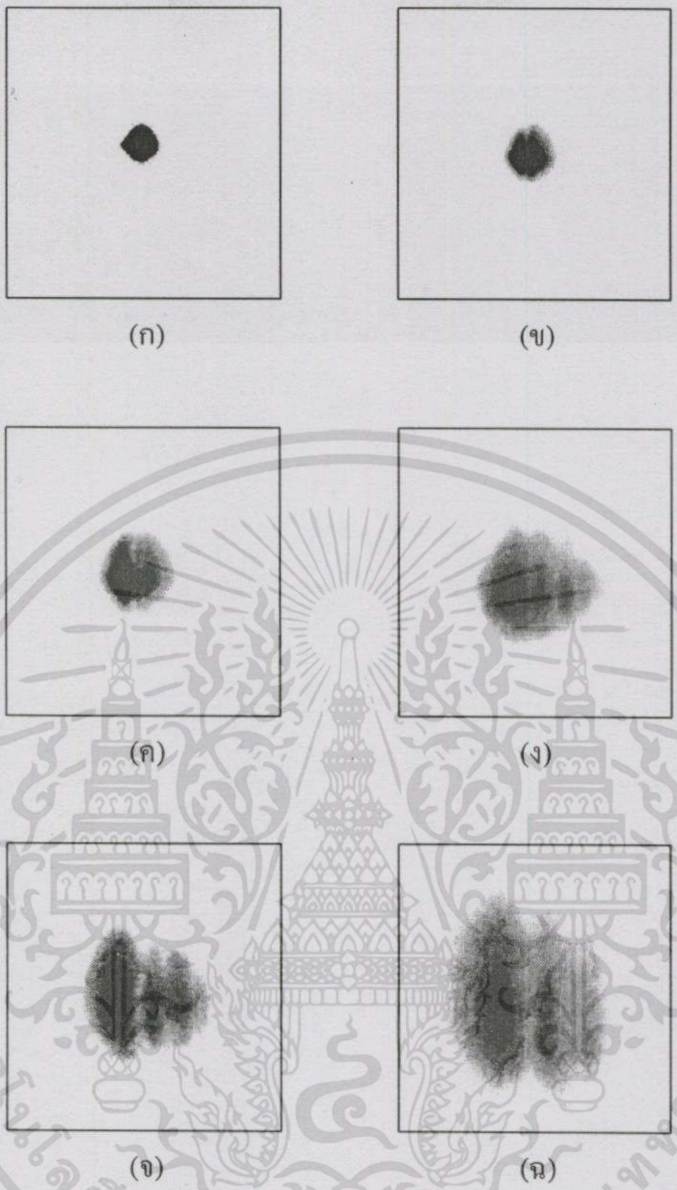
ผลการทดลอง

เมื่อจัดชุดกำเนิดแสงไนโตรเจนเลเซอร์โดยปรับระยะห่างของขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 3.505 มิลลิเมตร ตั้งระยะของสปาร์แกปให้ห่างกัน 6.706 มิลลิเมตร เปิดสวิทซ์ที่ชุดจุดระเบิดหัวเทียนให้ชุดจุดระเบิดหัวเทียนควบคุมจังหวะของการเกิดแสงเลเซอร์ ปล่อยแก๊สไนโตรเจนที่มีความบริสุทธิ์ 99.99 % เข้าไปยังช่องเลเซอร์ที่อัตราการไหลของแก๊ส 0.5 ลิตร/นาที และป้อนแรงดันจากชุดจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง 14.0 กิโลโวลต์ ส่งผ่านลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์ไปปั๊มระบบดาย โดยวางดายเซลล์ห่างจากชุดไนโตรเจนเลเซอร์ 33.5 เซนติเมตร และภายในดายเซลล์บรรจุสารละลายโรดามิน 6 จี ที่มีความเข้มข้น 1×10^{-2} โมล/ลิตร นำฉากไปวางห่างจากช่องที่แสงเลเซอร์ออกมาเป็นระยะทาง 20 , 50 , 100, 150, 200 และ 250 เซนติเมตร ตามลำดับ ทำการบันทึกภาพ ลักษณะของภาพที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.22 ซึ่งเมื่อระยะห่างของฉากมากขึ้นลักษณะของลำแสงก็จะยิ่งมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น ทำการบันทึกภาพที่ระยะฉากต่าง ๆ กัน ระยะละ 5 ภาพ วัดขนาดของลำแสงแล้วนำไปหาค่าเฉลี่ยซึ่งผลที่ได้จะแสดงดังตาราง 4.5 และเมื่อนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของฉากกับขนาดของลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์จะแสดงดังรูปที่ 4.23

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยขนาดของลำแสงจากระบบดายเลเซอร์ที่ระยะห่างของฉากค่าต่าง ๆ

ระยะห่างของฉาก(ซม.)	ค่าเฉลี่ยขนาดของลำแสง(ซม.)
20	0.80
30	0.90
50	1.16
100	1.80
150	2.08
200	3.05
250	3.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



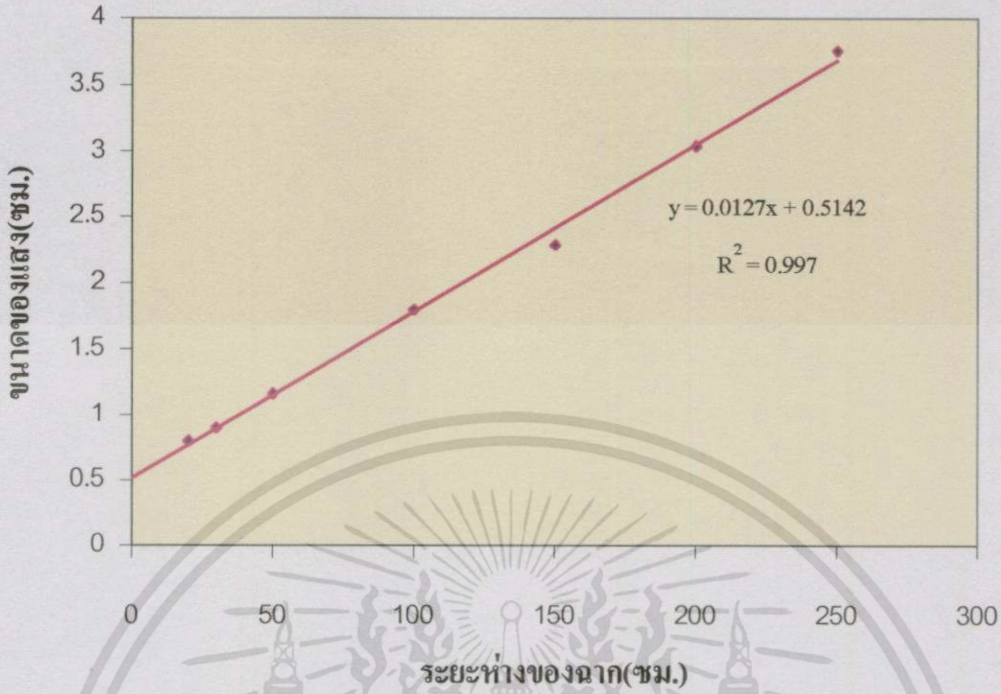
รูปที่ 4.22 ลักษณะของลำแสงจากระบบดายเลเซอร์ เมื่อวางฉากที่ตำแหน่งต่าง ๆ (ภาพขาวดำ ขนาดไม่เท่าจริง)

(ก) วางฉากห่าง 20 เซนติเมตร (ข) วางฉากห่าง 50 เซนติเมตร

(ค) วางฉากห่าง 100 เซนติเมตร (ง) วางฉากห่าง 150 เซนติเมตร

(จ) วางฉากห่าง 200 เซนติเมตร (ฉ) วางฉากห่าง 250 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของฉากกับขนาดของลำแสงจากระบบดายเลเซอร์ เมื่อสารละลายโรดามีน 6 จี ที่บรรจุลงในดายเซลล์มีความเข้มข้น 1×10^{-2} โมล/ลิตร และปั๊มระบบดายเลเซอร์ด้วยชุดไนโตรเจนเลเซอร์ที่มีระยะห่างระหว่างสปาร์แกปเท่ากับ 6.706 มิลลิเมตร ระยะห่างขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 3.505 มิลลิเมตร แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 14 กิโลโวลต์ และอัตราการไหลของแก๊ส 0.5 ลิตร/นาที

จากรูปที่ 4.23 สามารถหาการลู่ออกของลำแสงได้ โดยคำนวณจากสมการที่ (4.8) โดยพิจารณาจากความชันของกราฟ(ค่า m) พบว่า

สมการเส้นตรงของขนาดแสงทางด้านกว้างมีค่า $m = 0.0127$

ดังนั้น การลู่ออกของแสง (มุมเต็ม)มีค่าเท่ากับ $\theta = \tan^{-1}(0.0127)$

$= 12.7$ มิลลิเรเดียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะสรุปผลการทดลองในการทดสอบการทำงานของไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศที่ควบคุมจังหวะการเกิดแสงเลเซอร์จากชุดจุดระเบิดหัวเทียน สมบัติของลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์ที่ได้ทำการทดลองจากบทที่ 4 ผลการทดสอบการทำงานของไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศเมื่อนำไปปั๊มระบบดายเลเซอร์ สมบัติของลำแสงจากระบบดายเลเซอร์ รวมทั้งปัญหาต่าง ๆ ที่พบขณะทำงานวิจัยและข้อเสนอแนะที่ควรจะมีการปรับปรุงและแก้ไข

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. การวิจัยนี้สามารถสร้างไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศได้สำเร็จและสามารถควบคุมจังหวะของการเกิดแสงเลเซอร์ได้ด้วยวงจรชุดจุดระเบิดหัวเทียนที่สร้างขึ้น โดยใช้ไทริสเตอร์เป็นสวิสต์ควบคุม และใช้ไอซี LM 555 เป็นตัวกำเนิดสัญญาณ ซึ่งสามารถปรับความถี่ได้ในช่วง 0.5 – 10 เฮิร์ต จากการทดลองพบว่าลำแสงจากไนโตรเจนเลเซอร์จะมีความเข้มมากที่สุด เมื่อมีอัตราการไหลของแก๊ส 0.5 ลิตร/นาที แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนให้ชุดไนโตรเจนเลเซอร์มีค่า 14 กิโลโวลต์ ที่ระยะห่างของสปาร์กแกปเท่ากับ 6.706 มิลลิเมตรและระยะห่างของขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 2.286 มิลลิเมตร

2. เมื่อศึกษาสมบัติของไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ มีความกว้างของพัลส์ 3.40±0.19 นาโนวินาที ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่พบในรายงานการวิจัย ที่มีค่าระหว่าง 1-10 นาโนวินาที[13,14,15] วัดความยาวคลื่นแสงโดยใช้เกรตติงเลี้ยวเบนได้ค่า 337±0.22 นาโนเมตร ซึ่งค่าที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับทฤษฎีซึ่งมีความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร และวัดการลู่ออกของลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์(มุมเต็ม)ได้ 4.7×9.0 มิลลิเรเดียน ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่พบในรายงานการวิจัย ที่มีค่า 4.2×13.6 มิลลิเรเดียน[14] ซึ่งจะเห็นได้ว่าลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์จะมีการลู่ออกของแสงที่มาก เนื่องจากลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์เกิดจากขบวนการ Amplified Spontaneous Emission ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้โดยไม่จำเป็นต้องมีตัวสั่นพ้องเชิงทัศน์ แสงจึงลู่ออกได้มาก

3. จากการศึกษาพบว่าภาคตัดขวางลำแสงจากไนโตรเจนเลเซอร์ที่สร้างขึ้นมีลักษณะไม่เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าอย่างที่คาดหวัง แต่จะมีลักษณะออกทางรี ๆ มีการกระจายความเข้มแสงในลำแสงดังแสดงในรูปที่ 4.5 จากรูปพบว่าความเข้มสูงสุดของลำแสงไม่ได้อยู่ที่กึ่งกลางของลำแสงแต่อยู่เยื้องไปทางด้านข้างเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. จากผลการทดลองพบว่าความเข้มของแสงเลเซอร์จะแปรผันตรงกับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนให้กับชุดไนโตรเจนเลเซอร์ (ผลการทดลองในรูปที่ 4.6) เนื่องจากเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับระบบมากขึ้น จะทำให้พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุมากขึ้น $\left(E = \frac{1}{2}CV^2\right)$ นอกจากนี้ยังมีประจุหรือจำนวนอิเล็กตรอนสะสมอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อมีการกระตุ้นให้เกิดการคายประจุผ่านช่องเลเซอร์(Laser Channel) จะมีอิเล็กตรอนที่ถูกปลดปล่อยออกมาเพื่อไปกระตุ้นโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนจำนวนมากเป็นผลให้มีการเกิดประชากรผกผันจำนวนมากด้วย ดังนั้นลำแสงเลเซอร์ที่เกิดจึงมีความเข้มสูงกว่าเมื่อเทียบกับกรณีที่ป้อนแรงดันไฟฟ้าต่ำ

5. จากการศึกษาผลของอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนต่อความเข้มแสง พบว่าอัตราการไหลของแก๊สที่ทำให้เกิดแสงที่ความเข้มสูงสุดคือ 0.5 ลิตร/นาที อัตราการไหลที่ต่ำหรือสูงกว่านี้จะทำให้ความเข้มแสงลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออัตราการไหลของแก๊สมีค่าน้อย เช่น 0.25 ลิตร/นาที ความหนาแน่นของโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนจะมีค่าน้อย เมื่อมีการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงค่าเท่ากัน จะมีจำนวนโมเลกุลของแก๊สที่ถูกกระตุ้นโดยอิเล็กตรอนน้อยกว่าเมื่อเทียบกับกรณีที่มีอัตราการไหลของแก๊สสูง แสงที่เกิดจึงมีความเข้มแสงน้อยกว่า ในกรณีที่มีการเพิ่มอัตราการไหลจนสูงกว่าค่าที่เหมาะสม ความหนาแน่นของโมเลกุลแก๊สจะมากขึ้นเป็นผลให้ค่า mean free path ของอิเล็กตรอนมีค่าน้อยลง หมายความว่าอิเล็กตรอนจะชนโมเลกุลแก๊สเมื่อเคลื่อนที่ได้ระยะที่สั้น การชนของอิเล็กตรอนที่สามารถกระตุ้นโมเลกุลไปยังสถานะที่ต้องการได้อิเล็กตรอนนั้นต้องมีพลังงานสูงพอ อิเล็กตรอนที่ถูกปลดปล่อยจากการคายประจุของระบบ จะเคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้าของช่องเลเซอร์ด้วยความเร่งคงที่ค่าหนึ่ง เมื่อเคลื่อนที่ไปโดยไม่มีการชนกับอนุภาคใด ๆ อิเล็กตรอนจะมีพลังงานสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อถึงระยะทางหนึ่งอิเล็กตรอนมีพลังงานจลน์สูงพอจึงสามารถกระตุ้นโมเลกุลของไนโตรเจนได้ ดังที่กล่าวข้างต้น เมื่อมีอัตราการไหลของแก๊สสูงความหนาแน่นของโมเลกุลแก๊สจะมากขึ้น อิเล็กตรอนจะชนกับโมเลกุลของไนโตรเจนก่อนที่จะมีพลังงานสูงพอที่จะกระตุ้นโมเลกุลได้ ดังนั้นแสงเลเซอร์จึงมีความเข้มลดลงเรื่อยๆเมื่อมีการเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สที่มากขึ้น

6. ลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางทำงานที่ความดันบรรยากาศที่สร้างขึ้นนี้สามารถกระตุ้นสารละลายดายที่ประกอบด้วยสารโรดามิน 6 จี ที่ทำละลายในแอลกอฮอล์ 99% จากการทดลองพบว่าแสงเลเซอร์จากระบบดายเลเซอร์มีความเข้มแสงสูงสุดเมื่อสารละลายดายมีความเข้มข้นประมาณ 1×10^{-2} โมล/ลิตร

7. แสงเลเซอร์ที่เกิดจากระบบดายเลเซอร์มีการลู่ออกด้วยมุม 12.7 มิลลิเรเดียน ซึ่งสูงกว่าการลู่ออกของแสงเลเซอร์จากไนโตรเจนเลเซอร์เล็กน้อย แสงที่เกิดขึ้นนี้เป็นแสงเลเซอร์ที่มีสมบัติต่างจากแสงที่เกิดจากขบวนการวาวแสง (Fluorescence) คือมีการลู่ออกน้อยจึงมีทิศทาง (Directionality) สามารถเดินทางได้ไกลกว่าแสงธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. จากการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายดายมีค่าสูงเกินไป สารละลายดายจะดูดกลืนแสงจากไนโตรเจนเลเซอร์สูงมาก แสงเลเซอร์จากไนโตรเจนเลเซอร์จึงมีความเข้มแสงลดลงอย่างรวดเร็ว โดยถูกดูดกลืนหมดที่ผิวของสารละลายดาย เมื่อสังเกตจากด้านข้างจึงไม่เห็นแสงทะลุเข้าไปในเนื้อของสารละลายดายเลย จึงไม่เกิดแสงเลเซอร์จากระบบดายเลเซอร์ ในทางตรงข้ามถ้าใช้สารละลายดายที่มีความเข้มข้นน้อยเกินไปการดูดกลืนจะมีน้อย แสงจากไนโตรเจนเลเซอร์จะทะลุเข้าไปในเนื้อสารละลายดายลึกมาก ความหนาแน่นของโมเลกุลของสารละลายดายที่ถูกกระตุ้นจึงมีน้อย เป็นผลให้เกิดแสงเลเซอร์จากระบบดายเลเซอร์น้อยหรือไม่สามารถเกิดขึ้นได้

9. ความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายดายอาจสังเกตได้จากความลึกของแสงเลเซอร์ที่ใช้ในการกระตุ้นที่เข้าไปในเนื้อสารละลายดายได้ เนื่องจากความเข้มข้นที่เหมาะสมคือความเข้มข้นที่ทำให้เกิดการดูดกลืนแสงเลเซอร์ที่ใช้ในการกระตุ้นที่พอเหมาะ แสงเลเซอร์ที่ใช้ในการกระตุ้นจะต้องสามารถทะลุเข้าไปในเนื้อสารละลายดายได้พอสมควรไม่ตื้นหรือลึกเกินไป จากการสังเกตพบว่าความลึกที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 1-2 มิลลิเมตร

5.2 ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ

1. แหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงที่สร้างขึ้นนี้สามารถจ่ายแรงดันได้ในช่วง 0-15 กิโลโวลต์ เท่านั้น และในขณะที่ทำการทดลองเมื่อปรับแรงดันไฟฟ้าไปที่ค่า 14.5 กิโลโวลต์ พบว่าเริ่มเกิดเสียงดังที่แหล่งกำเนิดแรงดัน ดังนั้นในการทดลองจึงปรับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงไม่เกิน 14.5 กิโลโวลต์ และโดยปกติเพื่อความปลอดภัยจะใช้เพียง 14.0 กิโลโวลต์ เท่านั้น เนื่องจากเกรงจะเกิดความเสียหายขึ้น แต่จากผลการทดลองพบว่าเมื่อปรับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมากขึ้นค่าความเข้มของแสงก็จะมีค่ามากขึ้นด้วย ดังนั้นควรจะทำการสร้างแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงให้สามารถจ่ายแรงดันได้มากกว่า 15 กิโลโวลต์ ซึ่งจะทำให้สามารถศึกษาได้ว่าระบบเลเซอร์สามารถทำงานได้ดีที่สุดที่แรงดันไฟฟ้าเท่าใด

2. สารไดอิเล็กตริดที่นำมาใช้ทำเป็นตัวเก็บประจุในงานวิจัยนี้เป็นแผ่นไมลาร์ ซึ่งสามารถทนแรงดันไฟฟ้าได้ประมาณ 15 กิโลโวลต์ ดังนั้นหากจะสร้างแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงให้จ่ายแรงดันได้สูงกว่า 15 กิโลโวลต์แล้วนั้น ควรปรับปรุงระบบโดยการหาวัสดุไดอิเล็กตริกที่สามารถทนแรงดันที่สูงได้มากกว่านี้

3. กำลังงานของแสงเลเซอร์เป็นสิ่งสำคัญที่บอกถึงประสิทธิภาพของระบบ แต่เนื่องจากลำแสงไนโตรเจนเลเซอร์ที่ได้จะเป็นแสงที่อยู่ในย่านอัลตร้าไวโอเลตและมีลักษณะเป็นพัลส์ที่แคบมาก การวัดกำลังงานของแสงเลเซอร์นี้ต้องใช้เครื่องวัดกำลังงานแสงเลเซอร์ (Laser Power Meter) ซึ่งผู้วิจัยไม่สามารถหาได้ ดังนั้นการศึกษาผลของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนให้กับชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไนโตรเจนเลเซอร์ต่อกำลังงานของแสงเลเซอร์ที่เกิดขึ้นจึงไม่สามารถทำได้โดยตรง ในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ศึกษาเอาท์พุทของแสงเลเซอร์ในรูปของความเข้มแสงโดยวัดความเข้มแสงด้วยโฟโตไดโอดแทน และค่าที่วัดได้นี้จะอยู่ในรูปของโวลเตจที่สมนัยกับความเข้มแสงซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับกำลังงานของแสงด้วย จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมากขึ้นความเข้มแสงก็จะมากขึ้น ผลที่ได้จะอยู่ในรูปของการเปรียบเทียบไม่สามารถแสดงกำลังงานที่แท้จริงของแสงเลเซอร์ได้

4. สืบเนื่องจากปัญหาที่พบในข้อ 3 การศึกษาผลของอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนที่ให้แก่ระบบเลเซอร์ต่อกำลังงานที่เกิด ก็ไม่สามารถวัดในรูปของกำลังโดยตรง จึงต้องทำเช่นเดียวกับข้อ 3 คือต้องวัดกำลังในรูปของความเข้มแสงและรายงานผลในเชิงเปรียบเทียบ

5. จากการสังเกตการใช้งานระบบไนโตรเจนเลเซอร์พบว่าเมื่อปรับระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าของช่องเลเซอร์ให้ห่างมากขึ้น (พร้อมกับระยะของสปาร์กแกปให้เหมาะสม) แสงเลเซอร์ที่เกิดมีแนวโน้มว่าจะมีความเข้มแสงมากขึ้น แต่การจัดระยะห่างของขั้วไฟฟ้าให้ได้ระยะที่ต้องการนั้นทำได้ยากเนื่องจากความไม่สมบูรณ์ของขั้วไฟฟ้า เช่นผิวหน้าของขั้วไม่ขนานกันจริงประกอบกับระบบจับยึดขั้วที่ไม่สามารถปรับได้สะดวก ดังนั้นการติดตั้งขั้วไฟฟ้าให้อยู่ในสภาพเดิมทุกครั้งจึงทำได้ยาก การศึกษาผลของระยะห่างของขั้วไฟฟ้าต่อกำลังงานแสงจึงไม่สามารถทำการทดลองซ้ำได้ จึงไม่มีผลการทดลองเป็นตัวเลขแสดงมีเพียงแต่ผลจากการสังเกตเท่านั้น ถ้าต้องการศึกษาผลที่แน่นอนจะต้องมีการปรับปรุงขั้วไฟฟ้าให้ดีขึ้นพร้อมกับปรับปรุงระบบจับยึดขั้วไฟฟ้าให้สามารถปรับระยะได้สะดวกและแน่นอน และถ้าสามารถออกแบบให้สามารถปรับระยะขั้วไฟฟ้าในขณะใช้งานเลเซอร์(ขณะป้อนไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง)ได้ก็จะช่วยให้การศึกษาทำได้ง่ายขึ้น

6. เมื่อไม่สามารถวัดกำลังของลำแสงไนโตรเจนที่ออกมาได้นั้น จึงเป็นการยากที่จะบอกได้ว่าแสงไนโตรเจนเลเซอร์ที่มีค่าเท่าใดจึงจะสามารถนำไปกระตุ้นสารละลายดายได้ แต่จากการศึกษาจากเอกสารงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าค่าสารละลายดายที่ใช้กันจะมีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วงระหว่าง 1×10^{-3} ถึง 1×10^{-1} โมล/ลิตร ผู้ทำวิจัยจึงใช้วิธีการเตรียมสารละลายดายที่มีค่าที่อยู่ในช่วงนี้แล้วทำการศึกษาดูว่าความเข้มข้นค่าใดสามารถใช้ได้กับแสงเลเซอร์จากชุดไนโตรเจนเลเซอร์ที่สร้างขึ้นได้

7. ในการจัดวางระบบดายเลเซอร์นั้น ผู้วิจัยทำการทดลองจัดระบบในหลายลักษณะ เช่น การใช้กระจกราบที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อน 100% เป็นกระจกหลัง และใช้กระจกราบที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อน 80% เป็นกระจกหน้า หรือใช้เกรตติงเลี้ยวเบนขนาด 1800 เส้น/มิลลิเมตร ทำหน้าที่เป็นกระจกหลังและใช้กระจกราบที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อน 80% เป็นกระจกหน้า ซึ่งพบว่าการจัดระบบเช่นนี้จะเป็นเหมือนกับลักษณะการจัดระบบตัวสั่นพ้องเชิงทัศน์ ที่มีกระจกหน้าและกระจกหลังเป็นกระจกเรียบ ซึ่งมีรัศมีความโค้งเป็นอนันต์ซึ่งถือเป็นระบบที่จัดได้ยากที่สุด ดังนั้นจึงควรจัดหาอุปกรณ์ที่ช่วยให้การจัดระบบง่ายขึ้น เช่นการใช้กระจกเว้าแทนกระจกราบ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว. **เลเซอร์เอนจิเนียริ่ง.** กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2529

[2] Jeff Heacht. **Laser Pionear.** Boston. : Academic Press. 1992

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

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

[5] Peter W. Milonni, Joseph H. Eberly. **Laser.** United States. : John Wiley&Sons, Inc. 1988

[6] ไพโรจน์ ไตรรัตน์. "การสร้างไนโตรเจนเลเซอร์ชนิดกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร. 2537.

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

[8] Christopher C. Davis. **Laser and Electro-Optics.** London. Cambridge University Press. 1996

[9] ปิยะรัศ ศรีเหนี่ยง, รัตน์สุดา ทองแดง. "ไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ." ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2540

[10] วรดา ทรัพย์จรัสแสง. "การพัฒนาและสร้างวงจรกระตุ้นไนโตรเจนเลเซอร์." ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2541.

[11] Born, M. and Wolf, E. **Principle of Optics.** 6th ed. Oxford : Pergamon Press. 1986.

[12] Gilberty S. Hayat. **Handbook : Diffraction Gratings Ruled and Holographic.** : J and Y Diffraction Grating Inc. 1984

[13] Peter Schenck, Harold Metcalf. "Low Cost Nitrogen Laser Design for Dye Laser Pumping. Applied Optics, vol. 12, no. 2, Februry 1973. Pp. 183-186

[14] C. L. Sam. "Small-size Discrete-capacitor N_2 Laser." Applied Physics Letters. Vol. 29, no.8, October 1976. Pp. 505-506.

[15] Ernest E. Bergmann. "Coherent UV from a TEA N_2 Laser System" Applied Physics Letters, vol. 31, no. 10, November 1977. Pp. 661-664

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

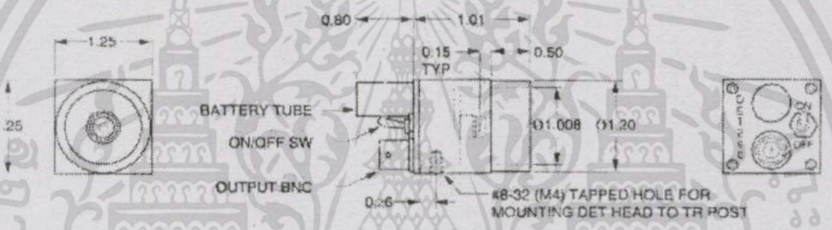
HIGH-SPEED SILICON DETECTOR - DET200

DESCRIPTION

Thorlab's DET200 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 holder (SM1L05) which provides easy mounting of ND and spectral filters and other Thorlabs 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	**Housing:**	Black Anodized Aluminum
Spectral Response:	185-1100nm	**Size:**	1.25" SQ. x 2.3"
Peak Wavelength:	920nm±50nm	**Output:**	BNC, DC-Coupled
Rise/Fall Time[1]:	≤ 1ns	**Bias:**	12V Battery (Type A23)
Diode Capacitance:	1.8pF	**Mounting:**	8-32 Tapped Hole
NEP:	5×10^{-14} W/√Hz	**Diode Socket:**	TO-5, Anode Marked
Dark Current:	2.5nA	**Damage Threshold:**	100mW CW
Active Area:	1.0mm² Round		0.5 J/cm² (10 ns pulse)



Mechanical Dimensions

Thorlab's DET series are ideal for measuring both pulsed and CW light sources. The DET200 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, $\Re(\lambda)$, 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:

$$V_0 = P * \Re(\lambda) * R_{LOAD}.$$

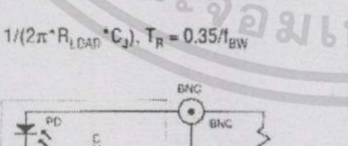
The bandwidth, f_{BW}, and the rise-time response, T_R, are determined from the diode capacitance, C_J, and the load resistance, R_{LOAD}:

$$f_{BW} = 1/(2\pi * R_{LOAD} * C_J),\ T_R = 0.35/f_{BW}$$

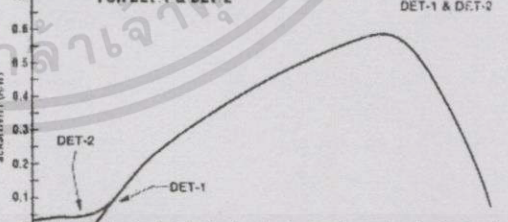
For maximum bandwidth, we recommend using a 50Ω coax cable with a 50Ω terminating resistor at the end of the coax. This will also minimize ringing by matching the coax with its characteristic impedance. If bandwidth is not important, you can increase the amount of voltage for a given input light by increasing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

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

Notes:
1. Measuring with a 50Ω Terminating Resistor



TYPICAL SPECTRAL RESPONSE FOR DET-1 & DET-2



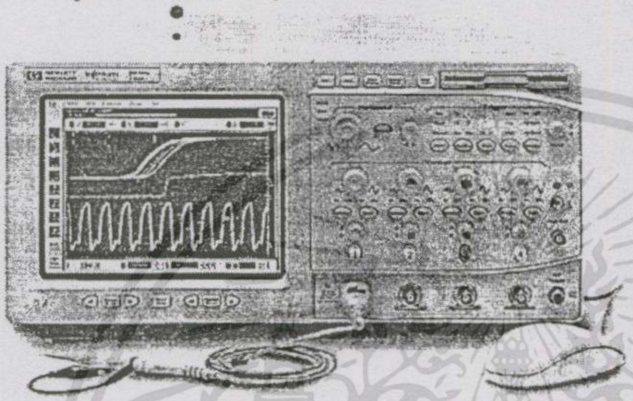
1461-S01 Rev B 10/2/96

SALES: (201) 579-7227
FAX: (201) 383-8406
435 ROUTE 206 • P.O. BOX 366 • NEWTON, NJ 07860-0366
THORLABS INC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Agilent Technologies
Infiniium 54810/15/20/25/35/45A Oscilloscopes

Data Sheet



- 500 MHz, 1 GHz and 1.5-GHz bandwidth models
- 2- or 4-channel models
- Up to 8-GSa/s sample rates
- Simple, analog-like front panel
- Familiar Windows®98-based graphical user interface
- Built-in information system
- LAN printer and file sharing
- Eye diagrams and mask testing
- VoiceControl Option

Agilent Infiniium oscilloscopes combine a simple, analog-like front panel, the graphical user interface of a PC, and powerful connectivity capabilities to make high-performance features accessible and uncomplicated. Infiniium oscilloscopes are designed to help you get your measurement job done faster.

Simple Analog-like Front Panel
Agilent Infiniium oscilloscopes give you the simple, uncluttered front panel of an analog scope for accessing basic functions. Dedicated scale and position knobs for each channel provide intuitive operation. Trigger LEDs show you trigger status at a glance. To speed up measurements, the QuickMeas key gives you instant access to any four measurements.

Familiar Graphical User Interface
Agilent Infiniium scopes employ a graphical user interface based on Windows® 98. Windows' familiar interface means you won't have to spend a lot of time learning and relearning the scope. Pull-down menus give you easy access to advanced features. Dialog boxes display all the choices you need to make for measurement setups.
In addition, waveforms, markers, and measurements can be easily positioned on the display by using your mouse to drag and drop.

Exceptional Connectivity
Agilent Infiniium scopes give you the tools you need to document your work and share your results. It takes just a few mouse clicks to save waveforms and screen bitmaps to hard drive, floppy, or, when networked, to a drive on your network. LAN connectivity also lets you easily print your results to networked printers, and makes it simple to share your waveforms and data with others.

The Performance You Need
And Agilent Infiniium scopes aren't just easier to use. These scopes provide the high performance specifications and features you need to get your measurement job done faster.
With bandwidths to 1.5 GHz and sample rates to 8 GSa/s, Infiniium can view your fastest signals. Powerful triggering and analysis makes it easy to capture and analyze your waveforms. Display and math features like color-graded persistence and histograms let you easily view and isolate signal problems faster.

Agilent Technologies
Innovating the HP Way

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Performance to Get the Job Done

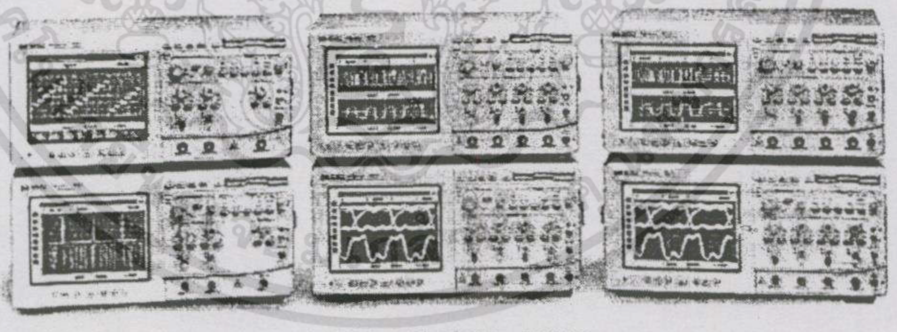
Agilent Infiniium scopes combine ease-of-use with the right specifications and a broad feature set to help you get your job done faster. Use the information here to find the scope that meets your signal measurement needs, and review the features on the next two pages to see how Infiniium makes its advanced power so usable.

General-Purpose Versatility
The 500 MHz versions of Infiniium provide exceptional performance and capability for general purpose lab measurements. Select a sample rate of 1 or 2 GSa/s based on your need for single shot measurement accuracy, and let your application needs and budget determine your choice of a 2- or 4-channel model. Whichever Infiniium you select, you can be sure of getting a powerful scope that makes it easier to get your job done.

For applications requiring more than 500 MHz of bandwidth, the new 54835A offers four channels at 1 GHz, with sample rates up to 4 GSa/s.

Ultimate Performance
The Infiniium family's 54845A provides the performance you need for your most demanding signals. 1.5 GHz bandwidth and a sample rate of up to 8 GSa/s ensure fast, accurate capture of your waveforms. Like the other Infiniium models, the 54845A's familiar user interface makes it easy to take advantage of every bit of the performance inside.

Model	Channels	Bandwidth	Sample Rate	Memory Depth
54810A	2	500 MHz	1 GSa/s	32K
54815A	4	500 MHz	1 GSa/s	32K
54820A	2	500 MHz	2 GSa/s	32K
54825A	4	500 MHz	2 GSa/s	32K
54835A	4	1 GHz	4 GSa/s (2 channel mode)	64K (2 channel mode)
			2 GSa/s (4 channel mode)	32K (4 channel mode)
54845A	4	1.5 GHz	8 GSa/s (2 channel mode)	64K (2 channel mode)
			4 GSa/s (4 channel mode)	32K (4 channel mode)



Infiniium models 54815A and 54825A

Infiniium models 54810A and 54820A

Infiniium models 54835A and 54845A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Semiconductor

February 2000

LM555
Timer

General Description

The LM555 is a highly stable device for generating accurate time delays or oscillation. Additional terminals are provided for triggering or resetting if desired. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For astable operation as an oscillator, the free running frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output circuit can source or sink up to 200mA or drive TTL circuits.

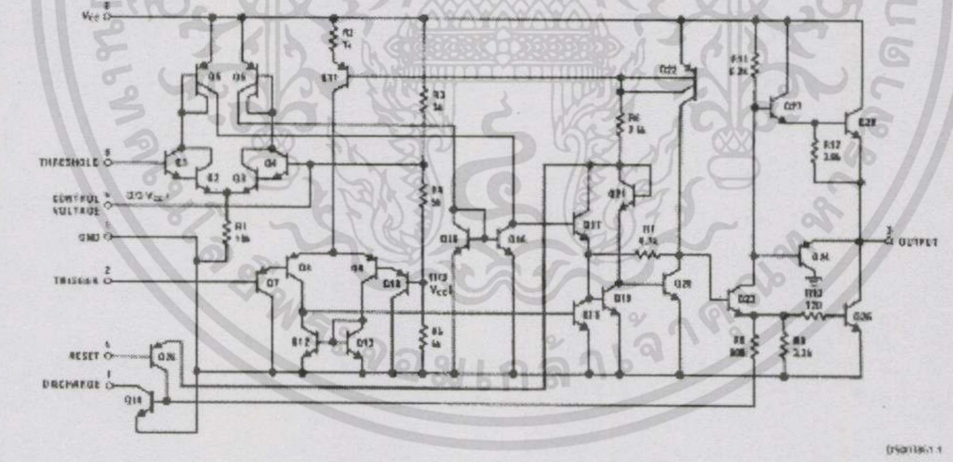
Features

- Direct replacement for SE555/NE555
- Timing from microseconds through hours
- Operates in both astable and monostable modes
- Adjustable duty cycle
- Output can source or sink 200 mA
- Output and supply TTL compatible
- Temperature stability better than 0.005% per °C
- Normally on and normally off output
- Available in 8-pin MSOP package

Applications

- Precision timing
- Pulse generation
- Sequential timing
- Time delay generation
- Pulse width modulation
- Pulse position modulation
- Linear ramp generator

Schematic Diagram

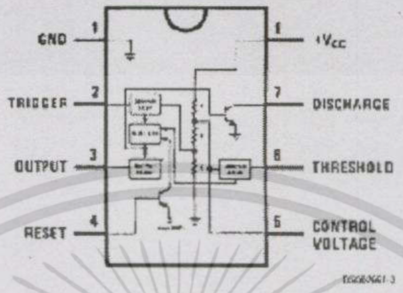


© 2000 National Semiconductor Corporation DS007851

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connection Diagram

Dual-In-Line, Small Outline and Molded Mini Small Outline Packages



Top View

Ordering Information

Package	Part Number	Package Marking	Media Transport	NSC Drawing
8-Pin SOIC	LM555CM	LM555CM	Rails	M08A
	LM555CMX	LM555CM	2.5k Units Tape and Reel	
8-Pin MSOP	LM555CMM	Z55	1k Units Tape and Reel	MUA08A
	LM555CMMX	Z55	3.5k Units Tape and Reel	
8-Pin MDIP	LM555CN	LM555CN	Rails	N08E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	+18V
Power Dissipation (Note 3)	
LM555CM, LM555CN	1180 mW
LM555CMM	613 mW
Operating Temperature Ranges	
LM555C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	−65°C to +150°C
Soldering Information	
Dual-In-Line Package	
Soldering (10 Seconds)	260°C
Small Outline Packages	
(SOIC and MSOP)	
Vapor Phase (60 Seconds)	215°C
Infrared (15 Seconds)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

Electrical Characteristics (Notes 1, 2)

(T_A = 25°C, V_{CC} = +5V to +15V, unless othewise specified)

Parameter	Conditions	Limits			Units
		LM555C			
		Min	Typ	Max	
Supply Voltage		4.5		16	V
Supply Current	V_{CC} = 5V, R_L = ∞ V_{CC} = 15V, R_L = ∞ (Low State) (Note 4)		3 10	6 15	mA
Timing Error, Monostable					
Initial Accuracy			1		%
Drift with Temperature	R_A = 1k to 100kΩ, C = 0.1μF, (Note 5)		50		ppm/°C
Accuracy over Temperature			1.5		%
Drift with Supply			0.1		%/V
Timing Error, Astable					
Initial Accuracy			2.25		%
Drift with Temperature	R_A, R_B = 1k to 100kΩ, C = 0.1μF, (Note 5)		150		ppm/°C
Accuracy over Temperature			3.0		%
Drift with Supply			0.30		%/V
Threshold Voltage			0.667		x V_{CC}
Trigger Voltage	V_{CC} = 15V		5		V
	V_{CC} = 5V		1.67		V
Trigger Current			0.5	0.9	μA
Reset Voltage		0.4	0.5	1	V
Reset Current			0.1	0.4	mA
Threshold Current	(Note 6)		0.1	0.25	μA
Control Voltage Level	V_{CC} = 15V V_{CC} = 5V	9 2.6	10 3.33	11 4	V
Pin 7 Leakage Output High			1	100	nA
Pin 7 Sat (Note 7)					
Output Low	V_{CC} = 15V, I_7 = 15mA		180		mV
Output Low	V_{CC} = 4.5V, I_7 = 4.5mA		80	200	mV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Notes 1, 2) (Continued)

(T_A = 25°C, V_{CC} = +5V to +15V, unless othewise specified)

Parameter	Conditions	Limits			Units
		LM555C			
		Min	Typ	Max	
Output Voltage Drop (Low)	V_{CC} = 15V				
	I_{SINK} = 10mA		0.1	0.25	V
	I_{SINK} = 50mA		0.4	0.75	V
	I_{SINK} = 100mA		2	2.5	V
	I_{SINK} = 200mA		2.5		V
	V_{CC} = 5V				
	I_{SINK} = 8mA				V
	I_{SINK} = 5mA		0.25	0.35	V
Output Voltage Drop (High)	I_{SOURCE} = 200mA, V_{CC} = 15V		12.5		V
	I_{SOURCE} = 100mA, V_{CC} = 15V	12.75	13.3		V
	V_{CC} = 5V	2.75	3.3		V
Rise Time of Output			100		ns
Fall Time of Output			100		ns

Note 1: All voltages are measured with respect to the ground pin, unless otherwise specified.

Note 2: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which guarantee specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not guaranteed for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.

Note 3: For operating at elevated temperatures the device must be derated above 25°C based on a +150°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 106°C/W (DIP), 170°C/W (S0-8), and 204°C/W (MSOP) junction to ambient.

Note 4: Supply current when output high typically 1 mA less at V_{CC} = 5V.

Note 5: Tested at V_{CC} = 5V and V_{CC} = 15V.

Note 6: This will determine the maximum value of $R_A + R_B$ for 15V operation. The maximum total ($R_A + R_B$) is 20MΩ.

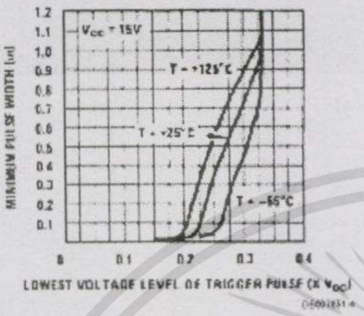
Note 7: No protection against excessive pin 7 current is necessary providing the package dissipation rating will not be exceeded.

Note 8: Refer to RETS555X drawing of military LM555H and LM555J versions for specifications.

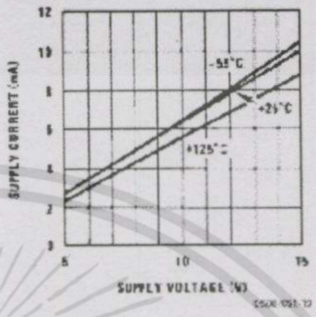
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

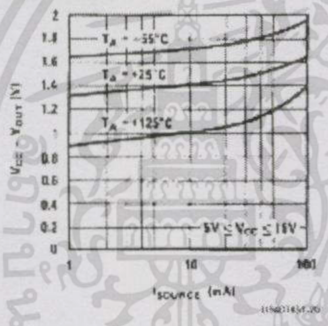
Minimuim Pulse Width Required for Triggering



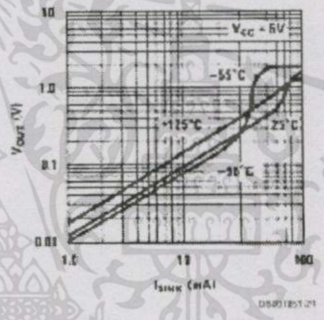
Supply Current vs. Supply Voltage



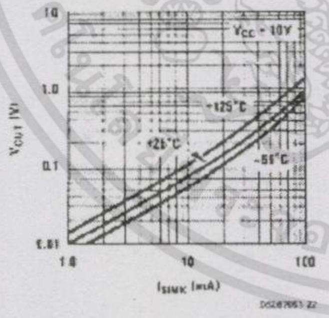
High Output Voltage vs. Output Source Current



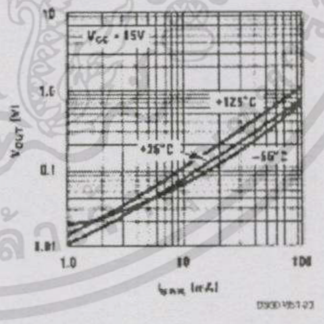
Low Output Voltage vs. Output Sink Current



Low Output Voltage vs. Output Sink Current



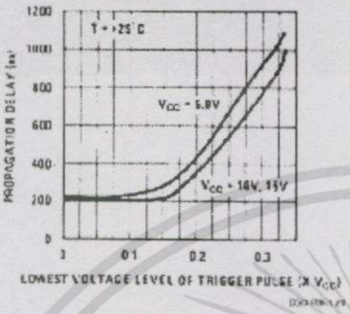
Low Output Voltage vs. Output Sink Current



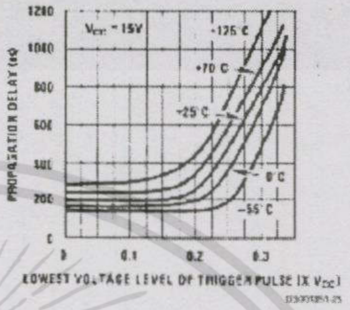
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued)

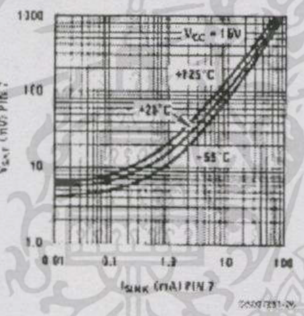
Output Propagation Delay vs. Voltage Level of Trigger Pulse



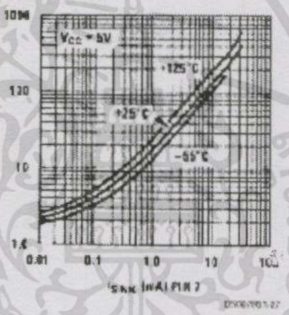
Output Propagation Delay vs. Voltage Level of Trigger Pulse



Discharge Transistor (Pin 7) Voltage vs. Sink Current



Discharge Transistor (Pin 7) Voltage vs. Sink Current



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applications Information

MONOSTABLE OPERATION

In this mode of operation, the timer functions as a one-shot (*Figure 1*). The external capacitor is initially held discharged by a transistor inside the timer. Upon application of a negative trigger pulse of less than 1/3 V_{CC} to pin 2, the flip-flop is set which both releases the short circuit across the capacitor and drives the output high.

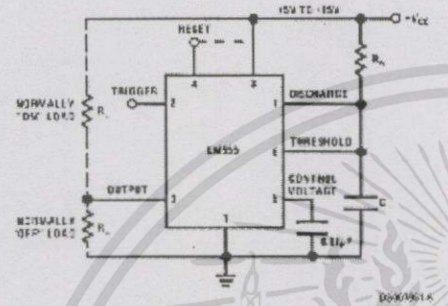
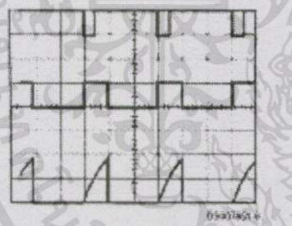


FIGURE 1. Monostable

The voltage across the capacitor then increases exponentially for a period of t = 1.1 R_A C, at the end of which time the voltage equals 2/3 V_{CC}. The comparator then resets the flip-flop which in turn discharges the capacitor and drives the output to its low state. *Figure 2* shows the waveforms generated in this mode of operation. Since the charge and the threshold level of the comparator are both directly proportional to supply voltage, the timing internal is independent of supply.



V_{CC} = 5V
TIME = 0.1 ms/DIV.
R_A = 9.1kΩ
C = 0.01μF

Top Trace: Input 5V/Div.
Middle Trace: Output 5V/Div.
Bottom Trace: Capacitor Voltage 2V/Div.

FIGURE 2. Monostable Waveforms

During the timing cycle when the output is high, the further application of a trigger pulse will not effect the circuit so long as the trigger input is returned high at least 10μs before the end of the timing interval. However the circuit can be reset during this time by the application of a negative pulse to the reset terminal (pin 4). The output will then remain in the low state until a trigger pulse is again applied.

When the reset function is not in use, it is recommended that it be connected to V_{CC} to avoid any possibility of false triggering.

Figure 3 is a nomograph for easy determination of R, C values for various time delays.

NOTE: In monostable operation, the trigger should be driven high before the end of timing cycle.

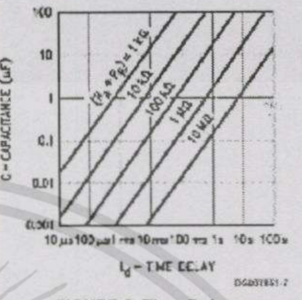


FIGURE 3. Time Delay

ASTABLE OPERATION

If the circuit is connected as shown in *Figure 4* (pins 2 and 6 connected) it will trigger itself and free run as a multivibrator. The external capacitor charges through R_A + R_B and discharges through R_B. Thus the duty cycle may be precisely set by the ratio of these two resistors.

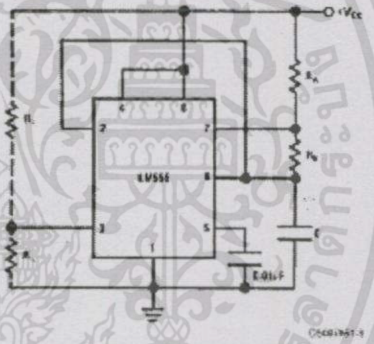


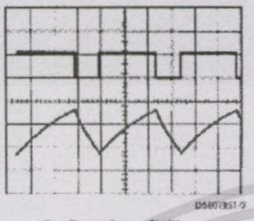
FIGURE 4. Astable

In this mode of operation, the capacitor charges and discharges between 1/3 V_{CC} and 2/3 V_{CC}. As in the triggered mode, the charge and discharge times, and therefore the frequency are independent of the supply voltage.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applications Information (Continued)

Figure 5 shows the waveforms generated in this mode of operation.



V_{CC} = 5V Top Trace: Output 5V/Div.
TIME = 20μs/DIV. Bottom Trace: Capacitor Voltage 1V/Div.
R_A = 3.9kΩ
R_B = 3kΩ
C = 0.01μF

FIGURE 5. Astable Waveforms

The charge time (output high) is given by:

$$t_1 = 0.693\ (R_A + R_B)\ C$$

And the discharge time (output low) by:

$$t_2 = 0.693\ (R_B)\ C$$

Thus the total period is:

$$T = t_1 + t_2 = 0.693\ (R_A + 2R_B)\ C$$

The frequency of oscillation is:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_A + 2\,R_B)\,C}$$

Figure 6 may be used for quick determination of these RC values.

The duty cycle is:

$$D = \frac{R_B}{R_A + 2R_B}$$

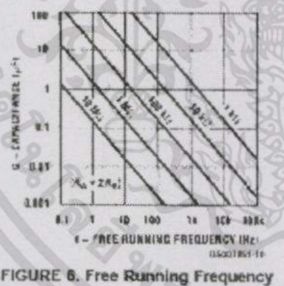
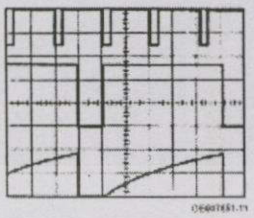


FIGURE 6. Free Running Frequency

FREQUENCY DIVIDER

The monostable circuit of *Figure 1* can be used as a frequency divider by adjusting the length of the timing cycle. *Figure 7* shows the waveforms generated in a divide by three circuit.



V_{CC} = 5V Top Trace: Input 4V/Div.
TIME = 20μs/DIV. Middle Trace: Output 2V/Div.
R_A = 9.1kΩ Bottom Trace: Capacitor 2V/Div.
C = 0.01μF

FIGURE 7. Frequency Divider

PULSE WIDTH MODULATOR

When the timer is connected in the monostable mode and triggered with a continuous pulse train, the output pulse width can be modulated by a signal applied to pin 5. *Figure 8* shows the circuit, and in *Figure 9* are some waveform examples.

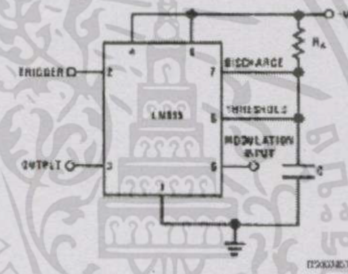
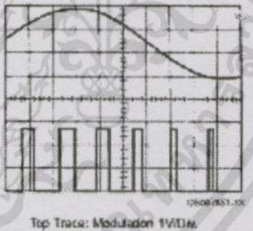


FIGURE 8. Pulse Width Modulator



V_{CC} = 5V Top Trace: Modulation 1V/Div.
TIME = 0.2 ms/DIV. Bottom Trace: Output Voltage 2V/Div.
R_A = 9.1kΩ
C = 0.01μF

FIGURE 9. Pulse Width Modulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applications Information (Continued)

PULSE POSITION MODULATOR

This application uses the timer connected for astable operation, as in *Figure 10*, with a modulating signal again applied to the control voltage terminal. The pulse position varies with the modulating signal, since the threshold voltage and hence the time delay is varied. *Figure 11* shows the waveforms generated for a triangle wave modulation signal.

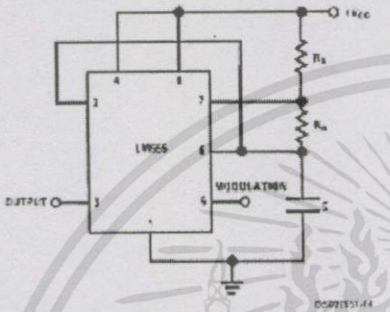
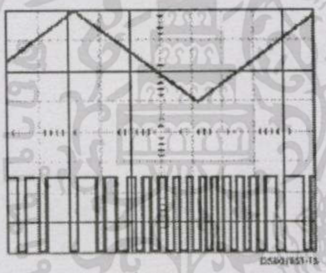


FIGURE 10. Pulse Position Modulator



V_{CC} = 5V
TIME = 0.1 ms/DIV.
R_A = 3.9kΩ
R_B = 3kΩ
C = 0.01µF

Top Trace: Modulation Input 1V/Div.
Bottom Trace: Output 2V/Div.

FIGURE 11. Pulse Position Modulator

LINEAR RAMP

When the pullup resistor, R_A, in the monostable circuit is replaced by a constant current source, a linear ramp is generated. *Figure 12* shows a circuit configuration that will perform this function.

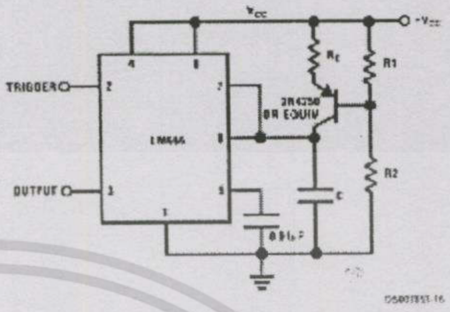


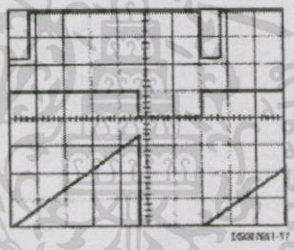
FIGURE 12.

Figure 13 shows waveforms generated by the linear ramp. The time interval is given by:

$$T = \frac{2/3\ V_{CC}\ R_E\ (R_1 + R_2)\ C}{R_1\ V_{CC} - V_{BE}\ (R_1 + R_2)}$$

$$V_{BE} \simeq 0.6V$$

$$V_{BE} = 0.6V$$



V_{CC} = 5V
TIME = 20µs/DIV.
R_1 = 47kΩ
R_2 = 100kΩ
R_E = 2.7 kΩ
C = 0.01 µF

Top Trace: Input 3V/Div.
Middle Trace: Output 5V/Div.
Bottom Trace: Capacitor Voltage 1V/Div.

FIGURE 13. Linear Ramp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applications Information (Continued)

50% DUTY CYCLE OSCILLATOR

For a 50% duty cycle, the resistors R_A and R_B may be connected as in *Figure 14*. The time period for the output high is the same as previous, $t_1 = 0.693\ R_A\ C$. For the output low it is t_2 =

$$\left[(R_A R_B)/(R_A + R_B)\right] C\ \ln\left[\frac{R_B - 2R_A}{2R_B - R_A}\right]$$

Thus the frequency of oscillation is

$$f = \frac{1}{t_1 + t_2}$$

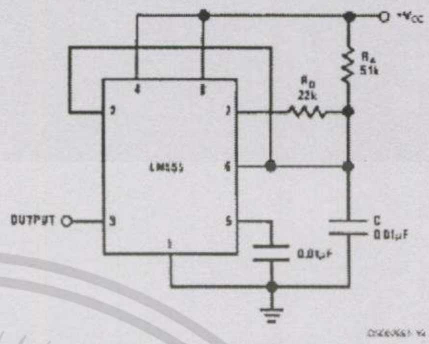


FIGURE 14. 50% Duty Cycle Oscillator

Note that this circuit will not oscillate if R_B is greater than 1/2 R_A because the junction of R_A and R_B cannot bring pin 2 down to 1/3 V_{CC} and trigger the lower comparator.

ADDITIONAL INFORMATION

Adequate power supply bypassing is necessary to protect associated circuitry. Minimum recommended is 0.1µF in parallel with 1µF electrolytic.

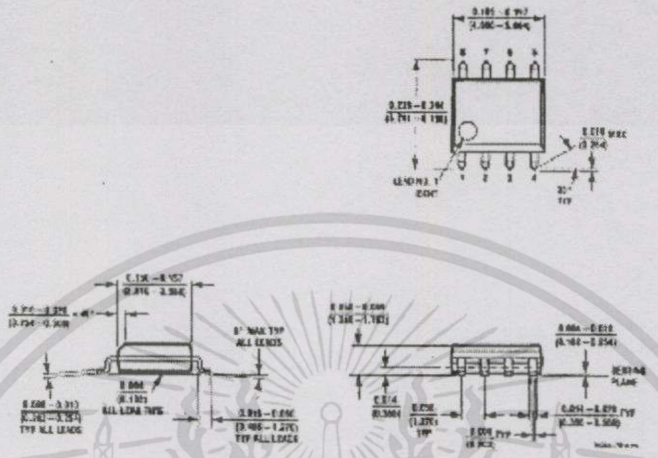
Lower comparator storage time can be as long as 10µs when pin 2 is driven fully to ground for triggering. This limits the monostable pulse width to 10µs minimum.

Delay time reset to output is 0.47µs typical. Minimum reset pulse width must be 0.3µs, typical.

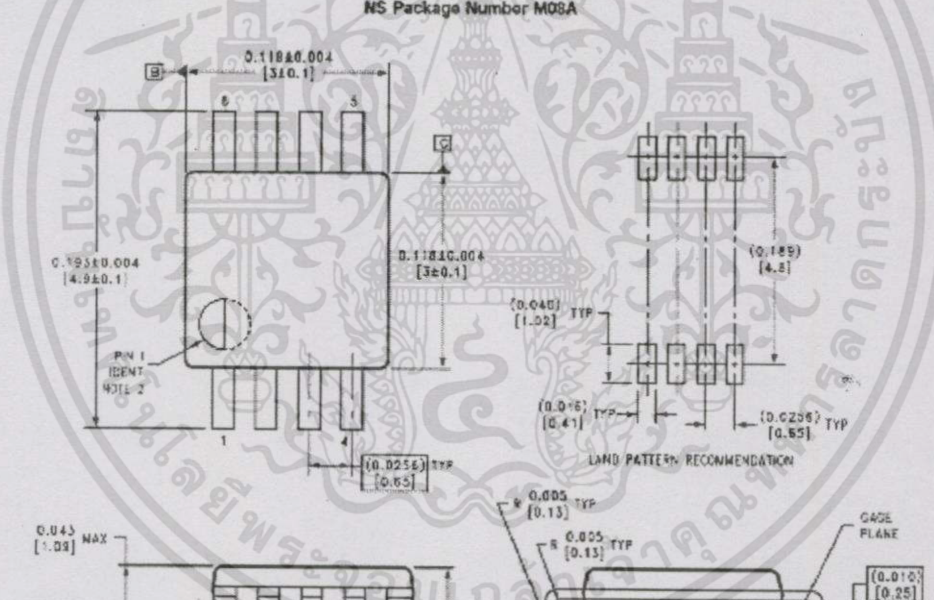
Pin 7 current switches within 30ns of the output (pin 3) voltage.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



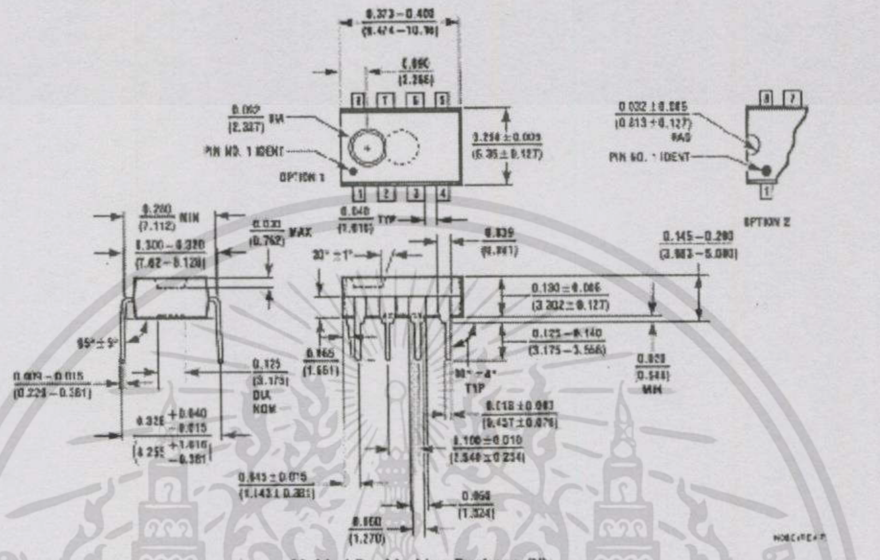
Small Outline Package (M)
NS Package Number M08A



8-Lead (0.118" Wide) Molded Mini Small Outline Package
NS Package Number MUA08A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



Molded Dual-In-Line Package (N)
NS Package Number N08E

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

National Semiconductor Corporation
Americas
Tel: 1-800-272-9959
Fax: 1-800-737-7018
Email: support@nsc.com
www.national.com

National Semiconductor Europe
Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7560
Fax: 81-3-5639-7507

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Order this document
by MCR265/D

MCR265-4 thru MCR265-10

Thyristors
Silicon Controlled Rectifiers

. . . designed for inverse parallel SCR output devices for solid state relays, welders, battery chargers, motor controls or applications requiring high surge operation.

- Photo Glass Passivated Blocking Junctions for High Temperature Stability, Center Gate for Uniform Parameters
- 550 Amperes Surge Capability
- Blocking Voltage to 800 Volts

SCRs
55 AMPERES RMS
50 thru 800 VOLTS

CASE 221A-09
(TO-220AB)
STYLE 3

MAXIMUM RATINGS (T_J = 25°C unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Peak Repetitive Forward and Reverse Blocking Voltage(1) (T_J = 25 to 125°C, Gate Open) MCR265-4 MCR265-6 MCR265-8 MCR265-10	V_{DRM} V_{RRM}	 200 400 600 800	Volts
Forward Current (T_C = 70°C) (All Conduction Angles)	$I_{T(RMS)}$ $I_{T(AV)}$	55 35	Amps
Peak Non-repetitive Surge Current — 8.3 ms (1/2 Cycle, Sine Wave)	I_{TSM}	550	Amps
Forward Peak Gate Power	P_{GM}	20	Watts
Forward Average Gate Power	$P_{G(AV)}$	0.5	Watt
Forward Peak Gate Current (300 µs, 120 PPS)	I_{GM}	2	Amps
Operating Junction Temperature Range	T_J	–40 to +125	°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	–40 to +150	°C

1. V_{DRM} and V_{RRM} for all types can be applied on a continuous basis. Ratings apply for zero or negative gate voltage; however, positive gate voltage shall not be applied concurrent with negative potential on the anode. Blocking voltages shall not be tested with a constant current source such that the voltage ratings of the devices are exceeded.
These devices are rated for use in applications subject to high surge conditions. Care must be taken to insure proper heat sinking when the device is to be used at high sustained currents.

REV 1

MOTOROLA

© Motorola, Inc. 1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCR265-4 thru MCR265-10

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	0.9	C/W
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	60	C/W

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_C = 25°C unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Peak Forward or Reverse Blocking Current (V_{AK} = Rated V_{DRM} or V_{RRM}, Gate Open) T_J = 25°C T_J = 125°C	I_{DRM}, I_{RRM}	— —	-- --	10 2	µA mA
Forward "On" Voltage(1) (I_{TM} = 110 A)	V_{TM}	—	1.5	1.9	Volts
Gate Trigger Current (Continuous dc) (Anode Voltage = 12 Vdc, R_L = 100 Ohms) (T_C = −40°C)	I_{GT}	— —	20 40	50 90	mA
Gate Trigger Voltage (Continuous dc) (Anode Voltage = 12 Vdc, R_L = 100 Ohms)	V_{GT}	—	1	1.5	Volts
Gate Non-Trigger Voltage (Anode Voltage = Rated V_{DRM}, R_L = 100 Ohms, T_J = 125°C)	V_{GD}	0.2	—	—	Volts
Holding Current (Anode Voltage = 12 Vdc, Gate Open)	I_H	—	30	75	mA
Turn-On Time (I_{TM} = 55 A, I_{GT} = 200 mAdc)	t_{gt}	—	1.5	—	µs
Critical Rate-of-Rise of Off-State Voltage (Gate Open, V_D = Rated V_{DRM}, Exponential Waveform)	dv/dt	—	50	—	V/µs

1. Pulse Width ≤ 300 µs, Duty Cycle ≤ 2%.

FIGURE 1 — AVERAGE CURRENT DERATING

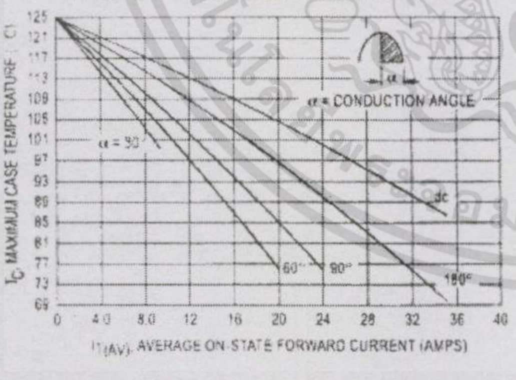
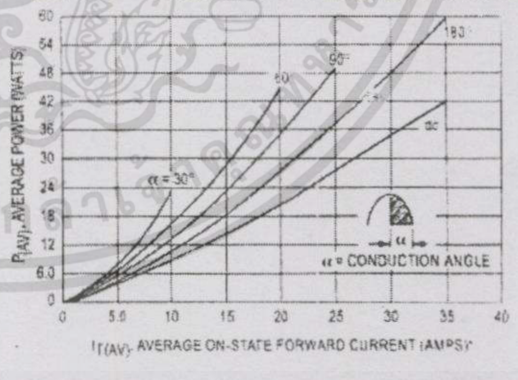


FIGURE 2 — MAXIMUM ON-STATE POWER DISSIPATION



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 3 — GATE TRIGGER CURRENT

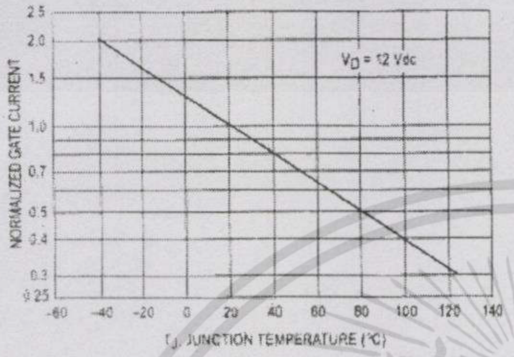


FIGURE 4 — GATE TRIGGER VOLTAGE

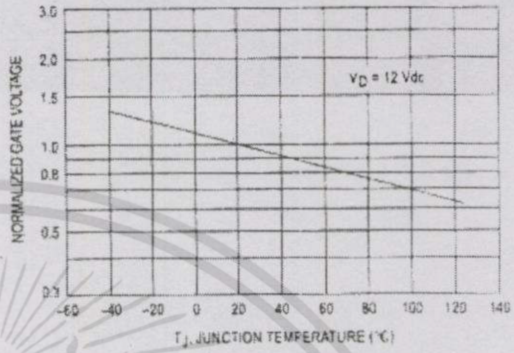


FIGURE 5 — HOLDING CURRENT

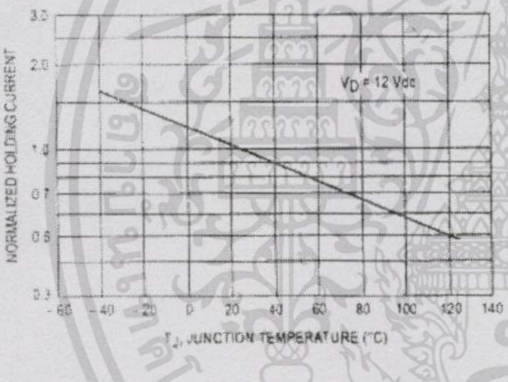


FIGURE 6 — TYPICAL ON-STATE CHARACTERISTICS

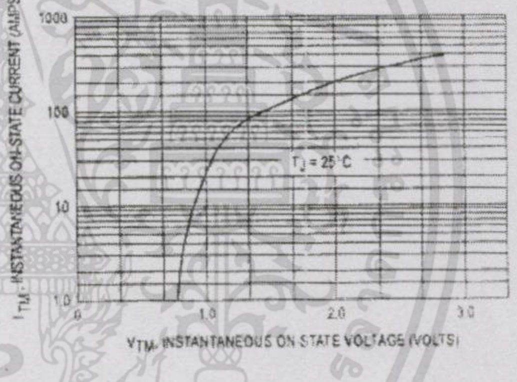
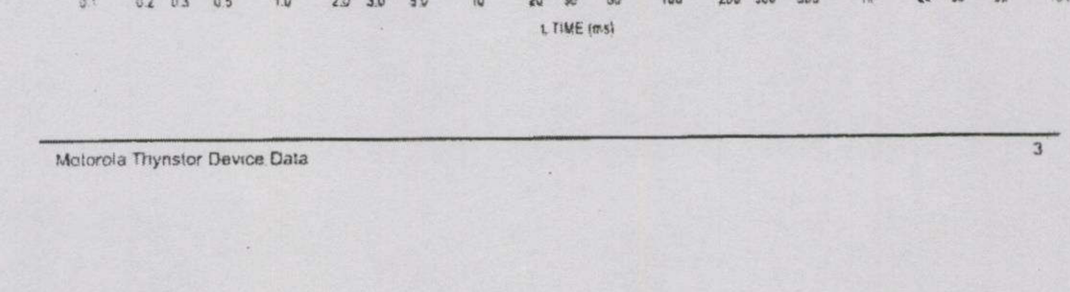


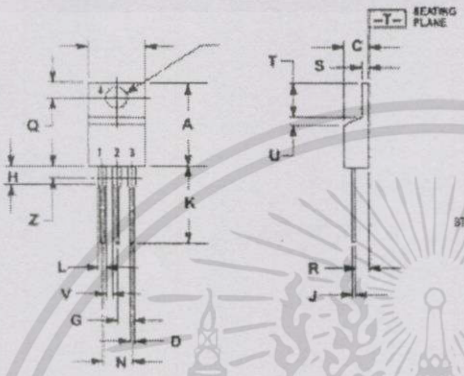
FIGURE 7 — THERMAL RESPONSE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCR265-4 thru MCR265-10

PACKAGE DIMENSIONS



NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION Z DEFINES A ZONE WHERE ALL BODY AND LEAD IRREGULARITIES ARE ALLOWED.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.570	0.620	14.48	15.75
B	0.380	0.405	9.66	10.28
C	0.160	0.190	4.07	4.82
D	0.025	0.035	0.64	0.88
F	0.142	0.147	3.61	3.73
G	0.095	0.105	2.42	2.66
H	0.110	0.155	2.80	3.93
J	0.018	0.025	0.46	0.64
K	0.500	0.562	12.70	14.27
L	0.045	0.060	1.15	1.52
N	0.190	0.210	4.83	5.33
Q	0.100	0.120	2.54	3.04
R	0.080	0.110	2.04	2.79
S	0.045	0.055	1.15	1.39
T	0.235	0.255	5.97	6.47
U	0.000	0.050	0.00	1.27
V	0.045	—	1.15	—
Z	—	0.080	—	2.04

STYLE 3:
PIN 1. CATHODE
2. ANODE
3. GATE
4. ANODE

CASE 221A-09
(TO-220AB)
ISSUE Z

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and Ⓜ are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

Mfax is a trademark of Motorola, Inc.

How to reach us:
USA/EUROPE/Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution;
P.O. Box 5405, Denver, Colorado 80217. 1-303-675-2140 or 1-800-441-2447

JAPAN: Motorola Japan Ltd.; SPD, Strategic Planning Office, 141,
4-32-1 Nishi-Gotanda, Shinagawa-ku, Tokyo, Japan. 81-3-5487-8488

Customer Focus Center: 1-800-521-6274

Mfax™: RMFAX0@email.sps.mot.com – TOUCHTONE 1-602-244-6609
Motorola Fax Back System – US & Canada ONLY 1-800-774-1848
– http://sps.motorola.com/mfax/

ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; Silicon Harbour Centre,
2, Dai King Street, Tai Po Industrial Estate, Tai Po, N.T., Hong Kong.
852-26629298

HOME PAGE: http://motorola.com/sps/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SHARP
Optoelectronics

Photocouplers

Photocouplers

Features

Various output methods:
- Single phototransistor
- Darlington phototransistor
- OPIC*
- Bidirectional output transistor
- Phototriac
- Photothyristor

Various package formats:
- Standard dual-in-line package
- Flat package
- Mini-flat package
- Dual-in-line package for long creepage distance

Wide line-up of products approved by overseas safety standards: UL, VDE, TÜV, BS, SEMKO, DEMKO, EI
High isolation voltage: PC100/PC700/PC800 series, etc.

Classification chart

Photocouplers
- PC100 series — VDE approved (long creepage distance type)
- PC200 series — Mini-flat package type
- PC300 series — Opaque mini-flat package type
- PC700 series — DIP 6-pin, Viso 5kVrms
- PC800 series — Opaque 4-pin x N (N = 1,2,3,4), Viso: 5kVrms
- PC900 series — OPIC*
- PC4N series — Standard 4N series
- 6N series — Standard 6N series (OPIC*)

Phototriac couplers

Photothyristor couplers

* OPIC is a registered trademark of Sharp and stands for Optical IC. It has a light detecting element and peripheral circuits integrated onto one chip.
* In PC4N series, PC700 series, and PC800 series, the flat package products are also available in a wide variety.

(Ta = 25°C)

Type	Model No.	Features	UL	TUV	VDE	Package	Forward current I_F (mA)	Isolation voltage (AC) Viso (Vrms)	CTR (%) MIN.	I_F (mA)	tr (μs) TYP.	R_L (Ω)
			Approved by overseas safety standard				Absolute maximum ratings		Electrical characteristics: Current transfer ratio		Response time	
Single phototransistor	PC100	High isolation voltage long creepage distance *2			○	DIP 6-pin (Special)	50	5,000	25	10	6	100
	PC101	High isolation voltage, long creepage distance *2			○	DIP 6-pin (Special)	50	5,000	25	10	8	100
	PC110	High isolation voltage, long creepage distance *2			○	DIP 6-pin	50	5,000	50	5	4	100
	PC112	High isolation voltage, long creepage distance, high collector-emitter voltage *2			○	DIP 6-pin	50	5,000	40	10	4	100
	PC111	High isolation voltage, long creepage distance *2			○	DIP 6-pin	50	5,000	50	5	4	100
	PC113	High isolation voltage, long creepage distance, high collector-emitter voltage *2			○	DIP 6-pin	50	5,000	40	10	4	100
	PC213	Mini-flat package type				Mini-flat package, 5-pin	50	2,000	50	5	4	100
	PC511	High isolation voltage, long creepage distance				PWB-mounted 4-pin	50	5,000	10	20	3	100
	PC714V*1	High isolation voltage				DIP 6-pin	50	5,000	50	5	4	100
	PC724V	High isolation voltage, large input current				DIP 6-pin	150	5,000	20	100	4	100
	PC702V*1	High isolation voltage, high collector-emitter voltage (70V)				DIP 6-pin	60	5,000	40	10	2	75
	PC703V*1	High isolation voltage, high collector-emitter voltage (70V)				DIP 6-pin	50	5,000	40	10	4	100
	PC713V*1	High isolation voltage				DIP 6-pin	50	5,000	50	5	4	100
	PC723V*1	High isolation voltage, high collector-emitter voltage (80V)				DIP 6-pin	50	5,000	50	5	6	100
	PC733*1	High isolation voltage, AC input response				DIP 6-pin	±50	5,000	15	±5*1	4	100
	PC733H	High isolation voltage, large input current drive, AC input response				DIP 6-pin	±150	5,000	20	±100	4	100

*1 Lead forming type (I type) is also available. *2 BS, SEMKO, DEMKO, EI approved: PC110, PC111, PC112, PC113, PC100, PC101

Type	Model No.	Features	UL	TUV	Package	Forward current I_F (mA)	Isolation voltage (AC) Viso (Vrms)	ton, toff (μs) MAX.	I_F (mA)	V^*_{CE} (V)	R_L (Ω)
			Approved by overseas safety standard			Absolute maximum ratings		Electrical characteristics: Turn-on, Turn-off			
Bi-directional output	PC219	Bi-directional high output resistant			Mini-flat package 4-pin	50	2,000	50	16	5	50
	PC819	Bi-directional linear output			DIP 6-pin	60	2,000	15	16	5	50

* I_C = 200mA (I_B = 1.0mA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวรัตน์สุดา ทองแดง เกิดเมื่อวันที่ 2 สิงหาคม พ.ศ. 2518 ที่จังหวัดชลบุรี สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังปีการศึกษา 2539 เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในปีการศึกษา 2540

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้