

การศึกษาและการสร้างนีโอดิเมียมแยกเลเซอร์

A STUDY AND CONSTRUCTION OF NEODYMIUM YAG LASER



ชนม์เจริญ ทิพย์สุวรรณ
CHONJARAUN TIPSUWAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2541

ISBN 974-622-305-4

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 31535
วัน, เดือน, ปี..... 11 ๒๕ 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY AND CONSTRUCTION OF NEODYMIUM YAG LASER

CHONJARAUN TIPSUWAN

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

1998

ISBN 974-622-305-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 1998

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

เอกสาร **KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG** ระเบียบด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาและการสร้างนีโอติเมียมแอ็กเลเซอร์

นักศึกษา

นายชนม์เจริญ ทิพย์สุวรรณ

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

ผศ.ประภาส ไพรสุวรรณ

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

รศ.ดร.พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

พ.ศ.

2541

บทคัดย่อ

นีโอติเมียมแอ็กเลเซอร์ เป็นเลเซอร์ชนิดของแข็งให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่น 1.064 ไมครอน โดยได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมอย่างมากทั้งทางด้านงานตัดและงานเจาะ ระบบนีโอติเมียมแอ็กเลเซอร์มีส่วนประกอบสำคัญ 6 ส่วนคือ แท่งผลึกนีโอติเมียมแอ็ก, หลอดแฟลช, ตัวสะท้อนแสง, กระจกเลเซอร์, ระบบน้ำสำหรับระบายความร้อน และแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่หลอดแฟลช จากการศึกษาที่ระบบนีโอติเมียมแอ็กเลเซอร์เป็นเลเซอร์ชนิดของแข็ง การสร้างจึงง่ายและใช้อุปกรณ์ต่อพ่วงน้อยกว่าระบบเลเซอร์ชนิดอื่น ดังนั้นระบบจึงมีขนาดกระทัดรัดและสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย ระบบนีโอติเมียมแอ็กเลเซอร์ที่สร้างนี้ให้กำลังงานสูงสุดประมาณ 6.6 กิโลวัตต์ต่อพัลส์ สามารถผลิตแสงเลเซอร์เท่ากับ 1 ครั้งต่อวินาทีและมีค่าความกว้างของช่วงเวลา 102 ไมโครวินาที ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพระหว่างพลังงานที่หลอดแฟลชได้รับกับพลังงานของเลเซอร์ที่ออกมาเท่ากับ 1.1 เปอร์เซนต์

Thesis Title	A Study and Construction of Neodymium YAG Laser
Student	Mr.Chonjaraun Tipsuwan
Thesis Advisor	Assis.Prof.Prapat Prisuwana
Thesis Co-Advisor	Assoc.Prof.Dr.Pichet Limsuwan
Degree	Master of Engineering in Electrical Engineering
Year	1998

ABSTRACT

Neodymium YAG laser is a solid-state laser which emits electromagnetic wave at wavelength of 1.064 micron. It has been widely used in industrial work such as cutting and drilling. Neodymium YAG laser system consist of 6 main parts i.e. neodymium YAG rod, flashlamp, reflector, laser mirrors, cooling system and power supply for flashlamp. According to the nature of solid-state laser that is easily to produce and less installation than other laser machines. Therefor, the laser system is rather small and easy for movement. This neodymium YAG laser system has a peak power of about 6.6 kW., repetition rate 1 Hz , pulse width of laser 102 microsec, and efficiency between input energy of flashlamp and output energy of laser is 1.1 percent.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความร่วมมือจากบุคคลหลายท่าน แม้ว่าจะพบกับอุปสรรคในการทำงานมากมาย อย่างไรก็ตามงานวิทยานิพนธ์นี้ก็สามารถสำเร็จลุล่วงมาได้ ซึ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณขอบพระคุณ ผศ.ประภาส ไพรสุวรรณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษา ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ แห่งห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเลเซอร์ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (National Electronics and Computer Technology Center) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องเครื่องมือที่ใช้สำหรับการทดลอง และให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ คุณสหธรรม เนาวรัตน์พงษ์ คุณอัศวิน เรณูสวัสดิ์ คุณชววิทย์ โภคบุตร แห่งห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเลเซอร์ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ที่ช่วยเหลือและให้คำแนะนำมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณ คุณอนงนาฎ นาคอินทร์ ที่ช่วยจัดพิมพ์รูปเล่ม นอกจากนี้ขอขอบคุณอาจารย์ และเจ้าหน้าที่ของศูนย์บริการและพัฒนาวิศวกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ขอขอบพระคุณครูอาจารย์ทุกท่านที่เคยอบรม สั่งสอนมาตั้งแต่เด็กจนโต ตลอดจนเพื่อน ๆ ที่ให้กำลังใจในการทำงานมาโดยตลอด และสุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้การเลี้ยงดู อบรมสั่งสอนให้มีความรักความอบอุ่นและให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าตลอดมา

ชนม์เจริญ ทิพย์สุวรรณ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 กล่าวนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการทำวิทยานิพนธ์.....	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.4 การนำเอานีโอคิเมียมแฉกเลเซอร์ไปประยุกต์ใช้.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีของเลเซอร์.....	5
2.1 หลักการเบื้องต้นของเลเซอร์.....	5
2.2 คุณสมบัติของแสงเลเซอร์.....	10
2.3 ประเภทของเลเซอร์.....	12
2.4 นีโอคิเมียมแฉกเลเซอร์.....	13
บทที่ 3 ระบบนีโอคิเมียมแฉกเลเซอร์.....	18
3.1 แท่งผลึกนีโอคิเมียมแฉก.....	18
3.2 หลอดแฟลช.....	20
3.3 ตัวช่วยสะท้อนแสง.....	24
3.4 กระจกเลเซอร์.....	26
	(ต่อ)

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 ระบบระบายความร้อน.....	30
3.6 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่หลอดฟลูออโร.....	32
บทที่ 4 การทดสอบนีโอไดเมียมแฮกเลเซอร์.....	35
4.1 การปรับระนาบของกระจกเลเซอร์.....	35
4.2 ขั้นตอนการทำงานของระบบนีโอไดเมียมแฮกเลเซอร์.....	36
4.3 ศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความต่างศักย์ที่จ่ายให้แก่หลอดฟลูออโร กับกำลังงานที่ออกมาของหลอดฟลูออโร.....	36
4.4 ศึกษาความสัมพันธ์ของค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกหน้า กับกำลังงานที่ออกมาของเลเซอร์.....	43
4.5 ศึกษาความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงค่าความจุของตัวเก็บประจุ กับค่าความต่างศักย์ขีดเริ่มที่เลเซอร์เริ่มออก.....	59
4.6 ศึกษาอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการระบายความร้อนในช่วง 21-29 องศาเซลเซียสกับกำลังงานที่ออกมาของเลเซอร์.....	60
4.7 เสถียรภาพของระบบเลเซอร์.....	61
บทที่ 5 สรุป.....	63
5.1 ผลการวิจัย.....	63
5.2 แนวทางการประยุกต์ใช้งาน.....	65
บรรณานุกรม.....	68
ภาคผนวก.....	69
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง.....	70
ภาคผนวก ข คุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสำหรับโครงการวิจัยนี้.....	82
ภาคผนวก ค ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์.....	96
ประวัติผู้เขียน.....	106

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงคุณสมบัติทางแสงและทางฟิสิกส์ของนีโอติเมียมเยก.....	15
2.2 แสดงคุณสมบัติเกี่ยวกับความร้อนของนีโอติเมียมเยก.....	16
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุของตัวเก็บประจุกับค่าความต่างศักย์ขีตเริ่ม.....	59
4.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำกับพลังงานที่ออกมาของเลเซอร์.....	61



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงการดูดกลืนและกลายพลังงาน.....	6
2.2 การกระจายแบบโบลซ์มานของจำนวนอิเล็กตรอนในชั้นพลังงาน E_1 และ E_2 ที่สภาพ สมดุลอุณหภูมि	7
2.3 การเกิดประชากรผกผันในสภาพของระยะที่มีอุณหภูมิกำติคลับ	8
2.4 คลื่นที่มีระเบียบเป็น โคเฮียเรนท์	11
2.5 แสดงการบานของลำแสงเลเซอร์	12
2.6 แสดงไดอะแกรมของระดับพลังงานของเลเซอร์แบบ 3 ระดับ.....	13
2.7 แสดงไดอะแกรมของระดับพลังงานของเลเซอร์แบบ 4 ระดับ.....	14
2.8 แสดงระดับชั้นพลังงานของนีโอติเมียมแเอ็กเลเซอร์	14
2.9 แสดงสเปคตรัมของนีโอติเมียมไอออนในแเอ็กไห้ออกมา	15
2.10 แสดงช่วงการดูดกลืนพลังงานของนีโอติเมียมแเอ็กที่ 300 เคลวิน	16
3.1 แสดงภาพของแท่งผลึกนีโอติเมียมแเอ็ก.....	20
3.2 แสดงลักษณะและส่วนประกอบของหลอดแฟลช.....	21
3.3 แสดงภาพถ่ายของหลอดแฟลชที่ใช้ในโครงการงานวิจัยนี้.....	23
3.4 แสดงขนาดของตัวช่วยสะท้อนแสงและตำแหน่งการวางของหลอดแฟลชและแท่งผลึก.....	24
3.5 แสดงลำแสงที่ออกมาจากหลอดแฟลชและสะท้อนไปยังแท่งผลึกนีโอติเมียมแเอ็ก...25	
3.6 แสดงรูปถ่ายของตัวสะท้อนแสงแฟลชที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....	25
3.7 แสดงระบบป้อนกลับทางแสง ที่ประกอบด้วยกระจกหน้าและกระจกหลัง.....	26
3.8 แสดงการเลือกใช้กระจกที่รัศมีความโค้งต่างกันและเสถียรภาพแตกต่างกันไป.....	28
3.9 แสดงภาพถ่ายของกระจกเลเซอร์ที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้.....	29
3.10 แสดงไดอะแกรมของการถ่ายเทความร้อนจากน้ำไปสู่.....	31
3.11 แสดงภาพถ่ายของระบบถ่ายเทความร้อนที่ใช้สำหรับโครงการงานวิจัยนี้.....	31
3.12 แสดงวงจรของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่หลอดแฟลช.....	33

(ต่อ)

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.13 แสดงไดอะแกรมของส่วนประกอบของระบบนีโอติเมียมแยกเลเซอร์.....	34
4.1 แสดงการจัดเครื่องมือในการปรับระนาบกระจกเลเซอร์.....	35
4.2 แสดงระบบนีโอติเมียมแยกเลเซอร์.....	36
4.3 แสดงไดอะแกรมของการวางอุปกรณ์ในการหาความสัมพันธ์ของความต่างศักย์ กับความเข้มของหลอดแฟลช.....	37
4.4 แสดงหัววัดโฟโตไดโอด.....	38
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ของหลอดแฟลชกับความเข้มแสง ของหลอดแฟลช.....	39
4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ของหลอดแฟลชกับช่วงเวลาในการเกิด แสงแฟลช.....	40
4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงของหลอดแฟลชกับช่วงเวลาในการ เกิดแสงแฟลช.....	41
4.8 แสดงสัญญาณที่ได้จากการวัดความเข้มแสงของหลอดแฟลชที่ 1 กับช่วงเวลา ของสัญญาณที่ความต่างศักย์ 1100 โวลต์.....	42
4.9 แสดงรูปแบบการจัดวางเครื่องมือในการวัดค่าพลังงานและเวลาของเลเซอร์ ในการทดลองหาค่าความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์สะท้อนของกระจกหน้า.....	43
4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ของหลอดแฟลชกับพลังงาน ของเลเซอร์ ที่การสะท้อนของกระจก 40 เปอร์เซ็นต์.....	44
4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่จ่ายให้กับหลอดแฟลชกับช่วงเวลา ในการเกิดเลเซอร์ที่การสะท้อนของกระจก 40 เปอร์เซ็นต์.....	45
4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของเลเซอร์กับช่วงเวลาในการเกิดเลเซอร์ ที่การสะท้อนของกระจก 40 เปอร์เซ็นต์.....	45
4.13 แสดงสัญญาณที่ได้จากการวัดช่วงเวลาของเลเซอร์ที่การสะท้อนของ กระจก 40 เปอร์เซ็นต์และความต่างศักย์ 1100 โวลต์.....	46

(ต่อ)

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ของหลอดแฟลชกับพลังงานของเลเซอร์ ที่การสะท้อนของกระจก 50 เปอร์เซ็นต์.....	46
4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่จ่ายให้กับหลอดแฟลชกับช่วงเวลาในการเกิดเลเซอร์ ที่การสะท้อนของกระจก 50 เปอร์เซ็นต์.....	47
4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของเลเซอร์กับช่วงเวลาในการเกิดเลเซอร์ ที่การสะท้อนของกระจก 50 เปอร์เซ็นต์.....	47
4.17 แสดงสัญญาณที่ได้จากการวัดช่วงเวลาของเลเซอร์ที่การสะท้อนของกระจก 50 เปอร์เซ็นต์และความต่างศักย์ 1100 โวลต์.....	48
4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ของหลอดแฟลชกับพลังงานของเลเซอร์ ที่การสะท้อนของกระจก 60 เปอร์เซ็นต์.....	48
4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่จ่ายให้กับหลอดแฟลชกับช่วงเวลาในการเกิดเลเซอร์ที่การสะท้อนของกระจก 60 เปอร์เซ็นต์.....	49
4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของเลเซอร์กับช่วงเวลาในการเกิดเลเซอร์ ที่การสะท้อนของกระจก 60 เปอร์เซ็นต์.....	49
4.21 แสดงสัญญาณที่ได้จากการวัดช่วงเวลาของเลเซอร์ที่การสะท้อนของกระจก 60 เปอร์เซ็นต์และความต่างศักย์ 1100 โวลต์.....	50
4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ของหลอดแฟลชกับพลังงานของเลเซอร์ ที่การสะท้อนของกระจก 70 เปอร์เซ็นต์.....	50
4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่จ่ายให้กับหลอดแฟลชกับช่วงเวลาในการเกิดเลเซอร์ที่การสะท้อนของกระจก 70 เปอร์เซ็นต์.....	51
4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของเลเซอร์กับช่วงเวลาในการเกิดเลเซอร์ ที่การสะท้อนของกระจก 70 เปอร์เซ็นต์.....	51
4.25 แสดงสัญญาณที่ได้จากการวัดช่วงเวลาของเลเซอร์ที่การสะท้อนของกระจก 70 เปอร์เซ็นต์และความต่างศักย์ 1100 โวลต์.....	52

(ต่อ)

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่จ่ายให้กับหลอดแฟลชกับค่ากำลัง ของเลเซอร์ที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกค่าต่าง ๆ.....	52
4.27 แสดงค่าโหมดและบีมไดเวอร์เจนท์ของเลเซอร์ที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อน กระจก 40 เปอร์เซ็นต์.....	53
4.28 แสดงค่าโหมดและบีมไดเวอร์เจนท์ของเลเซอร์ที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อน กระจก 50 เปอร์เซ็นต์.....	54
4.29 แสดงค่าโหมดและบีมไดเวอร์เจนท์ของเลเซอร์ที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อน กระจก 60 เปอร์เซ็นต์.....	55
4.30 แสดงค่าโหมดและบีมไดเวอร์เจนท์ของเลเซอร์ที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อน กระจก 70 เปอร์เซ็นต์.....	56
4.31 แสดงรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดแฟลช.....	57
4.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุของตัวเก็บประจุกับค่าความต่างศักย์ขีดเริ่ม...60	
4.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งในการยิงของแสงเลเซอร์กับพลังงาน ที่ออกมา.....	62

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

วิทยาการด้านเลเซอร์ที่เจริญรุ่งเรืองมาจนปัจจุบันนี้ ได้มีรากฐานความเป็นมาจากการค้นคว้าวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของวิชาการด้านอื่นมาก่อน ได้มีการวิจัยพัฒนาและศึกษาข้อมูลทางด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทางแสง ทางฟิสิกส์ ของอะตอมและโมเลกุล ทางอิเล็กทรอนิกส์ และ ฯลฯ อย่างกว้างขวาง จึงทำให้นักวิทยาศาสตร์รุ่นหลังสามารถนำความรู้ทางวิชาการและข้อมูลทางการวิจัยเหล่านั้นมาประยุกต์และสามารถผลิตเครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์ได้เป็นผลสำเร็จ แสงเลเซอร์ได้ถูกผลิตออกมาได้สำเร็จเป็นครั้งแรกโดย T. H. Maiman [1] ที่ห้องปฏิบัติการวิจัยและพัฒนาของบริษัท Hughes Aircraft เมื่อปี ค.ศ. 1960 Maiman ได้ใช้ระบบเลเซอร์ทับทิม (Ruby Laser System) ผลิตแสงเลเซอร์สีชมพูในช่วงคลื่น $\lambda = 694.3nm$. ออกมาจากแท่งทับทิม (ruby) ซึ่งถูกกระตุ้นโดยการรับพลังงานแสงจากหลอดแฟลช (flashlamp) นับได้ว่าเลเซอร์ทับทิมเป็นเลเซอร์ระบบแรกของโลกและต่อจากนั้นก็มีการตื่นตัวในวงการฟิสิกส์ ทำให้เกิดมีการศึกษาวิจัยและพัฒนาวิทยาการทางด้านเลเซอร์ และการประยุกต์ของเลเซอร์มาตลอดจนถึงในปัจจุบัน

ก่อนที่จะได้มีการค้นพบและประดิษฐ์เลเซอร์ทับทิม ซึ่งเป็นระบบเลเซอร์ระบบแรกของโลกนั้น ได้มีการค้นคว้าวิจัยพัฒนาและความรู้ทางวิชาการสาขาอื่นทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ใกล้เคียงกับด้านเลเซอร์มาก่อนหน้านี้นานมาแล้วตามที่กล่าวไว้ในตอนต้น ประกอบกับได้มีการพัฒนาขีดความสามารถทางด้านเทคโนโลยีของไมโครเวฟภายหลังสงครามโลกครั้งที่สองไว้มากพอที่จะทำให้การผลิตแสงเลเซอร์ได้ง่ายในเวลาต่อมา หากเรามองย้อนหลังไปประมาณ 100-150 ปีที่แล้วมา จะพบว่าระหว่างปี ค.ศ. 1860-1865 James Clerk Maxwell ได้คิดค้นทฤษฎีเกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Theory) ซึ่งต่อมาไม่กี่ปี Hertz ก็สามารถทำการคิดค้นพิสูจน์ในเชิงปฏิบัติว่า มีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจริงตามทฤษฎีของ Maxwell การค้นพบทางทฤษฎีและการทดลองครั้งนี้ ถือได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญที่ทำให้นักวิทยาศาสตร์ทั้งหลายเข้าใจถึงทฤษฎีและสามารถก่อให้เกิดแสงเลเซอร์ได้เป็นผลสำเร็จในทศวรรษ 1920, 1930 และ 1940 นั้นได้มีการวิจัย

และที่คล่องอย่างกว้างขวางในเรื่องของฟิสิกส์อะตอมและโมเลกุล (Atomic and Molecular Physics) การค้นคว้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การค้นพบทฤษฎีควอนตัม (Quantum Theory) ทฤษฎีเกี่ยวกับฟิสิกส์ของแข็ง (Solid State Theory) ทฤษฎีฟิสิกส์นิวเคลียร์ (Nuclear Physics) ตลอดจนการคิดค้นเครื่องเรดาร์ (Radar) และการผลิตคลื่นไมโครเวฟ (Microwave) ต่อมาในทศวรรษ 1950 ได้มีการประยุกต์ทฤษฎีและเทคโนโลยีทางด้านฟิสิกส์ของแข็ง (Solid State Physics) และอิเล็กทรอนิกส์จนสามารถทำให้นักวิทยาศาสตร์ผลิตสารกึ่งตัวนำ (Semi-conductor) เป็นผลสำเร็จ ซึ่งต่อมาได้พัฒนาขึ้นจนเป็นวงจรรวม (Integrated Circuit, IC) การเจริญทางด้านการศึกษาและพัฒนาทางวิทยาศาสตร์สาขาต่าง ๆ เหล่านี้เป็นรากฐานก่อให้เกิดการพัฒนาทางด้านวิชาการสาขาอื่น ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแขนงใหม่ ซึ่งเรียกว่า เลเซอร์ฟิสิกส์และเทคโนโลยี

ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 นักฟิสิกส์ได้มีการเรียนรู้จากการพัฒนาระบบเรดาร์ (Radar) และประกอบกับความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในการผลิตคลื่นไมโครเวฟ (microwave) ความถี่สูงนั้นจึงทำให้ในปี ค.ศ. 1954 J.P. Gordon และคณะ [2,3] สามารถผลิตเครื่องไมโครเวฟที่เรียกว่าเมเซอร์ (MASER) ได้สำเร็จ เมเซอร์นั้นย่อมาจาก Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation และต่อมานักฟิสิกส์ได้ผลิตเมเซอร์ชนิดอื่นๆ ในรูปแบบต่าง ๆ ออกมาใช้กันอย่างแพร่หลาย และในขณะเดียวกันนั้นความรู้ทางวิชาการด้านอิเล็กทรอนิกส์และทางฟิสิกส์ ของแข็งก็ได้เพิ่มพูนขึ้นเป็นลำดับ สำหรับความรู้ทางการกระตุ้นของอะตอมแบบถูกเร่ง (Stimulated Emission) นั้น นักฟิสิกส์มีความรู้เพียงพอและค่อนข้างจะสมบูรณ์ ทั้งนี้เพราะ Albert Einstein [4] เป็นผู้ตั้งทฤษฎีนี้ไว้ในปี ค.ศ.1917 เพียงแต่รอให้ด้านเทคโนโลยีเจริญก้าวหน้าทันพอที่จะทำให้เกิดสภาวะการณ์ได้ตามทฤษฎีเท่านั้น ในปีค.ศ.1958 Charles H. Townes และ Authur L. Shawlow ได้นำหลักการการกระตุ้นอะตอมแบบถูกเร่ง ตามทฤษฎีของ Einstein มาประยุกต์ใช้กับระบบเมเซอร์ โดยได้เสนอทฤษฎีขึ้นว่า นักวิทยาศาสตร์สามารถที่จะผลิตเมเซอร์ที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่าเดิม จนถึงย่านที่ตาเปล่ามองเห็นได้และเสนอให้เรียกเป็นชื่อใหม่ว่า (Optical Maser) และต่อมาก็ถูกเรียกว่า เลเซอร์ (LASER) ตามที่ Charles H. Townes และ Authur L. Shawlow ได้เสนอทฤษฎีของเลเซอร์ นักวิทยาศาสตร์ทั้งหลายได้พยายามในการทำการวิจัยค้นคว้า เพื่อที่จะผลิตแสงเลเซอร์ออกมาให้ได้ต่อมาในปี ค.ศ.1960 T.H. Maiman ก็ได้ประสบความสำเร็จในการผลิตเลเซอร์จากเลเซอร์ทับทิม (Ruby Laser) เป็นครั้งแรกของโลก ในห้องปฏิบัติการวิจัยและพัฒนาบริษัท Hughes Air craft โดยเลเซอร์ทับทิมยังนิยมใช้กันอยู่อย่างแพร่หลายจนถึงปัจจุบันนี้

ระบบนีโอดิเมียมแเย็กเลเซอร์ (Neodymium YAG Laser) เป็นระบบเลเซอร์ชนิดของแข็ง (solid state laser) อีกระบบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปี ค.ศ.1964 J.E. Geusic และคณะได้ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาและประสพผลสำเร็จในการทำให้เกิดแสงนีโอเดียมแยมแฮกเลเซอร์ โดยรายละเอียดเกี่ยวกับหลักการเกิดได้กล่าวถึงไว้ในบทที่ 2

1.2 วัตถุประสงค์ของการทำวิทยานิพนธ์

1. เพื่อออกแบบและสร้างระบบนีโอเดียมแยมแฮกเลเซอร์
2. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่จ่ายให้แก่หลอดแฟลช กับความเข้มแสงของหลอดแฟลช
3. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุของตัวเก็บประจุ กับแนวโน้มการเกิดของแสงเลเซอร์
4. ศึกษาค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของกระจกหน้าที่มีผลต่อแสงเลเซอร์
5. ลดการสูญเสียเงินตราแก่ต่างประเทศ เนื่องจากระบบเลเซอร์ที่ใช้ในประเทศส่วนใหญ่จะนำเข้ามาจากต่างประเทศ ในการพัฒนาระบบนีโอเดียมแยมแฮกเลเซอร์ให้เกิดขึ้นเองในประเทศ จึงเป็นทางออกที่ดีเพื่อลดการนำเข้า

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีเนื้อหาเกี่ยวกับการศึกษาหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ คือ ค่าความต่างศักย์ที่จ่ายให้แก่หลอดแฟลชกับความเข้มแสงที่ออกมาของหลอดแฟลช ศึกษาความสัมพันธ์ค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกหน้า กับค่าพลังงานที่ออกมาของเลเซอร์ และความสัมพันธ์ในการเปลี่ยนแปลงค่าความจุกับความต่างศักย์ขีดเริ่มที่เลเซอร์เริ่มออก โดยความสัมพันธ์ที่หามาทั้งหมดนี้ จะเป็นส่วนสำคัญในการที่จะสร้างระบบนีโอเดียมแยมแฮกเลเซอร์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแหล่งกำเนิดแสงอินฟราเรด (infrared source) ที่มีความเข้มสูงและมีลักษณะเป็นลำแสงขนาดเล็กความยาวคลื่น 1.06 ไมครอน
2. เมื่อนำไปพัฒนาให้มีพลังงานที่สูงขึ้น สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับงานแกะสลักงานตัดและงานเจาะวัสดุที่เป็นโลหะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เป็นแนวทางในการซ่อมแซมระบบนิเวศนิเวศที่มีใช้กันอยู่ในประเทศ
ตลอดจนพัฒนาไปสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีของเลเซอร์

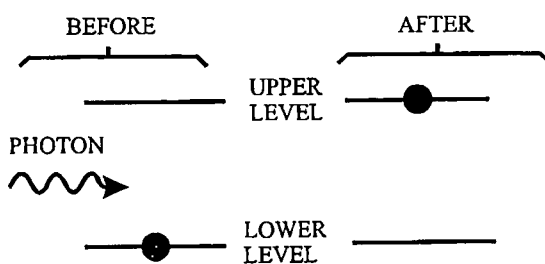
แสงเลเซอร์ (LASER) ย่อมาจากคำว่า Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation หมายถึง การเปล่งแสงที่เกิดจากการขยายความเข้มแสง โดยขบวนการกระตุ้นอะตอมแบบถูกเร่ง การที่จะเข้าใจถึงระบบนี้ไอเดียของแอ็กเลเซอร์นั้นจะต้องทราบเกี่ยวกับ หลักการเบื้องต้นในการเกิดแสงเลเซอร์ คุณสมบัติของแสงเลเซอร์ การแยกประเภทของแสงเลเซอร์และทฤษฎีของไอเดียของแอ็กเลเซอร์ โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

2.1 หลักการเบื้องต้นของเลเซอร์ [4,5]

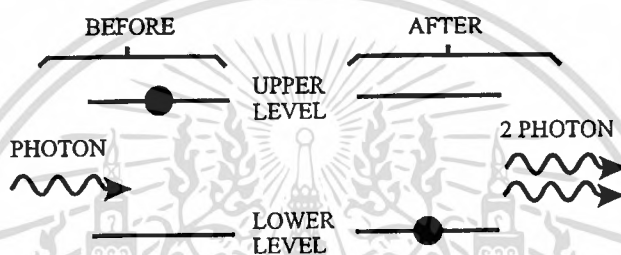
2.1.1 การเปล่งแสงแบบถูกเร่ง (stimulated emission) ระบบของโมเลกุลหรืออะตอมจะประกอบไปด้วยชั้นพลังงานค่าต่าง ๆ ตามโครงสร้างของโมเลกุลและอะตอมนั้น ๆ ขอยกตัวอย่างกรณีชั้นพลังงานของอะตอม เช่น E_1 และ E_2 ในรูปที่ 2.1 (ก) อิเล็กตรอนเปลี่ยนสถานะจาก E_1 ขึ้นไปสู่ E_2 ก็ต้องมีการดูดกลืนพลังงานและถ้าอิเล็กตรอนเปลี่ยนสถานะจาก E_2 ลงไปสู่ E_1 ก็ต้องมีการคายพลังงาน พลังงานที่อิเล็กตรอนต้องดูดกลืนหรือคายออกนี้ จะมีค่าตามผลต่างระหว่าง E_1 และ E_2 หากพลังงานที่ต้องการดูดกลืนหรือคายออกนี้ เป็นพลังงานแสง ก็จะเกิดการดูดกลืนแสง หรือการเปล่งแสงขึ้นดังรูปที่ 2.1 (ก) และรูปที่ 2.1 (ข) พลังงานแสงหรือโฟตอนจึงมีค่าเท่ากัน

$$E_2 - E_1 = h\nu_{12} \quad (1)$$

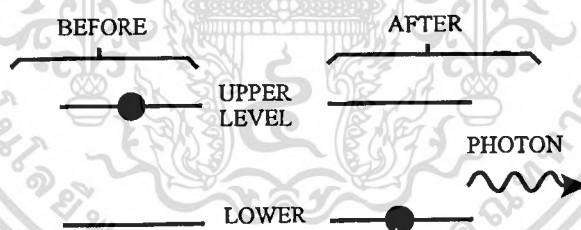
การเปล่งแสงในลักษณะของรูปที่ 2.1 (ข) นี้เรียกว่า การเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง (spontaneous emission) ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากมีการดูดกลืนแสงอิเล็กตรอนเปลี่ยนสถานะขึ้นไปอยู่ที่ E_2 ซึ่งเป็นชั้นพลังงานที่ถูกกระตุ้น (excited state) แต่อิเล็กตรอนจะอยู่ในชั่วระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น เมื่อหมดเวลาชีวิต (life time) อิเล็กตรอนจะตกกลับมายังชั้นพลังงาน E_1 ตามเดิม จึงเกิดการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง



(ก) การดูดกลืนแสง



(ข) การเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง



(ค) การเปล่งแสงแบบถูกเร้า

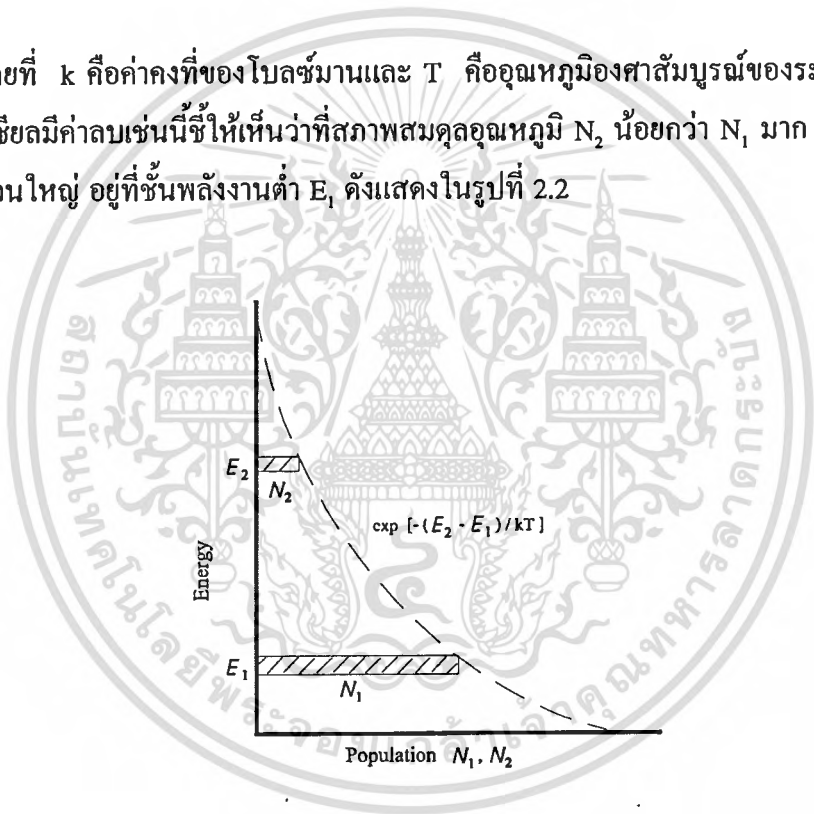
รูปที่ 2.1 แสดงการดูดกลืนและการคายพลังงาน

ในระหว่างที่อิเล็กตรอนซึ่งอยู่ในชั้นพลังงาน E_2 ยังไม่หมดเวลาชีวิต เนื่องจากระบบของอะตอมนี้มีชั้นพลังงาน E_2 ที่ให้เวลาชีวิตของอิเล็กตรอนนานกว่าปกติ แต่ถ้ามีโฟตอนที่มีพลังงานเท่ากับ $E_2 - E_1$ เข้ามาเร่งเร้าระบบ อิเล็กตรอนที่ E_2 นี้ไม่จำเป็นต้องรอให้หมดเวลาชีวิตเสียก่อน ก็สามารถตกกลับไปที่ E_1 ได้ และเกิดการเปล่งแสงพลังงานของโฟตอนที่คายออกมานี้ จะมีพลังงานเท่ากับ $E_2 - E_1$ เช่นเดียวกับโฟตอนที่มาเร้า โฟตอนทั้งสองตัวจะต้องมีคุณสมบัติเหมือนกัน ทั้งทิศทางเคลื่อนที่และความยาวคลื่น จึงทำให้เกิดคลื่นที่มีเฟสเหมือนกัน (inphase)

2.1.2 การเกิดประชากรผกผัน (population inversion) กำหนดให้จำนวนอิเล็กตรอนที่อยู่ในสถานะ E_1 และ E_2 มีค่าเท่ากับ N_1 และ N_2 ตามลำดับ ที่สภาพสมดุลทางอุณหภูมิจึง (thermal equilibrium) สัดส่วนของจำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละชั้นพลังงาน จะเป็นไปตามหลักการกระจายแบบโบลซ์มัน (bohzman) ตามสูตร

$$\frac{N_2}{N_1} = e^{-(E_2 - E_1)/kT} \tag{2}$$

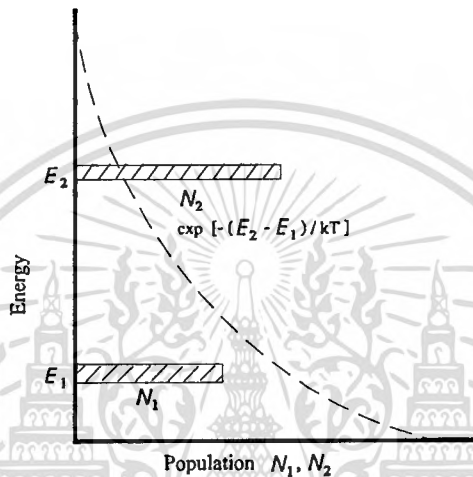
โดยที่ k คือค่าคงที่ของโบลซ์มันและ T คืออุณหภูมิจึงของระบบ สมการเอ็กซ์โพเนนเชียลมีค่าลบเช่นนี้ชี้ให้เห็นว่าที่สภาพสมดุลอุณหภูมิจึง N_2 น้อยกว่า N_1 มาก ๆ กล่าวคืออิเล็กตรอนส่วนใหญ่ อยู่ที่ชั้นพลังงานต่ำ E_1 ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การกระจายแบบโบลซ์มันของจำนวนอิเล็กตรอนในชั้นพลังงาน E_1 และ E_2 ที่สภาพสมดุลอุณหภูมิจึง

เนื่องจากอิเล็กตรอนส่วนใหญ่อยู่ที่ชั้นพลังงาน E_1 ดังนั้นเมื่อมีการฉายโฟตอน $E_2 - E_1 = h\nu_{12}$ เข้าไปในระบบก็จะเกิดการดูดกลืนแสงมากกว่าเปล่งแสง ถ้าสามารถหาวิธีการที่จะทำให้ระบบมีการกระจายของจำนวนอิเล็กตรอน ตรงกันข้ามกับกรณีของสภาพสมดุลอุณหภูมิจึง คือมีการรวบรวมระบบจนเกิดเงื่อนไขของ N_2 มากกว่า N_1 มาก ๆ แล้ว อิเล็กตรอนส่วนใหญ่จะอยู่ที่ E_2 และมีการฉายโฟตอน $E_2 - E_1 = h\nu_{12}$ เข้าไปในระบบที่มีสภาพเช่นนี้ก็จะเกิดการเปล่งแสงเอกสแบบถูกเร้าได้ ซึ่งเป็นเงื่อนไขและหลักการของการเกิดแสงเลเซอร์เพื่อทำให้ N_2 มากกว่า N_1 มากๆ ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล ในสมการที่ 2 จะต้องมีค่าเป็นบวก โดยที่ T มีค่าติดลบ เราจึงเรียกสภาพของระบบเช่นนี้ว่าเป็นสภาวะที่อุณหภูมิติดลบ (negative temperature) ระบบที่มีค่าอุณหภูมิตติดลบนี้คือ เงื่อนไขที่จะทำให้เกิด N_2 มากกว่า N_1 มาก ๆ เราเรียกว่าเป็นสภาวะการเกิดประชากรผกผัน (population inversion) ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การเกิดประชากรผกผันในสภาวะของระยะที่มีอุณหภูมิตติดลบ

เงื่อนไขของการเกิดประชากรผกผัน เป็นสิ่งจำเป็นของการเกิดการเปล่งแสงแบบถูกเร้า ดังนั้น จึงต้องมีการรบกวนระบบให้สูญเสียสภาพสมดุลอุณหภูมิจากการป้อนพลังงานให้กับระบบด้วยวิธีการต่าง ๆ การป้อนพลังงานให้กับระบบนี้เรียกว่า Energy Pumping ซึ่งในทางปฏิบัติได้แก่การให้พลังงานแสงแก่ตัวกลางเลเซอร์ เช่นการฉายแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้แก่แท่งผลึกนีโอไดมียมเยก หรือการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ก๊าซเพื่อให้เกิดตัว

เมื่อทำการฉายแสงให้แก่ระบบอะตอมด้วยโฟตอน ที่มีพลังงานเท่ากับ $h\nu_{12}$ โดยมีความเข้มของพลังงาน $\rho(\nu_{12})$ ที่เพียงพอแล้ว จะเกิดการเปล่งแสงแบบถูกเร้าพร้อม ๆ กับการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง อัตราการเปล่งแสงแบบถูกเร้าจะแปรผันกับจำนวนอิเล็กตรอนในชั้นพลังงาน E_2 คือ N_2 และความเข้มของพลังงาน $\rho(\nu_{12})$ ที่มาเร้า ดังนั้นอัตราการเกิดการเปล่งแสงแบบถูกเร้าจะเท่ากับ

$$\text{Stimulated Emission Rate} = B_{21} N_2 \rho(\nu_{12}) \quad (3)$$

โดยที่ B_{21} เป็น Stimulated Emission Coefficient

ส่วนอัตราการที่อิเล็กตรอนที่ชั้นพลังงาน E_1 ถูกดูดกลืนโฟตอน ก็ต้องแปรผันตามความเข้มพลังงาน $\rho(\nu_{12})$ เช่นเดียวกัน และยังขึ้นจำนวนอิเล็กตรอนที่ชั้นพลังงาน E_1 คือ N_1 ด้วยดังนั้น

$$\text{Absorption Rate} = B_{12} N_1 \rho(\nu_{12}) \quad (4)$$

โดยที่ B_{12} เป็น Absorption Coefficient และ $B_{12} = B_{21}$

แต่อัตราการเกิดการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเองนั้นมีสัดส่วนตามจำนวนอิเล็กตรอนที่ชั้นพลังงาน E_2 คือ N_2 เท่านั้น ดังนั้น

$$\text{Spontaneous Emission Rate} = A_{21} N_2 \quad (5)$$

โดยที่ A_{21} เป็น Spontaneous Emission Coefficient

ในสภาพอยู่ตัว อัตราการเปล่งแสงทั้งสองแบบจะต้องสมดุลกับการดูดกลืนแสงเพื่อรักษาให้จำนวนอิเล็กตรอน N_1 รวมกับ N_2 มีค่าคงที่ ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{Absorption} &= \text{Spontaneous Emission} + \text{Stimulated Emission} \\ B_{12} N_1 \rho(\nu_{12}) &= A_{21} N_2 + B_{21} N_2 \rho(\nu_{12}) \end{aligned} \quad (6)$$

ไอส์ไตน์ เป็นผู้อธิบายสมการนี้จึงเรียกค่าสัมประสิทธิ์ ในสมการทั้ง 3 ตัว คือ B_{12} , A_{21} และ B_{21} ว่าเป็น Einstein Coefficient

ในสภาพสมดุลอุณหภูมิจึงอัตราส่วนระหว่างอัตราการเกิดการเปล่งแสงแบบถูกเร้า และการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเองจะมีค่าน้อยมาก ดังนั้นจึงเกือบจะไม่มี การเปล่งแสงแบบถูกเร้าเลย

$$\frac{\text{Stimulated Emission Rate}}{\text{Spontaneous Emission Rate}} = \frac{B_{21} N \rho(\nu_{12})}{A_{21} N_2} = \frac{B_{21}}{A_{21}} \rho(\nu_{12}) \quad (7)$$

จากสมการที่ 7 ซึ่งให้เห็นว่าถ้าต้องการให้มีการเปล่งแสงแบบถูกเร้ามากกว่าการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเองแล้วจะต้องมีการใส่โฟตอนที่มีความเข้มของพลังงานสูงมาก ๆ ในการปฏิบัติ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการทำเลเซอร์จึงมีการสร้างระบบป้อนกลับทางแสงให้แก่ระบบเพื่อให้เกิดการสะท้อนแสงกลับไปมาเป็นการเพิ่มความเข้มของโฟตอน ซึ่งที่กล่าวถึงในรายละเอียดต่อไป

ในทำนองเดียวกัน เพื่อที่จะให้ได้อัตราการเกิดการเปล่งแสงแบบถูกเร้า มากกว่าอัตราการดูดกลืนแสง

$$\frac{\text{Stimulated Emission Rate}}{\text{Absorption Rate}} = \frac{B_{21} N_2 \rho(\nu_{12})}{B_{12} N_1 \rho(\nu_{12})} = \frac{B_{21} N_2}{B_{12} N_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad (8)$$

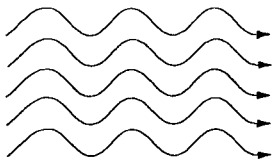
จากสมการที่ 8 เราต้องทำให้ N_2 มากกว่า N_1 มาก ๆ หรือสภาพประชากรผกผันเกิดขึ้นแก่ระบบนั่นเอง จากเงื่อนไขที่กล่าวมา 2 ประเด็นที่วิเคราะห์จากสมการที่ 7 และสมการที่ 8 เป็นหลักการสำคัญของการเกิดแสงเลเซอร์

2.1.3 การมีระบบป้อนกลับทางแสง (Optical Resonator) จากสมการที่ 7 ทำให้ทราบว่าการสร้างให้เกิดโฟตอนที่มีความเข้มของค่าพลังงานสูงในระบบอะตอม จะทำให้อัตราการเกิดการเปล่งแสงแบบถูกเร้ามีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง วิธีการที่จะทำให้เกิดเงื่อนไขดังกล่าวคือ การสร้างระบบป้อนกลับทางแสง เพื่อให้สะท้อนกลับไปมาและเร้าให้เกิดโฟตอนตัวใหม่ขึ้นมาอีกจำนวนมาก เป็นการเพิ่มโฟตอนหรือการขยายสัญญาณแสงนั่นเอง โดยรายละเอียดจะอธิบายในส่วนของกระจกเลเซอร์

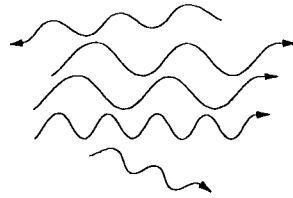
2.2 คุณสมบัติของแสงเลเซอร์

คุณสมบัติของแสงเลเซอร์จะมีคุณสมบัติที่พิเศษเมื่อเปรียบเทียบกับแสงธรรมดาต่างๆ ไปจากคุณสมบัติพิเศษที่ให้เลเซอร์ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในวงการต่างๆ ในปัจจุบัน คุณสมบัติเด่นของแสงเลเซอร์ก็คือ การมีโคฮีเรนต์ เป็นแสงที่มีความถี่เดียว มีทิศทางที่แน่นอน แสงมีความเข้มของแสงสูง โดยในส่วนของรายละเอียดได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

2.2.1 โคฮีเรนต์ (coherent) [4,6] แสงเลเซอร์มีคุณสมบัติที่มีความเป็นระเบียบของคลื่น คลื่นจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันโดยมีเฟสเหมือนกัน (inphase) จึงมีหน้าคลื่น (wave front) พร้อมกันดังแสดงในรูปที่ 2.4



(ก) คลื่นมีโคเฮียเรนซ์ดี



(ข) คลื่นไม่มีโคเฮียเรนซ์

รูปที่ 2.4 คลื่นที่มีระเบียบเป็นโคเฮียเรนซ์

2.2.2 แสงสีเดียว (monochromaticity) [4.7] แสงเลเซอร์มีคุณสมบัติเป็นแสงสีเดียว เพราะเป็นแสงที่เปล่งออกมาจากการเปลี่ยนชั้นพลังงานที่เป็นชั้นพลังงานเดียวในระบบอะตอม หรือโมเลกุล ความถี่ของแสงมีค่าแน่นอนตามผลต่างของชั้นพลังงานทั้งสอง ($\Delta E = h\nu$) และยังมี การเปล่งแสงแบบถูกเร้า โดยอาศัยกลไกของการขยายสัญญาณแสง จึงเกิดแสงที่มีความถี่เดียวกัน อีกจำนวนมาก จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้แสงเลเซอร์เป็นแสงสีเดียว

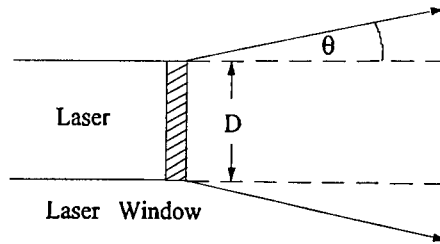
2.2.3 การมีทิศทางที่แน่นอน (directionality) [4,6] คุณสมบัติเด่นเฉพาะตัวของแสง เลเซอร์ที่แสงชนิดอื่นไม่สามารถมีได้คือ การมีทิศทางที่แน่นอน กล่าวคือ แสงเลเซอร์ที่ถูกผลิตออก มานั้นมีทิศทางในการเคลื่อนที่ที่แน่นอน ไม่กระจายออกไปโดยรอบเหมือนกับกรณีของฟลูออเรส เซนซ์ ทั้งนี้เพราะ แสงเลเซอร์เกิดจากขบวนการทางฟิสิกส์ที่เรียกว่าขบวนการกระตุ้นอะตอมแบบ ถูกเร้า และจำเป็นต้องมีระบบป้อนกลับทางแสง ดังนั้น แสงเลเซอร์ถูกผลิตออกมาเฉพาะบริเวณที่มี กระจก และอยู่ในทิศทางของแนวแกนแสงเท่านั้น แสงที่เกิดจากขบวนการกระตุ้นอะตอมแบบถูก เร้าภายในระบบป้อนกลับทางแสงจะถูกขยายและสะท้อนกลับไปมาระหว่างกระจกทั้งสอง ก่อนที่ จะออกมาเป็นแสงเลเซอร์ที่มีความเข้มแสงสูง จึงเปรียบเหมือนแสงที่ถูกรวมเอาใช้ในบริเวณแคบ ๆ แสงมีหน้าคลื่นที่มีความสม่ำเสมอและเคลื่อนที่ออกไปอย่างเป็นระเบียบ ในทิศทางที่แน่นอนโดยมี การบานออกของลำแสงน้อยมากโดยกำหนดได้ตามสูตร

$$\theta = \frac{\lambda}{D} \quad (9)$$

โดยที่ λ คือความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์

D คือเส้นผ่าศูนย์กลางของลำแสง

θ คือ มุมที่เบี่ยงเบน



รูปที่ 2.5 แสดงการบานของลำแสงเลเซอร์

2.2.4 ความเข้มแสงสูง (high intensity) [4,6] จากหลักการของเลเซอร์ที่มีการขยายสัญญาณแสงภายในระบบป้อนกลับทางแสง ด้วยขบวนการกระตุ้นอะตอมแบบถูกเร่งทำให้เกิดแสงที่มีความถี่เดียวและมีทิศทางในการเคลื่อนที่ที่แน่นอน เนื่องจากเลเซอร์เป็นแสงที่มีความถี่เดียวหรือมีสเปกตรัมแคบมาก จำนวนโฟตอนที่มีความถี่นั้นจึงมีค่าสูง ประกอบทั้งโฟตอนเหล่านั้นมีทิศทางเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันหมด ภายในพื้นที่หน้าตัดของลำแสงที่กำหนดโดยระบบป้อนกลับทางแสง จำนวนโฟตอนต่อพื้นที่ จึงมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับแสงธรรมดา

2.3 ประเภทของเลเซอร์ [9]

โดยทั่วไปได้มีการแบ่งประเภทของเลเซอร์ออกตามสถานะของสารเลเซอร์ (laser medium) คือ สถานะที่เป็นแบบของแข็ง เป็นแบบของเหลวและเป็นแบบก๊าซ

2.3.1 เลเซอร์ชนิดของแข็ง (solid state laser) ระบบเลเซอร์นี้ใช้สารเลเซอร์ในสถานะที่เป็นของแข็งในรูปแบบผลึก เช่น ผลึกทับทิม (ruby crystal) สารกึ่งตัวนำ (semiconductor) หรือในรูปแบบของการ์เน็ต (gemet) เช่น ผลึกแย็ก (YAG)

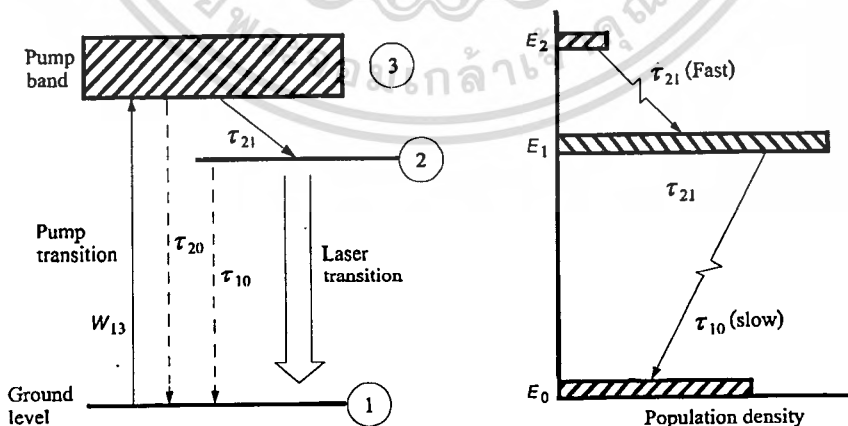
2.3.2 เลเซอร์ชนิดของเหลว (liquid laser) ระบบเลเซอร์ชนิดนี้ใช้สารเลเซอร์ในสถานะที่เป็นของเหลว เช่น สารละลายสีย้อมผ้า (dye solution)

2.3.3 เลเซอร์ชนิดก๊าซ (gas laser) ระบบเลเซอร์ชนิดนี้ใช้สารเลเซอร์ในสถานะที่เป็นก๊าซ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ ไนโตรเจนเลเซอร์ เป็นต้น

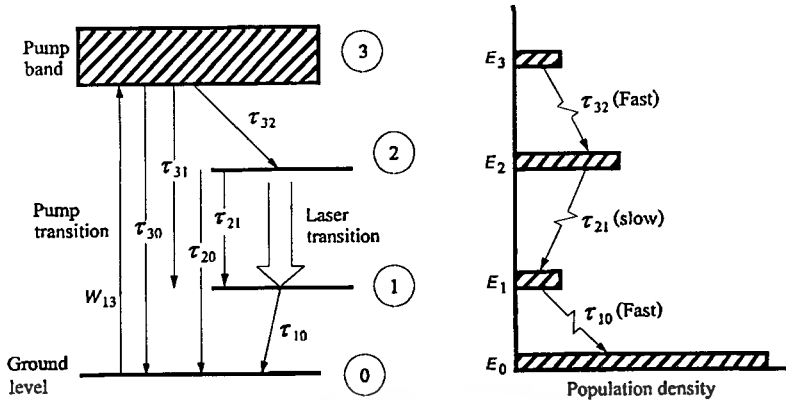
2.4 นีโอติเมียมแฉีกเลเซอร์ [10,11]

นีโอติเมียมแฉีกเลเซอร์เป็นเลเซอร์แบบ 4 ระดับพลังงาน ซึ่งจะมีคุณสมบัติดีกว่า 3 ระดับพลังงานตรงที่ใช้พลังงานในการกระตุ้นน้อยกว่า โดยได้อธิบายดังต่อไปนี้ เลเซอร์แบบ 3 ระดับพลังงาน เช่น รูบี้เลเซอร์ จะมีการกระตุ้นอะตอมจากสถานะพื้น (E_0) ไปสู่ระดับพลังงาน E_2 และอะตอมจะตกกลับมาสู่ระดับพลังงาน E_1 อย่างรวดเร็ว แต่ช่วงเวลาที่อะตอมจะคายพลังงานจาก E_1 มาสู่ E_0 จะมีช่วงเวลายาวนาน ดังนั้นอะตอมจะอยู่ที่ชั้นระดับพลังงาน E_1 มากจนกระทั่งมีโฟตอนมากระตุ้นทำให้อะตอมที่อยู่ในระดับชั้นพลังงาน E_1 ตกมาสู่ระดับพลังงาน E_0 โดยเรียกขบวนการนี้ว่าการกระตุ้นแบบถูกเร้า (stimulated emission) สรุปคือ ในเลเซอร์แบบ 3 ระดับพลังงานจะต้องเลือกเอาสารเลเซอร์ที่มีช่วงเวลาคงตัวมากในระดับพลังงาน E_1 เพื่อที่จะทำให้เกิดประชากรผกผันระหว่างระดับชั้นพลังงาน E_1 กับ E_0 ในสถานะปกติอะตอมจะอยู่ในชั้นพลังงาน E_0 มาก ในการกระตุ้นให้เกิดความแตกต่างของอะตอมที่ชั้นพลังงาน E_1 กับ E_0 จึงต้องใช้พลังงานสูงมาก ดังรูปที่ 2.6

เลเซอร์แบบ 4 ระดับพลังงานจะมีการกระตุ้นอะตอมจากสถานะพื้น (E_0) ไปสู่ระดับพลังงาน E_3 และอะตอมก็จะตกมาสู่ระดับพลังงาน E_2 อย่างรวดเร็วแต่อะตอมจะอยู่ในระดับชั้นพลังงาน E_2 นาน เนื่องจากอะตอมมีช่วงเวลาคงตัวมาก จึงทำให้อะตอมที่ระดับชั้น E_2 มีมาก ส่วนในระดับชั้นพลังงาน E_1 อะตอมจะมีช่วงเวลาคงตัวสั้นทำให้อะตอมตกมาจากชั้นพลังงาน E_1 มาสู่ E_0 อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดความแตกต่างของจำนวนอะตอมของชั้นพลังงาน E_2 กับ E_1 มากและเมื่อมีโฟตอนมากระตุ้นจะทำให้เกิดเลเซอร์ขึ้นที่ระดับพลังงานนี้ ดังรูปที่ 2.7

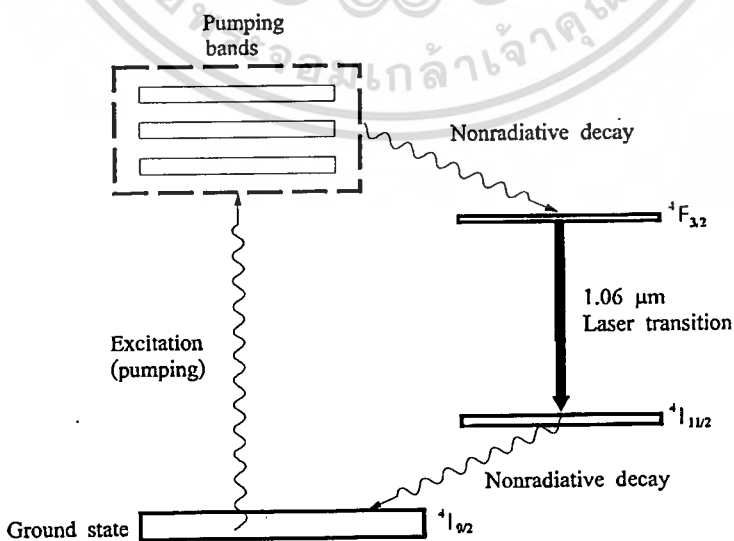


รูปที่ 2.6 แสดงไดอะแกรมของระดับพลังงานของเลเซอร์แบบ 3 ระดับ



รูปที่ 2.7 แสดงไดอะแกรมของระดับพลังงานของเลเซอร์แบบ 4 ระดับ

พิจารณาที่นีโอติเมียมแยกเลเซอร์จะมีการแบ่งระดับชั้นพลังงานเป็น 4 ชั้นที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยเลเซอร์ดังรูปที่ 2.8 เมื่อมีการกระตุ้นอะตอมจากสภาวะพื้น (E_0) ไปสู่ระดับพลังงานที่สูงกว่า ${}^4F_{3/2}$ อะตอมจะตกลงมาสู่ระดับพลังงาน ${}^4F_{3/2}$ อย่างรวดเร็วและอะตอมเหล่านั้นก็จะอยู่ที่ระดับพลังงาน ${}^4F_{3/2}$ เป็นระยะเวลา 230 ไมโครวินาที และถ้าระหว่างนี้มีโฟตอนมากระตุ้นจะทำให้เกิดการปล่อยเลเซอร์ออกมาและลงมาสู่ระดับพลังงาน ${}^4I_{11/2}$ เมื่ออะตอมอยู่ที่ระดับพลังงาน ${}^4I_{11/2}$ จะมีการตกลงมาสู่ระดับ ${}^4I_{9/2}$ ซึ่งเป็นสภาวะพื้นอย่างรวดเร็ว ช่วงของระดับชั้นพลังงานที่เกิดเลเซอร์จะเกิดในช่วง ${}^4F_{3/2}$ ไปสู่ ${}^4I_{11/2}$ ดังนั้นในการกระตุ้นสารเลเซอร์จึงมีความจำเป็นต้องเลือกแหล่งพลังงานในการกระตุ้นอะตอมที่เหมาะสมคือ แหล่งพลังงานในการกระตุ้นจะต้องให้ช่วงความยาวคลื่นเหมาะสมที่สารเลเซอร์สามารถที่จะรับได้

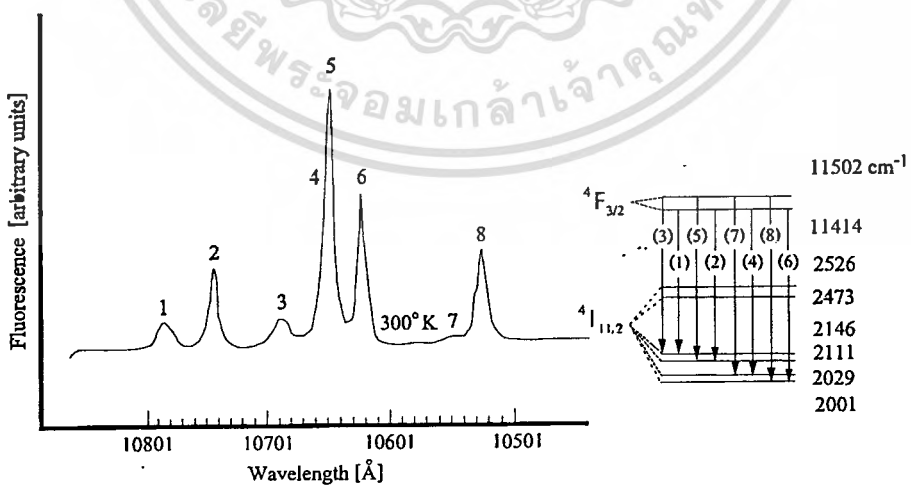


รูปที่ 2.8 แสดงระดับชั้นพลังงานของนีโอติเมียมแยกเลเซอร์

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติทางแสงและทางฟิสิกส์ของนีโอดีเมียมแยก

Chemical formula	Nd:Y ₃ Al ₅ O ₁₂
Weight % Nd	0.725
Atomic % Nd	1.0
Nd atoms/cm ³	1.38 × 10 ²⁰
Melting point	1970 C
Knoop hardness	1215
Density	4.56 g/cm ³
Rupture stress	1.3-2.6 × 10 ³ kg/cm ²
Modulus of elasticity	3 × 10 ³ kg/cm ²
Thermal expansion coefficient	
[100] orientation	8.2 × 10 ⁻⁶ C ⁻¹ , 0-250 C
[110] orientation	7.7 × 10 ⁻⁶ C ⁻¹ , 10-250 C
[111] orientation	7.8 × 10 ⁻⁶ C ⁻¹ , 0-250 C
Linewidth	4.5 Å
Stimulated emission cross section	
J ₂ - J ₁	σ ₂₁ = 6.5 × 10 ⁻¹⁹ cm ²
4F _{3/2} - 4I _{11/2}	σ ₂₁ = 2.8 × 10 ⁻¹⁹ cm ²
Spontaneous fluorescence lifetime	230 μs
Photon energy at 1.06 μm	hν = 1.86 × 10 ⁻¹⁹ J
Index of refraction	1.82 (at 1.0 μm)
Scatter losses	α _{sc} ≈ 0.002 cm ⁻¹

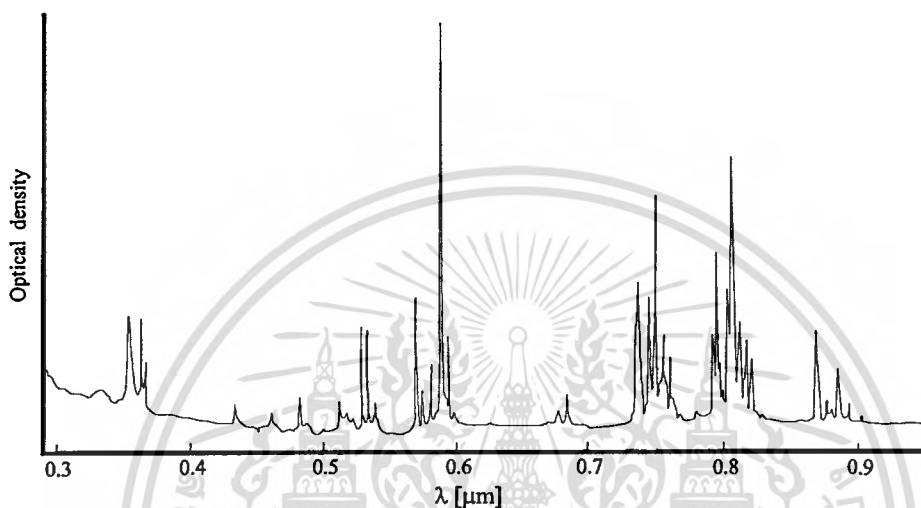
จากตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงสูตรทางเคมี เปอร์เซ็นต์ของนีโอดีเมียมโดยน้ำหนัก และอะตอมเมื่อเทียบกับผลึกนีโอดีเมียมแยก จุดหลอมเหลว ความหนาแน่น และช่วงเวลาที่ชีวิตของอะตอม



รูปที่ 2.9 แสดงสเปกตรัมของนีโอดีเมียมไอออนในเยก้าให้ออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.9 แสดงให้ทราบถึงอะตอมของนีโอติเมียมไอออนมีการคายพลังงานออกมาได้หลายระดับ แต่ละระดับจะให้ค่าความยาวคลื่นออกมาแตกต่างกัน แต่ช่วงที่ให้ออกมามากที่สุดจะอยู่ที่ความยาวคลื่น 1.064 ไมโครเมตร



รูปที่ 2.10 แสดงช่วงการดูดกลืนพลังงานของนีโอติเมียมไอออนที่ 300 เคลวิน

จากรูปที่ 2.10 แสดงให้ทราบถึงช่วงการดูดกลืนพลังงาน ซึ่งจะมีมากในช่วง 0.8 ไมโครเมตร ซึ่งในการเลือกวิธีในการกระตุ้นนีโอติเมียมไอออนจะต้องหาแหล่งพลังงานที่ให้ค่าความยาวคลื่นที่นีโอติเมียมไอออนต้องการ

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติเกี่ยวกับความร้อนของนีโอติเมียมไอออน

Property	Units	300 K	200 K	100 K
Thermal conductivity	$W\ cm^{-1}\ K^{-1}$	0.13	0.21	0.58
Specific heat	$W\ s\ g^{-1}\ K^{-1}$	0.59	0.43	0.13
Thermal diffusivity	$cm^2\ s^{-1}$	0.046	0.10	0.92
Thermal expansion	K^{-1}	7.5	5.8	4.25
$\partial n/\partial T$	K^{-1}	7.3×10^{-6}	-	-

จากตารางที่ 2.2 ได้แสดงถึงการนำความร้อน ความจุความร้อนจำเพาะ และการลดหรือขยายตัวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่ได้อธิบายมา ทำให้ทราบว่าในการเลือกแหล่งจ่ายกำลังงานให้แก่เลเซอร์ ซึ่งในที่นี้คือหลอดแฟลชทำหน้าที่ในการกระตุ้นแท่งผลึกจะต้องเลือกหลอดแฟลชที่ให้ค่าความยาวคลื่นในช่วงที่แท่งผลึกรับได้ ทำให้มีการสูญเสียของพลังงานน้อยและเมื่อพิจารณาคุณสมบัติเกี่ยวกับความร้อนของแท่งผลึก จะมีประโยชน์ในการระบายความร้อนของผลึก เพื่อให้ผลึกนั้นไม่เกิดความเสียหาย และอะตอมสามารถที่จะกลับลงมาสู่สถานะพื้นได้เร็วขึ้น



บทที่ 3

ระบบนีโอคิเมียมแอ็กเลเซอร์

ห้าปีหลังจากที่ Geusic et al. รายงานในการค้นพบนีโอคิเมียมแอ็กได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วเกี่ยวกับคุณภาพของสารเลเซอร์และเทคนิคในการกระตุ้น ดังนั้น จึงสามารถที่จะประดิษฐ์ลำแสงเลเซอร์ออกมาเป็นแบบต่อเนื่อง และพัฒนาขึ้นจากกำลังเพียงเล็กน้อยไปจนกระทั่งได้กำลังออกมาเป็นร้อยวัตต์ จากสารเลเซอร์เพียงแท่งเดียว ในขณะที่นีโอคิเมียมแอ็กเลเซอร์ได้มีการพัฒนามามากกว่า 20 ปีแล้ว ซึ่งแสดงให้เห็นว่านีโอคิเมียมแอ็กเลเซอร์เป็นระบบเลเซอร์ของแข็งที่มีการนำไปใช้งานได้หลากหลายและยังคงเป็นระบบที่ยังนิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้

นีโอคิเมียมแอ็กเลเซอร์ เป็นที่รู้จักและใช้กันอย่างแพร่หลาย มากที่สุดเมื่อเทียบกับในกลุ่มของเลเซอร์ของแข็ง ในการเลือกโครงสร้างที่จะทำให้อะตอมของนีโอคิเมียมไปเจือปนจำเป็นจะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในการเกิดแสงเลเซอร์ ซึ่งผลึกยิทเทเรียมอะลูมิเนียมการ์เนทเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรง เนื่องจากมีการจับตัวกันของอะตอมเป็นแบบสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ สามารถส่งผ่านแสงได้ดี เมื่อมีการกระตุ้นทางแสง ซึ่งแสงนั้นสามารถส่งผ่านไปยังแท่งผลึกนีโอคิเมียมแอ็กได้ทั่วทั้งผลึก มีช่วงในการเกิดฟลูออเรสเซนซ์แคบ จะทำให้เกิดอัตราการขยายและมีค่าพลังงานขีดเริ่มต่ำในการเกิดเลเซอร์ และอะตอมของนีโอคิเมียมมีอิเล็กตรอนวงนอกสุดจำนวน 3 ตัว ซึ่งมีค่าเท่ากับอิเล็กตรอนวงนอกสุดของยิทเทเรียม ดังนั้นจึงมีการแทนที่กันในโครงสร้างผลึกพอดี จากเหตุผลดังกล่าวทำให้ยิทเทเรียมอะลูมิเนียมการ์เนทมีความเหมาะสมที่จะเป็นโครงสร้างผลึกให้นีโอคิเมียมไอออน เพื่อนำไปเป็นสารเลเซอร์ของนีโอคิเมียมแอ็กเลเซอร์

3.1 แท่งผลึกนีโอคิเมียมแอ็ก [5,10]

สารที่นำมาเป็นโครงสร้างจะมีอยู่หลายชนิดซึ่งอยู่ในรูปผลึกและแก้ว โครงสร้างจำเป็นจะต้องมีคุณลักษณะทางแสงที่ดี คุณลักษณะทางกลที่ดี และคุณสมบัติทางด้านอุณหภูมิที่จะสนับสนุนในการเกิดเลเซอร์ โดยคุณสมบัติที่ดีประกอบด้วย ความแข็งแรง คุณสมบัติทางเคมีที่จะไม่ประกอปกกับสารอื่นได้ง่าย การขาดไปของความเครียดภายในและการแปรเปลี่ยนไปด้วยค่าการสะท้อน ค่าความต้านทานของการก่อให้เกิดการเปล่งแสงและกระบวนการในการผลิตต้องไม่ยุ่งยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การมีปฏิกิริยาต่อกันระหว่างโครงผลึกและจำนวนของไอออนที่มีข้อจำกัดในการใส่เข้าไป ซึ่งมีข้อแตกต่างกัน ทางด้านขนาดจำนวนอิเล็กตรอนชั้นนอกที่ใส่เข้าไป ต้องมีความเข้ากันได้ดี ภายในโครงผลึกที่ถูกแทนที่

ในการเลือกผลึกที่เหมาะสมสำหรับเลเซอร์ไอออน จะต้องมีเกณฑ์ในการเลือกดังต่อไปนี้

1. ผลึกจะต้องมีคุณสมบัติในการส่งผ่านทางแสงที่ดี เนื่องจากในการกระตุ้นสารเลเซอร์ด้วยแสง แท่งผลึกต้องมีลักษณะที่โปร่งแสง เมื่อมีแสงมากระตุ้นสามารถส่งผ่านได้ตลอดทั้งเนื้อผลึก ซึ่งจะมีความสูญเสียจากการดูดกลืนทางแสง

2. ผลึกจะต้องมีโครงผลึกที่มีความแข็งแรงเมื่อถูกเจือปนด้วยไอออน ในผลึกนีโอติเมียม แอ็กทิทเทรียมไอออนจะถูกแทนที่โดยนีโอติเมียมไอออน รัศมีของทั้งสอง (Y^{3+} กับ Nd^{3+}) จะมีความต่างกันประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเมื่อมีการรวมกันของนีโอติเมียมจำนวนมาก ๆ ความเครียดในผลึก จะเป็นการแสดงถึงขีดจำกัดในการผสมนีโอติเมียม และถ้าผลึกไม่มีความแข็งแรงเมื่อนำไปใช้งาน ผลึกมีโอกาที่จะเกิดความเสียหายได้

3. ผลึกจะต้องสามารถทนอุณหภูมิได้โดยไม่เกิดความเสียหายขึ้นขณะที่ใช้งาน

4. ผลึกจะต้องมีอัตราในการปลูกที่ดีเมื่อมีการใส่สารเจือปนในผลึก

ผลึกนีโอติเมียมแอ็กเลเซอร์ปลูกโดยวิธี Czochralski มีอัตราการปลูกผลึกที่ช้าซึ่งมีค่าประมาณ 0.5 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง โดยผลึกจะมีขนาดความยาวตั้งแต่ 10 ถึง 15 เซนติเมตร ในแต่ละผลึกจะต้องใช้เวลาประมาณหนึ่งสัปดาห์ในการปลูก แท่งผลึกที่ปลูกขึ้นจะมีการกระเจิงของแสงน้อย, ดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่นอื่นน้อย และให้ความสว่างผ่านตลอดแท่งผลึก จำนวนเปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นนีโอติเมียมในแอ็กจะอยู่ในช่วง 1.0 ถึง 1.5 เปอร์เซ็นต์ การเจือปนนีโอติเมียมมากจะทำให้ ช่วงเวลาของฟลูออเรสเซนซ์สั้น ความแข็งแรงของผลึกลดลง ผลที่เกิดขึ้นทำให้เกิดความไม่สมบูรณ์ทางแสง ปริมาณของการเจือปนนีโอติเมียมในแอ็กบางครั้งจะแสดงให้เห็นความแตกต่างเป็นหน่วย ความเข้มข้นที่ 1 เปอร์เซ็นต์ ของอะตอมนีโอติเมียมในผลึกมีค่าเท่ากับ 0.727 เปอร์เซ็นต์ ของนีโอติเมียม หรือ 0.848 เปอร์เซ็นต์ ของ Nd_2O_3 โดยน้ำหนัก ความเข้มข้นของ Nd^{3+} ในกรณีนี้มีค่าเท่ากับ $1.386 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$

ในเรื่องไขการเกิด นีโอติเมียมแอ็กเลเซอร์ที่อุณหภูมิห้อง เส้นที่ส่งผ่านพลังงานได้มากที่สุดคือที่ระดับ ${}^4F_{3/2}$ ไปสู่ ${}^1I_{1/2}$ ที่ 1.0641 ไมครอน แต่ในการเกิดเลเซอร์นั้นได้มีการเกิดออกมาที่หลายความยาวคลื่น แต่ในการใช้งาน ได้มีการกรองเอาความยาวคลื่นอื่น ๆ ออกไป โดยใช้ตัวกรองแสงออกโดยใช้ปริซึม หรือโดยการเลือกสารไดอิเล็กตริกที่มีคุณภาพสูงมาเคลือบกระจกเลเซอร์ กระจกเลเซอร์จะเป็นตัวกักไม่ให้เกิดเลเซอร์ที่ความยาวอื่น ๆ ออกมาและจะให้เงื่อนไขที่สมบูรณ์ที่ความยาวคลื่นที่ต้องการออกมา

ในโครงการวิจัยนี้ได้เลือกใช้ผลึกนีโอไดเมียมแฉีกที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้ของบริษัท VLOC มีการเจือปนของนีโอไดเมียมไอออน 1 เปอร์เซ็นต์และมีขนาดของแท่งผลึก คือมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ยาวเท่ากับ 76 มิลลิเมตร และมีแท่งทองเหลืองกลวง ซึ่งเป็นตัวยึดระหว่างแท่งผลึกกับคาวิตี มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 8 มิลลิเมตรและยาวอันละ 52 มิลลิเมตร โดยมีคุณลักษณะของแท่งผลึกนีโอไดเมียมแฉีกเพิ่มเติมในภาคผนวก ข ดังรูปที่ 3.1



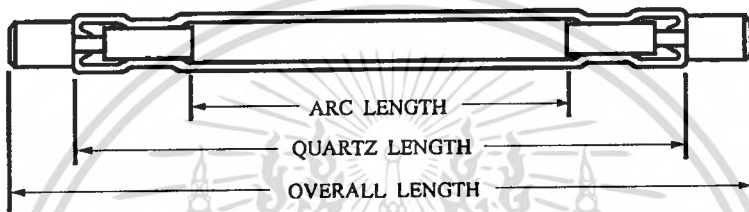
รูปที่ 3.1 แสดงภาพของแท่งผลึกนีโอไดเมียมแฉีก

3.2 หลอดแฟลช [10,12]

หลอดแฟลชมีหน้าที่ในการส่งพลังงานแสงไปยังแท่งผลึกนีโอไดเมียมแฉีก เพื่อทำการกระตุ้นโดยได้อธิบายไว้เป็นส่วน ๆ คือ คุณลักษณะทั่วไปของหลอดแฟลชและโครงสร้างและส่วนประกอบของหลอดแฟลช

3.2.1 คุณลักษณะทั่วไปของหลอดแฟลช ในสภาวะปกติหลอดแฟลชจะมีความต้านทานภายในสูง เนื่องจากก๊าซที่บรรจุภายในหลอดอยู่ในสภาวะกราวน์สเตท (ground state) ไม่มีการนำกระแสไฟฟ้า เมื่อหลอดแฟลชได้รับแรงดันที่สูงมากกว่าแรงดันพังทลาย (breakdown voltage) ของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดแฟลช ก๊าซที่อยู่ภายในหลอดแฟลชจะเกิดการแตกตัวอย่างรวดเร็วเป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดการนำแสงและสว่างขึ้นในที่สุด แต่ถ้าหลอดแฟลชได้รับแรงดันต่ำกว่าแรงดันพียงหลายของหลอดแฟลช ก๊าซที่อยู่ภายในหลอดจะเกิดการแตกตัวเพียงบางส่วน ผลที่เกิดขึ้นจะเรียกว่าพรีไอโอไนซ์ (preionized) สำหรับงานวิจัยการศึกษาและการสร้างนีโอเดียมแย็กเลเซอร์ หลอดแฟลชที่ใช้เป็นชนิดที่มีการกระตุ้น (wig) แบบกระตุ้นจากภายนอกหลอด ซึ่งมีขั้วสำหรับใช้งาน 2 ขั้ว ลักษณะรูปร่างจะเป็นเส้นตรงยาวทรงกระบอกมีลักษณะและส่วนประกอบดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะและส่วนประกอบของหลอดแฟลช

3.2.2 โครงสร้างและส่วนประกอบของหลอดแฟลช ในส่วนนี้อธิบายถึงส่วนประกอบโดยทั่วไปของหลอดแฟลช เพื่อให้เข้าใจถึงหลักการทำงานและข้อจำกัดในการใช้งานของหลอดแฟลช โดยมีส่วนประกอบดังนี้คือ

3.2.2.1 หลอดบรรจุก๊าซ (envelope) เป็นส่วนที่มีไว้สำหรับบรรจุก๊าซ ปลายทั้งสองข้างของหลอดแฟลชจะหุ้มด้วยอิเล็กโทรด (electrode) เป็นขั้วคาโทด (cathode) และอโนด (anode) หลอดบรรจุก๊าซถือว่าเป็นโครงสร้างหลักของหลอด วัสดุที่จะนำมาใช้ทำเป็นหลอดบรรจุก๊าซ ควรมีคุณสมบัติดังนี้

1. มีลักษณะโปร่งใส มีค่าสัมประสิทธิ์ ในการส่งผ่านแสงสูง แสงสามารถทะลุผ่านได้ดี (โดยเฉพาะในช่วงคลื่นที่ใช้งาน) มีการดูดกลืนแสงน้อย
2. สามารถทนความร้อนได้สูง แสงมีความยืดหยุ่นต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน
3. สามารถทำให้เป็นรูปทรงต่าง ๆ ได้ง่ายโดยไม่เกิดการแตกร้าวและต้องป้องกันการร้าวซึมของก๊าซทั้งจากภายในและภายนอกของตัวหลอด

โดยทั่วไปวัสดุที่นำมาใช้ทำตัวหลอดบรรจุก๊าซจะใช้ควอตซ์ (quartz) ทั้งนี้เนื่องมาจากว่ามีคุณสมบัติใกล้เคียงและเหมาะสมตามคุณสมบัติที่กล่าวมา โดยเฉพาะการทนความร้อน สามารถทนความร้อนได้สูงถึง 1,300 องศาเซลเซียส

3.2.2.2 อิเล็กโทรด (electrode) เป็นโลหะที่อยู่ในหลอดแฟลช มีหน้าที่เป็นตัวกลางของกระแสไฟฟ้าที่จะผ่านหลอด กระแสไฟฟ้าที่ผ่านขั้วอิเล็กโทรดจะมีค่าสูงมากแต่จะเกิดในระยะเวลานั้น ๆ ในการใช้งานจะเกิดการสึกหรอของขั้วอิเล็กโทรดตลอดเวลา ดังนั้นขั้วอิเล็กโทรดควรมีขนาดใหญ่พอและทนทานต่อการสึกหรอ เพื่อจะได้มีอายุการใช้งานที่นาน อิเล็กโทรดที่ใช้สำหรับหลอดแฟลชที่เป็นแบบเส้นตรง (linear flashlamp) จะประกอบด้วยขั้วโลหะ 2 ขั้วอยู่ที่ปลายทั้งสองของหลอด ทำหน้าที่เป็นขั้วคาโทด (cathode) และอโนด (anode)

1. อโนด (anode) เป็นขั้วไฟฟ้าที่มีศักย์เป็นบวก ขั้วอโนดของหลอดแฟลชจะถูกกระดมยิง (bombardment) จากลำอิเล็กตรอน (electron beam) ในขณะที่นำกระแสไฟฟ้าหรือหลอดทำงาน ทั้งนี้เนื่องจากการนำกระแสไฟฟ้าของหลอดจะเกิดขึ้น ก็ต่อเมื่ออะตอมของก๊าซที่บรรจุอยู่ภายในหลอดอยู่ในสถานะไอออไนซ์ (ionize) จะมีอิเล็กตรอนวิ่งเข้าขั้วบวกหรือขั้วอโนดเป็นจำนวนมากทำให้ขั้วอโนดเกิดการสึกหรอ ดังนั้นขั้วอโนดควรมีผิวหน้ามากและควรทำมาจากโลหะที่มีมวลมากพอ โดยทำมาจากทังสเตนบริสุทธิ์ (pure tungsten)

2. คาโทด (cathode) เป็นขั้วไฟฟ้าที่มีศักย์ลบขั้วคาโทดมีหน้าที่ปล่อยอิเล็กตรอนโดยกระบวนการสปัตเตอริง (sputtering) จึงเกิดการสึกหรอตลอดเวลาที่ใช้งาน เช่นเดียวกันกับอโนด ดังนั้น คาโทดควรทำมาจากโลหะที่มีมวลมากและมีผิวหน้าที่ใหญ่พอ เพื่อชดเชยการสึกหรอ ขั้วคาโทดส่วนใหญ่ทำมาจากทังสเตนพูน ที่เจือด้วยธาตุแบเรียม

3.2.2.3 ชนิดของก๊าซและความดันที่บรรจุอยู่ภายในหลอด (fill gas and fill pressure) ภายในหลอดแฟลชจะบรรจุก๊าซเฉื่อย (inert gas) โดยส่วนใหญ่จะนิยมใช้ก๊าซ 2 ชนิดได้แก่ ก๊าซซีนอน (Xenon ; Xe) และก๊าซคริปทอน (Krypton ; Kr) ตามความเหมาะสมในการใช้งานและคุณสมบัติของก๊าซ ดังนี้

1. ก๊าซซีนอน (Xenon) โดยทั่วไปจะใช้สำหรับหลอดแฟลชที่เป็นพัลส์ (pulse) และใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสตรง ก๊าซซีนอนมีประสิทธิภาพมากกว่าก๊าซคริปทอนประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ความดันของก๊าซซีนอนที่บรรจุอยู่ในหลอดแฟลช จะมีค่าประมาณ 450 ทอร์ (torr)

2. ก๊าซคริปทอน (Krypton) โดยทั่วไปจะใช้สำหรับหลอดแฟลชที่ทำงานเป็นพัลส์เช่นเดียวกับก๊าซซีนอน แต่เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานแสงต่ำกว่า จึงนิยมใช้กับหลอดแฟลชที่มีกำลังต่ำอีกด้วย ความดันที่บรรจุภายในหลอดแฟลช 700 ทอร์ (torr)

3.2.2.4 ซีล (seal) การเชื่อมหลอดแก้วที่เป็นควอทซ์เข้ากับขั้วอิเล็กโทรดที่เป็นโลหะ จะใช้ตัวกลางในการประสานวัสดุทั้งสองชนิดเข้าด้วยกันด้วยการซีล ตัวกลางที่จะนำมาใช้เชื่อมต่อ

วัสดุทั้งสองเข้าด้วยกันจะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสม (เนื่องจากควอทซ์และโลหะที่เป็นขั้วอิเล็กโทรด มีสัมประสิทธิ์ในการขยายตัวไม่เท่ากันการเลือกใช้ตัวกลางที่เหมาะสมจะช่วยไม่ให้เกิดการร้าวเกิดขึ้น) ในการซื้อหลอดแฟลชที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นแบบเกรดซีล (Grade seal) การซีลแบบนี้เป็นการเชื่อมต่อกับระหว่างควอทซ์เข้ากับทั้งสแตน และในการซีลทั้งสแตนจะต้องไม่เกิดออกซิไดซ์ (unoxidised tungsten) การซีลแบบนี้จะพบมากในหลอดแฟลชที่ใช้ในการกระตุ้นโซลิดสเตทเลเซอร์ (solid state laser pumping) เนื่องจากการซีลแบบนี้สามารถทนต่อกระแสยอดและกระแสอาร์เอ็มเอสที่เกิดจากการอาร์คภายในหลอดได้สูง และทนต่ออุณหภูมิได้สูงถึง 600 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาสั้น ๆ แต่ในสภาวะปกติธรรมดาไม่ควรให้มีอุณหภูมิเกิน 300 องศาเซลเซียส

จากการที่ได้กล่าวถึงโครงสร้างและส่วนประกอบของหลอดแฟลชในตอนต้นนั้น การใช้งานของหลอด นอกจากจะคำนึงถึงคุณสมบัติของหลอดและข้อจำกัดของส่วนประกอบต่าง ๆ ของหลอดแล้ว ยังต้องคำนึงถึงการออกแบบโครงสร้างของหลอด เพื่อให้การใช้งานมีประสิทธิภาพสูงสุด ในโครงการวิจัยนี้ได้มีการใช้หลอดแฟลชที่บรรจุก๊าซซีนอน การซีลหลอดเป็นแบบเกรดซีลมา โดยได้นำมาทดลองทั้งสิ้นจำนวน 6 หลอดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดต่างกันคือ ที่ 5, 6 และ 7 มิลลิเมตร หลอดแฟลชที่ใช้เป็นของบริษัท ILC Technology คือรุ่น SF4, 6F4 และ 7F4 ตามลำดับ อย่างละ 2 หลอด โดยมีคุณลักษณะของหลอดแฟลชเพิ่มเติมในภาคผนวก ข

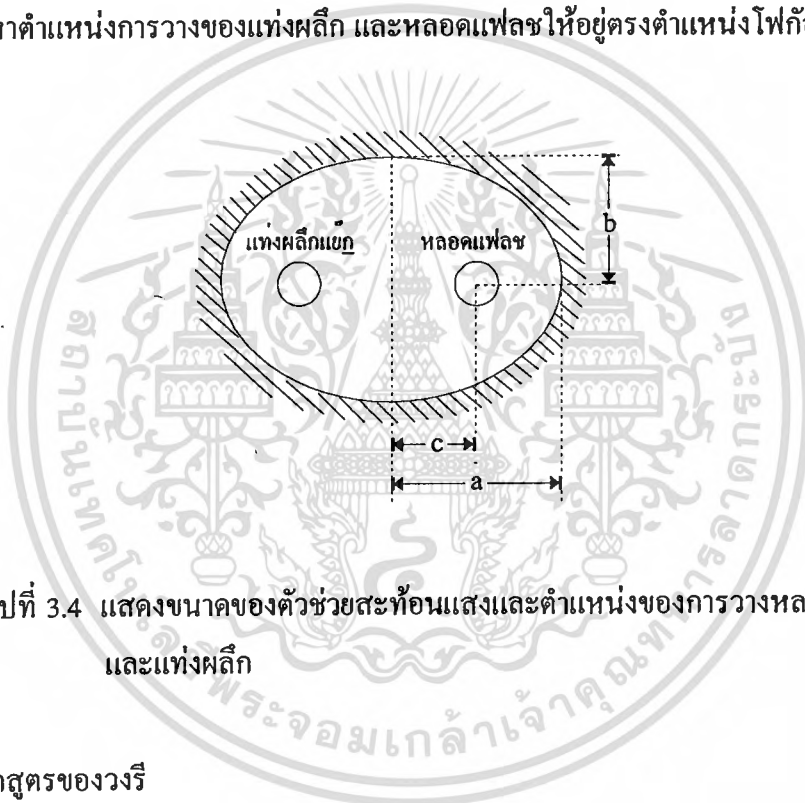


รูปที่ 3.3 แสดงภาพถ่ายของหลอดแฟลชที่ใช้ในโครงการวิจัยนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ตัวช่วยสะท้อนแสง (Cavity) [10,11]

ตัวช่วยสะท้อนแสง มีหน้าที่ในการสะท้อนแสงที่ออกมาจากหลอดแฟลชให้ตกลงมายังแท่งผลึกนีโอติเมียมแซ็ก สำหรับงานวิจัยนี้ได้จากการตัดท่อนอะลูมิเนียม โดยมีขนาดดังนี้ กว้างเท่ากับ 32 มิลลิเมตร ยาว เท่ากับ 36 มิลลิเมตร สูง เท่ากับ 100 มิลลิเมตร นำท่อนอะลูมิเนียมขนาดดังกล่าวไปตัดภายใน เป็นวงรีด้วยเครื่องตัดโลหะชนิดที่ใช้เส้นลวดในการตัด (wire cut) ในการตัดจะถูกควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ โดยในการออกแบบได้มีการคำนวณในแกนหลักและแกนรองเพื่อหาตำแหน่งการวางของแท่งผลึก และหลอดแฟลชให้อยู่ตรงตำแหน่งโฟกัสของวงรี



รูปที่ 3.4 แสดงขนาดของตัวช่วยสะท้อนแสงและตำแหน่งของการวางหลอดแฟลชและแท่งผลึก

จากสูตรของวงรี

$$a^2 = b^2 + c^2 \quad (10)$$

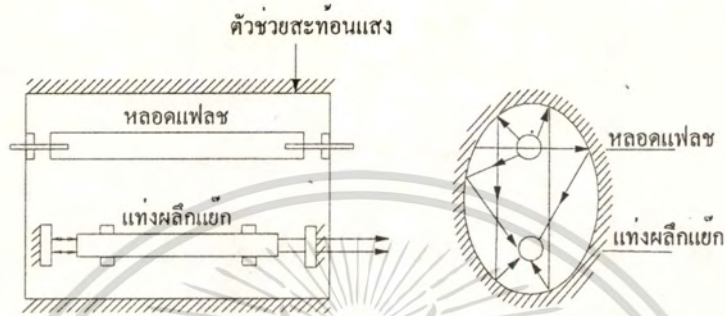
$$(13.5)^2 = (11.5)^2 + c^2$$

$$c^2 = 50$$

$$c = 7.07 \text{ มิลลิเมตร}$$

จากผลที่ได้ ทำให้ทราบถึงตำแหน่งการวางของแท่งผลึกและหลอดแฟลชโดยวางห่างจากจุดศูนย์กลางเป็นระยะ 7.07 มิลลิเมตร

จากนั้น นำท่อนอะลูมิเนียมที่ถูกตัดภายในเป็นรูปร่างรีไปชุบโครเมียมและขัดมัน เพื่อให้ได้ผิวสะท้อนแสงที่มีการสะท้อนแสงมากที่สุด ในรูปที่ 3.5 แสดงถึงลำแสงที่ออกมาจากหลอดแฟลช และสะท้อนไปยังแท่งผลึกนิโอไดเมียมแฮก ไวท์ที่จุดโฟกัสทั้งสองของวงรี



รูปที่ 3.5 แสดงถึงลำแสงที่ออกมาจากหลอดแฟลชและสะท้อนไปยังแท่งผลึกนิโอไดเมียมแฮก



รูปที่ 3.6 แสดงรูปถ่ายของตัวสะท้อนแสงแฟลชที่ใช้ในงานวิจัยนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลเซอร์จึงมักมีส่วนโค้งเว้าเล็กน้อย จัดเรียงเป็นพิเศษและเคลือบด้วยสารโคอีเล็กทริกที่มีค่าการสะท้อนต่าง ๆ เพื่อปรับลำแสงลงบ้างตามความเหมาะสม

รูปที่ 3.7 แสดงระบบป้อนกลับทางแสงที่ประกอบด้วยกระจกเว้า 2 บาน M_1 และ M_2 ซึ่งมีจุดศูนย์กลางวางอยู่บนแนวแกนแสง กระจกทั้งสองนี้วางห่างกัน L และมีรัศมีความโค้งเท่ากับ r_1 และ r_2 ตามลำดับ หากจะพิจารณาคูทิสทางที่แสงเดินทางและสะท้อนกลับไปแล้ว จะพบว่าเมื่อสะท้อนหลาย ๆ ครั้งลำแสงจะเริ่มบานออกก็แสดงว่ามีความสูญเสียเกิดขึ้นในระบบเลเซอร์ แต่ถ้าแสงสะท้อนกลับไปแล้วจะไม่บานออกก็แสดงว่าไม่มีความสูญเสียเกิดขึ้นในระบบเลเซอร์

ในการวิเคราะห์ระบบป้อนกลับทางแสง ซึ่งมีระยะทาง L และมีรัศมีความโค้งของกระจกสะท้อนแสง r_1 และ r_2 จะมีเสถียรภาพและมีลักษณะที่มีการสูญเสียหรือไม่นั้น กำหนดได้จากค่า จี-พารามิเตอร์ (g-parameters) ซึ่งเป็นปริมาณที่ไม่มีหน่วย โดยมีสูตรคือ

$$g_1 = 1 - \frac{L}{r_1} \quad (11)$$

$$g_2 = 1 - \frac{L}{r_2} \quad (12)$$

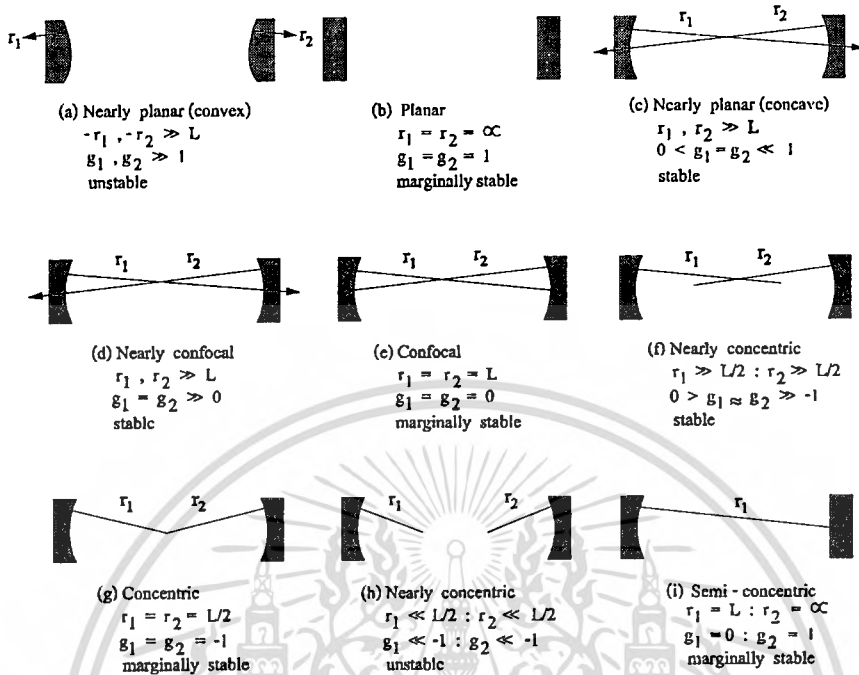
สำหรับกระจก M_1 และ M_2 ตามลำดับ ถ้าระบบป้อนกลับทางแสงมีเสถียรภาพดีถ้า

$$0 < g_1 g_2 < 1 \quad (13)$$

และถ้ามีเสถียรภาพต่ำถ้า

$$g_1 g_2 < 0 \quad \text{หรือ} \quad g_1 g_2 > 1 \quad (14)$$

แต่ถ้า g_1 g_2 มีค่าเป็น 0 หรือ 1 จะอยู่ที่จุดแบ่งระหว่างความมีเสถียรภาพและไม่มีเสถียรภาพพอดี เราเรียกสภาวะเช่นนี้ว่าเป็น มาจินัล (marginal stable) รูปที่ 3.8 แสดงถึงการใช้กระจกสะท้อนแสงที่มีรัศมีความโค้งต่าง ๆ และเสถียรรูปที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3.8 แสดงการเลือกใช้กระจกที่รัศมีความโค้งต่างกันและเสถียรภาพแตกต่างกันไป

การเลือกกระจกเลเซอร์เพื่อนำมาใช้ในโครงการวิจัยนี้ ได้เลือกใช้กระจกที่มีรัศมีความโค้ง 2 เมตร ที่ค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกเท่ากับ 99.5 เปอร์เซ็นต์มาเป็นกระจกหลัง และกระจกเรียบที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อน 40, 50, 60 และ 70 เปอร์เซ็นต์ มาใช้เป็นกระจกหน้า เพราะเป็นแบบที่ปรับแต่งได้ง่ายที่สุดในทางปฏิบัติ โดยมีคุณลักษณะของกระจกเลเซอร์เพิ่มเติมในภาคผนวก ข

ในการคำนวณค่า จี-พารามิเตอร์ในการทดลองนี้คือ

- ค่ารัศมีความโค้งของกระจกหลัง เท่ากับ 2 เมตร
- ค่ารัศมีความโค้งของกระจกหน้า เท่ากับ ∞ เมตร
- ค่าความห่างของกระจกทั้งสอง เท่ากับ 0.5 เมตร

จากสมการที่ 11
$$g_1 = 1 - \frac{L}{r_1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 0.75$$

$$g_2 = 1 - \frac{0.5}{\infty}$$

$$= 1$$

$$g_1 g_2 = 0.75 \times 1$$

$$= 0.75$$

ค่า $g_1 g_2$ มีค่าเท่ากับ 0.75 ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 < $g_1 g_2$ < 1 แสดงว่าระบบป้อนกลับทางแสงมีเสถียรภาพดี



รูปที่ 3.9 แสดงภาพถ่ายของกระจกเลเซอร์ที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ระบบระบายความร้อน [13]

ในการระบายความร้อนมีจุดประสงค์หลักก็คือ ไข่ของเหลวมาเป็นตัวนำความร้อนออกจากฟลิกเลเซอร์ หลอดแฟลช และลาวิตี ในบางครั้งตัวหล่อเย็นอาจจะมีประโยชน์เพิ่มเติมอีกเช่น ทำให้มีการเชื่อมต่อของค่าดัชนีให้มีขึ้นจึงทำให้ลดการสะท้อนที่เกิดขึ้นภายในได้ แรงในการบีบสารหล่อเย็น จะต้องพิจารณาถึงผิวของฟลิกและผิวของหลอดแฟลชที่จะทนได้ อุปกรณ์เหล่านี้บางครั้งอาจจะอยู่ในท่อ (flowtube) หรือในชุดถัง แชมเบอร์ (cooling chambers) ซึ่งจะเป็นส่วนสำคัญในหัวเลเซอร์ ความแตกต่างของอุณหภูมิ ระหว่างชิ้นส่วนที่ต้องระบายความร้อนกับของเหลว จะคำนึงถึงความเร็วของของเหลวกับคุณสมบัติของของเหลวนั้นที่ความเร็วต่ำ ๆ

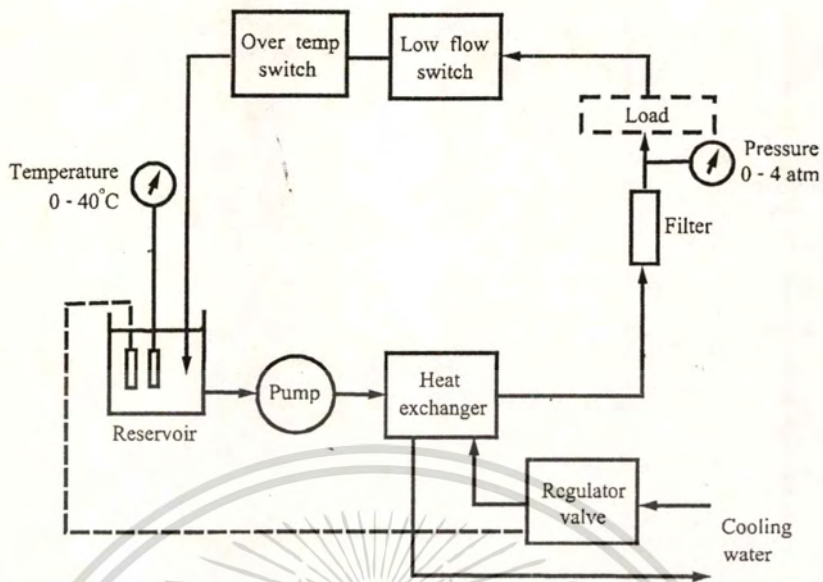
การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของตัวหล่อเย็นที่ผ่านไปในเลเซอร์ลาวิตี จะมีค่าตามสูตร

$$\Delta T = \frac{Q}{C_p m} \quad (15)$$

เมื่อ Q คือ ค่าความจุความร้อน, C_p คือค่าความจุความร้อนจำเพาะของตัวหล่อเย็นและ m คือ อัตราการไหลของมวล

จากการพิจารณาทางด้านการถ่ายเทความร้อน (heat transfer) น้ำจะเป็นของเหลวที่ดีที่สุดเมื่อทำการเปรียบเทียบตัวหล่อเย็นอื่น ๆ น้ำจะมีค่าความร้อนจำเพาะสูงและความนำความร้อนสูง และมีความหนืดต่ำ ในการระบายความร้อนด้วยน้ำแบบระบบปิดจะมีอุปกรณ์ประกอบพื้นฐานคือน้ำที่ใช้ระบายความร้อน บีบ เครื่องถ่ายเทความร้อน และถังเก็บน้ำ ในทางการค้า ตัวทำความเย็นนอกจากจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ข้างต้นแล้ว ยังมีอุปกรณ์เพิ่มเติมอีกได้แก่ เครื่องกรอง เกจ และเครื่องตรวจจับอัตราการไหล อุณหภูมิและความดันการระบายความร้อนด้วยน้ำบางครั้ง จะต้องมี การทำความสะอาดไส้กรองและน้ำตะกอนออกมาจากระบบด้วย

ในการนำความร้อนออกมาจากตัวถ่ายเทความร้อนในระบบปิดจะใช้แผ่นนำความร้อน (heat sink) เป็นตัวถ่ายเทความร้อน ในการถ่ายเทความร้อนนี้มีด้วยกันหลายทางได้แก่ การระบายความร้อนจากของเหลวไปสู่อากาศ วิธีนี้จะต้องมีครีบบระบายความร้อนเป็นตัวถ่ายความร้อนจากของเหลวไปสู่อากาศ การระบายความร้อนจากของเหลวไปสู่ของเหลว ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในระบบเลเซอร์จะถูกถ่ายออกไปยังน้ำภายนอกดังรูปที่ 3.9 แสดงถึงวิธีการระบายความร้อนจากของเหลวสู่ของเหลว น้ำจะไหลจากถังเก็บน้ำมายังปั๊ม ผ่านตัวถ่ายเทความร้อนผ่านหัวเลเซอร์และกลับมายังถังเก็บน้ำ



รูปที่ 3.10 แสดงไคอะแกรมของการถ่ายเทความร้อนจากน้ำไปสู่ น้ำ



รูปที่ 3.11 แสดงภาพถ่ายของระบบถ่ายเทความร้อนที่ใช้สำหรับโครงงานวิจัยนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่หลอดแฟลช

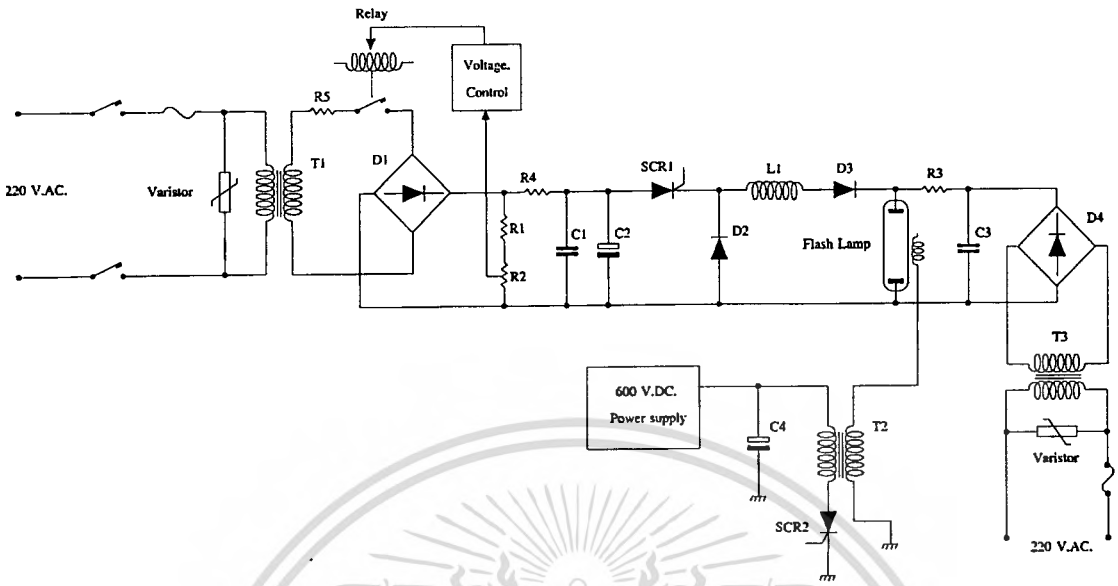
แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่หลอดแฟลช จะมีหน้าที่ในการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่หลอดแฟลชและแสงแฟลชนี้ก็จะสะท้อนไปที่ควิวด์และตกลงบนแท่งผลึกนีโอติเมียมแอ๊ก โดยมีวงจรและหลักการการทำงานดังต่อไปนี้

การทำงานของหม้อแปลง T_1 เมื่อทำการจ่ายไฟให้ทางปฐมภูมิของ T_1 บริดจ์ไดโอด D_1 จะทำการเรียงกระแสให้เป็นไฟตรงป้อนให้แก่ C_1 และ C_2 จนเต็ม แล้ว Relay RL_1 จะเปิด ออกเพื่อป้องกันการกระชากกระแสผ่าน บริดจ์ไดโอด D_1 จนเสียหายได้ โดยที่ C_2 ในการทดลองได้ทำการเปลี่ยนค่าเป็น 100 ไมโครฟารัด Varistor มีหน้าที่ในการป้องกันค่าความต่างศักย์ไม่ให้เกิน 400 โวลต์ ถ้าความต่างศักย์มีค่าเกิน Varistor จะให้กระแสไหลผ่านตัวมันเอง

ขนาดของหม้อแปลง T_1 จะขึ้นกับความเร็วหรือช่วงเวลาในการทริกของหลอดแฟลชด้วย เพื่อให้สามารถจ่ายกระแสมาชาร์จ แก่ banking capacitor ได้ทัน และแรงดันของทุติยภูมิ ของหม้อแปลง T_1 จะต้องมีความเหมาะสมกับหลอดแฟลช เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการทำงานของหลอด R_1, R_2 จะทำหน้าที่เป็นตัวแบ่งสัดส่วนแรงดันสำหรับป้อนกลับไปยังชุดควบคุม เพื่อแสดงผลและควบคุมการทำงานของรีเลย์ RL_1 รวมทั้งการจ่ายไฟที่ป้อนให้แก่หม้อแปลง T_1 ด้วย

เมื่อจะให้หลอดแฟลชทำงานจะมีการพรีโอออในซึ้นก่อน โดยมีหม้อแปลง T_2 ซึ่งสามารถให้แรงดันที่สูงพอที่จะทำให้เกิดการเบรคควาน์ ผ่านหลอดแฟลชได้ ซึ่งเรียงกระแสโดยบริดจ์ไดโอด D_4 และกรองกระแสโดยตัวเก็บประจุ C_3 ผ่านตัวต้านทานจำกัดกระแส R_3 ครบวงจรตลอดเวลาเพื่อให้การจ่ายกระแสจากชุด banking capacitor เป็นไปได้ง่าย เนื่องจากว่าแรงดันจากชุด banking capacitor มีค่าต่ำกว่าจุดเบรคควาน์ ของหลอดแฟลช

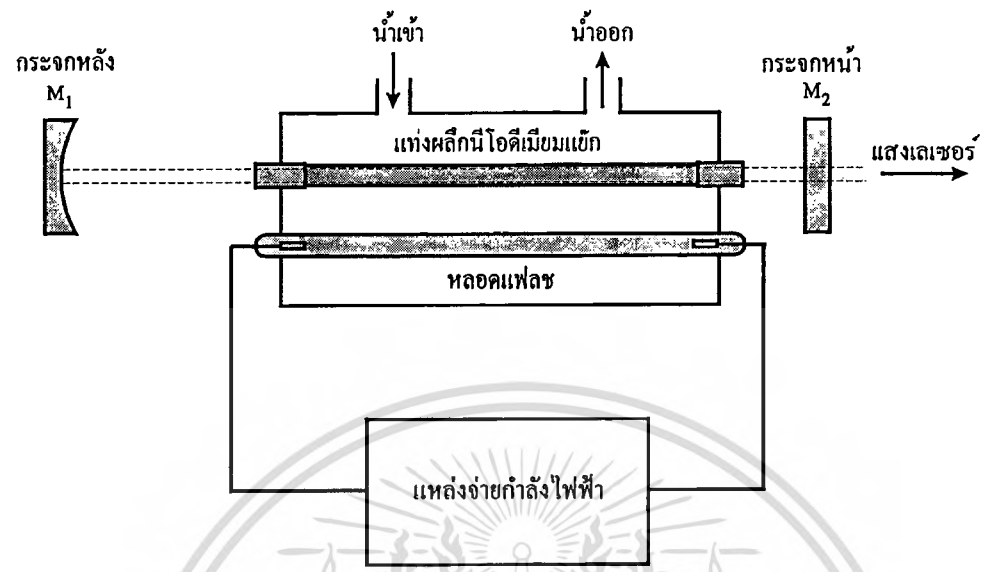
สำหรับการทริกให้หลอดแฟลชเริ่มทำงานจะเริ่มจากชุดแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 600 V.DC. ที่ทริกด้วย SCR_2 มีการติดและจ่ายกระแสขนาดใหญ่ไปยังหลอดแฟลชผ่าน D_3, L_1, D_3 จะทำหน้าที่เป็น blocking diode ไปด้วยในตัวเพื่อกันแรงดันที่มาจากหม้อแปลง T_2 และจะต้องมีขนาดที่ใหญ่ทนกระแสได้สูง เนื่องจากเป็นทางผ่านกระแสหลักไปยังหลอดแฟลช Diode D_2 จะทำหน้าที่ป้องกันการเหนี่ยวนำย้อนกลับของกระแสเหนี่ยวนำจาก L_1 ที่ช่วยในการลดกระชากของกระแสของวงจร



รูปที่ 3.12 แสดงวงจรของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่หลอดแฟลช

ขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรแหล่งจ่ายกำลังให้แก่หลอดแฟลชคือ

R_1	มีขนาดเท่ากับ	100×10^3 โอห์ม	R_2	มีขนาดเท่ากับ	1×10^3 โอห์ม
R_3	มีขนาดเท่ากับ	1.5×10^3 โอห์ม	$R_4 = R_5$	มีขนาดเท่ากับ	10 โอห์ม
L	มีขนาดเท่ากับ	11 μ H	C_1	มีขนาดเท่ากับ	0.1 μ F
C_2	มีขนาดเท่ากับ	100 μ F	C_3	มีขนาดเท่ากับ	0.1 μ F
C_4	มีขนาดเท่ากับ	0.1 μ F	D_1	มีขนาดเท่ากับ	3 A, 1,500 V
$D_2 = D_3$	มีขนาดเท่ากับ	80 A, 600 V	D_4	มีขนาดเท่ากับ	1 A, 1,000 V
SCR ₁	มีขนาดเท่ากับ	80 A, 1,200 V	SCR ₂	มีขนาดเท่ากับ	5 A, 1,000 V
T_1	แปลงความต่างศักย์จาก 220 โวลต์ เป็น 800 โวลต์				
T_2	แปลงความต่างศักย์จาก 600 โวลต์ เป็น 20 กิโลโวลต์				
T_3	เป็นหม้อแปลง isolate				



รูปที่ 3.13 แสดงไดอะแกรมของส่วนประกอบของระบบนีโอดีเมียมแฮ็กเลเซอร์

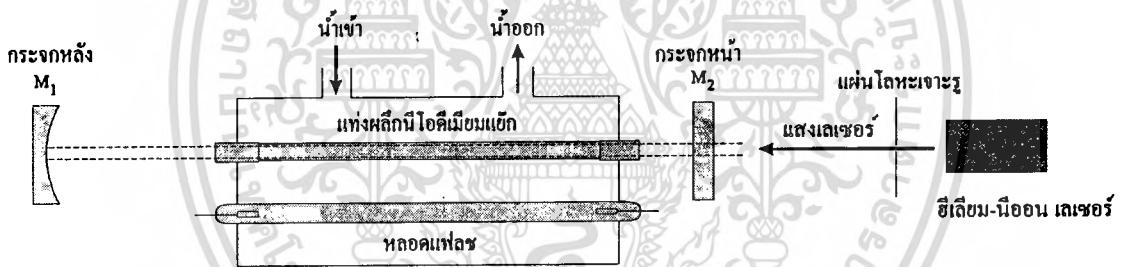
จากส่วนประกอบทั้ง 6 ส่วนที่ได้อธิบายข้างต้น เป็นส่วนประกอบหลักของระบบนีโอดีเมียมแฮ็กเลเซอร์ ซึ่งเมื่อนำมาประกอบกันแล้วจะมีไดอะแกรมดังรูปที่ 3.12 เพื่อที่จะใช้ในการทดลองในบทที่ 4 ต่อไป

บทที่ 4

การทดสอบนีโอติเมียมแยกเลเซอร์

4.1 การปรับระนาบของกระจกเลเซอร์

ในการทดลอง จะต้องมีการปรับแต่งกระจกเลเซอร์ทั้งกระจกหน้า และกระจกหลังกับแท่งผลึกนีโอติเมียมแยก ให้อยู่ในแนวแสงเดียวกันก่อน ในขั้นแรกต้องมีการยึดแท่งผลึกบนแท่นยึดอุปกรณ์ในแนวตรงกันกับฮีเลียม-นีออนเลเซอร์ ซึ่งเป็นเลเซอร์อีกชนิดหนึ่งที่มีลำแสงสีแดงขนาดเล็ก ใช้ช่วยในการปรับระนาบกระจกเลเซอร์ของระบบเลเซอร์ที่สร้างขึ้น เพราะว่าฮีเลียม-นีออนเลเซอร์จะให้แสงที่สามารถมองได้ด้วยตาเปล่าและเป็นลำแสงขนานที่มีขนาดเล็กเหมาะที่จะเป็นเครื่องมือในการช่วยปรับระนาบกระจกเลเซอร์ การจัดวางเครื่องมือจะแสดงในรูปที่ 4.1

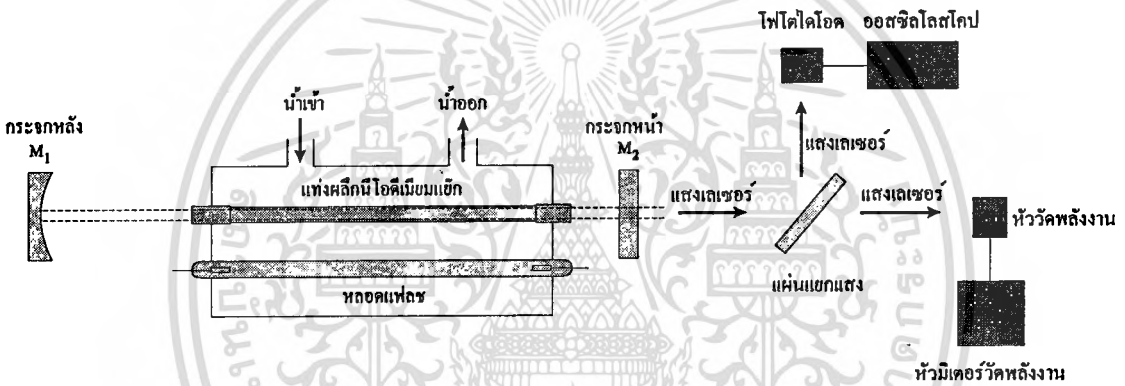


รูปที่ 4.1 แสดงการจัดวางเครื่องมือในการปรับระนาบของกระจกเลเซอร์

เมื่อยึดหลอดกำเนิดแสงเลเซอร์เรียบร้อยแล้วจึงจะเปิดฮีเลียม-นีออนเลเซอร์ ให้ลำแสงทะลุผ่านตรงกลางของผลึก เล็งไปยังกระจกเลเซอร์ด้านหน้าและทำการตัดแผ่นโลหะที่เจาะรูเล็ก ๆ และวางไว้ที่ด้านหน้าของฮีเลียม-นีออนเลเซอร์ แล้วทำการปรับแต่งลำแสงที่สะท้อนจากกระจกด้านหน้าให้ตรงกับรูเล็ก ๆ ที่เจาะไว้ ต่อมาก็ทำการติดตั้งกระจกหลังและทำการปรับแต่งที่กระจกหลังอย่างเดียว โดยให้ลำแสงตกลงบนรูเล็ก เมื่อทำการปรับแสงสะท้อนให้ได้ตามที่กล่าวมาแล้ว ก็จะได้ระนาบของกระจกเลเซอร์ทั้งด้านหน้าและด้านหลังที่ขนานกัน และแนวของแสงจากฮีเลียม-นีออนเลเซอร์ในขณะนี้คือแนวแกนแสงของระบบเลเซอร์ที่สร้างขึ้น

4.2 ขั้นตอนการทำงานของระบบนีโอไดมียมแฮกเลเซอร์

ขั้นตอนการทำงานของระบบนีโอไดมียมแฮกเลเซอร์คือ ต้องมีการปรับระนาบของกระจกเลเซอร์ให้ตั้งฉากอยู่ในแนวแกนแสง ต่อมาก็ทำการติระบบระบายความร้อนกับหัวเลเซอร์ เพื่อให้ระบายความร้อนของแท่งผลึกนีโอไดมียมแฮก หลอดแฟลชและควาวิตี้ ทำการติดตั้งแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่หลอดแฟลชเพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่หลอดแฟลช และปรับแต่งกระจกเพียงเล็กน้อยเพื่อให้ได้กำลังของเลเซอร์ออกมาสูงสุด โดยดูจากเลเซอร์ที่ออกมา ให้ยิงบนกระดาษพิเศษที่เอาไว้สำหรับวัดนีโอไดมียมแฮกเลเซอร์ โดยมีการติดตั้งระบบนีโอไดมียมแฮกเลเซอร์ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงระบบนีโอไดมียมแฮกเลเซอร์

4.3 ศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความต่างศักย์ที่จ่ายให้แก่หลอดแฟลช กับความเข้มแสงของหลอดแฟลชที่วัดได้จากหัววัดโฟโตไดโอด

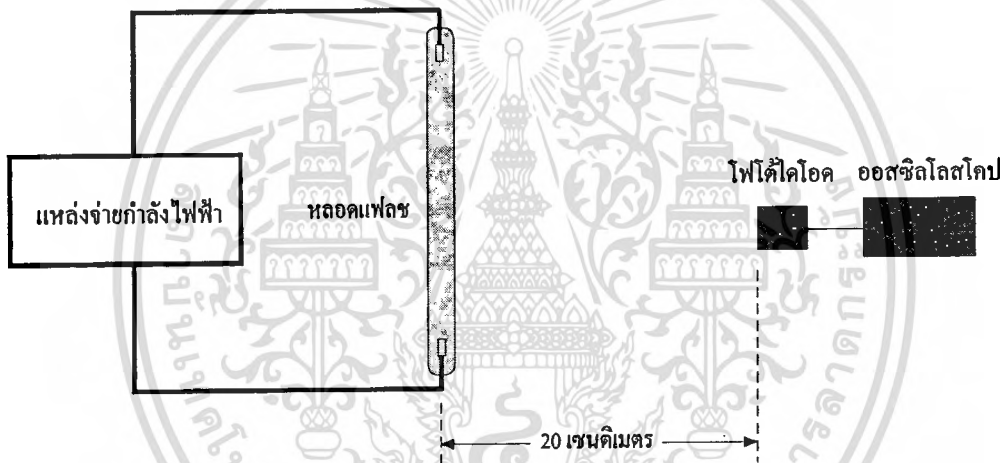
ในการหาความสัมพันธ์ของค่าความต่างศักย์ที่จ่ายให้แก่หลอดแฟลชกับความเข้มแสงของหลอดแฟลช จะมีขั้นตอนในการทดลองคือ ทำการเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ที่จ่ายให้แก่หลอดแฟลชตั้งแต่ 300 โวลต์ ไปจนถึง 1,100 โวลต์ โดยเพิ่มทุก ๆ 100 โวลต์และเก็บผล ข้อมูลที่ได้คือ ความเข้มแสงของหลอดแฟลชที่วัดมาจากหัววัดโฟโตไดโอดกับค่าความต่างศักย์ที่จ่ายให้แก่หลอดแฟลช (V) และค่าช่วงเวลาในการเกิดแสงแฟลช (ไมโครวินาที) ทำการเปลี่ยนหลอดแฟลชทั้งหมด 6 หลอด โดย

หลอดแฟลชที่ 1 และ 2 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 5 มิลลิเมตร

หลอดแฟลชที่ 3 และ 4 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 6 มิลลิเมตร

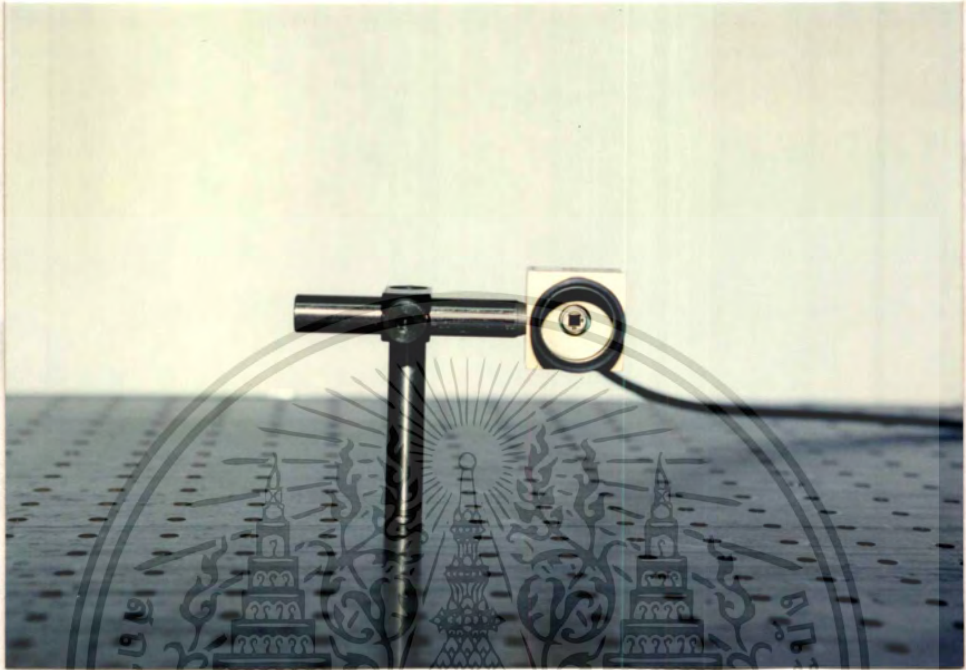
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญต์เห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดแฟลชที่ 5 และ 6 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 7 มิลลิเมตร และนำค่าที่ได้มาแสดงผลออกมาเป็นกราฟ เพื่อหาความสัมพันธ์โดยการเก็บผลจะเก็บผลแบบวัดความกว้างของรูปคลื่นที่ครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุด (Full Width at Half Maximum) (FWHM) ซึ่งหลักในการวัดแบบนี้คือ เมื่อทำการวัดค่าสัญญาณที่ได้โดยผ่านโฟโต้ไดโอด และแสดงผลออกมาทางออสซิลโลสโคป นำสัญญาณที่ได้มาคำนวณโดยเทียบความสูงของกราฟสูงสุดเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ทำการเลือกความสูงที่ 50 เปอร์เซ็นต์ และลากเส้นในแนวนอน โดยเส้นในแนวนอนนี้จะไปลากตัดกราฟที่ 2 จุดจากจุดตัดทั้งสองลากลงมายังแกนนอน ค่าความแตกต่างของค่าในแนวแกนนอน คือ ค่า Full Width at Half Maximum



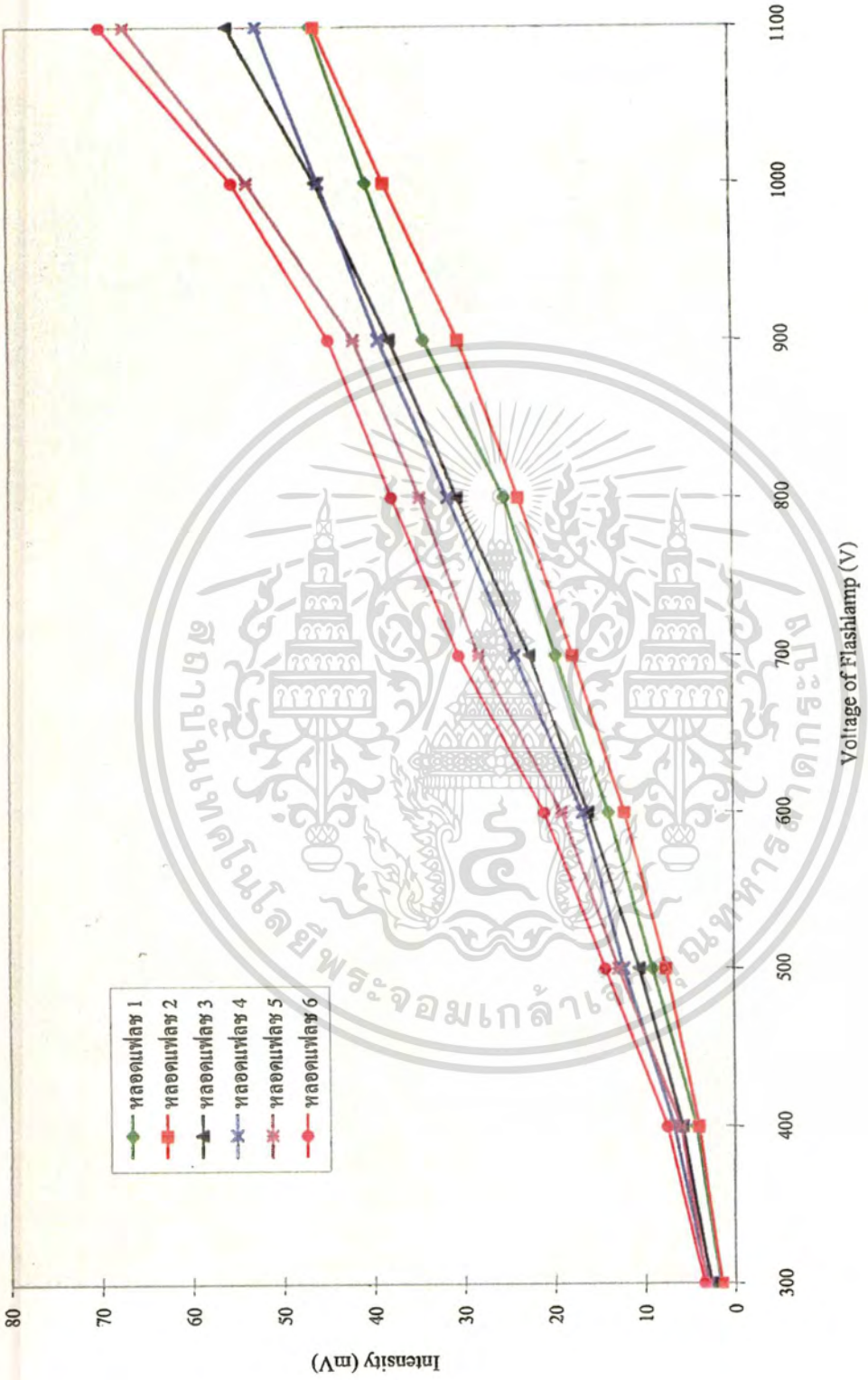
รูปที่ 4.3 แสดงไดอะแกรมของการวางอุปกรณ์ในการหาความสัมพันธ์ของความต่างศักย์กับความเข้มของหลอดแฟลช

รูปที่ 4.3 แสดงการวางอุปกรณ์ในการวัดความเข้มแสงจากหลอดแฟลช โดยใช้โฟโต้ไดโอด โฟโต้ไดโอดที่ใช้คือ รุ่น DET 1 ของบริษัท THORLABS INC. โดยมี rise time เท่ากับ 10 นาโนวินาที (โดยมีคุณลักษณะของหัววัดโฟโต้ไดโอดเพิ่มเติมในภาคผนวก ข) แสดงผลด้วยออสซิลโลสโคป ขนาด 500 MHz รุ่น HP 54111D และมีออปแอมป์สำหรับลดความเข้มของแสง เพื่อที่จะลดการอิ่มตัวของโฟโต้ไดโอด ในรูปที่ 4.4 จะแสดงหัววัดโฟโต้ไดโอดที่ใช้ในงานวิจัยนี้



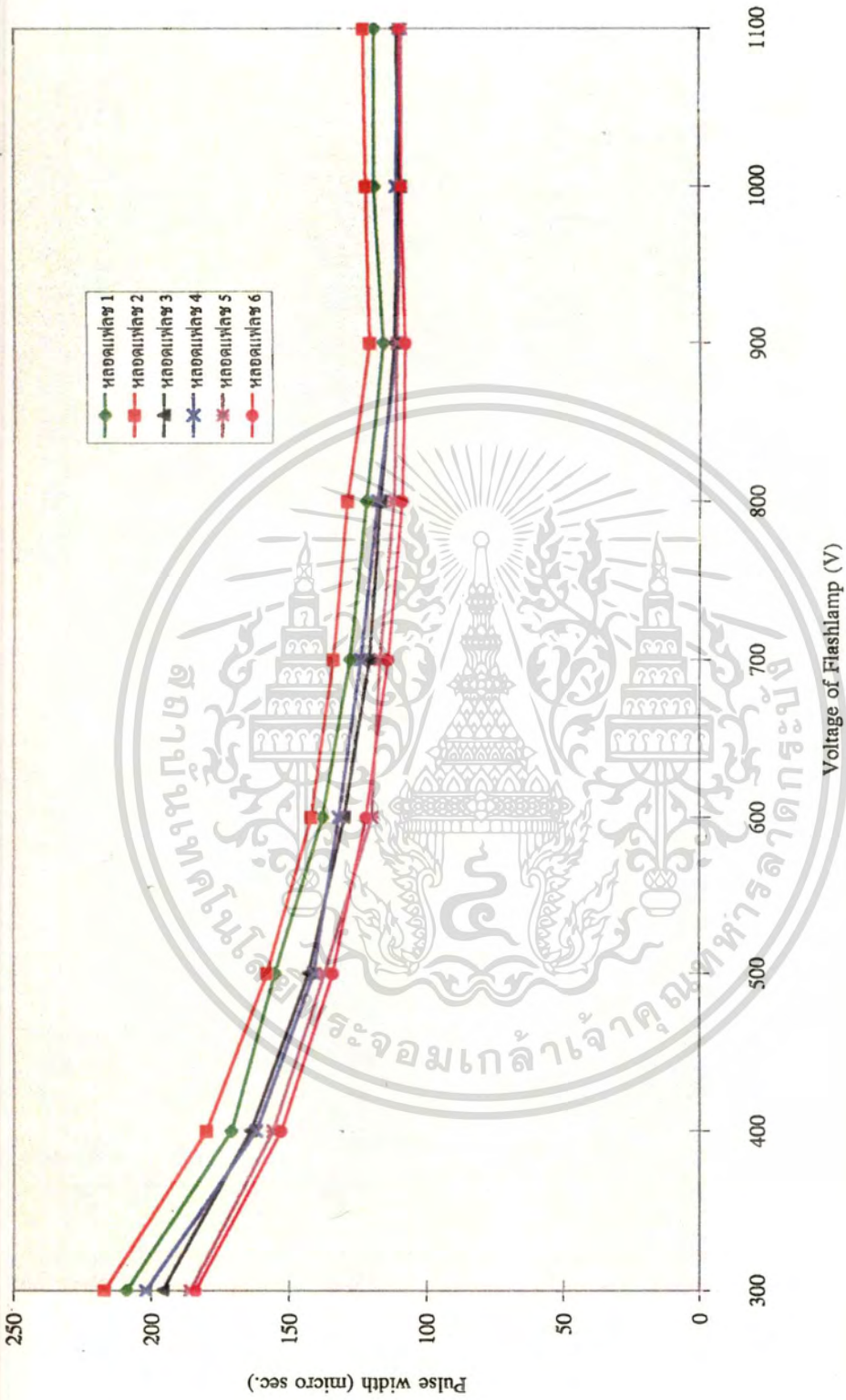
รูปที่ 4.4 แสดงหัววัดโฟโตไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



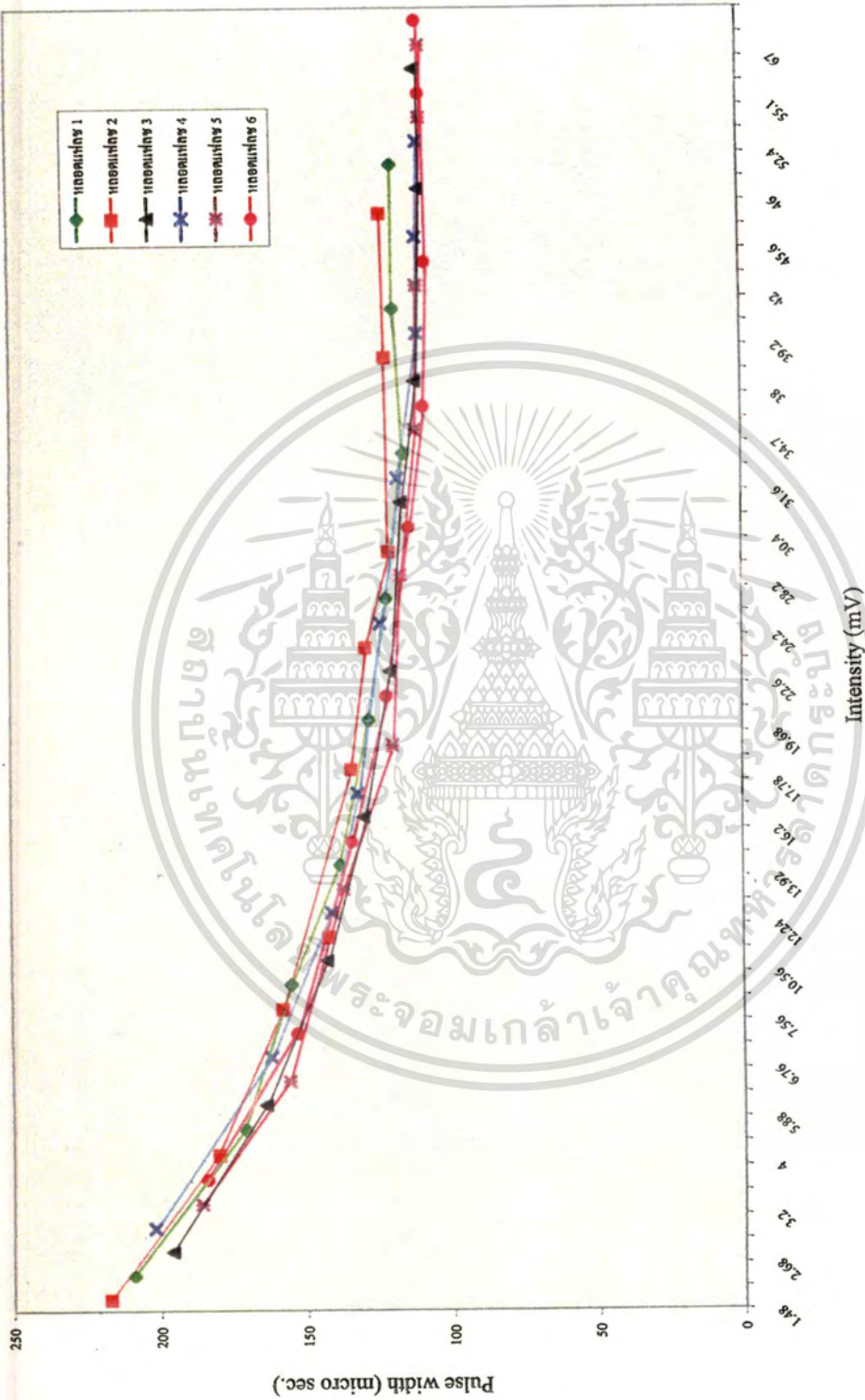
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ของหลอดแฟลชกับความเข้มแสงของหลอดแฟลช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



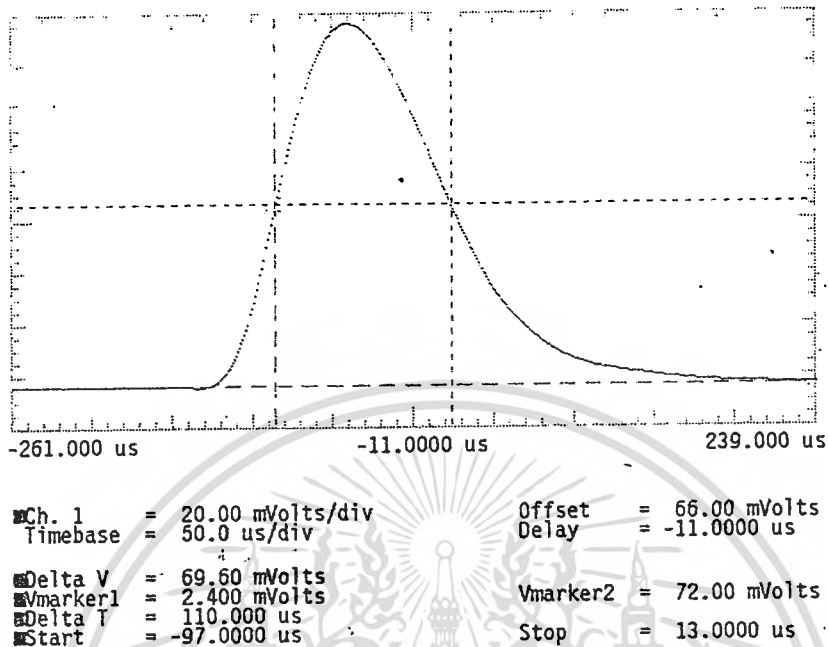
รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ของหลอดแฟลชกับช่วงเวลาในการเกิดแสงแฟลช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงของหลอดแฟลชกับช่วงเวลาในการเกิดแสงแฟลช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



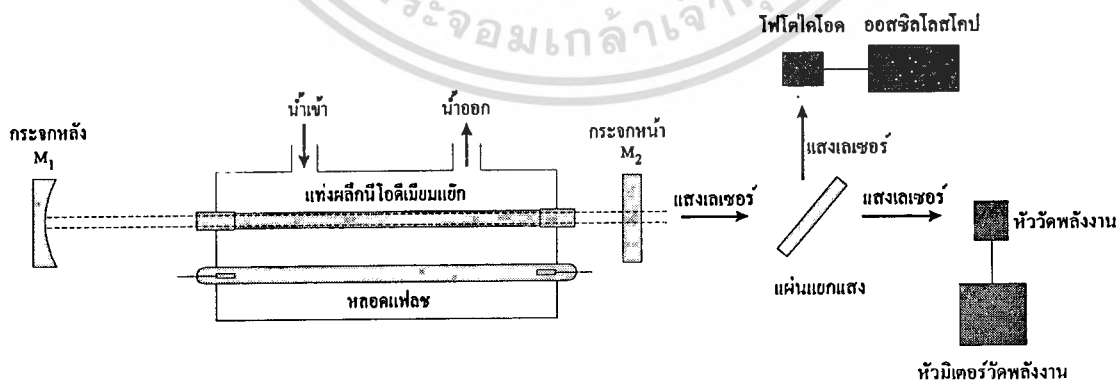
รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณที่ได้จากการวัดความเข้มแสงของหลอดแฟลชที่ 6 กับช่วงเวลาของสัญญาณที่ความต่างศักย์ 1100 โวลต์

จากการทดลองในหัวข้อ 4.3 ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ที่จ่ายให้กับหลอดแฟลช, ความเข้มแสงของหลอดแฟลชที่ออกมาและช่วงเวลาของสัญญาณแสง ซึ่งจากรูปที่ 4.5 ได้ทำการวัดค่าความเข้มแสงของหลอดแฟลชจำนวน 6 หลอด ที่ได้จากหัววัดโฟโตไดโอด และทำการเพิ่มค่าความต่างศักย์ที่จ่ายให้แก่หลอดแฟลชจาก 300 โวลต์ ไปจนถึง 1100 โวลต์ ผลที่ได้คือ เมื่อทำการเพิ่มค่าความต่างศักย์ ค่าความเข้มแสงของหลอดแฟลชที่ออกมาจะมีค่ามากขึ้น จากรูปที่ 4.6 ได้ทำการวัดค่าช่วงเวลาของสัญญาณแสงที่หลอดแฟลชจ่ายออกมากับค่าความต่างศักย์ที่จ่ายให้แก่หลอดแฟลช พบว่าเมื่อเพิ่มค่าความต่างศักย์ ค่าช่วงเวลาของสัญญาณจะมีค่าลดลง รูปที่ 4.7 แสดงค่าช่วงเวลาของสัญญาณแสงกับค่าความเข้มแสงที่ออกมาของหลอดแฟลช ความสัมพันธ์ที่ได้ออกมาทำให้ทราบว่า เมื่อค่าช่วงเวลาของสัญญาณแสงมีค่ามากความเข้มแสงก็จะมีค่าลดลง รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณที่ได้จากการวัดความเข้มแสงของหลอดแฟลชที่ 6 กับช่วงเวลาของความเข้มแสง จากผลการทดลองทำให้ทราบว่าหลอดแฟลชที่ 6 มีความเหมาะสม เนื่องจากให้ค่าความเข้มแสงออกมามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับหลอดอื่น ส่วนค่าช่วงเวลาในการเกิดแสงเลเซอร์จะมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้เลือกหลอดแฟลชขนาด 7 มิลลิเมตร มาทำการทดลองเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจก เทียบกับพลังงานของเลเซอร์ต่อไป

4.4 ศึกษาความสัมพันธ์ค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกหน้ากับพลังงานที่ออกมาของเลเซอร์

ในการศึกษาหาความสัมพันธ์ค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกหน้า กับพลังงานที่ออกมาของเลเซอร์จะมีขั้นตอนในการทดลองคือ ทำการเปลี่ยนกระจกหน้าของเลเซอร์ให้มีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนที่แตกต่างกันคือที่ 40, 50, 60 และ 70 เปอร์เซ็นต์ โดยในการเปลี่ยนกระจกแต่ละครั้งจะต้องมีการปรับระบบของกระจกทุกครั้ง การเก็บผลจะมีการเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ตั้งแต่เลเซอร์ออกจนถึง 1,100 โวลต์ และความจุของตัวเก็บประจุขนาด 100 ไมโครฟารัด อัตราการไหลของระบบน้ำระบายความร้อนเท่ากับ 14 ลิตรต่อนาที โดยใช้หลอดแฟลชหลอดที่ 6 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร จากการทดลองในหัวข้อ 4.3 นำค่าที่ได้มาแสดงผลเป็นกราฟ เพื่อหาความสัมพันธ์ในการหาเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกหน้าที่เหมาะสม เพื่อจะนำมาใช้งานในการเก็บผล จะเก็บแบบวัดความกว้างของรูปคลื่นที่ครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุด (FWHM)

หลังจากที่ทำการวัดค่าในแต่ละกระจก แล้วทำการวัดโมดและบีมไดเวอร์เจนท์ของแต่ละกระจกที่ 1100 โวลต์ โดยใช้เครื่องวัด Beam View Analyzer plus ของบริษัท Big Sky Laser Technologies, Inc. โดยนำมาวัดแสงเลเซอร์โดยตรงเครื่องวัดนี้สามารถวัดโมดและบีมไดเวอร์เจนท์ได้โดยแสดงค่าออกมาเป็นตัวเลข และทำการเก็บค่ากระแสที่จ่ายให้แก่หลอดแฟลชที่ค่าความต่างศักย์ 1100 โวลต์ โดยใช้ความต้านทานต่ออนุกรมกับวงจรโดยใช้ค่า 0.001 โอห์มและเอาออสซิลโลสโคป มาวัดรูปคลื่นและรูปคลื่นที่ได้จะเป็นค่าความต่างศักย์ นำค่าความต่างศักย์ที่ได้มาเทียบเพื่อหาค่ากระแส

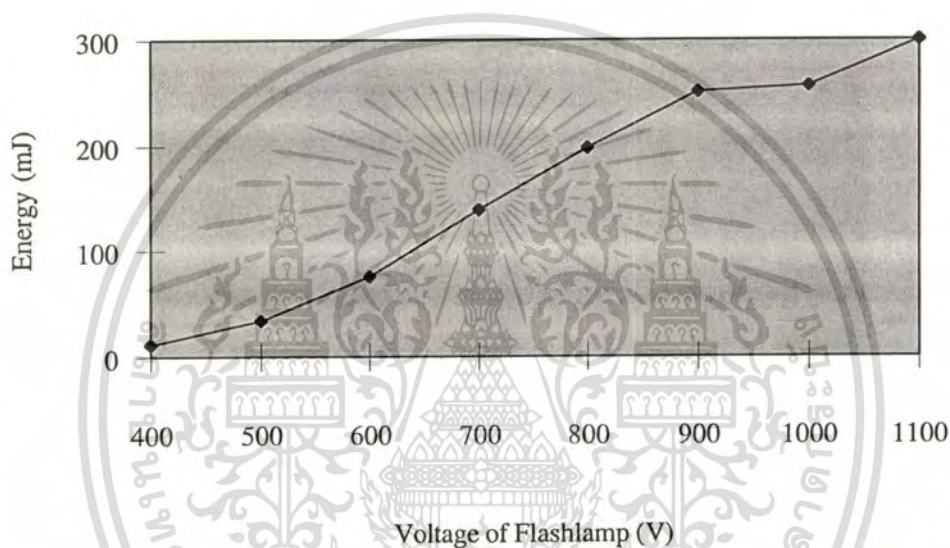


รูปที่ 4.9 แสดงรูปแบบการจัดวางเครื่องมือในการวัดค่าพลังงานและเวลาของเลเซอร์ ในการ

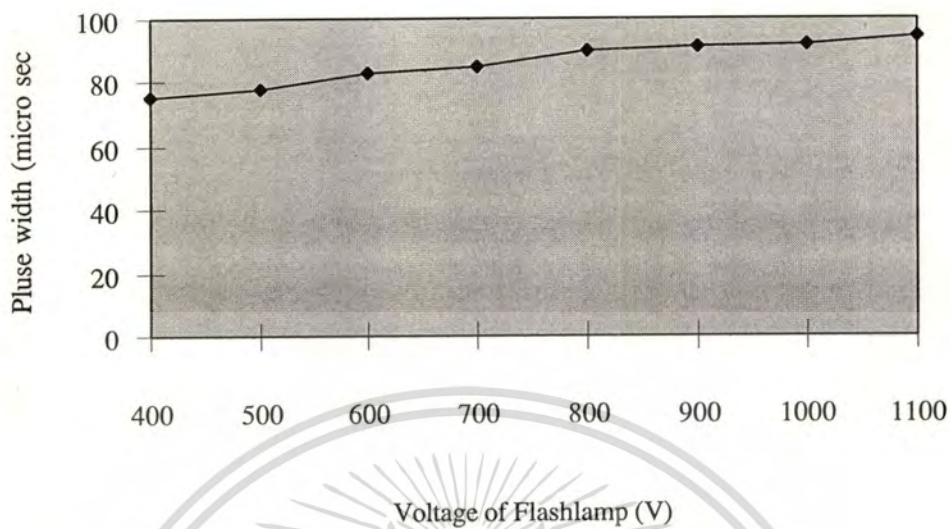
ทดลองหาค่าความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์สะท้อนของกระจกหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

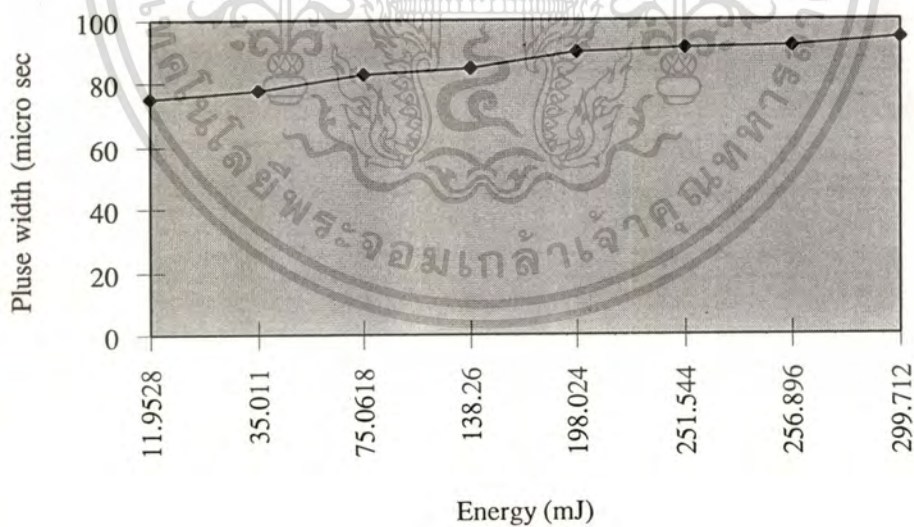
จากรูปที่ 4.9 จะเป็นการวางอุปกรณ์เพื่อทำการวัดค่าพลังงานของเลเซอร์กับช่วงเวลาในการเกิดเลเซอร์ ในการทดลองได้ทำการเปลี่ยนกระจกหน้า (M_2) และเมื่อแสงเลเซอร์ออกมาจากกระจกหน้าก็จะผ่านแผ่นแยกแสงเพื่อแยกแสงออกเป็น 2 ส่วน โดยแสงส่วนมากจะผ่านไปยังหัววัดพลังงาน แต่แสงอีกประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ จะส่งผ่านไปยังโฟโตไดโอด เพื่อทำการวัดค่าช่วงเวลาการเกิดเลเซอร์



รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ของหลอดแฟลชกับพลังงานของเลเซอร์ ที่การสะท้อนของกระจก 40 เปอร์เซ็นต์

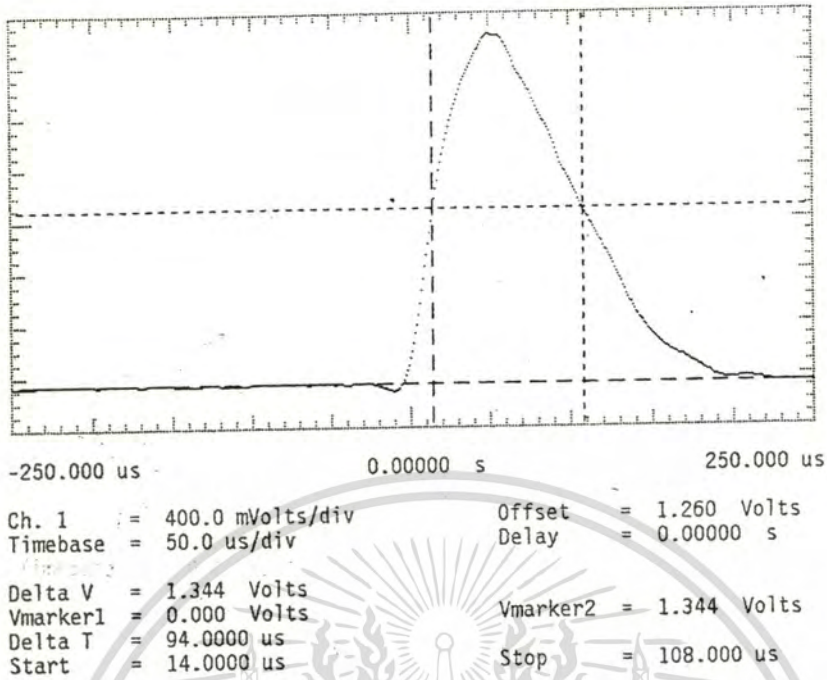


รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่จ่ายให้กับหลอดแฟลชกับช่วงเวลาในการเกิดเลเซอร์ที่การสะท้อนของกระจก 40 เปอร์เซ็นต์

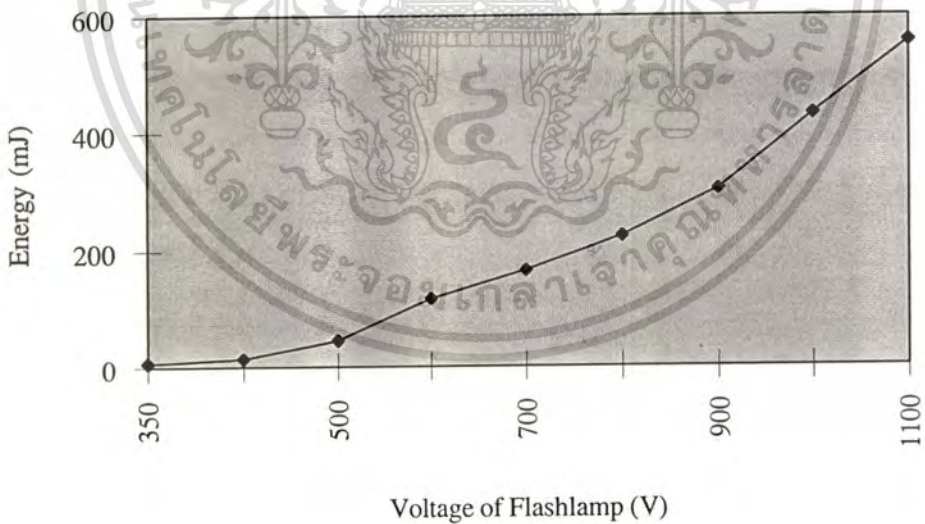


รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของเลเซอร์กับช่วงเวลาในการเกิดเลเซอร์ที่การสะท้อนของกระจก 40 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

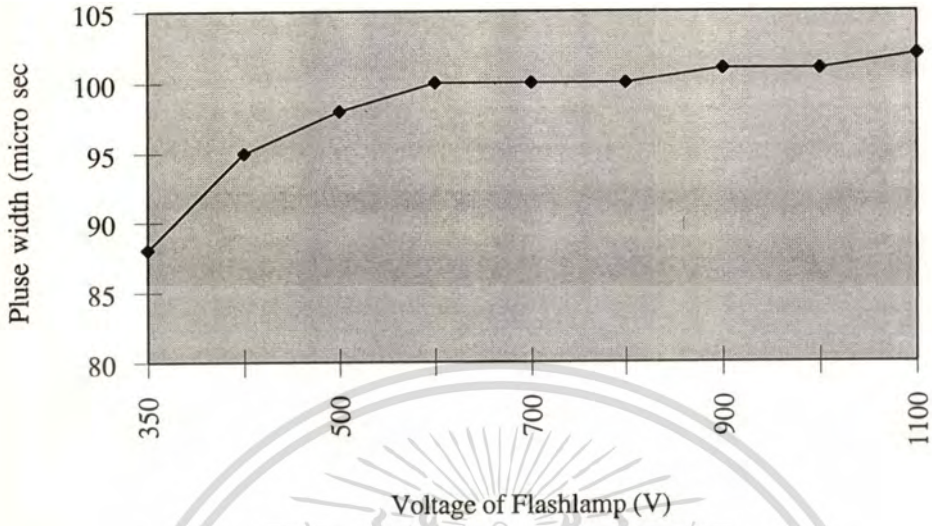


รูปที่ 4.13 แสดงสัญญาณที่ได้จากการวัดช่วงเวลาของเลเซอร์ที่การสะท้อนของกระจก 40 เปรอร์เซ็นต์และความต่างศักย์ 1100 โวลต์

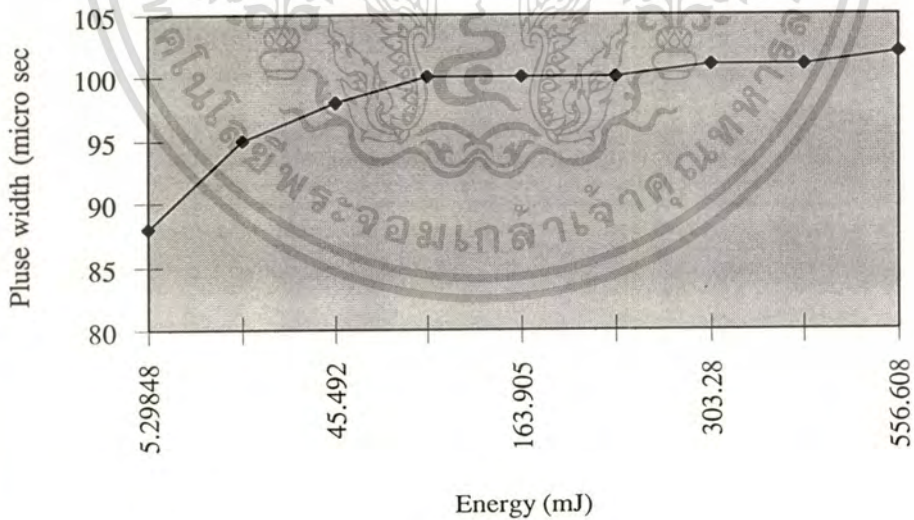


รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ของหลอดแฟลชกับพลังงานของเลเซอร์ ที่การสะท้อนของกระจก 50 เปรอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

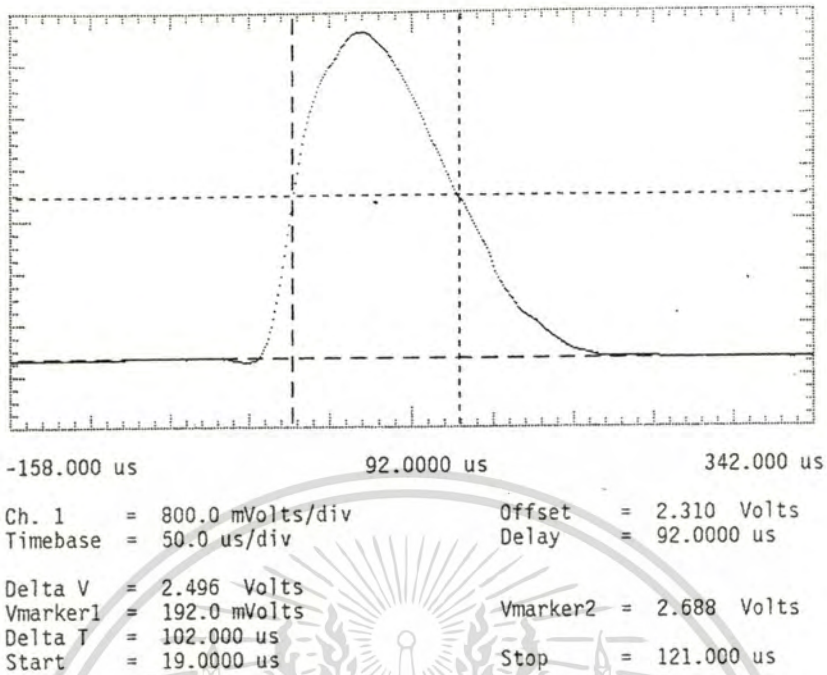


รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่จ่ายให้กับหลอดแฟลชกับช่วงเวลาในการเกิดเลเซอร์ ที่การสะท้อนของกระจก 50 เปอร์เซ็นต์

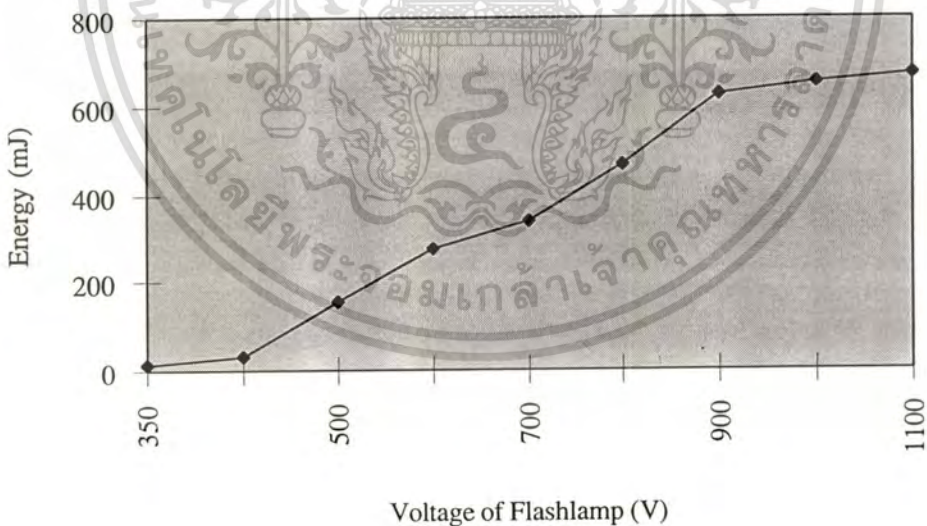


รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของเลเซอร์กับช่วงเวลาในการเกิดเลเซอร์ที่การสะท้อนของกระจก 50 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

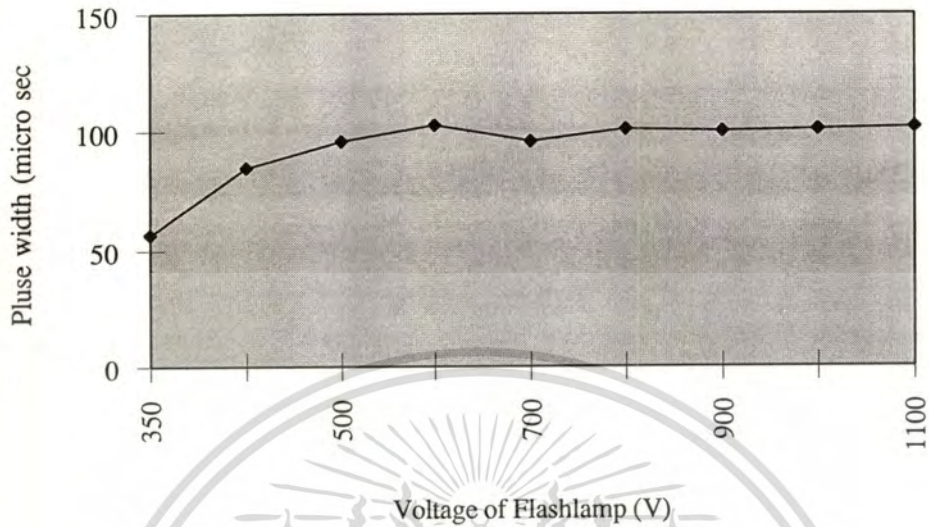


รูปที่ 4.17 แสดงสัญญาณที่ได้จากการวัดช่วงเวลาของเลเซอร์ที่การสะท้อนของกระจก 50 เปอร์เซ็นต์และความต่างศักย์ 1100 โวลต์

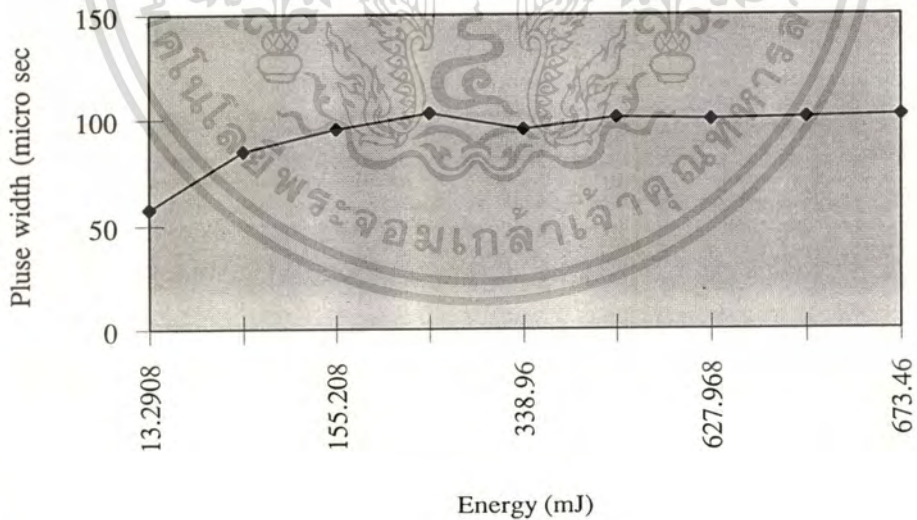


รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ของหลอดแฟลชกับพลังงานของเลเซอร์ที่การสะท้อนของกระจก 60 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

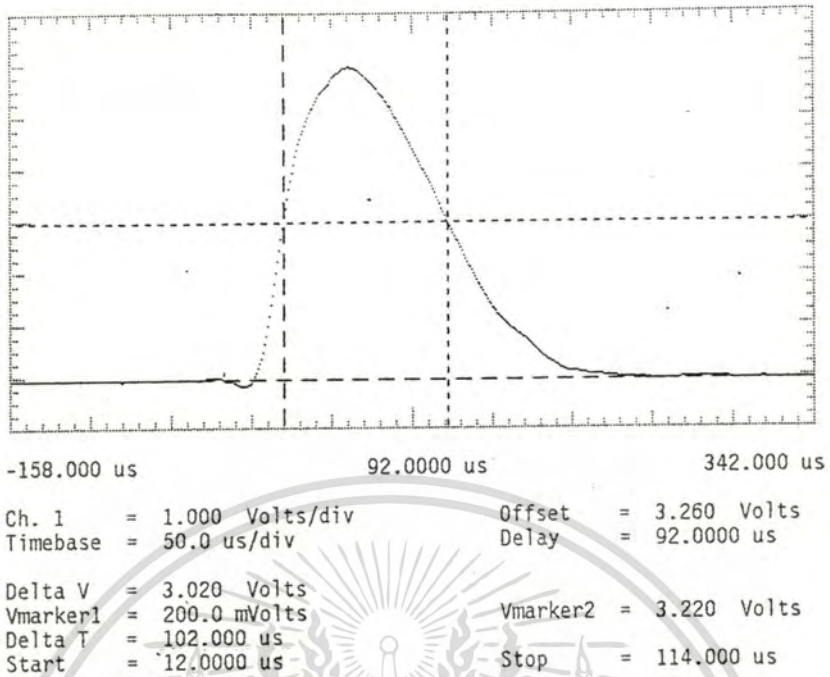


รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่จ่ายให้กับหลอดแฟลชกับช่วงเวลาในการเกิดเลเซอร์ที่การสะท้อนของกระจก 60 เปอร์เซ็นต์

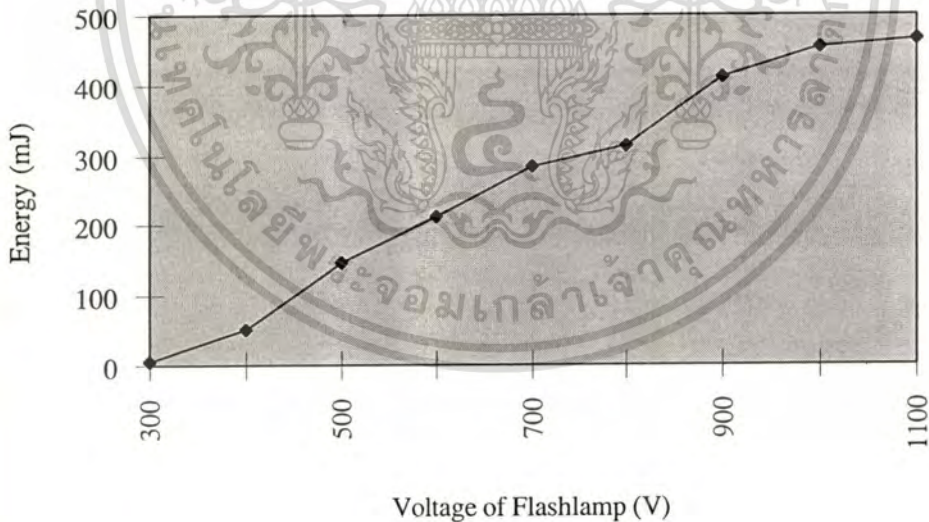


รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของเลเซอร์กับช่วงเวลาในการเกิดเลเซอร์ที่การสะท้อนของกระจก 60 เปอร์เซ็นต์

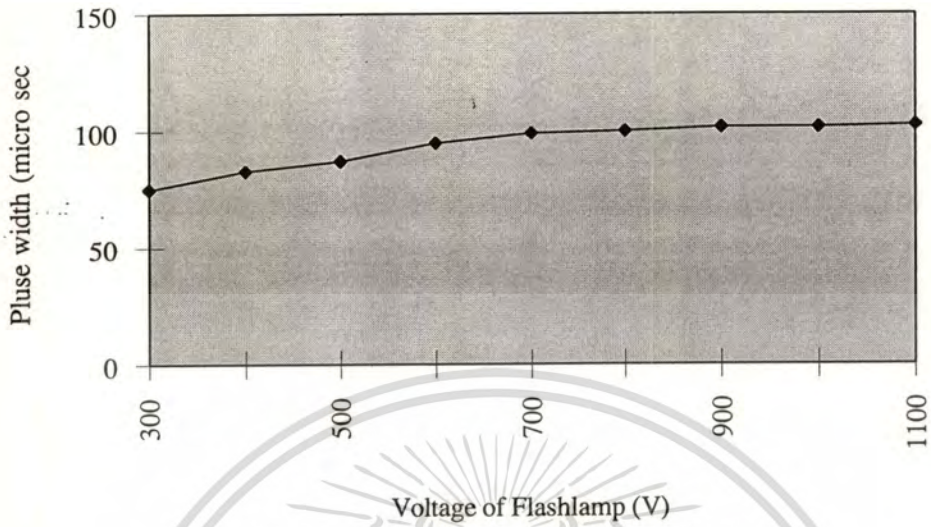
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



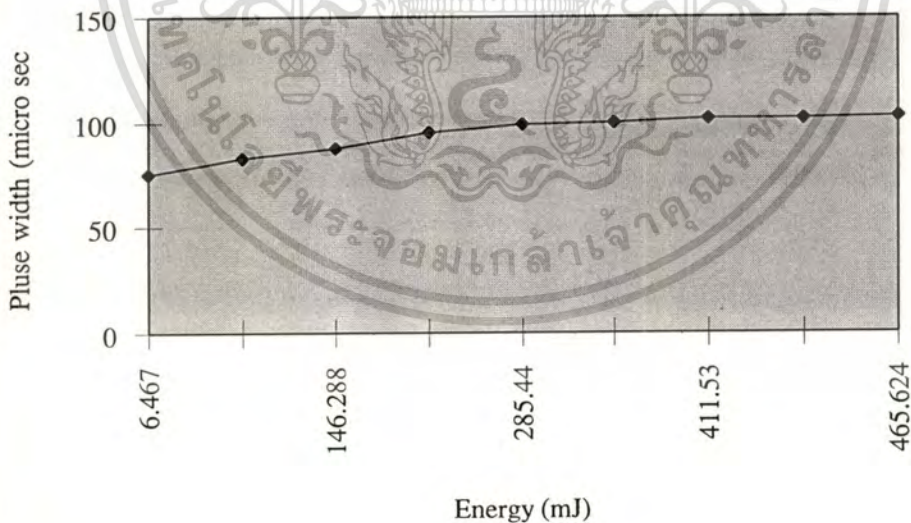
รูปที่ 4.21 แสดงสัญญาณที่ได้จากการวัดช่วงเวลาของเลเซอร์ที่การสะท้อนของกระจก 60 เฟอร์เซ็นต์และความต่างศักย์ 1100 โวลต์



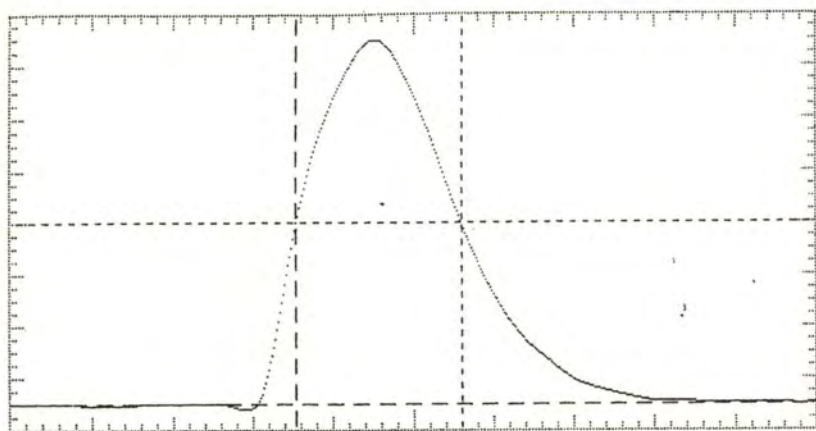
รูปที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ของหลอดแฟลชกับพลังงานของเลเซอร์ ที่การสะท้อนของกระจก 70 เฟอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่จ่ายให้กับหลอดแฟลชกับช่วงเวลาในการเกิดเลเซอร์ที่การสะท้อนของกระจก 70 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของเลเซอร์กับช่วงเวลาในการเกิดเลเซอร์ที่การสะท้อนของกระจก 70 เปอร์เซ็นต์

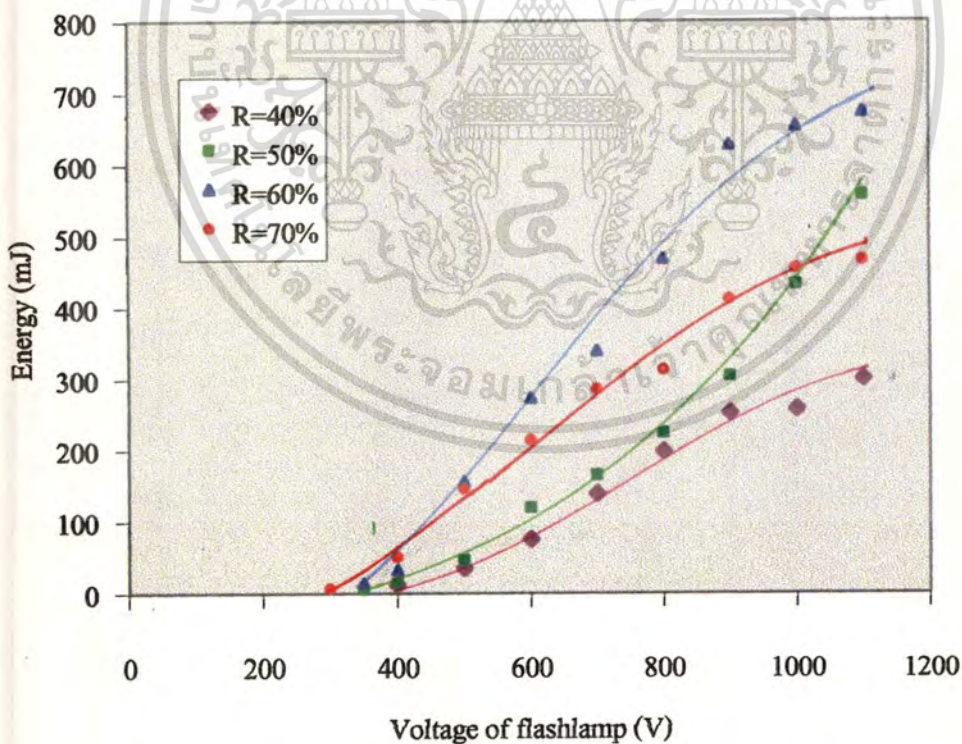


-158.000 us 92.0000 us 342.000 us

Ch. 1 = 600.0 mVolts/div Offset = 2.240 Volts
 Timebase = 50.0 us/div Delay = 92.0000 us

Delta V = 2.088 Volts Vmarker2 = 2.232 Volts
 Vmarker1 = 144.0 mVolts
 Delta T = 103.000 us Stop = 122.000 us
 Start = 19.0000 us

รูปที่ 4.25 แสดงสัญญาณที่ได้จากการวัดช่วงเวลาของเลเซอร์ที่การสะท้อนของกระจก 70 เปอร์เซ็นต์และความต่างศักย์ 1100 โวลต์



รูปที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่จ่ายให้กับหลอดแฟลชกับค่าพลังงานของเลเซอร์ที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกค่าต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Eff Area (mm ²)	=	1.220
Divergent	=	2.767
Mode	=	Single

รูปที่ 4.27 แสดงค่าโหมดและบีมไดเวอร์เจนท์ของเลเซอร์ที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อน
กระจก 40 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Eff Area (mm ²)	=	1.290
Divergent	=	2.716
Mode	=	Single

รูปที่ 4.28 แสดงค่าโหมดและบีมไดเวอร์เจนท์ของเลเซอร์ที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อน
กระจก 50 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Eff Area (mm ²)	=	1.423
Divergent	=	2.684
Mode	=	Single

รูปที่ 4.29 แสดงค่าโหมดและบีบโดเวอร์เจนท์ของเลเซอร์ที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อน
กระจก 60 เปอร์เซ็นต์

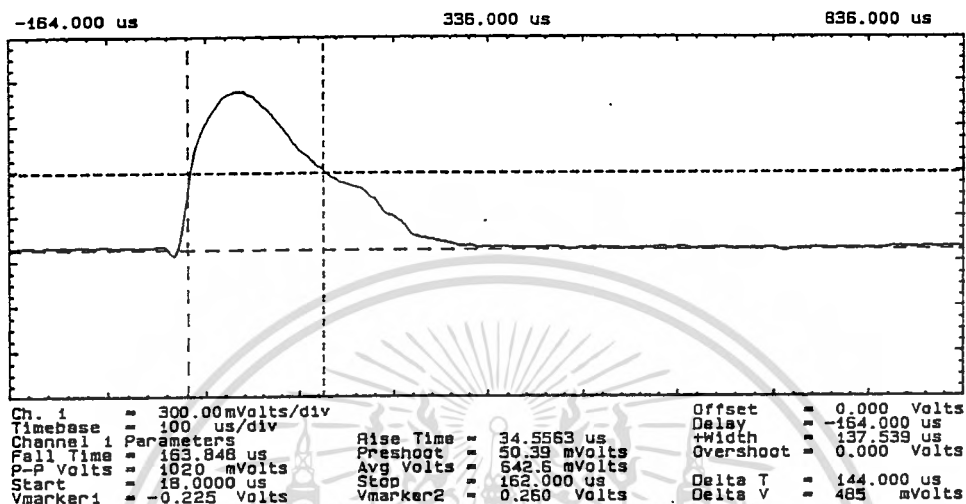
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Eff Area (mm ²)	=	1.270
Divergent	=	2.733
Mode	=	Single

รูปที่ 4.30 แสดงค่าโหมดและบีมไดเวอร์เจนซ์ของเลเซอร์ที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อน
กระจก 70 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 แสดงรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดแฟลช

จากการทดลองในหัวข้อ 4.4 ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ที่จ่ายให้กับหลอดแฟลช ค่าพลังงานของแสงเลเซอร์ ช่วงเวลาในการเกิดเลเซอร์ โมดของเลเซอร์และบีมไคเวอร์เจนท์ของเลเซอร์ ที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกหน้าที่ 40, 50, 60 และ 70 เปอร์เซนต์และมีอัตราการไหลของน้ำที่ 14 ลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส จากกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ที่จ่ายให้กับหลอดแฟลช กับค่าพลังงานของเลเซอร์ที่ออกมาพบว่ากระจกทั้ง 4 บาน จะมีแนวโน้มเหมือนกันคือเมื่อทำการเพิ่มค่าความต่างศักย์จ่ายให้แก่หลอดแฟลช ค่าพลังงานของเลเซอร์ที่ออกมาจะมีค่าเพิ่มขึ้น กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่จ่ายให้แก่หลอดแฟลช กับช่วงเวลาในการเกิดเลเซอร์พบว่าในตอนแรกค่าช่วงเวลาในการเกิดแสงเลเซอร์จะมีค่าต่ำกว่า 100 ไมโครวินาทีเล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มค่าความต่างศักย์ขึ้นจะมีค่าคงที่ประมาณ 100 ไมโครวินาที โดยค่าที่ได้จะแนวโน้มคล้ายกันในกระจกเลเซอร์ทั้ง 4 บาน กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของเลเซอร์ กับช่วงเวลาในการเกิดแสงเลเซอร์พบว่า ที่พลังงานของเลเซอร์ต่ำ ค่าช่วงเวลาในการเกิดแสงเลเซอร์จะมีค่าลดลงเล็กน้อย แต่เมื่อพลังงานเพิ่มขึ้น ค่าช่วงเวลาในการเกิดแสงเลเซอร์จะคงที่ประมาณ 100 ไมโครวินาที ส่วนในรูปกราฟที่แสดงสัญญาณในการเกิดช่วงเวลาของแสงเลเซอร์ที่ค่าความต่างศักย์ 1100 โวลต์ ที่การสะท้อนของเปอร์เซ็นต์กระจกค่าต่าง ๆ ในการแสดงช่วงเวลาของเลเซอร์โดยมีการวัดแบบ FWHM ส่วนในรูปเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการคัดค้านไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่จ่ายให้กับหลอดแฟลชกับค่าพลังงานของเลเซอร์ที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อนที่ 40, 50, 60 และ 70 เปอร์เซ็นต์ ที่การจ่ายความต่างศักย์กับหลอดแฟลชที่ 1100 โวลต์ เปอร์เซ็นต์การสะท้อน 60 เปอร์เซ็นต์ พบว่าจะให้ค่าพลังงานออกมามากที่สุด คือ ที่ 673.46 มิลลิจูล และที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อนที่ 50, 70 และ 40 เปอร์เซ็นต์จะมีค่าลดลงตามลำดับ

รูปที่ 4.27, 4.28, 4.29 และ 4.30 แสดงโมดและบีมไดเวอร์เจนท์ของเลเซอร์ที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อนที่ค่า 40, 50, 60 และ 70 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ พบว่า

- 1) ที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อนที่ 40 เปอร์เซ็นต์ โมดที่ออกมาเป็นแบบโมดเดี่ยว (Single mode) และมีค่าบีมไดเวอร์เจนท์ที่ 2.767 มิลลิเรเดียน
- 2) ที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อนที่ 50 เปอร์เซ็นต์ โมดที่ออกมาเป็นแบบโมดเดี่ยว (Single mode) และมีค่าบีมไดเวอร์เจนท์ที่ 2.716 มิลลิเรเดียน
- 3) ที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อนที่ 60 เปอร์เซ็นต์ โมดที่ออกมาเป็นแบบโมดเดี่ยว (Single mode) และมีค่าบีมไดเวอร์เจนท์ที่ 2.648 มิลลิเรเดียน
- 4) ที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อนที่ 70 เปอร์เซ็นต์ โมดที่ออกมาเป็นแบบโมดเดี่ยว (Single mode) และมีค่าบีมไดเวอร์เจนท์ที่ 2.733 มิลลิเรเดียน

จากผลการทดลองทำให้ทราบว่าที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกที่ 60, 50, 70 และ 40 เปอร์เซ็นต์ จะมีค่าบีมไดเวอร์เจนท์เพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งค่าบีมไดเวอร์เจนท์จะเป็นการแสดงค่าการสะท้อนออกของแสงเลเซอร์ ถ้าค่าบีมไดเวอร์เจนท์มีค่าน้อยก็จะทำให้เลเซอร์มีมุมบานออกน้อย แสงก็สามารถส่งไปได้ไกลขึ้น โดยลำแสงไม่บานออก

จากรูปที่ 4.31 แสดงการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดแฟลชมีค่าความต่างศักย์ 1100 โวลต์ โดยใช้ตัวต้านทาน 0.001 โอห์ม ต่อกันเพื่อหาค่ากระแส โดยค่ากระแสสูงสุดที่ได้มีค่าเท่ากับ 1020 แอมป์

ผลการทดลองเมื่อนำมาทำการหาประสิทธิภาพของเลเซอร์ที่ค่าความต่างศักย์ 1100 โวลต์ของกระจกต่างๆ พบว่า

- เปอร์เซ็นต์การสะท้อนที่ 40 เปอร์เซ็นต์มีประสิทธิภาพเท่ากับ 0.50 เปอร์เซ็นต์
- เปอร์เซ็นต์การสะท้อนที่ 50 เปอร์เซ็นต์มีประสิทธิภาพเท่ากับ 0.92 เปอร์เซ็นต์
- เปอร์เซ็นต์การสะท้อนที่ 60 เปอร์เซ็นต์มีประสิทธิภาพเท่ากับ 1.11 เปอร์เซ็นต์
- เปอร์เซ็นต์การสะท้อนที่ 70 เปอร์เซ็นต์มีประสิทธิภาพเท่ากับ 0.77 เปอร์เซ็นต์

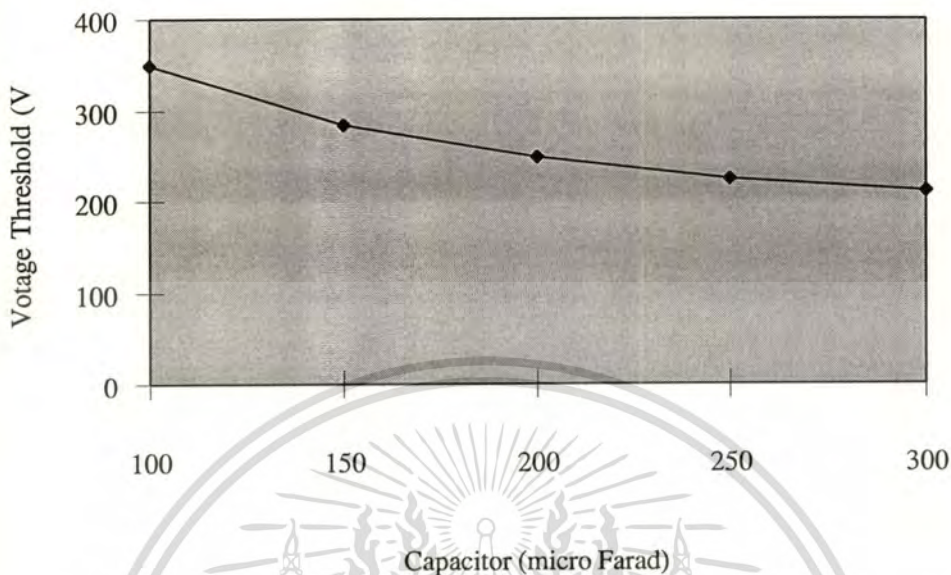
พบว่าที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อนที่ 60 เปอร์เซ็นต์ จะให้ประสิทธิภาพออกมามากที่สุดเมื่อเทียบกับกระจก 40, 50 และ 70 เปอร์เซ็นต์

4.5 ศึกษาความสัมพันธ์ในการเปลี่ยนแปลงค่าความจุของตัวเก็บประจุกับค่าความต่างศักย์ขีดเริ่มของเลเซอร์

ในการเปลี่ยนแปลงค่าความจุของตัวเก็บประจุกับค่าความต่างศักย์ขีดเริ่มของเลเซอร์ จะมีขั้นตอนในการทดลองคือ ทำการเปลี่ยนค่าความจุของตัวเก็บประจุให้มีขนาดต่าง ๆ กัน ซึ่งจากการทดลองในหัวข้อ 4.4 ได้ใช้ค่าตัวเก็บประจุที่ 100 ไมโครฟารัด แต่ในการทดลองนี้ได้เพิ่มค่าความจุของตัวเก็บประจุจากเดิม 100 ไมโครฟารัด เป็น 150, 200, 250 และ 300 ไมโครฟารัด ตามลำดับ โดยใช้หลอดแฟลช และใช้เปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกหน้า 60 เปอร์เซ็นต์ และศึกษาถึงค่าความต่างศักย์ที่ทำให้เลเซอร์เริ่มทำงาน เพื่อพิจารณาค่าความต่างศักย์ขีดเริ่ม (Voltage Threshold) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความจุของตัวเก็บประจุ และนำผลที่ได้มาแสดงเป็นตาราง ดังตารางที่ 4.1 และเป็นกราฟดังรูปที่ 4.32 ในการพิจารณาว่าเลเซอร์เริ่มออก ได้ใช้เครื่องวัด Beam View Analyser Plus ของบริษัท Big Sky Laser Technologies, Inc. ซึ่งเครื่องวัดเครื่องนี้จะแสดงค่าที่วัดได้ออกมาเป็นกราฟ แต่ถ้าแสงที่ออกมายังไม่เป็นแสงเลเซอร์ เครื่องวัดจะไม่แสดงค่าออกมา ในที่นี้แสดงว่าเลเซอร์ยังไม่เกิด ทำการเพิ่มค่าความต่างศักย์ที่จ่ายให้แก่หลอดแฟลชจาก 0 โวลต์ ไปจนกระทั่งเครื่องวัดสามารถวัดค่าได้

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุของตัวเก็บประจุ กับค่าความต่างศักย์ขีดเริ่ม

Capacitor ($\times 10^{-6}$ F)	Voltage Threshold (V)
100	350
150	285
200	250
250	225
300	212



รูปที่ 4.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุของตัวเก็บประจุกับค่าความต่างศักย์ขีดเริ่ม

จะเห็นได้ว่า ที่ค่าความจุของตัวเก็บประจุขนาด 300 ไมโครฟารัด จะให้ความต่างศักย์ขีดเริ่มของเลเซอร์ต่ำที่สุดคือ ที่ 220 โวลต์ และที่ค่าความจุของตัวเก็บประจุขนาดอื่น ๆ คือ ที่ 100, 150, 200 และ 250 ก็จะมีค่าลดลงตามลำดับ ดังนั้นเมื่อค่าความจุของตัวเก็บประจุเพิ่มขึ้นจะทำให้ความต่างศักย์ขีดเริ่มที่จ่ายให้กับหลอดแฟลชมีค่าลดลง

4.6 ศึกษาอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการระบายความร้อนในช่วง 21-29 องศาเซลเซียส กับพลังที่ออกมาของเลเซอร์

ทำการเปลี่ยนอุณหภูมิของน้ำตั้งแต่ 21 องศาเซลเซียส จนถึง 29 องศาเซลเซียส โดยเพิ่มครั้งละ 2 องศาเซลเซียส และอัดค่าพลังงานที่ออกมาของแสงเลเซอร์ว่ามีผลต่อพลังงานที่ออกมาของเลเซอร์หรือไม่ ในการวัดได้ใช้อุปกรณ์ในการทดลองเหมือนกันในหัวข้อ 4.4 โดยใช้หลอดแฟลชที่ 6 ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร จ่ายความต่างศักย์ให้กับหลอดแฟลชเท่ากับ 1100 โวลต์ กระจกมีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 14 ลิตรต่อนาที จากผลการทดลองที่ได้คือ

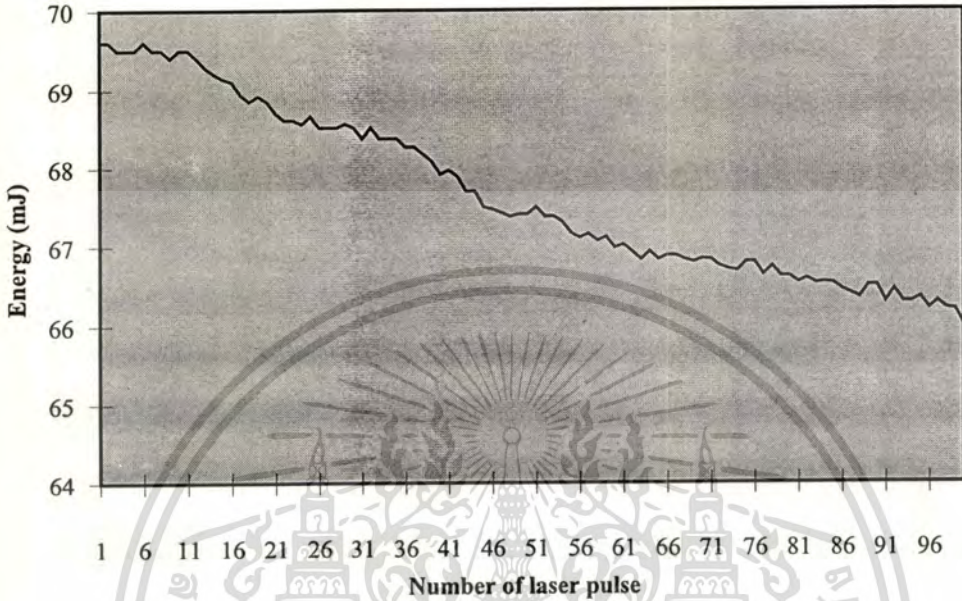
ตารางที่ 4.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำกับพลังงานที่ออกมาของเลเซอร์

อุณหภูมิของน้ำ (°C)	ค่าพลังงานของเลเซอร์ (mJ)
21	70.4
23	70.2
25	70.1
27	69.6
29	69.3

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิของน้ำที่นำมาระบายความร้อนในระบบของเลเซอร์ ในช่วงอุณหภูมิ 21 ถึง 29 องศาเซลเซียส จะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่ออกมาของเลเซอร์

4.7 เสถียรภาพของระบบเลเซอร์

การทดลองในหัวข้อนี้ เป็นการทดลองหาค่าของระบบเลเซอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยมีความถี่ในการยิงแสงเลเซอร์เท่ากับ 1 ครั้งต่อวินาที จำนวนทั้งสิ้น 100 ครั้ง และทำการเก็บค่าพลังงานของเลเซอร์ที่ออกมา จากผลการทดลองที่ได้นำมาแสดงผลเป็นกราฟ ในการทดลองนี้ ระบบระบายความร้อนจะมีค่าเท่ากับ 14 ลิตรต่ออนาที อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 27 องศาเซลเซียส ค่าความต่างศักย์ที่จ่ายให้กับหลอดแฟลชเท่ากับ 1100 โวลต์



รูปที่ 4.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งในการยิงของแสงเลเซอร์กับค่าพลังงานที่ออกมา

จากการทดลอง ทำการยิงแสงเลเซอร์จำนวนทั้งสิ้น 100 ครั้ง พบว่าเมื่อจำนวนครั้งในการยิงมากขึ้น ค่าพลังงานของเลเซอร์จะมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งในการทดลองได้ทำการหาผลต่างของพลังงานเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ได้เท่ากับ 5.17 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 5

สรุป

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองในบทที่ 4 จะเป็นการหาส่วนประกอบของระบบเลเซอร์ที่เหมาะสมกับระบบเลเซอร์ที่สร้าง โดยได้พิจารณาถึงหลอดแฟลช, ค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกและค่าความต่างศักย์ขีดเริ่มของเลเซอร์ในหัวข้อที่ 4.3 เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความต่างศักย์ที่จ่ายให้แก่หลอดแฟลชกับความเข้มแสงของหลอดแฟลชที่วัดได้จากโฟโอดีไดโอด เมื่อทำการเพิ่มค่าความต่างศักย์ที่จ่ายให้แก่หลอดแฟลชตั้งแต่ 300 โวลต์ไปจนถึง 1100 โวลต์ โดยเพิ่มครั้งละ 100 โวลต์ และหลอดแฟลชที่ใช้จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดแฟลช 5, 6 และ 7 มิลลิเมตร อย่างละ 2 หลอด ทำให้ได้ผลการทดลองคือ หลอดแฟลชที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดแฟลชมากจะทำให้ความเข้มของแสงที่ออกมาของหลอดแฟลชมีค่ามาก ในการทดลองคือ หลอดแฟลชที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร เนื่องจากหลอดแฟลชมีพื้นที่ภาคตัดขวางของหลอดมากจึงทำให้หลอดแฟลชมีปริมาณอะตอมของก๊าซมาก ทำให้มีค่าอิมพีแดนซ์ของหลอดต่ำ หลอดแฟลชนำกระแสได้มาก หมายถึงพลังงานที่ได้จากหลอดแฟลชมีค่ามากขึ้น ดังนั้นในระบบเลเซอร์ที่สร้างขึ้น จึงได้นำเอาหลอดแฟลชที่ 6 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 7 มิลลิเมตรมาใช้งาน เพื่อทำการวิจัยต่อในหัวข้อต่อไป

ในหัวข้อที่ 4.4 เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกหน้ากับพลังงานที่ออกมาของเลเซอร์ เมื่อทำการเพิ่มความต่างศักย์ของเลเซอร์ตั้งแต่เลเซอร์เริ่มทำงาน และเพิ่มครั้งละ 100 โวลต์ไปจนถึง 1100 โวลต์ ค่าความจุของตัวเก็บประจุเท่ากับ 100 ไมโครฟารัด ทำการเปลี่ยนกระจกที่มีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนที่ 40, 50, 60 และ 70 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองคือ ที่กระจกมีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนที่ 60 เปอร์เซ็นต์ จะให้พลังงานของเลเซอร์ออกมามากที่สุด เนื่องมาจากการเลือกเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกจะต้องพิจารณาถึงอัตราการขยายของระบบป้อนกลับทางแสงให้เหมาะสมต่อระบบ โดยทั่วไปจะได้มาจากการทดลองเปลี่ยนค่ากระจกเพื่อให้ได้พลังงานออกมาสูงที่สุด

ที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจก 40 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการสะท้อนน้อย ทำให้พลังงาน

ที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจก 50 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มของกราฟเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากมีความเหมาะสมกันในการดูดกลืนและคายพลังงาน

ที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจก 60 เปอร์เซ็นต์ มีค่าพลังงานที่ออกมามากที่สุดที่ค่าความต่างศักย์ 1100 โวลต์

ที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจก 70 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มของกราฟลดลงในช่วงที่ค่าความต่างศักย์มาก เนื่องจากมีการสะท้อนภายในระบบมาก เกิดความร้อนสะสมในระบบสูงขึ้น ทำให้อะตอมคายพลังงานไม่ทัน

เมื่อพิจารณาโหมดของเลเซอร์พบว่า ทุกกระจกโหมดของเลเซอร์เป็นแบบโหมดเดียว (Single mode) ซึ่งค่าโหมดของเลเซอร์จะแสดงถึงรูปแบบของการกระจายพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าภายในระบบเลเซอร์ ซึ่งแบบโหมดเดียวการกระจายพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเป็นระเบียบ จากการทดลองที่ได้เก็บผลบีมไดเวอร์เจนท์ ของเลเซอร์พบว่าที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจก 60 เปอร์เซ็นต์ จะมีค่าบีมไดเวอร์เจนท์น้อยที่สุด คือที่ 2.648 มิลลิเรเดียน ซึ่งค่าบีมไดเวอร์เจนท์ จะแสดงให้เห็นถึงการบานออกของลำแสง ถ้ามีค่าน้อยแสดงว่ามีการบานออกของลำแสงน้อย ประสิทธิภาพของระบบเลเซอร์ที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อน 60 เปอร์เซ็นต์ จะมีประสิทธิภาพสูงสุดคือที่ 1.1 เปอร์เซ็นต์

ในหัวข้อที่ 4.5 เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ในการเปลี่ยนแปลงค่าความจุของตัวเก็บประจุกับความต่างศักย์ขีดเริ่มของเลเซอร์ เมื่อทำการเปลี่ยนค่าความจุของตัวเก็บประจุเป็น 100, 150, 200, 250 และ 300 ไมโครฟารัด หลอดแฟลชที่ใช้จะเป็นหลอดที่ 6 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร กระจกที่ใช้มีค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อน 60 เปอร์เซ็นต์ หากค่าความต่างศักย์ขีดเริ่ม ทำให้ได้ผลการทดลองคือ ที่ค่าความจุของตัวเก็บประจุที่ 300 ไมโครฟารัดจะมีค่าความต่างศักย์ขีดเริ่มเท่ากับ 212 โวลต์ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าความจุของตัวเก็บประจุที่ 100 ไมโครฟารัด จะมีค่าความต่างศักย์ขีดเริ่มเท่ากับ 350 โวลต์ เนื่องจากเมื่อทำการเพิ่มค่าความจุของตัวเก็บประจุ จะทำให้ระบบมีพลังงานที่จะจ่ายให้แก่หลอดแฟลชมากขึ้น จากผลการทดลองพบว่า เมื่อทำการเพิ่มค่าความจุของตัวเก็บประจุ ค่าความต่างศักย์ขีดเริ่มจะมีค่าลดลง ซึ่งทั้งสองค่านี้แสดงถึงค่าพลังงานที่เลเซอร์เริ่มออก จากค่าตัวเก็บประจุทั้งหมดจำนวน 5 ค่า นำมาคำนวณค่าพลังงานของเลเซอร์ พบว่าค่าพลังงานที่จ่ายให้กับหลอดแฟลชที่ทำให้เลเซอร์เริ่มออกมีค่าประมาณ 6 จูล ซึ่งหมายความว่าเวลาที่เลเซอร์เริ่มออกจำเป็นต้องมีค่าพลังงานขีดเริ่มค่าหนึ่งที่ทำให้เลเซอร์สามารถที่จะออกได้ แต่ถ้าต่ำกว่าค่านี้เลเซอร์ก็ไม่สามารถออกได้

ในการทดลองที่ 4.6 แสดงอุณหภูมิของน้ำที่ระบายความร้อนระบบเลเซอร์ในช่วง 21 ถึง 29 องศาเซลเซียส กับพลังงานที่ออกมาของแสงเลเซอร์ จากผลการทดลองพบว่าในช่วงอุณหภูมิ 21 ถึง 29 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่พลังงานที่ระบายความร้อนเพื่อการศึกษานี้ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะเห็นว่าการคำนวณว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

29 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 14 ลิตรต่อนาที ค่าพลังงานที่ออกมาของแสงเลเซอร์จะมีค่าใกล้เคียงกันมาก และที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส จะให้ค่าพลังงานออกมามากที่สุด เนื่องมาจากจำนวนอะตอมที่อยู่ในสถานะถูกกระตุ้นสามารถที่จะคายพลังงานออกมาได้มากกว่า เพราะอุณหภูมิของน้ำที่มีระบายความร้อนตรงแท่งผลึกมีอุณหภูมิต่ำ ดังนั้น อะตอมจึงสามารถกลับมาสู่สภาวะพื้นได้มากขึ้น เมื่อเทียบกับอุณหภูมิของน้ำที่มีระบายความร้อนที่อุณหภูมิสูง

ในการทดลองที่ 4.7 แสดงเสถียรภาพของระบบเลเซอร์ ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการยิงแสงเลเซอร์ติดต่อกันที่ 1 ครั้งต่อวินาที เป็นจำนวน 100 ครั้ง พบว่า เมื่อจำนวนครั้งที่มาก ๆ จะทำให้ค่าพลังงานของแสงเลเซอร์ที่ออกมาลดลง เนื่องมาจากการระบายความร้อนของแท่งผลึกไม่ทัน จึงทำให้พลังงานของแสงเลเซอร์ลดลง เพราะจำนวนอะตอมที่อยู่ในสถานะถูกกระตุ้นคายพลังงานมาอยู่ในสภาวะพื้นได้น้อย

จากผลการทดสอบการทำงานของระบบนีโอไดเมียมแยกที่สร้างขึ้น แสดงให้เห็นว่ามีศักยภาพในระดับหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตาม แนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบนีโอไดเมียมแยกเลเซอร์คือ โดยการเพิ่มอัตราการจ่ายพลังงานของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เพิ่มค่าความจุของตัวเก็บประจุและใช้เปอร์เซ็นต์กระจกที่เหมาะสม ที่จะทำให้กำลังของเลเซอร์ออกมาสูง ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกใช้เปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกหน้าแบบเรียบที่ 60 เปอร์เซ็นต์ และกระจกหลังเป็นแบบโค้งที่มีรัศมีความโค้ง 2 เมตร และมีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกเท่ากับ 99.5 เปอร์เซ็นต์ หลอดแฟลชมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเท่ากับ 7 มิลลิเมตร ความยาวของระยะอาร์กประมาณ 101 มิลลิเมตร อัตราการไหลของน้ำในระบบระบายความร้อนเท่ากับ 14 ลิตรต่อนาที เลเซอร์ที่ได้ให้กำลังสูงสุดถึง 6.6 กิโลวัตต์ ที่พลังงานเท่ากับ 673.5 มิลลิจูล และมีประสิทธิภาพของระบบเลเซอร์เมื่อเทียบกับพลังงานที่จ่ายให้กับระบบมีค่าเท่ากับ 1.1 เปอร์เซ็นต์

5.2 แนวทางการประยุกต์ใช้งาน

สำหรับแนวทางการประยุกต์ใช้งาน ของนีโอไดเมียมแยกเลเซอร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานแต่ละด้านได้ ดังต่อไปนี้

5.2.1 ด้านอุตสาหกรรม สามารถที่จะใช้ในขบวนการตัด เจาะ เชื่อม โลหะและวัสดุต่างๆสามารถกระทำได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ โดยการใส่ระบบเลเซอร์กำลังสูง (high power lasers) ร่วมกับคอมพิวเตอร์ที่ทำงานในระบบที่เรียกว่า คอมพิวเตอร์นิวเมอริกัลคอนโทรล (Computer Numerical Control, CNC) ระบบเลเซอร์กำลังสูงใช้กันเป็นส่วนมากในขบวนการนี้ได้แก่ ระบบนีโอไดเมียมแยกเลเซอร์ (Neodymium YAG Laser System) ในการดำเนินการนี้ได้ใช้คุณสมบัติของ

แสงเลเซอร์ที่มีกำลังสูงและเป็นลำแสงขนานซึ่งเราสามารถทำการโฟกัสให้ได้ตามขนาดที่ต้องการอย่างแม่นยำ ส่วนประกอบที่สำคัญอีกประการหนึ่งของการใช้เลเซอร์กำลังสูง ตัด เจาะ เชื่อมนี้ก็คือการใช้ระบบคอมพิวเตอร์ (CNC) ควบคุมการแกว่งหรือเลื่อนแขนกล (mechanical cutting arm) ที่ลำแสงเลเซอร์ที่จะใช้ตัดเจาะนั้นวิ่งผ่านออกมา แขนกลดังกล่าวจะเคลื่อนที่ไปตามโปรแกรมที่ตั้งไว้ว่าจะให้แสงเลเซอร์ตัดเจาะโลหะหรือวัสดุอื่นออกมาในรูปแบบใด การตัดเจาะโดยใช้เลเซอร์นั้นมักจะกระทำในสถานการณ์ที่เครื่องตัดเจาะแบบธรรมดาทำไม่ได้ และใช้เวลานาน ตัวอย่างเช่น การใช้แสงเลเซอร์กำลังสูงตัดเกียร์เฟืองท้ายของรถยนต์จากแผ่นโลหะหนาในเวลาอย่างรวดเร็ว ไม่มีส่วนเหลือเศษผงโลหะและเราสามารถ โปรแกรมให้ตัดเจาะแผ่น โลหะอย่างมีประสิทธิภาพให้เหลือเศษชิ้นส่วนโลหะน้อยที่สุด และนอกจากนี้ผลงานที่ได้จากการตัดเจาะจะมีคุณภาพสูง เหมือนกันทุก ๆ ชิ้น ดังนั้นทางด้านการควบคุมคุณภาพ (quality control) ซึ่งจะเทียบได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปนั้น ตัวอย่างการใช้เลเซอร์ตัดเจาะรูที่แคบมาก โดยมีขนาดประมาณ 30 ไมครอน ได้แก่การใช้ไนโอดีมียมเยกเลเซอร์ตัดเจาะสารกึ่งตัวนำและชิ้นส่วนไอซี (Integrated Circuit, IC) วัสดุจำพวกนี้มีความเปราะบางมาก วิธีการตัดเจาะโดยทั่วไปทำได้ยากและมีการเสียหายเกิดขึ้น แต่หากใช้เลเซอร์ช่วยแล้วจะทำให้มีประสิทธิผลสูงและมีคุณภาพดี

5.2.2 ด้านการแพทย์ ไนโอดีมียมเยกเลเซอร์ ถูกนำมาใช้ประยุกต์ทางการแพทย์ในเรื่องต่าง ๆ นับตั้งแต่การบำบัดโรคผิวหนัง การทำลายเนื้อร้ายการผ่าตัดใหญ่และการผ่าตัดบริเวณที่แคบ อาทิเช่น นัยน์ตา และหลอดโลหิต เป็นต้น จากการวิจัยและพัฒนาการนำแสงเลเซอร์มาประยุกต์ใช้ในการทางการแพทย์ นับว่าได้ผลดีอย่างมากของการประสบความสำเร็จในระยะเวลาอันสั้นในการนำสิ่งที่ยังค้นพบใหม่ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาทำประโยชน์โดยตรงให้แก่มนุษย์ โดยเฉพาะการประสบความสำเร็จของวงการแพทย์โดยการนำแสงเลเซอร์มาใช้ เพราะแสงเลเซอร์ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความบริสุทธิ์ทางแสง และนอกจากนี้แสงเลเซอร์เมื่อทำปฏิกิริยากับเลือดของมนุษย์แล้วจะก่อให้เกิดการอุดตันปิดปลายหลอดเลือดได้ทันทีทันใด ดังนั้นในการผ่าตัดและการรักษาทางแพทย์โดยใช้แสงเลเซอร์มาบำบัดแล้ว จะไม่เกิดบาดแผลหรือมีเลือดไหลออกมาเลย จึงทำให้ลดความยุ่งยากซับซ้อนในการรักษาในเรื่องที่ต้องระวังการติดเชื้อ อักเสบ และการพักผ่อนของคนไข้เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการรักษา นอกจากนี้แสงเลเซอร์ที่นำมาประยุกต์ใช้ทางการแพทย์อีกประการหนึ่งก็คือ แสงเลเซอร์มีคุณสมบัติทางโมโนโครมาติซึ่สูงและเป็นลำขนาน ดังนั้นเราจึงสามารถโฟกัสแสงเลเซอร์ให้เป็นจุดเล็กในบริเวณเส้นผ่าศูนย์กลาง 5-10 ไมครอนได้เป็นอย่างดี ดังนั้นจึงเป็นการเหมาะที่จะนำไปใช้ในการผ่าตัดและบำบัดโรคเนื้องอก และผ่าตัดเกี่ยวกับเส้นโลหิตอุดตันบริเวณหัวใจ เนื่องจากแสงเลเซอร์ที่ออกมานั้นเราสามารถควบคุมพลังงานของแสงได้อย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นการนำมาใช้งานจึงทำให้แพทย์กำหนดการรักษาและการผ่าตัดได้อย่างแน่นอนแม่นยำ ไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อเนื้อเยื่อหรืออวัยวะอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้เคียง

5.2.3 ด้านโทรคมนาคม (application in telecommunication) สาเหตุที่เลเซอร์ได้ถูกนำมาใช้ในทางการสื่อสารด้วยเหตุผลสองประการคือ ประการแรก แสงเลเซอร์มีคุณสมบัติในด้านทิศทางที่แน่นอนแม่นยำ (directionality) และเป็น ลำขนาน (parallel beam) สามารถเดินทางได้เป็นระยะทางไกลมาก ๆ โดยมีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มของแสงน้อยมาก ประการที่สองที่แสงเลเซอร์มีศักยภาพในด้านการสื่อสารก็คือ จำนวนข่าวสารสามารถในการส่งข่าวสารได้เป็น $10^3 - 10^4$ เท่าต่อวินาที เมื่อเทียบกับการส่งข่าวสารทางโทรทัศน เราเห็นว่าแสงเลเซอร์มีศักยภาพสูงในการใช้นำส่งข้อมูล

เนื่องจากในปัจจุบันเรามีขีดความสามารถในการผลิตเส้นใยนำแสง (optical fiber) ที่ทำด้วยแก้วที่มีคุณสมบัติพิเศษในการนำแสงได้เป็นระยะทางไกล ๆ กล่าวคือเส้นใยนำแสงมีความสูญเสียในการนำสัญญาณเพียง 1 เดซิเบลต่อกิโลเมตร หรือน้อยกว่า ดังนั้นเราสามารถนำแสงเลเซอร์ที่มีความบริสุทธิ์ทางแสงมาก นำส่งสัญญาณข่าวสารผ่านเส้นใยนำแสง ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ และในทางปฏิบัติเราสามารถส่งข้อมูลข่าวสาร โดยใช้แสงเลเซอร์ผ่านเส้นใยนำแสงได้เป็นระยะทางหลายร้อยกิโลเมตร

5.2.4 ด้านการทหาร ในปัจจุบันก็ยังทำการค้นคว้าพัฒนาระบบอาวุธต่าง ๆ โดยมีเลเซอร์เข้าไปเกี่ยวข้องมากขึ้น

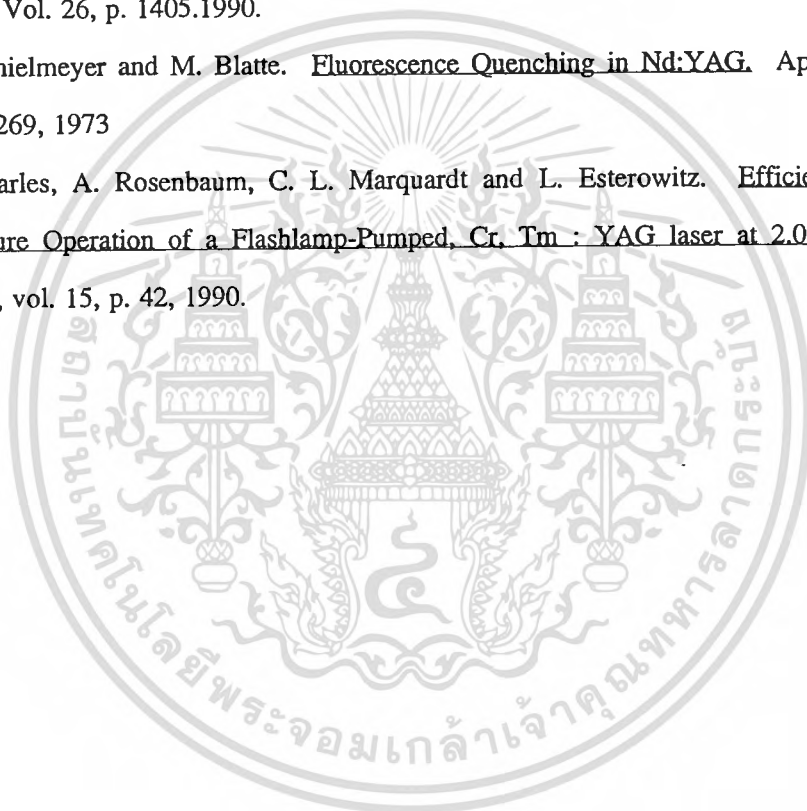
การใช้เลเซอร์เป็นเครื่องวัดระยะทาง เครื่องวัดระยะทางนี้ใช้ระบบนีโอไดมียมแยกเลเซอร์ (Nd : YAG) ขนาดกะทัดรัด ให้แสงเลเซอร์ออกมาเป็นแบบคิวสวิตช์พัลส์ (Q-switched pulse) ที่มีความกว้างของช่วงคลื่นของเลเซอร์ (pulse width) ประมาณ 10 นาโนวินาที เครื่องนีโอไดมียมแยกเลเซอร์เล็กมากสามารถประกอบติดกับกล้องสายตาส่องทางไกล ส่องดูเป้าได้ไกลประมาณ 10 - 15 กิโลเมตร แล้วทำการยิงเลเซอร์ไปที่เป้าวัดแสงเลเซอร์ที่สะท้อนกลับมา (back scattering) เราสามารถวัดระยะเวลาของการเดินทางไป-กลับของแสงได้และคำนวณกลับมาเป็นระยะห่างของเป้าได้อย่างแม่นยำ เครื่องวัดระยะทางนี้ มีความคลาดเคลื่อนทางระยะทางเพียงประมาณ 1 เมตร จากการวัดระยะทางประมาณ 10 กิโลเมตร เครื่องวัดระยะทางนี้เล็กและเบามาก ทหารราบนำติดตัวไปได้ในสนามรบ

จากที่ได้อธิบายข้างต้น จึงทำให้เห็นว่า นีโอไดมียมแยกเลเซอร์ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ มากมาย ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการสร้างนีโอไดมียมแยกเลเซอร์ ในระบบที่ได้อาจจะต้องมีการนำไปพัฒนาต่อไป เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในด้านอื่น ๆ ต่อไป

บรรณานุกรม

- [1] J. R. Reitz and F. J. Milford. Foundation of Electromagnetic Theory. London: Addison-Wesley, 1967.
- [2] Jeff Hecht. The Laser Guidebook. Tab Books, 1992.
- [3] F.A. Jenkin and H.E. White. Fundamental of Optics. New York : Mc Graw-Hill, 1976.
- [4] K. Shimoda. Introduction to Laser Physics. Berlin : Springer-Verlag, 1986.
- [5] William T. Silfvast. Laser Fundamentals. Floride : Cambridge University Press, 1996.
- [6] Bela A. Lengyel. Lasers. New York : John Wiley & Sons, 1987.
- [7] Leo Levi. Applied Optics. New York : John Wiley & Sons, 1968.
- [8] Jeff Hecht. The Laser Guidebook. McGraw-Hill, 1986.
- [9] Robert A. Meyers. Encyclopedia of Physical Science and Technology. London : Academic Press, 1992
- [10] Walter Koechner. Solid-State Laser Engineering. Germany : Springer-Verlag, 1992.
- [11] Alexander A. Kaminskii. Laser Crystals. Germany : Springer-Verlag, 1990.
- [12] Edgerton, H.E. Xenon Flash Lamp Design. New York : Columbia University Press, 1961.
- [13] R.C Crafer and P.S. Oakly. Laser Processing in Manufacturing. Great Britain : Chapman & Hall, 1993.
- [14] Yu. Lyubavsky and V. Ovchinniko V. Solid-State Laser Technology. Moscow : The Union of Soviet Socialist Republics, 1975
- [15] David L. Andrews. Lasers in Chemistry. Berlin : Springer-Verlag, 1990.
- [16] James T. Luxon and David E. Parker. Industrial Lasers and Their Applications. New Jersey : Prentice Hall, 1992.
- [17] Ronald W. Waynant and Marwood N. Ediger. Electro-Optics Handbook. McGraw-Hill, 1989.
- [18] Delton T. Horn. Laser Experimentter. America : Tab Books, 1998.
- [19] David Beach, Allen Shotwell and Paul Essue. Appications of Lasers and Laser Systems. New Jersey : Prentice Hall, 1992.
- [20] William M. Steen. Laser Material Processing. Springer-Verlag, 1991.

- [21] John E. Harry. Industrial Lasers and their Applications. New York : McGraw Hill,1988.
- [22] Findlay, D. and Goodwin D. W. The Neodymium in YAG Laser. London : Academic Press, 1970.
- [23] W. Koechnor. Thermal Lensing in a Nd:YAG Laser Rod. Appl. Opt., Vol. 9, p. 2548, 1970.
- [24] R. Beach, M. D. Shinn. L. Davis, R. W. Solarz and W. F. Krupke. Optical Absorption and Stimulated Emission of Neodymium in Yttrium Orthosilicate. IEEE J. Quantum Electron., Vol. 26, p. 1405.1990.
- [25] H. G. Danielmeyer and M. Blatte. Fluorescence Quenching in Nd:YAG. Appl. Phys., Vol.1, p. 269, 1973
- [26] G. J. Quarles, A. Rosenbaum, C. L. Marquardt and L. Esterowitz. Efficient Room Temperature Operation of a Flashlamp-Pumped, Cr, Tm : YAG laser at 2.01 micron. Opt. Lett., vol. 15, p. 42, 1990.





ภาคผนวก ก

ตัวอย่างผลการทดลอง

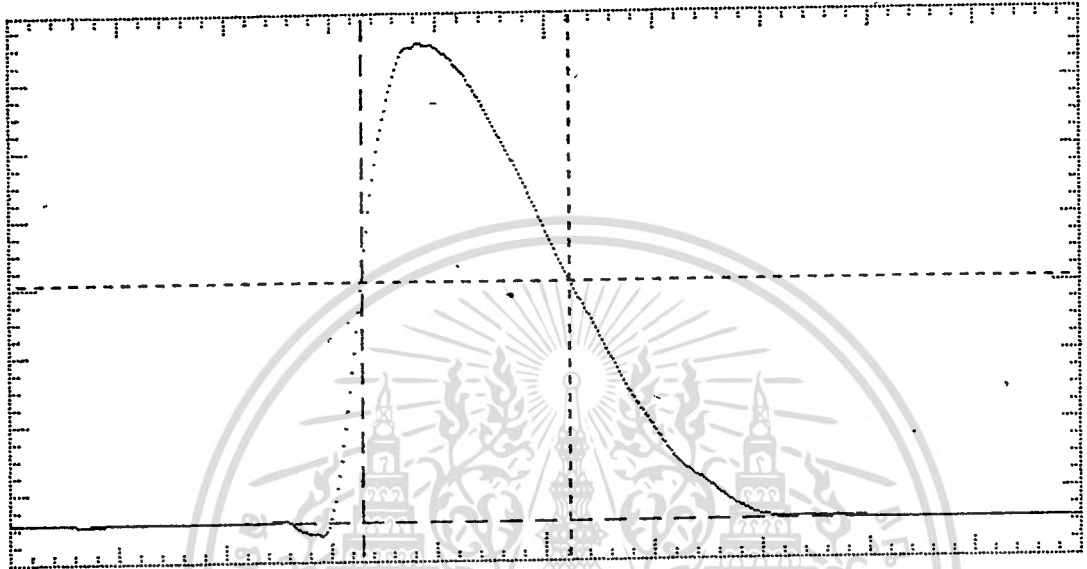
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างแสดงการเก็บข้อมูลของเลเซอร์ โดยใช้หลอดแฟลชที่ 6 มีเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเท่ากับ 7 มิลลิเมตร กระจกเลเซอร์มีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนที่ 60 เปอร์เซ็นต์ และค่าจุของตัวเก็บประจุ 100 ไมโครฟารัด โดยวัดค่าพลังงานออกมาจากหัววัดพลังงานและความกว้างของพัลส์ของเลเซอร์ได้ออกมาจากหัววัดโฟโต้ไดโอด และส่งสัญญาณมายังออสซิลอสโคป และพิมพ์ออกมาเป็นกราฟ

ตารางแสดงค่าพลังงานของเลเซอร์ที่ความต่างศักย์ ของหลอดแฟลชตั้งแต่ 350 โวลต์ ถึง 1100 โวลต์ และช่วงเวลาในการเกิดเลเซอร์

Voltage of Flashlamp (V)	Energy (mJ)	Pulse width (micro sec.)
350	13.3	57
400	32.3	85
500	155.2	96
600	273	103
700	339	96
800	468.3	101
900	628	100
1000	654	101
1100	673.5	102

พัลส์ของเลเซอร์ที่ค่าความต่างศักย์ที่จ่ายให้แก่หลอดแฟลชเท่ากับ 500 โวลต์



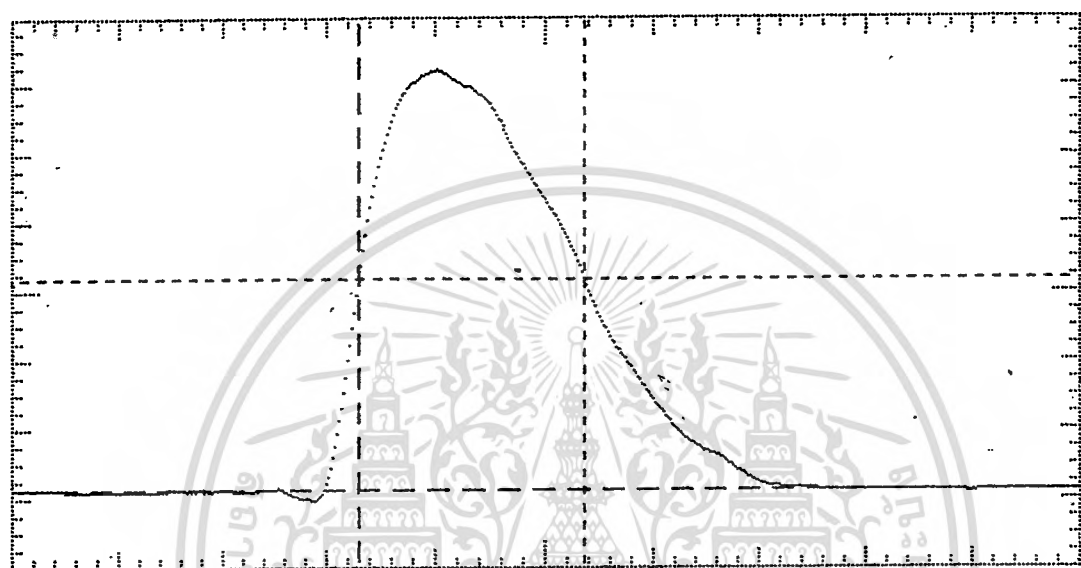
-158.000 us 92.0000 us 342.000 us

Ch. 1	=	200.0 mVolts/div	Offset	=	714.0 mVolts
Timebase	=	50.0 us/div	Delay	=	92.0000 us
Delta V	=	696.0 mVolts			
Vmarker1	=	28.00 mVolts	Vmarker2	=	724.0 mVolts
Delta T	=	96.0000 us			
Start	=	7.00000 us	Stop	=	103.000 us

Trigger mode : Edge
 On Pos. Edge on Chan1
 Trigger Levels
 Chan1 = 250.0 mVolts
 Holdoff = 70.000 ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลัสของเลเซอร์ที่ค่าความต่างศักย์ที่จ่ายให้แก่หลอดแฟลชเท่ากับ 600 โวลต์



-158.000 us 92.0000 us 342.000 us

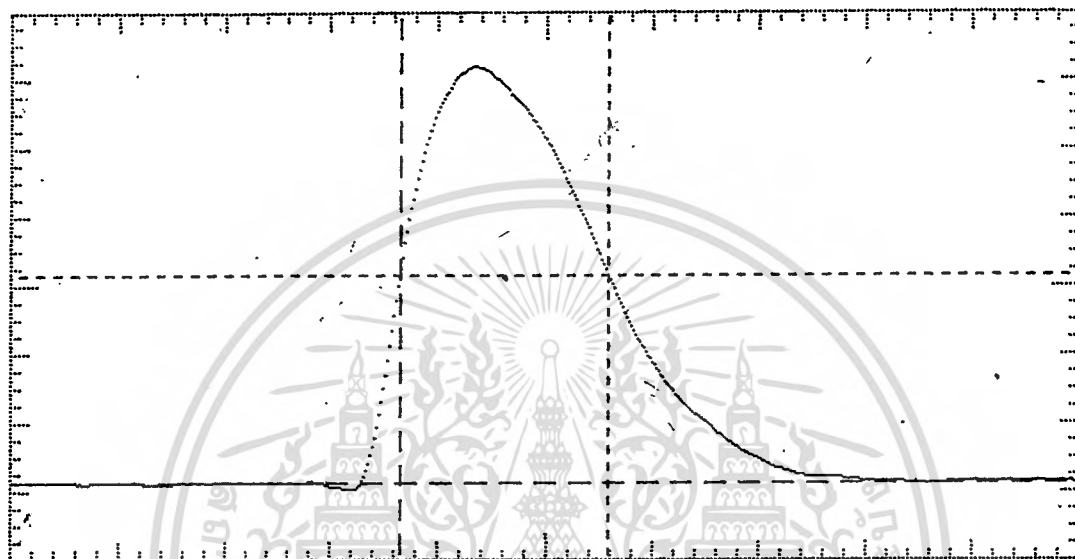
Ch. 1 = 400.0 mVolts/div Offset = 1.170 Volts
Timebase = 50.0 us/div Delay = 92.0000 us

Delta V = 1.224 Volts
Vmarker1 = 16.00 mVolts Vmarker2 = 1.240 Volts
Delta T = 103.000 us
Start = 7.00000 us Stop = 110.000 us

Trigger mode : Edge
On Pos. Edge on. Chan1
Trigger Levels
Chan1 = 250.0 mVolts
Holdoff = 70.000 ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัลส์ของเลเซอร์ที่ค่าความต่างศักย์ที่จ่ายให้แก่หลอดแฟลชเท่ากับ 700 โวลต์



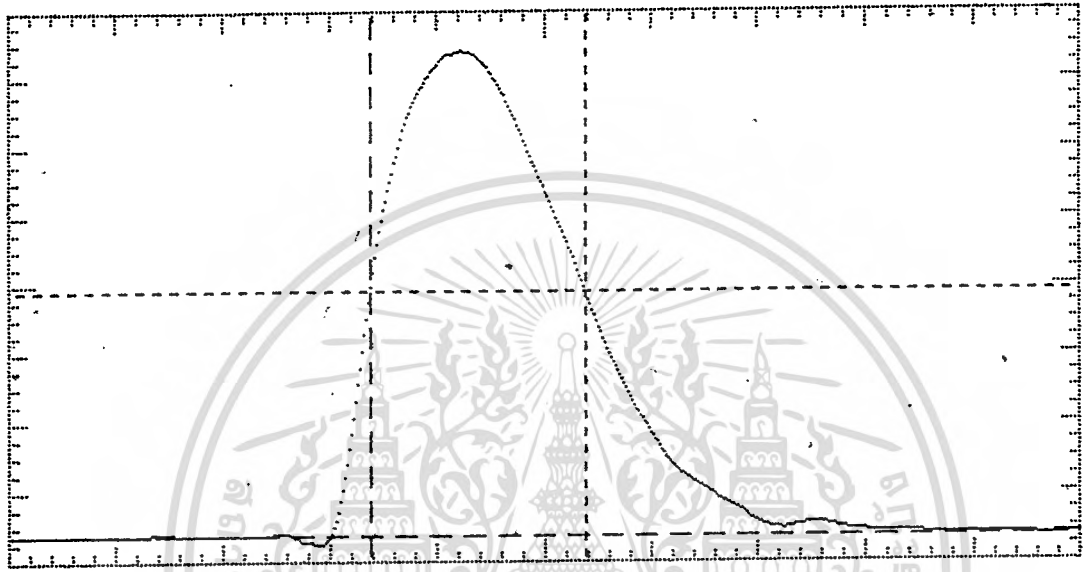
-158.000 us 92.0000 us 342.000 us

Ch. 1 = 500.0 mVolts/div Offset = 1.610 Volts
Timebase = 50.0 us/div Delay = 92.0000 us

Delta V = 1.520 Volts
Vmarker1 = 170.0 mVolts Vmarker2 = 1.690 Volts
Delta T = 96.0000 us
Start = 25.0000 us Stop = 121.000 us

Trigger mode : Edge
On Pos. Edge on Chan1
Trigger Levels
Chan1 = 300.0 mVolts
Holdoff = 70.000 ns

พัลส์ของเลเซอร์ที่ค่าความต่างศักย์ที่จ่ายให้แก่หลอดแฟลชเท่ากับ 900 โวลต์



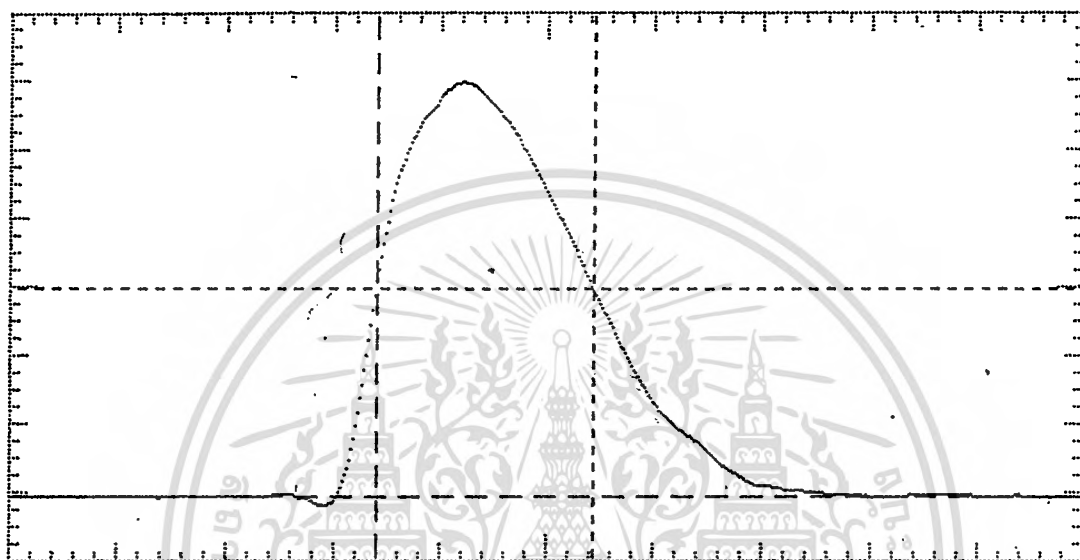
-158.000 us 92.0000 us 342.000 us

Ch. 1 = 800.0 mVolts/div Offset = 3.040 Volts
Timebase = 50.0 us/div Delay = 92.0000 us

Delta V = 2.816 Volts
Vmarker1 = 144.0 mVolts Vmarker2 = 2.960 Volts
Delta T = 100.000 us
Start = 11.0000 us Stop = 111.000 us

Trigger mode : Edge
On Pos. Edge on Chan1
Trigger Levels
Chan1 = 420.0 mVolts
Holdoff = 70.000 ns

พัลส์ของเลเซอร์ที่ค่าความต่างศักย์ที่จ่ายให้แก่หลอดแฟลชเท่ากับ 1100 โวลต์



-158.000 us 92.0000 us 342.000 us

Ch. 1	=	1.000 Volts/div	Offset	=	3.260 Volts
Timebase	=	50.0 us/div	Delay	=	92.0000 us
Delta V	=	3.020 Volts			
Vmarker1	=	200.0 mVolts	Vmarker2	=	3.220 Volts
Delta T	=	102.000 us			
Start	=	12.0000 us	Stop	=	114.000 us

Trigger mode : Edge
 On Pos. Edge on Chan1
 Trigger Levels
 Chan1 = 560.0 mVolts
 Holdoff = 70.000 ns



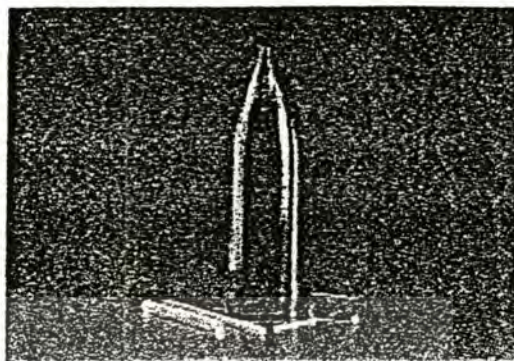
ภาคผนวก ข

คุณลักษณะของอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการวิจัยนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Nd:YAG Laser Crystals

VLOC grows large diameter neodymium doped yttrium aluminum garnet (Nd:YAG) crystals using the Czochralski technique. The use of high quality starting materials for crystal growth, whole boule interferometry, and precise measurement of Nd concentration using transmission spectroscopy and fluorescence lifetime measurements, assures that each crystal will perform to customer specifications. Full documentation is available for every shipment, and VLOC maintains traceability on all material produced, from finished laser material back to starting oxides. State-of-the-art fabrication and coating processes enable VLOC to provide consistently reliable finished product. Detailed physical and optical properties for Nd:YAG are listed on page 59.



VLOC produces a wide variety of finished laser rods, as well as supplying Nd:YAG material. Our general Nd:YAG production capabilities include:

- Rod sizes from 2mm to 12.5mm in diameter and from 1mm to 180mm in length
- Nd dopant concentrations between 0.6 and 1.3%
- Polished and AR coated barrels
- Slabs with apertures of up to 7mm X 15mm
- MIL-C-675C adhesion, abrasion and humidity resistance
- Damage threshold of over 15 J/cm²
- A wide variety of anti-reflection, partial reflector, high reflector and dichroic coatings
- Premium grade Nd:YAG, with lower wavefront distortion, is available upon request

Coatings

Several different high reflector, anti-reflection and dichroic optical coatings can be applied to Nd:YAG rods, depending upon their exact configuration and use. For flashlamp-pumped lasers with external end mirrors, the anti-reflection coating #2010 (page 51) is typically specified. For end-pumped crystals the dichroic coating #1015 (page 55) is used. See page 50 for an overview of the optical coatings provided by VLOC.

To order a finished Nd:YAG laser rod, specify the parameters listed on page 38. Typical finished part specifications and tolerances are listed below.

Specifications:

Material	Nd:YAG
Dopant concentration	As specified $\pm 0.1\%$
Diameter Tolerance	+0.0, -0.025mm
Length Tolerance	± 0.5 mm
Parallelism	<10 arc seconds
Perpendicularity	<5 arc minutes
Chamfer	0.13 \pm 0.08mm @ 45°
Barrel Finish	Ground or Polished
Wavefront Distortion	
<7mm diameter	< $\lambda/10$ per inch @ 632.8nm
≥ 7 mm diameter	< $\lambda/8$ per inch @ 632.8nm
Surface Flatness	$\lambda/10$ @ 632.8nm
Surface Quality	10/5
Clear Aperture	95%

Nd:YAG

Physical and Optical Properties

Physical Properties

Chemical formula	$\text{Nd}_x \text{Y}_{3-x} \text{Al}_5 \text{O}_{12}$ ($x = 0.006 - 0.012$)
Nd concentration - atomic %	1.38×10^{20} atoms/cm ³
Knoop hardness	1215 kg/mm ²
Melting point	1970 °C
Density	4.56 g/cm ³
Rupture stress	$1.3 - 2.6 \times 10^3$ kg/cm ²
Modulus of elasticity	310 GPa
Thermal expansion coefficient	
[100]	8.2×10^{-6} /°C, 0-250°C
[110]	7.7×10^{-6} /°C, 0-250°C
[111]	7.8×10^{-6} /°C, 0-250°C
Thermal conductivity	0.13 W/cm K (at 300 K)
Specific heat	0.59 J/g K (at 300 K)

Optical Properties

Linewidth @ 1064 nm	4.5 Å
Stimulated emission cross section (1 atomic % Nd)	$\sigma_{21} = 2.7 - 8.8 \times 10^{-19}$ cm ²
Spontaneous fluorescence lifetime (1 atomic % Nd)	230 μs
Photon energy @ 1.06 μm	1.86×10^{-19} J
Index of refraction @ 1.0 μm	1.82
Scatter losses	~ 0.002 %/cm
dn/dT	7.3×10^{-6} /°C

References:

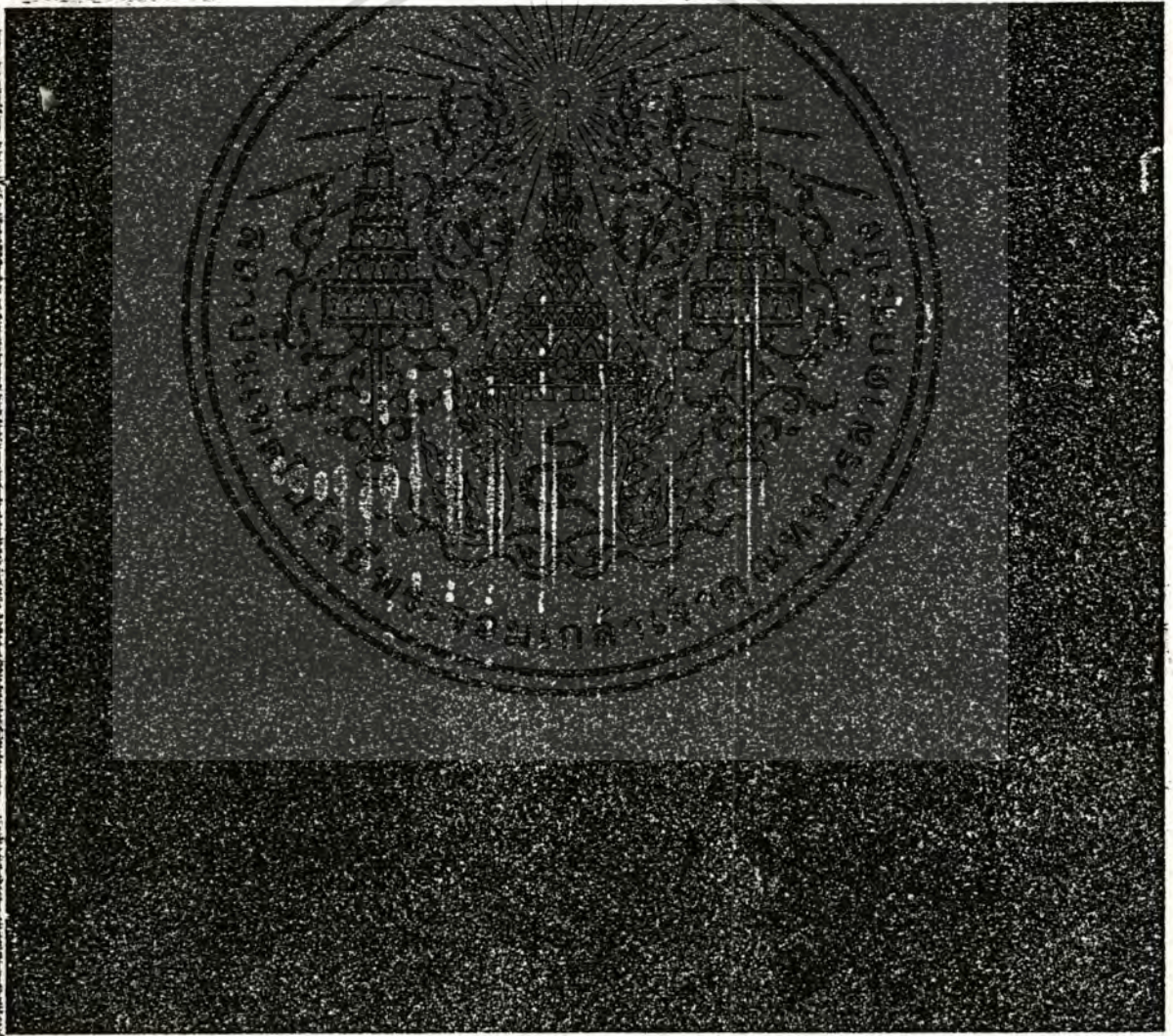
Walter Koechner, *Solid State Engineering - Third Completely Revised and Updated Edition* (Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1992).

CRC Handbook of Laser Science and Technology, Volume V, Optical Materials, Part 3: Applications, Coatings and Fabrication, edited by Marvin J. Weber, Boca Raton, Florida: CRC Press, 1987.





LINEAR FLASHLAMPS

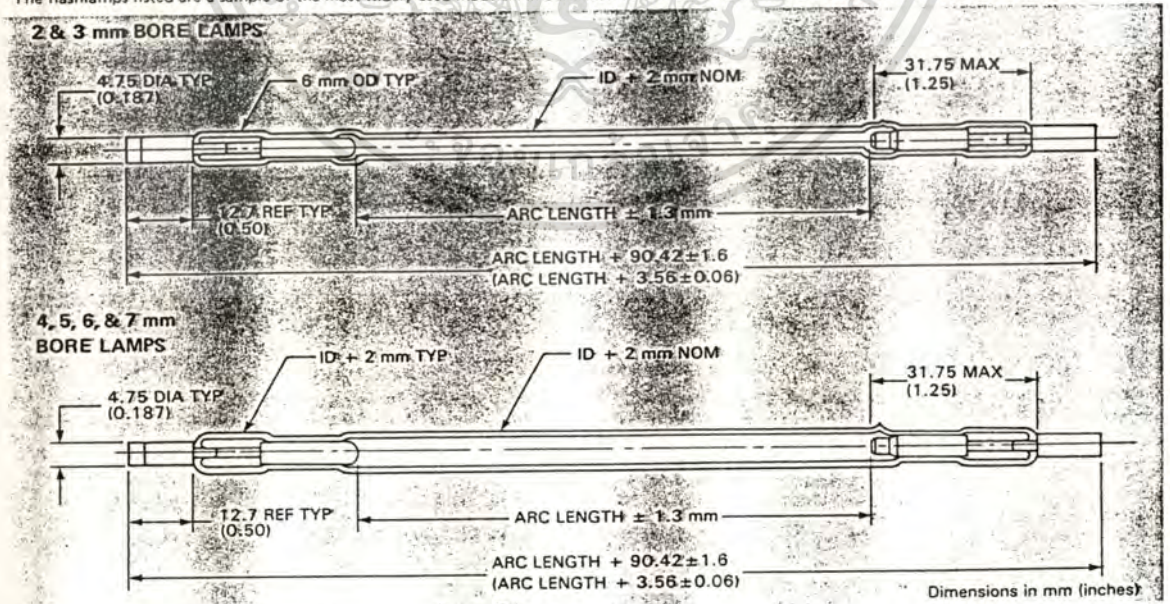


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Fluid Cooled Linear Flashlamps

Bore*	Lamp Model Number	Arc Length		Impedance Parameter K_o $\Omega \cdot \text{amp}^{0.5}$	Explosion Energy Constant $K_e = E_o / T^{0.5}$ Watts (sec) ^{0.5}	Maximum Average Power (Watts)	Maximum Peak Current (Amps)	Minimum Trigger Pulse kV	Minimum Trigger Pulse μsec
		in.	mm						
3 mm	3F1	1	25.4	11	1.9×10^4	480	250	16	.2
	3F1.5	1.5	38.1	17	2.8×10^4	720	250	16	.2
	3F2	2	50.8	23	3.8×10^4	960	250	16	.2
	3F2.5	2.5	63.5	28	4.7×10^4	1200	250	16	.25
	3F3	3	76.2	34	5.6×10^4	1400	250	16	.3
	3F4	4	101.6	45	7.5×10^4	1900	250	16	.4
4 mm	4F1.5	1.5	38.1	13	3.8×10^4	960	500	16	.2
	4F2	2	50.8	17	5.0×10^4	1300	500	16	.2
	4F2.5	2.5	63.5	21	6.3×10^4	1600	500	16	.25
	4F3	3	76.2	25	7.5×10^4	1900	500	16	.3
	4F4	4	101.6	34	1.0×10^5	2600	500	16	.4
	5 mm	5F2	2	50.8	13	6.3×10^4	1000	800	16
5F2.5		2.5	63.5	17	7.8×10^4	2000	800	16	.25
5F3		3	76.2	20	9.4×10^4	2400	800	16	.3
5F4		4	101.6	27	1.3×10^5	3200	800	16	.4
5F6		6	152.4	41	1.9×10^5	4800	800	16	.6
6 mm		6F2	2	50.8	11	7.5×10^4	1900	1100	18
	6F2.5	2.5	63.5	14	9.4×10^4	2400	1100	18	.25
	6F3	3	76.2	17	1.1×10^5	2900	1100	18	.3
	6F4	4	101.6	23	1.5×10^5	3800	1100	18	.4
	6F6	6	152.4	34	2.2×10^5	5800	1100	18	.6
	7 mm	7F3	3	76.2	15	1.3×10^5	3400	1400	18
7F4		4	101.6	19	1.8×10^5	4500	1400	18	.4
7F6		6	152.4	29	2.6×10^5	5700	1400	18	.6
7F8		8	203.2	39	3.5×10^5	9000	1400	18	.8
10 mm		10F3	3	76.2	10	1.6×10^5	4800	2800	20
	10F4	4	101.6	14	2.1×10^5	6400	2800	20	.4
	10F6	6	152.4	20	3.2×10^5	9600	2800	20	.6
	10F10	10	254	34	5.3×10^5	16000	2800	20	1.0

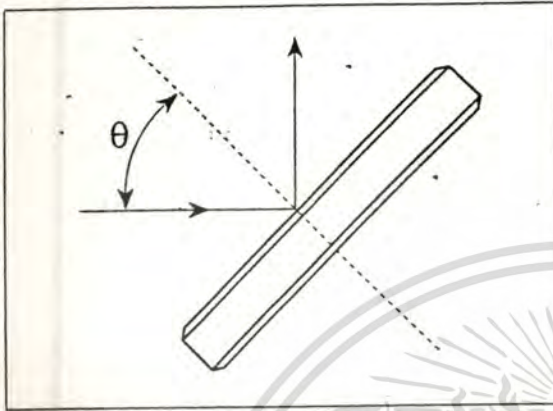
*The flashlamps listed are a sample of the most widely used models. All bore diameters from 1 to 19 mm are available as standard flashlamps.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

High Energy Nd:YAG, Nd:YLF Laser Mirrors

CVI
Nd:YAG Optics



The angle of incidence θ is always defined with respect to the mirror normal.

SPECIFICATIONS

Material:	UV grade fused silica or BK7 glass
S1 Surface Figure:	$\lambda/10$ at 633 nm
S1 Surface Quality:	10-5 research grade laser polish
S2 Surface Quality:	Commercial polish
Diameter Tolerance:	+ 0.000" - 0.010"
Thickness Tolerance:	± 0.010 "
Wedge:	≤ 5 minutes of arc
Chamfer:	0.35mm at 45° typical
Coating Material:	Electron beam deposited dielectrics
Adhesion:	Exceeds scotch tape test (MIL-C-675A)
Durability:	Exceeds eraser test (MIL-C-675A). Insoluble in water, alcohol, acetone, detergent, and most acids except HF.
Clear Aperture:	Central 85% of diameter
Damage Threshold:	> 5J/cm ² , nsec pulse at 1064 nm

High Energy Solid State Laser Mirrors

Since 1972, CVI has been recognized as the leading supplier of high damage threshold solid state laser mirrors. Using proprietary electron beam coating technology, CVI mirrors have withstood laser fluences up to 45J/cm² in independent laboratory tests. Specifications shown in our product tables are therefore very conservative.

CVI polishes all standard 0.5", 1", 1.5", and 2" diameter mirror blanks to $\lambda/10$, 10-5 laser quality specifications with $\lambda/20$ surface figure available. So CVI mirrors can be used interchangeably in intracavity and extracavity operation. Keep in mind that any CVI coating may be applied to any substrate. For 1064 nm, high reflector mirrors are in stock at all standard radii and diameters. Company wide, CVI accomplishes over 200 coating runs per week, ensuring fast delivery of most custom items, almost always at catalog single unit prices.

Original equipment manufactures

CVI supplies laser and instrument manufactures with thousands of customized optics. Please call us early in the design process. CVI can rapidly produce small prototype quantities to keep your development on schedule. Our enormous substrate inventory and our ability to rapidly fabricate special sizes and curvatures assure you of getting the optics you need. And we can advise you when choosing a standard optic is more economical in the long run. Designers find that by calling us early, designs can be simplified and pitfalls avoided.

New in this Catalog

Optics for the fifth harmonic for the Nd:YAG laser are now standard CVI products ▶ 7. Y5 mirrors are durable, hard dielectric beam routing components. Beamsplitters and harmonic separators for the fifth harmonic are also available.

Mirror mounts are now available for all CVI mirrors. See the inside back cover of this catalog.

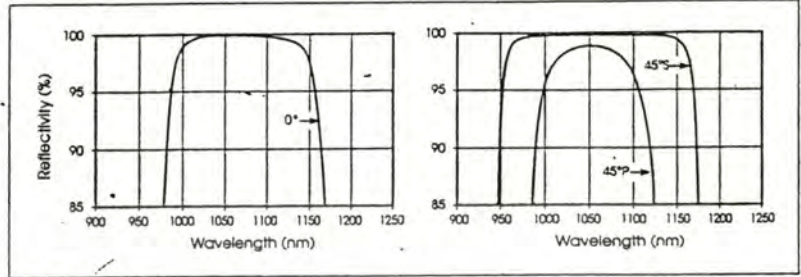
How a typical CVI ordering block works

The ordering block solves the problem of how to order a specific optic for your application. Each product code represents a distinct product family. You can best become familiar with our offerings by leading through this catalog. Generally the product code contains within it function or wavelength information. For size codes and available radii of curvature information, ◀ 3. Your CVI representative will be happy to assist you with curvatures and sizes not in the table. Other specifications vary depending on the product in question. When ordering you should have a good idea of how to answer each entry in the ordering block. In addition to specifying the entries in the ordering blocks, please give your CVI representative the pulse energy and beam diameter for pulsed lasers, and the average power and beam diameter for CW lasers. This will aid us in choosing the best coating design for your application. If you have questions, we will gladly assist you.

CVI LASER CORPORATION, Albuquerque, NM • Telephone (505) 296-9541 • Fax (505) 298-9908 • email: cvi@cvilaser.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

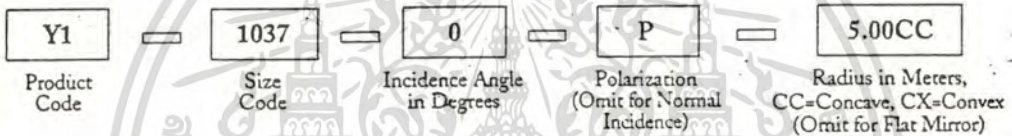
High Energy Nd:YAG Laser Mirrors



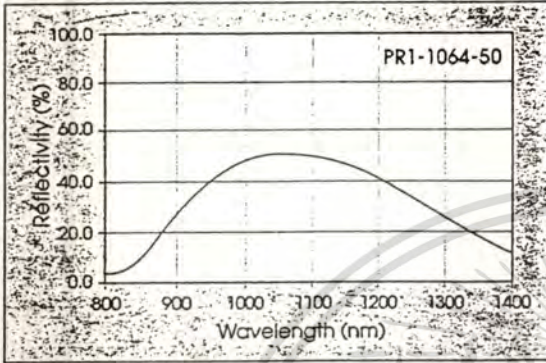
Mirror Mounts available ▶93

Reflectivity vs. Wavelength of Y1 Series 1064 nm Nd:YAG Laser Mirror at 0° and 45° incidence angle

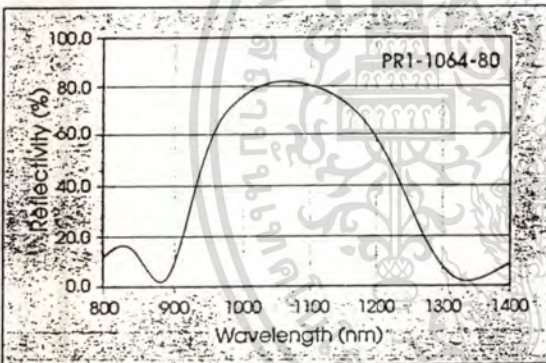
- For Standard Radius of Curvature ◀3
- Other incident angles may be specified
- Other substrate dimensions are available upon request



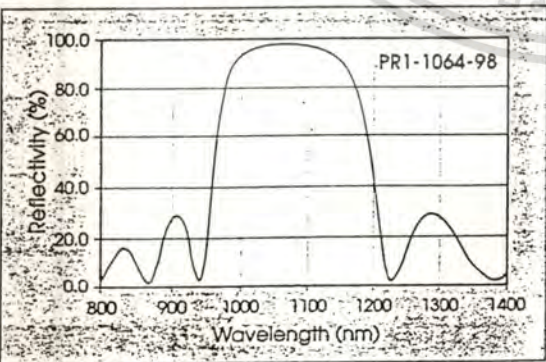
Pulsed Nd:YAG, 1064 nm – High Energy Laser Mirrors				
Part Number	Wavelength (nm)	Diameter	Thickness	Minimum Unpolarized Reflectance
0° Mirrors				
Y1-0537-0	1064	0.500"	0.375"	99.5%
Y1-0643-0	1064	15.0mm	11.0mm	99.5%
Y1-0737-0	1064	0.750"	0.375"	99.5%
Y1-1025-0	1064	1.000"	0.250"	99.5%
Y1-1032-0	1064	1.000"	8.0mm	99.5%
Y1-1037-0	1064	1.000"	0.375"	99.5%
Y1-1537-0	1064	1.500"	0.375"	99.5%
Y1-2037-0	1064	2.000"	0.375"	99.5%
Y1-3050-0	1064	3.000"	0.500"	99.5%
Y1-4050-0	1064	4.000"	0.500"	99.5%
45° Mirrors				
Y1-0537-45-UNP	1064	0.500"	0.375"	99.0%
Y1-0643-45-UNP	1064	15.0mm	11.0mm	99.0%
Y1-0737-45-UNP	1064	0.750"	0.375"	99.0%
Y1-1025-45-UNP	1064	1.000"	0.250"	99.0%
Y1-1032-45-UNP	1064	1.000"	8.0mm	99.0%
Y1-1037-45-UNP	1064	1.000"	0.375"	99.0%
Y1-1537-45-UNP	1064	1.500"	0.375"	99.0%
Y1-2037-45-UNP	1064	2.000"	0.375"	99.0%
Y1-3050-45-UNP	1064	3.000"	0.500"	99.0%
Y1-4050-45-UNP	1064	4.000"	0.500"	99.0%

PR1**High Energy Partially Reflecting Mirrors, 209-1319 nm, 0° Incidence****CVI**
Nd:YAG Optics

Reflectivity vs. Wavelength of PR1-1064-50 High Energy Partially Reflecting Laser Mirror at 0° incidence angle



Reflectivity vs. Wavelength of PR1-1064-80 High Energy Partially Reflecting Laser Mirror at 0° incidence angle



Reflectivity vs. Wavelength of PR1-1064-98 High Energy Partially Reflecting Laser Mirror at 0° incidence angle

SPECIFICATIONS

Material:	UV grade fused silica or BK7 glass
Surface Figure:	Both surfaces, $\lambda/10$ at 633 nm
Surface Quality:	Both surfaces, 10-5 research grade laser polish
Diameter Tolerance:	+ 0.000" - 0.010"
Thickness Tolerance:	± 0.010 "
Wedge:	≤ 5 minutes of arc
Chamfer:	0.35mm at 45° typical
Coating Material:	Electron beam deposited dielectrics
Adhesion and Durability:	Exceeds MIL-C-675A.
Clear Aperture:	Central 85% of diameter
Antireflection Coating:	S2, R $\leq 0.25\%$
Angle of Incidence:	0°, other angles available
Damage Threshold:	$> 5\text{J}/\text{cm}^2$, nsec pulse at 1064 nm.

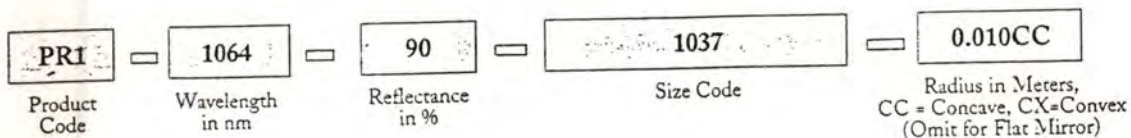
- Other reflectance values and substrate dimensions available upon request
- For radius of curvature options $\blacktriangleleft 3$
- Mirror Mounts available $\blacktriangleright 93$





High Energy Partially Reflecting Mirrors, 209-1319 nm, 0° Incidence

PR1

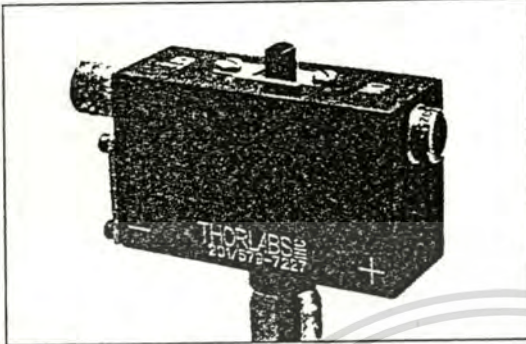


High Energy Partially Reflecting Mirrors, 209-1319 nm						
Product Code	Wavelength (nm)	Reflectance in %	Size Code	Diameter	Thickness	Radius (M)
PR1	209, 211	10 ± 3.0	0512	0.500"	0.125"	0.010
	213	20 ± 4.0	0525	0.500"	0.250"	0.025
	262, 263	30 ± 5.0	0537	0.500"	0.375"	0.050
	266	40 ± 5.0	0643	15.0mm	11.0mm	0.075
	349, 351	50 ± 5.0	0725	0.750"	0.250"	0.15
	355	60 ± 4.0	0737	0.750"	0.375"	0.20
	524, 527	70 ± 4.0	1012	1.000"	0.125"	0.25
	532	75 ± 4.0	1025	1.000"	0.250"	0.30
	1047, 1053	80 ± 3.0	1037	1.000"	0.375"	0.50
	1064	85 ± 3.0	1537	1.500"	0.375"	0.75
	1319	90 ± 2.0	2037	2.000"	0.375"	1.00
		95 ± 1.5	3050	3.000"	0.500"	1.20
		98 ± 1.0	4050	4.000"	0.500"	1.50
		99 ± 0.5				2.00
						3.00
						4.00
						5.00
						6.00
						7.00
						8.00
						9.00
						10.00
						15.00
						20.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Opto-Electronics

HIGH SPEED DETECTOR PACKAGES

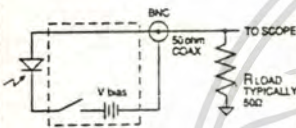


Socket allows easy exchange of diodes.

Thorlab's detector package is a versatile device which provides researchers with a ready-to-use light sensor. The unit comes complete with a fast photodiode and an internal bias battery, enclosed in a rugged aluminum housing. The signal is DC coupled and accessed via a BNC connector. The photodiode is packaged in a T05 housing and is socketed to allow easy exchange, upgrade or replacement of photodiodes.

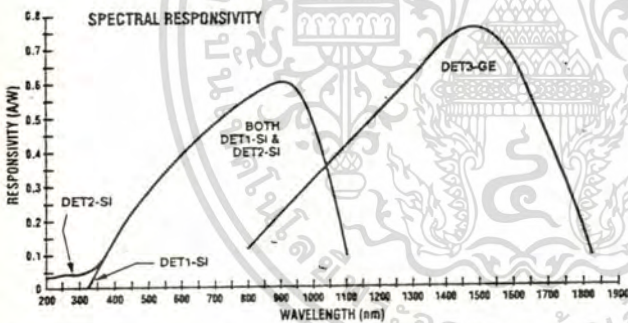
Aluminum Housing: 51 mm x 36 mm x 19 mm
 Mounting: M4 (#8-32) Tapped Hole
 Signal Connector: BNC (DC Coupled)

For maximum bandwidth, we recommend using a 50Ω coax cable (see page 55) 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}.

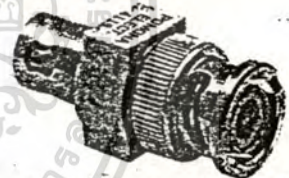


DETECTOR TYPE	METRIC ITEM#	IMPERIAL ITEM#	DIODE RISE TIME	ACTIVE AREA	BIAS BATTERY
Silicon PIN Diode	DET1-SI/M*	DET1-SI*	10ns (R _L =50Ω)	13.7mm ²	22.5V Type 505
Silicon PIN Diode	DET2-SI/M*	DET2-SI*	<1ns (R _L =50Ω)	1.0mm ²	22.5V Type 505
Germanium PIN Diode	DET3-GE/M*	DET3-GE*	<3.5ns (R _L =50Ω)	0.2mm ²	3.6V Type 1/2 AA**
Spare 22.5V Battery	T505	Replacement battery for DET1-SI & DET2-SI only			
Spare 3.6V Battery	TL-5101**	2 Required, Replacement Battery for DET3-GE			

*Battery included. **2 required. Custom modifications and other detector types are available upon request.



50Ω TERMINATOR



Used with our DET-Series detector packages to achieve maximum bandwidth.

ITEM#	DIODE RISE TIME
T4119	50Ω Feed Thru Terminator

PHOTODIODES

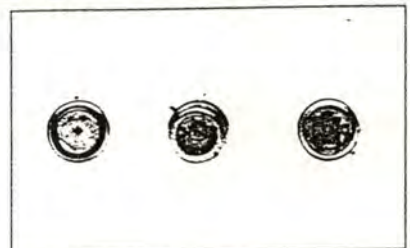
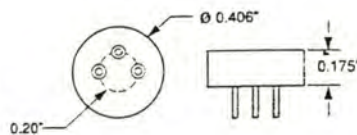
All Photodiodes are packaged in T05 housings.

DETECTOR TYPE	ITEM#	RISE TIME	ACTIVE AREA	NEP W/√Hz	DARK CURRENT
Silicon PIN	FDS010	0.9ns	1mm ²	5 x 10 ⁻¹⁴ W/√Hz	2.5nA
Silicon PIN	FDS100	10ns	13.7mm ²	1.2 x 10 ⁻¹⁴ W/√Hz	20nA
Germanium PIN	FDG035	3.5ns	0.2mm ²	5 x 10 ⁻¹² W/√Hz	3μA

T05 Sockets

ITEM#	DESCRIPTION
S8058	T05 Socket

- Fits all Thorlabs' Photodiodes
- Teflon body
- Beryllium copper contacts





ภาคผนวก ค

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการ ทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 20



20th Electrical Engineering Conference

(EECON-20)

วันที่ 13-14 พฤศจิกายน 2540

ณ โรงแรมโซลทวิน ทาวเวอร์ ถนนพระราม 6 ดัดใหม่
กรุงเทพมหานคร

ดำเนินการจัดประชุมโดย

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างนีโอดิเมียมแยกเลเซอร์แบบพัลส์

A Construction of Neodymium YAG Pulsed Laser

ประกาศ ไพรสุวรรณ พิเชษฐ ลิมสุวรรณ ชนม์เจริญ ทิพย์สุวรรณ
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทร (02) 326-6052-101 ต่อ 2619
* ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ถนนประจักษ์ทิว แขวงบางมด เขตราชพฤกษ์ กรุงเทพฯ 10400 โทร (02) 470-8868

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอระบบนีโอดิเมียมแยกเลเซอร์ ซึ่งระบบนีโอดิเมียมแยกเลเซอร์ที่สร้างเป็นเลเซอร์ชนิดของแข็งที่ให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพัลส์ความยาวคลื่น 1.064 ไมครอน ระบบนีโอดิเมียมแยกเลเซอร์มีส่วนประกอบสำคัญ 6 ส่วนคือ แท่งผลึกนีโอดิเมียมแยก, หลอดแฟลช, ตัวสะท้อนแสง, กระจกเลเซอร์, ระบบน้ำสำหรับระบายความร้อนและแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่หลอดแฟลช จากการที่ระบบนีโอดิเมียมแยกเลเซอร์เป็นเลเซอร์ชนิดของแข็ง จึงสะดวกต่อการสร้างและใช้อุปกรณ์ต่อพ่วงน้อยกว่าระบบเลเซอร์ชนิดอื่น ดังนั้นระบบจึงมีขนาดกะทัดรัดและสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย ระบบนีโอดิเมียมแยกเลเซอร์ที่สร้างนี้ให้พลังงานประมาณ 141 มิลลิจูลต่อพัลส์ และมีประสิทธิภาพ 1.02 เปอร์เซ็นต์

Abstract

This paper presents the system of Neodymium YAG laser. Neodymium YAG laser is a pulsed solid-state laser which emits the electromagnetic wave pulse at wavelength of 1.064 micron. This laser is consisted of 6 main parts i.e. Neodymium YAG laser rod, flashlamp, reflector, laser mirrors, cooling system and power supply for flashlamp. According to the nature of solid-state laser, the laser system is rather small and easy movement.

This system can emit 141 mJ per pulse and its efficiency is 1.02 percent.

1. คำนำ

ในปัจจุบันนี้ได้มีการนำเอาเลเซอร์มาใช้กันอย่างมาก เนื่องจากแสงเลเซอร์มีคุณสมบัติพิเศษคือ การมีความเป็นระเบียบของคลื่น (Coherent light), การมีแสงสีเดียว (Monochromatic), การมีทิศทางที่แน่นอน (Directionality) และมีความเข้มของแสงสูง (High intensity) โดยคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้แสงเลเซอร์แตกต่างจากแสงทั่วไป

ระบบนีโอดิเมียมแยกเลเซอร์เป็นเลเซอร์ของแข็งระบบหนึ่งที่มีนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย [1] เลเซอร์ระบบนี้มีตัวกลางเลเซอร์เป็นแท่งผลึกนีโอดิเมียมแยก โดยการนำเอานีโอดิเมียมไอออน (Nd^{3+}) ไปเป็นสารเจือปนในโครงผลึกยทเทรียมอะลูมิเนียมคาร์เนต ($Y_3Al_5O_{12}$) ทำการกระตุ้นแท่งผลึกนีโอดิเมียมแยกด้วยหลอดแฟลช แสงเลเซอร์ที่เกิดจากแท่งผลึกนีโอดิเมียมแยกจะมีความยาวคลื่น 1.064 ไมครอน ซึ่งอยู่ในช่วงอินฟราเรดจึงไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

2. วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้แบ่งส่วนประกอบสำคัญเป็น 2 ส่วนคือ ระบบนีโอดิเมียมแยกเลเซอร์ที่สร้างและเครื่องวัดกำลังของเลเซอร์ ระบบ

นีโอติเมียมแก็กเลเซอร์ที่สร้างนี้มีบางส่วนที่ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศเนื่องมาจากภายในประเทศยังไม่สามารถทำได้หรือยังทำได้ไม่ดีพอคือ แท่งผลึกนีโอติเมียมแก็ก, หลอดแฟลชและกระจกเลเซอร์ โดยได้อธิบายถึงรายละเอียดดังต่อไปนี้

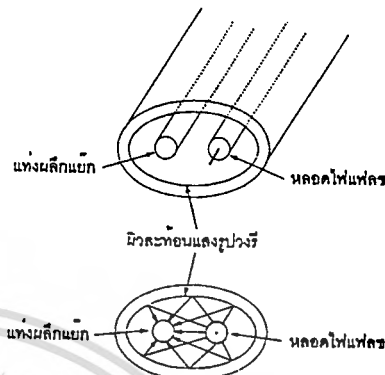
2.1 ระบบนีโอติเมียมแก็กเลเซอร์ มีส่วนประกอบสำคัญ 6 ส่วนคือ

2.1.1 แท่งผลึกนีโอติเมียมแก็ก เป็นแท่งทรงกระบอกที่มีความยาว 100 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ซึ่งได้มาจากการปลูกผลึกโดยใช้นีโอติเมียมประมาณ 1% มาผสมบนขี้ที่เตรียมอะลูมิเนียมคาร์เนต

2.1.2 หลอดแฟลชบรรจุก๊าซซีนอน โครงสร้างของหลอดแฟลชมีส่วนประกอบ 3 ส่วนคือ หลอดบรรจุก๊าซที่ทำมาจากควอทซ์ , ก๊าซเฉื่อยในที่นี้ใช้ก๊าซซีนอน และขั้วอิเล็กโทรด จะประกอบด้วยขั้วโลหะ 2 ขั้วอยู่ที่ปลายทั้งสองของหลอดทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนดและแคโทด หลักการทำงานของหลอดแฟลชคือเมื่อสถานะปกติหลอดแฟลชจะมีความต้านทานภายในสูง เนื่องจากก๊าซที่บรรจุอยู่ในหลอดแฟลชอยู่ในสถานะพื้น (Ground state) ไม่มีการนำกระแสไฟฟ้า เมื่อหลอดแฟลชได้รับแรงดันที่สูงกว่าแรงดันพังทลาย (Breakdown voltage) ของหลอดแฟลชเอง ก๊าซที่อยู่ในหลอดแฟลชจะเกิดการแตกตัวอย่างรวดเร็วเป็นจำนวนมากทำให้เกิดการนำแสงและสว่างขึ้นในที่สุด โดยในงานวิจัยนี้หลอดแฟลชที่ใช้เป็นชนิดที่ใช้การกระตุ้นจากภายนอกหลอด ซึ่งมีขั้วสำหรับการใช้งานเพียงสองขั้ว ลักษณะรูปร่างเป็นเส้นตรงยาวทรงกระบอกขนาดความยาว 100 มิลลิเมตรเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร

2.1.3 ตัวสะท้อนแสง เป็นแท่งโลหะกลวงที่มีผิวโค้งภายในเป็นรูปวงรี เคลือบด้วยโครเมียมและได้บรรจุแท่งผลึกนีโอติเมียมแก็กและหลอดแฟลชอยู่ในโดยหลอดแฟลชจะวางอยู่ที่จุดโฟกัสจุดหนึ่งของวงรี และแท่งผลึกนีโอติเมียมแก็กจะวางอยู่ที่อีกจุดโฟกัสหนึ่งของวงรี [2] ดังรูปที่ 1 เมื่อหลอดแฟลชปล่อยแสง แสงบางส่วนจะตกโดย

ตรงบนแท่งผลึกนีโอติเมียมแก็กและแสงส่วนที่เหลือจะตกไปยังตัวสะท้อนแสง แล้วแสงนั้นจะสะท้อนและตกลงบนแท่งผลึกนีโอติเมียมแก็ก



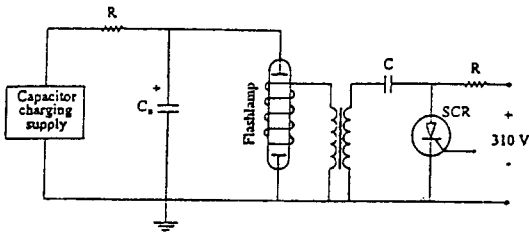
รูปที่ 1 การสะท้อนแสงจากหลอดแฟลชไปยังแท่งผลึกนีโอติเมียมแก็ก

2.1.4 กระจกเลเซอร์ กระจกเลเซอร์ที่ใช้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้วมีอยู่ด้วยกันสองส่วนคือส่วนที่เป็นกระจกหน้าและกระจกหลัง กระจกทั้งสองทำมาจากซิลิกาแล้วนำมาเคลือบด้วยสารไดอิเล็กทริก โดยกระจกหน้าสามารถสะท้อนแสงได้ 75% ส่วนที่เป็นกระจกหลังสามารถสะท้อนแสงได้ 100% โดยมีรัศมีความโค้ง 3 เมตร

การจัดวางตำแหน่งของกระจกหน้าและกระจกหลังจะจัดให้อยู่ในระดับเดียวกับแท่งผลึกนีโอติเมียมแก็ก โดยที่กระจกทั้งสองจะต้องวางตัวอยู่ในแนวเส้นตรงที่ขนานตามความยาวของแท่งผลึกนีโอติเมียมแก็ก สำหรับระยะของผิวหน้ากระจกจะต้องตั้งฉากกับแนวเส้นตรงที่ลากผ่านกระจกทั้งสอง แสงที่เกิดจากการกระตุ้นแท่งผลึกนีโอติเมียมแก็กด้วยไฟแฟลชจะถูกปล่อยออกมาที่ปลายทั้งสองข้างของแท่งผลึกนีโอติเมียมแก็ก และจะเกิดการสะท้อนไปมาระหว่างกระจกทั้งสองทำให้เกิดการกระตุ้นแท่งผลึกนีโอติเมียมแก็กเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีการปล่อยแสงเลเซอร์ออกมาทางกระจกหน้า

2.1.5 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงดันสูง ทำหน้าที่ในการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่หลอดแฟลชซึ่งเป็นแบบการอัดประจุ

ให้ตัวเก็บประจุ แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสามารถให้ค่าความต่างศักย์ประมาณ 1,050 โวลต์ [3] โดยมีวงจรดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 วงจรของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงดันสูง

โดยหลักการทำงานของหลอดแฟลชจะทำงานในแบบพัลส์ คือจะมีระยะเวลาในการคิดสว่างสั้นเป็นจังหวะ ในสภาวะปกติหลอดแฟลชจะมีความต้านทานภายในสูง ดังนั้นในการกระตุ้นให้หลอดแฟลชทำงานจำเป็นต้องใช้ความต่างศักย์ระหว่างขั้วหลอดสูง พลังงานที่จ่ายให้แก่หลอดแฟลชจะได้มาจากตัวเก็บประจุหลัก (C_0) โดยมีขั้นตอนการทำงานคือวงจร Capacitor Charging Supply เป็นตัวอัดประจุให้แก่ตัวเก็บประจุหลัก เมื่อตัวเก็บประจุหลักถูกอัดประจุเต็ม วงจร Capacitor Charging Supply จะหยุดจ่ายกำลังไฟฟ้า แต่ขณะนี้หลอดแฟลชยังไม่สามารถติดได้จำเป็นต้องมีการกระตุ้นด้วยแรงดันไฟฟ้าสูง โดยในการกระตุ้นนี้จะมีหม้อแปลงแปลงค่าความต่างศักย์ให้มีค่าสูงขึ้น ในการกระตุ้นแต่ละครั้งจะต้องมีสัญญาณควบคุมป้อนให้แก่ SCR เมื่อ SCR ได้รับสัญญาณก็จะนำกระแสทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่ขดปฐมภูมิและส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าสูงที่ขดทุติยภูมิและเส้นลวดที่พันรอบๆ หลอดแฟลช ขณะนี้หลอดแฟลชมีสภาวะที่จะนำกระแสได้ เนื่องจากมีแรงดันไฟฟ้าสูงอยู่รอบๆ หลอดแฟลชทำให้เกิดการแตกตัวของก๊าซภายในหลอดแฟลชและทำให้ตัวเก็บประจุสามารถที่จะคายประจุได้จึงทำให้หลอดแฟลชติดสว่าง

2.1.6 ระบบระบายความร้อน เป็นระบบที่ใช้ น้ำ ระบายความร้อนที่เกิดขึ้นรอบๆ หลอดแฟลช ,แท่งผลึก นิโอติเมียมแอกไซด์และตัวสะท้อนแสง เพื่อไม่ให้เกิดความร้อนสูง ความร้อนนี้เกิดมาจากแสงของหลอดแฟลชและ

กระบวนการในการเกิดเลเซอร์ที่แท่งผลึกนิโอติเมียมแอกไซด์ โดยระบบระบายความร้อนนี้เป็นระบบปิดที่ประกอบด้วย ปั๊มน้ำ, ตัวแลกเปลี่ยนความร้อน, แท็งค์เก็บน้ำและระบบควบคุมอุณหภูมิ เพื่อให้ให้น้ำมีอุณหภูมิในช่วง 20-22 องศาเซลเซียส

2.2 เครื่องวัดกำลังของเลเซอร์ ประกอบด้วยส่วนสำคัญดังต่อไปนี้

2.2.1 ชุดวัดพลังงานของเลเซอร์ โดยมีชุดหัววัดพลังงานของเลเซอร์ ซึ่งเป็นแบบแคลอริมิเตอร์ สามารถวัดพลังงานได้สูงสุด 2 จูลน์ และมีชุดแปลงค่าสัญญาณที่ได้มาจากหัววัดออกมาเป็นค่าตัวเลข

2.2.2 ชุดหัววัดช่วงเวลาในการเกิดเลเซอร์ โดยนำสัญญาณที่ได้จากหัววัดมาต่อเข้ากับออสซิลโลสโคปที่สามารถพิมพ์กราฟได้

2.2.3 ออสซิลโลสโคป เป็นอุปกรณ์ที่ได้รับสัญญาณจากหัววัดช่วงเวลาในการเกิดเลเซอร์และสามารถแสดงผลทางเครื่องพิมพ์ได้

2.2.4 แผ่นแยกแสงเลเซอร์ มีหน้าที่ในการแยกแสงเลเซอร์ออกเป็นสองส่วน โดยแสงส่วนมากจะผ่านแผ่นแยกแสงเลเซอร์และมีแสงส่วนน้อยสะท้อนไปยังหัววัดช่วงเวลาในการเกิดเลเซอร์

3. การทดลองและผลการทดลอง

นำอุปกรณ์ต่างๆ มาจัดเตรียมไว้ดังรูปที่ 3 ทำการต่อแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงดันสูงให้แก่หลอดแฟลชโดยจ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นช่วงๆ เพื่อเป็นการกระตุ้นแท่งผลึกนิโอติเมียมแอกไซด์ให้ปล่อยแสงเลเซอร์ออกมาและปรับเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าที่ค่าต่างๆ แล้วกระตุ้นหลอดแฟลชให้ทำงานโดยในช่วงนี้ก็ทำการเก็บค่าพลังงานของเลเซอร์รวมทั้งช่วงเวลาในการเกิดเลเซอร์และนำผลการทดลองที่ได้มาแสดงเป็นตารางที่ 1

เปอร์เซ็นต์ โดยระบบเลเซอร์นี้เมื่อนำไปพัฒนาทางด้าน
หลังงานงานให้สูงและลดช่วงเวลาในการเกิดเลเซอร์ให้
มีค่าลดลง แล้วจึงสามารถนำไปประยุกต์ในงานแกะสลัก
ชิ้นงานได้ โครงการวิจัยนี้ได้รับผลสำเร็จเป็นที่น่าพอ
ใจซึ่งจะเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป

5.เอกสารอ้างอิง

- [1] R.C.Crafer, "Laser Processing in Manufacturing",
pp67-90. Chapman&Hall, London, 1993.
- [2] Walter Koechner, "Solid-State Laser Engineering",
pp.275-434. Springer-Verlag, New York, 1992.
- [3] Yu. Lyubavsky and V.Ovchinnikov, "Solid-State
Laser Technology", pp.181-198. Mir Publishers,
Moscow, 1975.



วารสารวิจัยและพัฒนา

สจธ.

ปีที่ 20 ฉบับที่ 2 ธันวาคม 2550



KMUTT RESEARCH AND DEVELOPMENT JOURNAL

VOL. 20, NO. 2 December 2007

ISSN 0257-2718

บทความวิจัย

การประยุกต์วิธีการควบคุมการป้อนกลับตัวแปรสถานะใช้ในกระบวนการหมัก คัพเค้ก ถั่วพืชน์ และ เอก ไฮสวัตตี้	1
การศึกษาและสร้างคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวาง ที่ความดันบรรยากาศ วิธีร์ ศรีมงคล กอบชัย เดชหาญ และ ศิเชษฐ สิมสุวรรณ	22
การศึกษาและการสร้างนีโอดีเมียมแย็กเลเซอร์ ศิเชษฐ สิมสุวรรณ ประภาส ไทรสุวรรณ และ ชนม์เจริญ กิทยสุวรรณ	31
เรซินกำจัดโลหะหนักคัดแปลงจากยางธรรมชาติ เพลินพิศ บุชาธรรม และ ประวีณา ศิริระ	39
การทำให้บริสุทธิ์และคุณสมบัติของเอนไซม์ Lactate Dehydrogenase จากเชื้อกลายพันธุ์ <i>Rhizopus oryzae</i> วรพจน์ สุนทรสุข และ วาย ดี แสง	53
ผลของอายุตะกอนต่อการบำบัดฟอสฟอรัสโดยใช้ออกซิเจนหรือไนเตรด เฉลิมราช วันทวิง และ วาสนา พิธรรมนงศ์สิน	63
การทดสอบการประมาณข้อมูลโดยใช้การแปลงเวฟเล็ตเต็มหน่วยเทียบกับการแปลง โคซายน์เต็มหน่วย มานิตย์ เกียรติกำจายขจร ประภากร สุวรรณะ และ มนัส สังวารศิลป์	79

การศึกษาและการสร้างนีโอดิเมียมแย็กเลเซอร์

พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ¹

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ประภาส ไพรสุวรรณ² และ ชนม์เจริญ กิพย์สุวรรณ³

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ระบบนีโอดิเมียมแย็กเลเซอร์ (Neodymium YAG Laser System) ที่สร้างเป็นเลเซอร์ชนิดของแข็ง ซึ่งให้แสงเลเซอร์เป็นพัลส์ที่มีความยาวคลื่น 1.064 ไมครอน ระบบเลเซอร์ที่สร้างนี้ใช้แท่งผลึกนีโอดิเมียมแย็กเป็นทรงกระบอกที่มีความยาว 100 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร หลอดแฟลชเป็นหลอดยาว 100 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร แท่งผลึกนีโอดิเมียมแย็กและหลอดแฟลชจะติดตั้งอยู่ ณ แนวโฟกัสสองแนว ภายในแท่งโลหะกลวง ซึ่งมีผิวโค้งเป็นรูปวงรีและถูกชุบด้วยโครเมียมให้มันเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนแสงไปยังแท่งผลึกนีโอดิเมียมแย็ก ในการทำงานหลอดแฟลชจะถูกกระตุ้นด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 1,000 โวลต์ แสงเลเซอร์ที่ได้มีพลังงาน 140 มิลลิจูลต่อพัลส์และมีการทำงานสูงสุด 3.5 กิโลวัตต์ ในการทดลองนี้ได้มีการนำเอาแสงเลเซอร์ไปยังลงบนชิ้นงานที่เป็นเหล็ก ซึ่งผลที่ได้ออกมาทำให้ชิ้นงานเป็นหลุมลึกลงไปประมาณ 1 มิลลิเมตร และมีความกว้าง 0.75 มิลลิเมตร

¹ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

³ นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

A Study and Construction of Neodymium YAG Laser

Pichet Limsuwan ¹

King Mongkut's Institute of Technology Thonburi.

Prapard Prisuwan ² and Chonjaraun Tipsuwan ³

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.

Abstract

The constructed neodymium YAG laser system is a pulsed solid-state laser which emits the laser pulse at the wavelength of 1.064 micron. The laser system consists of a Nd:YAG crystal rod with a length of 100 mm. and a diameter of 8 mm. The Nd:YAG crystal rod is pumped by a flashlamp with a length of 100 mm. and a diameter of 8 mm. The crystal rod and the flashlamp are placed at each of two focal lines of hollow cylindrical reflector with elliptic surface and coated with chromium for high reflectivity. The flashlamp is excited by a dc high voltage of 1,000 V. The laser output energy and the laser peak power obtained from this laser system are 140 mJ/pulse and 3.5 kW, respectively. In this experiment, by shooting the laser on a metal plate face, the result showed that a small hole having approximately 1 mm. in depth and 0.75 mm. in width was occurred on the metal plate.

¹ Associate Professor, Department of Physics .

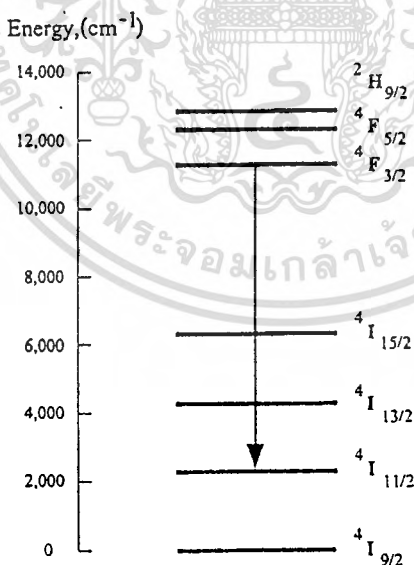
² Assistant Professor, Department of Electrical Engineering .

³ Graduate Student , Department of Electrical Engineering.

บทนำ

นีโอดีเมียมแยกเลเซอร์ได้ถูกสร้างขึ้นครั้งแรกโดย Geusic และคณะในปี ค.ศ. 1964 [1] โดยใช้แท่งผลึกนีโอดีเมียมแยกเป็นตัวกลางเลเซอร์ (laser medium) และใช้หลอดแฟลชเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดแสงเลเซอร์ เลเซอร์ที่ได้เป็นพัลส์ที่มีความยาวคลื่น 1.064 ไมครอน ซึ่งเป็นช่วงของรังสีความร้อน ในปัจจุบันนี้ได้มีการนำเอานีโอดีเมียมแยกเลเซอร์ไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ เกี่ยวกับทางด้านการแพทย์ เช่นการผ่าตัด ทางด้านอุตสาหกรรมได้มีการนำไปใช้ในการตัดเจาะแผ่นโลหะและวัสดุอื่นๆ จึงเห็นได้ ว่านีโอดีเมียมแยกเลเซอร์มีความสำคัญอย่างมากในโลกปัจจุบัน

ผลึกนีโอดีเมียมแยกได้มาจากการนำเอานีโอดีเมียมไอออน (Nd^{3+}) ใส่เข้าไปเป็นสารเจือปน (impurity) ในยทเทรียมอลูมิเนียมแกเรต (Yttrium Aluminium Garnet ; $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$) [2] การกระตุ้นแท่งผลึกนีโอดีเมียมแยกทำได้โดยการใช้หลอดแฟลชที่บรรจุแก๊สซีนอน (xenon flashlamp) ที่มีความเข้มแสงสูง โดยที่แท่งผลึกนีโอดีเมียมแยกมีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงในย่านความถี่หลายๆ ช่วงของสเปกตรัมที่หลอดแฟลชปล่อยออกมา ระดับพลังงานของนีโอดีเมียมแยกเลเซอร์เป็นแบบ 4 ระดับพลังงาน (four level laser system) อะตอมของนีโอดีเมียมที่ฝังตัวอยู่ในโครงผลึกยทเทรียมอลูมิเนียมแกเรต เมื่อได้รับพลังงานจากหลอดแฟลชจะถูกกระตุ้นไปสู่ระดับพลังงานที่สูงขึ้นและลดลงมาสู่ระดับพลังงาน $^4\text{F}_{3/2}$ แล้วเกิดการปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการกระตุ้นระหว่างระดับพลังงาน $^4\text{F}_{3/2}$ กับระดับ $^4\text{I}_{11/2}$ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงระดับชั้นพลังงานของนีโอดีเมียมแยกเลเซอร์

ในบทความนี้ได้นำเสนอการสร้างระบบนีโอดีเมียมแย็กเลเซอร์ โดยพลังงานของแสงเลเซอร์ที่ได้ออกมาในหนึ่งพัลส์มีค่าเท่ากับ 140 มิลลิจูลน์ และกำลังงานสูงสุด 3.5 กิโลวัตต์ ในส่วนของการทดลองได้มีการนำเอาแสงเลเซอร์มายิงลงบนชิ้นงานที่เป็นเหล็กพบว่าทำให้ชิ้นงานเป็นหลุม ซึ่งสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานแกะสลักผิวได้

อุปกรณ์และวิธีการ

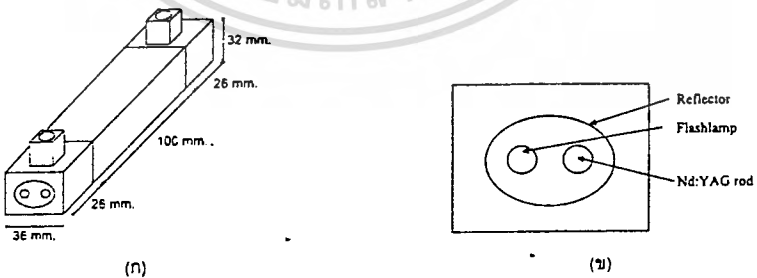
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้มี 2 ส่วนสำคัญคือระบบนีโอดีเมียมแย็กเลเซอร์ที่สร้างและชุดเครื่องวัดกำลังของแสงเลเซอร์

1. ระบบนีโอดีเมียมแย็กเลเซอร์มีส่วนประกอบสำคัญ 6 ส่วนคือ

1.1 แท่งผลึกนีโอดีเมียมแย็ก เป็นแท่งทรงกระบอกที่มีความยาว 100 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร

1.2 หลอดแฟลช เป็นแบบยาวบรรจุด้วยแก๊สซีนอน ขนาดความยาวของหลอด 100 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร

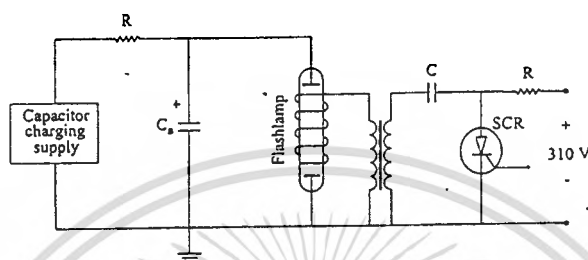
1.3 ตัวสะท้อนแสง เป็นแท่งโลหะกลวงที่มีผิวโค้งภายในเป็นรูปวงรีเคลือบด้วยโครเมียม โดยได้บรรจุแท่งผลึกนีโอดีเมียมแย็กและหลอดแฟลชอยู่ใน หลอดแฟลชจะวางอยู่ที่จุดโฟกัสจุดหนึ่งของวงรีและแท่งผลึกนีโอดีเมียมแย็กจะวางอยู่ที่อีกจุดโฟกัสหนึ่งของวงรี [3] ดังรูปที่ 2 เมื่อหลอดแฟลชติดแสงบางส่วนจะตกโดยตรงบนแท่งผลึกนีโอดีเมียมแย็กและบางส่วนไปตกบนผิวสะท้อนแสงแล้วจะไปรวมกันบนแท่งผลึกนีโอดีเมียมแย็ก ในส่วนของด้านหัวและด้านท้ายของตัวสะท้อนแสงจะเป็นแผ่นอลูมิเนียมปิดอยู่ โดยจะเจาะรู 2 รูเพื่อทำให้แท่งผลึกนีโอดีเมียมแย็กและหลอดแฟลชลอดผ่าน



รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างของนีโอดีเมียมแย็กเลเซอร์

1.4 กระจกเลเซอร์ ประกอบด้วยกระจกหน้าและกระจกหลังซึ่งกระจกหน้าสามารถสะท้อนแสงได้ 75 เปอร์เซ็นต์ส่วนกระจกหลังสามารถสะท้อนแสงได้ 100 เปอร์เซ็นต์ที่มีความยาวคลื่น 1.064 ไมครอน

1.5 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงดันสูง สำหรับหลอดแฟลชทำหน้าที่ในการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ หลอดแฟลชแบบการอัดประจุให้ตัวเก็บประจุ แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้านี้สามารถจ่ายค่าความต่างศักย์ได้ประมาณ 1,000 โวลต์ โดยมีวงจรดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงวงจรกระตุ้นหลอดแฟลช

การทำงานของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่หลอดแฟลช จะทำงานเป็นแบบพัลส์มีความถี่ของการทำงาน 1 พัลส์ต่อวินาที โดยมีวงจร Capacitor Charging Supply เป็นตัวอัดประจุให้กับตัวเก็บประจุ (C_c) เมื่อตัวเก็บประจุถูกอัดประจุเต็ม Capacitor Charging Supply จะหยุดจ่ายกำลังไฟฟ้า แต่ขณะนี้หลอดแฟลชยังไม่สามารถติดได้จำเป็นต้องมีการกระตุ้นด้วยแรงดันไฟฟ้าสูง (External trigger) โดยการกระตุ้นนี้จะมีหม้อแปลงแปลงค่าความต่างศักย์ให้มีค่าสูงขึ้น ในการกระตุ้นแต่ละครั้งจะต้องมีสัญญาณควบคุมป้อนให้แก่ SCR เมื่อมีสัญญาณป้อนให้แก่ SCR SCR ก็จะนำกระแสทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่ขดปฐมภูมิ และส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าสูงที่ขดทุติยภูมิและเส้นลวดที่พันรอบ ๆ หลอดแฟลช ขณะนี้หลอดแฟลชมีสภาวะที่จะนำกระแสได้เนื่องจากมีแรงดันไฟฟ้าสูงอยู่รอบหลอดแฟลชทำให้เกิดการแตกตัวของแก๊สภายในหลอดแฟลชและทำให้ตัวเก็บประจุสามารถที่จะคายประจุได้ จึงทำให้หลอดแฟลชติด

1.6 ระบบระบายความร้อน เป็นตัวช่วยระบายความร้อนที่เกิดขึ้นรอบ ๆ หลอดแฟลช แท่งผลึกนี้โอดีเมียมแยมและผิวสะท้อนแสง เพื่อไม่ให้เกิดความร้อนสูง โดยความร้อนนี้เกิดมาจากแสงของหลอดแฟลชและกระบวนการในการเกิดเลเซอร์ที่แท่งผลึกนีโอดีเมียมแยม

2. ชุดเครื่องวัดกำลังของเลเซอร์

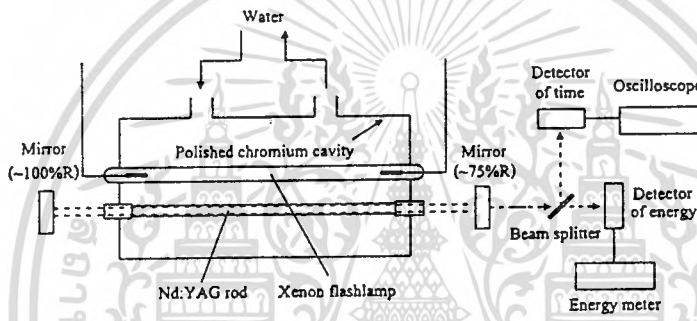
2.1 ชุดวัดพลังงานของเลเซอร์โดยมีชุดหัววัด ซึ่งเป็นแบบแคลลอรีมิเตอร์สามารถวัดพลังงานสูงสุดได้ 2 จูลน์ และมีชุดแปลงสัญญาณออกมาเป็นค่าตัวเลข

2.2 หัววัดช่วงเวลาในการเกิดของเลเซอร์ โดยนำสัญญาณที่ได้มาต่อเข้ากับออสซิลโลสโคปที่สามารถพิมพ์กราฟได้

2.3 ออสซิลโลสโคปที่สามารถพิมพ์กราฟได้

2.4 แผ่นแยกแสงเลเซอร์ มีหน้าที่ในการแยกแสงเลเซอร์ออกเป็น 2 ส่วน โดยแสงส่วนมากจะผ่านแผ่นแยกแสงเลเซอร์ และมีแสงส่วนน้อยสะท้อนไปยังหัววัดช่วงเวลาในการเกิดเลเซอร์

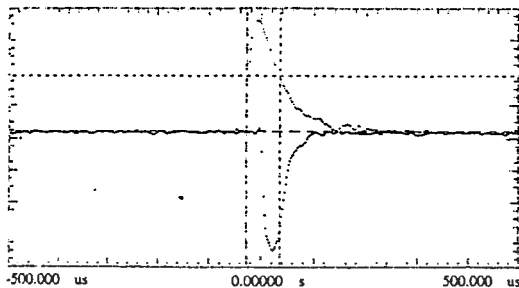
นำอุปกรณ์มาจัดเตรียมไว้ดังรูปที่ 4 ทำการต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้แก่หลอดแฟลชและจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่หลอดแฟลชเป็นช่วงๆ เพื่อเป็นการกระตุ้นแท่งผลึกนีโอดีเมียมแยกให้ปล่อยแสงเลเซอร์ออกมา วัดค่าพลังงานของแสงเลเซอร์และช่วงเวลาในการเกิดเลเซอร์ แล้วคำนวณหาค่ากำลังเป็นวัตต์ของแสงเลเซอร์ต่อหนึ่งพัลส์



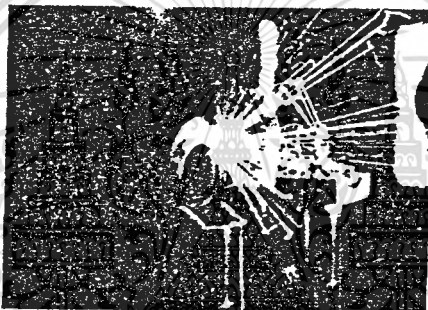
รูปที่ 4 แสดงระบบนีโอดีเมียมแยกเลเซอร์และการวางเครื่องมือวัด

ผลการทดลอง

จากการทดลองวัดค่าพลังงาน ความกว้างพัลส์ของแสงเลเซอร์และพัลส์ของหลอดแฟลช ดังรูปที่ 5 กราฟส่วนบนจะเป็นพัลส์ของหลอดแฟลช ส่วนล่างเป็นพัลส์ของแสงเลเซอร์ จากการทดลองพบว่าช่วงเวลาที่เกิดเลเซอร์มีค่าเท่ากับ 40×10^{-6} วินาทีและค่าพลังงานของเลเซอร์มีค่าเท่ากับ 140 มิลลิจูลต่อพัลส์ โดยกำลังงานสูงสุดเท่ากับ 3.5 กิโลวัตต์ในกราฟส่วนบนจะเป็นกราฟของหลอดแฟลช ซึ่งช่วงเวลาในการเกิดแสงแฟลชจะมีค่าเท่ากับ 64×10^{-6} วินาที ความสัมพันธ์ของพัลส์จากหลอดแฟลชกับพัลส์จากเลเซอร์เกิดขึ้นไม่พร้อมกันเนื่องมาจากนีโอดีเมียมแยกเลเซอร์เป็นเลเซอร์ที่เกี่ยวข้องกับ 4 ระดับพลังงาน ขบวนการในการเกิดเลเซอร์จะเกิดระหว่างระดับชั้นที่ 3 กับระดับชั้นที่ 2 แต่ในการกระตุ้นจะกระตุ้นอะตอมไปสู่ระดับชั้นที่ 4 แล้วอะตอมเหล่านั้นก็จะตกจากระดับชั้นที่ 4 ลงมาระดับชั้นที่ 3 ในขั้นนี้เองทำให้สัญญาณทั้งสองเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน ซึ่งต่างกันประมาณ 50×10^{-6} วินาที ส่วนในรูปที่ 6 แสดงการนำเอาเนโอดีเมียมแยกเลเซอร์ ยังไปยังชิ้นงานที่เป็นเหล็กโดยผ่านเลนส์เพื่อเป็นการโฟกัสแสงเลเซอร์ เลนส์ที่ใช้มีทางยาวโฟกัส 3 นิ้ว ลำแสงเลเซอร์ที่ออกมาเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร เมื่อผ่านเลนส์และตกลงบนชิ้นงานจะทำให้ชิ้นงานเป็นหลุมลึกลงไปประมาณ 1 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.75 มิลลิเมตร



รูปที่ 5 แสดงพัลส์ของนีโอดีเมียมแย็กเลเซอร์และหลอดแฟลช



รูปที่ 6 แสดงการนำเลเซอร์ยิงลงบนชิ้นงานที่เป็นเหล็กโดยผ่านเลนส์

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองของโครงการวิจัยนี้สามารถให้กำลังวัตต์ของนีโอดีเมียมแย็กเลเซอร์สูงสุดเท่ากับ 3.5 กิโลวัตต์ต่อพัลส์ ซึ่งสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานอุตสาหกรรมการแกะสลักโดยมีความละเอียดแม่นยำมากกว่าเครื่องมือชนิดอื่น ขนาดกำลังวัตต์ที่ได้จากโครงการวิจัยนี้สามารถที่จะปรับปรุงให้ได้กำลังวัตต์สูงขึ้นได้จากการเพิ่มความเข้มแสงที่หลอดแฟลชปล่อยออกมา โดยการปรับปรุงแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่หลอดแฟลชให้จ่ายกำลังได้สูงขึ้น ทำการเปลี่ยนขนาดของผลึกนีโอดีเมียมแย็กให้มีขนาดใหญ่ขึ้น และทำการปรับปรุงพัลส์ของเลเซอร์ให้มีพลังงานสูงขึ้นขณะที่พัลส์ของเลเซอร์แคบลงโดยใช้เทคนิค Q-switch โครงการวิจัยนี้ได้รับผลสำเร็จเป็นที่น่าพอใจซึ่งจะเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคตอันใกล้

เอกสารอ้างอิง

1. Shimoda, K., 1988, *Introduction to Laser Physics*, Springer-Verlag, Berlin, pp.115-158.
2. Crafer, R.C. ,1993, *Laser Processing in Manufacturing*, Chapman & Hall, London, pp.67-90.
3. Walter, K., 1982, *Solid-State Laser Engineering*, Springer-Verlag, Berlin, pp.275-380.



ประวัติผู้เขียน

นายชนม์เจริญ ทิพย์สุวรรณ เกิดเมื่อวันที่ 1 มกราคม 2516 ที่จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาวិทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่อปีการศึกษา 2536 สำเร็จการศึกษาศิลปศาสตรบัณฑิต สาขารัฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ปีการศึกษา 2538 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2537 มีผลงานวิชาการที่ได้รับการยอมรับและตีพิมพ์นอกเหนือจากวิทยานิพนธ์จำนวน 2 เรื่อง คือ การศึกษาและสร้างนิโอดีเมียมแอ็กเลเซอร์และการสร้างนิโอดีเมียมแอ็กเลเซอร์แบบพัลส์ ประสบการณ์การทำงาน วิศวกรไฟฟ้า บริษัท ที.รีช. อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด และปัจจุบันดำรงตำแหน่ง เจ้าหน้าที่วิจัยระดับ 4 ศูนย์บริการและพัฒนาวิศวกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง