

รายงานการวิจัย

การวิจัยและพัฒนาระบบคิวสวิตช์เลเซอร์

(Research and Development of Q-switched Laser System)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ศาสตราจารย์ ดร. วุฒิ พันธมนาวิน

สาขาวิชาเทคโนโลยีเลเซอร์และโฟตอนิกส์

สำนักวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีปีงบประมาณ พ.ศ. 2538

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กันยายน 2543

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนินการวิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้เล็งเห็นความสำคัญให้การสนับสนุนในการวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีขั้นสูง โดยได้มอบทุนอุดหนุนการวิจัยแก่ผู้วิจัย ประจำปี พ.ศ. 2538/39 จนทำให้การวิจัยสำเร็จลงด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สาขาวิชาเทคโนโลยีเลเซอร์และฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ได้ให้การสนับสนุนจนรายงานนี้สำเร็จได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้เป็นอย่างยิ่ง

(ศาสตราจารย์ ดร. วุฑฒิ พันธุมนาวิณ)

หัวหน้าโครงการวิจัย

กันยายน 2543

บทคัดย่อ

ระบบควิวิตซ์เลเซอร์ที่ใช้แท่งผลึก Nd:YAG ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง $\varnothing = 6$ มม. และยาว 75 มม. เป็นตัวผลิตแสงเลเซอร์ได้ถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นสำเร็จเป็นครั้งแรก หัวเลเซอร์ทำด้วยทองเหลือง ผิวในซุบด้วยทอง โดยมีลักษณะของผิวสะท้อนแสงของหัวเลเซอร์เป็นแบบ Closed coupling แท่งผลึก Nd:YAG และหลอดแฟลชแลมป์ วางขนานกันอยู่ กระจกปิดหัวท้ายเลเซอร์คาร์ติประกอบด้วยกระจก M_1 มีค่าสะท้อนแสงกลับ $R_1 = 100\%$ และกระจก M_2 มีค่าสะท้อนแสงกลับ $R_2 = 80\%$ รัศมีความโค้งของ M_1 และ M_2 เป็น $r_1 = r_2 = 5000$ มม. ระยะทางระหว่าง M_1 และ M_2 มีค่าเท่ากับ 340 มม. ได้มีการสร้างเครื่องจ่ายกำลังที่ให้กระแสไฟตรง 0-20 มิลลิแอมแปร์ และศักดา 0-3000 โวลต์ เพื่อจ่ายกำลังให้กับหลอดแฟลชแลมป์ แสงเลเซอร์ที่ได้เป็นแบบควิวิตซ์พัลส์ มีโพลาไรเซชันเป็นแบบเร้นคอม และมีพลังงานสูงสุดเท่ากับ 768 มิลลิจูล (mJ) ซึ่งได้ผลเป็นไปตามที่กำหนดไว้อย่างดี

Abstract

A Nd:YAG laser system operated in Q-switched pulse was designed and developed. The laser head had a closed coupling type cavity in which the Nd:YAG rod of diameter $\varnothing = 6$ mm with length of 75 mm was in parallel to a linear flashlamp. The surface of the laser head cavity was gold coated for better reflection. The laser cavity was formed by end mirrors of M_1 and M_2 with reflectivities $R_1 = 100\%$ and $R_2 = 80\%$ at wavelength $\lambda = 1064$ nm, respectively. Radii of curvature of both mirrors were $r_1 = r_2 = 5000$ mm. The separation of M_1 and M_2 was 340 mm. A power supply was developed and supplied d.c. current of 0-20 mA and voltage of 0-3000 volts for flashlamp. The maximum laser energy output was measured to be 768 mJ with random polarization. The results were in agreement as planned.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.2 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
บทที่ 2. ทฤษฎี.....	4
2.1 หลักการเบื้องต้นของเลเซอร์.....	4
2.1.1 วัสดุที่เป็นแหล่งกำเนิดเลเซอร์.....	5
2.1.2 Einstein Relation.....	7
2.1.3 เลเซอร์พัม핑.....	10
2.1.4 ออฟติคัลเรโซเนเตอร์.....	13
2.2 ระบบนิโอดิเมียมเยกเลเซอร์.....	16
2.3 คิววิตซ์เลเซอร์พัลส์.....	18
2.3.1 หลักการและวิธีการผลิตคิววิตซ์เลเซอร์พัลส์.....	18
2.3.2 อิเล็กโทรออฟติคัลชัตเตอร์.....	19
บทที่ 3 การสร้างระบบเลเซอร์.....	22
3.1 การออกแบบหัวเซอร์.....	22
3.2 การออกแบบระบบจ่ายกำลัง.....	25
3.3 แห่งผลึกนิโอดิเมียมเยก.....	28
3.4 การจัดวางกระจกเลเซอร์.....	28
บทที่ 4 การทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล.....	30
4.1 เครื่องมือวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	30
4.1.1 กระจกเคลือบพิเศษ.....	30

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.2 เครื่องวัดพลังงาน (Energy meter)	30
4.1.3 ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)และเครื่องถ่ายภาพ โพลารอยด์	31
4.1.4 โฟโตไดโอด (Photodiode)	31
4.2 การจัดวางระบบคิววิตท์เลเซอร์.....	31
4.3 การวัดกำลังของแสงเลเซอร์ที่ออกมา.....	32
4.4 การวัดเสปคตรัมของแสงแฟลชแลมป์.....	34
4.5 รอยเผาไหม้ (Burnt Pattern) ของแสงเลเซอร์.....	35
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและพัฒนา.....	38
บรรณานุกรม	39
ภาคผนวก	41
ภาคผนวก ก	42
ภาคผนวก ข	43
ประวัติผู้เขียน	44

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. ข้อมูลการวัดค่าพลังงานของเลเซอร์	42

สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ค่าระดับพลังงานของอะตอม.....	5
2.2 แสดงการเปลี่ยนค่าระดับพลังงาน (Atomic transition) ในรูปแบบต่างๆ ที่เกิดขึ้นในอะตอม	6
2.3 แสดงถึงการเพิ่ม/ลดของความเข้มของแสงเมื่อผ่านเนื้อสาร.....	9
2.4 แสดงจำนวนอะตอมที่มีค่าระดับพลังงาน E_i, E_j	11
2.5 แสดงหลักการเกิดเลเซอร์แบบสามระดับและแบบสี่ระดับ (Three Level and Four Level Lasers)	12
2.6 แสดงการจัดระบบเลเซอร์ที่ประกอบด้วยเลเซอร์มีเดียมและเรโซเนเตอร์ควาวิตี.....	13
2.7 แสดงการจัดเรโซเนเตอร์ควาวิตี.....	15
2.8 แสดงการจัดวางเรโซเนเตอร์ควาวิตีแบบต่าง ๆ.....	16
2.9 แสดงระดับพลังงานของ Nd:YAG และการเกิดแสงเลเซอร์จากการเปลี่ยน ระดับพลังงาน ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$	17
2.10 แสดงสเปกตรัมของ Nd:YAG บริเวณย่านใกล้เคียง $\lambda = 1.064 \mu m$	17
2.11 แสดงการใช้วิธีอิเล็กโทรออปติก (Electrooptics) จากพอคเคิลเซลล์ (Pockel cell) เพื่อการเกิดควิวิตีเลเซอร์พัลส์	21
3.1 แสดงการจัดวางระบบ Nd:YAG เลเซอร์ พร้อมเครื่องจ่ายกำลัง	23
3.2 แสดงรูปแบบของเลเซอร์ควาวิตีและตำแหน่งที่จะใส่แฟลชแลมป์และแท่ง ผลึกนีโอไดมีียม	24
3.3 แสดงแสดงวงจรไฟฟ้าทั้งหมดของระบบจ่ายกำลัง (Power supply)	26
3.4 แสดงการจ่ายกระแสไฟตรงจากตัวเก็บประจุ (Capacitor) ไปยังแฟลชแลมป์ เป็นไปแบบ Critical damp discharge	27
3.5 แสดงขนาดและการวางตัวของผลึกในแท่งนีโอไดมีียมแยก.....	28
3.6 แสดงจัดวางกระจก M_1 และ M_2 ของออฟติคอลเรโซเนเตอร์ $L = 340$ มิลลิเมตร	29
4.1 แสดงการจัดวางระบบควิวิตีเลเซอร์โดยมี Pockel cell.....	31

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 แสดงการจับวางเครื่องมือในการวัดพลังงาน (Energy) ของระบบเลเซอร์ ที่ออกมาจากแท่งผลึก Nd:YAG.....	32
4.3 ความสัมพันธ์ของกำลังเลเซอร์ (Laser power output) กับศักดาไฟฟ้าของ เครื่องจ่ายกำลัง	33
4.4 แสดงการจับวางเครื่องมือเพื่อการวัดเสปคตรัมของแสงแฟลชแลมป์.....	34
4.5 แสดงเสปคตรัมของแสงแฟลชแลมป์.....	35
4.6 แสดงการจับวางเครื่องมือเพื่อการถ่ายภาพ Laser Spikes และการดู รอยเผาไหม้ (Burnt Pattern)	36
4.7 แสดงรอยเผาไหม้ (Burnt Pattern) ของแสงเลเซอร์บน โพลารอยด์ฟิล์ม.....	36

บทที่ 1

บทนำ

แสงเลเซอร์ (LASER) เป็นลำแสงที่ได้มาจากขบวนการทางฟิสิกส์ที่มีชื่อว่า Light Amplification by Stimulated Emission Radiation ลำแสงเลเซอร์ได้ถูกผลิตออกมาเป็นครั้งแรกจากรูบี้เลเซอร์ (Ruby Laser) โดย Maiman (1960) ในห้องปฏิบัติการ Hughes Research Laboratories ต่อมาได้มีการพัฒนาและค้นพบเลเซอร์แบบต่าง ๆ อีกมากมาย จนกระทั่งในปัจจุบันนี้นักวิทยาศาสตร์สามารถผลิตระบบ X-ray Laser (Robinson; 1984) ซึ่งมีศักยภาพสูงในการประยุกต์ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประวัติความเป็นมาในการพัฒนาและก่อให้เกิดการค้นพบแสงเลเซอร์นั้นย้อนหลังไปได้ประมาณ 83 ปีกล่าวคือ ในปี ค. ศ. 1917 Einstein ได้พบทฤษฎีของ Stimulated emission ในอะตอม ทฤษฎีของ Einstein นี้ต่อมาเป็นรากฐานสำคัญในการทำให้เกิด stimulated emission ในวัสดุและทำให้เกิดแสงเลเซอร์ขึ้น ในระยะระหว่างปี ค. ศ. 1900-1940 ได้มีการค้นคว้าและวิจัยเกี่ยวกับฟิสิกส์ของอะตอมและโมเลกุลมาก จนทำให้นักฟิสิกส์ทราบอย่างละเอียดเกี่ยวกับค่าระดับพลังงาน (Energy level) ของอะตอมและโมเลกุลมากพอที่จะสามารถนำมาใช้ทำให้เกิดเลเซอร์ได้ ต่อมาในช่วงปี ค. ศ. 1939-1945 ซึ่งเป็นระยะเวลาของสงครามโลกครั้งที่สอง นักวิทยาศาสตร์ได้ทุ่มความสนใจไปในด้านฟิสิกส์นิวเคลียร์ (Nuclear physics) และไมโครเวฟ (Microwave-radar) อย่างมากทำให้การพัฒนาเกี่ยวกับทางด้านแสงลดน้อยลง ต่อมาในปี ค. ศ. 1954 ได้มีการค้นพบเมเซอร์ (MASER-Microwave Amplification by Stimulated Emission Radiation) โดย J. P. Gordon et. al. (1954) เมเซอร์ทำงานโดยหลักการของ Stimulated emission โดยผลิตคลื่นแม่เหล็ก-ไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่น λ ในระดับไมโครเวฟ ต่อมา Schalow และ Towners (1958) ได้เสนอแนะแนวความคิดว่า หลักการของเมเซอร์ (Maser) นั้นสามารถดัดแปลงและทำให้เกิดคลื่น λ ในระดับที่ตามองเห็นได้ โดยเรียกขบวนการนี้ว่า "Optical maser" โดยการนำทางความคิดของ Schalow และ Towners ประกอบกับการเสนอแนะแนวทางใหม่ของระบบเมเซอร์ โดย Bloembergen (1956) Miman (1960) แห่งห้องปฏิบัติการวิจัยของบริษัท Hugh สหรัฐอเมริกา ได้สามารถผลิตลำแสงเลเซอร์จากรูบี้เลเซอร์ (Ruby

Laser) ได้สำเร็จเป็นครั้งแรก รูปีเลเซอร์ของ Maiman นั้นเป็นแบบ Solid state laser ได้ผลิตเลเซอร์ที่ความยาวคลื่น 694.3 nm และเลเซอร์ชนิดนี้ยังใช้ทำงานตลอดมาจนถึงปัจจุบัน

ระบบนีโอดีเมียมแยกละเซอร์ (Nd:YAG Laser) มีชื่อเต็มทางวิทยาศาสตร์คือ นีโอดีเมียมยิตเรียมอะลูมิเนียมการ์เนท (Neodymium Yttrium Aluminum Garnet) กล่าวคือ ธาตุ Nd เป็นส่วนที่เป็นอิมพริตีแผลงตัวอยู่ในแท่ง Yttrium Aluminum Garnet (YAG: $Y_3Al_5O_{12}$) Geusic และคณะ (1964) ได้ประสบผลสำเร็จเป็นครั้งแรกที่ใช้แท่ง Nd:YAG เป็นสารเลเซอร์ (Laser medium) ทำให้เกิดแสงเลเซอร์ที่ช่วงคลื่น $\lambda = 1064$ nm แสงเลเซอร์นี้เกิดจากประชากรผกผันของอะตอมนีโอดีเมียม โดยการกระตุ้นของแสงความเข้มสูงจากแฟลชแลมป์ที่บรรจุแก๊สซีนอน (Xenon flashlamp) ที่อุณหภูมิของห้องทดลอง ($T \cong 300^\circ K$)

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัยและพัฒนา

เนื่องจากบทบาทของ Nd:YAG Laser ได้มีอย่างกว้างขวางในวงการอุตสาหกรรม โดย Nd:YAG Laser ถูกนำไปใช้ในการตัด, เจาะ, เชื่อม และแอนนีลิ่ง (Annealing) โลหะและวัสดุต่างๆ ในวงการแพทย์ก็ใช้เลเซอร์ระบบนี้ในการผ่าตัดต้อตาและอวัยวะภายในช่องท้อง ตลอดจนทางด้านการทหารก็นำเลเซอร์ระบบนี้ไปใช้ในการวัดระยะทาง (Range finder) การส่องชี้เป้า (Target illumination) และการนำวิถีของจรวดแบบเลเซอร์บอมบ์ (Laser bomb)

ผู้วิจัยจึงตระหนักในความสำคัญและต้องการเรียนรู้และพัฒนาเทคโนโลยีของเลเซอร์ระบบนี้ให้เข้าใจดีขึ้นโดยใช้เทคโนโลยีภายในประเทศ จุดมุ่งหมายที่สำคัญคือ

1. เพื่อการพัฒนาและสร้างระบบ Nd:YAG เลเซอร์ โดยใช้เทคโนโลยีภายในประเทศ ทั้งนี้เพื่อการศึกษาระบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์และระบบทัศนศาสตร์ของเลเซอร์นี้ซึ่งเป็นความลับไม่สามารถหารายละเอียดได้ในวารสารหรือตำราจากต่างประเทศ โดยเป็นระบบควิสวิทซ์เลเซอร์ ให้พลังงานประมาณ 500 มิลลิจูล (mJ)

2. เพื่อศึกษาหาข้อมูลทางเทคนิคและประสบการณ์ซึ่งจะใช้เป็นการสร้างตัวต้นแบบต่อไป

3. ศึกษาขบวนการผลิตแสงเลเซอร์ระบบนี้ให้เข้าใจลึกซึ้งและนำมาประกอบการเรียนการสอนในหลักสูตรบัณฑิตศึกษาของสาขาวิชาเทคโนโลยีเลเซอร์ต่อไป

1.2 ขอบเขตของการวิจัยและพัฒนา

ในการวิจัยและพัฒนานี้กระทำในลักษณะของการออกแบบสร้างระบบเลเซอร์ โดยจะให้แสงเลเซอร์ที่กำลังปานกลางประมาณ 600 mJ แต่เป็นระบบที่ให้แสงเป็นช่วงๆ ซึ่งเรียกว่าพัลส์ (Pulse) ที่มี Peak power สูงเหมาะแก่การนำไปใช้งานทั่วไป ระบบเลเซอร์จะถูกสร้างพร้อมกับระบบเครื่องจ่ายกำลัง (Power supply) คุณสมบัติของแสงเลเซอร์ซึ่งจะมีพารามิเตอร์ต่างๆ จะถูกวัดตามขีดความสามารถของเครื่องมือที่มีอยู่

บทที่ 2

ทฤษฎี

ในการดำเนินการวิจัยและพัฒนาระบบนิโอดีเมียมแย์กเลเซอร์นี้จำเป็นต้องรู้ทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ระบบเลเซอร์ได้เกี่ยวข้องกับวิชาการและเทคโนโลยีขั้นสูง (Advanced technology) ดังนั้นในบทนี้ภาคทฤษฎีจึงแบ่งเป็นทฤษฎีและหลักการของเลเซอร์ ซึ่งมีหลักการใหญ่ที่จำเป็นที่สุดคือเรื่อง ประชากรผกผัน (Population inversion) ภายในเนื้อสารเลเซอร์ (Medium) นอกจากนี้ จะได้มีการแสดงทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องโดยเฉพาะของระบบ Nd:YAG เลเซอร์ ซึ่งจะเกี่ยวกับการเปลี่ยนค่าพลังงานของธาตุ นิโอดีเมียม (Nd) อะตอม (Atomic transition) หลักการจัดออปติคอลลาวิตี (Optical cavity) และเทคนิคต่างๆ

2.1 หลักการเบื้องต้นของเลเซอร์ (Basic Principal of Lasers)

ตามที่ได้กล่าวไว้ในบทนำแล้วว่าเลเซอร์มีหลายชนิด แต่โดยทั่วไปแล้วสามารถแยกออกเป็น Solid State Lasers, Gas Lasers และ Liquid Lasers (Dye Lasers, Chemical Lasers) โดยที่หลักการของเลเซอร์แบบต่างๆ นั้นอาศัย Amplified Stimulated Emission เป็นสำคัญ (Einstein, 1917; Yariv, 1989) อย่างไรก็ตามจะมีเลเซอร์บางชนิด (Nitrogen Laser, Free Electron Laser และ X-ray Laser) ซึ่งมีขบวนการผลิตเลเซอร์แตกต่างออกไป เลเซอร์เหล่านี้อาศัยหลักการ Amplified Spontaneous Emission ซึ่งผู้เขียนจะขอไม่กล่าวไว้ ณ ที่นี้ โดยจะเน้นที่ใช้ได้กับเลเซอร์ทั่วไป

องค์ประกอบที่สำคัญในการที่จะทำให้เกิดแสงเลเซอร์นั้นสามารถแยกออกได้เป็น 3 องค์ประกอบคือ

ก. วัสดุที่จะให้เกิด Amplified Stimulated Emission ในกรณีนี้โดยมากเราเรียกวัสดุนั้นว่า Active medium หรือสารเลเซอร์ (Laser medium)

ข. ขบวนการที่ทำให้เกิด Population inversion ในเนื้อของ Active medium ขบวนการนี้เรียกว่า Pumping

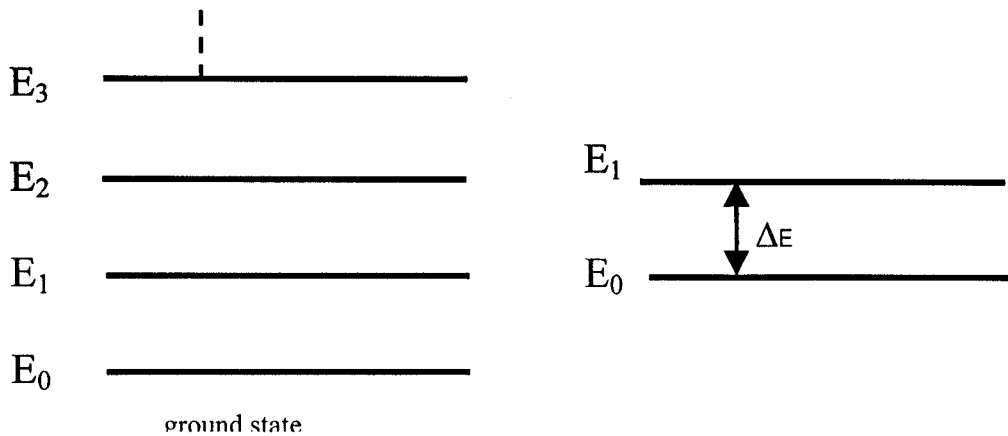
ค. ขบวนการที่จะทำให้เกิด Laser oscillation จนสามารถปลดปล่อยแสงเลเซอร์ออกมาได้ ขบวนการนี้จะต้องมีการป้อนกลับ (Feed back) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อที่จะก่อให้เกิดมีการขยายเพิ่ม (Amplification)

ความเข้มของ Stimulated emission จนสามารถทำให้เกิดการปลดปล่อยแสงเลเซอร์ได้ ขบวนการนี้เกี่ยวกับ Resonator หรือ Optical cavity

ขบวนการเหล่านี้มีรายละเอียดพอสรุปได้ดังนี้คือ

2.1.1 วัสดุที่จะใช้เป็นที่กำเนิดแสงเลเซอร์ (Active medium)

เมื่อพิจารณาค่าระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในธาตุ สารประกอบต่างๆ แล้วจะพบว่าค่าระดับพลังงาน (Energy level) ของอิเล็กตรอน ธาตุ และสารประกอบต่างๆ แบ่งออกเป็นช่วงๆ ตามแผนภาพ (รูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 ค่าระดับพลังงานของอะตอม

ความถี่ (ν) ของโฟตอน (Photon) ที่จะถูกปลดปล่อยหรือดูดกลืนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับของพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมเป็นไปตามทฤษฎีของ Neil Bohr ตามสมการที่ (2.1)

$$\Delta E = E_1 - E_0 = h\nu \quad (2.1)$$

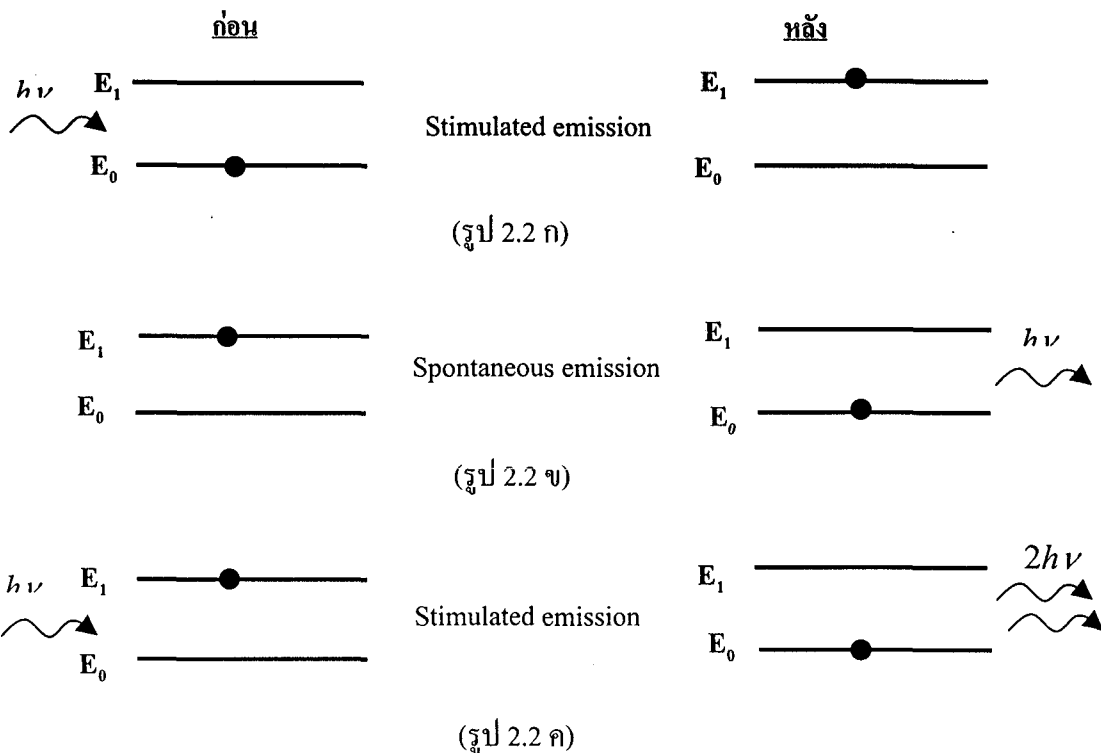
h = Planck's constant = 6.625×10^{-34} Joule-sec

ν = ความถี่ของโฟตอนที่จะถูกดูดกลืน/ปลดปล่อยจากการเปลี่ยนสภาวะระดับพลังงานหนึ่งไปยังอีกระดับหนึ่ง

ในการเปลี่ยนค่าระดับพลังงาน (Energy level) ของอิเล็กตรอนในอะตอมนั้นย่อมมีการปลดปล่อยโฟตอน (Photon) หรือดูดกลืนโฟตอน ทั้งนี้

จะต้องเป็นไปตามหลักการของ Selection rule ใน Quantum Mechanics ในการดูดกลืน (Absorption) และปลดปล่อย (Emission) ของโฟตอน ภายในอะตอมนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กระบวนการคือ

กระบวนการดูดกลืนโฟตอน (Stimulated absorption) กระบวนการนี้ อะตอมถูกกระตุ้น (Stimulated) โดยมีโฟตอนจากภายนอกมาทำให้อะตอมเปลี่ยนระดับพลังงานจากระดับต่ำ E_0 (Ground state) ไปสู่ระดับสูงขึ้น E_1 (Excited state) โดยขบวนการนี้อะตอมจะดูดกลืนโฟตอนที่มีค่าความถี่ตามสมการ (2.1) เข้าไว้ (ดูในรูป 2.2)



รูปที่ 2.2 แสดงการเปลี่ยนค่าระดับพลังงาน (Atomic transition) ในรูปแบบต่างๆ ที่เกิดขึ้นในอะตอม

กระบวนการปลดปล่อยโฟตอนแบบ Spontaneous emission กระบวนการนี้เมื่ออะตอมถูกกระตุ้นไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูง E_1 (Excited state) อะตอมนั้นที่อยู่ในระดับพลังงานนั้นได้ไม่นาน (ประมาณ 10^{-8} - 10^{-10} วินาที) ก็จะปลดปล่อยโฟตอนออกมา (Relaxation) และค่าระดับพลังงานจะลดลง ทำ

ให้อะตอมกลับมาอยู่ในระดับต่ำกว่าเดิม E_0 ในการนี้การปลดปล่อยโฟตอนเป็นไปโดยอิสระ (Spontaneous) ไม่ต้องการกระตุ้นให้มีการปลดปล่อยโฟตอนแต่อย่างใด (รูป 2.2)

กระบวนการปลดปล่อยโฟตอนแบบ Stimulated emission กระบวนการนี้อะตอมในคอนเริ่มแรกจะอยู่ในระดับพลังงานสูง E_1 และจะปลดปล่อยโฟตอนออกมา (Emission) จนสุดท้ายค่าระดับพลังงานของอะตอมจะเป็น E_0 หากแต่ว่าการปลดปล่อยโฟตอนในกระบวนการนี้จำเป็นต้องมีโฟตอนจากภายนอก (Stimulating photon) ที่มีความถี่ ν ตามสมการที่ (2.1) มากระตุ้นให้เกิดการปลดปล่อย โดยกระบวนการนี้จะมีโฟตอนออกมา 2 ตัว ตัวแรกคือโฟตอนที่ไปกระตุ้น และอีกตัวหนึ่งจากการเปลี่ยนแปลง (Transition) ของอะตอมจาก $E_1 \rightarrow E_0$ เป็นที่น่าสังเกตว่าโฟตอน 2 ตัวนี้มีความถี่เท่ากัน (พลังงานเท่ากัน) และ in phase กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่จะก่อให้เกิด Laser action ขึ้นในเนื้อวัสดุถ้ามีการเกิดเช่นนี้พร้อมกันในหลายๆ อะตอม ถ้าแสงเลเซอร์ก็จะเกิดขึ้นและมีความเข้ม (Intensity) สูง (รูป 2.2)

2.1.2 Einstein Relation

กระบวนการ Stimulated absorption, Spontaneous emission และโดยเฉพาะ Stimulated emission นั้น Albert Einstein ได้ตั้งทฤษฎีไว้เมื่อปี ค.ศ. 1917 ในการนี้ Einstein ได้กำหนดค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ (Coefficients) ไว้คือ

$$\begin{aligned} A_{10} &= \text{Einstein coefficient of spontaneous emission} \\ &= \frac{1}{\tau_{10}}; \tau_{10} \text{ transition life time of excited state } E_1 \\ B_{01} &= \text{Einstein coefficient of stimulated absorption} \\ B_{10} &= \text{Einstein coefficient of stimulated emission} \end{aligned}$$

สมมติว่าเรามีจำนวน N_1 อะตอมที่อยู่ในพลังงานระดับ E_1 เราจะพบว่าจำนวนอะตอม/วินาทีที่เปลี่ยนสภาพจากพลังงาน $E_1 \rightarrow E_0$ โดยกระบวนการ Spontaneous emission สามารถเขียนออกมาได้เป็น

$$\text{อัตราการเกิดของ Spontaneous emission} = N_1 A_{10} \quad (2.2)$$

อัตราการเปลี่ยนแปลงในสมการ (2.2) นั้นขึ้นอยู่กับ Einstein Coefficient A_{10} ชนิดของอะตอมและการเปลี่ยนค่าระดับพลังงานหนึ่งไปสู่อีกค่าระดับพลังงานหนึ่ง

สำหรับการเปลี่ยนค่าระดับพลังงานแบบ Stimulated absorption และแบบ Stimulated emission นั้นจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีโฟตอนมากระตุ้น (ซึ่งจะเป็นไปในรูปแบบของ Radiation energy density ρ_ν) และโฟตอนที่มากระตุ้นนั้นจำเป็นต้องมีความถี่เป็น ν_{10} ซึ่งเป็นไปตามสมการ (2.1) สำหรับที่จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลง (Transition) จากระดับ $E_1 \rightarrow E_0$ หรือจาก $E_0 \rightarrow E_1$ ดังนั้น

$$\text{อัตราการเกิดของ Spontaneous absorption} = N_0 \rho_\nu B_{01} \quad (2.3)$$

ซึ่ง B_{01} เป็น Einstein's coefficient of stimulated absorption และ N_0 เป็นจำนวนอะตอมที่ระดับพลังงาน E_0

$$\text{อัตราการเกิดของ Stimulated emission} = N_1 \rho_\nu B_{10} \quad (2.4)$$

เมื่อ B_{10} เป็น Einstein's coefficient of stimulated emission และ N_1 เป็นจำนวนอะตอมที่ระดับพลังงาน E_1

$$\text{เราทราบว่า Radiation energy density } \rho_\nu = \frac{I_\nu}{4\pi c} \quad (2.5)$$

เมื่อ I_ν เป็นความเข้มของแสงที่ความถี่ ν

c เป็นความเร็วของแสงในสุญญากาศ

ดังนั้นแทนค่า ρ_ν ของสมการ (2.5) ในสมการ (2.3) และ (2.4) เราจะได้

$$\text{อัตราการเกิด Stimulated absorption} = N_0 \frac{I_\nu}{4\pi c} B_{01} \quad (2.6)$$

$$\text{อัตราการเกิด Stimulated emission} = N_1 \frac{I_\nu}{4\pi c} B_{10} \quad (2.7)$$

เมื่อคิดกรณีปกติที่มี Thermal equilibrium แบบ Black body radiation

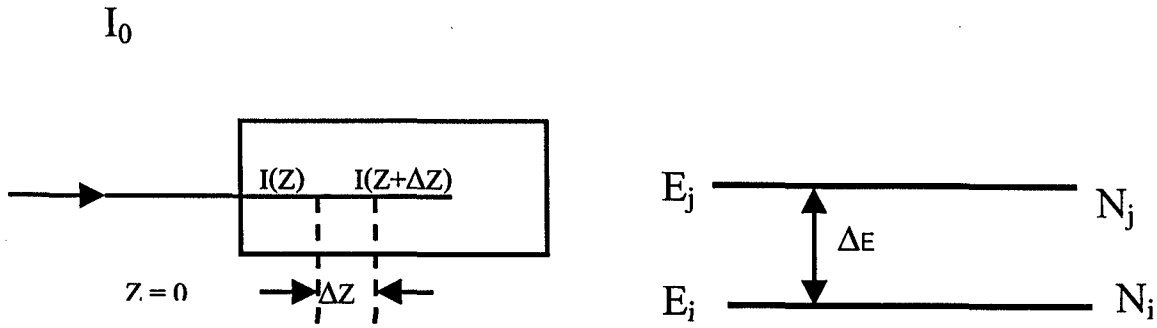
$$\text{เราพบว่าค่า} \quad B_{01} = B_{10} \quad (2.8)$$

$$\text{และ} \quad A_{10} = \frac{8\pi\eta\nu_{10}^3}{c^3} B_{10} \quad (2.9)$$

สมการ (2.8) และ (2.9) เรียกว่า Einstein Relations

สัมประสิทธิ์สมอลซิกนอลเกน (Small signal gain coefficient)

เมื่อพิจารณาถึงแสงที่วิ่งผ่านวัตถุที่มีเนื้อโปร่งใสเท่ากันตลอด เราจะพบว่าความเข้มของแสงในตอนเริ่มต้น I_0 จะมีค่าเปลี่ยนไปเมื่อแสงเดินทางผ่านวัตถุนั้น



รูปที่ 2.3 แสดงถึงการเพิ่ม/ลดของความเข้มของแสงเมื่อผ่านเนื้อสาร

เราจะพบว่าการเปลี่ยนแปลง $\Delta I(z)$ นั้นคือ

$$\Delta I(z) = I(z + \Delta z) - I(z) \quad (2.10)$$

$$\Delta I(z) = -\alpha I(z) \quad (2.11)$$

เมื่อ α เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืน (Absorption coefficient) จากสมการ (2.11) จะได้

$$\frac{dI(z)}{dz} = -\alpha I(z) \quad (2.12)$$

$$I(z) = I_0 e^{-\alpha z} \quad (2.13)$$

สมมติว่าในการที่แสงวิ่งเข้าไปในวัตถุเป็นระยะทาง Δz จำนวนโฟตอนในแสงถูกดูดกลืนไปเป็น n_{ij} ดังนั้นโดยสมการ (2.6) และ (2.7) เราจะได้

$$\begin{aligned} -\frac{dn_{ij}}{dt} &= N_i \frac{I(z)}{4\pi c} B_{ij} - N_j \frac{I(z)}{4\pi c} B_{ji} \\ &= B_{ij} (N_i - N_j) \frac{I(z)}{4\pi c} \end{aligned} \quad (2.14)$$

เมื่อ N_i และ N_j เป็นจำนวนอะตอมในระดับพลังงาน E_i และ E_j ตามลำดับ (ดูรูปที่ 2.3ข) และในขณะเดียวกันเราสามารถหาจำนวนโฟตอนที่ถูกดูดกลืนไปในวัตถุขณะที่แสงวิ่งในเนื้อวัตถุเป็นระยะทาง z ได้อีกวิธีหนึ่งคือ

$$-\frac{dn_{ij}}{dt} = [I(z) - I(z + \Delta z)] \frac{A}{\eta v_{ij}} \quad (2.15)$$

เมื่อ A เป็นพื้นที่หน้าตัดของวัตถุ ดังนั้นจะเห็นว่าสมการ (2.13) และ (2.14) มีค่าเท่ากันเพราะฉะนั้น

$$[I(z) - I(z + \Delta z)] \frac{A}{\eta v_{ij}} = B_{ij}(N_i - N_j) \frac{I(z)}{4\pi c} \quad (2.16)$$

แทนค่าสมการ (2.12) ใน (2.15) แล้วจัดเทอมใหม่จะได้

$$\alpha = B_{ij} \frac{(N_i - N_j) h v_{ij}}{A \Delta z} = B_{ij} (n_i - n_j) \frac{h v_{ij}}{4\pi c} \quad (2.17)$$

$n_i = N_i / A \Delta z$ และ $n_j = N_j / A \Delta z$ คือจำนวนอะตอมต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรที่ค่าระดับพลังงาน E_i , E_j ตามลำดับ หรือเราจะเรียกว่า n_i , n_j จำนวนอะตอม/ปริมาตร ที่ค่าระดับพลังงาน E_i และ E_j ตามลำดับ

โดยทั่วไปแล้ว $N_i > N_j$ เมื่อ $E_i < E_j$ ซึ่งเป็นไปตามหลักของโบลซ์มาน (Boltzmann's Principal)

ดังนั้นจะเห็นว่า α จะมีค่าเป็นบวก (Positive) เมื่อ $N_i > N_j$ ในกรณีนี้ α จะเป็นสัมประสิทธิ์การดูดกลืน (Absorption coefficient)

อย่างไรก็ตามหากเราสามารถมีวิธีการที่ทำให้ $N_j > N_i$ หรือ $n_j > n_i$ แล้วค่า α ในสมการที่ (2.17) จะเป็นค่าลบ (Negative) ดังนั้นความเข้มของแสงเมื่อวิ่งผ่านในเนื้อวัตถุจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (ดูสมการ (2.13) เมื่อ α เป็นลบ (Negative)) ให้ $-\alpha = \beta$ ดังนั้นสมการ (2.13) จะเป็น

$$I(z) = I_0 e^{\beta z} \quad ; \quad \beta > 0 \quad (2.18)$$

$$\beta = B_{ij} (n_j - n_i) \frac{h v_{ij}}{4\pi c} \quad (2.19)$$

ค่า β เรียกว่าสัมประสิทธิ์สมอลซิกนัลเกน (Small signal gain coefficient)

ในกรณีที่ $n_j > n_i$ ซึ่งเรียกว่า Population inversion ในเนื้อวัตถุจะทำให้เกิดมีการขยายค่า (Amplification) ของความเข้มของแสงซึ่งเป็นหลักการที่สำคัญที่สุดที่จะก่อให้เกิดเลเซอร์

2.1.3 เลเซอร์ปั๊มพิง (Laser Pumping)

ตามหลักการของโบลซ์มาน (Boltzmann's Principal) จำนวนอะตอมในค่าระดับพลังงานต่ำ N_i จะมีค่ามากกว่า จำนวนอะตอมที่มีค่าระดับพลังงานสูง N_j เมื่อ $E_i < E_j$

$$E_j \text{ ————— } N_j \qquad N_j = N_i \exp(-\Delta E_{ij}/kT) \qquad (2.20)$$

$$E_i \text{ ————— } N_i \qquad \Delta E_{ij} = E_j - E_i$$

$E_i < E_j$
 $N_i > N_j$

รูปที่ 2.4 แสดงจำนวนอะตอมที่มีค่าระดับพลังงาน E_i, E_j

ในกรณีของสมการ (2.20) เราไม่สามารถก่อให้เกิดเลเซอร์ได้ เพราะไม่สามารถทำให้เกิด Population inversion ได้

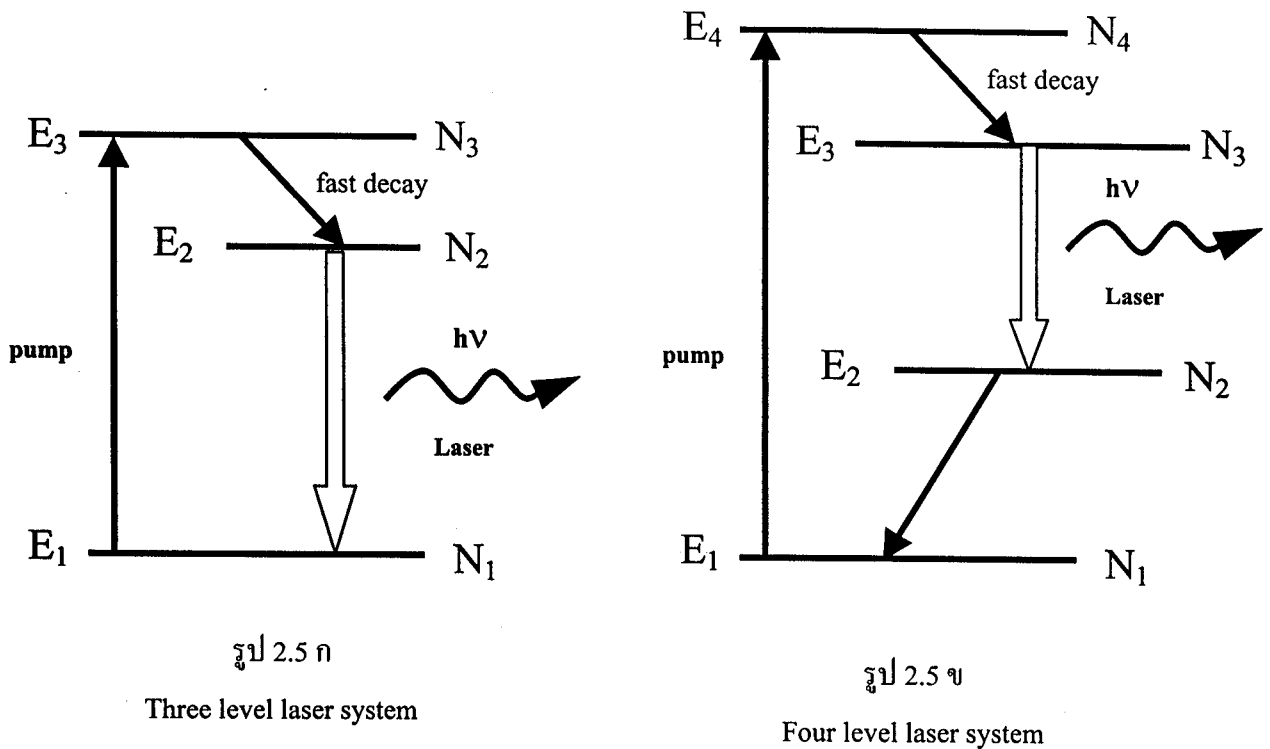
การทำให้เกิด Population inversion ($N_j > N_i$) จะทำได้โดยวิธีการเพิ่มพลังงาน (Pumping) วิธีการนี้จะทำได้ก็ต่อเมื่อมีการเลือกวัสดุ (Laser medium) ที่เหมาะสมและวิธีเพิ่มพลังงาน (Pumping) ที่เหมาะสมซึ่ง Theodore Maiman (1960) ได้ทำเป็นผลสำเร็จเป็นครั้งแรกโดยใช้ทับทิม (Ruby) เป็น laser medium การเพิ่มพลังงาน (Pumping) ให้แก่อะตอมในค่าระดับพลังงานต่ำ เพื่อให้เกิด $N_j > N_i$ กระทำได้หลายวิธี อาทิเช่น

- ใช้แสง (Optical pumping by flashlamp)
- ใช้แบบอิล็กตรอนดิซชาร์จ (Electron discharge)
- การชนด้วยอิล็กตรอน (Electron beam bombardment)
- ใช้เลเซอร์ชนิดอื่นมาส่งกระทบทำให้เกิดมีการเปลี่ยนค่าระดับพลังงานในวัสดุ
- ปฏิบัติการทางเคมีที่ให้พลังงานจำนวนมากอย่างรวดเร็ว เป็นต้น

ตัวอย่างการก่อให้เกิด $N_j > N_i$ ดังในรูป 2.5 ก, 2.5 ข

รูป 2.5 ก เป็นลักษณะการใช้ระดับพลังงาน 3 ระดับ (Three level laser) ในการก่อให้เกิด $N_j > N_i$ ($N_2 > N_1$) กล่าวคืออะตอม N_1 จะถูกให้พลังงานแล้วเปลี่ยนค่าระดับพลังงานไปอยู่ที่ระดับ E_3 เป็นจำนวน N_3 จากนั้น N_3 จะลดค่าพลังงาน (Decay) อย่างรวดเร็วมาอยู่ในระดับ E_2 เป็นจำนวน N_2 ซึ่งที่ระดับนี้อะตอมจะพักอยู่ได้นาน (Long relaxation time) ดังนั้นจำนวน $N_2 > N_1$ วิธีการนี้การทำให้ $N_2 > N_1$ ทำได้ยาก ต้องใช้พัมพ์ ให้พลังงานมาก แสงเลเซอร์เกิดจากการเปลี่ยนค่าระดับพลังงานจาก $E_2 \rightarrow E_1$ ของอะตอม N_2 แล้วในขณะที่เดียวกันก็ปล่อยโฟตอน (เลเซอร์) ที่มีพลังงาน

$E = h\nu_{21}$ ออกมาโดยวิธี Stimulated emission วิธีการนี้ใช้ในระบบรูปี เลเซอร์ (Ruby laser)



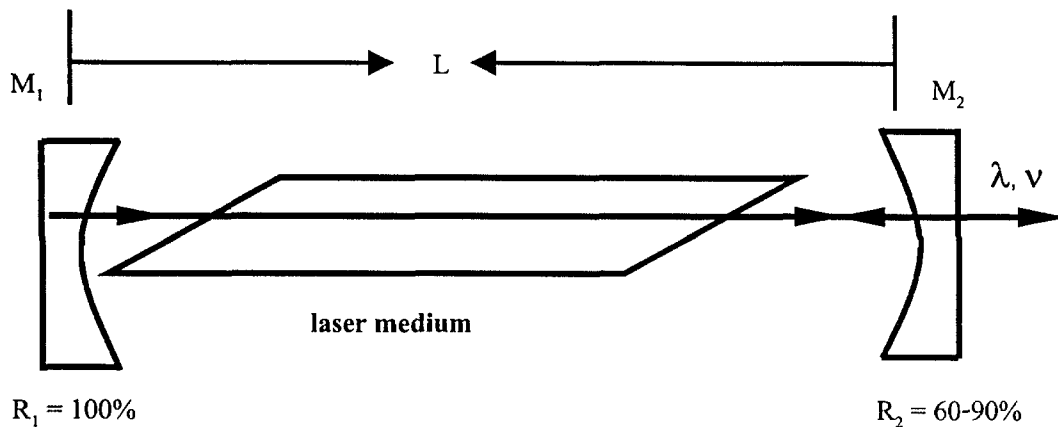
รูปที่ 2.5 แสดงหลักการเกิดเลเซอร์แบบสามระดับและสี่ระดับ
(Three Level and Four Level Lasers)

รูป 2.5 ข เป็นลักษณะการใช้ระดับพลังงาน 4 ระดับ (Four level laser) ในการก่อให้เกิด $N_j > N_i$ ($N_3 > N_2$) กล่าวคืออะตอม N_1 จะถูกให้พลังงาน แล้วเปลี่ยนค่าระดับพลังงานอยู่ที่ E_4 เป็นจำนวน N_4 แล้ว N_4 จะลดค่าระดับพลังงาน (Decay) อย่างรวดเร็วมาอยู่ที่ E_3 เป็นจำนวน N_3 แล้วจึงเกิดการเปลี่ยนค่าพลังงานมาสู่ E_2 เกิดการปล่อยโฟตอนที่มีพลังงาน $E = h\nu_{32}$ (เลเซอร์) โดยขบวนการ Stimulated emission เมื่อมาอยู่ที่ E_2 เป็นจำนวน N_2 แล้ว N_2 จะลดค่าพลังงานมาสู่ E_1 อย่างรวดเร็ว ทำให้ $N_3 > N_2$ อยู่เสมอ (ขณะเดียวกันยังมี Pumping อยู่) ข้อสังเกตที่ว่า $\Delta E = E_2 - E_1 > kT$ นั้นจำเป็นเพื่อป้องกันมิให้อะตอม N_1 ไปสู่ N_2 โดยขบวนการ Thermal excitation ทำให้ $N_3 > N_2$ อยู่เสมอ ในขณะที่มีการ Pumping อยู่ วิธีการใช้พลังงาน 4 ระดับ (Four level laser) นิยมใช้มากเพราะไม่ต้องใช้พัมป์ที่ให้

พลังงานสูงและการเกิด $N_3 > N_2$ ง่ายและสะดวกดี ทำให้ประสิทธิภาพการเกิดเลเซอร์สูง ระบบนีโอติเมียมแยก (Nd:YAG) เลเซอร์นี้เป็นไปตามกระบวนการเกิดเลเซอร์แบบ Four level laser

2.1.4 ออปติคัลเรโซเนเตอร์ (Optical Resonator)

เพื่อที่จะทำให้เกิดมีการเพิ่มขยาย (Amplification) พลังงานของลำแสงเลเซอร์ที่ออกมาให้มากขึ้นจำเป็นต้องมีเรโซเนเตอร์ เรโซเนเตอร์ประกอบด้วยกระจกที่ฉาบผิวด้วยไดอิเล็กทริก (Dielectric coated mirror) ซึ่งจะยอมให้แสงที่มีช่วงคลื่น (λ) ของเลเซอร์เท่านั้นที่สะท้อนกลับ/ผ่านทะลุออกไป ทั้งนี้เพื่อที่จะป้องกันมิให้แสงที่ช่วงคลื่น λ อื่นๆ มารบกวน โดยทั่วไปเรโซเนเตอร์ประกอบด้วยกระจก 2 แผ่น M_1 , M_2 ดังในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการจัดระบบเลเซอร์ที่ประกอบด้วยเลเซอร์มีเดียและเรโซเนเตอร์ควาวิตี

M_1 และ M_2 มีค่าสะท้อนกลับ (Reflectivity) 100% และ 60-90% ตามลำดับ ที่ช่วงคลื่นของเลเซอร์ ทุกครั้งที่เกิด Stimulated emission โฟตอนจะวิ่งกลับไปมาสะท้อนระหว่าง M_1 , M_2 และถูกเพิ่มขยายความเข้มเมื่อวิ่งผ่าน Laser medium จนกระทั่งถึงจุดที่เกิดเลเซอร์ออสซิลเลชัน (Laser oscillation) ถ้าแสงเลเซอร์จะวิ่งออกทางกระจก M_2 การเกิดเลเซอร์ออสซิลเลชันใน Laser medium นั้นมีเงื่อนไขที่ว่า เกน (Gain) ของเลเซอร์ออสซิลเลชัน

ชั้นมีค่าเท่ากับ การสูญเสีย (Loss) ของเรโซเนเตอร์ ในกรณีนี้เรียกว่า เทรสโสลเกน (Threshold gain) β_{th}

สมมติ M_1 และ M_2 มีค่าสะท้อนกลับเป็น R_1 และ R_2 ตามลำดับ และ α_e เป็นการสูญเสีย (พลังงาน)/ระยะทาง (Loss/Length) และ L เป็นระยะทางระหว่าง M_1 และ M_2 เราจะพบว่า

$$I = I_0 e^{(\beta - \alpha_e)L} \quad (2.21)$$

หลังจากสะท้อนกลับจากกระจก M_2 เราจะพบว่าความเข้มจะกลายเป็น

$$R_2 \exp[(\beta - \alpha_e)L]$$

และเมื่อสะท้อนกลับที่ M_1 (ครบ 1 รอบพอดี) ความเข้มของแสงจะเพิ่มเป็น

$$G = R_1 R_2 \exp[2(\beta - \alpha_e)L] \quad (2.22)$$

$$= \frac{\text{ความเข้มของแสงภายหลังวิ่งครบ 1 รอบ}}{\text{ความเข้มของแสงเมื่อตอนเริ่มต้น}}$$

ค่า G เรียกว่า เนทราวทริพเพาเวอร์เกน (Net round trip power gain) ถ้าค่า

$G > 1$ แสดงว่า มีการเพิ่มค่าพลังงานของลำแสงภายใน Cavity

$G < 1$ แสดงว่า มีการลดค่าพลังงานของลำแสงภายใน Cavity

ที่ Threshold condition สำหรับ Laser oscillation เราจะได้

$$G = 1 = R_1 R_2 \exp[2(\beta_{th} - \alpha_e)L] \quad (2.23)$$

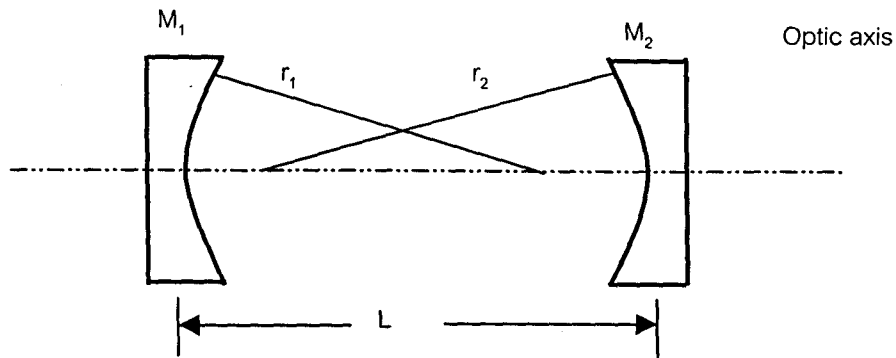
จากสมการ (2.22) จะได้

$$\beta_{th} = \alpha_e + \frac{1}{2L} \ln\left(\frac{1}{R_1 R_2}\right) = \alpha_e + \alpha_0 \quad (2.24)$$

α_e คือการสูญเสียพลังงานของลำแสงเลเซอร์ในการดูดกลืนและ Scattering ภายใน Laser medium

α_0 คือการสูญเสียพลังงานในส่วนที่กลายเป็นลำแสงเลเซอร์ออกนอกระจาก M_2

ดังนั้นจากสมการ (2.24) เราพอสรุปได้ว่าในกรณีสแตตีสเตทเลเซอร์ ออสซิลเลชัน (Steady state laser oscillation) เกน (Gain) จะมีค่าเท่ากับผลรวมของลอส (Loss) ในเลเซอร์ มีความจำเป็นที่ต้องใช้ชนิดของกระจกและการจัดระหว่าง L ระหว่างกระจก M_1 และ M_2 ให้พอเหมาะเพื่อที่จะทำให้เกิดมีเสถียรภาพ (Stability) ในการสะท้อนกลับไปมาของแสงระหว่าง M_1 , M_2 ทั้งนี้เพื่อที่จะทำให้เกิดมีการสูญเสียพลังงานให้น้อยที่สุด เพื่อที่จะทำให้เกิดเลเซอร์ออสซิลเลชันได้ง่าย



รูปที่ 2.7 แสดงการจัดเรโซเนเตอร์ควาวิตี

ให้ r_1, r_2 เป็นรัศมีความโค้งของผิวกระจก M_1, M_2 ตามลำดับ

$$\text{ให้ } g_1 = 1 - \frac{L}{r_1}, \quad g_2 = 1 - \frac{L}{r_2} \quad (2.25)$$

กำหนดให้ $r_1 > 0$ เมื่อผิวโค้งด้านในของกระจกหันเข้าหา Cavity (บริเวณระหว่างกระจก M_1 และ M_2) เราจะพบว่า สเตบิลิตีของเรโซเนเตอร์ (Boyd and Gordon, 1961; Boyd and Kogelnik, 1962) จะเกิดขึ้นเมื่อ

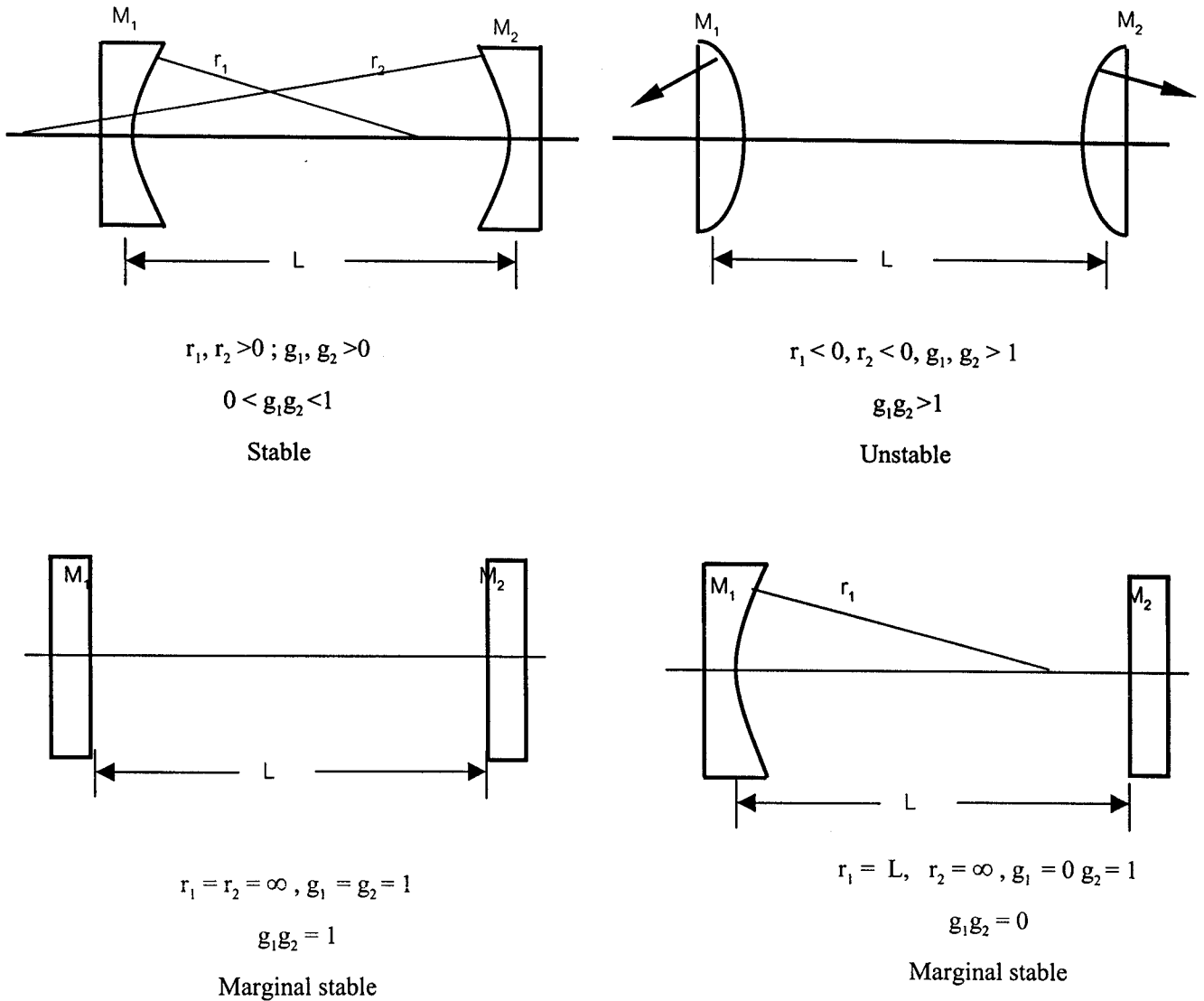
$$0 < g_1 g_2 < 1 \quad (2.26)$$

และเรโซเนเตอร์จะอันสเตบิลิตี เมื่อ

$$g_1 g_2 < 0, \quad g_1 g_2 > 1 \quad (2.27)$$

ถ้า $g_1 g_2 = 0$
หรือ $g_1 g_2 = 1$ } เรียกว่า มาร์จินัลสเตบิลิตี (Marginal stability)

ตัวอย่างของ สเตบิลิตี, อันสเตบิลิตี, และมาร์จินัลสเตบิลิตี ได้
แสดงไว้ในรูปที่ 2.8

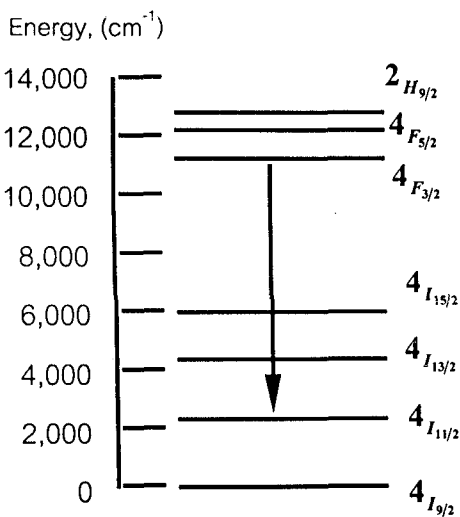


รูปที่ 2.8 แสดงการจัดวางเรโซเนเตอร์ควาวิตีแบบต่างๆ

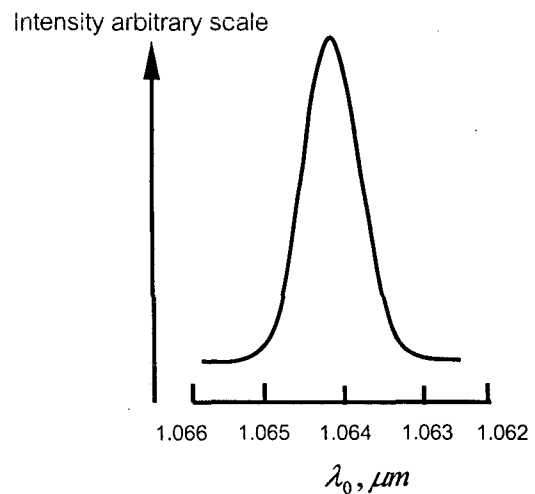
2.2 ระบบนีโอติเมียมแยกเลเซอร์ (Nd: YAG Laser System)

ระบบนีโอติเมียมแยกเลเซอร์ (Nd: YAG Laser) เป็นระบบโซลิดสเตทเลเซอร์อีกระบบหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ในปี ค. ศ. 1964 J. E. Geusic, et.al. (1964) ได้ทำการศึกษาและประสบความสำเร็จในการทำให้เกิดแสงนีโอติเมียมแยกเลเซอร์ เลเซอร์ระบบนี้มีเลเซอร์มีเดียเป็นแท่งผลึก Nd:YAG โดยการนำนีโอติเมียมไอออน Nd^{3+} ไปเป็นอิมพิวริตี (Impurity) ในโครง (Host) ของยิทเทรียมอะลูมิเนียมแกเรต (Yttrium Aluminum Garnet; YAG; $Y_3Al_5O_{12}$) แสงเลเซอร์ที่ได้ออกมาเกิดจากการเกิดประชากร

ผกผัน (Population inversion) ของอะตอมนีโอไดมียม การทำให้เกิดประชากรผกผันนั้นทำโดยการใส่แฟลชแลมป์ที่บรรจุแก๊สซีนอน(Xenon flashlamp) ที่ให้ความเข้มของแสงสูงทำการปั๊มแท่งผลึกนีโอไดมียมแหย็ก (Nd:YAG rod) แท่ง Nd: YAG มีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงในช่วงความถี่ต่างๆ ช่วงของสเปกตรัมที่ได้จากซีนอนแฟลชแลมป์ (Xenon flashlamp) ส่งออกมาแสงเลเซอร์ที่เกิดจากแท่ง Nd: YAG จะมีความยาวคลื่น $\lambda = 1064\text{nm}$ ที่อุณหภูมิห้อง ($T = 300^\circ\text{K}$) เนื่องจากระดับพลังงานของการเกิดสติมูเลเตดเอ็ดอิมิชันใน Nd: YAG นั้นอยู่ห่างจากกราวด์สเตท (Ground state) มาก ดังนั้นที่อุณหภูมิของห้องโอกาสที่อะตอมของ Nd ในระดับกราวด์สเตทจะไม่มีโอกาสกระโดดขึ้นมาเกี่ยวข้องกับระดับพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเลเซอร์ ดังนั้นระบบ Nd:YAG เลเซอร์จึงนับได้ว่าเป็นระบบเลเซอร์ที่เกี่ยวข้องกับ 4 ระดับพลังงาน (Four level laser) ดังที่ได้กล่าวมาแล้วตอนต้น อะตอมของนีโอไดมียมที่ฝังตัวอยู่ในโครงผลึก $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ เมื่อได้รับพลังงานจากการปั๊มของซีนอนแฟลชแลมป์ จะถูกกระตุ้นไปสู่ระดับสูง และการเปลี่ยนระดับพลังงานลดลงมาสู่ระดับ $^4F_{3/2}$ และเกิดสติมูเลเตดเอ็ดอิมิชันระหว่างระดับ $^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$ โดยที่การเกิดประชากรผกผันระหว่างระดับทั้งสองนั้นอยู่ก่อนแล้ว ดังในรูป 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงระดับพลังงานของ Nd:YAG และการเกิดแสงเลเซอร์จากการเปลี่ยนระดับพลังงาน $^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$



รูปที่ 2.10 แสดงสเปกตรัมของ Nd:YAG บริเวณย่านใกล้เลียง $\lambda_0 = 1.0604 \mu\text{m}$

แสงเลเซอร์ที่ออกมาจะมีความยาวคลื่น $\lambda_0 = 1064 \text{ nm}$ รูปที่ 2.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอะตอม Nd:YAG จาก ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{1/2}$ ที่อุณหภูมิห้องเราพบว่าเกณฑ์ของ Nd:YAG γ มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ของแท่งรูบี้ประมาณ 75 เท่า (Yariv, 1989) ดังนั้นเราจะพบว่าทำให้เกิดแสงเลเซอร์จาก Nd:YAG ได้ 2 แบบคือ แบบที่เป็นช่วง (Pulse) และแบบที่ต่อเนื่อง (Continuous wave, CW)

2.3 คิวสวิตช์เลเซอร์พัลส์

ตามที่ได้ศึกษาถึงการเกิดแสงเลเซอร์ซึ่งได้จากระบวนการแอมพลิฟายสตามูลเลคเต็คอิมิตชัน (Amplified Stimulated Emission) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการเปลี่ยนค่าระดับพลังงานของอะตอมจากสภาวะ $|2\rangle \rightarrow |1\rangle$ ดังที่ได้บรรยายในตอนต้น นอกจากนี้การเกิดแสงเลเซอร์ที่ออกมาเป็นรูปแบบพัลส์ (Pulse) ของระบบโซลิตสแตทเลเซอร์นั้นประกอบเป็นพัลส์ขนาดเล็ก และพลังงานต่ำ จำนวนมากโดยที่มีความกว้างของพัลส์มาก ($\approx 10^{-6}$ sec) พัลส์เหล่านี้เป็นยอดแหลม (Spikes) ซึ่งยังไม่เหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงแสงเลเซอร์ที่อยู่ในรูปแบบยอดแหลม (Spikes) เหล่านี้ให้เป็นพัลส์ขนาดใหญ่ (Giant pulse) เดี่ยวๆ และมีความแคบของพัลส์มากขึ้น $\approx 10^{-9}$ sec (Nano-second) และนอกจากนี้พัลส์ขนาดใหญ่ดังกล่าวนี้เราสามารถทำให้เกิดซ้ำๆ เหมือนเดิม (Repetibility) ได้ทุกครั้ง วิธีการที่จะทำให้เกิดพัลส์ขนาดใหญ่ (Giant pulse) ได้ดังกล่าวนี้เราใช้เทคนิคที่เรียกว่า คิวสวิตช์ (Q-switch) ซึ่ง R.W. Hellwarth (1961) ได้ประสบความสำเร็จเป็นครั้งแรกในการทำให้เกิดคิวสวิตช์พัลส์ (Q-switched Pulse) และต่อมา R. W. Hellwarth et. al. (1966) ได้ปรับปรุงวิธีการให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นและมีความแน่นอนแม่นยำกว่าเดิม

2.3.1 หลักการและวิธีการผลิตคิวสวิตช์เลเซอร์พัลส์ วิธีการทำให้เกิดคิวสวิตช์พัลส์นี้ทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงค่าคิว (Q) ของเรโซเนเตอร์ให้ต่ำอยู่เสมอ ในขณะที่กำลังเกิดประชากรผกผัน (Population inversion) เพิ่มขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้ก็เพื่อป้องกันมิให้ค่าเกณฑ์ (Gain) $\beta(\nu)$ ของระบบมีค่าสูงซึ่งจะทำให้เกิดเลเซอร์ออสซิลเลชันก่อนที่เราจะต้องการให้เกิด เมื่อรอให้ประชากรผกผันเกิดจนมีค่ามากที่สุดแล้วเราจึงใช้เทคนิค

บางประการ (ซึ่งจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป) มาเปลี่ยนค่าคิว (Q) ของเรโซเนเตอร์ซึ่งเดิมเป็นค่าต่ำ (Low Q value) มาให้เป็นค่าสูง (High Q value) อย่างฉับพลัน ซึ่งจะส่งผลให้ค่าเกน (Gain) $\beta(\nu)$ สูงที่สุดทำให้เกิดการขยาย (Amplification) ของความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าภายในเลเซอร์คิววิตซ์มากที่สุด ซึ่งจะส่งผลให้เกิดพัลส์ขนาดใหญ่ (Giant pulse) เป็นแสงเลเซอร์ออกมา การเกิดคิววิตซ์เลเซอร์พัลส์ขนาดใหญ่นี้ทำให้อำนาจงานประชากรผกผันลดลงอย่างรวดเร็วและมีค่าต่ำกว่าค่าเทรสโฮลด์เกน ดังนั้นเลเซอร์จะออสซิลเลตได้เพียงครั้งเดียว กล่าวคือ จะให้พัลส์ขนาดใหญ่ออกมาหนึ่งพัลส์ ไม่ใช่เป็นยอดแหลม (Spikes) จำนวนมากๆ อย่างที่เคยเป็นมา โดยปกติแล้วเราสามารถผลิตคิววิตซ์พัลส์ (Q-switched Pulse) ที่มีพีคเพาเวอร์ (Peak power) สูงประมาณ 500 MW โดยมีพัลส์วิดท์ (Pulsewidth) ประมาณ 10^{-9} วินาที (Nanosecond) ซึ่งเป็นพัลส์ที่แคบมาก และเมื่อทำการโฟกัสแสงเลเซอร์แบบคิววิตซ์นี้ให้เล็กลงแล้ว เราจะได้ความหนาแน่นของกำลังงานสูงประมาณ 1-10 Gigawatt/cm² ซึ่งมีขีดความสามารถจะไอออไนซ์ (Ionized) หรือแยกสลาย (Breakdown) โมเลกุลของแก๊สต่างๆ ในอากาศได้ง่ายดาย นอกจากนี้คิววิตซ์เลเซอร์ยังมีขีดความสามารถเจาะทะลวงเหล็กกล้าได้เป็นอย่างดีอีกด้วย

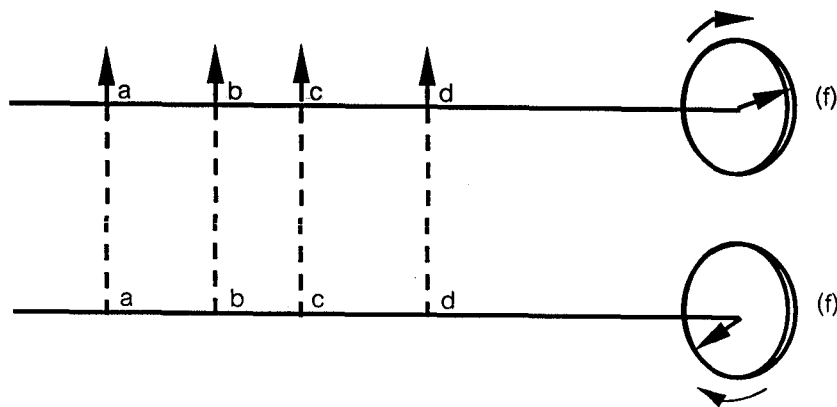
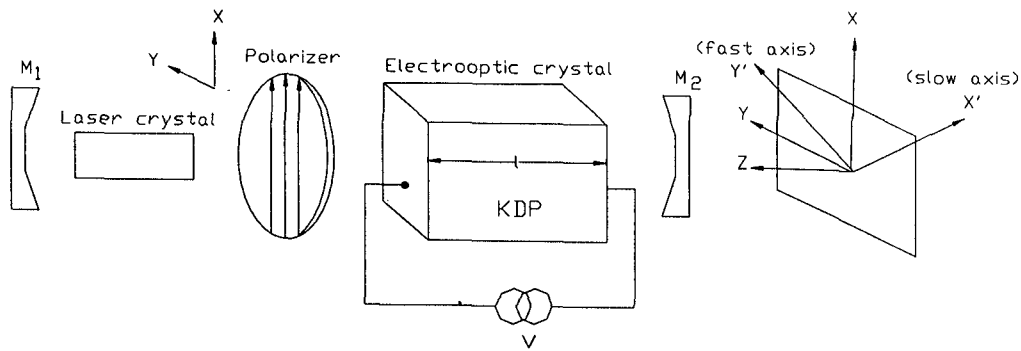
การทำให้เกิดคิววิตซ์พัลส์นั้น ทำได้หลายวิธีการ ซึ่งเกี่ยวข้องกับเทคนิคต่างๆ เราสามารถสรุปวิธีการทำให้เกิดคิววิตซ์พัลส์ออกได้ 2 วิธีการวิธีการแรกคือ แบบแอ็กทีฟ (Active Method) วิธีการนี้ใช้เทคนิคที่เรียกว่า โรเตตติงเมียร์เรอร์ (Rotating Mirror) อะคูสติกชัตเตอร์ (Acoustic Shutter), อิเล็กโทรออพติกชัตเตอร์ (Electro-Optics Shutter) วิธีการที่สองคือ แบบพาสซีฟ (Passive Method) ซึ่งวิธีการนี้ใช้หลักการดูดกลืน (Absorption) ของความเข้มของแสงโดยอะตอม/โมเลกุลของบลีชเบิลดาาย (Bleachable dye)

สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้การทำคิววิตซ์เลเซอร์พัลส์แบบอิเล็กโทรออพติกชัตเตอร์ เพราะสามารถควบคุมการเกิดคิววิตซ์พัลส์ได้ง่าย

2.3.2 อิเล็กโทรออพติกชัตเตอร์ (Electrooptic Shutter) วิธีการนี้ ใช้ขบวนการอิเล็กโทรออพติกเป็นชัตเตอร์ โดยใช้พ็อคเคิลเซลล์ (Pockel Cell) ซึ่งมีผลึกโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KDP- เป็นผลึกแบบเพียง

โซอิเล็กทริก) อยู่ในของเหลวและเมื่อให้ไบแอสโวลเตจ (Bias voltage) กับ KDP แล้ว KDP จะเปลี่ยนโพลาไรเซชันของแสงในเลเซอร์ควิตี้ ทำให้เกิดการสูญเสีย (Loss) มากขึ้นเพื่อป้องกันเลเซอร์ออฟซีลิลชันเกิดก่อนกำหนด การใช้พอคเคลเซลล์เป็นชัตเตอร์สำหรับทำให้เกิดควิสวิตช์เลเซอร์พัลส์ ได้ แสดงไว้ในรูปที่ 2.11

ในขณะที่แฟลชแลมป์กำลังพัมพ์เลเซอร์มีเคียม สักคาประมาณ 1.5 KV จะถูกส่งไปไบแอสที่ผลึก KDP ในพอคเคลเซลล์จะทำให้แสงลิเนียร์โพลาไรซ์ที่ตำแหน่ง d เมื่อผ่าน KDP จะมีการเปลี่ยนเฟสไป $\pi/2$ และกลายเป็นเซอร์คูลาร์โพลาไรซ์ (Circular polarized) และเมื่อสะท้อนที่กระจก M_2 (จุด f) และผ่าน KDP อีก แสงจะเปลี่ยนเฟสอีก $\pi/2$ ดังนั้นเมื่อกลับมาที่จุด d แสงจะมีการเปลี่ยนเฟสรวมเป็น π ซึ่งจะลิเนียร์โพลาไรเซชัน (Linear Polarization) แต่แนวแกนจะหมุนไป 90° จากเดิมทำให้แนวของโพลาไรเซชันตั้งฉากกับแนวของแผ่นโพลาไรเซอร์ (Polarizer) ดังนั้นแสงจะถูกสกัดไว้โดยโพลาไรเซอร์ ขณะนั้นพอคเคลเซลล์ทำหน้าที่เหมือนชัตเตอร์ที่ปิด ดังนั้นถึงแม้จะมีประชากรผกผันมากและเกน (Gain) มากกว่า β_{th} ก็ตาม จะไม่มีเลเซอร์ออฟซีลิลชันเกิดเพราะค่าคิว (Q) ของเรโซเนเตอร์ต่ำมาก เมื่อเราตั้งเวลาการทำงานของพอคเคลเซลล์ให้พอเหมาะ คือในช่วงเวลาที่เหมาะสม สักคาที่ไบแอส KDP ไว้จะหยุดพอคเคลเซลล์หยุดทำงานทำให้แสงภายในเรโซเนเตอร์สะท้อนกลับไปมาระหว่าง M_1 และ M_2 ทำให้เกิดการแอมพลิฟายสติมูลเตดเต็มมีสชันขึ้น และเลเซอร์พัลส์ขนาดใหญ่ก็จะเกิดตามมาเป็นควิสวิตช์เลเซอร์พัลส์ ซึ่งมีกำลังสูงและพัลส์วิดธ์ประมาณ 10^{-9} sec การทำควิสวิตช์พัลส์โดยวิธีนี้เป็นวิธีที่ดีที่สุด เพราะสามารถทำขนาดและรูปแบบของพัลส์ได้เหมือนกันทุกครั้งที่ทำซ้ำๆ กันได้ผลดีเสมอ



At point d,

$$\left. \begin{aligned} E'_x &= \frac{E}{\sqrt{2}} \cos \omega t \\ E'_y &= \frac{E}{\sqrt{2}} \cos \omega t \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{The optical field is linear} \\ \text{polarized with its electric} \\ \text{field vector parallel to x} \end{array}$$

At point f,

$$\left. \begin{aligned} E'_x &= \frac{-E}{\sqrt{2}} \cos \left(\omega + kl + \frac{\pi}{2} \right) \\ E'_y &= \frac{-E}{\sqrt{2}} \cos (\omega + kl) \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Circular} \\ \text{polarized} \end{array}$$

At point f,

$$\left. \begin{aligned} E'_x &= \frac{E}{\sqrt{2}} \cos \left(\omega t + kl + \frac{\pi}{2} \right) \\ E'_y &= \frac{E}{\sqrt{2}} \cos (\omega t + kl) \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Circularly} \\ \text{polarized} \end{array}$$

At point d,

$$\left. \begin{aligned} E'_x &= \frac{-E}{\sqrt{2}} \cos (\omega t + 2kl + \pi) \\ E'_y &= \frac{-E}{\sqrt{2}} \cos (\omega t + 2kl) \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Linear} \\ \text{polarized} \\ \text{along y} \end{array}$$

รูปที่ 2.11 แสดงการใช้วิธีเล็ทโทรอปติก (Electrooptics) จากพอดเคลเซลล์ (Pockel Cell) เพื่อการเกิดควสวิตช์เลเซอร์พัลส์

บทที่ 3

การสร้างระบบเลเซอร์

บทนำ

ในการสร้างระบบนีโอดีเมียมแยกเลเซอร์ (Neodymium YAG Laser System) นั้น ผู้วิจัยได้คำนึงถึงระบบที่ประกอบด้วย กระจกเลเซอร์ที่ปิดด้านหัวและด้านท้ายของเลเซอร์ควาวิตี และจะต้องทำให้ขนาดของระบบเล็กพอที่นำไปใช้ในงานภาคสนาม ทั้งนี้ตัวระบบจะต้องมีขนาดกระทัดรัดและให้พลังงานของเลเซอร์ในระดับไม่สูงนัก แต่จะมี Peak Power สูงพอที่จะทำงานได้ ในการออกแบบการสร้างระบบนี้ส่วนสำคัญคือ การออกแบบเลเซอร์ควาวิตี (Laser Cavity) การออกแบบระบบจ่ายกำลัง (Power Supply) และการเลือกขนาดของแท่งผลึกนีโอดีเมียม นอกจากนี้ได้มีการเลือกระบบการจัดวางกระจกของระบบเลเซอร์โดยจะทำให้ระบบเลเซอร์มีเสถียรภาพมากที่สุดและไม่ยุ่งยากในการปรับตำแหน่งของกระจก

3.1 การออกแบบหัวเลเซอร์ (Laser Head)

เนื่องจากหัวเลเซอร์จะต้องมีขนาดกระทัดรัดและคงทนในการใช้ในภาคสนาม ดังนั้นหัวเลเซอร์ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนแสงแฟลชแลมป์ จึงจำเป็นต้องเป็นโลหะและเบา ดังนั้นจึงใช้ทองเหลือง (Brass) เป็นหัวเลเซอร์เพราะสามารถชุบทองคำได้ภายในจะใส่หลอดฟลูออโรฮาไลด์ (Linear flashlamp) จะมีแท่งผลึกนีโอดีเมียมวางขนานอยู่ ภายในหัวเลเซอร์จะต้องใส่ของเหลว Galden 5 ซึ่งเป็นของเหลวที่โปร่งใสในช่วงคลื่น 400-15000 nm และมีคุณสมบัติในการทนต่ออุณหภูมิสูงและมีค่าความจุความร้อนสูง ทั้งนี้ก็เพื่อจะเป็นตัวดูดกลืนความร้อนอันเกิดการการที่แฟลชแลมป์ทำการปลดปล่อยแสงออกมาพิมพ์แท่งผลึกนีโอดีเมียม และขณะเดียวกันก็เกิดความร้อนออกมาจำนวนหนึ่ง โดยปกติแล้วระบบเลเซอร์ทั่วไปที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมักจะอยู่กับที่ ดังนั้นเราอาจจะใช้การระบายความร้อนด้วยอากาศหรือการหล่อให้เย็นด้วยน้ำที่ไหลวน เพื่อการระบายความร้อน แต่เนื่องจากระบบเลเซอร์ดังกล่าวนี้ออกแบบเพื่อใช้งานในภาคสนามและสามารถใช้ยิงเลเซอร์ซ้ำ ๆ กันในเวลาอันจำกัด ดังนั้นจะต้องมีตัวระบายความร้อนที่ดี กล่าวคือ มีความจุความร้อนสูงและทนทานต่ออุณหภูมิสูง ดังนั้นในการออก

แบบหัวเลเซอร์จึงจะต้องเป็นระบบปิดคือต้องใช้โอริง (Oring) ที่กันการรั่วซึมของของเหลวออกมาทางรอยต่อของระบบกันแท่งผลึกนีโอดีเมียม และรอยต่อของหลอดแฟลชแลมป์ซึ่งเป็นแก้วกับขอบของคาวิตี หัวเลเซอร์ทำจากแท่งทองเหลืองที่มีขนาด 4.5x5.0x6.0 ซม. โดยใช้การสกัดขึ้นรูป (Lathed) ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.1 แสดงการจัดวางระบบ Nd:YAG เลเซอร์ พร้อมเครื่องถ่ายภาพกำลัง

**รูปที่ 3.2 แสดงรูปเลเซอร์คาวิตี และตำแหน่งที่ใส่แฟลชแลมพ์
และแท่งผลึกนิโอติเมียม**

เพื่อจะกันการรั่วซึมของของเหลวออกจากหัวเลเซอร์เราใช้ซิลิคอนโอริง (Silicon O ring) ซึ่งทนทานต่ออุณหภูมิสูงโดยไม่มีการยืดหด เลเซอร์คาวิตี ประกอบด้วยชิ้นส่วนอะลูมิเนียม 2 ชิ้น ซึ่งเมื่อนำมาประกบกันโดยมีซิลิคอนโอริงอยู่ตรงกลางแล้วจะทำให้เกิดช่องโพรงที่ว่างเป็นลักษณะของแบบคล้าย Ellipse ทำให้เกิดคาวิตี (Cavity) แบบ Closed Coupling ผนังด้านในของหัวเลเซอร์จะต้องขัดมันเพื่อการสะท้อนกลับของแสงแฟลชแลมพ์ทั้งหมดพุ่งเข้าสู่แท่งผลึกอย่างสมํ่าเสมอต่อการยิงเลเซอร์ทุก ๆ ครั้ง นอกจากนี้เพื่อให้การสะท้อนกลับหมด (Total reflection) เกิดมากที่สุด เราจำเป็นต้องชุบเคลือบผิวด้านในของหัวเลเซอร์ด้วยทองคำ ในการทำเลเซอร์คาวิตีในครั้งแรกนั้นเราใช้อะลูมิเนียม ซึ่งปรากฏว่าพบความยากลำบากมากในการชุบทอง และต่อมาพบว่าหากเปลี่ยนเป็นทองเหลืองแล้วการชุบทองจะทำได้ง่ายและสามารถชุบทองได้หนาขึ้น เราทราบกันดีว่าผิวโลหะทองจะสะท้อนแสงได้อย่างดีในช่วงความถี่ที่ตามองเห็นไปถึงย่านอินฟราเรด (Koechner, 1976) ดังนั้นจึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการทำออปติคอลพัมพ์พิง (Optical pumping) เพื่อการเกิดเลเซอร์อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการชุบเคลือบทองผิวสะท้อนกลับ (Reflecting surface) ของหัวเลเซอร์

3.2 การออกแบบระบบจ่ายกำลัง (Power Supply)

ในการออกแบบเครื่องจ่ายกำลังนั้น ผู้วิจัยได้ออกแบบระบบจ่ายกำลังที่ต้องจ่ายกำลังให้หลอดแฟลชแลมพ์ทำงานให้แสงสว่างเป็นช่วง ๆ (Pulse) ซึ่งแสดงจากหลอดแฟลชแลมพ์นี้ประกอบด้วย แถบสเปกตรัมที่กว้าง (Broad band spectrum) ซึ่งทำให้เกิดออปติคอลพัมพ์พิงในแท่งผลึกเลเซอร์เป็นอย่างดี ในการออกแบบนั้นได้คำนึงถึงการใช้อุปกรณ์ประกอบและวัสดุทางไฟฟ้าที่หาได้ง่ายในท้องตลาดและเหมาะสมกับพื้นฐานความรู้ทั่วไปทางอิเล็กทรอนิกส์ของช่วงที่จะมาสร้างประกอบ กล่าวคือใช้ เทคโนโลยีท้องถิ่น (Indigenous technology) ทั้งนี้เพื่ออำนวยความสะดวกและซ่อมบำรุง ดังนั้นจะเห็นว่าระบบจ่ายกำลังจะมีขนาดใหญ่ ซึ่งก็สามารถทำให้เล็กลงมาได้หากจะพัฒนาต่อไปอีก

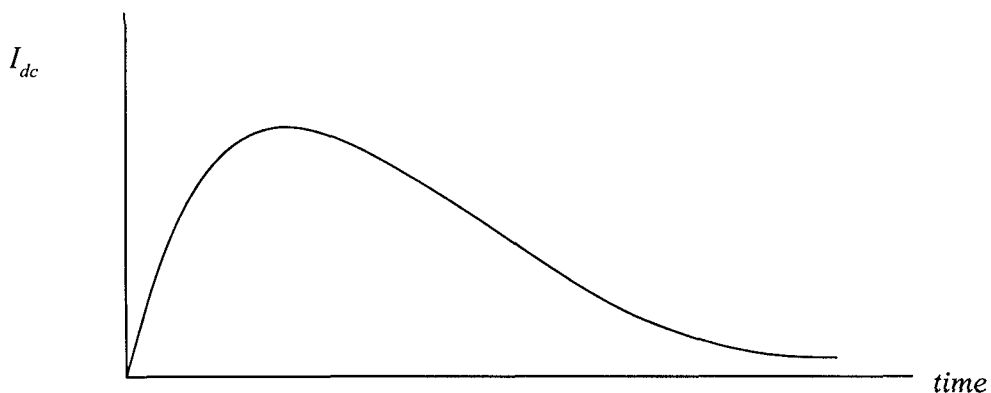
วงจรของเครื่องจ่ายกำลังนี้ได้แสดงไว้ในรูป 3.3 ซึ่งประกอบด้วยวงจรทางไฟฟ้าย่อย ๆ มาประกอบกัน กล่าวคือจะเป็นวงจรที่กระตุ้น (Trigger) การทำงานของการเกิดประจุไฟฟ้าไว้ในตัวเก็บประจุ (Capacitor) และวงจร

ชาร์ตประจุเข้าไปเก็บในตัวเก็บประจุ นอกจากนี้การเพิ่มความจุของตัวเก็บประจุไฟฟ้ากระทำได้โดยการเพิ่มศักดาไฟฟ้า (Voltage) ระหว่างขั้วของตัวเก็บประจุ ทั้งนี้กระทำได้โดยการใช้วาริแอก (Variac) ซึ่งสามารถเพิ่มศักดาไฟฟ้าได้ระหว่าง 0-3000 โวลท์ ดังนั้นระบบจ่ายกำลังนี้สามารถให้ศักดาไฟฟ้าได้ในช่วง 0-3000 โวลท์ และกระแสไฟตรงไหลเข้าสู่หลอดฟลูออโรแลมพ์ได้

รูปที่ 3.3 แสดงวงจรไฟฟ้าทั้งหมดของระบบจ่ายกำลัง (Power Supply)

ประมาณ 20 มิลลิแอมป์ (mA) ตัวเก็บประจุที่ใช้ในเครื่องจ่ายกำลังนี้มีขนาดการเก็บประจุ $2 \times 40 \mu\text{f}$ ผลิตโดยบริษัท Seimens และทาง Max Planck Institute, Göttingen ได้ให้ความช่วยเหลือ โดย Prof. F. P. Schacfer ในการบริจาคตัวเก็บประจุนี้ให้ในการออกแบบสร้างระบบจ่ายกำลัง

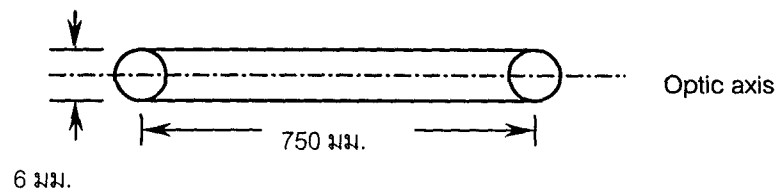
ในการออกแบบระบบจ่ายกำลังนี้ผู้วิจัยได้ตระหนักเป็นอย่างดีในการจ่ายกระแสไฟตรงไปยังแฟลชแลมพ์ ทั้งนี้กระแสตรงที่เข้าแฟลชแลมพ์นั้นจะต้องไม่มีการไหลย้อนกลับ เพราะแฟลชแลมพ์มีโพลาริตีที่แน่นอน หากมีการไหลย้อนกลับของกระแสไฟตรงในแฟลชแลมพ์ จะทำให้แฟลชแลมพ์ระเบิด ทำความเสียหายต่อเลเซอร์คาวิตี แห่งผลึกเลเซอร์และเป็นอันตรายต่อนัยน์ตาและใบหน้าของผู้ทำ การทดลองอีกด้วย ดังนั้นจึงต้องระมัดระวังในการออกแบบเป็นพิเศษ โดยคำนวณให้การจ่ายกระแสไฟตรงจากตัวเก็บประจุ (Capacitor) ไปยังหลอดแฟลชแลมพ์เป็นไปอย่างที่เราเรียกว่า "Critical damp discharge" ดังแสดงในรูป 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงการจ่ายกระแสไฟตรงจากตัวเก็บประจุ (Capacitor) ไปยังแฟลชแลมพ์เป็นไปแบบ Critical damp discharge

3.3 แท่งผลึกนีโอติเมียมแย็ก (Neodymium YAG crystal)

เนื่องจากการทำแท่งผลึกนีโอติเมียมแย็กเป็นกระบวนการที่ละเอียดอ่อนและต้องมีการ “เติม” (Dope) อะตอม Nd^{+3} ลงไปในจำนวนเปอร์เซ็นต์ที่พอเหมาะ (ประมาณ 0.01-0.5%) กระบวนการนี้จะเกี่ยวข้องกับวิธีการที่เรียกว่า อิมพิวริตีโดปปิง (Impurity Doping) กระบวนการเหล่านี้ใช้เทคโนโลยีสูงและไม่สามารถทำได้ในประเทศ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสั่งผลึก Nd : YAG จากบริษัท Union Carbide Inc., U.S.A. โดยมีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกยาวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. และยาว 750 มม. โดยปลายทั้งสองต้องตั้งฉากกับแกนยาวของแท่งดังในรูปที่ 3.5



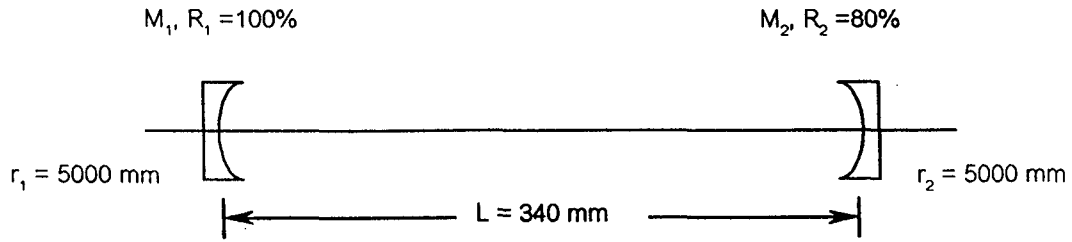
รูปที่ 3.5 แสดงขนาดและการวางตัวของผลึกในแท่งนีโอติเมียมแย็ก

การตัดลักษณะนี้เรียกว่าแบบ ซีคัท (C-cut) เพราะหน้าตัดของผลึกทั้งสองปลายจะตั้งฉากกับแกนของผลึกซึ่งอยู่ในแนวแกนออฟติก (Optic axis) แท่งผลึกนีโอติเมียมที่ตัดในลักษณะซีคัท (C-cut) นี้ จะทำให้แสงเลเซอร์ที่ออกมาเป็นโพลาไรเซชันแบบแรนดอม (Random polarization) โดยมีทิศทางของสนามไฟฟ้า (Electric field, \vec{E}) ทุกทิศทาง

3.4 การจัดวางกระจกเลเซอร์

ในการออกแบบระบบเลเซอร์ได้มีการใช้กระจกเคลือบสารไดอิเล็กตริกหลายชั้นโดยกำหนดให้การเคลือบสารนี้ ทำให้กระจกมีคุณสมบัติสะท้อนแสงเลเซอร์ที่ $\lambda = 1064$ นาโนเมตร โดยให้ค่าสะท้อนแสงของกระจก M_1 มีค่า $R_1 = 100\%$ และกระจก M_2 มีค่า $R_2 = 80\%$ เพื่อให้เกิดออฟติคอลเรโซเนเตอร์ที่มีค่าเสถียรสูง กำหนดให้กระจก M_1 และ M_2 มีรัศมีความโค้ง (Radius of curvature) $r_1 = r_2 = 50000$ มิลลิเมตร และ ระยะห่างระหว่างกระจก M_1 และ M_2

มีค่า $L=340$ มิลลิเมตรคังนั้นออฟติคอลเรโซเนเตอร์จะเป็นแบบ Nearly planar ($r_1 = r_2 \gg L$) ตามที่แสดงไว้ในบทที่ 2



รูปที่ 3.6 แสดงการจัดวางกระจก M_1 และ M_2 ของออฟติคอลเรโซเนเตอร์ $L=340$ มิลลิเมตร

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงการจัดการทดลองเพื่อทำการวัดค่าตัวแปรต่างๆ ของระบบเลเซอร์ในขอบข่ายที่เครื่องมืออุปกรณ์และความพร้อมที่มีอยู่ ในการจัดวางเครื่องมือทดลองนั้นจำเป็นต้องมีการอ้างอิง ซึ่งได้ใช้ฮีเลียมนีออนเลเซอร์เป็นหลัก (Reference laser / Alignment laser) ทั้งนี้เพื่อให้การจัดวางเลเซอร์คาวิตี และอุปกรณ์ทางแสงอื่นๆ อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมทั้งนี้การจัดวางโดยเฉพากระจก M_1 และ M_2 นั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีตำแหน่งและการวางตัวอย่างเหมาะสมที่สุดเพื่อให้เกิดแสงเลเซอร์ที่ให้พลังงานสูงสุด นอกจากนี้ได้มีการวัดเสปคตรัมของแสงเลเซอร์แบบ Free running เสปคตรัมของแสงแฟลชแลมป์ที่ใช้ในการกระตุ้นก่อให้เกิดแสงเลเซอร์ ตลอดจนการวัดรอยไหม้ (Burnt Pattern) อันเนื่องมาจากแสงคิววิตท์เลเซอร์พลังสูง

4.1 เครื่องมือวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1 กระจกเคลือบพิเศษ ในการจัดเลเซอร์คาวิตีนั้นจำเป็นต้องมีกระจกเคลือบด้วยสารไดอิเล็กทริกแบบพิเศษ (หนาประมาณ 20 ชั้น) เพื่อทำการเปิดหัวและท้ายของเลเซอร์คาวิตีในการทดลองนี้ผู้วิจัยได้ใช้กระจก M_1 มีค่าสะท้อนกลับ (Reflectivity) 100% ที่ $\lambda = 1064 \text{ nm}$ และกระจก M_2 มีค่าสะท้อนกลับ 80% ที่ $\lambda = 1064 \text{ nm}$ และกระจกทั้งสองมีค่ารัศมีความโค้ง $r_1 = r_2 = 5000$ มิลลิเมตรโดยกำหนดให้ M_2 เป็นกระจกที่แสงเลเซอร์ส่องผ่านออกมา (Output mirror)

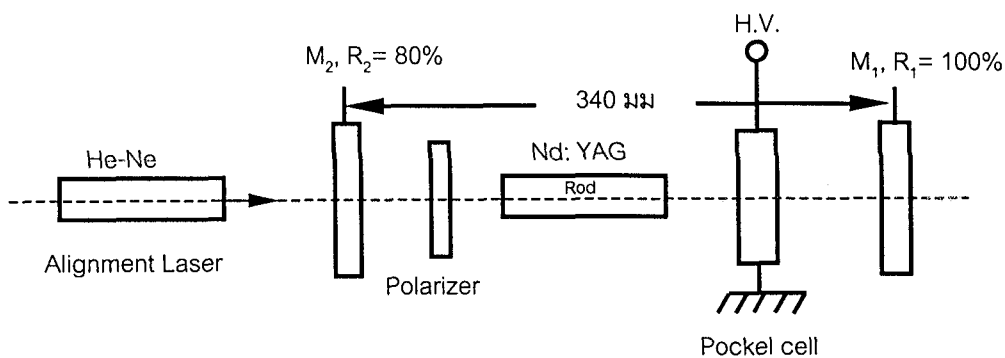
4.1.2 เครื่องวัดพลังงาน (Energy meter) เครื่องมือวัดพลังงานที่ใช้ในการทดลองผลิตโดยบริษัท Gentech serial no. ED 200 สามารถวัดค่าพลังงานได้ตั้งแต่ microjoules (10^{-6} J) ถึง 10 Joules เครื่องมือนี้จะใช้หลักการในการเปลี่ยนพลังงาน อินฟราเรดของแสงเลเซอร์แล้วเปลี่ยนเป็นศักดาไฟฟ้า อ่านค่าออกมาเป็นมิลลิโวลต์ (millivolt) ซึ่งมี Conversion factor เป็น $1 \text{ millivolt (mV)} = 1.6 \text{ millijoule (mJ)}$

4.1.3 ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) และเครื่องถ่ายภาพโพลาไรซ์
ในการทดลองนี้ใช้เครื่อง Oscilloscope ของบริษัท Tektronix model no. 2465B และ model no. 7934 และ Plug in 7A24 และใช้ กล้องถ่ายภาพโพลาไรซ์ของ บริษัท Tektronix model CP 53 ฟิล์มโพลาไรซ์ # 667 ในการให้ออสซิลโลสโคปเริ่มทำงานนั้นได้ใช้สัญญาณจากเครื่องจ่ายกำลัง (Power supply) เป็นตัวกระตุ้นการทำงาน (Trigger) ให้กับออสซิลโลสโคป

4.1.4 โฟโตไดโอด (Photodiode) ในการทดลองนี้ได้ใช้โฟโตไดโอดของบริษัท Hewlette Packard no. HP 4220 เป็นตัววัดเสปคตรัมของแสงที่ออกมาจากแฟลชแลมป์ ซึ่งมีธรรมชาติเป็นแถบกว้าง (Broad Band) จะมีแสงที่หลายความยาวคลื่นวิ่งออกมาเพื่อทำการกระตุ้นแท่งผลึก Nd: YAG

4.2 การจัดวางระบบคิววิตซ์เลเซอร์

ในการทำให้เกิดคิววิตซ์เลเซอร์ของการทดลองนี้ได้มีการใช้ Pockel Cell เป็นเครื่องมือในการควบคุมและทำให้เกิดคิววิตซ์พัลส์ หลักการทำให้เกิดคิววิตซ์พัลส์ได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 (รูปที่ 2.11) แล้ว ดังนั้น จำเป็นต้องมีฮีเลียมนีออนเลเซอร์ซึ่งเป็น Alignment เลเซอร์เพื่อช่วยในการจัดวางตำแหน่งอุปกรณ์ต่างๆ ให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อเป็นระบบคิววิตซ์เลเซอร์และให้พัลส์ที่มีกำลังมากที่สุด การจัดวางตำแหน่งอุปกรณ์ต่างๆ ดังกล่าวนั้นได้แสดงไว้ในรูป 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงการจัดวางระบบคิววิตซ์เลเซอร์โดยมี Pockel cell

เริ่มต้นให้วางตำแหน่งหัวเลเซอร์ให้เหมาะสมโดยให้แสงของฮีเลียมนีออนเลเซอร์ผ่านทะลุแท่ง Nd:YAG ก่อนจากนั้นก็ให้วางตำแหน่งกระจก

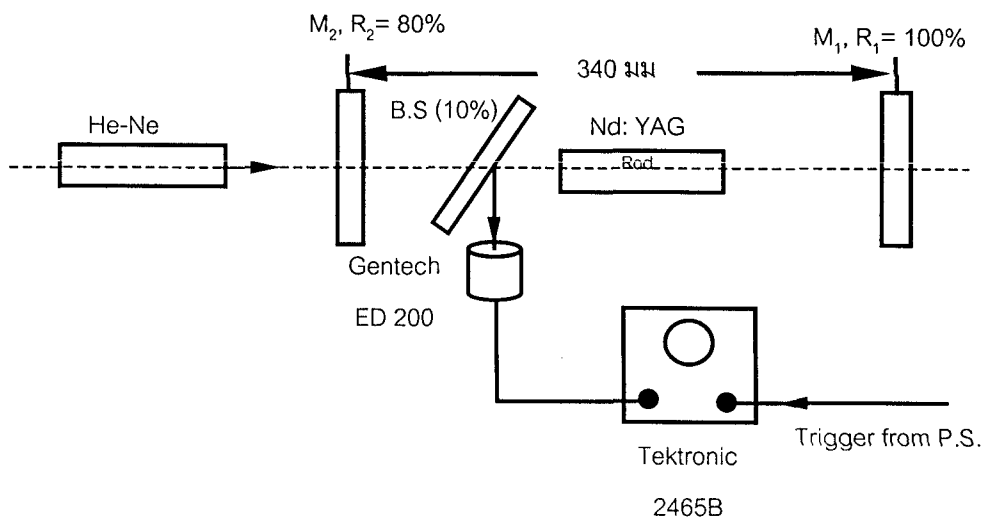
M_1 ต่อมาวาง Pockel Cell Polarizer และกระจก M_2 สุดท้าย ทั้งนี้ให้จัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ให้แกนตั้งฉากกับผิวอุปกรณ์นั้นอยู่ในแนวลำแสงของฮีเลียมนีออนเลเซอร์

เมื่อจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ เรียบร้อยแล้วก็ให้ทดลองยิงเลเซอร์และดูว่าจะให้กำลังสูงสุดได้อย่างไร โดยทำการปรับละเอียดของตำแหน่งกระจก M_1 และ M_2 จนกระทั่งได้ค่ากำลังของแสงเลเซอร์ที่ออกมาสูงสุด

4.3 การวัดพลังงานของแสงเลเซอร์ที่ออกมา

เมื่อปรับการวางตัวของกระจก M_1 และ M_2 ที่ทำให้แสงเลเซอร์ที่ออกมาให้กำลังได้สูงสุดแล้ว การวัดการแปรตามของกำลังแสงเลเซอร์ที่ออกมาเมื่อมีการเพิ่มศักดาให้แก่ตัวเก็บประจุ (Capacitor) ของเครื่องจ่ายกำลังตามที่ทราบดีว่า จำนวนประจุ Q แปรตามศักดาที่ให้กับตัวเก็บประจุ ($Q = CV$) เมื่อ C เป็นค่าของการเก็บประจุ

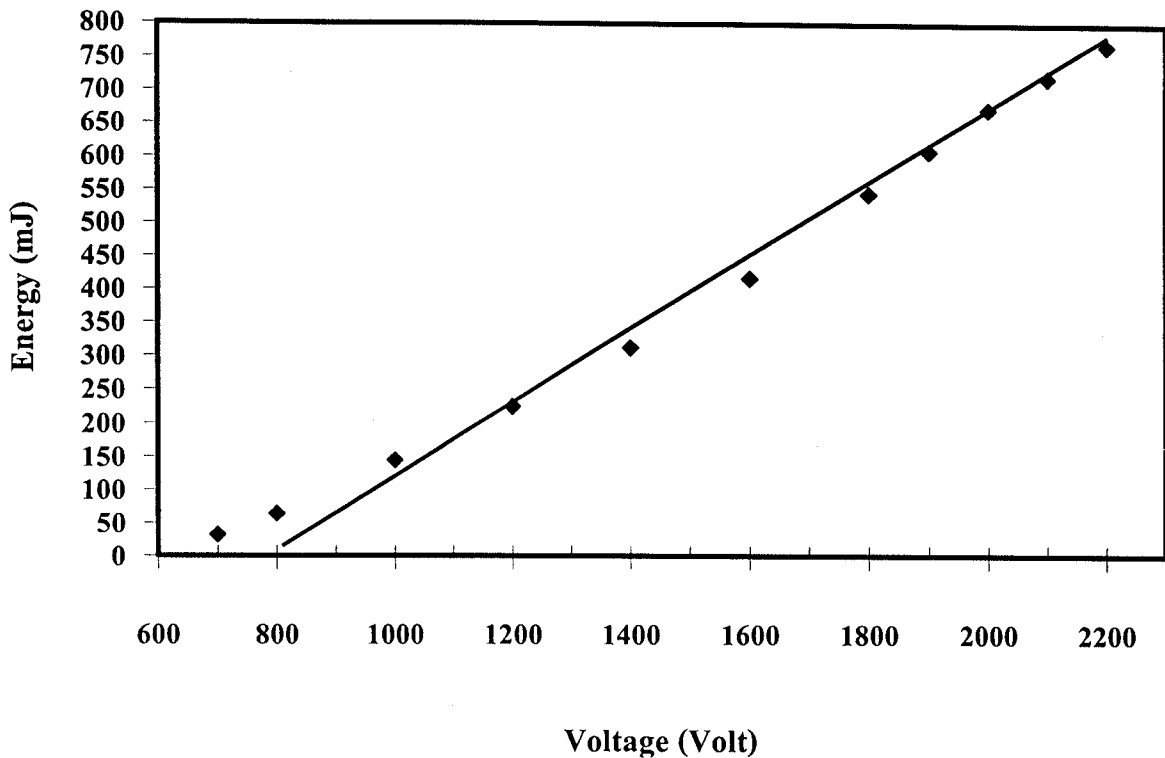
ในการวัดพลังงานของแสงเลเซอร์ที่ส่งออกมาเป็นช่วงๆ (Pulse) นั้นได้มีการใช้เครื่องวัดกำลัง Gentech ED 200 วางอยู่ในเลเซอร์คาวิตี ใน



รูปที่ 4.2 แสดงการจัดวางเครื่องมือในการวัดพลังงาน (Energy) ของระบบเลเซอร์ ที่ออกมาจากแท่งผลึก Nd:YAG

ด้านที่ติดกับกระจก M_2 (Output mirror) ในการนี้ได้ใช้กระจกสไลด์ (Beam splitter; B. S) วางอยู่ระหว่างกระจก M_2 และ หัวเลเซอร์ดังในรูปที่ 4.2 กระจกสไลด์ (B.S) นี้จะแบ่งแสงเลเซอร์ที่เกิดขึ้น 10% เข้าสู่เครื่องวัดกำลัง

Gentech ED 200 และมีสาย Coaxial ต่อมายังออสซิลโลสโคป Tektronix 2465B ในการนี้ได้ใช้สัญญาณของการจุดแฟลชแลมพ์จากเครื่องจ่ายกำลังมาเป็นสัญญาณให้เครื่องออสซิลโลสโคปทำงาน (Trigger) ทั้งนี้เพื่อจะได้วัดกำลังของแสงเลเซอร์ทั้งที่มีแฟลชแลมพ์กระตุ้นแท่ง Nd:YAG ให้เกิดแสงเลเซอร์ออกมาแนวตรง (Linear) ทั้งนี้เพราะผลการวัดค่าพลังงาน



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของกำลังเลเซอร์ (Laser power output) กับศักดาไฟฟ้าของเครื่องจ่ายกำลัง

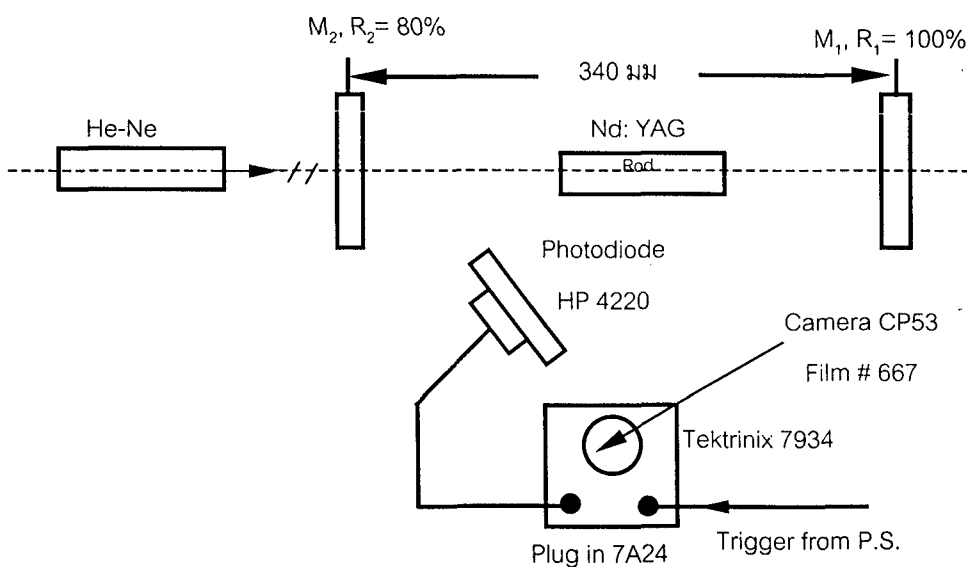
ของแสงเลเซอร์ที่ออกมา (Output) โดยทำการวัดกำลังของแสงเลเซอร์ที่ออกมาจากการเปลี่ยนค่าศักดาไฟฟ้าของเครื่องจ่ายกำลัง (รายละเอียดแสดงไว้ในตารางที่ 1 ของภาคผนวก ก) พบว่าเลเซอร์ให้กำลังสูงสุดเท่ากับ 768 mJ ที่เครื่องจ่ายกำลังทำงานที่ศักดาไฟฟ้า 2200 โวลต์ ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเลเซอร์ที่ส่งออกมาและศักดาไฟฟ้าได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.3 จะสังเกตเห็นได้ว่าที่ ศักดาน้อยกว่า 1000 โวลต์ จุดข้อมูลจะไม่อยู่ในเส้นเริ่มจะ

ทำงานเพราะบางครั้งยิงเลเซอร์แล้วออกบ้างไม่ออกบ้างดังนั้นเส้นตรงที่แสดงในรูปที่ 4.3 จะเป็นกราฟที่เฉลี่ยแล้ว

4.4 การวัดสเปกตรัมของแสงแฟลชแลมพ์

ในการวัดสเปกตรัมของแสงแฟลชแลมพ์นั้นเราใช้ไฟโตไดโอดที่มีขีดความสามารถในการวัดสเปกตรัมแบบแถบกว้าง (Broadband spectrum) ทั้งนี้หลอดแฟลชแลมพ์ที่ให้แสงออกมานั้นให้แสงออกมาหลายความถี่ (หรือช่วงคลื่น) ต่อเนื่องออกมา ไฟโตไดโอดที่ใช้ คือ HP 4220 การจัดวางระบบเลเซอร์และไฟโตไดโอดได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.4

ไฟโตไดโอด HP 4220 ได้ต่อเข้าออสซิลโลสโคป Tektronix 7934 โดยใช้ Plug in no. 7A24 และมีสัญญาณ Trigger ส่งมาจากเครื่องถ่ายภาพของสเปกตรัมของแสงแฟลชแลมพ์ ได้บันทึกเป็นภาพโดยกล้อง CP53 ฟิล์ม โพลารอยด์เบอร์ 667 ภาพนี้แสดงไว้ในรูปที่ 4.5



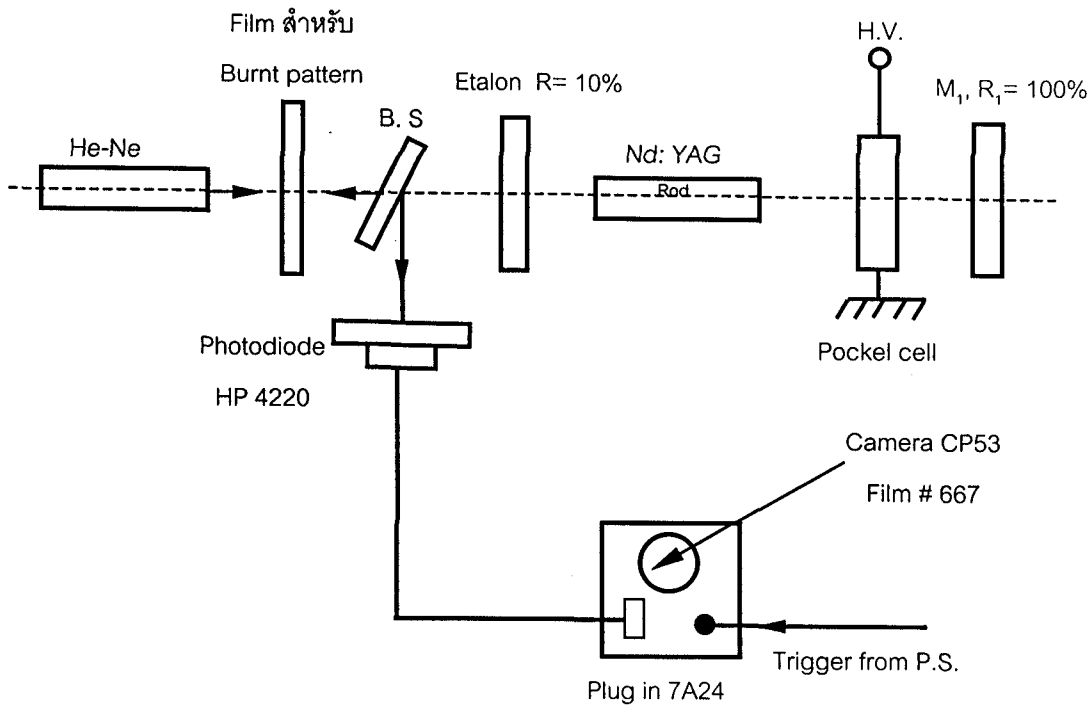
รูปที่ 4.4 แสดงการจัดวางเครื่องมือเพื่อการวัดสเปกตรัมของแสงแฟลชแลมพ์

รูปที่ 4.5 แสดงสเปกตรัมของแสงแฟลชแลมป์

4.5 รอยเผาไหม้ (Burnt Pattern) ของแสงเลเซอร์

ในการทดลองดูรอยไหม้บนฉากที่รองรับแสงเลเซอร์ นั้นได้มีการจัดวางระบบเลเซอร์ตามที่แสดงในรูปที่ 4.6 ในการวัดระบบนี้เราได้ใช้ Etalon ที่มี Reflectivity 10 % (แทนตำแหน่งกระจก M_2 (Output minor) และวางตำแหน่ง Beam Splitter (BS) คาวิตีโดยให้แสงบางส่วนจาก BS. พุ่งสู่ ไฟโตไดโอด HP 4220 ซึ่งต่อไปยังออสซิลโลสโคป ซึ่งมีกล้องโพลาไรซ์ติดอยู่ด้วย นอกจากนี้ได้จัดวางฉาก ซึ่งเป็นโพลาไรซ์ฟิล์ม เพื่อให้แสงเลเซอร์ตกกระทบและเผาไหม้ จากการทดลองพบว่ารอยเผาไหม้ (Burnt pattern) บนแผ่นฟิล์มเป็นวงกลมมีขนาดเท่าๆกันและสม่ำเสมอ ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางของรอยเผาไหม้มีค่า $\phi = 5$ nm. รูปรอยเผาไหม้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.7

การวัดรอยเผาไหม้ บนแผ่นฟิล์มนั้นเป็นการแสดงวิธีหนึ่งซึ่งการเกิดแสงเลเซอร์แบบควสวิตช์เพราะกำลังงานทั้งหมดแทนที่จะกระจายออกแบบแสงเลเซอร์ฟรีรันนิ่ง (Free running) กำลังงานเหล่านั้นจะมารวมตัวในระยะเวลาอันสั้นประมาณ 20-30 ns. (Nano second) และอยู่ในบริเวณที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง $\phi = 5$ nm.



รูปที่ 4.6 แสดงการจัดวางเครื่องมือเพื่อการถ่ายภาพ Laser spikes และการดูรอยเผาไหม้ (Burnt pattern)

รูปที่ 4.7 แสดงรอยเผาไหม้ (Burnt Pattern) ของแสงเลเซอร์บนโพลาไรซ์ฟิล์ม

เนื่องจากเครื่องจ่ายกำลัง (Power supply) ทำด้วยอุปกรณ์แบบ
 ธรรมดาโดยมีค่า Inductance มาก ดังนั้นในการวัดสเปคตรัมของแสง
 เลเซอร์แบบคิววิตท์ ซึ่งที่ช่วงกว้างของพัลส์ แคบมาก (ประมาณ 20-30
 ns.) ซึ่งจำเป็นต้องใช้ออสซิลโลสโคปที่มีความไวและละเอียดอ่อน ซึ่งที่
 ถูกรบกวนด้วย noise ที่เกิดจากวงจรของเครื่องจ่ายกำลัง ดังนั้นในการ
 ทดลองจึงไม่สามารถถ่ายภาพคิววิตท์พัลส์ของเลเซอร์ได้

จากการคำนวณ (ภาคผนวก ข) พบว่าแสงเลเซอร์มีกำลังงาน
 (Power) $P = 256 \text{ MW}$. ซึ่งเป็นกำลังงานในระดับทั่วไปของคิววิตท์
 เลเซอร์ อย่างไรก็ตามกำลังงานนี้จะเกิดในช่วงเวลา 30 ns. เท่านั้น

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและพัฒนา

การวิจัยและพัฒนาระบบคิวสวิตช์เลเซอร์นี้ เป็นการวิจัยและพัฒนาเป็นครั้งแรกของประเทศ โดยอาศัยเครื่องมืออุปกรณ์และวัสดุภายในประเทศเป็นหลัก ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบคิวสวิตช์เลเซอร์ที่มีขนาดกระทัดรัด และผลที่ได้ออกมาสามารถผลิตแสงเลเซอร์ที่มีพลังตามที่กำหนดไว้โดยประมาณคือ มีขนาดประมาณ 600 มิลลิจูล (mJ) ผลการวิจัยนี้ได้แสดงออกและยืนยันขีดความสามารถของนักวิทยาศาสตร์ไทยที่สามารถผลิตระบบ เลเซอร์แข็ง (Solid State Laser System) ได้สำเร็จในระดับคิวสวิตช์เลเซอร์ ที่มีความกว้างของพัลส์ประมาณ 10^{-9} วินาที ถึงแม้จะมีอุปสรรคในการทดลอง และขาดเครื่องมืออุปกรณ์วัดที่ทันสมัย

การวิจัยและพัฒนานี้เป็นการเริ่มต้นที่แสดงให้เห็นถึงขีดความสามารถในการผลิตแสงเลเซอร์แบบของแข็งโดยใช้ผลึก Nd:YAG ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง $\varnothing = 6$ มม. และยาว 75 มม. โดยมีกระจกที่ปิดหัวและท้ายของเลเซอร์ควาติเป็น M_1 ($R_1 = 100\%$) และ M_2 ($R_2 = 80\%$) และความยาวของควาติ $L = 340$ มม. ให้พลังงานสูงสุด $P_{\max} = 768$ mJ ปริมาณของพลังงานที่ระบบเลเซอร์นี้ผลิตได้นี้ สามารถนำไปใช้ในการเชื่อมแบบ Spot welding บริเวณเล็กๆ ได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้ปริมาณของพลังงานสำหรับ spot welding จุดเล็กที่ต้องการใช้มีเพียง $P \cong 100$ mJ

ในการทำ การวิจัยและพัฒนาระบบคิวสวิตช์เลเซอร์นี้ หากทำต่อไปในอนาคตนั้นควรจะต้องออกแบบเครื่องมือจ่ายกำลัง (Power supply) ใหม่ โดยจะต้องระวังเรื่องการส่งสัญญาณจากเครื่องจ่ายกำลังออกมารบกวนขณะทำการยิงแสงเลเซอร์ เพราะจะทำให้การใช้เครื่องออสซิลโลสโคปมีปัญหาในการตรวจวัด อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยและพัฒนาครั้งนี้ จะเป็นพื้นฐานให้แก่วงการวิทยาศาสตร์ไทยในการวิจัยและพัฒนาระบบเลเซอร์ของแข็ง (Solid State Laser System) ต่อไป

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- Bloembergen, N., Pershan, P.S.(1964). Light waves at The boendary of nonlinear media.
Phys.Rev. 128 : 606.
- Boyd, G.D., and Gordon, J.P (1961). Confocal Multimode Resonator Millimeter through Optic
 Wavelength Masers, **Bell System Technical Journal**, 40, 489.
- Einstein, A. (1917). Zur Quantentheorie der Strahlung, **Physic Z**, 18, 21.
- Gordon, J.P., Zeiger, H., and Townes, C.H (1954). Molecular Microwave Oscillator and New
 Hyperfine Structure in the Microwave Spectrum of NH_3 . **Phys.Rev.**, 95,282.
- Geusic, J.E., Macos, H.M., and Van Uitert, L.G. (1964). Laser Oscillator in Nd-doped Yttrium
 Aluminium, Yttrium Gallium and Gadolinium Gornets, **Appl. Phys. Lett**, 4, 182
- Hellwarth, R.W.(1961). **Advances in Quantum Electronics**. Colembia University Press :
 New York.
- Hellwarth, R.W.(1966). **Q-Moderation of Laser**. Marcel Dekker : New York.
- Koecchner, W. (1976). **Solid State Laser Engineering**. Spriger Verlag, New York.
- Maimann, T.H.(1960). Stimulated optical Radiation in reby. **Nature**. 187 : 493.
- Robinson, A.L. (1984). Soft X-ray Lasder at Lawrence Livermore Laboratory, **Science**, 226, 821.
- Schalow, A.L. and Townes, C.H.(1958). Infrared And optical Maser. **Phys. Rev.** 112 : 1940
- Yariv, A.(1989). **Quantum Electronics**. John Wiley and Sons : Singapore

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางที่ 1 ข้อมูลการวัดค่าพลังงานของเลเซอร์

Energy meter : Gentech ED 200

Conversion $1\text{mV} = 0.16\text{ mJ}$

Variac (volts)	Gentech (mV)	Energy (mJ)
700	200	32
800	400	64
1000	900	144
1200	1400	224
1400	1900	312
1600	2600	416
1800	3400	544
1900	3800	608
2000	4200	672
2100	4500	720
2200	4800	768

ภาคผนวก ข

การคำนวณหา กำลังงาน

จากตารางที่ 1. เราพบว่าพลังงานสูงสุดที่ระบบเลเซอร์ให้ในขณะที่เป็น Free running เมื่อเครื่องจ่ายกำลังทำงานที่ตักคา 2200 โวลต์ มีค่าเป็น 768 mJ ในสภาพทั่วไป คิวสวิตช์พัลส์จะมีความยาว $t = 30 \times 10^{-9}$ sec

$$\text{ดังนั้น กำลัง } P = \frac{\text{พลังงาน}}{\text{เวลา}}$$

$$P = \frac{768 \times 10^{-3} J}{30 \times 10^{-9} \text{ sec}} = 2.56 \times 10^8 = 256 \text{ MW}$$

จาก Burnt Pattern เราพบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของ Burnt Pattern มีค่าประมาณเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่ง Nd:YAG ดังนั้น $D = 0.5 \text{ cm}$ กำหนดให้ A เป็นค่าพื้นที่ของ Burnt Pattern เราจะได้

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{1}{4} \times 3.14 \times (0.5)^2 = 0.1963 \approx 0.2 \text{ cm}^2$$

กำหนดให้ความหนาแน่นของกำลังต่อพื้นที่ = P/A เราจะได้

$$\begin{aligned} P/A &= \frac{256 \text{ MW}}{0.2 \text{ cm}^2} = 1.28 \times 10^3 \text{ MW/cm}^2 \\ &= 1.28 \text{ GW/cm}^2 \end{aligned}$$

ค่า P และ P/A ที่ได้นั้นจะเป็นปริมาณที่มากแต่ก็เป็นค่าที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่สั้นมาก ค่าที่ได้นี้เป็นค่าที่ได้ใน Order of magnitude ของคิวสวิตช์เลเซอร์ที่ให้กำลังงาน นำไปใช้งานทางด้าน Nonlinear Optics ซึ่งกระตุ้นให้เกิดแสงเช็คกันฮาร์โมนิคหรือปรากฏการณ์ทางนอนลิเนียร์ออฟติคอื่นๆ ตลอดจนการตัด เจาะโลหะหรือสารกึ่งตัวนำได้เป็นอย่างดี

ประวัติผู้วิจัย

ศาสตราจารย์ ดร. วุฑฒิ พันธมนาวิน เกิดเมื่อวันที่ 21 สิงหาคม พ.ศ. 2483 ได้รับทุนรัฐบาลไทย (ก.พ./ครุสภา) ไปศึกษาวิชาฟิสิกส์ ณ. ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อปี พ.ศ. 2503 สำเร็จปริญญาตรี (ฟิสิกส์) จาก University of California, Berkeley ปี พ.ศ. 2507 ปริญญาโท (ฟิสิกส์นิวเคลียร์) จาก University of Illinois, Urbana ปี พ.ศ. 2509 ได้กลับมารับราชการที่วิทยาลัยเทคนิคธนบุรี (บางมด) กรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ ต่อมาได้โอนย้ายไปมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยได้มีส่วนร่วมก่อตั้งมหาวิทยาลัยฯ ด้วย ปี พ.ศ. 2513 ได้รับทุน USAID ไปศึกษาต่อระดับปริญญาเอกด้านเลเซอร์ ที่ University of Maryland, College Park เรียนจบปริญญาเอก เมื่อ พ.ศ. 2516 ระหว่างที่ทำการศึกษา ณ. ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้รับทุนจาก University of Illinois, Urbana เป็น Research Assistant ประจำ Cyclotron Nuclear Radiation Laboratory และทุน Research Assistant ประจำ Solid State Laser Laboratory ของ University of Maryland, College Park

ศาสตราจารย์ ดร. วุฑฒิ พันธมนาวิน ได้มีส่วนร่วมก่อตั้งคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ คณะวิทยาศาสตร์และครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และสำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ได้มีผลงานในการตั้งหลักสูตรระดับปริญญาตรีและบัณฑิตศึกษาทางสาขาวิชาฟิสิกส์ ตลอดจนติดตั้งห้องปฏิบัติการทางฟิสิกส์ในหลายมหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2536 ได้ก่อตั้ง School of Laser Technology and Photonics เป็นครั้งแรกของประเทศไทยที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา และได้ตั้งหลักสูตรบัณฑิตศึกษาเป็นครั้งแรกของประเทศและภูมิภาค ได้ทำการเปิดรับนักศึกษามัธยมศึกษาในปี พ.ศ. 2541 ได้ทำการวิจัยและพัฒนาทางด้านวิชาเลเซอร์ แสง และพลังงานทดแทน (แสงอาทิตย์) ตีพิมพ์ในประเทศและต่างประเทศประมาณ 30 เรื่อง ได้รับรางวัลต่างๆ ทางด้านวิชาการพอสมควรได้คือ

- รางวัลที่ 3 สิ่งประดิษฐ์คิดค้นที่เป็นประโยชน์ต่อประเทศชาติ เรื่องการวิจัยและพัฒนาาระบบฮีเลียม-นีออนเลเซอร์จากคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ พ.ศ. 2526
- รางวัลชมเชย สิ่งประดิษฐ์คิดค้นที่เป็นประโยชน์ต่อประเทศชาติเรื่องการพัฒนาาระบบแฟลชแลมป์พัมป์ ทูเนอเบิลคายเลเซอร์จากคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ พ.ศ. 2543

- **The First Sawar Razmi Prize** ด้านการพัฒนาและเผยแพร่ความรู้ทางด้าน Laser และ Optics จาก
International Center for Theoretical Physics (ICTP)
UNESCO/IAEA, Trieste, Italy ค.ศ. 1991

ดำรงตำแหน่งคณบดีคนแรกของสำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
นครราชสีมา

ปัจจุบันดำรงตำแหน่งหัวหน้าสาขาวิชาเทคโนโลยีเลเซอร์และฟิสิกส์ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา

ที่อยู่ปัจจุบัน 26 ถนนเสรี หมู่บ้านเสรี 1 แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10250 โทรศัพท์ 02-
7190207 โทรสาร 02-3196875