



การศึกษาระบบนีโอดีเมียมแยกเลเซอร์โดยใช้เลเซอร์ไดโอดกระตุ้นจากด้านข้าง A Nd : YAG Laser System Study by Laser Diode Side Pumped

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.ท. วีระ บุญผุด
กองวิชาฟิสิกส์และเคมี ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ
ตำบลปากน้ำ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ 10270

บทคัดย่อ

นีโอดีเมียมแยกเลเซอร์เป็นเลเซอร์ของแข็งชนิดหนึ่ง โดยการกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานในผลึกแยกจะต้องใช้พลังงานแสงเท่านั้น และกำลังเป็นที่นิยมในปัจจุบันคือนีโอดีเมียมแยกเลเซอร์แบบลำแสงต่อเนื่องที่กระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 808 nm. สามารถใช้กระตุ้นให้อิออน Nd^{3+} ในผลึกแยกให้เปลี่ยนระดับพลังงานไปอยู่ในสถานะกึ่งเสถียร (${}^4F_{3/2}$) มากที่สุด หลังเกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานจาก (${}^4F_{3/2}$) มายังระดับพลังงาน (${}^4I_{11/2}$) แล้วทำให้เกิดการปลดปล่อยลำแสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 1064 nm ออกมา นีโอดีเมียมแยกเลเซอร์แบบกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดเป็นระบบเลเซอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับเลเซอร์ชนิดของแข็งโดยทั่วไปที่กระตุ้นด้วยแสงจากหลอดไฟแฟลช

Abstract

Nd: YAG laser is one type of solid state laser. The energy for pumping the *Nd: YAG* crystal is obtained only from the light source, a new technology of *Nd: YAG* laser, that is the continuous wave (CW) diode - pumped *Nd: YAG* laser has been developed. The diode laser which emits the laser radiation at the wavelength of 808 nm is used to pump the *Nd: YAG* rod. It pump Nd^{3+} in the *Nd: YAG* rod from ground state to metastable state (${}^4F_{3/2}$), then it makes transition from ${}^4F_{3/2}$ state to ${}^4I_{11/2}$ state by stimulated emission and radiate the laser beam at the wavelength of 1064 nm. The CW diode - pumped ${}^4I_{11/2}$ *Nd: YAG* laser is considered as a high efficiency laser system. The advantage of this laser system is a tiny laser system in comparison with the conventional flashlamp - pumped solid state laser system.



1. ความเป็นมาของปัญหาการวิจัย

นับตั้งแต่มีการค้นพบเลเซอร์ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1960 จนถึงปัจจุบันนับเป็นระยะเวลาประมาณ 4 ทศวรรษ ได้มีการพัฒนาทางด้านเลเซอร์เทคโนโลยีอย่างรวดเร็วทั้งทางทฤษฎีและการนำไปประยุกต์ใช้ หลังจากสงครามโลกครั้งที่ 2 การพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้มีมาอย่างต่อเนื่อง ในปี 1950 นักวิทยาศาสตร์สามารถผลิตคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าห่าพ ฆัห่าพ ฆักั ศพห่าพ ฎรนกำ ฆรกำ ฎุห่าพห่าพความถี่สูงที่เรียกว่า ไมโครเวฟ(Microwave) ซึ่งเกิดจากการ ขยายความเข้มรังสี (Amplified Radiation) โดยวิธีการปลดปล่อยโดยการกระตุ้น ขณะนั้นเรียกว่า (MASER) ในปี 1958 ได้นำหลักการดังกล่าวมาประยุกต์และสามารถผลิตคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงกว่าคลื่นไมโครเวฟจนถึงย่านที่ตามองเห็นชื่อว่า เลเซอร์ (LASER) หลังจากนั้นนักวิทยาศาสตร์ทั้งหลายได้พยายามค้นคว้าวิจัยเพื่อที่จะผลิตแสงเลเซอร์ จนในที่สุดเลเซอร์เครื่องแรกของโลกก็ถูกผลิตขึ้นคือ เลเซอร์ทับทิม (Ruby Laser) และได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องไม่ว่าจะเป็น ฮีเลียม-นีออนเลเซอร์ (He-Ne) ไนโตรเจนเลเซอร์ (nitrogen Laser) อาร์กอนเลเซอร์ (Argon Laser) ดายเลเซอร์ (Dye Laser) เลเซอร์ของแข็งชนิดอื่นๆ และเลเซอร์สารกึ่งตัวนำ เป็นต้น

หนึ่งในเลเซอร์ของแข็ง(Solid state Laser) ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาคือ นีโอดีเมียมแฉกเลเซอร์ (Neodymium YAG Laser) ซึ่งให้ลำแสงที่มีความยาวคลื่น 1.06 nm ถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1964 โดยใช้สารนีโอดีเมียม (Nd) โด๊ปลงไปไนยทเทรียมอลูมิเนียมแกเร็ต (Yttrium Aluminium Garnet, YAG) และใช้หลอดไฟแฟลชในการกระตุ้น (Pumping) เพื่อให้เกิดเลเซอร์ ผลที่ได้เป็นเลเซอร์แบบพัลส์ (Pulse) ต่อมาได้มีการพัฒนาใช้หลอดไฟแบบอาร์ค (Arc Lamp)

ในการกระตุ้น ซึ่งจะได้เลเซอร์แบบคลื่นต่อเนื่อง แต่ทั้ง 2 ระบบต่างก็มีความร้อนสูงที่หลอดไฟกระตุ้น จึงต้องมีการหล่อเย็นระบบตลอดเวลา จึงส่งผลให้ทั้ง 2 แบบมีขนาดใหญ่ จึงเป็นที่มาของแนวความคิดที่จะมีการพัฒนาระบบเลเซอร์ให้มีขนาดเล็กและไม่ยุ่งยาก เรื่องการระบายความร้อนที่หลอดไฟ อีกทั้งเสถียรภาพของเลเซอร์ที่ได้จะดีกว่าระบบหลอดไฟทั้ง 2 แบบ โดยในการวิจัยได้ออกแบบใช้สารเลเซอร์ชนิดของแข็งสังเคราะห์ และใช้เลเซอร์ไดโอดกระตุ้นเพื่อลดขนาดระบบระบายความร้อน โดยผลที่ได้คาดว่าจะเป็ นเลเซอร์แบบคลื่นต่อเนื่องความยาวคลื่น 1.06 μm ขนาดเล็กกะทัดรัด มีเสถียรภาพสูง ใช้งานได้จริง

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาการออกแบบและสร้างระบบนีโอดีเมียมแฉกเลเซอร์แบบลำแสงต่อเนื่องโดยใช้เลเซอร์ไดโอดกระตุ้น
2. เพื่อศึกษาวิธีการกระตุ้นพลังงานแสงจากเลเซอร์ไดโอดทางด้านข้าง
3. เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ป้อนกับกำลังของนีโอดีเมียมแฉกเลเซอร์
4. เพื่อหาประสิทธิภาพของระบบเลเซอร์ที่สร้าง

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 เรโซเนเตอร์ (Resonator)

3.1.1 กระจกหลัง (End Mirror) มีค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนมากกว่า 99% ที่มีความยาวคลื่น 1046 nm รัศมีความโค้ง 1.5 m เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว เคลือบฟิล์มบางที่มีการสะท้อนแสงสูงที่มีความยาวคลื่น 1046 nm

3.1.2 กระจกหน้า (Output Mirror) มีค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนมากกว่า 95% ที่มีความยาวคลื่น 1046

nm รัศมีความโค้ง 1.5 m เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว เคลือบฟิล์มบางที่มีการสะท้อนแสงสูงที่มีความยาวคลื่น 1046 nm

3.2 แท่งผลึกนีโอติเมียมแฉก

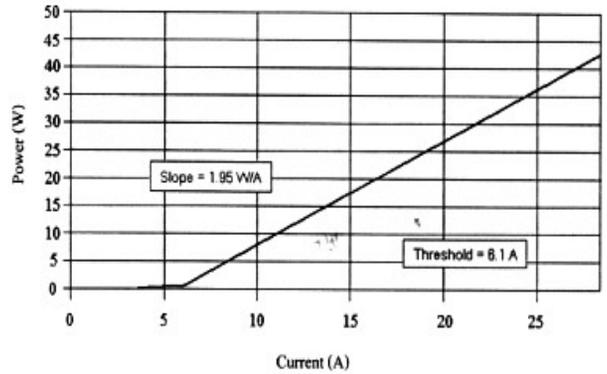
3.2.1 แท่งผลึกทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 mm ยาว 12 mm

3.2.2 ปริมาณการโด๊ปของ Nd^{+3} ในผลึกเท่ากับ 1%

3.2.3 เคลือบป้องกันการสะท้อนที่ความยาวคลื่น 1064 nm ที่ปลายทั้งสองข้างของผลึก และได้ทำการขัดเรียบและทำการเคลือบฟิล์มบางเพื่อป้องกันการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น 1064 nm เพื่อลดการสูญเสียในระบบเลเซอร์อันเกิดจากการสะท้อนที่ผิวหน้าของผลึก

3.3 เลเซอร์ไดโอด

ในการทดลองนี้ใช้วิธี Optical Pumping โดยใช้แสงเลเซอร์ไดโอดปั๊มขนาดด้านข้าง (Side Pumped) ซึ่งมี 2 ขนาดคือ 20 W และ 40 W หน้ากว้าง 10 mm ดังแสดงคุณลักษณะตามรูปด้านล่าง



รูป 1 กราฟแสดงกำลังเลเซอร์ไดโอด ทดสอบจากบริษัทผู้ผลิต

3.4 ระบบระบายความร้อนแก่เลเซอร์ไดโอด

3.4.1 ถังน้ำพลาสติกขนาดความจุ 20 ลิตร พร้อมน้ำสะอาดครึ่งถัง

3.4.2 Water Pump ทำหน้าที่สูบน้ำไปยังหัวเลเซอร์ในอัตรา 6-9 l/min ที่อุณหภูมิ 20 - 23°C

3.5 เครื่องจ่ายไฟ (Power Supply)

PARAMETER	CONDITION	MIN	TYP	MAX
CW Power Output	CS=30A at 25°C Heat Sink W2=30A at 25°C Heat Sink	20 W	-	-
Threshold Current	25°C Heat Sink	-	4.5A	6.0A
Operating Current	20W at 25°C Heat Sink	-	27A	33A
Operation Voltage V_{op}	-	-	1.6V	1.9V
Slope Efficiency	25°C Heat Sink	1.95W/A	1.97W/A	-
Center Wavelength	20W at 25°C Heat Sink	792 nm	806nm	812nm
Wavelength Shift	-	0.23 nm/°C	0.25 nm/°C	0.23 nm/°C

ตารางที่ 1 แสดงคุณลักษณะของเลเซอร์ไดโอดขนาด 20 W ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องจ่ายกำลังให้กับเลเซอร์ไดโอดจากบริษัท
THORLABS โดยมีคุณสมบัติดังตารางที่ 2

Control Range (continuous)	0-65 A
Compliance Voltage	>5 V
Resolution	10 mA
Accuracy	±100mA
Noise Without Ripple (10 MHz, rms)	±100mA
Transients	<500mA
Temperature	<50ppm/°C
Control range (power)	0.5 - 100 W
Resolution (power)	10mW
Warm - up time for rated accuracy	10min
Weight	<10 kg
Dimension (mm) (WxHxD)	200x132x351

ตารางที่ 2 แสดงคุณลักษณะของเครื่องจ่ายไฟ
ให้กับเลเซอร์ไดโอด



รูปที่ 2 แสดงเครื่องจ่ายไฟให้กับเลเซอร์ไดโอด
รุ่น LDC3065

3.5 ชุดวัดกำลังเลเซอร์ (Power Meter)

เครื่องวัดกำลังของเลเซอร์ไดโอดและแยกเลเซอร์
สามารถวัดได้ 2 แบบ คือ แบบต่อเนื่องและแบบ
พัลส์ มีแสดงคุณลักษณะตามตารางที่ 3 และรูปที่ 3

Detector Compatibility	Thermopile, Photodiode pyreelectric,OEM
Spectral Response	250 - 3200 nm
Windows	Diameter 2 cm
Input Range	15 nm - 1.5 mA full scale in 16 range
A to D Sampling Rate	15 Hz
A to D Resolution	17 bits plus sign,(0.0007%resolution)
Electrical Accuracy	±0.1%±20pAnew, 0.3%±20pAafter 1 years
Dynamic Range	9 decades (1:10 ⁹)
Analog Output Accuracy	±0.2%±1mV relative to display
Dimensions	203Hx95Wx37D(mm)
Mass	550 g
Display	122x32 pixel Super twist LCD
Operation Between Charges	18 Hrs,10Hrs with piezoelectric heads Battery charge time 10 - 14 Hrs.
Charger	DC : 11 to 22V : or AC 9 to 15 V _{rms} 3 W

ตารางที่ 3 แสดงคุณสมบัติของเครื่องวัดกำลังแสงเลเซอร์



รูปที่ 3 แสดงชุดวัดกำลังแสงเลเซอร์

3.6 การออกแบบ Optical Resonator

ในการทดลองได้กำหนดคุณสมบัติของเลเซอร์ดังนี้

3.6.1 กำลังเลเซอร์ประมาณ 10 W

3.6.2 Beam Profile เป็นแบบ Gaussian Beam (TEM₀₀)

3.6.3 Output ของเลเซอร์เป็นแบบ Single Mode

3.6.4 มุมบานออกของลำแสงเลเซอร์ (Beam Divergence) ประมาณ 2 mrad

รายการคำนวณออกแบบเรโซเนเตอร์ (Resonator)

3.6.5 มุมบานออกของลำแสงเลเซอร์ประมาณ 2 mrad

3.6.6 เรโซเนเตอร์เป็นแบบชนิด Confocal (R₁ = R₂ = 1.5 m)

3.6.7 ความยาวคลื่นของนีโอดีเมียมแย็กเลเซอร์ คือ 1064 nm

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณหาค่าประมาณ Beam Waist (ω₀) โดยใช้สมการ

$$\theta = \frac{\Lambda}{\pi\omega_0}$$

โดยที่ θ = มุมบานออกของลำแสงเลเซอร์ (rad) ประมาณ 2 mrad

(ω₀) = The radius of beam waist (m)

Λ = ความยาวคลื่นของนีโอดีเมียมแย็กเลเซอร์ = 1064 nm
 จะได้

$$\omega_0 = \frac{\Lambda}{\pi\theta} = \frac{1064 \times 10^{-9}}{\pi \times 2 \times 10^{-3} \text{ rad}} = 0.34 \text{ mm}$$

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาความยาว Resonator ซึ่งในการออกแบบกำหนดให้เป็น resonator ชนิด Confocal รัศมีความโค้งของกระจกหลังเท่ากับรัศมีความโค้งกระจกหน้าเท่ากับ 1.5 m (R₁ = R₂ = 1.5 m) จากสมการ

$$\omega_0^4 = \left(\frac{\Lambda}{\pi}\right)^2 \times \frac{L(R_1 - L)(R_2 - L)(R_1 + R_2 - L)}{(R_1 + R_2 - 2L)^2}$$

โดยที่ โดยที่ L = ความยาวของ Resonator (m)

R₁ = รัศมีความโค้งกระจกหลัง (m)

R₂ = รัศมีความโค้งกระจกหน้า (m)

จะได้

$$(3 \times 10^{-4})^4 = \left(1064 \times \frac{10^{-9}}{\pi}\right)^2 \frac{L(1.5 - L)(1.5 - L)(1.5 + 1.5 - L)}{(1.5 + 1.5 - 2L)^2}$$

จะได้

$$L \cong 0.105 \text{ m หรือ } 10.5 \text{ cm}$$

ขั้นตอนที่ 3 ในการวิจัยและใช้งานจริง ผู้วิจัยทดลองความยาวของ Resonator อยู่ในช่วงความยาว 20 cm เนื่องจากต้องนำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

ที่ต้องการระบบเลเซอร์ที่มีความกะทัดรัด สามารถ
ยกเคลื่อนย้ายได้สะดวกและรวดเร็ว

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณหาค่า Beam waist ที่ใช้จริง
จากสมการ

$$\omega_0^4 = \left(\frac{\lambda}{\pi}\right)^2 \times \frac{L(R_1 - L)(R_2 - L)(R_1 + R_2 - L)}{(R_1 + R_2 - 2L)^2}$$

โดยที่

(ω_0) = The radius of beam waist (m)

λ = ความยาวคลื่นของนีโอดีเมียมแฉกเลเซอร์
= 1064 nm

R_1 = รัศมีความโค้งกระจกหลัง (m)

R_2 = รัศมีความโค้งกระจกหน้า (m)

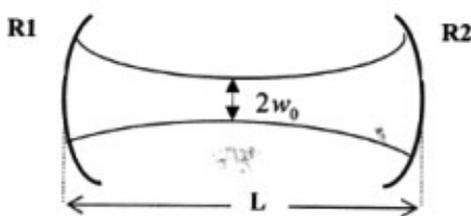
L = ความยาวควาวิตี้ (m)

$$\omega_0^4 = \left(1064 \times \frac{10^{-9}}{\pi}\right)^2 \times \frac{0.2 \times (1.5 - 0.2)(1.5 - 0.2)(1.5 + 1.5 - 0.2)}{(1.5 + 1.5 - 2 \times 0.2)^2}$$

จะได้

$$\omega_0 = 0.34 \text{ mm}$$

เพราะฉะนั้น Beam waist = $2\omega_0 = 2 \times 0.34 = 0.68 \text{ mm}$



รูปที่ 5 ไดอะแกรมแสดง Beam waist
และ ความยาวควาวิตี้

ขั้นตอนที่ 5 หา The radius of beam waist ที่
กระจก R_1 และ R_2

$$\omega_1^4 = \left(\frac{\lambda_0 R_1}{\pi}\right)^2 \times \left(\frac{R_2 - L}{R_1 - L}\right) \times \left(\frac{L}{R_1 + R_2 - L}\right)$$

แทนค่าจะได้

$$\omega_1^4 = \left(\frac{\lambda_0 R_1}{\pi}\right)^2 \times \left(\frac{R_2 - L}{R_1 - L}\right) \times \left(\frac{L}{R_1 + R_2 - L}\right) \left(\frac{0.2}{1.5 + 1.5 - 0.2}\right)$$

ได้ $\omega_1 = 0.36 \text{ mm}$

และจากสมการ

$$\omega_2^4 = \left(\frac{\lambda_0 R_2}{\pi}\right)^2 \times \left(\frac{R_1 - L}{R_2 - L}\right) \times \left(\frac{L}{R_1 + R_2 - L}\right)$$

$$\omega_2^4 = \left(1064 \times \frac{10^{-9}}{\pi} \times 1.5\right)^2 \times \left(\frac{1.5 - 0.2}{1.5 - 0.2}\right) \times \left(\frac{0.2}{1.5 + 1.5 - 0.2}\right)$$

ได้ $\omega_2 = 0.36 \text{ mm}$

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณหาตำแหน่งวางแท่ง Nd:YAG

จากสมการ

$$t_1 = \frac{L(R_2 - L)}{R_1 + R_2 - 2L}$$

และ

$$t_2 = \frac{L(R_1 - L)}{R_1 + R_2 - 2L}$$

เมื่อ t_1 และ t_2 คือ ระยะจากจุดกลางแท่งนีโอดีเมียม
แฉกถึงกระจกหน้า - หลัง

ขั้นตอนที่ 7 คำนวณหา g - parameter

ระบบเลเซอร์จะมีเสถียรภาพที่ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับ
กับเงื่อนไข g - parameter คือ

$$0 < g_1 g_2 < 1$$

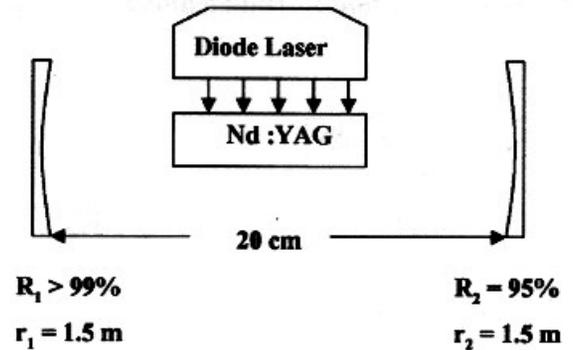
โดยที่

$$g = 1 - \frac{L}{R}$$

จะได้

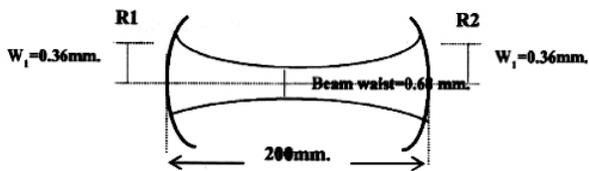
$$g_1 = 1 - \frac{0.2}{1.5} = 0.86$$

$$g_2 = 1 - \frac{0.2}{1.5} = 0.86$$

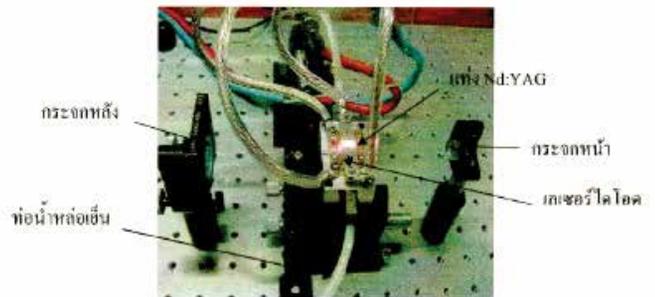


รูปที่ 5 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ในควิวตี้

ซึ่งทำให้ค่า $g_1 g_2 = 0.74$ อยู่ในเงื่อนไขพอดิ และสามารถนำค่าต่างๆมาวาดเป็นไดอะแกรมเรโซเนเตอร์ได้ดังนี้



รูปที่ 4 แสดง resonator ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 6 แสดงการประกอบ resonator แล้วเสร็จพร้อมทดสอบ

4. การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาเปรียบเทียบกำลังของนีโอดีเมียมแยกเลเซอร์ที่ความยาวเรโซเนเตอร์ต่างๆ กัน โดยใช้กำลังของเลเซอร์ไดโอดที่กระตุ้นคงที่ 15 W

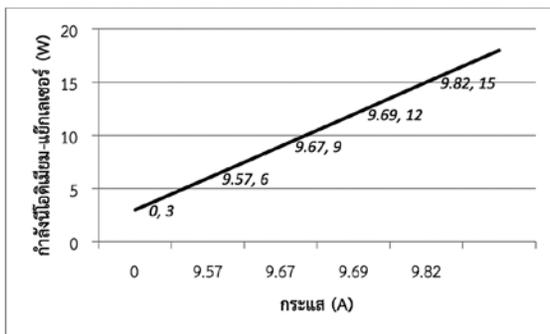
ความยาวเรโซเนเตอร์ L(cm)	กำลังนีโอดีเมียมแยกเลเซอร์ (W)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
10	1.21	1.22	1.24	1.22
15	1.12	1.08	1.14	1.11
20	1.02	1.14	1.08	1.08
25	0.85	0.08	0.86	0.84

3.2 การทดลองที่ 2 ศึกษากำลังของแสงเลเซอร์เทียบกับกระแสที่ป้อนให้กับเลเซอร์ไดโอดที่ค่าต่างกัน (เรโซเนเตอร์คงที่ 20 cm เลเซอร์ไดโอดขนาด 20 W และ แรงดันไฟฟ้าคงที่ 1.6 V)

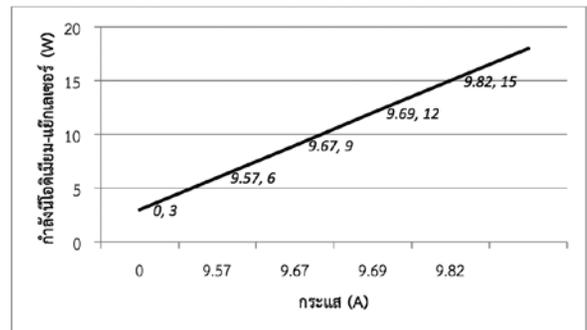
กระแส (A)	กำลังนีโอติเมียมแฉีกเลเซอร์ (W)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย
5	0	0	0	0	0
10	0.41	0.46	0.44	0.42	0.43
15	0.72	0.69	0.71	0.73	0.71
20	1.43	1.37	1.42	1.45	1.42
25	2.42	2.42	2.44	2.43	2.43
30	2.72	2.65	2.70	2.75	2.70

3.3 การทดลองที่ 3 ศึกษากำลังของแสงเลเซอร์เทียบกับกระแสที่ป้อนให้กับเลเซอร์ไดโอดที่ค่าต่างกัน (เรโซเนเตอร์คงที่ 20 cm เลเซอร์ไดโอดขนาด 40 W และ แรงดันไฟฟ้าคงที่ 3.2 V)

กระแส (A)	กำลังนีโอติเมียมแฉีกเลเซอร์ (W)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย
5	0	0	0	0	0
10	0.74	0.76	0.75	0.77	0.75
15	1.28	1.30	1.31	1.37	1.32
20	2.83	2.84	2.83	2.89	2.85
25	3.89	3.92	3.94	3.97	3.93
30	4.22	4.25	4.30	4.25	4.25



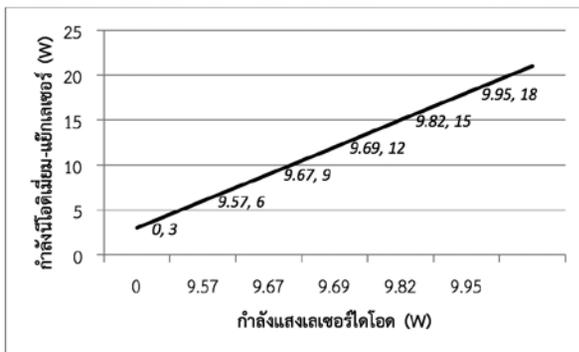
รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ป้อนเลเซอร์ไดโอดกับกำลังนีโอติเมียมแฉีกเลเซอร์ (เลเซอร์ไดโอดขนาด 20 W)



รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ป้อนเลเซอร์ไดโอดกับกำลังนีโอติเมียมแฉีกเลเซอร์ (เลเซอร์ไดโอดขนาด 40 W)

3.4 การทดลองที่ 4 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเลเซอร์ไดโอดกับกำลังนิตีเมียมแยกเลเซอร์ (เลเซอร์ไดโอดขนาด 20 W และ แรงดันไฟฟ้าคงที่ 1.6 V)

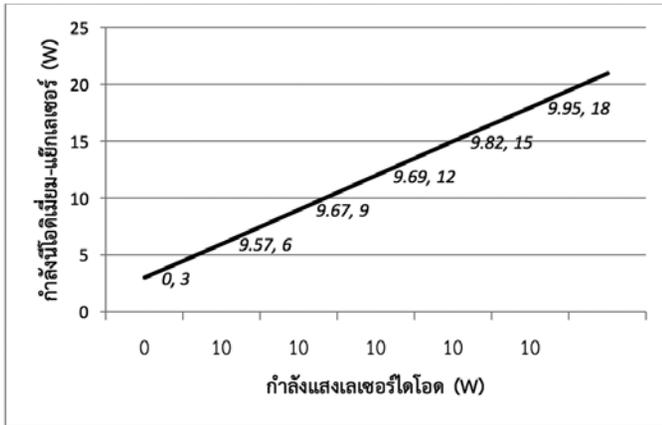
กระแส (A)	กำลังแสงเลเซอร์ไดโอด (W)	กำลังนิตีเมียมแยกเลเซอร์ (W)					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	ประสิทธิภาพเลเซอร์ (%)
5	0	0	0	0	0	0	0
8	2.36	0.17	0.19	0.19	0.17	0.18	7.60
11	5.52	0.42	0.43	0.45	0.43	0.44	8.00
14	8.68	0.76	0.76	0.76	0.75	0.76	8.76
17	11.84	1.22	1.24	1.23	1.23	1.23	10.38
20	15.00	1.60	1.58	1.58	1.59	1.58	10.53
23	19.16	2.00	2.01	2.02	2.02	2.02	10.55



รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเลเซอร์ไดโอดขนาด 20 W กับกำลังนิตีเมียมแยกเลเซอร์

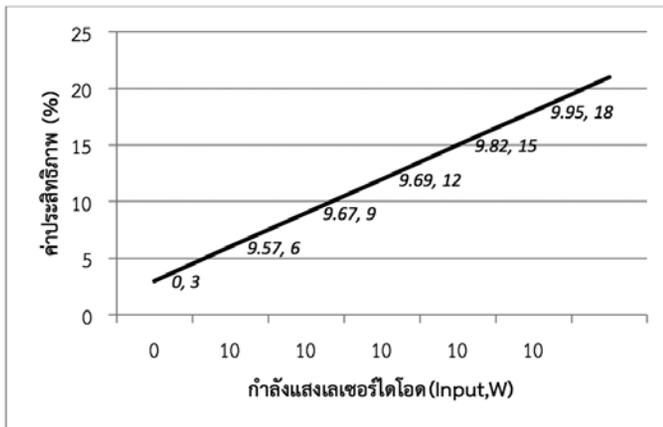
3.5 การทดลองที่ 5 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเลเซอร์ไดโอดกับกำลังนิตีเมียมแยกเลเซอร์ (เลเซอร์ไดโอดขนาด 40 W และ แรงดันไฟฟ้าคงที่ 3.2 V)

กระแส (A)	กำลังแสงเลเซอร์ไดโอด (W)	กำลังนิตีเมียมแยกเลเซอร์ (W)					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	ประสิทธิภาพเลเซอร์ (%)
3	0	0	0	0	0	0	0
6	2.10	0.22	0.21	0.21	0.21	0.21	9.57
9	7.34	0.72	0.70	0.72	0.70	0.71	9.67
12	12.59	1.21	1.22	1.22	1.22	1.22	9.69
15	17.03	1.73	1.76	1.75	1.75	1.75	9.82
18	23.08	2.14	2.30	2.35	2.40	2.29	9.95
21	28.32	2.62	2.90	2.97	2.94	2.86	10.10

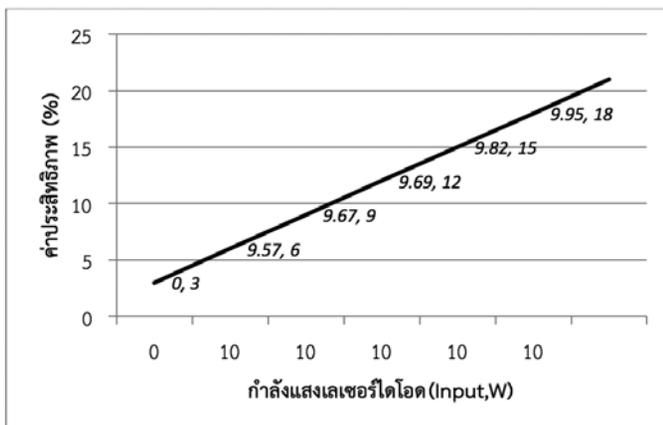


รูปที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเลเซอร์ไดโอดขนาด 40 W กับกำลังนีโอติเมียมแย็กเลเซอร์

ประสิทธิภาพของระบบนีโอติเมียมแย็กเลเซอร์สามารถหาได้โดยนำค่ากำลังแสงที่วัดได้ (Output Power) ต่อกำลังแสงเลเซอร์ไดโอดที่กระตุ้น (Input Power) ดังสมการ $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$ สามารถแสดงได้ดังกราฟต่อไปนี้



รูปที่ 11 กราฟแสดงประสิทธิภาพของระบบนีโอติเมียมแย็กเลเซอร์ (Output, W) กับกำลังแสงที่กระตุ้นจากเลเซอร์ไดโอด 20 W (Input, W)



รูปที่ 12 กราฟแสดงประสิทธิภาพของระบบนีโอติเมียมแย็กเลเซอร์ (Output,W) กับกำลังแสงที่กระตุ้นจากเลเซอร์ไดโอด 40 W (Input,W)



3.6 การทดลองที่ 6 ศึกษาการบานออกของลำแสงเลเซอร์ที่ระยะต่างๆตามสมการ

$$\theta_{th} = \frac{1.27\lambda}{2\omega_0}$$

$\omega_0 = \text{The radius of beam waist} = 0.34 \text{ mm}$

ระยะที่วัด (cm)	เส้นผ่าศูนย์กลางของ แสงเลเซอร์ (mm)	ค่ามุมบานออก $\theta_{th}(\text{mrad})$	ค่ามุมบานออก $\theta_{lab}(\text{mrad})$
10 cm	4.70	2.00	-
20 cm	4.90	2.00	2.00
30 cm	5.10	2.00	2.00
60 cm	5.80	2.00	2.20
100 cm	7.20	2.00	2.78
			เฉลี่ย = 2.24

5. สรุปผลการทดลอง

5.1 เลเซอร์ไดโอด

จากการศึกษาและทดสอบชุดเลเซอร์ไดโอดขนาด 20 W จะมีค่าเทสโวลต์อยู่ที่ประมาณ 5 A และชุดเลเซอร์ไดโอดขนาด 40 W มีค่าเทสโวลต์อยู่ที่ประมาณ 5 A เช่นกัน และเลเซอร์ไดโอดจะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่างๆเนื่องจากว่าที่ภาวะอุณหภูมิต่างๆจะมีพลังงานที่เกิดจากอุณหภูมิกายนอกไปรอบวนน้อย ดังนั้นจะมีจำนวนอิเล็กตรอนของเลเซอร์ไดโอดอยู่ที่สถานะพื้นมากกว่าที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดการกระตุ้นอิเล็กตรอนที่สถานะพื้นมากทำให้ได้ค่ากำลังแสงเลเซอร์ไดโอดมากขึ้นด้วย

โดยในการทดลองค่ากระแสที่ป้อนให้กับชุดเลเซอร์ไดโอดขนาด 20 W ควรอยู่ที่ 25 A จะให้ค่ากำลังแสงเลเซอร์ไดโอดอยู่ที่ 20.43 W และชุด

เลเซอร์ไดโอดขนาด 40 W ควรป้อนกระแสที่ 25 A เช่นกันจะได้ค่ากำลังแสงเลเซอร์ไดโอดอยู่ที่ 36.80 W

5.2 นีโอดีเมียมแยกเลเซอร์

ประสิทธิภาพของนีโอดีเมียมแยกเลเซอร์ทดลองที่ควิตี้ต่างๆ 10 15 20 และ 25 cm เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ค่า g - parameter ของแต่ละควิตี้กับกำลังเลเซอร์ ดังนี้ ที่ระยะ 100 mm ค่า g - parameter 0.87 ได้กำลังนีโอดีเมียมแยกเลเซอร์สูงสุด 1.22 W ที่ระยะ 150 mm ค่า g - parameter 0.81 ได้กำลังนีโอดีเมียมแยกเลเซอร์สูงสุด 1.11 W ที่ระยะ 200 mm ค่า g - parameter 0.75 ได้กำลังนีโอดีเมียมแยกเลเซอร์สูงสุด 1.08W ที่ระยะ 250 mm ค่า g - parameter 0.69 ได้กำลังนีโอดีเมียมแยกเลเซอร์สูงสุด 0.84 W จากการทดลองพบว่าควิตี้ที่เหมาะสมคือ 200 mm ถ้ากระตุ้นด้วย



เลเซอร์ไดโอดขนาด 20 W 25 A ค่า g - parameter 0.75 จะให้ค่ากำลังเลเซอร์สูงสุดคือ 2.70 W ถ้ากระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดขนาด 40 W 25 A ค่า g - parameter 0.75 จะให้ค่ากำลังเลเซอร์สูงสุดคือ 4.25 W ถ้าหากป้อนค่ากระแสไปเรื่อยๆระบบจะให้ค่ากำลังสูงสุดขึ้นไปอีก แต่จะมีปัญหาเนื่องมาจากระบบระบายความร้อน (cooling system)

5.3 อัตราการบานออกของลำแสง

การวัดการบานออกของลำแสงในทางปฏิบัติต่างกับทฤษฎีน้อยมากจึงถือว่าสามารถยอมรับได้ โดยค่ามุมบานออกนี้อาจจะมาจากความละเอียดของเครื่องมือวัดและผู้วัด

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ระบบเลเซอร์ยังมีค่ากำลังต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังที่ป้อนโดยมีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่

10.55 % และ 10.22 % อาจเกิดขึ้นเนื่องมาจากปริมาตรต่อการกระตุ้นในแท่งผลึกนีโอดีเมียมน้อยเกินไปทำให้กระบวนการ population inverse น้อย ซึ่งควรเปลี่ยนกระจกหน้าจากชนิด concave (โค้งเว้า) มาเป็นแบบ plano (เรียบ) จะทำให้พื้นที่ปริมาตรต่อการกระตุ้นมากขึ้น

6.2 ความเหมาะสมของการเลือกรูปทรงเรขาคณิตของผลึกนีโอดีเมียมกับรูปทรงพื้นที่หน้าตัดเลเซอร์ไดโอดควรเปลี่ยนแท่งผลึกจากรูปทรงกระบอกมาเป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์แทน

6.3 ระบบระบายความร้อนยังมีประสิทธิภาพไม่ดีพอระบายความร้อนได้ไม่มากนักทำให้แท่งนีโอดีเมียมแฉีกยังมีความร้อนสูงอยู่ประมาณ 55 °C ซึ่งทำให้กำลังของเลเซอร์ตกลงมาก ทางแก้ควรออกแบบเป็นระบบ chiller

เอกสารอ้างอิง

- [1] Koehler W.(1992). Solid State Laser Engineering (3 rd edition.) Springer Verlag.
- [2] O'Shea. (1977).An Introduction to Lasers and Their Application (3 rd edition.) Wesley.
- [3] Verdeyen,T. (1995). Laser Electronics (3 rd edition.) Prentice Hall.
- [4] Smith. W.V. (1996).Laser (2 nd edition.) McGrAw Hill.
- [5] Breck. C. (1991).Undersdanding Laser Technology (2 nd edition.) Pennwell Publishing.