

# การศึกษาและการสร้างนีโอดีเมียมแย็กเลเซอร์

พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ<sup>1</sup>

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ประภาส ไพรสุวรรณ<sup>2</sup> และ ชนม์เจริญ ทิพย์สุวรรณ<sup>3</sup>

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## บทคัดย่อ

ระบบนีโอดีเมียมแย็กเลเซอร์ (Neodymium YAG Laser System) ที่สร้างเป็นเลเซอร์ชนิดของแข็ง ซึ่งให้แสงเลเซอร์เป็นพัลส์ที่มีความยาวคลื่น 1.064 ไมครอน ระบบเลเซอร์ที่สร้างนี้ใช้แท่งผลึกนีโอดีเมียมแย็กเป็นทรงกระบอกที่มีความยาว 100 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตรหลอดแฟลชเป็นหลอดยาว 100 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร แท่งผลึกนีโอดีเมียมแย็กและหลอดแฟลชจะติดตั้งอยู่ ณ แนวโพกัสสองแนว ภายในแท่งโลหะกลวง ซึ่งมีผิวโค้งเป็นรูปวงรีและถูกชุบด้วยโครเมียมให้มันเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนแสงไปยังแท่งผลึกนีโอดีเมียมแย็ก ในการทำงานหลอดแฟลชจะถูกกระตุ้นด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 1,000 โวลต์ แสงเลเซอร์ที่ได้มีพลังงาน 140 มิลลิจูลต่อพัลส์และมีกำลังงานสูงสุด 3.5 กิโลวัตต์ ในการทดลองนี้ได้มีการนำเอาแสงเลเซอร์ไปยังลงบนชิ้นงานที่เป็นเหล็กซึ่งผลที่ได้ออกมาทำให้ชิ้นงานเป็นหลุมลึกลงไปประมาณ 1 มิลลิเมตร และมีความกว้าง 0.75 มิลลิเมตร

<sup>1</sup> รองศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์

<sup>2</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

<sup>3</sup> นักศึกษาบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

## A Study and Construction of Neodymium YAG Laser

Pichet Limsuwan <sup>1</sup>

King Mongkut's Institute of Technology Thonburi.

Prapard Prisuwanna <sup>2</sup> and Chonjaraun Tipsuwan <sup>3</sup>

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 6 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.

---

<sup>1</sup> Associate Professor, Department of Physics

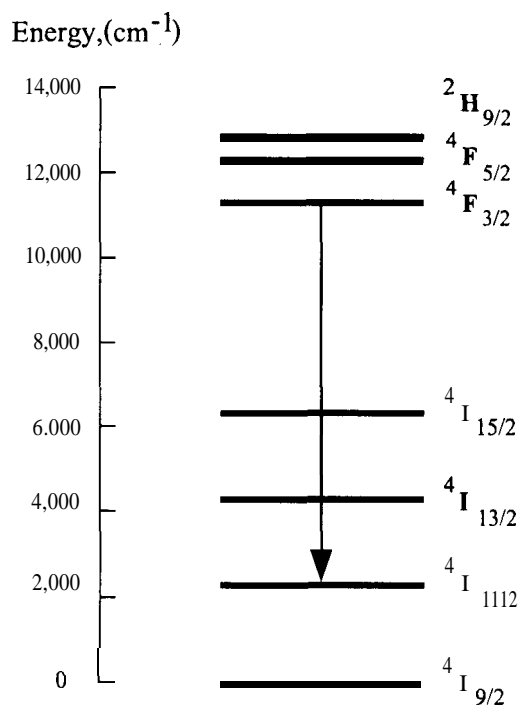
<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Electrical Engineering

<sup>3</sup> Graduate Student , Department of Electrical Engineering

## บทนำ

นีโอดีเมียมแอกเลเซอร์ได้ถูกสร้างขึ้นครั้งแรกโดย Geusic และคณะในปี ค.ศ. 1964 [1] โดยใช้แท่งผลึกนีโอดีเมียมแอกเป็นตัวกลางเลเซอร์ (laser medium) และใช้หลอดแฟลชเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดแสงเลเซอร์ เลเซอร์ที่ได้เป็นพัลส์ที่มีความยาวคลื่น 1.064 ไมครอน ซึ่งเป็นช่วงของรังสีความร้อน ในปัจจุบันนี้ได้มีการนำเอานีโอดีเมียมแอกเลเซอร์ไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ เกี่ยวกับทางด้านการแพทย์ เช่นการผ่าตัด ทางด้านอุตสาหกรรมได้มีการนำไปใช้ในการตัดเจาะแผ่นโลหะและวัสดุอื่นๆ จึงเห็นได้ว่านีโอดีเมียมแอกเลเซอร์มีความสำคัญอย่างมากในโลกปัจจุบัน

ผลึกนีโอดีเมียมแอกได้มาจากการนำเอานีโอดีเมียมไอออน ( $Nd^{3+}$ ) ใส่เข้าไปเป็นสารเจือปน (impurity) ในยทเทรียมอลูมิเนียมแกมมาร์ท (Yttrium Aluminium Garnet ;  $Y_3Al_5O_{12}$ ) [2] การกระตุ้นแท่งผลึกนีโอดีเมียมแอกทำได้โดยการใช้หลอดแฟลชที่บรรจุแก๊สซีนอน (xenon flashlamp) ที่มีความเข้มแสงสูง โดยที่แท่งผลึกนีโอดีเมียมแอกมีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงในย่านความถี่หลายๆ ช่วงของสเปกตรัมที่หลอดแฟลชปล่อยออกมา ระดับพลังงานของนีโอดีเมียมแอกเลเซอร์เป็นแบบ 4 ระดับพลังงาน (four level laser system) อะตอมของนีโอดีเมียมที่ฝังตัวอยู่ในโครงผลึกยทเทรียมอลูมิเนียมแกมมาร์ท เมื่อได้รับพลังงานจากหลอดแฟลชจะถูกกระตุ้นไปสู่ระดับพลังงานที่สูงขึ้นและลดลงมาสู่ที่ระดับพลังงาน  $^4F_{3/2}$  แล้วเกิดการปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการกระตุ้นระหว่างระดับพลังงาน  $^4F_{3/2}$  กับระดับ  $^4I_{11/2}$  ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงระดับชั้นพลังงานของนีโอดีเมียมแอกเลเซอร์

ในบทความนี้ได้นำเสนอการสร้างระบบนีโอดีเมียมแยกเลเซอร์ โดยพลังงานของแสงเลเซอร์ที่ได้ออกมาในหนึ่งพัลส์มีค่าเท่ากับ 140 มิลลิจูลน์ และกำลังงานสูงสุด 3.5 กิโลวัตต์ ในส่วนของการทดลองได้มีการนำเอาแสงเลเซอร์มายิงลงบนชิ้นงานที่เป็นเหล็กพบว่าทำให้ชิ้นงานเป็นหลุม ซึ่งสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานแกะสลักผิวได้

## อุปกรณ์และวิธีการ

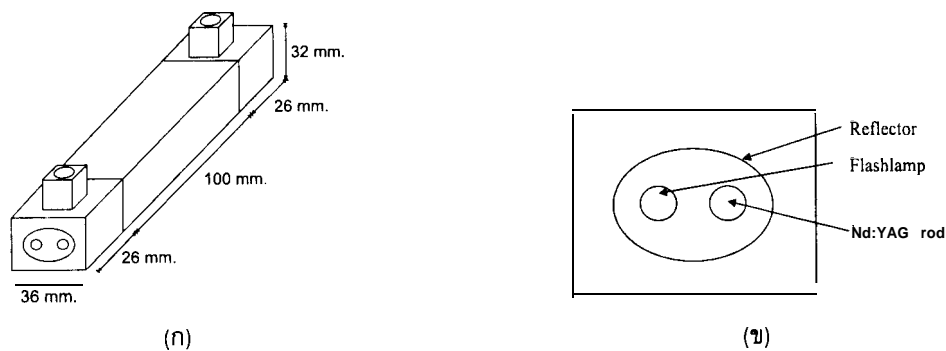
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้มี 2 ส่วนสำคัญคือระบบนีโอดีเมียมแยกเลเซอร์ที่สร้างและชุดเครื่องวัดกำลังของแสงเลเซอร์

### 1. ระบบนีโอดีเมียมแยกเลเซอร์มีส่วนประกอบสำคัญ 6 ส่วนคือ

1.1 **แท่งผลึกนีโอดีเมียมแยก** เป็นแท่งทรงกระบอกที่มีความยาว 100 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร

1.2 **หลอดแฟลช** เป็นแบบยาวบรรจุด้วยแก๊สซีนอน ขนาดความยาวของหลอด 100 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร

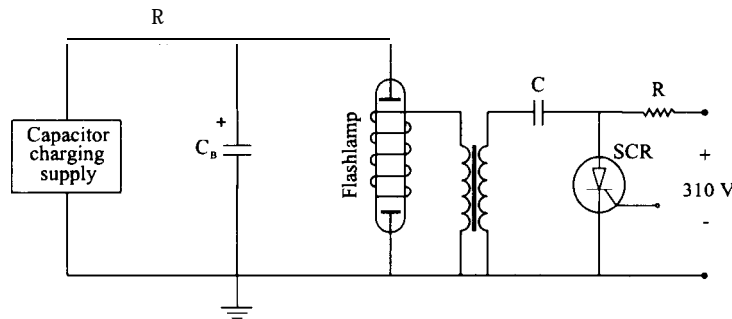
1.3 **ตัวสะท้อนแสง** เป็นแท่งโลหะกลวงที่มีผิวโค้งภายในเป็นรูปวงรีเคลือบด้วยโครเมียม โดยได้บรรจุแท่งผลึกนีโอดีเมียมแยกและหลอดแฟลชขอยู่ภายใน หลอดแฟลชจะวางอยู่ที่จุดโฟกัสจุดหนึ่งของวงรีและแท่งผลึกนีโอดีเมียมแยกจะวางอยู่ที่อีกจุดโฟกัสหนึ่งของวงรี [3] ดังรูปที่ 2 เมื่อหลอดแฟลชติดแสงบางส่วนจะตกโดยตรงบนแท่งผลึกนีโอดีเมียมแยกและบางส่วนไปตกบนผิวสะท้อนแสงแล้วจะไปรวมกันบนแท่งผลึกนีโอดีเมียมแยก ในส่วนของด้านหัวและด้านท้ายของตัวสะท้อนแสงจะเป็นแผ่นอลูมิเนียมปิดอยู่ โดยจะเจาะรู 2 รูเพื่อทำให้แท่งผลึกนีโอดีเมียมแยกและหลอดแฟลชลอดผ่าน



รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างของนีโอดีเมียมแยกเลเซอร์

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 ( $C_b$ ) เมื่อตัวเก็บประจุถูกอัดประจุเต็ม Capacitor Charging Supply จะหยุดจ่ายกำลังไฟฟ้า แต่ขณะนี้หลอดแฟลชยังไม่สามารถติดได้จำเป็นต้องมีการกระตุ้นด้วยแรงดันไฟฟ้าสูง (External trigger) โดยการกระตุ้นนี้จะมีหม้อแปลงแปลงค่าความต่างศักย์ให้มีค่าสูงขึ้น ในการกระตุ้นแต่ละครั้งจะต้องมีสัญญาณควบคุมป้อนให้แก่ SCR เมื่อมีสัญญาณป้อนให้แก่ SCR SCR ก็จะนำกระแสทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่ขดปฐมภูมิ และส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าสูงที่ขดทุติยภูมิและเส้นลวดที่พันรอบๆ หลอดแฟลช ขณะนี้หลอดแฟลชมีสภาวะที่จะนำกระแสได้เนื่องจากมีแรงดันไฟฟ้าสูงอยู่รอบหลอดแฟลชทำให้เกิดการแตกตัวของแก๊สภายในหลอดแฟลชและทำให้ตัวเก็บประจุสามารถที่จะคายประจุได้ จึงทำให้หลอดแฟลชติด

1.6 ระบบระบายความร้อน เป็นตัวช่วยระบายความร้อนที่เกิดขึ้นรอบๆ หลอดแฟลช แห่งผลึกนี้โอติเมียมแยกและผิวสะท้อนแสง เพื่อไม่ให้เกิดความร้อนสูง โดยความร้อนนี้เกิดมาจากแสงของหลอดแฟลชและกระบวนการในการเกิดเลเซอร์ที่แห่งผลึกนี้โอติเมียมแยก

## 2. ชุดเครื่องวัดกำลังของเลเซอร์

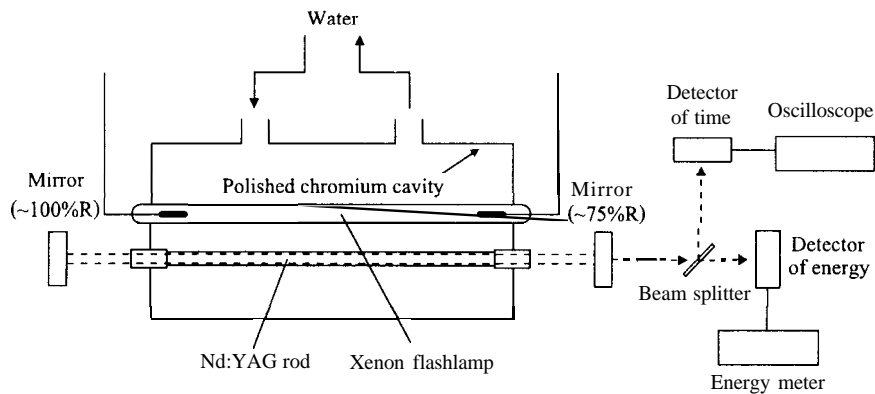
2.1 ชุดวัดพลังงานของเลเซอร์โดยมีชุดหัววัด ซึ่งเป็นแบบแคลลอรี่มิเตอร์สามารถวัดพลังงานสูงสุดได้ 2 จูล์ และมิชุดแปลงสัญญาณออกมาเป็นค่าตัวเลข

2.2 หัววัดช่วงเวลาในการเกิดของเลเซอร์ โดยนำสัญญาณที่ได้มาต่อเข้ากับออสซิลโลสโคปที่สามารถพิมพ์กราฟได้

## 2.3 ออสซิลโลสโคปที่สามารถพิมพ์กราฟได้

**2.4 แผ่นแยกแสงเลเซอร์** มีหน้าที่ในการแยกแสงเลเซอร์ออกเป็น 2 ส่วน โดยแสงส่วนมากจะผ่านแผ่นแยกแสงเลเซอร์ และมีแสงส่วนน้อยสะท้อนไปยังหัววัดช่วงเวลาในการเกิดเลเซอร์

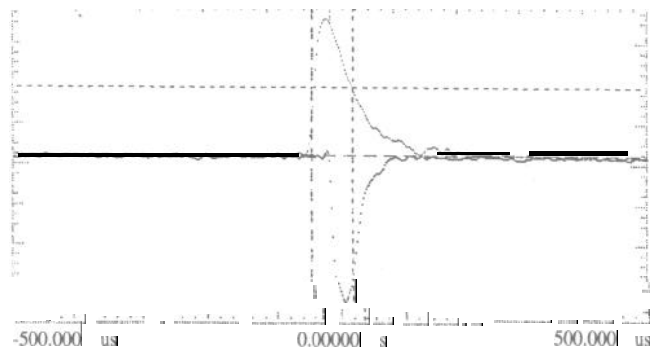
นำอุปกรณ์มาจัดเตรียมไว้ดังรูปที่ 4 ทำการต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้แก่หลอดแฟลชและจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่หลอดแฟลชเป็นช่วงๆ เพื่อเป็นการกระตุ้นแท่งผลึกนีโอดีเมียมแยกให้ปล่อยแสงเลเซอร์ออกมา วัดค่าพลังงานของแสงเลเซอร์และช่วงเวลาในการเกิดเลเซอร์ แล้วคำนวณหาค่ากำลังเป็นวัตต์ของแสงเลเซอร์ต่อหนึ่งพัลส์



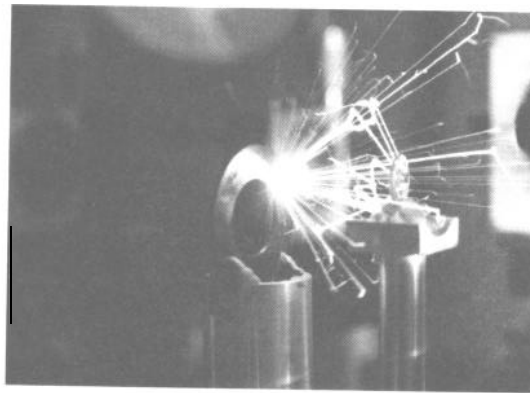
รูปที่ 4 แสดงระบบนีโอดีเมียมแยกเลเซอร์และการวางเครื่องมือวัด

## ผลการทดลอง

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



รูปที่ 5 แสดงพัลส์ของนีโอติเมียมแย็กเลเซอร์และหลอดเปลช



รูปที่ 6 แสดงการนำเลเซอร์ยิงลงบนชิ้นงานที่เป็นเหล็กโดยผ่านเลนส์

## สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองของโครงการวิจัยนี้สามารถให้กำลังวัตต์ของนีโอติเมียมแย็กเลเซอร์สูงสุดเท่ากับ 3.5 กิโลวัตต์ต่อพัลส์ ซึ่งสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานอุตสาหกรรมการแกะสลักโดยมีความละเอียดแม่นยำมากกว่าเครื่องมือชนิดอื่น ขนาดกำลังวัตต์ที่ได้จากโครงการวิจัยนี้สามารถที่จะปรับปรุงให้ได้กำลังวัตต์สูงขึ้นได้จากการเพิ่มความเข้มแสงที่หลอดเปลชปล่อยออกมา โดยการปรับปรุงแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่หลอดเปลชให้จ่ายกำลังได้สูงขึ้น ทำการเปลี่ยนขนาดของผลึกนีโอติเมียมแย็กให้มีขนาดใหญ่ขึ้น และทำการปรับปรุงพัลส์ของเลเซอร์ให้มีพลังงานสูงขึ้นขณะที่พัลส์ของเลเซอร์แคบลงโดยใช้เทคนิค Q-Switch โครงการวิจัยนี้ได้รับผลสำเร็จเป็นที่น่าพอใจซึ่งจะเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคตอันใกล้

## เอกสารอ้างอิง

1. Shimoda, K., 1986, *Introduction to Laser Physics*, Springer-Verlag. Berlin, pp.115-156.
2. Crafer. R.C. ,1993,*Laser Processing in Manufacturing*, Chapman & Hall, London, pp.67-90.
3. Walter, K., 1992, *Solid-State Laser Engineering*, Springer-Verlag, Berlin, pp.275-380.