

最近の技術から

ダイオードレーザー励起固体レーザー

渡部 修一・山根 毅士

日本電気(株)レーザー装置事業部 〒229 相模原市下九沢 1120

1. ま え が き

ダイオードレーザーの高出力化、高輝度化の進展とともに固体レーザー材料の理想的励起光源としての応用が実用可能となったことで、ダイオードレーザー励起固体レーザーの研究開発が各メーカー、研究機関において活発に行なわれている。ダイオードレーザーをそれ自身で使用するよりも固体レーザーの励起源として使用するメリットは、(1)ダイオードレーザーでは高い光密度のため活性層または出射端面の光学損傷により出力に限界があるが多数のダイオードレーザーにて固体レーザー材料を励起することによって、より大きな出力を得ることができる。(2)固体レーザーをQスイッチ発振させることによって高い尖頭出力のレーザーパルスを得ることができる。(3)発振周波数安定度が改善される。(4)空間的モードが楕円であったり、非点収差があるダイオードレーザーの発振光を固体レーザーの良質な TEM₀₀ モードに変換できる等である。CLEO '87 では、ダイオードレーザー励起固体レーザー関係の論文発表が 20 件もあり、この分野の目覚ましい進展がうかがえる¹⁾。ここでは CLEO '87 の発表を中心に最近のダイオードレーザー励起固体レーザーの特性について紹介する。

2. ダイオードレーザー励起方式とランプ励起方式

現状の固体レーザーの励起方式である希ガスランプ励起とダイオードレーザー励起方式を比較した場合ダイオードレーザー励起では、(1)総合効率がよく、低消費電力である。(2)固体レーザー材料、ダイオードレーザーとも発熱が少ないため水冷による冷却が不要であり小型、軽量にできる。(3)励起源寿命が長い等の特長がある。さらにランプ励起では熱歪が生じて使いづらかったレーザー材料や、低温で動作するレーザー材料なども利用できるようになるためダイオードレーザー励起での材料選択の範囲が広がる。表 1 にランプ励起とダイオードレーザー励起方式の比較表を示す。

3. ダイオードレーザー励起 Nd:YAG レーザー

AlGaAs ダイオードレーザーの出力光の波長は、動作温度を制御することによって Nd:YAG 結晶の吸収帯の中心波長の 810 nm に同調可能である。そのため、YAG はダイオードレーザーの出力光を数 mm の長さでほとんど吸収でき、励起効率は非常に高いものとなる。ここでは Nd:YAG による端面励起レーザー、側面励起レーザー、Qスイッチ発振について述べる。

3.1 端面励起 YAG レーザー

端面励起方式は励起光を光軸と同軸に照射するため長い吸収長をもち、また固体レーザー材料の励起された部分を TEM₀₀ モードの発振領域に正確に一致させることができる。このため共振器内にアパーチャを挿入せずに TEM₀₀ モード発振が可能であり、励起光からレーザー光への変換効率は 25~30% と高い。Berger らは、100 μm 幅のダイオードレーザーアレイを用いて TEM₀₀ モードで cw 370 mW の発振出力を得た²⁾。ビーム拡角は 5.2 mrad である。ダイオードレーザーの電気入力は 4.05 W で、光への変換効率は 28.4% である。励起光から 1.06 μm 光への変換効率は 33% であり、総合効率 9.1% という高い値が得られている。図 1 に実験構成図を示す。使用した YAG ロッドは直径 2mm 長さ 10mm であり、共振器長は 55mm である。端面励起の場合、ダイオードレーザーから出力されたレーザー光を固体レーザー材料にいかにか集光するかがポイントである。ここでは $f=6.5$ mm のコリメートレンズ、4倍の歪像プリズム対と、 $f=25.6$ mm の集光レンズを使用している。歪像プリズムはダイオードレーザーの楕円形の発振光パターンを楕円の短軸方向にだけ広げ、円形となるよう補正している。したがって YAG に集光するダイオードレーザー光は TEM₀₀ モード発振領域を正確に励起することができる。このため励起光からレーザー光への変換効率は非常に高いものとなる。

表 1 Nd:YAG レーザー励起源の比較

	希ガスアークランプ	レーザーダイオード
励起源への入力パワー	3 kW	4 W
励起光パワー	(1200 W)	1.2 W
レーザーパワー (TEM ₀₀)	7 W	0.37 W
総合効率	0.2%	9%
励起源寿命	1000 h	(5000 h)
文献	6)	2)

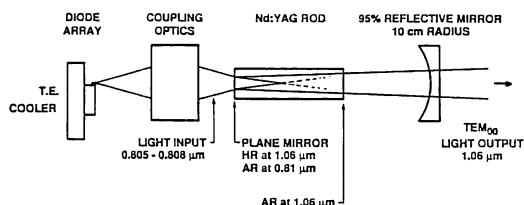


図 1 ダイオードアレイを用いた端面励起 Nd:YAG レーザーの実験構成²⁾

3.2 側面励起 YAG レーザー

側面励起方式は光軸と平行に多数のダイオードレーザーを配置することができるため高出力化に適した方式である。TEM₀₀ モードを得るには共振器内にアパーチャを挿入するか、ロッドを細径にしなければならない。Begley らは直径 1.2mm 長さ 15mm の YAG ロッドを出力 5W の AlGaAs ダイオードレーザー 3個で励起し、波長 1.06 μm, TEM₀₀ cw 出力 1.8 W という高出力を得ている³⁾。ダイオードレーザーへの電気入力力は 65 W であり、総合効率は 2.7% である。

3.3 Q スイッチ発振

固体レーザー共振器内に Q スイッチ素子を挿入することによって Q スイッチ発振が可能である。Ferguson らは共振器内に A. O. モジュレータを挿入し励起入力 100 mW にて、波長 1.06 μm, 出力エネルギー 10 μJ の単一周波数の Q スイッチパルスを得ている⁴⁾。尖頭出力は 500 W であり、パルス繰返しは ~1 kHz である。

4. Nd:YAG 以外のダイオードレーザー励起固体レーザー

CLEO '87 では Nd:YAG のほかに, Ho: YLF, Nd: YLF, Er: YLF, Nd: YVO₄, Tm: Ho: YAG など種々のレーザー材料を用いたダイオードレーザー励起固体レーザーが報告された¹⁾。ここではとくに注目される Nd: YVO₄ について述べる。Nd: YVO₄ の吸収スペクトルは Nd: YAG に比べてかなりブロードであるため、ダイオードレーザー発振波長を広範囲に変化させ

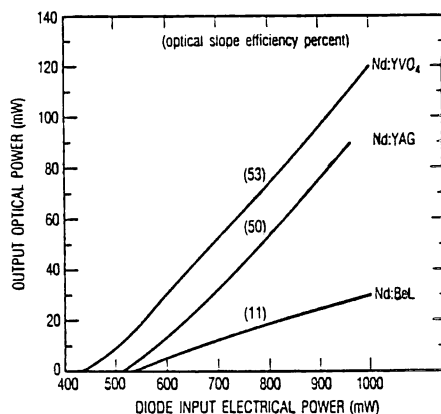


図 2 ダイオードレーザー励起固体レーザーの入出力特性の比較⁵⁾

ても Nd: YVO₄ のレーザー発振出力は Nd: YAG ほど出力変動をきたさない。このため励起光源の波長安定化の要請が緩やかになり、またスペクトルの広がった特性のふぞろいなダイオードレーザーも使用できる。Nd: YVO₄ レーザーの入出力特性を他のレーザー材料と比較して図 2 に示す。励起光からレーザー光への光の変換スロープ効率は 53% と大きな値が得られている⁵⁾。

5. む す び

ダイオードレーザーの高出力化により小型、軽量、低消費電力化が図れるダイオードレーザー励起固体レーザーの研究開発が活発に行なわれている。現在製品化されているダイオードレーザー励起固体レーザーの出力は数十~数百 mW であるが、今後さらに高出力化が進むことによってランプ励起固体レーザーをしのぐ広範囲な応用が期待される。

文 献

- 1) 鷲尾邦彦: "ルネッサンスを迎えた固体レーザー", 日経ニューマテリアル, 7月13日号 (1987) 115-123.
- 2) J. Berger, D.F. Welch, D.R. Scifres, W. Streifer and P.S. Cross: "370 mW, 1.06 μm, cw TEM₀₀ output from a Nd: YAG laser rod end-pumped by a monolithic diode array," Tech. Dig., CLEO '87, postdead line paper Th T10 (1987).
- 3) D. Begley and D. Krebs: "Diode-pumped YAG emits 1.8 W," Laser Focus, January (1987) 6.
- 4) A.I. Ferguson: "Optically pumped Q-switched micro-YAG laser," Tech. Dig., CLEO '87, paper WS3 (1987).
- 5) R.A. Fields, M. Birnbaum and C.L. Fincher: "Highly efficient diode-pumped Nd: crystal lasers," Tech. Dig., CLEO '87, paper FL4 (1987).
- 6) 井上雅彦, 安達和夫, 山根毅士, 武中浩郎, 都島宏一郎: "Nd: YAG レーザー", NEC 技報, 35, 11 (1982) 10.

(1987年7月28日受理)