



アレキサンドライトレーザー

石川 憲

(株)東芝生産技術研究所 〒235 横浜市磯子区新杉田町 8

1. ま え が き

1977年にアレキサンドライトが700 nm から818 nmまで連続的に同調可能なレーザー材料であることが見いだされた¹⁾。ルビーレーザーと同様なR線以外に振動電子遷移を利用した四準位のレーザー発振が可能となり、その性能はNd:YAG, ルビー, Nd:ガラスなどの固定周波数形のレーザーに匹敵するようになってきた。振動電子遷移利用のレーザーは1963年にベル研でNi:MgF₂レーザーをはじめ、数種が開発されたが、低温動作の制約のために実用化されなかった。1974年にチョコラスキー(CZ)法で大形の結晶が育成され発振に成功した。当初ルビーと同類の三準位レーザーと見なされていたが、新しい波長域で発振が確認されてからは、他の結晶についても再度研究が活発化した。Cr³⁺をドーブしたGd₃Sc₂Ga₃O₁₂, Gd₃Sc₂Al₃O₁₂, ScBO₃, SrAlF₄, ZnWO₄などが出現し、これらで825 nm から1010 nmまで発振が可能となった。

一方1982年にTi:Al₂O₃(サファイヤ)が開発され、700 nm から1180 nmまで一種の結晶で広い波長域を発振できるようになった。しかし、アレキサンドライト以外の大部分の新結晶はレーザー励起で発振させることが必要であり、発振システムとしての効率は低い。

アレキサンドライトレーザーはcw発振、ノーマルパルス発振、Qスイッチパルス発振、モード同期パルス発振などが可能で、波長可変固体レーザーとしては最高の出力が得られている。フラッシュランプ励起以外にダイオードレーザー励起なども検討されている。

2. アレキサンドレーザーの構成・特性

図1に発振器の構成例を示す¹⁾。ロッドはCZ法ではc軸方向に育成されたブルから不均質な中心部のコア部を避けてロッドが切り出される。ロッド寸法は直径12 mm, 長さ12 cm以下で標準的には直径6 mm, 長さ100 mmが利用されている。Cr³⁺の濃度は0.05~0.3 at%である。高い熱伝導性と材料の高い強度と比較的

等方的な膨張係数を有しているために強力な光照射によっても結晶が破壊することはまれである。単位長当りに破壊されることなく吸収されるパワーを比較するとアレキサンドライトロッドは600 W/cm, ルビーは1000 W/cm, YAGは120 W/cmである。熱伝導率はYAGの2倍良い。高い電界の下での非線形屈折率はサファイヤやYAGよりも小さい。表面の破壊耐力もルビーと同等に強い。Cr³⁺の濃度が高いほうが破壊しやすい結果が出ているが、濃い結晶は均一性が悪いためそれが原因であるとも考えられる。四準位動作の常温での蛍光寿命は260 μsであり、高温になると短くなる傾向にある。一方レーザー発振誘導放出断面積は300 Kで7×10⁻²¹ cm²で、475 Kでは2×10⁻²⁰ cm²に増加する。常温より高い温度でより高効率発振出力が得られる。三準位動作のR線の発振は波長680.4 nmでおこり、誘導放出断面積は3×10⁻¹⁹ cm²でルビーの値の約10倍、Nd³⁺:YAGの約1/2である。

波長同調には色素レーザーで用いられるのと同様な複屈折フィルタが用いられる。水晶中で常光線と異常光線の屈折率が光軸に対して変化していることを利用し、P偏光で入射するビームに対して通過後もその偏光特性を維持できる波長に対して発振する。フィルタの構成は厚さ1, 2, 9 mmの3枚組構成などが用いられる。

励起にはXeフラッシュランプがパルス発振用に、水銀アークランプがcw発振用に用いられる。レーザーロッドの吸収スペクトルは380~680 nmにわたっている。したがって、できるだけ発光スペクトルをこの領域に合わせるためXeフラッシュランプの石英管に直接誘電体多層膜を施し、上記の励起バンドは透過し、他のスペクトル部分は管内部に閉じ込めることで、レーザーロッドの熱負荷を軽減するとともに、ランプの有効スペクトル領域の発光効率を向上させる試みがされている。また、ランプの周囲に設けたフローパイプ上に誘電体多層膜を施す試みも行なわれ、発振効率で20%程度の向上が得られている。

レーザーヘッドの温度制御はレーザー結晶が高温で高

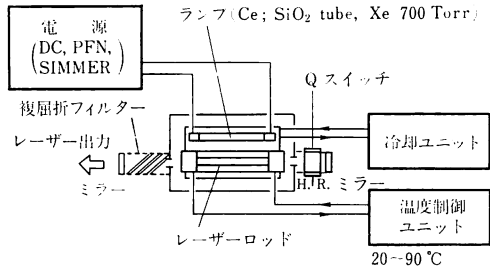


図1 アレキサンドライトレーザー発振部構成

効率を得られる特性を生かすため温水中に浸して利用し、励起ランプは常温水冷下で動作し大電力入力動作させられるよう設計されている。これら2温度動作を一つのレーザーヘッド内に実現するため、二つの水温制御システムをもった構造がとられる^{2,3)}。

レーザーヘッド内の集光鏡は銀の反射鏡が用いられているが、表面の劣化を防止するために SiO₂ 膜が施される。

Qスイッチ素子としてはポッケルスセルや超音波Qスイッチが用いられるが、レーザー発振利得は k 軸方向に偏光した光に対して利得が大きいためとくに偏光子を共振器内に設ける必要はない。

空冷式熱伝導型冷却方式のレーザーヘッドも開発されている。これはレーザーロッドと励起ランプがサファイヤ製ポンプキャビティ内に密着実装され、サファイヤブロックの外周は楕円形に表面形状が仕上げられ、銀箔が巻きつけられた構造になっている。レーザーロッドは温度が所定の値に保たれるよう制御され、高効率の発振出力が得られている。Qスイッチ出力で 0.4 J/P, ノーマルパルスで 2 J/P, パルス繰返し 8 Hz の結果が得られている⁶⁾。

3. 発振特性のいくつかの例⁴⁻⁷⁾

ポッケルスセルQスイッチパルス動作で、発振スレシホルドの 1.65 倍の入力するとき、線幅 0.8 \AA (1.5 cm^{-1}) が得られる。さらに狭帯化出力を得るには反射率 20% の厚さ 1 mm エタロンと 4.2 mm のエタロンを挿入し、 0.017 cm^{-1} まで狭帯化できている。エタロンの挿入での出力低下はエタロンの挿入損失にもとづく程度であり、ホールバーニングはみられない。周波数の安定化はエタロンを $\pm 0.1^\circ\text{C}$ で温度制御し、 $\pm 0.008 \text{ \AA}$ が得られている。

ノーマルパルス発振出力では直径 6.35 mm, 長さ 11 cm のロッドから平均出力 150 W, ビーム広がり角が回

折限界の 15 倍のビームが 750 nm の波長で得られている。パルス繰返しは 125 Hz, パルス幅 $150 \mu\text{s}$ と比較的デューティサイクルが小さく、短いノーマルパルスである。

Qスイッチパルスでは米国のロスアラモス研究所に設置されたシステムがある。おもな仕様はランプ入力 18 kW, 出力 0.4 J/P, 繰返し 250 Hz, 発振波長 790~793 nm, 平均出力 100 W, 超音波 Q スwitch 動作, 線幅 0.05 \AA である。これは二つの発振器を繰返し 125 Hz で交互に動作させたシステムである。

モードロック発振では 8~300 ps のパルスが報告されている。

cw 発振では水銀ランプ励起で 50 W 出力が得られ、超音波 Q スwitch 動作で 1~80 kHz の繰返しが達成されている。Xe アークランプ励起で TEM₀₀ で 2 W が得られている。

4. ま と め

アレキサンドライトは蓄積エネルギーが大きく、波長可変で、短波長大出力が得られる。結晶の大形化、高品質化や、励起ランプをはじめとする部品の高性能化が進んでいる。非線形結晶による UV 発生変換効率向上も進展中である。システムとしては大出力化、ビームの高品質化が進行中で、従来の Nd:YAG レーザーとともに応用面でも相補いながら実用化が進んでいる。

文 献

- 1) J. C. Walling, R. C. Morris, O. G. Peterson and H. P. Jenson: U. S. Patent No. 4272733 (1981).
- 2) 石川 憲: 実開昭 58-11268.
- 3) S. Imai, S. Ishida, Y. Fujimori and K. Ishikawa: "High average power laser and its applications," CLEO, Tuk 30, 1986.
- 4) R. C. Sam and F. P. Rouillard, III: "Narrow band, tunable Alexandrite laser for meteorological LIDAR," Electro-Opt. Syst. Des. July (1982) 37-40.
- 5) J. C. Walling, D. F. Heller, H. Samelson, D. T. Harter, J. A. Pete and R. C. Morris: "Tunable Alexandrite lasers: Development and performance," IEEE J. Quantum Electron., QE-21 (1985) 1568-1581.
- 6) J. W. Kuper, W. E. Langert, J. J. Barret and R. C. Morris: "Compact integrated, high efficiency Alexandrite lasers," Laser '86, Orlando, Florida (1986).
- 7) V. Michau, F. de Rougemont and R. Frey: "Tunable and high-energy Q-switched operation of an Alexandrite slave ring laser," Appl. Phys. B, 39 (1986) 219-222.

(1987年6月17日受理)