

最近の技術から

光導波型ガラスレーザー

浅原 慶之・青木 宏・丸山 修

HOYA (株)材料研究所 〒196 昭島市武蔵野 3-3-1

1. ま え が き

ガラスは、イオン交換法などにより容易にチャンネル型の導波路を形成できることから、これを基板にした光分岐回路やスターカプラーなどの光受動回路素子が開発されている^{1,2)}。一方、ガラスは優れたマトリックス材料としても知られており、各種のイオンをドープすることによってアクティブな機能を有するガラスが各種開発されている。そこで、これらの機能性ガラスの一つであるレーザーガラスを基板として、これにイオン交換技術でチャンネル型の導波路を形成すれば、容易にファイバーレーザーと同様の機能を有ししかもコンパクトなレーザー発信機や増幅器の作製が可能となる。

2. 光導波路作製法

ガラス中の活性化イオンは良く知られている Nd^{3+} と Er^{3+} イオンである。 Nd^{3+} イオンは $0.8\sim 0.9\ \mu\text{m}$ 帯の励起で ${}^4\text{F}_{3/2}\text{-}{}^4\text{I}_{11/2}$ および ${}^4\text{F}_{3/2}\text{-}{}^4\text{I}_{13/2}$ 遷移に基づく $1.06\ \mu\text{m}$ および $1.35\ \mu\text{m}$ 帯のレーザー発振をすることが知られている。ファイバーレーザーでお馴染みの Er^{3+} イオンは、励起波長はいろいろと議論のあるところであるが、 $1.55\ \mu\text{m}$ 帯と $2.7\ \mu\text{m}$ 帯レーザー発振が知られている。とくに Nd^{3+} イオンは市販の LD からの $800\ \text{nm}$ 近傍の光で励起可能なことに加えて、 Nd^{3+} イオンの誘導放出断面積が大きいリン酸塩系レーザーガラス LHG 5 (HOYA 製, $\text{Nd}: 3\ \text{wt}\%$) が市販されていることから、これを基板として使用することが可能である。しかしながら、耐久性の点で通常の熔融塩に浸漬するイオン交換法ではレーザーガラス基板の表面が浸食される恐れがある。このため、Ag 金属の蒸着膜を拡散源として、電気炉内 (400°C) で電圧を印加して Ti 膜の隙間を通して Ag イオンをガラス内に拡散させることによってチャンネル型の導波路を形成する。導波路の断面形状は半円状で半径は約 $90\sim 200\ \mu\text{m}$ 、開口数 NA は 0.32 (屈折率差 $\Delta n=0.45$) である。

3. レーザー発振特性

3.1 $1.06\ \mu\text{m}$ 帯^{3,4)}

Nd^{3+} イオンをドープしたレーザーガラス上に形成した光導波路 (長さ $5\ \text{mm}$) の両端に図 1 に示すような共振器用のミラー (入射端, $800\ \text{nm}$: 85% 透過, 放出光: 99.9% 反射, 出射端, 放出光: 0.3% 透過) を蒸着し, LD からの $800\ \text{nm}$ のポンプ光をファイバーで導いて導波路内に挿入する。この結果, 図 2 に示すように、ほぼ蛍光ピーク波長と一致した $1.053\ \mu\text{m}$ の CW 発振を得ることができる。発振ピークの半値幅は約 $5\ \text{nm}$ である。発振モードはマルチモードであるが、その出力特性は表 1 に示すように導波路径によって異なる。とくに、

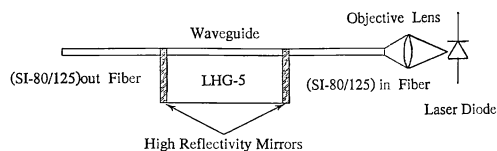


図 1 光導波型ガラスレーザーの構成

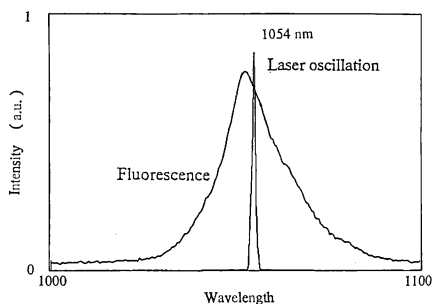


図 2 光導波型ガラスレーザーの $1.05\ \mu\text{m}$ 帯の発振スペクトル

表 1 光導波路型ガラスレーザーの $1.05\ \mu\text{m}$ 帯の発振特性

導波路径	発振値	スロープ効率	最大出力
$90\ \mu\text{m}$	6.9 mW	15%	9.5 mW
$215\ \mu\text{m}$	170 mW	45%	150 mW

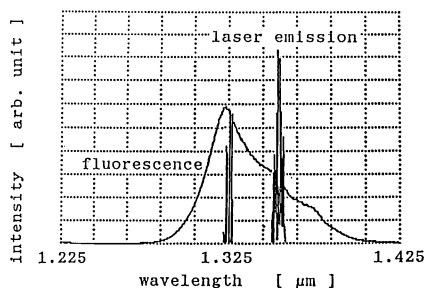


図3 光導波型ガラスレーザーの 1.35 μm 帯の発振スペクトル

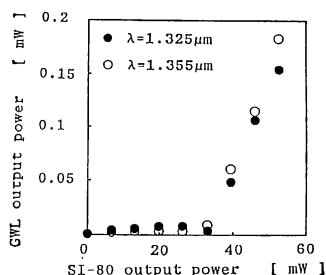


図4 光導波型ガラスレーザーの 1.35 μm 帯の発振特性

導波路長 215 μm の場合は、最大出力は 150 mW 以上になり、ほぼ LD 励起ミニチュアレーザーなみの特性を得ることができる。

3.2 1.35 μm 帯⁵⁾

この波長域は、石英ファイバーの光損失が極小値を持つ波長であるというばかりでなく、ファイバーの屈折率分散がゼロになる波長でもあり、光通信システムでは重要な意味を持つ波長である。しかしながら、石英ガラス中の Nd^{3+} では、始状態からさらに上位状態への ESA (excited state absorption) があるために、この波長域での発振はなかなか実現しない。これに対して、リン酸塩ガラス中では、比較的安定に 1.35 μm 帯のレーザー発振が可能となると報告されている⁶⁾。ここで、1.06 μm 帯の発振実験と同様の装置構成で導波路からの 1.35 μm 帯のレーザー光の発振スペクトルを測定した結果が図3である。発振モードはマルチモードで、蛍光スペクトルのピークと一致する 1.325 μm に加えて 1.355 μm の2波長の発振が観察される。通常、リン酸塩ガラス中の Nd^{3+} イオンの 1.3 μm 帯の発振波長は 1.36 μm 前後にあり、蛍光のピーク波長 1.32 μm での発振は観察されない。このようなレーザー発振波長と蛍光ピーク波長のずれは、 Nd^{3+} イオンをドープしたフッ化物ガラスの場合にも見られ、主に 1.35 μm 以下の波長での残留 ESA 効果によると考えられている。導波路型レーザー

の場合に蛍光ピークでの発振が実現するのは、ガラス中の Na イオンが Ag イオンで置換されたことによって、何らかの理由で Nd^{3+} イオンの ESA が抑えられたためと考えられる。

図4は、1.325 μm と 1.355 μm での CW 発振特性を示す。発振しきい値は両波長とも同じで 33 mW (帯吸収パワーで 21 mW) であるが、発振効率も 1.325 μm と 1.355 μm でおおの 0.77% と 0.92% で (対吸収パワーで 1.2% および 1.5%) 後者がわずかに高い。

3.3 1.5 μm 帯⁷⁾

基板ガラスとして、 Cr^{3+} を増感剤として共ドープした Er^{3+} 含有ガラスを用い発振実験を試みたが、導波路への閉じ込め効果により蛍光強度はバルクに比べて約 40 倍以上増加するものの、まだレーザー発振するには至っていない。今後の進展が期待される。

4. あとがき

レーザーガラスを基板とした導波路型レーザーの開発状況について述べた。この種のレーザー素子は、将来、小型レーザー発振器や増幅器としての応用も考えられ、ガラスばかりでなく結晶を基板とした物⁸⁾も含めて最近ではかなり研究が盛んである。ただ、研究はまだ始まったばかりであり、今後は導波路特性の改良も含めて、増幅機能の確認などが今後の課題となるものと思われる。

文 献

- 1) A. Beguir, T. Dumas, M. J. Hackert, R. Jansen and C. Nissim: "Fabrication and performance of low loss optical components made by ion exchange in glass," *J. Lightwave Technol.*, **6** (1988) 1483.
- 2) L. Ross: "Integrated optical components in substrate glasses," *Glasstech. Ber.*, **62** (1989) 285.
- 3) H. Aoki, O. Maruyama and Y. Asahara: "Glass waveguide laser" OFC '90 Technical Digest Series 1, FBI (1990).
- 4) H. Aoki, O. Maruyama and Y. Asahara: "Glass waveguide laser," *IEEE Photon. Tech. Lett.*, **2** (1990) 459.
- 5) H. Aoki, O. Maruyama and Y. Asahara: " Nd^{3+} -doped glass waveguide laser operated around 1.3 μm ," *Electron. Lett.*, **26** (1990) 1910; または "1.3 μm 帯光導波路型ガラスレーザー", 第 51 回応用物理秋季講演会, 29 a-p-1/III (1990).
- 6) L. J. Andrews: "Applications of active fibers," *Topical Meeting on Tunable Solid State Lasers*, Technical Digest Series 20 (1987) p. 170.
- 7) 丸山 修, 青木 宏, 浅原慶之: "1.5 μm 光導波路型ガラスレーザー", 第 37 回応用物理秋季講演会, 29 a-F 8 (1990).
- 8) E. Lallier, *et al.*: "Laser oscillation of a single mode channel waveguide in Nd: Mg: LiNbO₃," 7th IOOC, Kobe, 20 PDB-1 (1989).

(1990年11月7日受理)