

導波路型ガラス増幅器



HOYA(株)材料研究所 浅原 慶之

Glass Waveguide Amplifier

Yoshiyuki ASAHARA

Materials Research Laboratory

Abstract

Nd- and E-doped glass waveguide amplifier have recieved growing attention in recent years. This papaer reviews on their amplification characteristics around 1.05 and 1.55 μm . Their application and future prospects are also reviewed briefly

1. まえがき

ここ数年、希土類イオンをドーブしたレーザー材料の研究が精力的に行われ¹⁾、特にガラス材料に関しては高密度励起が可能なファイバーレーザーをつかって、ほとんどの希土類イオンでレーザー発光が可能となっている²⁾。この中で、特に良く知られているのは、 Nd^{3+} と Er^{3+} イオンである。 Nd^{3+} イオンは、0.8~0.9 μm 帯の励起で $^4\text{F}_{3/2}$ ~ $^4\text{I}_{11/2}$ および $^4\text{F}_{3/2}$ ~ $^4\text{I}_{13/2}$ 遷移に基づく 1.06 μm および 1.35 μm 帯のレーザー発振をすることが知られており、市販の LD からの 800 nm 近傍の光で励起可能なことが魅力の一つである。また、 Nd^{3+} の放射する 1.35 μm 帯のレーザーは、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、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。一方、 Er^{3+} イオンは、1.5 μm 帯と 2.7 μm 帯レーザー発振が知られており、特に Er^{3+} イオンをドーブした石英ファイバーは、1.55 μm 帯の光通信用の各種光増幅器として大きな

期待がかけられている^{3,4)}。

一方、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、従来はこれを基盤にした光分光岐回路スターカプラーなどの各種光受動回路素子が開発されてきた。このため、最近になって希土類イオンをドーブしたガラスを基板として、これに各種の技術を用いてチャンネル型の導波路を形成することによって、ファイバーレーザーと同様の機能を有する小型で安価なレーザー増幅器の研究が益々盛んになってきた。

そこで、本報告では、主に Nd^{3+} イオンと Er^{3+} イオンをドーブした導波路型ガラス増幅器の最近の研究状況を展望することにする。

2. Nd ドーブガラス導波管の増幅特性

導波路型のガラスレーザー増幅器の研究の歴史はかなり古く、すでに 1972 年に矢島ら⁵⁾によって試みられている。この時は、スパッター法で Nd をドーブしたレーザーガラスを薄膜化した平板導波路に、キセノンフラッシュランプでサイドポンピングを行なう方式であったが、増幅率は 30% と低かった。その後、導波路型ガラスレーザーの発振

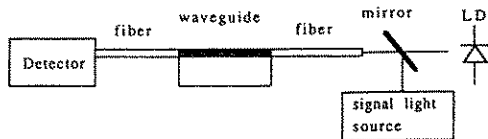


Fig. 1 Experimental setup for glass waveguide amplifier.

実験の成功ともあいまって^{6)~9)}、チャンネル型ガラス導波路を用いた増幅特性の研究が盛んに行われるようになってきた。ここで、イオン交換法を用いて作製した導波路による増幅特性の一例を示す。増幅特性は基本的に Fig. 1 に示すような実験系で測定されるが、レーザーガラス LHG5 を基板として 2 重イオン交換法で作製した長さ 10 mm の埋め込み導波路で、励起光に 802 nm の LD を用いた実験では、3.5 dB の利得が得られている¹⁰⁾。この他、極く最近では、イオン交換でシリケート系ガラス中に形成した導波路で約 15 dB の利得を得たとの報告もあり、特性は益々向上しつつある¹¹⁾。また、スパッター法で Shott 社製のリン酸塩系レーザーガラス LG-760 を厚さ 2 μm 、幅 10 μm のリッジ型のガラス導波路とし、この上にスピニングガラスでクラッドを形成したものがある¹²⁾。全体の伝搬損失は ~ 3.5 dB/cm と大きく、またスパッター過程での組成の変動や酸素不足から来る酸素欠陥とイオン衝撃も手伝って導波路は褐色に着色し、これが損失の原因になっていると考えられる。この薄膜で、ポンピングには波長可変のダイレーザーを、また信号光には 1.06 μm の Nd-YAG レーザーを用いた場合、導波路長 4~5 cm で増幅比は飽和するものの、約 3 dB を得ることができる。

3. Er ドープガラス導波路の増幅特性

最近では、1.55 μm でのコンパクトな増幅器を目差した Er^{3+} イオンをドープしたガラスでの増幅実験に研究が集中している。そのひとつは、シリコン上に RF スパッターで Er^{3+} をドープしたソーダライムシリケートガラスを蒸着して、幅 6 μm 、厚さ 1.3 μm の導波路を作製したものである。Ti-サファイアレーザーで励起した 2.4 cm の導

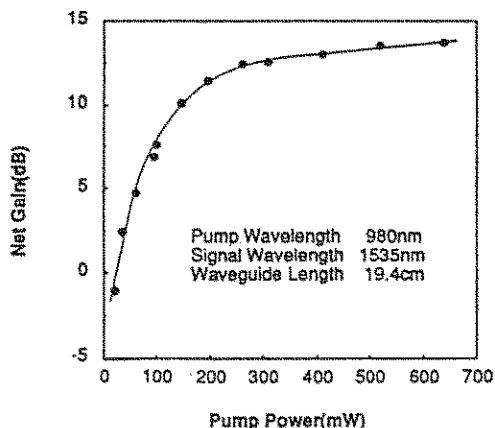


Fig. 2 Amplification characteristics of 19.4 cm-long Er-doped silica-based waveguide¹⁴⁾.

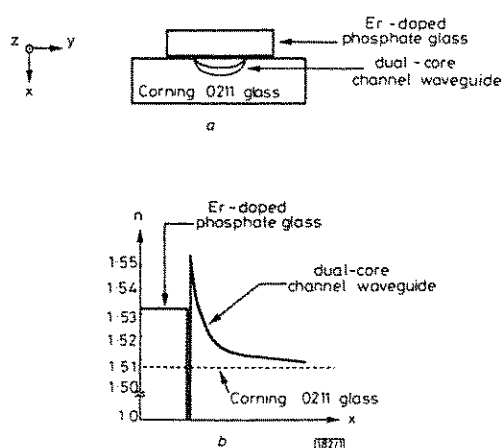
波路で測定したところでは、120 mW まで励起しても導波路の損失 (21 dB) のために、0 dB/loss を示すにすぎない¹³⁾。一方、北川ら¹⁴⁾は、発振特性の項で述べたのと同様のシリコン基板上に火炎堆積法で作製した Er^{3+} ドープ石英導波路 (幅 8 μm 、厚さ 7 μm 、長さ 19.4 μm) を 980nm の Ti サファイアレーザーで励起することによって、Fig. 2 に示すような利得特性が得られている。利得は 148 mW で 10.1 dB、640 mW で 13.7 dB と、ガラス導波路としては今までに高い利得である。この導波路では、0.98 μm の LD 光でポンプした時の結果も報告され¹⁵⁾、今後の導波路型の増幅器の開発にとっては明るい話題である。 Er^{3+} をドープした導波路型増幅特性に関しては、その後も T1 でイオン交換した導波路¹⁶⁾あるいは RF スパッターを用いて、シリコン上に形成した Er^{3+} ドープシリカの導波路¹⁷⁾で実験がなされており、特に後者は、4.5 cm という短い導波路長で 15 dB のネット利得が得られており、長さ当りの利得として最大 3.3 dB/cm となり、効率の点でも注目値する。さらに、Yb を共ドープして励起効率を高めたガラスで、イオン交換法で作製した 1 cm の導波路を用いて、1 dB の利得 (損失を差し引けば 3 dB) を得たとの報告¹⁸⁾もある。さらに、構造の改良によっては、小型の光増幅器の実現も夢ではなくなっている。

ここで、最近話題となっている希土類イオンを

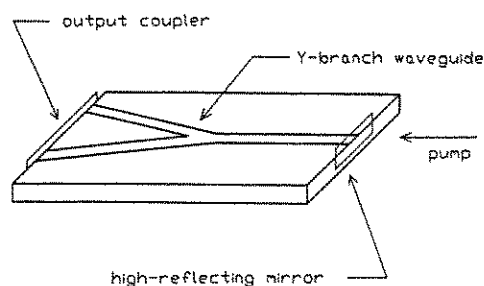
Table 1 Amplification characteristics of glass waveguide.

Rare earth	Substrate	Diameter (μm)	Pump wavelength (nm)	Signal wavelength (μm)	Signal power/ Pump power (μW)/(mW)	GAin/length (dB/cm)	ref.
Nd(3.5 wt%)	Silicate (SPT)	2.7(slab)	Xe flash	1.06	$\sim 6/10\text{ J/cm}$	1.07/3	(5)
Nd(2.0 wt%)	Barium crown (SPT)	1.2(slab)	585(dye)	1.064	/800	1.8/1	(23)
Nd(4.0 wt%)	LG-760(SPT) phosphate)	2×10	590(dye)	1.064		3/0.4	(12)
Nd	(soda-lime) (IE)		815	1.057	/85	3/2.4	(22)
Nd	LHG 5(IE) (phosphate)	17×33	514.5(Ar)	1.054	10/150	3.5/1	(10)
Nd	silicate(IE)		532(2 ω YAG)	1.06	/100	15/8	(11)
Er	SILICA(FHD)	8×7	980(Ti)	1.55	/640	13.7/19.4	(14)
Er	silicate(SPT)	1.3×6	975(Ti)	1.53	120	0/2.4(21dB)	(13)
Er	Kigre QE-7 (phosphate)		973(Ti)		/ ~ 50	10/0.47	(21)
Er	silica	~ 4	528(Ar)	1.54	/ ~ 189	2/3.8	(16)
Er	silica(SPT)	1.5×10	980(Ti)	1.53	/ ~ 300	15/4.5	(17)
Er	silica(FHD)	8×7	980(LD)	1.53	/99	9.4/23	(15)
Yd-Er	LHG-5	10×20	975(Ti)	1.53	/ ~ 140	1.1(2.5dB)	(18)

(註) SPT: sputtering, IE: ion-exchange, FHD: flame hydrolisis deposition

Fig. 3 Cross-section (a) and transverse refractive index profile (b) of composite rare-earth-doped glass waveguide²⁰⁾.

ドーピングしたガラスファイバーは、ガラスマトリックスとしてフッ化物ガラスなどの特殊なガラスを用いたものが多く、従って、このガラスを基盤としてイオン交換法を利用して導波路を作製するこ

Fig. 4 Y-branch waveguide laser structure²²⁾.

とはなかなか難しい。この問題を解決する手段の一つとして、 Er^{3+} をドーピングした導波路型のレーザーに関しては、かなり興味ある新しい導波路構造についての報告もある。これは、Fig. 3 に示すように、2 段イオン交換法で作製した 2 重コア導波路を¹⁹⁾、希土類イオンをドーピングしたガラスレーザーに接触させることで導波路レーザーを構成するものである²⁰⁾。増幅利得は、4.7 mm の導波路長で 10 dB と報告されており²¹⁾、今後の新しい導波路構成法として注目される。

4. ガラス導波路の増幅特性の応用

導波路の増幅機能の応用には、ファイバー型の光増幅器と同様の機能を有し、しかも小型で安価な光増幅器も考えられるが、短い導波路長での数dBの利得を考慮すれば、むしろ、Fig. 4に示すような応用が考えられる。これは、Y分岐で生じる3dB前後の導波路の損失を補償し、無損失光分岐回路を実現するもので、すでに実験的に可能性な事が報告されている²³⁾。導流路型増幅器の新しい利用法として注目される。

6. おわりに

希土類イオンをドープしたガラス導波路の増幅特性の現状と今後の課題について述べた。また、導波路型ガラス増幅器の特性をTable 1にまとめた。今後、導波路型のガラスレーザー発振デバイスとあわせて益々活発に研究が行われ、小型でさらに優れた特性を持ったレーザー増幅デバイスが実用化されることを期待したい。

参考文献

- 1) M. J. Weber: J. Non-cryst. Solids, 123 (1990) 208
- 2) Y. Asahara: J. Ceram. Soc. Japan, 99 (1991) 903
- 3) D. N. Payne: 7th International Conference on Integrated Optics and Optical Fiber Communication (IOOC) Kobe, July 18-21 (1989) 20A3-1
- 4) L. Leekie, 他: Electron. Lett., 23 (1989) 1076
- 5) H. Yajima, S. Kawase and Y. Sekimoto: Appl. Phys. Lett. 21 (1972) 407
- 6) H. Aoki, O. Maruyama and Y. Asahara: IEEE Photonics Tech. Lett. 2, (1990) 459
- 7) H. Aoki, O. Maruyama and Y. Asahara: Electron. Lett. 26, (1990) 1910
- 8) N. F. Sanford, K. J. Malone and D. R. Larson: Opt. Lett. 15, (1990) 366
- 9) Y. Hibino, T. Kitagawa, M. Shimizu, F. Hanawa and A. Sugita: IEEE Photonics Tech. Lett. 1 (1989) 349
- 10) H. Aoki, E. Ishikawa, Y. Asahara: Electron. Lett., 27 (1991) 2351
- 11) A. N. Miliou 他: Optical Society of America, 1992 Annual Meeting, Albuquerque, NM. Sept 20-25, 1992, Technical Digest p 57 TuJ2
- 12) G. R. J. Robertson and P. E. Jessop: Appl. Opt. 30 (1991) 276
- 13) J. Shmulovich 他: Electron. Lett., 28 (1992) 1181
- 14) T. Kitagawa 他: Optical Amplifiers and their applications, Topical Meeting, Santa Fe, NM. June 24-26, (1992), PD1
- 15) K. Hattori, 他: Electron. Lett., 29 (1993) 357
- 16) D. Trouchet, A. Bequin, P. Laborde, C. Lermieux: OFC/IOOC'93, San Jose, February 21-26, (1993) WG9, Technical Digest series 4 (Optical Society of America, 1990) p 106
- 17) J. Shmulovich 他: OFC/IOOC'93, San Jose, February 21-26, 1993, (Optical Society of America, 1990) PD18
- 18) 青木宏, 兼子祥治, 石川悦子, 浅原慶之: 非線形光学効果デバイス技術研究会資料, レーザー学会 (1993)
- 19) M. J. Li 他: Appl. Phys. Lett., 58 (1992) 2607
- 20) S. Honkanen 他: Electron. Lett., 28 (1992) 746
- 21) W. J. Wang 他: Electron. Lett., 28 (1992) 1872
- 22) N. A. Sanford, 他: Opt. Lett. 16 (1991) 1168
- 23) B. Chen and C. L. Tang: Appl. Phys. Lett. 28 (1976) 435