

ガラス集積回路素子

HOYA(株)材料研究所 浅原 慶之

Glass waveguide devices

Yoshiyuki Asahara

Material Research Laboratory, HOYA Corporation

1. まえがき

光集積回路(光 IC)は、光導波路を基本構造として種々の光学部品を構成集積化することにより、特定の機能を果す小型で安定な光デバイスを実現しようとするものである。代表的な光学材料であるガラスは、安定性、加工性、耐久性に優れ、しかもイオン交換法などにより容易に導波路を形成することができるなどの利点を有するため、光集積回路用材料として有用と考えられる。しかしながら、一般にはガラスは光導波路用の基板材料として広く使用され、チャンネル導波路を利用したアクセッサー、スターカプラー、分岐回路などの受動素子が開発されているが¹⁾²⁾、光制御素子としては僅かに熱光学効果を利用した光スイッチが報告されているにすぎない³⁾。

一方では、ガラスの賦形性を最大限に生かしたファイバーレーザーが話題を呼んでいる。相互作用長の大きいことや、高励起強度を保持できることから連続発振も可能で、ここ数年、盛んに研究が行われてきており⁴⁾⁵⁾、光通信システム用の光増幅器としても注目されている⁵⁾。この様な背景から、低コスト、小型化が可能、他のデバイスとの集積化が可能などの特徴を有する光導波路型の簡

易光増幅器も提案され、機能性ガラスの一つであるレーザーガラスを用いてこれを実現しようとする試みも報告されている。さらには、非線形ガラス材料に導波路を形成し方向性結合器やスイッチ素子を作製することも試みられており、機能性ガラスを利用した能動素子(アクティブデバイス)の開発が盛んになりつつある。そこで、本報告では、最近話題を呼んでいるガラス集積回路素子、特に光導波路型ガラスレーザーと導波路型非線形スイッチ素子について概観することにする。

2. 光導波路型レーザー

近年、低コスト、小型、多種機能集積などの特徴とする導波路型レーザーが提案され、 LiNbO_3 、YAG、YGG など結晶を基板とした素子を用いて発振や増幅に成功したことが報告されている。Lallier らは⁷⁾、Nd をドープした $\text{MgO}:\text{LiNbO}_3$ 結晶を基板として、これにプロトンを用いてイオン交換して幅 $8\mu\text{m}$ のチャンネル型導波路を形成した。 $0.814\mu\text{m}$ のダイレーザーでポンピングした結果 1.5mW で発振が開始し、スローブ効率は 13.8% であった。最大出力は $300\mu\text{W}$ (入力 4mW) である。Chandler らは⁸⁾、Nd をドープした YAG に

He イオンを注入して導波路を形成し、レーザー特性を測定している。レーザー発振しきい値はポンピング強度で約 120 mW、スロープ効率は 1.7 %、最大出力は 1 mW (ポンピング : 270 mW) であった。

一方、発振器ばかりでなく、増幅器に関しても幾つかの報告がなされている。ガラスを用いて導波路型の増幅器を作製する試みはむしろ発振器の実験より歴史は古く、1972 年にすでに矢島らによって、スパッターでレーザーガラスを薄膜にして平板導波路を形成し、増幅器とする提案がなされている⁹⁾。この時は、ポンピングには Xe フラッシュランプを用いており、増幅率も 30 % と低い。結晶を利用した増幅器に関しては、Nd をドープした YGG 結晶を薄膜にして平板導波路で実験した例があり¹⁰⁾、増幅特性はポンピングパワー 10~15 mW に対して利得は 10~15 % であった。

これに対して、最近、レーザーガラスを基板として導波路を形成し、導波路型のレーザー発振器

を作製する試みがなされ、話題を呼んでいる。Najafi らは¹¹⁾、Nd をドープしたリチウム-シリケート系のガラス (Kiger 製) を 300°C で AgNO_3 - NaNO_3 溶融塩中に浸漬し、Ag-Li イオン交換を行って、 $\Delta n = 0.091$ の平板導波路を形成し、その蛍光特性を測定している。励起光には 590 nm の dye laser をもちい、1.06 μm での蛍光波長はバルクの場合と変りのないことを確かめているが、発振特性を調べるまでには致っていない。青木らは¹²⁾、やはりレーザーガラスを基板としてチャンネル型の導波路を作製し、これを用いてレーザーの連続発振に成功している。これは、著者の知る限りでは世界で初めてのことであり、彼等は、導波路作製工程として、Fig. 1 に示すようなガラスの耐久性などの影響を受け難い乾式拡散移入法を用いた。基板としてレーザーガラス LHG 5 (HOYA 製, Nd : 3 wt %) を使用し、その表面に Ti でマスクパターンを設け、さらに拡散源である Ag 金属膜を蒸着した。さらにその上に電極として Au 膜

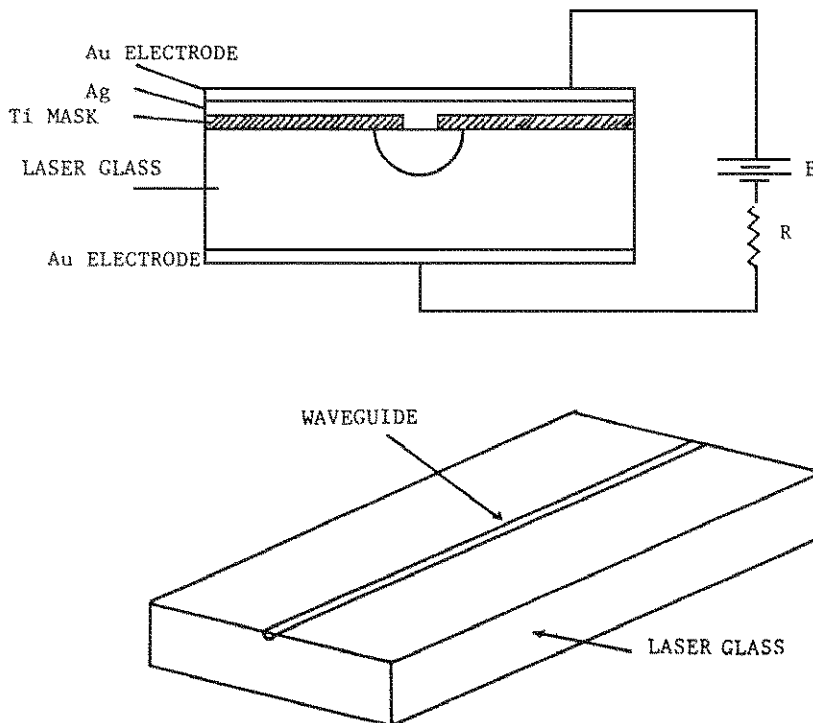


Fig. 1 Electrode structure for optical channel waveguide fabrication.

を設け、約 400°C で電圧を数時間印加し、Ag イオンを Ti 膜の隙間を通してガラス内に拡散させ、チャンネル導波路を形成した。導波路断面は半円状であり、半径約 60 μm 、開口数 0.3、導波路の損失は波長 1.3 μm で 0.5 dB/cm である。Fig. 2 には、上記のチャンネル導波路のレーザー発振特性の測定系を示す。レーザーダイオードを励起光源とし、ここから出射した 800 nm のレーザー光を SI-400 ファイバーを通して導波路に入射させる。入射端には波長 800 nm を 85 % 透過し 1.054 μm を 99.9 % 以上反射する膜を、また、出射端には 1.054 μm の光を 0.3 % 透過する膜を蒸着してある。Fig. 3 は LD の出力に対する導波路の発振出力をプロットしたものである。発振波長は 1.054 nm、発振しきい値は 200 mW、導波路への入力パワーに換算して 5.4 mW、スロープ効率は 5.1 % である。最高出力は今のところ 1 mW 前後であるが、導波路特性の改良次第ではさらによ特性も期待され、すでにスロープ効率 35 %、最大出力 10

mW 以上の特性も報告されている¹³⁾。今後ファイバーレーザーと並んでアクティブな導波路型ガラス素子として期待される。

Table 1 にはガラス導波路のレーザー発振特性を結晶のそれと比較して示した。

3. 導波路型光スイッチ素子

最近、全光学的な情報処理デバイスに使われる非線形材料として、微粒子を分散させたガラス材料、特に直径が 100 Å 前後の $\text{CdS}_x\text{Se}_{1-x}$ 結晶の微粒子をドープしたガラスが高い非線形感受率 ($\chi^{(3)} = 10^{-8} \sim 10^{-9}$ esu) と比較的速い応答時間 ($\tau \sim 10$ psec) を示すことから注目されている¹⁴⁾。この材料が注目される理由は、上記の非線形性もさることながら、やはりガラス材料であることからくる安定性、加工性、化学的耐久性や機械的強度に加えて、ファイバーや導波路の作製が容易にできることにある¹⁵⁾。このことから、Stegeman らは¹⁵⁾ Fig.

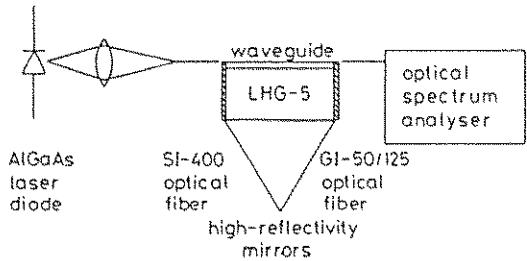


Fig. 2 Experimental setup for cw oscillation of glass waveguide laser.¹³⁾

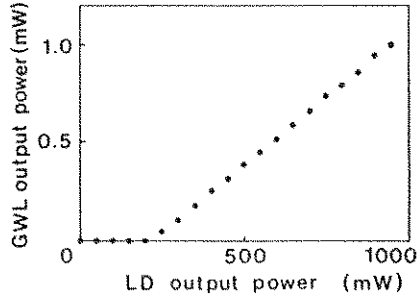


Fig. 3 Lasing characteristics for glass waveguide laser.¹²⁾

Table 1 Characteristics of waveguide lasers.

RARE EARTH ION	SUBSTRATE	PUMP WAVELENGTH (nm)	LASING WAVELENGTH (μ)	OUTPUT (mW)	SLOPE EFFICIENCY (%)	LASING THRESHOLD (mW)
Nd	LASER GLASS (ION EXCHANGE)	802 (LD)	1.054	1/26	5.1	5.4
Nd	YAG (ION IMPLANTATION)	590 (DYE)	1.062	1/~270	1.7	50
Nd	MgO-LiNbO ₃ (ION EXCHANGE)	814 (DYE)	1.084	0.3/4	13.8	1.5

4に示すような、非線形材料を利用した導波路型デバイスを提案している。図中、(a)(b)はチャンネル型導波路を利用した方向性結合器、(c)は分布帰還型光双安定素子、(d)は干渉型素子、(e)はモード選別器、(f)はプリズム結合器である。例えば、(a)に示す導波路構造では、入力光の強度の増加に伴い、非線形性に基く屈折率の変化が生じ、2つの導波路間の整合条件が変化するので、出力光は導波路間の整合長に依存して(a)又は(b)の様に变化する。又、(f)では、入射光強度の増加に伴って導波路部分の屈折率が変化し、プリズムとの屈折率整合条件が次第に壊れることを利用している。

上記の様な原理を利用して導波路を用いて半導体ドープガラスの非線形性を測定することはすでに行われていたが⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾、Finlaysonらは⁽¹⁸⁾、実際に $\text{CdS}_x\text{Se}_{1-x}$ ドープガラス上に K^+-Na^+ イオン交換法によって導波路を形成し、Fig. 5の(a)(b)型の方向性結合器を作製している。Fig. 5はその出力特性を示したものである。入射光強度が高い場合、導波路間の位相整合が起って出力ポート間に強度の変化生ずる。材料の非線形性が小さい事もあって特性はまだ完全なものではなく、一方のポートの出力は完全に0にはならず改良の余地を

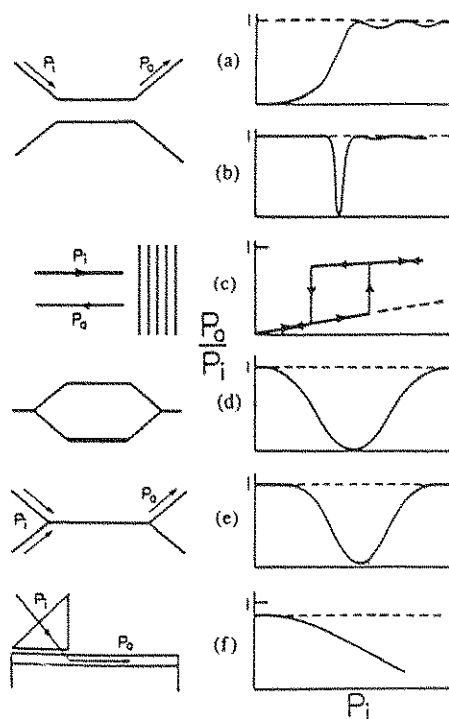


Fig. 4 Integrated optics devices and their response to optical power with and without nonlinearities. (a) and (b) directional coupler, (c) distributed feedback grating, (d) Mach-Zehnder interferometer, (e) mode sorter, and (f) prism coupler.⁽¹⁵⁾

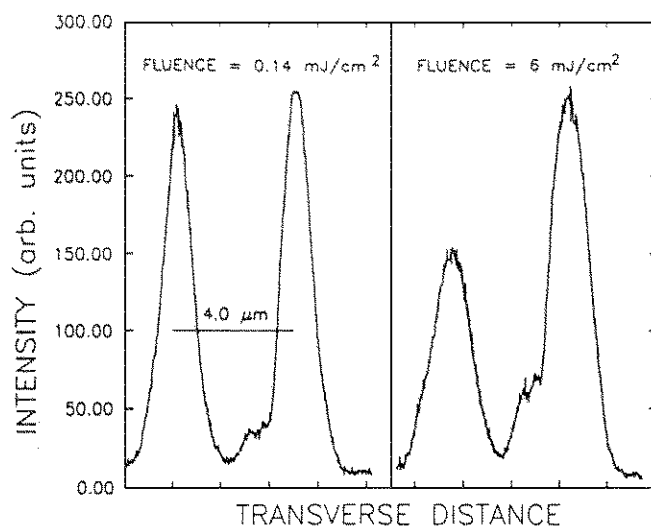


Fig. 5 Light-distributions at the output port of the directional coupler in the low- and high-fluence regimes.⁽¹⁸⁾

残しているが、将来ピコ秒領域の高速方向性結合器として期待がもたれる。

一方、Najafi らは¹⁹⁾、プリズム結合器をもちいて光双安定性を観察している。この素子は半導体ドーピングガラス(Shott-GG 495)上にスパッターで $0.35\ \mu\text{m}$ の Al_2O_3 を形成したもので、半導体ドーピングガラスの非線形性によって、Fig. 6 にしめすような光双安定性が観測される。

このような半導体ドーピングガラスを利用した導波路型の機能性素子は、非線形材料の開発そのものがまだその途に着いたばかりであるが、今後は材料開発と相まって、さらに活発な研究が行われるものと思われる。

4. あとがき

最近話題となっている能動的なガラス導波路デバイスについて、導波路型マイクロレーザーと非線形光スイッチ素子を例にとって解説した。今までは、どちらかと言うと受動素子を作製するのに基板材料として使われてきたガラスは、今後は、能動機能を有するニューガラスの開発と並行して、これを利用した能動素子用材料としても活躍

することが期待される。

参考文献

- 1) E. Okuda, I. Tanaka, T. Yamasaki; Appl. Opt., **23**(11)1745(1984)
- 2) M. Seki, R. Sugawara, Y. Hanada, E. Okuda, H. Wada, T. Yamasaki; Electron. Lett., **23**(18)978(1987)
- 3) M. Haruna, J. Koyama; Appl/Opt., **21**(19) 346(1982)
- 4) D. N. Payne; 7th International Conference on Integrated Optics and Optical Fiber Communication (100C), July 18-21 (1989) Kobe, Japan
- 5) L. Leekie, I. Jauncey, S. B. Poole, D. N. Payne; Electron. Lett., **23**, 1076(1987)
- 6) 島田: Oplus E, No. 113, 75(1989)
- 7) E. Lallier, J. P. Pocholle, M. Papuchon; 7th 100C, July 18-21(1989) Kobe, Japan
- 8) P. J. Chandler et al; Electron. Lett., **25**, (15) 985 (1989)
- 9) H. Yajima, S. Kawase, Y. Sekimoto; Appl. Phys. Lett., **21**(9) 407(1972)
- 10) 松下俊雄, 宮崎保光: 電子情報通信学会秋季全大会講演論文集(1989)4-287
- 11) S. I. Najafi, W. J. Wang, J. F. Currie, R. Leonelli, J. L. Brebner; IEEE Photonics Tech. Lett., **1**(5)109(1989)
- 12) H. Aoki, O. Maruyama, Y. Asahara; Topical meeting on Glasses for optoelectronics. Extended abstracts, p69, Dec. 1, (1989) Tokyo, または OFC'90, San Francisco, Ca., Jan. 22-26(1990) FBI
- 13) H. Aoki, O. Maruyama, Y. Asahara; J. Lightwave Tehnology(1990)投稿中, または青木宏, 丸山修, 浅原慶之: 第37回応用物理学会関係連合講演会(1990)発表予定
- 14) R. K. Jain, R. C. Lind; J. Opt. Soc. Am., **73**, 647(1983)
- 15) G. I. Stegeman, R. H. Stolen; J. Opt. Soc. Am., **B6** (4)652(1989)
- 16) S. K. Han, Z. Huo, R. Srivastava, R. V.

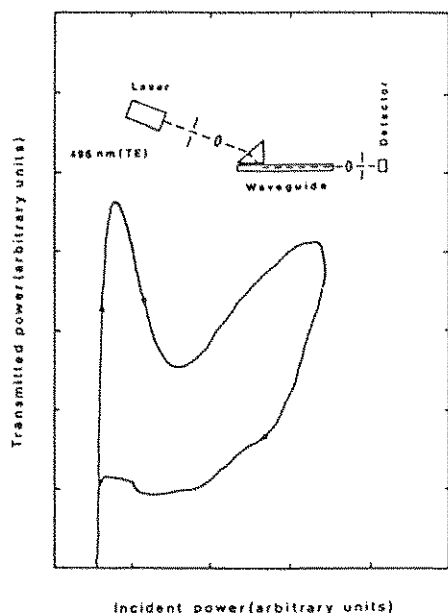


Fig. 6 Measured variation of transmitted vs. incident power of the prism coupler.¹⁹⁾

Ramaswamy : J. Opt. Soc. Am., **B6** (4) 662
(1989)

17) C. N. Ironside et al : J/Opt. Soc. Am., **B5**
(2) 491(1988)

18) N. Finlayson et al : Appl. Phys., **53**(13)
1144(1988)

19) S. I. Najafi, et al : Appl. Opt., **27**(5)806
(1988)

[筆者紹介]



浅原 慶之(あさはら よしゆき)

昭和 15 年 2 月 18 日生

昭和 39 年 3 月 東京都立大学理
学部物理学学科卒.

同年 4 月 (株)保谷硝子入社, 同
社技術研究所を経て,
現在 HOYA(株)材料
研究所ニューガラス研
究室長, この間, 主に遅
延線ガラス, ファラデー
回転ガラス, カルコ
ゲナイドガラス, 核融
合大出力レーザー用ガ
ラス材料, 屈折率分布
型レンズ材料の開発に
従事, 工学博士

Abstract

Glass waveguides have been extensively studied as passive optical components. During the past few years, glass waveguide formed in the active glass materials has received growing attention because they appear to offer interesting possibility for the realization of all optical active devices. As examples of this type of waveguide, glass waveguide laser and nonlinear glass waveguide devices are reviewed.