

前処理を施した光学ガラス基板を用いた拡散型 チャンネル光導波路の作製

堀田 昌志^{†a)}(正員) 鶴成 哲也^{††}
三宅 芳昭^{†††} 小野 和雄^{††††}(正員)

Diffusion Type Optical Channel Waveguide Fabricated in
Pre-Diffused Optical Glass

Masashi HOTTA^{†a)}, Member, Tetsuya TSURUNARI^{††},
Yoshiaki MIYAKE^{†††}, Nonmembers, and
Kazuo ONO^{††††}, Member

[†] 山口大学工学部, 宇部市
Department of Electrical & Electronic Engineering,
Yamaguchi University, Ube-shi, 755-8611 Japan

^{††} 松下電子部品株式会社, 門真市
Matsushita Electronic Components Co., Ltd., Kadoma-shi,
571-8501 Japan

^{†††} Jフォン中国株式会社, 広島市
J-Phone Chugoku Co., Ltd., Hiroshima-shi, 730-8551 Japan

^{††††} 愛媛大学工学部, 松山市
Department of Electrical & Electronic Engineering, Ehime
University, Matsuyama-shi, 790-8577 Japan

a) E-mail: hotta@po.cc.yamaguchi-u.ac.jp

あらまし 2段階拡散法によりガラス製チャンネル光導波路を作製する際に、使用する基板ガラスの組成や特性によっては埋込み型チャンネル光導波路を作製することが困難な場合がある。このような場合でも、あらかじめガラス基板表面にナトリウムイオンを拡散させ、組成の異なる領域を形成(前処理)しておけば、チャンネル光導波路が作製できることを示している。

キーワード 前処理, 拡散型チャンネル光導波路, 光学ガラス, 2段階拡散法

1. まえがき

これまでに光ファイバとの整合性に優れたガラス製埋込み型チャンネル光導波路を2段階イオン交換法で作製する方法の提案や実際の光子子作製に関する報告がなされている[1]~[3]。筆者らも、ソーダライムガラス(松浪硝子工業製S1214)を基板に用い、銀イオンとナトリウムイオンの相互拡散現象を利用した2段階拡散法[3]~[5]により単一モード伝送埋込み型チャンネル光導波路の作製実験を行ってきた。ところで、光回路素子に要求される機能の多種・多様化に伴い、様々な光学特性や化学的組成及び性質を有するガラス基板を用いたチャンネル型光導波路の作製方法を検討する必要があると考えられる。本論文では、これまで筆者らが用いてきたソーダライムガラスよりも耐熱性に優れ、表1に示すような重量%で酸化物を含有するアルミノ珪酸ガラスの一種であるコーニング社製#0317(以下

表1 ガラス基板(コーニング#0317)の組成
Table 1 Oxide composition of Corning #0317.

Oxides	Weight %
SiO ₂	61.0
Na ₂ O	13.0
Al ₂ O ₃	17.0
MgO	4.0
K ₂ O	3.0
Others	2.0

では単に光学ガラスと呼ぶ)を用いて埋込み型チャンネル光導波路の試作実験を行った[6],[7]。今回用いた光学ガラスは、熱膨張係数がソーダライムガラスに近い値に設計されており、2種類のガラス基板を併用した回路や素子の構成にも適していると考えられる。以下では、拡散マスクを介して部分的に銀イオンとナトリウムイオンを相互拡散させた領域を形成する行程を1次拡散(1st Diffusion)、拡散マスクを取り除き外部から電界を印加させながら銀イオンを基板内部へと押し込む行程を2次拡散(2nd Diffusion)と呼ぶことにする[3]~[5]。試作実験結果によると、1次拡散後に単一モード伝送チャンネル光導波路が作製できる範囲内で試作条件をいろいろと変化させても、2次拡散を行うと埋込み型チャンネル光導波路を作製することが困難であった[6],[7]。ここで、ガラス製光回路素子の実用化のためには、どのような性質をもったガラス基板を用いた場合でも、本質的な作製行程を大幅に変更することなくチャンネル光導波路を容易に作製できることが望ましいと思われる。そこで本論文では、チャンネル光導波路を作製するガラス基板を、あらかじめ硝酸ナトリウム融液中に浸すことでその表面付近のガラス組成を変化させ(前処理)、その後従来どおりの2段階拡散法で銀イオン拡散型チャンネル光導波路作製を試みた。この前処理を行うことで2次拡散時の銀イオンの移動速度が抑制され[6],[7]、基板の組成・性質によって、これまで2段階拡散で光導波路を得ることが困難であったガラス基板でも埋込み型チャンネル光導波路を作製できる可能性を示した。

2. チャンネル光導波路の作製と前処理

本論文では、ソーダライムガラスよりも耐熱性に優れた光学ガラス(コーニング社製#0317)を基板に用いて、2段階拡散法[3]~[5]により単一モード伝送埋込み型チャンネル光導波路の作製を試みた[6],[7]。なお、実際のチャンネル光導波路作製においては、1次拡散で、3μmの開口幅をもつ直線チャンネル光導波路作製

用拡散マスクを介して0.1%希釈硝酸銀融液 [3]~[8]より銀イオンを熱相互拡散させた。ここで、0.1%希釈硝酸銀融液とは、硝酸銀と硝酸ナトリウムを銀イオンモル濃度が0.1%となる割合で混合し、加熱・融解させたものである。また、拡散条件は、0.1%希釈硝酸銀融液を用いた2次元スラブ光導波路の試作基礎実験から推察して、1次拡散終了後のチャンネル光導波路が単一モード伝送となる範囲内で設定した。その結果、表2に示すような条件で光学ガラス基板を用いて作製したチャンネル光導波路を単一モード伝送光ファイバにより波長 $0.6328\mu\text{m}$ のHe-Neレーザ光で励振すると、1次拡散後には基板表面付近で図1(a)に示すように水平方向に広がった楕円形状の基本導波モードのニアフィールドパターンのみを観測することができ、単一モード伝送チャンネル光導波路が作製できていることを確認できた。しかし、2次拡散を行った後に同様の励振実験を行うと、いかなる導波モードをも励振することはできなかった[6],[7]。また、このガラス基板を用いた場合には、1次拡散の条件を変化させて同様の作製を行ってもやはり2次拡散を行うと導波モードのニアフィールドパターンは観測できなかった。ここで、様々な試作条件下で0.1%希釈硝酸銀融液を用いたスラブ光導波路の作製実験を行い、文献[9]の方法に従って、Mライン法と逆WKB法でその屈折率分布を推定し、屈折率が銀イオン(ドーパントイオン)濃度に比例するものとして相互拡散係数を求めると、今回用いた光学ガラス(コーニング#0317)はソーダライムガラス(松波硝子工業S1214)の5倍以上大きい相互拡散係数をもつことが確認された。したがって、光学ガラス中では、銀イオンの移動度がソーダライムガラス中に比べて非常に速く、1次拡散で基板表面付近に形成されていた銀イオン拡散領域(光導波層)が2次拡散時に広がりすぎて光波の閉じ込め効果が弱くなりニアフィールドパターンを観測できなくなったものと推察される。

ところで、2重イオン交換により銀イオンの移動率が低減できる場合があることは以前から知られている[2]。そこで、光学ガラス中での銀イオン移動度を抑制するために、ガラス基板をあらかじめ硝酸ナトリウム融液に浸し、その表面付近の組成を変化させた(前処理[7])。ここで、前処理の効果を確かめるために、前処理を行ったガラス基板と行わなかったガラス基板を用いて同じ試作条件で構造の簡単なスラブ光導波路の作製実験を行い屈折率分布の測定[9]を行った。その結果、先と同様に屈折率と銀イオン濃度は比例関係に

表2 拡散型チャンネル光導波路の作製条件
Table 2 Parameters for fabrication of optical channel waveguides with two-step diffusion technique.

Process	Conditions	
	1st Diffusion	Melts
Temp.		330 °C
Time		45 sec.
2nd Diffusion	Melts	NaNO_3
	Temp.	350 °C
	Time	3 min.
	Applied Voltage	40 V

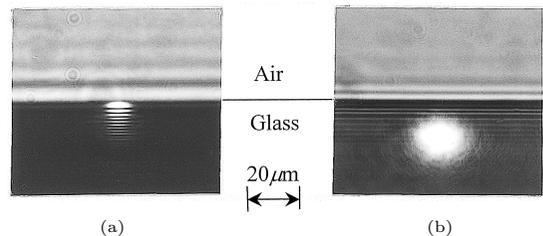


図1 試作チャンネル光導波路のニアフィールドパターン
(a) 前処理なし基板 [1次拡散後], (b) 前処理基板 [2次拡散後]

Fig. 1 Near field patterns for fabricated optical channel waveguides with (a) no pre-diffusion glass (after the 1st diffusion) and (b) pre-diffusion glass.

あるものとすれば[9],前処理を行ったガラス基板を用いた場合の方が前処理を行わなかった場合よりも銀イオンの拡散深さは浅くなった。すなわち、前処理を行うことでガラス基板内部における銀イオン移動度が抑制されたものと考えられる。

以上の結果を考慮して、前処理を施したガラス基板を用いて実際に埋込み型チャンネル光導波路の作製実験を行った。まず、光学ガラス基板を 350°C に加熱した硝酸ナトリウム融液中に60分間浸すことで前処理を行った。そして、このガラス基板を用いて2段階拡散法を行った。なお、作製条件は表2と同じ条件に選んだ。以上の条件で2次拡散まで行って作製した埋込み型チャンネル光導波路を、やはり単一モード伝送光ファイバを介してHe-Neレーザ光で励振し、そのニアフィールドパターンを顕微鏡で観測すると図1(b)に示すように、基板内部に埋め込まれた円形のパターンのみを観測することができた。すなわち、励振条件を変化させても高次の導波モードパターンを観測することはできず、試作導波路が単一モード伝送チャンネル光導波路であることが確認できている。この試作導波路のニアフィールドパターン形状(基本導波モード)を詳細に検討す

表3 ニアフィールドパターン形状の測定結果

Table 3 Measurement of near field pattern of fabricated optical channel waveguide.

Spot Size [μm]		Spot Ratio	Varied Depth [μm]
Horizontal	Vertical		
18.6	14.8	0.8	12.2

るため、基板水平方向及び鉛直方向に光強度が最大値の $1/e^2$ まで減衰する幅(スポットサイズ: Spot Size)並びに基板表面から光強度最大点までの鉛直方向距離(埋込み深さ: Varied Depth)を測定すると表3のようになった。なお、表中のスポット比(Spot Ratio)は基板水平方向のスポットサイズに対する鉛直方向のスポットサイズの比を表している。以上の結果から試作導波路の横断面形状は基板と水平方向にやや広がった楕円形であると推察される。また、この光導波路のスポットサイズを励振に用いた単一モード伝送ファイバのスポットサイズ $6.4\mu\text{m}$ と比べると約2.9倍大きくなっていた。

3. むすび

本論文では、従来筆者らが行ってきた2段階拡散法では試作条件を変化させても単一モード伝送埋込み型チャンネル光導波路を作製することが困難であった光学ガラス基板でも、前処理によりガラス基板表面の組成を変化させることで埋込み型チャンネル光導波路が作製可能であることを明らかにした。今後、前処理を行ったガラス基板を用いて、作製条件により試作導波路のニアフィールドパターン形状やスポットサイズ等を制御することが課題として挙げられる。

謝辞 本研究に関して多大な御援助を頂いた日本発条株式会社研究開発本部の諸氏に心より感謝する。

文 献

- [1] E. Okuda, I. Tanaka, and T. Yamasaki, "Planar graded-index glass waveguide and its application to a 4-port branched circuit and star coupler," *Appl. Opt.*, vol.23, no.11, pp.1745-1748, Nov. 1984.
- [2] A. Tervonen and S. Honkanen, "Model for waveguide fabrication in glass by two-step ion exchange with ionic masking," *Opt. Lett.*, vol.13, no.1, pp.71-73, Jan. 1988.
- [3] 沢新之輔, 小野和雄, 山崎雅志, "希釈硝酸銀融液を用いたガラス製単一モード拡散型チャンネル光導波路の作製," *信学論(C)*, vol.J70-C, no.4, pp.563-566, April 1987.
- [4] 沢新之輔, 小野和雄, 堀田昌志, "ガラス製モード変換型Y分岐光導波路の試作," *信学論(C-I)*, vol.J73-C-I, no.10, pp.636-644, Oct. 1990.
- [5] 堀田昌志, 加地良行, 小野和雄, "希釈硝酸銀融液を用いた拡散型チャンネル光導波路の特性評価," 平7電気関係学会四国連大, no.12-25, p.227, Oct. 1995.
- [6] 鶴成哲也, 堀田昌志, 小野和雄, "拡散用ガラス基板を用いたイオン交換型チャンネル光導波路の試作," 平9電気関係学会四国連大, no.12-15, p.181, Oct. 1997.
- [7] 鶴成哲也, 堀田昌志, 小野和雄, "前処理を行った光学ガラス基板による拡散型チャンネル光導波路の試作," 平10電気関係学会四国連大, no.12-15, p.196, Oct. 1998.
- [8] G. Stewart and P. J. R. Laybourn, "Fabrication of ion-exchanged optical waveguides from dilute silver nitrate melts," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. QE-14, no.12, pp.930-934, Dec. 1978.
- [9] 沢新之輔, 小野和雄, 都築伸二, 漁島直, "銀イオン拡散形ガラス光導波路の屈折率分布推定法," *信学論(C)*, vol.J69-C, no.6, pp.789-792, June 1986.

(平成11年6月1日受付, 8月20日再受付)