



## 平板光導波路

奥田 栄次・山崎 哲也

日本板硝子(株)筑波研究所 〒300-26 茨城県筑波郡豊里町東光台 5-4

### 1. ま え が き

光通信システムあるいはローカルエリアネットワーク(LAN)などにおいて、光の分配・結合などの光配線機能をもつ分岐素子、スターカプラ等の光受動素子は基本的かつ重要な光コンポーネントである。

従来、このような機能をもつ素子としては、レンズ、プリズム、ミラーなどから構成される微小光学素子が用いられている<sup>1,2)</sup>。また、ファイバを融着することによって作製された低損失の分岐素子あるいはスターカプラも報告されている<sup>3)</sup>。

一方、その内部に光の分配・結合等の機能をもたせた平板光導波路は、入出力ファイバとの接続も容易で上記システムには有用であり、種々の材料および方法で実用化に向けて研究されている。本稿では、この平板光導波路をとくに多モード用の埋込み導波路に着目して説明する。低損失の光受動素子を構成するためには、埋込み型でかつファイバコア断面に近い断面(接続損失が小さい)の導波路が適している。

### 2. 材料および方法

埋込み型平板光導波路は、光ファイバと同じく材料面で石英、プラスチックおよびガラスに大別される(表1)。

(1) 石英系としては、石英ガラス基板上にCVD法によりコア層(たとえば $\text{SiO}_2\text{-GeO}_2\text{-P}_2\text{O}_5\text{-B}_2\text{O}_3$ )とクラッド層(たとえば $\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-GeO}_2$ )を順次組成比を変えて推積し、その後透明ガラス化して作製した集束形二次元光導波路<sup>4)</sup>、コアガラス層をリアクティブスパッタエッチング法によりパターンニングを行ない、次にその表面にCVD法によりクラッド層を堆積し透明ガラス化して埋込み導波路を作製する方法<sup>5)</sup>、あるいはCVD法で形成した多孔質ガラス層に $\text{CO}_2$ レーザービームを照射することにより多孔質層のパターンニングを行ない、その後透明ガラス化して光導波路を作製する方法<sup>6)</sup>

等があげられる。図1に石英系埋込み導波路作製工程の代表例を示す。この方法により断面形状が通常のグレーディッドファイバ(GI-50ファイバ)との接続に適した約 $50\mu\text{m}^2$ のものが得られている。

(2) また、プラスチック系としては、モノマー(アクリル酸メチル $n=1.48$ )を含有した高分子フィルム(ポリカーボネートフィルム $n=1.59$ )を形成し、紫外線をマスク露光してフィルム内でモノマーを部分的に重合(選択的光重合)させ、未反応モノマーを除去することにより光導波路を形成する方法<sup>7)</sup>があげられる。その工程を図2に示す。この方法により導波路断面がファイバコア径に近接した大きさで作製でき、GI-50ファイバとの接続損失が0.8dB(両端)まで低減されている。

(3) さらにガラスを用いたものとしては、イオンの拡散が基本技術となっており、ドライプロセスとウェットプロセスに分類される。

ドライプロセスとしては、ソーダライムガラス等を基板とし、真空蒸着によりAg層を形成し、パターンニングした後電界を印加してガラス中に $\text{Ag}^+$ イオンを拡散させ光導波路を作製する方法<sup>8)</sup>、 $\text{Ag}^+$ イオンを電界によりマスク拡散させてパターン化導波路を作製し、その表面から $\text{Na}^+$ イオンを拡散させて埋込み導波路にする方法<sup>9)</sup>等が報告されている。

ウェットプロセスは、イオン源として熔融塩を用いてガラス中のイオンとイオン交換する方法であるが、この方法は、以前から、低損失な光導波路が得られることが知られている<sup>10,11)</sup>。図3に示すようにソーダライムガラス等を基板としてその表面にマスクを設けガラスの屈折率を増大することに寄与するイオン( $\text{Ag}^+$ イオン等の電子分極率が大きいイオン)を電界を印加してガラス内に拡散させ高屈折率部(コア部)を形成し、次に表面から屈折率を小さくするイオン( $\text{Na}^+$ イオン等の電子分極率が小さいイオン)を拡散させてコア部をガラス内部に移動させるとともに表面側の屈折率を小さくして埋込み型の光導波路を形成するという2段階の電界印加イオン

表 1 埋込み型平板光導波路の製法と応用

材 料	製 法	応 用
石 英	CVD 法 CVD 法+リアクティブスパッタエッチング法 CVD 法+CO <sub>2</sub> レーザー加工	プレナー導波路 (0.1 dB/cm) 分岐回路 (0.2 dB/cm)
プラスチック	選択的光重合法	分岐回路 (3分岐, 挿入損失 2.8 dB) スターカップラ (6ポート, 挿入損失 2.6 dB)
ガ ラ ス	Ag <sup>+</sup> イオンの電界熱拡散 Ag <sup>+</sup> イオンと Na <sup>+</sup> イオンの2段階熱拡散 2段階電界印加イオン交換法	分岐回路 分岐回路 (4分岐, 挿入損失 1 dB)

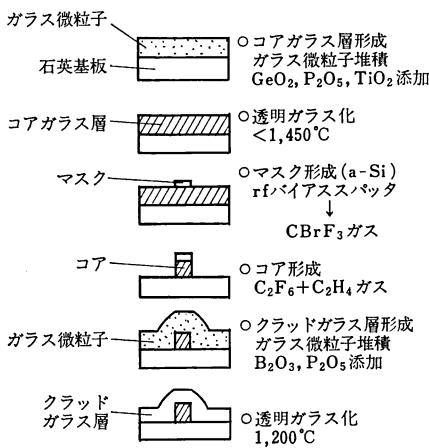


図 1 石英系光導波路の作製工程

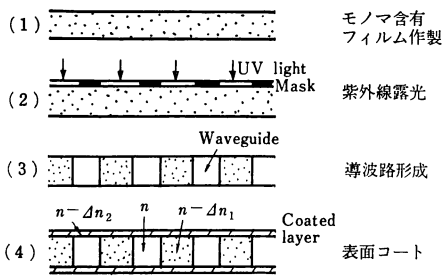


図 2 高分子光導波路の作製工程

交換法であり、基本的研究からデバイスに近いものまで数多く報告されている<sup>12-15)</sup>。

この方法によって断面がほぼ円形でかつ屈折率分布型の埋込み型光導波路を作製することが可能である<sup>15)</sup>。図4は、分岐導波路の分岐直前から分岐完了までの6か所の断面(a~f)を切断・スライス研磨によりとり出し、マッハ・ツェンダー型干渉顕微鏡によって測定した断面屈折率干渉パターンであり、屈折率分布を示している。この場合、導波路深さは約 65  $\mu\text{m}$  であり、中心から周

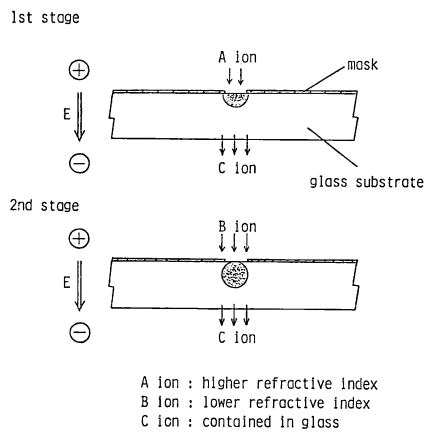


図 3 2段階電界印加イオン交換法の概略図

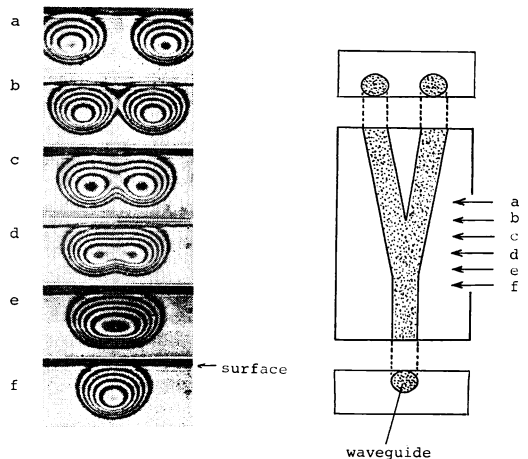


図 4 導波路断面 6 か所の屈折率干渉パターン

辺に向かって連続的に屈折率が減少している (屈折率差  $\Delta n$  は約 0.025)。ほぼ円形断面でガラス内部に埋め込まれており、1本の導波路が周辺の屈折率分布を保ちながら2本に分岐しているのがわかる。これは、ガラス中でのイオンの拡散特性を生かすことによって実現され

ている。

### 3. む す び

以上のように、種々の材料および方法で低損失でかつファイバとの接続に有利な埋込み型光導波路作製技術の研究が進められ、低損失な分岐回路、スターカプラ等が得られている。これらの技術は容易にその他種々の光受動素子を構成することができ、前記した光通信システムにおいて非常に有用である。また、単一モード用デバイスにも応用が期待される。

なお、図4に示した埋込み導波路は通商産業省工業技術院の大型プロジェクト「光応用計測制御システムの研究開発」の一環としてなされたものである。

### 文 献

- 1) 岸本 隆, ほか: 昭和 56 年電子通信学会総合全国大会, 344 (1981).
- 2) 早田博則, ほか: 昭和 58 年電子通信学会材料部門全国大会, 294 (1983).
- 3) E. G. Rawson, *et al.*: *Electron. Lett.*, **14** (1978) 274.
- 4) 石川 朗, ほか: 昭和 58 年秋季応物学会, 25 a-S-4 (1983).
- 5) 森 英史, ほか: 光量エレ研究会資料, OQE 80-135 (1981).
- 6) 山田 武, ほか: 昭和 58 年秋季応物学会, 25 a-S-3 (1983).
- 7) T. Kurokawa, *et al.*: *Appl. Opt.*, **19** (1980) 3124.
- 8) J. Viljanen, *et al.*: *J. Appl. Phys.*, **51** (1980) 3563.
- 9) 楓 和久, ほか: 昭和58年春季応物学会, 28 a-A-2 (1983).
- 10) T. Izawa, *et al.*: *Appl. Phys. Lett.*, **21** (1972) 584.
- 11) 松下茂雄, ほか: 昭和 48 年電子通信学会全国大会, S12-4 (1973).
- 12) G. Chartier, *et al.*: *Appl. Opt.*, **19** (1980) 1092.
- 13) H. J. Lilienhof, *et al.*: *IEEE J. Quantum Electron.*, **QE-18** (1982) 1877.
- 14) G. L. Tangonan, *et al.*: *Physics of Fiber Optics*, Vol. 2 (The American Ceramic Society, Inc., Columbus, Ohio, 1981) p. 463.
- 15) E. Okuda, *et al.*: *4th Topical Meeting on Gradient-Index Optical Imaging Systems*, F2-1 (The Group of Micro-Optics Division, JSAP, 1983) p. 154.

(1983 年 9 月 29 日受理)