

光集積回路におけるレーザ応用プロセッシング



研究ノート

春 名 正 光*

1. はじめに

基板の表面付近にわずかに屈折率の高い透明な薄膜層を設け、この中に光を閉じ込めて伝搬させることによって、光を効率良く制御することができる。このような薄膜光導波を基本として、一つの基板上にいくつかの光学素子を集積化し、全体としてある機能を果たすものを光集積回路（光 I C）デバイスという。この光 I C 技術は光エレクトロニクスを支えるキーテクノロジーとして注目されており、光通信・計測分野への応用を目指して活発な開発研究が行われている。

さて、このような光 I C の試作研究を行う上で、新しい動作原理に基づくデバイスの提案・設計と同時に、これらを実現するための光 I C

デバイス専用の作製プロセスの確立が重要である。ここ数年、我々は独自に設計・試作した装置を用いて、レーザ応用プロセッシングによる光 I C デバイスの作製を試みている。本稿では、これに関する 2, 3 の成果について述べる。

2. レーザビーム直描による光導波路パターンニング

図 1 に、電気光学結晶として知られているニオブ酸リチウム (LiNbO_3) を基板とした光集積レーザドップラ速度計 (LDV) を示す。これは光の通路を幅 $4\mu\text{m}$ の Ti 拡散導波路に置き換えて、速度計測に必要なヘテロダイン干渉計を $40\times 8\text{mm}^2$ の LiNbO_3 基板上に全て集積化したものである。これにプローブ用の偏波保存光ファイバを介して半導体レーザ (LD) と光検

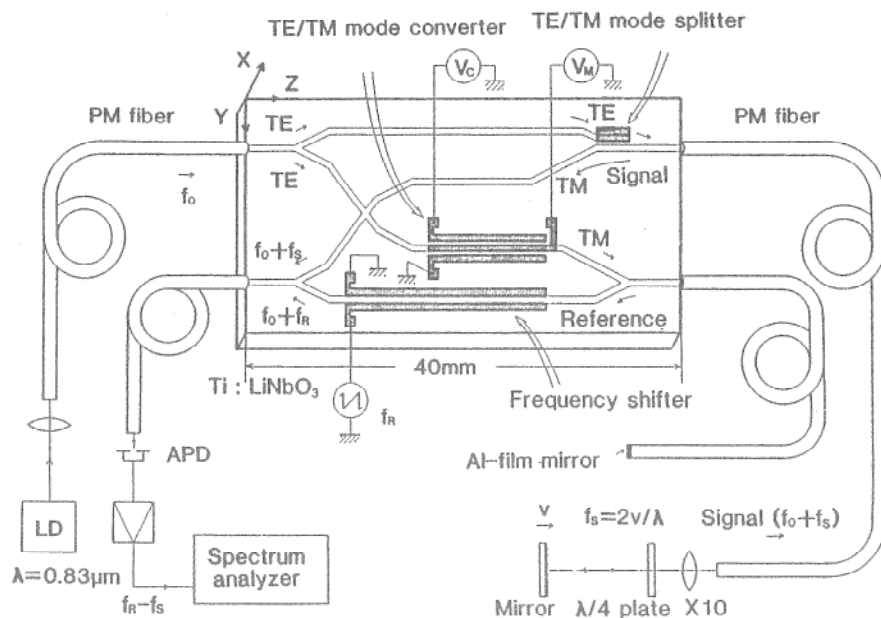


図1 光集積レーザドップラ速度計

*春名正光(Masamitsu HARUNA), 大阪大学工学部, 電子工学科, 助教授, 工学博士, 光波電子工学

出器 (APD) を一体化している。

このデバイス作製上のポイントは、わずか 0.6° の折れ曲がり角や方向性結合器を含む幅 $4\mu\text{m}$ の光導波路を、長さ 40mm に渡って $0.1\mu\text{m}$ オーダーの精度でパターニングするかである。このような長尺でしかも高精度のパターニングに対しては、集光レーザービームと精密微動ステージを組み合わせたレーザービーム (LB) 直接描画が有効である。従来のフォトリソグラフィと比較して、この LB 直描ではフォトマスクを必要とせず、デバイスの設計仕様変更に応じて直ちにパターンを変更できるという特長がある。

光導波路パターニング用 LB 描画装置を図 2 に示す。光源は波長 442nm の He-Cd レーザービームであり、ポジフォトレジストを塗布した

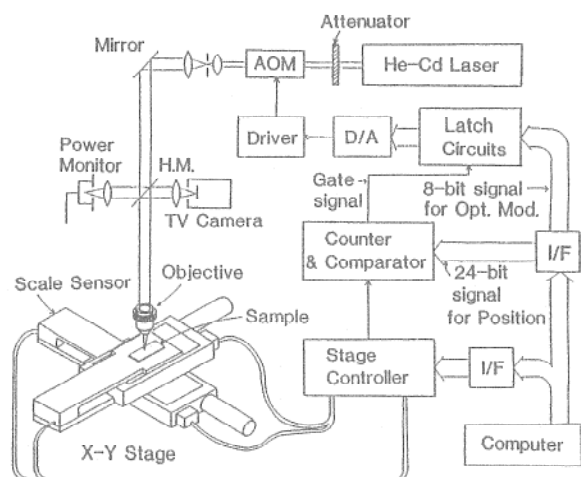


図2 レーザービーム直接描画装置

LiNbO₃ 基板が $0.1\mu\text{m}$ /ステップ X-Y 微動ステージ上に置かれている。ステージの2次元的な動きに同期してレーザー光を ON/OFF することにより、所望の光導波路を自動パターニングできる。描画面積は $80 \times 80\text{mm}^2$ 以上、精度は $0.15\mu\text{m}$ 、描画速度は $1.2\text{mm}/\text{秒}$ で、分岐、曲線の描画も可能である。図1に示した長さ 40mm の導波路パターンにおける描画時間は約3分である。

LB 直描後、レジスト現像、Ti膜リフトオフ、熱拡散を行って光導波路を得る。この導波路に沿ってプレーナ電極を配置して機能光学素子を構成し、LiNbO₃ の入出力端に光ファイバを接続して光集積LDVができあがる。作製したデ

バイスでは 20dB 以上の S/N 比で移動鏡の速度検出が行えることを実証している。

3. レーザCVDによる薄膜光導波路の作製

前述のLB直描では $0.1\mu\text{m}$ オーダーの精度が確保されており、3インチLiNbO₃基板上にはほぼ仕様どおりの性能をもつ光集積デバイスを実現することができる。しかしながら、このLB直描は単にレジストの微細パターニングであり、レーザー自身の特質を全て活かしたプロセスとはいえない。レーザー光の優れた単色性、収束性に加えて、その光エネルギーをも積極的に利用したプロセスが望ましい。

光エネルギーを利用した薄膜光導波路の作製法としてレーザーCVDがある。最近、我々は X-Y ステージ上に真空チャンバーを搭載した特殊なレーザー応用プロセス装置の基礎実験として、波長 193nm ArF エキシマレーザーCVDによる Si-N 膜の堆積を行っている。レーザー光は SiO₂/Si 基板に対して垂直に入射され、材料ガスは SiH₄ と NH₃ である。Si-N 膜の組成および屈折率は基板温度、ガス流量比などに依存する。膜堆積条件の一例を示すと、レーザーパワー密度 $0.2 \sim 0.4\text{W}/\text{cm}^2$ 、ガス流量比 NH₃/SiH₄ = 5、全圧 10Torr 、基板温度 350°C である。 633-nm He-Ne レーザ光を用いて、堆積した Si-N 膜にプリズムを介して導波光を励起した。その導波光ストリークを図3に示す。伝搬損失はこれまで報告されているものより小さく $3.8\text{dB}/\text{cm}$ である。損失の原因は膜自体が Si リッチ (Si/N ~ 0.8) であり、過剰の Si によって可視光が吸収されるためである。ストイキオメトリな膜を堆積すれば、伝搬損失はさらに低減できると考えている。

このように、特殊な CVD 装置を用いて比較

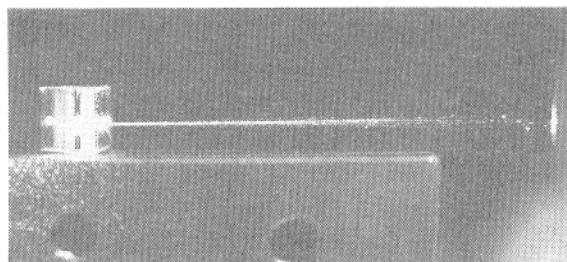


図3 レーザCVDで堆積したSi-N薄膜における導波光ストリーク

的低損失なSi-N膜が堆積できることが確認できた。しかし、エキシマレーザCVDではNH₃ガスの光分解を利用するため、幅数 μm の導波路薄膜を選択的に堆積することは困難である。したがって、現在、光源を高出力Arレーザに置き換え、基板表面でのガスの熱分解反応を利用したSi-N膜の選択堆積について検討中である。

4. おわりに

当研究室で行っている光ICのためのレーザ応用プロセスに関する最近の成果について述べた。我々はもともと光デバイス研究者であり、材料がらみのプロセス技術全般を総合的に検討・評価することは到底できない。しかし、光ICの試作という観点からプロセスを検討し、デバイス研究者の要求に見合った実用的な装置を

組み立てることはできる。レーザ応用プロセッシングもまさにこの観点に立って検討を続けている。

レーザ応用プロセスについては、直描、CVD以外に、レーザドーピング、レーザアブレーションなど、光IC試作に利用できる興味ある技術が多々あり、我々の特殊なレーザ応用プロセス装置に改造を加えつつ、検討していきたいと考えている。

謝辞：本稿で述べたレーザ応用プロセス装置は昭和62年度文部省大学院最先端設備『光・電子集積回路作製装置』（代表：西原浩教授）の一部として設置されたものである。西原教授をはじめ、本研究に携わった大学院生、学部生の方々に感謝します。

