

周期構造を用いた光集積回路



栖原 敏明*

Optical Integrated Circuits using Periodic Structures

Key Words : Integrated Optics, Gratings, Semiconductor Lasers, Nonlinear Optics

1. はじめに

著者らの研究室では光集積回路の研究を続けている。とくに周期構造を用いた種々の光集積回路の構成を提案し、設計・試作して実験的検討を行ってきた。本稿では、この種の光集積回路の概念を述べた後に、最近の研究で実現したいくつかのデバイスの概要を報告したい。

2. 光集積回路とグレーティング素子

適当な基板の上に屈折率の高い層やチャンネル状領域を設けることにより、レーザ光を全反射で閉じ込めて伝搬させる光導波路が形成できる。この構造内に各種の光学要素を形成・集積することにより、独立した高度な機能を果たす小型・高性能で安定、また大量生産に適したデバイスを実現するのが光集積回路である。

光集積回路は導波路材料により実現できる要素に制限がある。誘導体材料では受動要素は容易に形成できるが、光源は実現できないので図1(a)のように半導体レーザを外付けする必要

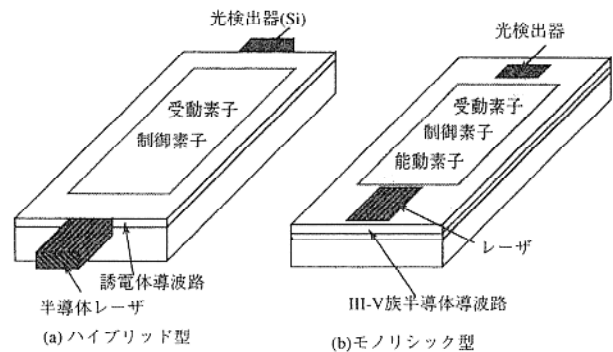


図1 光集積回路の形態

がある。化合物半導体導波路を用いれば(b)のようにレーザが実現できるが、電流非注入部は発振波長において不透明であるので受動要素を実現するには損失を低減するための方策を必要とする。このようにハイブリッド型とモノリシック型の光集積回路は利点と欠点があるが、集積度の高い後者の実現が望まれる。

導波路中に形成した光波長と同程度の微細な周期をもつグレーティングは、波長分散・位相整合・波面変換などの多くの受動光機能を果たすことができる。このような素子は類似のプレーナ構造で多様な機能を実現できるので光集積回路の構成要素として極めて有用である¹⁾。

グレーティング素子や導波路などの作製には微細加工技術が必要である。パターン作製には電子ビーム直接描画が最も適しており、イオンエッチングの組み合わせで多くの材料に適用できる。このような光学素子作製にはアナログ的なパターンを滑らかに高精度で描画する必要が

* Toshiaki SUHARA
1950年11月13日生
1978年大阪大学大学院工学研究科
電子工学専攻博士課程修了
現在、大阪大学大学院工学研究科、
電子工学専攻、助教授、工学博士、
電子工学
TEL 06-879-7771
FAX 06-877-3544
E-Mail suhara@ele.eng.osaka-
u.ac.jp



あるので、著者らは曲線走査が可能な光集積回路作製用電子ビーム描画装置を開発してこれを用いてデバイスを作製している。

3. 量子井戸レーザを用いた光集積回路

従来の半導体レーザは発振波長固体差や縦モード不安定の問題があり、大きな波長分散をもつグレーティング素子を用いた光集積回路の高性能達成の障害となっていた。しかし量子井戸構造を利用した分布帰還型(DFB)レーザで問題を大幅に改善できる。また一度形成した量子井戸を部分的に消去する無秩序化の技術を用いることにより、レーザ発振波長における電流非注入部の損失低減を図れる。このような考え方で次のような具体的なモノリシック光集積回路を提案・設計・試作した。

(a) 光集積干渉計型位置/変位センサ²⁾

図2に3種のグレーティング素子、量子井戸DFBレーザ、2素子の光検出器からなる光集積位置/変位センサを示す。レーザ光は無秩序化受動導波路を伝搬し、集光グレーティング結合器により平行ビームとして自由空間に出射されセンシングビームとなる。これが可動鏡で反射された信号波は、導波路を逆進しグレーティングビームスプリッタを経由して検出器に集光される。またレーザからの光の一部は分布ブラッグ反射グレーティングで反射され参照波として信号波に重畳される。したがって干渉による光電流の周期的変化を計数することで可動鏡の位置や変位を検出・計測できる。開口0.4mmのグレーティング結合器を持つ基板面積 $2 \times 8 \text{ mm}^2$

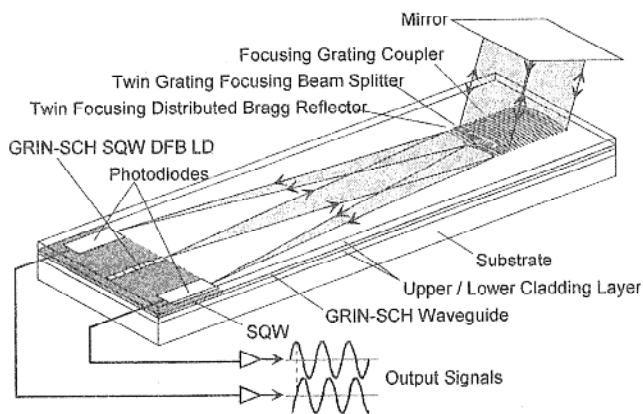


図2 モノリシック光集積位置/変位センサ

のデバイスを作製し、周期 $0.43 \mu\text{m}$ の変位センサ動作を実証した。これは1チップの形で実現された初めての全集積光センサである。

(b) 光集積ディスクピックアップヘッド³⁾

図3に3種のグレーティング素子、DFBレーザ、4素子光検出器からなる光集積ディスクピックアップヘッドを示す。レーザからの光が空間の一点に集光され、この焦点位置に置いたディスクで反射された光は再び導波路に結合され、ビームスプリッタを介して2検出点に集光される。4検出器の光電流の加減演算により読出し信号、フォーカシング・トラッキング誤差信号が得られる。集光グレーティング開口 0.4 mm のプロトタイプデバイスを設計・試作した。集光スポットサイズ約 $2.2 \mu\text{m}$ を得て各素子の機能を確認し、ディスク位置に置いたミラーからの反射光を集積光検出器で検出できることを確認した。得られたスポットサイズは実際のディスク読出しには不十分であるが、このようなデバイス構成の基本的な可能性を実証できた。

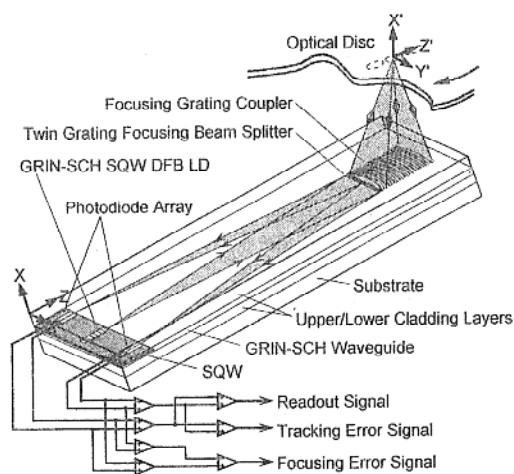


図3 モノリシック光集積ディスクピックアップ

(c) 光集積高出力高機能レーザ⁴⁾

図4にDFBレーザ発振器、テーパ型レーザパワー増幅器および集光グレーティング結合器からなる光集積高出力レーザを示す。グレーティング結合器の集積化により増幅パワーを面発光の形で平行ビームや集積ビームとして出力できる特徴をもつ。増幅部で生じる波面収差は結合器パターンの適当な設計で補正できる。理論シミュレーションによれば数 100 mW から 1 W 級

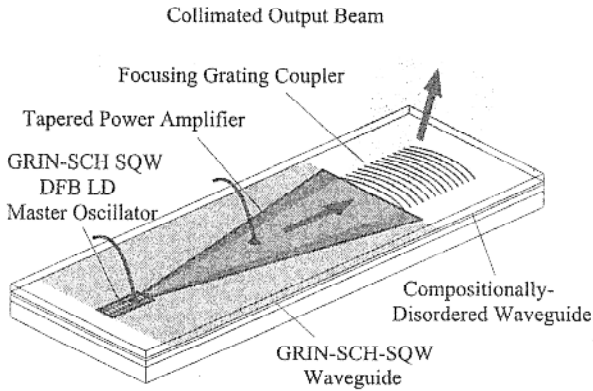


図4 高出力集積半導体レーザー

の光出力が期待でき、導波型非線形光学デバイスの励起光源や光計測のための光源等として多くの応用が考えられる。増幅器長3mmのデバイスを作製し、擬似連続動作の実験で350mW程度の出力が得られている。

4. 導波型非線形光学波長変換デバイス^{5,6)}

非線形光学結晶の導波路を用いた光第2高調波発生(SHG)、和周波数発生(SFG)などの波長変換デバイスは、広い波長域で高い変換効率を得られるので、光ディスク等の光情報処理機器の高性能化に要求される小型短波長コヒーレント高原を実現するための有力なアプローチである。高効率を得るためには非線形性の大きなLiNbO₃などの材料の導波路に光波を高密度に閉じ込めるとともに、基本波と高調波の間の位相整合をとる必要がある。位相整合は強誘電体の自発分極の極性を周期的に反転した非線形光学グレーティングを用いる疑似位相整合(QPM)が最も有力であり、分極反転グレーティングの

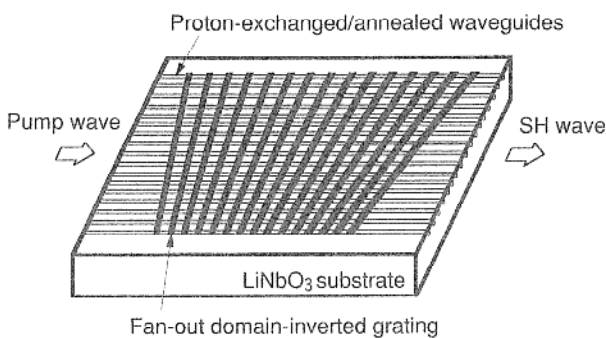


図5 導波型疑似位相整合光第2高調波発生デバイス

形成法の確立が技術課題であった。著者らは石英膜装荷熱処理法、電子ビーム走査照射法やパルス電圧印加法などを発見・検討し、周期2μm程度までの微細な反転構造を作製する技術を確認した。また図5の構造のQPM-SHGデバイスを設計・試作し、緑、青、紫および紫外領域の高調波を200%/W程度までの高い規格化変換効率で発生するデバイスを実現した。図6に変換効率の測定結果を示す。

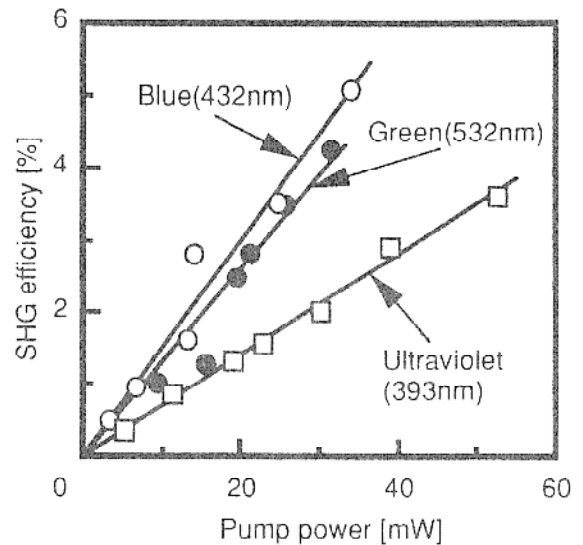


図6 第2高調波発生効率の入力光パワー依存性

5. む す び

著者らの光集積回路の研究の最近の成果を紹介した。集積半導体レーザーに関しては企業の研究グループとの共同研究、外国の大学との国際共同研究の形で遂行していることを付記しておく。これらのデバイスでまだ実用化されたものはないが、今後、実用化のための基礎を確立する努力を重ねるとともに、光集積回路技術の更に高度な応用の開拓をめざして研究を続けてゆきたい。

参 考 文 献

- 1) T. Suhara et al., IEEE J. Quantum Electron., QE-22, p.845, 1986.
- 2) T. Suhara et al., IEEE Photonics Tech. Lett., 7, p.1195, 1995.
- 3) T. Suhara et al., Jpn. J. Appl. Phys.

- 35, 1B p.369, 1996.
- 4) T. Suhara et al., Electron. Lett., to be published.
- 5) T. Suhara et al., Nonlinear Optics, 7, p.345, 1994.
- 6) K. Kintaka et al., J. Lightwave Tech., 14, p.462, 1996.

