

Functional Materials and Structures for Photonic Integrated Circuits 光IC用の新しい機能発現材料・構造の開拓

プロジェクトリーダー 水 本 哲 弥

東京工業大学 大学院理工学研究科
助教授

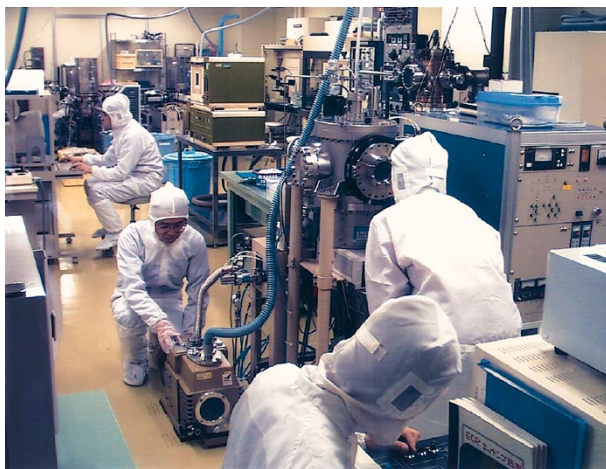


図1. 光集積回路の製作

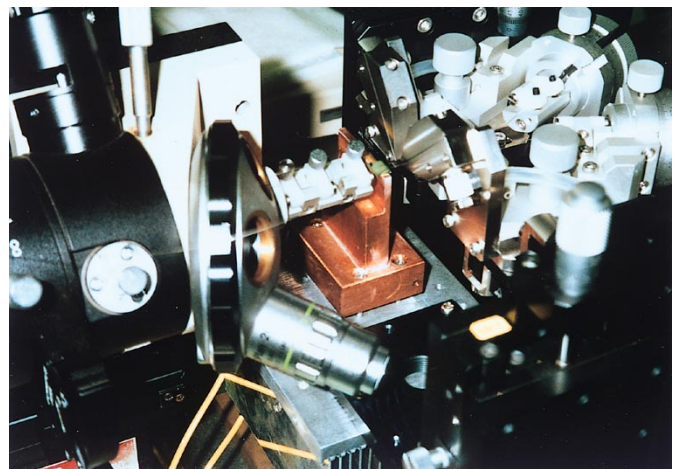


図2. 光集積回路の特性測定系

1. 研究の目的

光ファイバ通信や光ディスクを代表とするオプトエレクトロニクスの進歩は、近年、電子工学分野の中でも著しいものがあり、学術、産業のいずれにとっても最先端に位置している。しかしながら、システムの高度化・ネットワーク化が急速に進み、これまでのデバイス構造・材料のみでは実現不可能な性能や新しい機能が強く望まれるようになってきた。特に、半導体レーザの動作を安定化させる光アイソレータや多機能で高性能な能動・受動光回路素子を集積化する技術が欠落しており、これがオプトエレクトロニクスの将来型である光集積回路（光IC）の発展にとって深刻な問題となっている。さらに、オプトエレクトロニクスの進歩とともに波長多重や並列処理などの高機能性を利用する新しい応用分野が開拓されつつあり、これにともなって大規模な光集積回路の実現が求められている。

本研究は、これらの課題を解決するために、新しいデバイス用材料ならびにデバイス構造を開拓し、集積型光デバイスの高性能化・高機能化をはかることを目的としている。特に、化合物半導体、磁気光学材料、電気光学材料などの異種材料の集積化や能動素子と受動素子の一括形成技術の確立をすすめ、従来技術では不可能であった新しい高機能光ICの創成を目指している。また、これと並行して超微小化光回路の開拓を進め、素子数1000個以上といった電子回路LSIに匹敵する大規模光集積回路を形成する基盤技術の構築を目指している。



図3. 高機能光集積回路の課題

2. 研究の内容

本研究プロジェクトでは、コアメンバーがこれまでに培ってきた独自の研究手法を発展させ、新しい光集積回路を実現するために次に掲げる項目を中核的な課題として研究を推進している。

(1) 能動/受動光素子集積技術の開拓

発光素子、受光素子の構成材料である化合物半導体基板上へ能動光素子と受動光素子をモノリシックに集積化する研究を行っている。能動光素子と受動光素子では、動作波長において材料特性に対する要求が大きく異なり、これを一括して形成することは難しい。本研究では、面積選択有機金属気相成長法を中心に、能動光素子と受動光素子を一括して形成する技術の確立を目指している。有機金属気相成長における面積選択成長のメカニズムを解明し、適切な成長条件を明らかにするとともに、デバイスの試作・評価を行って標準プレーナプロセスの確立を進めている。この技術は、大規模光集積回路を形成するための基盤技術にも通ずる。

(2) 異種材料系の集積化

レーザダイオード、光増幅器、光検出器などの能動光素子は半導体を用いて形成されるが、全ての光素子を半導体だけで形成することは不可能である。例えば、高機能な光集積回路を実現するためにはアイソレータやサーキュレータなどの非相反素子の利用が不可欠であるが、これらの素子を実現するためには磁気光学材料を用いる必要がある。本研究では、ダイレクトボンディングを用いて化合物半導体GaInAsP/InP上へ磁気光学結晶を集積化する手法を確立し、光アイソレータを集積化したレーザダイオードの実現を目指している。

また、高効率な光スイッチや新しい光メモリ機能への応用が可能な電気光学材料の高性能化、集積化も重要な課題である。LiNbO₃系強誘電体結晶は電気光学材料として光デバイスへの応用実績があるが、電気光学効果の増大など解決すべき課題が残されている。本研究では、LiNbO₃系の強誘電体結晶基板ヘドープングや異種材料装荷などを行うことによって、電気光学効果の増大や光メモリ機能の発現などをねらっている。また、化合物半導体基板上へ強誘電体材料などのデポジションも試み、電気光学効果を利用する光素子と半導体光素子の集積化を進めている。さらに、無機酸化物、化合物半導体、有機非線形光学材料および各種液晶などを複合化して利用することによって、その相乗効果もねらっている。

(3) 超微小光回路に基づく新規な光回路素子と大規模光集積回路の開拓

サブミクロン周期構造によって形成されるフォトニック結晶を用いると、共振器や光導波路を従来の構成法に比べて数倍も小さな微小領域で自由に構成することが可能になる。また、微細光回路の一つである周回共振器を用いると、超微小レーザや光結合回路などの光機能素子を構成することができる。平滑面を有する超精密な半導体成長加工技術を確立して、フォトニック結晶や周回共振器構造に基づく新しい超微小光回路を開発し、これをもとに大規模な光集積回路の開拓を進めている。

なお、これらの研究を通じて得られる成果は、光通信や光メモリといった既存技術の高性能化はもとより、波長多重や並列処理など光本来の性質を最大限に活用した高機能性を提供し、次世紀の情報通信・処理技術の発展を通して社会的に大きく貢献するものと期待している。

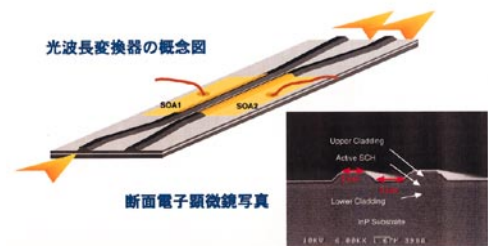


図4. 集積形光波長変換器

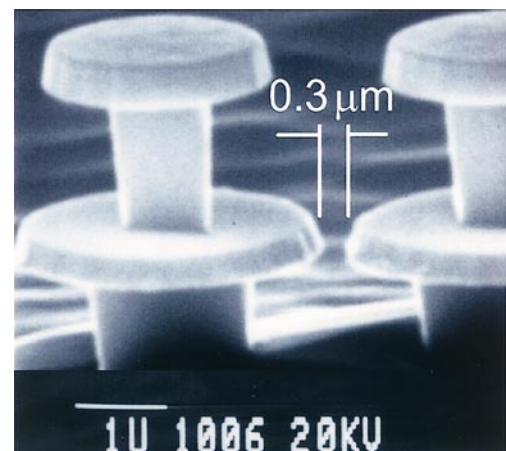


図5. 極微周回共振回路

3. 研究の体制

期 間：1997年8月～2002年3月

構 成：プロジェクトリーダー：水本哲弥（東京工業大学・大学院理工学研究科・助教授）コアメンバー：4名、研究協力者：5名（内ポスドク1名）サブプロジェクト構成：総括4名、能動受動集積4名、異種集積7名、大規模集積2名

実施場所：東京工業大学工学部 目黒区大岡山2-12-1、早稲田大学理工学部 新宿区大久保3-4-1