

|          |  |          |
|----------|--|----------|
| 氏名       | おく<br>奥                                  | さとし<br>哲 |
| 学位(専攻分野) | 博士(工学)                                   |          |
| 学位記番号    | 論工博第3530号                                |          |
| 学位授与の日付  | 平成12年7月24日                               |          |
| 学位授与の要件  | 学位規則第4条第2項該当                             |          |
| 学位論文題目   | Ⅲ-V族半導体の反応性ビームエッチング技術の開発と光デバイスへの応用に関する研究 |          |
| 論文調査委員   | (主査)<br>教授 藤田茂夫 教授 石川順三 教授 野田進           |          |

### 論文内容の要旨

マルチメディア時代の到来に向けて、高速応答性や多波長応答性に優れる半導体光デバイスを用いた超高速・大容量光通信システムの構築が図られようとしている。このようなシステムを実現するためには、光デバイスの高機能化と経済化が重要であり、デバイスの小型化と作製プロセスの単純化が大きな課題となっている。このような課題に対して、近年半導体の微細導波構造が注目されている。例えば、従来の光導波路の曲率導波構造に替わって、反射導波構造を導入することにより、半導体光デバイスの著しい小型化が図られることや、波長選択レーザデバイスにおける微細深溝構造表面回折格子の形成によって、デバイス作製行程の著しい単純化が図られることなど、デバイスの小型化、低価格化に寄与するものと期待されている。これらの微細導波構造はドライエッチング技術によって初めて可能となるため、その技術の確立が重要であるとともに、デバイス適用においては、とくに垂直・平滑加工など加工形状の高い制御性、均一性が要求される。

本論文は、GaAs系やInP系半導体において、垂直性、平滑性、均一性に優れた加工技術として、臭素(Br<sub>2</sub>)と窒素(N<sub>2</sub>)の混合ガスを用いた反応性ビームエッチング技術を取り上げ、半導体光集積デバイスの構築に必須となる導波構造や深溝構造回折格子を制御性よく作製するためのエッチング技術を確立すること、および、この技術を反射導波構造を有するリングレーザや光マトリックススイッチ、表面回折格子構造を有する分布反射型・分布帰還型レーザなどの光デバイスの作製に実際に応用してその有効性を実証することを目的として行った研究を纏めたもので、以下の8章から成っている。

第1章は序論であり、通信網の光化を図る場合、システムを構成する半導体光デバイスの集積化が必須であり、それにはデバイスの小型化と作製行程の単純化が不可欠であることを述べるとともに、垂直性・平滑性に優れたドライエッチング技術の確立が、光デバイスの集積化にとって重要であることを述べて、本論文の位置付けと目的を明確にしている。

第2章では、反射型導波構造、微細構造形成の鍵となる反応性ビームエッチングの基本反応過程について述べている。化学反応とプラズマ過程が混在するドライエッチング過程をできる限り単純化する方法を考案し、エッチングの基本過程を解析的に取り扱っている。エッチング形状とそれに係わるエッチング種の関連性をもとに、垂直加工を得るための基本要因を明らかにしている。

第3章では、反射導波構造を、形状というドライエッチング技術面と導波特性というデバイス面の両面からとらえ、導波構造の形状不整により生じる導波損失を、導波路内の電解分布をもとに見積もり、エッチング技術の精度的な目安を評価している。さらに、導波路内伝搬光分布を考慮した広角度光合分岐回路の構成法を考察している。

第4章では、微細溝構造エッチングにより得られる回折格子を、2インチ基板上に均一に形成するためのエッチング基本要因について分析し、反応性ビームエッチングにおける2次電子効果を検討している。さらに、深い微細溝構造を形成する場合に重要となるエッチングの選択性の向上について論じている。

第5章では、第3章で検討した反射型導波構造のリングレーザ適用に関して述べている。反射鏡と直線導波路で構成された四角形リング共振器の周回レーザにおいて、低しきい発振を実現している。さらに、周回レーザに結合させた外部導波路からの注入光により、周回レーザの単一方向発振と双安定動作を実現している。この動作を複合共振器モデルで解析して、

結合した外部導波路の吸収と透過を切り替えることで発振方向の制御が可能であることを示している。

第6章においては、本ビームエッチング技術により作製した広角度光合分岐回路を用いたレーザダイオード光マトリックススイッチの特性について論じている。すなわち、複数入出力ポートを持つ光スイッチのモジュール化を目的としたInP系溝型合分岐回路仕様 $2 \times 2$ マトリックススイッチ、さらに大規模光スイッチ網の作製を目的としたGaAs系反射Y合分岐回路仕様 $4 \times 4$ マトリックススイッチを作製し、その動作特性をスイッチ素子の機能、寸法、消費電力の観点から評価するとともに、このエッチング技術が半導体光デバイスの大規模化に有用なことを示している。

第7章は、微細溝構造回折格子を有するInP系とGaAs系の分布反射型および分布帰還型半導体レーザに対して、両材料系ともに再成長工程なしにほぼ同一のプロセスで作製し得ることを示して、本ビームエッチング技術がプロセスの単純化に大きく寄与することを明らかにしている。

第8章は結論であり、本研究で得られた結果を纏めて要約している。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は、GaAs系やInP系III-V族半導体を用いた光集積回路の小型化、高性能化、大規模化への展開を図る上で必須となる微細溝構造や反射導波構造の構築に対して、臭素( $\text{Br}_2$ )と窒素( $\text{N}_2$ )の混合ガスを用いたプラズマによる反応性ドライエッチング技術を取り上げ、そのエッチングの基礎過程を明らかにするとともに、このエッチング技術を光デバイス作製に応用してその有効性に関して研究した結果を纏めたもので、得られた成果の主なものは以下の通りである。

1. 化学反応とプラズマ過程が混在するドライエッチング過程をできる限り単純化する方法を考案し、エッチングの基本過程を解析するとともに、エッチング加工形状と、それに係わるエッチング種の関連性をもとにして、デバイスに要求される垂直加工を得るための基本要因を明らかにしている。とくに、この技術により、従来困難であったInP系結晶の垂直・平滑加工に成功している。
2. 導波構造・反射型導波構造とエッチング特性との関係から、加工精度と導波特性、反射特性、光伝搬特性を考察してエッチング条件の最適化を達成し、とくに、反射型導波構造において1反射あたり1dB以下の反射損失を実現している。
3. 導波構造や、微細溝構造形成のためのエッチング基本要因について、反応性ビームエッチングにおける2次電子の効果を取り入れて考察を加え、2次電子補償板を導入することで、2インチ基板において深さ $1\mu\text{m}$ で均一性に優れた微細溝構造を形成することに成功している。
4. 反射鏡と直線導波路から構成される四角形半導体リング共振器周回レーザ、広角度光合分岐回路を用いたレーザダイオード光マトリックススイッチ、溝型表面回折格子を有する分布反射型および分布帰還型半導体レーザ等の作製に本研究で開発したエッチング技術を応用し、デバイス特性を評価してその有効性を実証している。

以上を要するに本論文は、GaAs系やInP系III-V族半導体を用いた微細導波構造や微細溝構造回折格子の作製技術の確立に向けて、臭素と窒素の混合ガスによる反応性ビームエッチング技術の提案および基礎過程の解明を行うとともに、各種の光デバイスの作製に応用して、この技術の簡便性と有効性を示したものであり、得られた成果は学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成12年5月22日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。