

|           |                                         |
|-----------|-----------------------------------------|
| 氏 名       | いま だ まさ ひろ<br>今 田 昌 宏                   |
| 学位(専攻分野)  | 博 士 (工 学)                               |
| 学 位 記 番 号 | 工 博 第 1944 号                            |
| 学位授与の日付   | 平 成 12 年 3 月 23 日                       |
| 学位授与の要件   | 学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当                 |
| 研究科・専攻    | 工 学 研 究 科 電 子 物 性 工 学 専 攻               |
| 学位論文題目    | ウエハ融着法による2次元フォトリック結晶レーザの作製とその動作特性に関する研究 |

論文調査委員 (主 査)  
教 授 藤 田 茂 夫    教 授 松 波 弘 之    教 授 松 重 和 美

### 論 文 内 容 の 要 旨

近年、高度情報化社会の進展に伴い、伝送・記録すべき情報量が飛躍的に増大してきている。この社会の要請に応えるため、光ファイバーによる情報通信あるいはDVD (Digital Versatile Disk) のように、光による情報伝送・記録技術が開発され、現在広く用いられるようになった。これらの光エレクトロニクス分野を支えているのが半導体レーザをはじめとする光デバイスである。しかしながら、将来の情報量の増大に対応するためには光デバイスのさらなる高機能化・高性能化が必要不可欠である。このような背景のもとで光エレクトロニクス分野に革新をもたらすと期待されているのがフォトリック結晶である。固体結晶において原子の周期ポテンシャルによって電子に対してバンド構造が形成されるのと同様に、フォトリック結晶は、内部に周期的な屈折率変化をもたせることによって光のエネルギーに対してフォトリックバンド構造を形成する。このフォトリックバンド構造を用いることによって、フォトリック結晶内部における光の発生・伝搬を抑制・制御することが可能になるため、フォトリック結晶を発光デバイスに応用することで従来にはない高機能発光デバイスの実現が期待される。しかしながら現在、フォトリック結晶と発光層を融合する技術や、フォトリック結晶におけるレーザ発振モードの解析などの研究は全く行われていない。このような背景のなかで本論文は、ウエハ融着法によってフォトリック結晶と発光層を融合し、2次元フォトリック結晶面発光レーザを実現すると同時に、このデバイスの特性を実験的・理論的に解析することによってフォトリック結晶におけるレーザ発振現象を説明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6章から成っている。

第1章は序論であり、本研究の背景としてフォトリック結晶の研究の現状、および、フォトリック結晶で期待される特性について述べるとともに、本研究で目的とするフォトリック結晶面発光レーザに期待される特性や本研究の意義について述べ、本論文の目的と位置付けを明確にしている。

第2章では、フォトリック結晶レーザの理論的検討として2次元フォトリック結晶における光の回折とレーザ作用について述べている。まず2次元フォトリック結晶における光の回折について定性的に検討を加え、2次元的なブラッグ回折が内部で生じることによって全ての方向が結合してコヒーレントなレーザ発振が期待されることを明らかにしている。次に定量的な解析として平面波展開法による理論計算について述べ、2次元フォトリック結晶中に4つの共振モードが存在すること、各バンドが対称な電界分布をもつことを示し、2次元フォトリック結晶共振器における共振モードを明らかにしている。

第3章では、ウエハ融着法によって半導体内部に空気/半導体回折格子を形成する方法と、実際に作製した周期構造の形状や融着界面の電気的特性を評価した結果について述べている。走査型電子顕微鏡あるいは透過型電子顕微鏡で形状を評価した結果、マストランSPORTによって回折格子形状が変化し、このマストランSPORTが融着条件などに依存すること、また界面の電気的特性がマストランSPORTによって改善され、発光層への電流注入が可能であることを述べている。

第4章では、ウエハ融着法によって作製した空気/半導体回折格子が実際の発光デバイスに適用できることを実証するために、1次元空気/半導体回折格子を内蔵した分布帰還型半導体レーザを作製・評価した結果について述べている。まず室

温連続発振を達成することで、本研究で提案した方法が実際の発光デバイスに適用可能であることを示している。さらに空気 / 半導体回折格子と従来の半導体 / 半導体回折格子の比較を行い、空気 / 半導体回折格子が従来の回折格子に比べて3倍の回折効率をもち、フォトニック結晶として用いるのに適していることを明らかにしている。

第5章においては、第3章および第4章の結果を踏まえて、2次元フォトニック結晶と発光層を一体化した新しいデバイスを試作し、発振スペクトル、近視野像、遠視野像などを評価した結果、作製したデバイスが大面積かつ狭出射角なレーザ発振をしていることを明らかにしている。また顕微分光偏光法によって、デバイスが2次元大面積においてコヒーレントにレーザ発振していることを実証している。さらに第2章において得られた各バンドの電界分布と実験によって得られた偏光特性の面内分布を比較することにより、2次元フォトニック結晶レーザの発振モードとフォトニックバンド構造の対応を明らかにしている。

第6章は結論であり、本研究で得られた結果を纏めて要約するとともに、今後の課題と将来展望について論じている。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は、光エレクトロニクス分野に革新をもたらすと期待されているフォトニック結晶をウェハ融着法によって作製し、発光層と融合することによって新しい発光デバイスである2次元フォトニック結晶面発光レーザを実現すること、および、顕微分光偏光特性などによって評価した発振特性を平面波展開法による理論計算結果と比較することによってフォトニック結晶におけるレーザ発振現象を解明することを目的として研究を行った結果を纏めたもので、得られた主な成果は以下の通りである。

1. フォトニック結晶実現に不可欠な屈折率差の大きいサブミクロン周期構造を半導体内部に形成する手法としてウェハ融着法を提案するとともに、実際に良好な特性をもつ空気 / 半導体回折格子の形成技術確立し、さらに融着界面の電気的特性の評価から発光層への電流注入が可能であることを明らかにしている。

2. 空気 / 半導体回折格子のデバイス応用の可能性を実証するため1次元分布帰還型半導体レーザを作製して、室温連続発振を達成することに成功している。さらに、この種の回折格子が、従来の半導体 / 半導体回折格子よりも大きな結合係数をもつことを示すとともに、2次元フォトニック結晶として応用し得ることを明らかにしている。

3. 上記の結果をもとに、2次元フォトニック結晶を内蔵する半導体レーザを初めて作製し、大面積かつ狭出射角・高出力のレーザ発振を実現している。さらに顕微分光偏光測定によって得られたデバイス内部の電界分布を平面波展開法による理論計算結果と比較することにより、レーザが2次元大面積でコヒーレントに動作していることを示すとともに、発振モードのフォトニックバンド構造との対応を明確にしている。

以上を要するに本論文は、2次元フォトニック結晶レーザの実現とその動作特性を明らかにし、光エレクトロニクス分野における新しい発光デバイス実現のための有用な情報を提供したもので、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2月8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。