

## 論文の内容の要旨

論文題目 面方位制御による面発光レーザの偏波制御及び  
第二高調波発生に関する研究

氏名 金子 泰久

半導体レーザは小型で堅牢、低消費電力であることから、光ファイバ通信、光ディスク、レーザプリンター等の幅広い分野に応用されている。現在広く市販されている半導体レーザは基板端面より光を出射する端面発光型レーザに分類される。これに対して基板と垂直な方向に光を出射する面発光レーザが知られており、端面発光型レーザに較べ多くの優れた利点を有している。この面発光レーザは短距離光通信用光源として現在用いられている。しかしながら面発光レーザには解決すべき課題がまだ残されている。その一つは偏波方向が安定しない事であり、もう一つは短波長化が進んでいないことである。

本研究の目的は面発光レーザにおける偏波方向の制御と短波長化のために、傾斜基板上に面発光レーザを作製し、傾斜基板による偏波方向制御、第二高調波発生に基づく短波長化を実現することである。本論文は6つの章から構成されている。

第1章では、研究背景として面発光レーザの特徴及び開発の歴史を述べる。面発光レーザに残されている課題である偏波方向制御と短波長化を解決する方法として、傾斜基板上に面発光レーザを製作することを提案する。偏波方向の制御は傾斜基板上での光学

利得の面内異方性により、また短波長化は III-V 族半導体が非線形光学結晶に属していることから第二高調波発生を用いて実現する。製作に用いた傾斜基板は結晶成長の観点から (311)B, (411)A 面を選び、その基板上に面発光レーザを製作し、偏波方向制御と短波長化を検討する。

第 2 章では傾斜基板における光学利得と第二高調波発生について理論的に検討する。傾斜基板上では光学利得が面内で異方性を持つこと、また最も大きな異方性を持つ面が (011) 面であることを示した。(311)、(411) 面では  $[\bar{2}NN]$  方向に大きな光学利得を持ち、直交する  $[0\bar{1}1]$  方向との光学利得の差はそれぞれ 6%, 5% である。従って偏波方向は  $[\bar{2}NN]$  方向に向くことが予測される。第二高調波発生に重要な定数である非線形光学定数の面方位依存性を検討し、大きな非線形光学定数は (211) 面か (011) 面で得られることが明らかになった。(311) 面と (411) 面の比較では (311) 面の方が 1.4 倍の大きな非線形光学定数を持つことから、第二高調波発生には理論的に (311) 面が適している。

第 3 章では傾斜基板上の面発光レーザの製作について述べる。MBE 法により (311)B, (411)A 面上に量子井戸構造、端面発光型レーザ、面発光レーザを成長した。量子井戸構造の発光特性、端面発光型レーザのレーザ特性の (100) 面上との比較から、どちらの面においても (100) 面と遜色ない性能を有することが確認された。面発光レーザを二つの方法、イオン注入法、選択酸化法で作製し、どちらの方法においても室温連続動作でのレーザ発振を確認した。イオン注入法による (311)B, (411)A 上の面発光レーザの閾値電流は光出射領域が  $15\mu\text{m}\phi$  においてそれぞれ 4.5mA, 2.8mA である。選択酸化法による (411)A 上の面発光レーザの閾値電流は光出射領域の大きさが  $4\times 4\mu\text{m}^2$  の場合 0.5mA である。これらの値は (100) 面上の面発光レーザと遜色ない性能を示している。(311)B、(411)A 基板上の面発光レーザの電流注入によるレーザ発振は本研究が初めてである。

第 4 章では傾斜基板による偏波制御を試みた。(311)B、(411)A 上にイオン注入を用いて製作した面発光レーザの偏波特性より、光学利得の面内異方性から予測される方向と同じ方向、すなわち (311)B、(411)A でそれぞれ  $[\bar{2}33]$ ,  $[\bar{1}22]$  方向に向いていることを確認した。光学利得の面内異方性による偏波制御方法の有用性を確認するために別の偏波制御方法を導入することを検討した。メサ形状による偏波制御法を (411)A 面上の面発光レーザに導入し、そのときの偏波特性を調べた。偏波方向はメサ方向に関係なく  $[\bar{1}22]$  方向に向いていることから、傾斜基板による偏波制御が安定であることが確認された。傾斜基板によ

る光学利得の面内異方性で偏波方向が制御できる事を実験的に検証したのは本研究が初めてである。

第 5 章では面発光レーザからの第二高調波発生を試みた。(311)B, (411)A 面上に製作した面発光レーザにおいてどちらも室温連続動作で 0.6nW、(411)A 面上パルス動作下で 35nW の SH 光出力が得られた。基本波光出力に対する SH 光出力が 2 乗に比例していることから、観測された SH 光が第二高調波発生に基づくものである事が確認された。(311)B, (411)A 上の面発光レーザにおける SHG 変換効率はそれぞれ 38%/W, 30%/W であり、理論と一致して (311)面が高い効率を有していることを確認した。実用化に向けて SH 光の高出力化を考察した。非線形光学結晶材料として GaP あるいは ZnSe、層構造として疑似位相整合層、デバイス構造としてドーピング濃度の低減を行うことにより、実用レベルの 1 mW を得ることが可能であることを示した。面発光レーザからの第二高調波発生を実験的に確認したのは本研究が初めてである。

第 6 章では、本研究で得られた結果を総括する。傾斜基板上においても従来の(100)上の面発光レーザと遜色ない性能が得られ、基板面方位の制御によって偏波制御および第二高調波発生による短波長化に有用であることが示された。