

学位論文題名

軸方向ホールバーニングを考慮したDFBレーザの
動的解析と位相シフトの最適化に関する研究

学位論文内容の要旨

DFBレーザは、高速大容量光通信の単色光源として実用化されている。したがって、その高速応答特性(動特性)を解析することは応用上極めて重要である。なお、DFBレーザは光ファイバの低分散低損失波長域である $1.3\mu\text{m}$ 、 $1.55\mu\text{m}$ 帯で発振できるInGaAsP/InP系の半導体レーザとして実現されている。

本研究は、Gbitを超える高速光通信に必要なDFBレーザの動特性を解析する方法を中心に論じたものである。特に、著者らの提案した方法にもとづき、動特性に大きな影響を与える共振器軸方向の空間ホールバーニングを考慮して議論している。

空間ホールバーニングは、共振器軸方向における光子密度の不均一により起こる。光子密度の不均一がキャリア密度の不均一を、それがさらに実効屈折率の不均一を生じる。実効屈折率の局所的な変化は等価的な位相シフトであり、発振の位相条件が変化する。この現象が発振後の非線形な振る舞いの大きな原因となる。つまり、高速応答に大きな影響を与える。

本論文では、最初にDFBレーザの解析と実用化の歴史的背景を述べ、その中で本研究の位置づけを行っている。本研究で得られた成果は主として次の5点にまとめられる。

1. 先ず、通信用レーザとして用いられているInGaAsP/InP系材料のDFBレーザの製作方法について述べている。DFBレーザの特性を決定づける重要な回折格子(コルゲーション)の形状が高温の結晶成長工程中に容易に平坦化する。つまり、微細コルゲーション(1次の回折格子の周期として約 200nm - 240nm)を刻み込んだInP基板は、コルゲーションの山のPの蒸気圧が高く谷のそれが低いため、熱力学的に平坦化の方向へ進む。これにAs圧を加えると表面に保護膜が形成され平坦化を抑える。実際には、GaAs基板を対向して近付けるだけの簡単な方法でAs圧を加えることができる。これにより、DFBレーザが安定に製作可能となった。本論文では、特にこの平坦化防止技術について述べている。
2. 次に、結合波動方程式に基本を置いてDFBレーザの発振特性を理論解析している。前述したように、軸方向空間ホールバーニングは光子密度とキャリア密度の軸方向の不均一性が原因で発生する。そのため、軸方向を微小領域に分割した構造を仮定して近似解析を行っている。つまり、微小領域を縦続接続してF-matrixによって解析している。発振後の特性はバイアス点毎にF-matrix解析を自己無撞着に収束させて解析している。
3. また、半導体レーザの動特性をレート方程式を用いて解析している。本研究では、軸方向の不均一を考慮したレート方程式を導出している。このレート方程式はキャリア密度の不均一関数の振幅をパラメータとして新たに加えている。したがって、光子密度、キャリア密度、キャリア密度の振幅の3変数に関する3本の方程式となる。空間ホールバ

- ーニングを考慮したF-matrixの自己無撞着解析とこのレート方程式は、キャリア密度の振幅でリンクしている。このリンクにより、自己無撞着解析の結果を用いてレート方程式で動特性解析ができる。なお、汎用の解析方法では、F-matrixとレート方程式をすべて含んで自己無撞着解析を行う。本研究の方法は汎用解析と比べて大幅に解析を簡素化できる。本論文では、この方法とその計算結果と有効性を議論している。
4. さらに、実効型位相シフト構造をもつInGaAsP/InP系DFBレーザの試作結果を示している。回折格子の中央の位相を $1/4$ 波長分だけずらした位相シフト型構造をもち、両方のレーザ端面の反射を抑さえた、いわゆる $\lambda/4$ 位相シフト型DFBレーザは、単一縦モードで発振しやすく、有望なDFBレーザ構造である。しかし、シフトの一点に光が集中し空間ホールバーニングが起こりやすい。導波路の幅を徐々に変化させ、ある領域長をもって等価的に位相シフトを構成する実効型位相シフト構造は、光の集中が緩和されて空間ホールバーニングを小さくできる。この構造の素子を試作して空間ホールバーニングの抑圧効果を確認している。
 5. また、2次の回折格子を用いたDFBレーザは、放射モード光が基板に垂直に出射する。放射モードに対する位相シフトの影響を論じ、適切なシフトにより軸方向の放射モード光の分布を制御できることを明らかにしている。これにより新しい面発光レーザの可能性を提示している。

以上のように、この論文はDFBレーザの製作・設計法および共振器軸方向の空間ホールバーニングを考慮した動特性の解析について論じ、種々の特性を明らかにしたものである。

以 上

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 三 島 瑛 人
副 査 教 授 小 川 吉 彦
副 査 教 授 小 柴 正 則
副 査 教 授 末 宗 幾 夫

学位論文題名

軸方向ホールバーニングを考慮したDFBレーザの動的解析と位相シフトの最適化に関する研究

高速大容量光通信の単色光源として実用化されているDFBレーザの軸方向空間ホールバーニングは、共振器軸方向における光子密度の不均一がキャリア密度の不均一を生ずることによって起こる。これにより実効屈折率が不均一になり、発振の位相条件が変化する。このため発振周波数等が変動し好ましくない。また、このホールバーニングの程度は位相シフトの実現法に依存する。したがって動特性を軸方向空間ホールバーニングを考慮して解析することおよび位相シフトの実現法を最適化することは実用上極めて重要である。

本研究は、共振器軸方向の空間ホールバーニングを考慮したDFBレーザの動特性の解析と位相シフトの最適化に関して述べたものである。

本研究で得られた成果は主として次の4点にまとめられる。

- ①DFBレーザの特性を決定づける回折格子は高温の結晶成長工程中に平坦化しやすいが、微小回折格子を刻み込んだInP基板にAs圧を加えると平坦化を抑えることが可能であることを見いだしている。
- ②本研究では、軸方向の微小領域に分割する代わりに、キャリア密度の軸方向不均一関数の振幅をパラメータとして含んだレート方程式を用いて動特性を解析する方法を考案している。軸方向に分割した微小領域にF-matrixとレート方程式とを適用して自己無撞着解析を行う汎用の解析方法と比較して、解析を大幅に簡素化することに成功している。また、解析を実行し、高速大容量光通信光源として重要なモード安定性、大信号パルス応答、2次歪特性などの特性を明らかにしている。
- ③ $\lambda/4$ 位相シフト型DFBレーザは、単一縦モードで発振しやすいが、位相シフトの一点に光が集中し空間ホールバーニングが起こりやすい。よって、導波路の幅を徐々に変化させ、ある領域長をもって等価的に位相シフトを実現する実効位相シフト構造の素子を試作して、空間ホールバーニングの抑圧効果を確認している。
- ④2次の回折格子を用いたDFBレーザは、放射モード光が基板に垂直に出射する。適切な位相シフトによりこの光の分布を制御できることを明らかにし、新しい面発光レーザの可能性を示している。

以上のように、本論文は共振器軸方向の空間ホールバーニングを考慮したDFBレーザの動特性の解析と位相シフトの最適化について論じ、種々の有用な知見を得たものであり、電子情報通信工学の進歩に寄与するところ大である。

よって、著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。