

## 審査の結果の要旨

論文提出者 井上 大介

本論文は、バイメタルを利用したヒートシンク構造によって半導体レーザに応力を印加しレーザの温度依存性を低減する新しい技術に関して、理論と実験の両面から論じたものであり、6章より構成されている。

第1章は序論であって、研究の背景、動機、目的と、論文の構成が述べられている。半導体レーザは温度によって閾値電流や発振波長が大きく変化することが欠点であり、InGaAsP系長波長半導体レーザは材料の性質上、とりわけ温度特性が悪い。実用化している製品は熱電素子を用いて温度を一定に保ち特性変化を防いでいるが、この熱電素子の消費電力は半導体レーザ自体の消費電力の数十倍にのぼる。本研究の目的は、半導体レーザの温度特性を応力印加によって改善する新たなヒートシンクを開発することである。

第2章は「半導体レーザの温度特性改善ヒートシンクの理論」と題し、研究の基本となる外部応力が半導体レーザ特性に与える影響について理論的考察を加えている。歪みの効果およびInGaAsP系材料のバンドギャップ温度依存性を組み入れたLuttinger-Kohnハミルトニアンで、活性層量子井戸のバンド構造およびエネルギー準位を計算した。次に、光学遷移確率をフェルミの黄金率を使って計算し、これと擬フェルミ準位から利得と屈折率を計算している。ファブリーペローレーザの場合は利得ピーク波長の温度変化から発振波長変化を予測し、分布帰還型(DBF)レーザの場合は屈折率変化から発振波長変化を見積もっている。その結果、2軸歪みの場合、温度上昇とともにレーザチップに86ppm/Kの歪みを与えれば発振波長の温度変化を打ち消すことができ、286ppm/Kの歪みを与えれば発振閾値電流の温度変化を打ち消せることが予測された。一方1軸歪みの場合は、100ppm/Kの歪みを与えれば発振波長が補償できるが、発振閾値電流を補償するには222ppm/Kの逆歪みを与えなければならないことが、計算により明らかにされた。

第3章は「サンプルの作製」と題し、本研究で用いる1.55  $\mu\text{m}$ 帯InGaAsP/InP圧縮歪み量子井戸半導体レーザチップの作製方法と、サブマウントの選択、ヒートシンクへの半田接合技術について論じている。レーザ活性層は5層のInGaAsP量子井戸から成り、井戸層は幅10nmの0.8%圧縮歪みInGaAsP四元混晶、障壁層は格子整合したバンドギャップ波長1.25  $\mu\text{m}$ のInGaAsP四元混晶を用いている。結晶成長は、有機V族原料による有機金属気相エピタキシー(MOVPE)で行われた。レーザストライプは幅2  $\mu\text{m}$ 、高さ1  $\mu\text{m}$ のリッジ導波路を採用している。チップは9つのレーザが並んだ幅4.5mm、共振器長500  $\mu\text{m}$ のバー状態に劈開された。サブマウントとして、種々の観点からシリコンを選択し、金錫半田による接合法を確立した。半田厚さは6~8  $\mu\text{m}$ が最適であり、下地には厚さ各100nmのAu/Ni/Tiを用いるのがよいことを見出した。

第4章は「半導体レーザの温度特性を改善するヒートシンクの実現」と題する本論文の中核をなす章で、2章の理論検討に従って設計された温度補償ヒートシンク上に、3章のレーザチップを実装して、実際の温度補償効果を測定評価したことについて論じている。

亜鉛とインバーの熱膨張係数差を利用した単一軸熱応力温度補償ヒートシンクを考案，試作し，その上にサブマウントおよびレーザチップを種々の技術を組み合わせて実装した．その結果，単にシリコンサブマウントに実装しただけの場合，20℃から60℃の温度変化で発振波長が26.0nm増加したのに対し，温度補償ヒートシンクを使った場合は11.8nmの増加に留まることが確認された．ただし上記の連続動作においては，自己発熱による発振波長の長波長化と閾値電流の上昇による発振波長の短波長化が同時に起こっている．熱歪みによる温度補償効果のみを観測するために，パルス電流駆動で同様の測定を行った結果，サブマウントだけの場合20.9nmの発振波長シフトが温度補償ヒートシンクによって14.5nmのシフトに抑制されていることが観測された．一方閾値電流の特性温度に関しては，サブマウントだけの場合44.9Kであったものが温度補償ヒートシンクを使用した場合には80.5Kに向上した．自己発熱の影響を除くためパルス電流駆動で計測した際にも，60.8Kから99.8Kへの特性温度向上が見られた．また，この温度範囲ではレーザの破損は観測されていない．

第5章は「研究結果を改善するための提案」と題し，実装方法の改善指針，別形態の温度補償ヒートシンク構造の提案，半導体レーザチップ自体の温度特性改善の指針が論じられている．

第6章は結論であって，本研究で得られた成果を総括している．

以上のように本論文は，ヒートシンクの熱歪みによって半導体レーザの発振波長および閾値電流の温度依存性を低減することを目的に研究を行い，新たに亜鉛とインバーの熱膨張係数差を利用した単一軸熱応力温度補償ヒートシンクを考案，試作して，20℃から60℃の温度範囲内において発振波長の温度変化を連続動作で55%，パルス動作では31%抑圧し，発振閾値電流の特性温度を連続動作で80%，パルス動作では64%向上させることに成功したもので，電子工学分野へ貢献するところ少なくない．

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる．