

審査の結果の要旨

論文提出者 若山 雄貴

量子カスケードレーザとは半導体多重量子井戸構造中に形成されるサブバンド間での光学遷移を利用した半導体レーザである。現在までの量子カスケードレーザの著しい発展は、バンド内での効率的な電子の流れを追求する「バンド構造エンジニアリング」の発展によって支えられたといえる。それに対し、単一モードレーザや波長可変レーザ、変調器などの光機能デバイスへの展開を図るには、サブバンド間遷移に起因する発光を制御する光共振器構造も合わせて研究することが望まれる。本論文は「Fabrication and Characterization of GaAs-based Mid-Infrared Quantum Cascade Lasers with Coupled Microcavity Structures (結合微小共振器構造を有するGaAs系中赤外量子カスケードレーザの作製と評価)」と題し、光結合共振器構造を利用した中赤外量子カスケードレーザの機能化について論じており、全8章から構成され英文で書かれている。

第1章は「Introduction」と題し、量子井戸におけるサブバンド間遷移に関する基礎研究、及びサブバンド間遷移レーザへの応用に関する研究の歴史が論じられた後、本研究の目的が述べられている。

第2章は「Basics of Intersubband Transition, Quantum Cascade Lasers, and Coupled Cavities」と題し、サブバンド間光学遷移に関する数式的取り扱い、量子カスケードレーザに関する基礎、及び結合共振器構造を有する半導体レーザの特徴が述べられている。

第3章は「Numerical Analysis on Gain/Absorption and Current-Output Power Characteristics of Quantum Cascade Lasers」と題し、量子カスケード構造中でのサブバンド間吸収を利用した新規光機能デバイスの実現を目的として、量子カスケード構造中でのサブバンド間遷移に起因する吸収係数の印加電圧依存性の計算を行い、吸収係数はバイアス電圧に強く依存し、また逆バイアス状態では大きな吸収が存在することを示している。

第4章は「Fabrication and Characterization of Quantum Cascade Lasers with Single Ridge-Waveguide Cavity」と題し、GaAs系中赤外量子カスケードレーザの作製手法、及び試作と評価結果を示している。試作したデバイスは、パルスモードによる電流注入により、波長 11.5 μm 、最高動作温度 310K でレーザ発振を確認することができた。

第5章は「Intracavity Amplitude Modulation in Coupled Ridge-Waveguide Cavity Quantum Cascade Lasers」と題し、長さが異なる2つのリッジ導波路共振器からなる結合共振器量子カスケードレーザにおける、共振器内光強度変調の実証について述べている。長い導波路部に電流を注入し、レーザ発振状態を保ちながら、他方の短い導波路部分に逆バイアス電圧を印加したときに、光強度変調動作の実現を確認した。共振器内変調にもかかわらず、Qスイッチングによる短パルス発生を伴わずに光強

度変調動作を実現した意義は大きく、これは量子カスケードレーザにおける非発光遷移過程が支配的であることを示している。

第6章は「Wide-range Mode Switching in Ridge-Waveguide Cavity Quantum Cascade Lasers Coupled with Micro-Cylindrical Cavity」と題し、リッジ型導波路とマイクロシリンダー型微小共振器構造からなる結合共振器量子カスケードレーザにおける、発振波長の制御について述べている。集積化した微小共振器の大きな自由スペクトル領域(FSR)を活用し、広い範囲での波長のスイッチングを目的として、レーザ発振状態を保ちながら、微小共振器に正バイアスを印加したとき、120nm離れた2つのモード間で、発振波長をスイッチングすることに成功した。

第7章は「Design of Photonic Crystal Defect-Mode Microcavity for Application to Quantum Cascade Lasers」と題し、量子カスケードレーザに適した極微小共振器構造の設計として、2次元フォトニック結晶構造の活用を検討し、半径変調型円孔正方格子配列フォトニック結晶構造を用い伝搬モードとの結合強度を弱めることにより、レーザ発振に必要な2200という高い Q 値を得ることが可能であることを示した。

第8章は「Conclusions and Future Outlook」と題し、各章の主要な成果をまとめて総括し、本論文の結論、及び将来展望について述べている。

以上、これを要するに、本論文は、量子カスケードレーザの機能化について論じ、結合共振器構造レーザにおける光強度変調動作、ならびに広帯域波長スイッチング動作を実現するとともに、共振器の小型・高性能化に向けてフォトニック結晶による高 Q 値微小共振器構造の設計について論じたものであり、電子工学に貢献するところが少なくない。

よって、本論文は、博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。