

審査の結果の要旨

論文提出者 館 林 潤

Stranski-Krastanow 成長モードにより自己形成される量子ドットは、大きな歪効果等を利用してバンドギャップを制御することが可能であるため、光通信用波長 1.3 或いは 1.55 μm 帯における GaAs 基板上のレーザ応用として注目を集めている。これまでも 1.3 μm 帯での室温連続発振の報告があるが、その殆どは分子線エピタキシー法 (MBE) により成長したものである。一方、量産性や、成長・選択成長を用いた光集積デバイスへの応用等を考えると、有機金属気相成長法 (MOCVD) でレーザを実現することが重要である。本論文は、『Fabrication and optical properties of self-assembled InAs quantum dots for application to long-wavelength laser diodes (長波長半導体レーザへの応用に向けた InAs 自己形成量子ドットの形成と光学評価)』と題して、長波長帯半導体レーザの実現をめざして MOCVD 法による量子ドットの形成を行うとともに、その光学評価および量子ドットレーザの作製を行った結果を中心にまとめたものであり、8 章から成り英文で書かれている。

第 1 章は序論であり、研究動向をまとめるとともに、本論文の構成を論じている。

第 2 章は、長波長帯 InAs 量子ドットの結晶成長およびその光学評価について論じている。量子ドットの形成においては、室温における量子効率の向上、ドットの寸法のばらつきの抑制、長波長化が重要な課題である。自己形成量子ドットの成長条件依存性を詳細に調べ、その最適化を行った結果、成長条件の最適化により室温で発光波長 1.35 μm においてスペクトル半値幅 19meV の量子ドットを得ることに成功した。

第 3 章では、InAs 量子ドットを InGaAs 層に埋め込んだ構造を用いることにより、InAs 量子ドットの発光波長のさらなる長波化の実現について論じている。特に、InGaAs 層の In 組成を変えることにより、量子ドットの基底準位の波長を 1.3 から 1.52 μm まで制御することが可能であることを明らかにした。また、微小蛍光分光による評価を行った結果、基底準位および高次のサブバンドからの急峻な発光ピークが観測された。これは、今回の長波長発光量子ドットにおいても、3次元閉じこめ効果が発現されていることを示している。

第 4 章では、量子ドットの面密度を等価的に上げるために必要な積層化 InAs 量子ドットの作製について論じている。特に、埋め込み層成長後の表面モフォロジーや発光波

長、強度の成長条件依存性について詳細に明らかにした。その結果、埋め込み層の長を徐々に温度を上げながら行うことにより、量子ドットの光学特性が変化することなく埋込後の表面モフォロジーを改善させることに成功した。

第5章では、InAs 量子ドットの形成領域制御選択成長法を提案し、これを用いて量子ドットを同一基板上で選択的に形成させる技術について論じている。微小蛍光分光により、発光特性分布を測定した結果、量子ドットが形成させる領域では、長波長側で発光が確認された一方、量子ドットの形成していない領域では、短波長側で濡れ層からの発光が確認された。これは、量子ドットが選択的に形成されたことを示している。

第6章では、長波長帯 InAs 量子ドットレーザの作製及びデバイス特性の評価を行った結果について論じている。InGaAs 層に埋め込まれた InAs 量子ドットを3層積層化し活性層に組み込み、リッジ型構造を作製しその特性を評価した結果、80°C以上までの室温連続発振を実現した。特に室温において閾値電流 6.7mA が実現されたが、これはMOCVD法で作製した量子ドットレーザとしては最も低い値である。

第7章では、量子ドットを活性層に持ち点欠陥を有するフォトニック結晶の作製と光学評価について論じている。点欠陥を有する2次元フォトニック結晶スラブ構造を作製しその光学特性を測定した結果、3つの急峻なピークが観測された。解析結果との比較の結果、点欠陥に起因する欠陥モードに対応していることが明らかになった。

以上これを要するに、本論文は、量子ドットレーザの光通信応用に向けて、MOCVD法による InAs 自己形成量子ドットの結晶成長について、長波長化、不均一広がり抑制のための条件を明らかにし、低閾値電流を有する量子ドットレーザの作製するとともに、形成領域制御選択成長法など新しい量子ドット形成手法を開発したものであり、電子工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。