

審査の結果の要旨

氏名 高田 彩未

本論文は、「光通信デバイスに向けた多重積層 InAs 量子ドットの作製と評価」と題し、光通信デバイスの高性能化が期待される量子ドットの高密度化・高品質化に向けて、分子線エピタキシー(MBE)法による自己組織化 InAs 量子ドットの成長メカニズムの解明と制御技術及び光通信デバイス応用について述べたものであり、全7章からなる。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的を解説している。量子ドットの光デバイスへの応用に向けて高密度化の必要性を論じるとともに、材料の格子定数差を利用して作製する自己組織化量子ドットの多重積層化の課題について、従来法を参照しつつまとめている。本研究は、量子ドットの埋め込み層として基板よりも格子定数の小さい材料を用いることにより、量子ドット系全体の平均歪みを制御する、歪み補償法を確立し、量子ドットの多重積層化による高密度化を実現することを目的としている。本論文では2つの材料系について取り扱っている。一つは1.3 μm 帯発光を目指した GaAs(001)基板上 InAs/GaNAs 量子ドット、次は1.55 μm 帯発光の InP(311)B 基板上 InAs/InGaAlAs 量子ドットである。

第2章では、本研究で用いた分子線エピタキシー装置等の実験装置と評価法を述べている。

第3章は、GaAs(001)基板上 InAs/GaNAs 量子ドットの多重積層成長の結果を述べている。GaNAs は少量の窒素原子の添加により GaAs よりも小さい任意の格子定数に制御が可能である。またバンドオフセットの観点からも GaAs より小さいバンドギャップを有する GaNAs を障壁層として用いることで発光の長波長化も期待できることなど利点が多い。本研究では40 nm 厚の $\text{GaN}_{0.005}\text{As}_{0.995}$ 中間層を用いて GaAs 基板上では初めてとなる50層以上にわたる高均一な多重積層量子ドットの作製を達成した。

第4章では、多重積層 InAs/GaNAs 量子ドットの高品質化に向けて、異なる As 分子線種が InAs 量子ドットおよび GaNAs 中間層の結晶成長過程へ及ぼす効果を調べている。As₂を用いて作製した InAs 量子ドットの場合、形成初期から高密度かつ高均一な形状を維持したままドットのサイズが大きくなりサイズ飽和に達するのに対し、As₄試料では、ドット形成の初期には低密度でサイズ均一性の低い量子ドットが形成され、その後、密度および均一性が向上し、サイズ飽和に達する自己組織化成長過程を明らかにした。

第5章は、前章で行った自己組織化成長の最適条件の下で、GaAs 基板上に InAs/GaNAs 多重積層量子ドットを実現し、光学利得の評価を行った。その結果、積層数を増大させるとともに光学利得は線形的に増大し、50層積層試料では34.2 cm^{-1} と比較的高い光学利得係数を得た。

第6章では、1.55 μm 波長帯高密度量子ドットの導波路構造評価について述べている。InP(311)B基板上に堆積量4 MLのInAs量子ドットと20 nm厚のAlGaInAs歪み補償層の組み合わせにより5, 10, 15, 20層積層試料を作製し、レーザ構造を作製した。L-I特性評価から内部損失と内部微分量子効率を算出したところ、積層数の増大とともにそれぞれ増大し、20層積層試料で26.1 cm^{-1} , 28.5%が得られた。内部微分効率の増大は量子ドット密度増加による利得増大の結果として捉えている。一方、閉じ込め構造による電場の浸み出し、および量子ドットによる屈折率の揺らぎが内部損失の増大につながっていると分析し、閉じ込め構造の最適化の重要性を指摘している。

第7章は結論であって、本研究で得られた成果を総括するとともに、将来展望について述べている。

以上、本論文は、歪み補償成長法によるInAs系量子ドットの多重積層化技術の確立と高性能光通信デバイス応用の可能性を示したオリジナリティーの高い研究である。本論文の特筆すべき研究成果として、GaAs(001)基板上に、GaInAs歪み補償中間層を用いて50層以上にわたって高均一のInAs自己組織化量子ドットを世界で初めて達成したこと、導波路型光デバイスの光学利得係数の増大に向けて自己組織化量子ドットの多重積層構造が有効であることを示したこと、などが挙げられる。本論文の研究成果は、今後の高密度量子ドットエピタキシー技術、また光エレクトロニクスデバイス応用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。