

審査の結果の要旨

氏名 西 研一

エレクトロニクス技術の進展に伴ってより優れた特性の半導体レーザへの要求が高まっている。このため様々な試みがなされてきたが、レーザの発光部分に電子や正孔を完全に閉じ込める機能を持つ量子ドットを活用し、格段に優れたレーザ特性の実現を目指す研究も活発化している。本論文は、10ナノメートル(nm)級の量子ドット構造を対象に、その自己形成法の改良を行うとともに、ドット内の電子状態や光物性を解明し制御するための研究、さらにドットを用いたレーザを試作し、その特性を評価する研究を記したものであり、6章よりなる。

第1章は序論であり、本研究の背景、従来の研究、本研究の目的や意義について述べている。

第2章は、「格子不整合系半導体の電子状態の解析」と題し、自己形成量子ドットの物性を考慮する際に重要な歪の効果を調べている。まず、(100)面上の積層半導体における歪の成分とバンド端や有効質量の変化について考察し、続いて高指数面上の歪みの解析を進展させ、対称性の高い立体構造における歪みを解析している。特に、円柱型の細線構造と球状のドット構造における歪やバンド構造および有効質量の変化を解析し、立体量子構造では、歪の効果が特に大きくなることを示している。さらに、面内の弾性異方性を考慮した有限要素法により、歪み細線での歪分布とバンド構造の変化について明らかにしている。ドットの形状が等方的であっても、バンド構造が面内で局所的に変化し、電子とホールが異なる位置に局在することを示している。

第3章は、「歪み量子ドットの自己形成と構造評価」と題し、歪み量子ドットの自己形成と構造評価について述べている。固体原料を用いた通常分子線エピタキシー(MBE)に加えて、V属原料に気体を用いたガスソースMBE法を活用し、GaAs上における(Ga)InAsドットの結晶成長と形状や構造について述べている。特に、成長面方位を変化させた影響を調べ、(311)B面を用いた場合には、量子ドットの形状が均一化するとともに自己整列化することを見出し、ドットの成長中のその場評価と成長後の表面観察から、成長機構を推定している。その結果、ドットの自己整列性は、2次元的な歪み層が成長した後に生じることを明らかにした。また、光通信の赤外光領域における発光・受光素子への応用が期待されるInP上の量子ドットを対象に、その形成法と構造評価について述べている。特にInP基板を用いた成長では、(100)面上ではInAs量子ドットを実現できないが、面方位を(311)BにするとInAs(P)量子ドットが形成できることを示している。

第4章では、「自己形成量子ドットの光学物性の評価」と題し、第3章で作製した量子ドットについて、その光学特性を評価するとともに、発光波長の制御を目的に歪緩和層を用いた量子ドット構造の研究を述べている。GaAs上のIn(Ga)As量子ドットについて、その室温と低温での蛍光スペクトル特性と、(311)B面上に形成されたドットの蛍光線の半値幅の低減効果について、ドッ

ト形状の均一性の改善との関係の観点から述べている。また、InP 上の InAs(P)量子ドットについて、長波長帯の発光特性を調べるとともに、GaAs 上の InAs 量子ドットも、歪緩和層で覆うことによって発光波長を長波長化できることなどを指摘している。さらに、3次元量子閉じこめの効果による蛍光線の半値幅の温度依存性の低減、高次準位の関与した発光などについても明らかにしている。

第5章では、「自己形成量子ドットによる長波発光半導体レーザー」と題し、量子ドットの半導体レーザーへの応用の研究について述べている。GaAs 基盤上の(Ga)InAs 量子ドットを用いたレーザーと、InP 基盤上の長波長帯で発光する InAs 量子ドットを活性層に用いた長波発光レーザーの試作とその特性について述べている。活性層には、利得の増大を目的として積層した量子ドット構造を使用した。レーザー特性としては、電流注入時のスペクトルや、77K、および室温における発振閾値電流密度と発振波長の共振器長依存性を調べるとともに、発振波長の温度依存性が低減する効果について明らかにしている。

第6章は結言であって、本論文の研究で得られた主要な結論をまとめている。

以上述べたように、本研究では次世代エレクトロニクス材料として期待される量子ドット構造を対象として、自己形成法を検討・改良することで、ドットの形状均一化や整列化を促進する方策を示すとともに、得られたドットにおける歪みの効果・電子状態・光学特性などを解明し、その制御可能性を示している。さらにドットを発光層に用いたレーザーを試作し、光通信で重要となる波長 $1.5\mu\text{m}$ 領域での動作を実現するとともに、その利点や特色を明らかにしており、電子工学において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合格と認められる。