

氏 名	宇 野 和 行
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	工 博 第 1583 号
学位授与の日付	平 成 9 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 電 気 工 学 専 攻
学位論文題目	Localization Phenomena and Optical Properties in AlGaAs Disordered superlattices (AlGaAs 系不規則超格子の局在現象と光学物性)
論文調査委員	(主 査) 教 授 藤 田 茂 夫 教 授 松 波 弘 之 教 授 松 重 和 美

論 文 内 容 の 要 旨

半導体の発光素子用材料においては、発光効率の増大は常に要求される課題である。本論文は、半導体発光材料の発光効率を増大させる一手法としての不規則超格子に対して、AlGaAs系材料を対象とした不規則超格子の基礎的な研究を行い、波動関数の局在がもたらすその特異な光学物性を、理論計算との比較を含む系統的な実験を通して検討した結果をまとめたもので、6章より構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的、および本論文の概要がまとめられている。すなわち、半導体発光素子材料の発光効率の必要性、本研究以前に行われた不規則超格子に関する初期的な研究のまとめと問題点、さらに不規則超格子の概念について述べている。

第2章では、本研究を遂行するに当たり実施された、試料の作製方法と評価方法についてまとめている。独自の工夫を加えた分子線エピタキシ法での試料作製方法、作製試料の構造評価法、光学測定法について述べている。

第3章では、不規則超格子のエネルギー準位と波動関数の局在を理論計算により取り扱う方法として、転送行列による計算方法について述べている。すなわち、転送行列の式と材料パラメータから、エネルギー準位と波動関数の計算方法や計算における問題点について述べたあと、不規則超格子中では多数のエネルギー準位が離散して存在し、各準位の波動関数が局在している計算結果を示している。なお、理論結果と計算結果との比較は第5章で行っている。

第4章では、AlGaAs系不規則超格子における発光過程を明らかにするための初期的研究として、平均AlAs層厚を変化させたAlAs/GaAs不規則超格子のフォトルミネセンス特性について述べている。ここでは、不規則超格子の平均AlAs層厚が大きくなることで平均Al組成が増大するにもかかわらず、不規則超格子の発光波長が長波長化していることから、不規則超格子の発光がtype-II型の発光であることを示唆する結果を得ている。

第5章では、AlGaAs系不規則超格子に系統的な構造変化を加え、その光学特性をフォトルミネセンス

法、励起フォトルミネセンス法、エレクトロリフレクタンス法によって評価した結果についてまとめ、理論計算との比較を行っている。系統的な構造変化としては、(1) AlAs / AlGaAs および AlGaAs / GaAs とすることで、異種接合のバンド不連続量をさまざまに変化させた不規則超格子、(2) 不規則な層厚を決定する乱数の良さをさまざまに変化させた AlAs / GaAs 不規則超格子、(3) 不規則な層厚の出現確率をさまざまに変化させた AlAs / GaAs 不規則超格子の 3 群を作製し、その光学特性を評価、検討している。これにより、不規則とした効果も大きく現れる条件を得ると同時に、不規則としたことの影響を系統的な構造変化と測定される物理量を通じて明確に評価している。具体的には、フォトルミネセンス発光エネルギーと、理論計算から予測されるエネルギー準位について良い一致が見られたこと、各準位の波動関数の局在の強さが異なることを理論計算によって示し、それにより不規則超格子のフォトルミネセンス波形の温度変化が説明できることを明らかにしている。また、発光が type-II 型で行われていることを、励起フォトルミネセンス法と理論計算との比較によって明らかにしている。さらに、フォトルミネセンス温度消光特性を評価するにあたって、新たに特性温度という物理量を導入し定量的に評価している。これを通じて、AlGaAs 系の材料で特有な Γ -X 交差と不規則超格子の光学特性の関連も明らかにしている。また、不規則として効果を明確にするため、AlAs 層と GaAs 層のもつ役割も明確にするための実験的検討も行い、AlGaAs 系という材料からくる物件と、層厚を不規則としたことの影響の比較検討も行っている。この章の最後の部分では、エレクトロリフレクタンス法によって、不規則超格子中の多準位の存在とキャリアの空間的局在を初めて直接に観察している。

第 6 章は総括の章であり、各章で得られた結論をまとめた上で、不規則超格子の研究についての今後の課題について述べている。

論文審査の結果の要旨

半導体発光素子材料においては、発光効率の増大は常に要求される課題である。超格子構造はそれに適する構造として、これまで多くの理論的・実験的研究が行われてきた。一方、通常の規則超格子と異なり、層厚に人為的な不規則性を導入した不規則超格子は、規則超格子より大きな発光効率を示すなど、不規則性に由来する波動関数の局在化に基づく特異な光学物性を示し、半導体発光材料として応用上興味ある材料である。しかしながら、これまで不規則超格子における不規則性と光学憶性に関する系統的な研究は行われておらず、その物性の詳細な解明が望まれていた。本論文は、半導体発光素子用材料の高効率化のための一手法である不規則超格子の光学物性を、AlGaAs 系を対象材料として実験と理論の両面から検討した結果をまとめたものであり、得られた成果の主なものは以下の通りである。

1. AlAs-GaAs 不規則超格子において、AlAs 層厚を変化させた超格子のルミネッセンス測定結果から、この種の不規則超格子が type-II 型の超格子としての振舞いを示すことを明らかにしている。
2. 不規則超格子に対し転送行列を用いて、量子準位と波動関数に対する理論的検討を加え、不規則超格子が多準位に分裂していること、および各準位の波動関数が局在していることを明らかにしている。
3. 不規則超格子における波動関数の局在と光物性との関係を明らかにするために、不規則性の異なる 3 種類の試料群を作製し、それらの発光特性、光学遷移過程の実験的検討から、不規則性とキャリアの

局在現象の間の関係を明確にし、不規則性が最も大きく現れる条件を導いている。

4. エレクトロリフレクタンス法により、理論的に導いた不規則超格子中の多準位の形成と波動関数の局在現象を、初めて実験的に直接観測することに成功している。

以上を要するに本論文は、不規則超格子に関する不規則性の程度とキャリアの局在ならびに光学物性との関係を理論的実験的に検討し、不規則超格子の発光材料としての有用性を明らかにしたものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成9年1月7日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。