

審査の結果の要旨

論文提出者 Kang Gao (高 亢)

III 族窒化物半導体は、青紫色発光デバイスやパワーデバイスの材料として注目を集めているが、量子ドットは、窒化物半導体光源の性能向上に有用なナノ構造として有望である。例えば、室温においても安定な励起子を有するため、単一光子源の室温動作を可能にしている。しかし、その一方で、ウルツ鉱構造結晶の III 族窒化物半導体ヘテロ界面構造において生じる分極に起因する内部電界の影響により、量子ドット内の励起子は大きな永久双極子モーメントを持ち、障壁層等にトラップされる電荷の影響を強く受ける。このような環境との相互作用は、量子ドットの発光エネルギーにおいて、スペクトル拡散と呼ばれる時間的な揺らぎの問題をしばしばもたらす。近年、スペクトル拡散が抑制され、発光線幅が狭い界面揺らぎ窒化ガリウム(GaN)量子ドットの形成技術が開発されてきているが、その光学特性の詳細や、スペクトル拡散時間の評価の報告は今までなされてこなかった。

本論文は「Study on Single Photon Emission from III-Nitride Interface Fluctuation Quantum Dots (窒化物半導体界面揺らぎ量子ドットからの単一光子発生に関する研究)」と題し、量子情報処理の実現に向けた、界面揺らぎ GaN 量子ドットの光学評価、及び GaN 量子ドットのスペクトル拡散の評価時間の測定に関して論じており、全7章から構成され英文で書かれている。

第1章は「Introduction」と題し、量子ドットの基本物理(0次元的な状態密度など)、単一光子発生とその測定方法、そして窒化物半導体量子ドットの研究動向について概説し、研究背景および本論文の構成について論じている。

第2章は「III-Nitride Quantum Dots for Single Photon Sources」と題し、III 属窒化物量子ドットの特徴を述べ、幅広い波長の領域で高温動作単一光子源として適していることを論じている。

第3章は「Single Photon Emission Measurements」と題し、本研究で構築・使用した測定系、その調整と実験測定方法の具体的な説明を論じている。測定系の励起レーザ(パルス及び連続波)、対物レンズ、クライオスタット等の説明を述べている。

第4章は「Pure Single Photon Emission and its Temperature Dependence from Interface Fluctuation Quantum Dots」と題し、実際に測定した単一光子発生とその温度依存性について論じている。最初の部分は、作成した測定系を用いた界面揺らぎ GaN 量子ドットに於ける低温(~10K)単一光子発生の世界初めての測定について述べている。次に、その発光の温度依存性の具体的な評価について述べている。結果的に温度が上がるにつれて、ドット発光とスペクトル混入バックグラウンド発光の比が下がることにより単一光子発光の純度が下がるという課程について述べている。界面揺らぎ GaN 量子ドットの最高動作温度は 77K であることについて述べている。最後に、低温で単一光子発光の純度を上げる方法として、励起条件を調整した実験について述べている。励起条件の調整により、 $g^{(2)}(0)=0.02$ といった窒化物半導体量子ドットに於ける最低値を実現した結果について述べている。

第5章は「Measurement of Emission Lifetime using Single Photon Emission Dynamics of III-Nitride Quantum Dots」と題し、界面揺らぎ GaN 量子ドットの発光寿命の測定、及びその測定結果の重

要な意味について論じている。連続波レーザを用い、自己相関の測定による単一光子発生を確認しながら、発光ダイナミクスを測定することが可能となる。結果的に、測定した発光寿命が従来の自己形成 GaN 量子ドットとよく一致することを述べている。この結果により、界面揺らぎ GaN 量子ドットは、従来自己形成 GaN 量子ドットと同じ程度の永久双極子モーメントを持つことがわかり、発光線幅の細さの原因は障壁層にあるアクティブな欠陥の低い密度であることを示した。

第6章は「Nanosecond-scale Spectral Diffusion in the Single Photon Emission of a GaN Quantum Dot」と題し、GaN 量子ドットの世界初めてスペクトル拡散の評価時間を測定した実験について論じている。測定方法を説明した後、その測定結果：数十ナノ秒程度のスペクトル拡散の実際測定について説明がある。最後に、そのスペクトル拡散の時定数の励起強度依存性について述べている。

第7章は「Conclusions and 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、GaN 界面揺らぎ量子ドットの光学特性について論じており、励起条件の最適化等により高純度な単一光子発生を実現するとともに、GaN 量子ドットにおけるスペクトル拡散の時定数などを明らかにすることにより III 族窒化物半導体ナノ構造の光物性の理解を深めたものであり、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。