

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 加古 敏

窒化ガリウム系半導体は、青色発光を中心とした応用面と強い分極効果や大きな励起子束縛エネルギーなどの特徴的な物性を示すため、広く注目を集めている。しかし、量子ドットなどナノ構造の物性研究は良質の量子ドットを形成することが困難であったため十分ではなかった。本論文は、“Optical properties of Gallium Nitride Self-assembled Quantum Dots and Application to Generation of Non-classical Light”(日本語訳:窒化ガリウム自己形成量子ドットの光物性及び非古典光発生への応用)と題し、窒化ガリウム/窒化アルミニウム(GaN/AlN)自己形成量子ドットの光物性と、この量子ドットを発光源とした近紫外光波長領域における非古典光発生を試みに関する研究について論じており、8章より構成されている。英文で書かれている。

第1章の「Introduction」(序論)では、半導体量子ドットの電子状態と光学的な実験手法による研究の概要、また窒化物半導体の一般的な物理特性とその量子構造におけるユニークな特徴を概説している。

第2章は「Growth of Hexagonal GaN Quantum Dot」(六方晶窒化ガリウム量子ドットの成長)と題し、シリコンカーバイド(SiC)を成長基板としてMOCVD法で作製されたGaN/AlN量子ドットの成長を記述している。原子間力顕微鏡と蛍光分光による評価から、GaN量子ドットの成長様条件と成長メカニズムの議論を展開している。

第3章は「Time-Resolved Photoluminescence Spectroscopy」(時間分解蛍光分光)と題し量子ドットサイズに依存する発光再結合寿命時間について実験と理論計算両面から考察を行っている。発光波長の長波化に伴って蛍光減衰時間が長くなることを実験で明らかにしている。また理論計算によって実験結果を十分に再現できることを示し、GaN量子ドット中に生じている窒化物ヘテロ構造特有の強い内部電界が中心的な役割を担っていることを示している。

第4章は「External Electric Field Dependence」(外部電界依存性)と題し外部から電界を印加したときの発光の変化について実験と理論計算の両方から考察を行っている。必要なデバイスプロセスの開発やデバイスの電氣的な評価について論じた後に、実際に外部電界によって発光を制御できること、またそれによって第3章における結論を補強できることを示している。

第5章は「Single Dot Spectroscopy」(単一量子ドット分光)と題し個々のGaN量子ドットの光学特性を考察している。近紫外波長領域における単一量子ドット分光を試みるために、試料作製法や実験光学系の構築法を議論している。この単一量子ドット分光を基礎に離散的状态密度を反映した発光線を確認するとともに、発光線幅の起源の議論、励起子発光とそのフォノン介在発光、励起子分子の発光などの同定を励起強度依存性と時間分解蛍光測定に

よって行っている。また、内部電界の影響を強く受けた励起子分子の結合エネルギーの議論を理論計算と併せて考察している。

第6章は「Photon Correlation Spectroscopy」(光子相関分光)と題し、光子の二次相関関数を測定することによって第5章での発光線同定の検証を行っている。励起子発光に関して明確なアンチバンチングを観測することで、発光線が単一の GaN 量子ドットに起因するものであることを示している。また励起子分子発光線と励起子の発光線間において非対称な二次相関関数を観測し、これが量子カスケード過程に起因していることを理論計算と併せて考察している。また励起子の発光線とそのフォノン介在発光線との間で光子相関を測定し明確なアンチバンチングを観測することで単一の量子ドットからの発光であることを示している。

第7章の「Application to Generation of Non-classical Light」(非古典光発生への応用)では、GaN 量子ドットを非古典光発生のための発光源として利用する試みを議論している。パルス励起下において二次の相関関数を測定し、200 K の高温まで明確なアンチバンチングを観測することで、GaN 量子ドットが高温で動作可能な単一光子源として有望であることを示し、またその特性についても理論的な考察を行っている。

第8章の「Conclusion」(結論)では、本論文の主要な結果をまとめると同時に、この研究の将来の方向性について議論している。

以上これを要するに、本論文は、単一量子ドット分光の手法等を駆使し励起子の特異な相関効果等 GaN 量子ドットの光物性を明らかにするとともに、GaN 量子ドットが高温動作可能な単一光子源として有望であることを示したものであり、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。