

審査の結果の要旨

論文提出者 崔 琦鉉

III 族窒化物半導体量子ドットは、深紫外から近赤外まで幅広い波長域をカバーでき、強い分極効果や大きな励起子束縛エネルギーなどの特有な物性から注目を集めている。GaN 量子ドットの形成には自己組織的な結晶成長手法が一般的であるが、この手法では形成位置や寸法の制御が困難である。一方で半導体ナノワイヤは選択成長法により形成位置が制御できるうえ、転位を含まない高品質な結晶成長が可能である。選択成長したナノワイヤの中に GaN 量子ドットを挿入すれば、ドットの形成位置が容易に特定でき、量子ドット周辺の欠陥による影響を軽減することが期待できる。本論文は、「MOCVD Growth and Optical Characterization of Site-Controlled III-Nitride Semiconductor Quantum Dots in Nanowires (位置制御した III 族窒化物半導体ナノワイヤ中量子ドットの MOCVD 選択成長とその光学評価)」と題して、有機金属気相成長 (MOCVD) によるナノワイヤ中 GaN 量子ドットの選択成長手法の開発と形成した単一量子ドットにおける光学特性について論じており、全 7 章から構成され、英文で書かれている。

第 1 章では、「Introduction」と題して、III 族窒化物半導体量子ドットおよびナノワイヤ中量子ドットの研究分野の発展と現状の研究情勢について論じ、本論文の目的と構成を示している。

第 2 章では、「General properties of III-nitride semiconductors」と題して、III 族窒化物半導体の一般的な物理特性とそのヘテロ構造における構造的・光学的特徴を概説している。

第 3 章では、「Experimental and characterization techniques」と題して、本論文において結晶成長に用いた MOCVD 装置と、光学評価に用いた顕微 PL 法について概説している。

第 4 章では、「Selective area growth of GaN nanowires」と題して、GaN ナノワイヤの選択成長について論じている。量子ドットの挿入に重要な細い GaN ナノワイヤを形成するための成長条件の最適化について述べられている。電子線描画法によりパターンニングした基板上において材料供給量、パターン径依存性を詳細に調べることにより、直径 50 nm、高さ約 1.5 μm の Ga 極性 GaN ナノワイヤを形成している。さらに GaN/AlGaIn コア・シェル構造の導入によりナノワイヤにおける表面準位が抑制可能であることを示している。

第 5 章では、「Growth of site-controlled single GaN QDs in nanowires」と題して、位置制御したナノワイヤ中 GaN 量子ドットの結晶成長について論じている。第 4 章で開発した GaN ナノワイヤ選択成長技術をもとに、優れた発光 S/N 比 (signal to noise ratio) を有する単一量子ドットの形成をめざしてサンプル構造の最適化をはかっている。具体的には、成長基板の選択およびシェル層、キャッピング層、GaN 量子ドット層における成長条件の最適化について詳細な検討を行っている。形成した構造に対しては透過型電子顕微鏡 (TEM) により、直径約 10 nm、高さ約 1 nm の GaN 量子ドットの存在を確認している。さらに単一構造にお

ける光学測定では離散的な状態密度を反映した発光線を観測しており、発光波長から予想できるドットの高さが TEM の解析結果と良い一致を示すことが述べられている。

第6章では、「Optical properties of site-controlled single GaN QDs in nanowires」と題して、形成した位置制御単一 GaN 量子ドットにおける光学特性について論じている。形成した GaN ナノワイヤ量子ドットは従来 GaN 量子ドットに比べて発光ピーク位置は高く、半値幅は小さいことから、従来ドットと同等の性能を有する小さいドットが形成できたことを示している。また半導体量子ドットとしては最大の束縛エネルギーを有する励起子分子からの発光を位置制御 GaN 量子ドットでは初めて観測し、その起源について考察を行っている。さらに室温における PL 発光を観測し、GaN ナノワイヤ量子ドットにおける高い熱安定性を確認した。共同研究者らによって行われた、発光励起測定 (PLE) によるドット内の励起準位の同定、ドットの非対称性に起因する励起子の大きな微細構造分裂、光子相関測定による低温での光子のアンチバンチングの結果を示し、MOCVD 法により形成した位置制御 GaN 量子ドットにおける優れた光学特性を実験的に明らかにしている。

第7章では、「Conclusions and future prospects」と題して、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、MOCVD 選択成長法を用いることにより、位置制御された高品質ナノワイヤ中 GaN 量子ドットの形成技術の確立をはかるとともに、GaN 量子ドットの光学特性について論じ、III-V 族量子ドットとして最大の励起子分子束縛エネルギーを観測するなど、GaN 量子ドットにおける量子効果の発現を明らかにしたものであり、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。