

審査の結果の要旨

氏名 中村 亮裕

本論文は、Polarization-engineered structure of III-nitride semiconductors for solar energy conversion (III 族窒化物半導体分極制御構造による太陽光エネルギー変換に関する研究) と題し、III 族窒化物半導体に誘起される分極電荷をヘテロ構造により制御し、多接合太陽電池およびその応用としての水素生成用光電極に関する新規デバイス構造の提案とその実現のための結晶成長技術をまとめたものであり、英文 8 章から構成される。

第 1 章は序論であり、再生可能エネルギー導入の現状を鑑み、太陽光を用いた高効率発電のみならず太陽光エネルギーを水素等の化学物質に貯蔵・運搬することの重要性に言及し、本研究の目的を述べている。

第 2 章では、太陽光から水素へのエネルギー変換効率を論じている。太陽電池と水電気分解装置の接続を効率限界を示すモデルとして位置づけ、同手法により効率 24.4% を達成した事例を示しつつ、水分解光触媒・光電極のエネルギー効率が半導体構造の太陽電池としての効率と水分解反応の効率の積で表されることを理論的にまとめている。

第 3 章では、有機金属気相成長法 (MOVPE) および電気化学的解析手法を中心に、本研究にて用いた実験手法の概論およびその実験系について述べている。

第 4 章では、III 族窒化物半導体に特徴的なピエゾ分極・自発分極をトンネル接合の形成と光励起キャリアの空間分離に活用する新規構造を提案した。本構造により、結晶成長の制約で通常用いられる+c 面成長の InGaN を用いても、In の全組成域で良好な電流電圧特性が得られることをデバイスシミュレーションにより示している。さらに、本構造を活用した光カソード電極により、水の光電気化学分解における半導体電極の耐久性が大幅に向上することを示した。

第 5 章では、提案する光カソードの原理検証を GaN 光吸収層を用いて行った。結晶品位に劣る p 型 GaN を用いずに作製した電極構造で光カソード動作を実証した。しかし、この電極で得られる光起電力は理論値に比べて小さく、分極制御に用いる AlN 中間層の成長に問題があることが示唆された。

第 6 章では、前章にて明らかになった問題を解決すべく、GaN/AlN/GaN 構造

において組成急峻な界面を得るための結晶成長法を開発した。AlN 層への Ga 混入を防ぐための低温成長を採用するとともに、GaN と AlN の間の成長中断シーケンスを改善することで、異種結晶層への遷移中に起こる結晶表面モフォロジーの劣化や AlN の格子緩和を防止し、より大きな分極電荷を得ることに成功した。

第 7 章では、可視光による光触媒の動作を目指し、光吸収層を InGaN に変更した光カソードの動作を実証した。GaN 自立基板を用いた結晶成長条件を精査することで、In 組成 21% までの InGaN を用いた光カソードの作製に成功した。これにより、440 nm より長波長の可視光による光電流を得ることに成功するとともに、外部バイアスを用いない水の光電気化学分解が可能であることを示した。また、さらなる性能向上のための構造及び結晶成長条件の改良を提案している。

第 8 章は結論であり、上記の取り組みを総括した。

以上のように、本論文は、III 族窒化物半導体における分極を利用した新規な太陽電池および水分解光電極の構造を提案し、その作製過程における結晶成長上の諸問題を解決することで太陽光エネルギー変換デバイスの新たな可能性を実証したものであり、半導体デバイスおよび結晶成長の観点から電気電子工学に貢献するところが多大である。

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。