



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Study on Selectively Grown GaAs-based Nanowire Array Solar Cells [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	中井, 栄治
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11756号
Issue Date	2015-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/58856
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Eiji_Nakai_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 中井栄治

学 位 論 文 題 名

Study on Selectively Grown GaAs-based Nanowire Array Solar Cells

（有機金属気相選択成長法を用いた GaAs ナノワイヤアレイ太陽電池に関する研究）

太陽光発電の研究開発はエネルギー資源の課題と地球環境問題の観点から、グローバルな注目を集めている。また、エネルギー創出の安全性が問われる中で、太陽光発電への要求は膨らみ続けている。しかしその一方で、火力や原子力発電などに代表される発電方式と比較して、発電コストが高く、自然に依存した不安定な電力供給が課題として挙げられる。特に発電コストの課題においては、発電を担う太陽電池デバイスの高効率化、低コスト化が必要不可欠である。しかし、市場の中心であるシリコンを用いた太陽電池は効率とコストの両面で限界を迎えている為、新たな構造や材料を用いた次世代型太陽電池の研究が求められる。

次世代型太陽電池の一つとして、既に宇宙用でも使用されている多接合型化合物半導体太陽電池は、半導体物性から見積もられる太陽電池の理論限界効率を大きく超え得るポテンシャルを持つ。異なるバンドギャップを有する複数の材料で、太陽光スペクトルを効率的に分割吸収、発電し、それぞれのセルをトンネル接合によって直列につなぐことで、大きな電圧を得ることが出来る。現状、GaAs 系材料を積層した構造は、集光装置との組み合わせで 44% 以上の変換効率を実現している。しかし、III-V 属化合物半導体の結晶成長に起因する高コスト化や、それぞれの半導体材料間に介在する格子定数差が結晶成長時の材料選択幅を強く制限するため、さらなる高効率化に向けたブレークスルーが必要である。

本研究では、この多接合型太陽電池が持つ課題を打開するための革新的な構造として半導体ナノワイヤアレイ構造を取り上げる。半導体ナノワイヤはナノメートルオーダーの直径を有する一次元細線構造で、その微小な接合界面ゆえに、接合面内での格子歪みを緩和する効果が発現する。そのため、膜成長では実現できない格子不整合系材料を用いたヘテロ接合の形成が可能となり、先に挙げた多接合型太陽電池の新たな材料選択が期待される。また、ナノワイヤ構造内に発電機能を付加したうえで基板から剥離することで、膜型構造と比較しても大幅な使用原料の低減が可能である。

ナノワイヤ構造が有する可能性を背景に、昨今多くの研究が報告されている。しかし、特に GaAs ナノワイヤを用いた太陽電池の報告では、不均一なナノワイヤアレイを用いた太陽電池やナノワイヤ一本のみを抽出したデバイスなど実用性に欠けた報告例が多い。また、多接合型応用に向けたバンドギャップエンジニアリングが可能な GaAs 系三元混晶材料を用いた太陽電池報告はほぼ無い。そこで本研究では、有機金属気相選択成長法を用いて均一性の高い GaAs ナノワイヤアレイを形成し、ナノワイヤアレイ構造を保持したまま太陽電池に応用する作成手法を確立した。また、多接合型でも多く使用される三元混晶材料である InGaAs のナノワイヤアレイ太陽電池を作製した。

本論文は第 1 章から第 7 章までで構成されている。以下に各章の要旨を示す。

第 1 章では、太陽光発電が直面する背景、課題について説明すると共に、本論文が扱う半導体ナノワイヤ構造が太陽電池応用において非常に重要な優位性を示すことを記述する。また、各章の概要を説明する。

第2章では、半導体ナノワイヤの研究が辿る歴史と、一次元細線構造の特徴について述べる。次に、太陽電池の基礎と、ここ数年で活発化する半導体ナノワイヤ太陽電池の報告についてまとめ、そこから見えてきた太陽電池応用における利点を記す。

第3章では、MOVPE法の基本的な成長プロセスや成長炉について述べ、本研究でナノワイヤを形成するために用いた選択成長法の基本的な成長特性を説明する。また、デバイス作製プロセスにおいて使用したプロセス技術、特性評価法について記述する。

第4章では、GaAs コアシェル型太陽電池の作製と評価について詳しく記述している。まず、高密度に集積した GaAs ナノワイヤアレイの成長結果を示し、成長後のナノワイヤアレイ構造の光学的特徴を2次元光学シミュレーション結果と実際の光学測定から議論する。その後、コアシェル構造を有する GaAs ナノワイヤアレイに対し、デバイス作製プロセスを施し、太陽電池測定を行った。均一に成長したコアシェル型ナノワイヤアレイを透明絶縁性樹脂 BCB でコーティングする。表面電極形成に向け、ドライエッチングによりナノワイヤ上部のみを露出させ、透明導電膜を堆積させた。また、使用した基板に真空蒸着法で裏面のオーミック電極を形成した。疑似太陽光による光起電力を確認することは出来たものの、GaAs と表面電極との接触抵抗の高さや、膜型構造と比較して大幅に影響が懸念される表面再結合損失による短絡電流密度低下が確認された。GaAs 系材料を用いたナノワイヤ太陽電池におけるこの課題に、コアシェル型ナノワイヤと表面電極間に保護膜、パッシベーション層を導入し、デバイスの特性を改善した。

第5章では、InGaAs 軸方向接合型太陽電池の作製と評価について詳しく記述している。本章では特に、高効率太陽電池作製に必要不可欠な三元混晶系材料を用いてデバイスの作製を行った。AlInP パッシベーション層を有する InGaAs ナノワイヤアレイを GaAs(111)B 基板上に成長させ、前章のデバイス作製プロセスを用いて太陽電池を形成した。EBIC 測定によりナノワイヤ自体が軸方向に pn 接合を有し、発電に寄与する様子を確認した。さらに、デバイスの直列抵抗成分を低減するためのコンタクト層導入を検討した。結果、薄膜構造の約 10% 程度の空間占有率でありながら、7.14% の変換効率を得ることに成功した。

第6章では、半導体ナノワイヤアレイを用いた次世代型太陽電池の可能性について述べる。まず、低コスト化に向けて、同グループで報告している文献をもとに透明絶縁性樹脂を用いた半導体ナノワイヤアレイの剥離法と、剥離したナノワイヤアレイの光学特性について記述する。また、剥離後の基板を用いたナノワイヤの再成長についても言及する。第4章及び第5章で、GaAs 系ナノワイヤアレイを用いた太陽電池の作製手法を確立し、良好な発電機能を示すことに成功している。この GaAs 系材料を用いた高効率多接合型ナノワイヤアレイ太陽電池の実現に向けた構造案について説明し、この構造が次世代型太陽電池としての優位性を持つことを説明する。

第7章では、以上の研究結果をまとめ、本研究を通しての展望について述べる。