HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Growth of III-V Semiconductor Nanowires and Their Photovoltaic Application [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	吉村, 正利
Citation	北海道大学. 博士(工学) 甲第11299号
Issue Date	2014-03-25
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/55754
Rights(URL)	http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	theses (doctoral - abstract and summary of review)
Additional Information	There are other files related to this item in HUSCAP. Check the above URL.
File Information	Masatoshi_Yoshimura_abstract.pdf (論文内容の要旨)

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

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　吉村 正利

学　位　論　文　題　名

Growth of III-V Semiconductor Nanowires and Their Photovoltaic Application
（III-V 族化合物半導体ナノワイヤの成長と太陽電池応用）

前世紀からの急速な経済発展に伴って化石燃料の使用量が増加し続けており、それにより国内外でエネルギー資源問題や地球環境問題が顕在化しつつある。これら両方の問題に同時に対応できる自然エネルギーによる発電方法が注目されており、その中でも設置場所や規模を問わず、発電時に廃棄物、排水、騒音、振動が発生しない太陽光発電には多大な期待が寄せられている。しかし、既存の発電方法の 2 倍以上ある発電コストを改善しなければ普及は難しく、それには発電部分である太陽電池の高効率化と低コスト化が必要であるが、現在主流のシリコン (Si) 系太陽電池は発電効率、生産コストの両方で限界を迎えている。

Si に置き換わる次世代太陽電池を実現する半導体材料として期待されているのが、砒化ガリウム (GaAs) や燐化インジウム (InP) などの化合物半導体である。現在、太陽光を効果的に吸収できる多接合型化合物半導体太陽電池において 44% の変換効率を達成している。複数の異なるバンドギャップを有する材料を積層する多接合型太陽電池は理論的に 60% 以上の変換効率が期待できるが、積層する各セルの材料間における格子定数差に起因する結晶性劣化により、4 接合以上で 50% を超える高効率太陽電池の実現が困難である。それを打開する革新的な新技術の一つとして注目されているのが半導体ナノワイヤのアレイ構造である。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ある半導体ナノワイヤは、積層する材料間の接合面を微小領域に制限するため、面内 2 軸方向における格子歪みの影響を少なくする効果が発現するので、先の問題を解決する手段として非常に有力である。また、半導体ナノワイヤのアレイ構造は反射率を数 % 程度まで抑えることができる上、隙間に入射した光を吸収する光トラッピング効果が期待でき、低コスト化にも有利である。

半導体ナノワイヤの作製には触媒を用いる気相-液相-固相 (VLS) 法が主流であるが、我々の研究室は周期的な開口部を有するマスク基板を用いて半導体ナノワイヤを形成する有機金属気相選択成長 (SA-MOVPE) 法を提案している。この手法は触媒を用いないだけでなく、リソグラフィとエッチングにより開口部の位置とサイズを制御でき、ファセット成長であるため表面が急峻であり、良好なヘテロ接合が形成可能である。しかし、半導体ナノワイヤの報告例は GaAs や InP などの二元化合物がほとんどで、多接合太陽電池に必須であるバンドギャップエンジニアリングが可能な三元混晶の報告例は極少数しかない。また、これまで半導体ナノワイヤの太陽電池は、VLS 法によって位置やサイズ、成長方向がランダムに成長したナノワイヤを 1 本のみ抽出して発電効率を評価している報告例がほとんどであり、実用性に乏しかった。

そこで本研究では、SA-MOVPE 法によって形成した三元混晶である砒化インジウムガリウム (InGaAs) ナノワイヤの成長温度依存性、及び GaAs 基板上に格子不整合成長させた InGaAs ナノワイヤの結晶性評価を行う。さらに、位置とサイズが制御されたナノワイヤアレイを用いた太陽電池構造作製技術の確立、アレイ構造に起因する諸効果の確認、及びナノワイヤアレイの特長を活かし

た新規デバイス構造の提案を行い、ナノワイヤアレイの実用的な太陽電池応用に向けた基礎技術の確立を目指す。

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 章は、本研究の背景と目的について記すとともに、各章の概要を説明している。

第 2 章では、これまで報告された半導体ナノワイヤ成長とその太陽電池応用に関する研究報告を体系的に述べるとともに、本研究の位置づけを説明している。

第 3 章は、本研究でナノワイヤアレイ作製に用いた有機金属気相選択成長法の基本的な成長特性を述べ、構造作製及び分析に用いた装置に関して説明している。また、ナノワイヤアレイ太陽電池作製プロセス、特性評価手法について記述している。

第 4 章では、InGaAs の有機金属気相選択成長法に焦点を当て、構造特性や結晶組成の成長温度依存性を解析し、組成の成長温度依存性に関して議論している。顕微フォトルミネッセンス法を用いた組成分析の結果、InGaAs ナノワイヤ中の Ga 組成は成長温度に比例することを明らかにした。さらに、ナノワイヤ体積の成長温度依存性結果と合わせて解析した結果、InGaAs ナノワイヤ中の InAs 含有量は成長温度に依存しないことが示唆された。また、GaAs 基板上に成長した InGaAs ナノワイヤは長軸方向の組成分布が一定であり、格子不整合度が 2.1% あるナノワイヤ/基板界面に格子欠陥が存在しないことを明らかにした。さらに、光学特性を調べ、同成長条件で作製した膜構造と比較してナノワイヤ構造は結晶性が高いことを示した。

第 5 章は、ナノワイヤアレイの太陽電池応用に向けたデバイスプロセスと太陽電池動作の実証結果について述べている。均一に形成されたナノワイヤアレイの隙間を透明な絶縁性樹脂 BCB で包埋することでアレイを固定し、透明な酸化物半導体 ITO でナノワイヤ先端を並列接続することで大面積デバイス動作を実現した。その際、デバイス領域外を BCB で覆い、透明電極を堆積するエリアを限定することで良好な整流特性が得られた。作製した素子で変換効率 4.2% を達成しただけではなく、ナノワイヤアレイ構造における反射率低減効果および光トラッピング効果の発現を実証した。

第 6 章では、InP ナノワイヤアレイ太陽電池の AlInP パッシベーションによる高効率化について述べている。ナノワイヤアレイ構造は表面積が膜型と比較して約 10 倍大きく、そのため表面再結合の増加による発電効率の低下が懸念される。そこで、コアシェル型 InP ナノワイヤアレイ太陽電池に AlInP パッシベーション膜を積層することで表面再結合を抑制し、変換効率を 6.4% まで高めることに成功した。

第 7 章では、ナノワイヤアレイ太陽電池に使用される透明電極 ITO の特性に着目し、成長プロセスを簡略化した ITO/p-InP ヘテロ接合構造のナノワイヤアレイ太陽電池を提案している。P 型 InP ナノワイヤに ITO をスパッタすることで良好な整流特性を得られることを明らかにし、AM1.5G 下において変換効率 7.4% を達成した。さらに、この構造は短波長側の内部量子効率が非常に高く、現行最高効率の InP 膜型太陽電池を超えていることを示した。

第 8 章では、以上のことをまとめて結論を出し、将来の展望を述べている。