



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Growth Dynamics and Applications of Selectively-Grown InGaAs Nanowires [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	小橋, 義典
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11293号
Issue Date	2014-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/55738
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Yoshinori_Kohashi_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 小橋 義典

学 位 論 文 題 名

Growth Dynamics and Applications of Selectively-Grown InGaAs Nanowires

(有機金属気相選択成長法による InGaAs ナノワイヤの成長ダイナミクスと素子応用に関する研究)

半導体ナノワイヤとは、直径数 10～数 100 nm の一次元細線構造であり、その微小直径と高アスペクト比に起因する量子サイズ効果や表面積効果、格子歪み緩和効果などを利用して、トランジスタ (FET) や太陽電池、LED、単一光子源などへの応用が期待される新しいナノ材料である。中でも、InGaAs ナノワイヤは、高い電子移動度 ($8500\text{--}40000\text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ (室温)) と近赤外領域のバンドギャップ ($0.35\text{--}1.4\text{ eV}$ (室温)) を持つため幅広い素子応用が期待できる。従来の平面 (プレーナ) 技術では、InGaAs の混晶組成変調に伴う基板との格子不整合率増加により、格子歪みの影響が大きくなり成長させた InGaAs 薄膜の結晶性を劣化させていた。一方、ナノワイヤ成長技術では結晶成長を微小領域に制限することにより格子歪みの影響が緩和され、従来よりも自在に InGaAs 混晶組成を変調させることができる。例えば、In 組成あるいは Ga 組成の多い InGaAs ナノワイヤはそれぞれ FET や太陽電池応用に対して重要である。更に、ナノワイヤ技術により、従来困難だった安価なシリコン基板上における化合物半導体結晶の直接形成も可能であるため、素子の低コスト化に寄与することも期待されている。

本研究は、将来の電子・光学デバイスの基本構成要素となることが期待される InGaAs ナノワイヤについて、その形成技術の確立と素子応用を目指したものである。具体的には、混晶組成に依存した成長温度・V/III 比の影響を調査し、それらの知見を活かしてナノワイヤの直径微細化技術を確立させた。更に、InGaAs ナノワイヤの素子応用実現に向け、ナノワイヤに電極を取り付けたトランジスタ (MISFET) を作製し、その電気特性を評価した。

学位論文は、下記の計 9 章で構成されている。

- 第 1 章 序論
- 第 2 章 半導体ナノワイヤ
- 第 3 章 実験手法
- 第 4 章 MOVPE 選択成長における GaAs、InAs、InGaAs ナノワイヤの成長機構
- 第 5 章 InGaAs ナノワイヤの混晶組成に依存した成長温度の影響
- 第 6 章 InGaAs ナノワイヤの混晶組成に依存した V/III 比の影響
- 第 7 章 2 段階 MOVPE 選択成長法による InGaAs ナノワイヤの直径微細化技術
- 第 8 章 単一 InGaAs ナノワイヤを用いた横型 MISFET の作製と評価
- 第 9 章 結論と今後の展望

第 1 章は序論であり、本研究の背景と目的を述べている。半導体やナノ材料の電子・光学材料としての特長やその応用分野に触れ、本研究を実施するに至った経緯を示す。

第2章では、半導体ナノワイヤの研究背景や従来材料に対する優位性、それを活かした応用例を述べる。また、ナノワイヤの代表的作製手法である気相・液相・固相 (VLS) 法と、我々が提案する作製手法である有機金属気相選択成長 (MOVPE 選択成長) 法について説明する。

第3章では、実験手法について述べる。具体的には、MOVPE 選択成長法の基礎である MOVPE 法と半導体ナノ材料の評価技術に関して、その基礎原理を説明する。

第4章では、MOVPE 選択成長における GaAs、InAs、InGaAs ナノワイヤの成長機構について、報告されている文献をもとに示す。InGaAs は GaAs と InAs の混晶であるが、GaAs ナノワイヤと InAs ナノワイヤの成長ダイナミクスの間には大きく異なる点がある。この違いにより、InGaAs ナノワイヤの成長ダイナミクスはその混晶組成に依存して連続的に変化する。よって、この章は InGaAs ナノワイヤの成長機構を理解する上で非常に重要である。加えて、現在までに報告のある InGaAs ナノワイヤ成長の特徴について簡単に示す。

第5章及び第6章では、本研究で明らかにした『InGaAs ナノワイヤの混晶組成に依存した成長ダイナミクス』について、その結果と考察を詳細に示す。InGaAs ナノワイヤを電子・光学素子へ応用する際、ナノワイヤの直径・長さ・混晶組成を同時に制御することは本質的に重要な課題である。しかし、これまで研究報告のみではそれらを ”同時に” 制御することは非常に困難であった。本研究では、InGaAs ナノワイヤの Ga 組成が多い場合 (Ga リッチ) と In 組成が多い場合 (In リッチ) で成長ダイナミクスを比較検討した。その結果、Ga リッチと In リッチではその成長ダイナミクスが大きく異なることが判明した。特に、直径・長さ・混晶組成の成長温度・V/III 比依存性はナノワイヤの混晶組成に依存して大幅に変化することが明らかとなり、InGaAs ナノワイヤの素子応用に対して重要な知見となった。

第7章では、高密度集積トランジスタや単一光子光源に InGaAs ナノワイヤを応用する際に重要な、ナノワイヤ直径の微細化について示す。格子不整合による欠陥導入などを回避するには、ナノワイヤ直径微細化 (～30nm) が必要である。また、応用分野に応じてナノワイヤ形成位置も自在に制御する必要がある。そこで、直径 30 nm、隣接するナノワイヤの間隔 750-5000 nm の周期的開口部に対し InGaAs ナノワイヤ成長を試みたが、隣接するナノワイヤの間隔の増加に伴い核生成が困難になることが判明した。この現象に対し、隣接するナノワイヤの間隔が変化しても核生成可能な2段階成長法を提案し、高均一な直径 30nm のナノワイヤ形成に成功したことを示す。

第8章では、単一 InGaAs ナノワイヤを用いた横型トランジスタ (MISFET) の作製と評価について述べる。特に、MISFET の作製手法を2種類提案し、その電気特性に及ぼす影響を考察した。結果として、InGaAs ナノワイヤが電子材料として有望であることが示された。

第9章は結論であり、本研究のまとめを示す。加えて、将来の展望について述べる。