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_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　　氏名　小橋 義典

審査担当者　主　査　教　授　本久 順一
副　査　教　授　福井 孝志
副　査　教　授　橋詰 保
副　査　准教授　池辺 将之

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）

近年、半導体ナノワイヤと呼ばれる直径数 10nm から数 100nm の半導体細線構造が注目を集めている。ナノワイヤは、その微小な直径と高アスペクト比に起因して、量子効果や表面積効果など、従来のプレーナ構造にはない新しい現象や効果が発現する。このうち InGaAs を用いたナノワイヤは、InGaAs が有する高い電子移動度ならび近赤外域での広範囲でのバンドギャップが制御可能という特長が利用できる。加えて、従来のプレーナ構造では $In_{1-x}Ga_xAs$ の混晶組成 x を変調すると、成長基板との格子不整合率が増大し、結晶欠陥の導入を防ぐことは困難となるのに対し、ナノワイヤでは、微小成長断面積により格子歪みの影響が緩和されるため、ナノワイヤ結晶中への欠陥導入を回避しつつ、自在な組成変調が可能となる。このため、InGaAs ナノワイヤは Si に代わる新しいトランジスタのチャネル材料、光通信用の発光/受光素子、そして太陽電池への応用が考えられている。反面、そのような InGaAs ナノワイヤの優れた特性を素子へと応用するためには、その直径・高さといったサイズとともに混晶組成 x を適切に制御する必要がある。また、ナノワイヤを用いた素子の作製プロセス確立は、高性能素子の実現だけでなく、基礎物性評価という観点からも重要である。

これらの点に対し、本論文において著者は、有機金属気相成長法 (MOVPE) を用いた選択成長を用いたナノワイヤ形成手法において、GaAs($x = 1$) から InAs($x = 0$) に渡る幅広い混晶組成範囲、ならびにさまざまな成長条件下での $In_{1-x}Ga_xAs$ ナノワイヤの成長について実験的に検討し、所望の混晶組成 x ならびにサイズを有する $In_{1-x}Ga_xAs$ ナノワイヤを形成する方法について論じている。さらに、InGaAs ナノワイヤの FET 応用に必要な素子作製技術と作製された素子の評価について述べている。

本論文は 9 章で構成される。以下に各章の要旨を示す。

第 1 章は序論であり、本研究の背景である半導体ナノ構造および InGaAs の特徴が述べられており、本研究を実施するに至った経緯が示されている。

第 2 章は、半導体ナノワイヤの研究背景が述べられている。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、本研究で対象とした MOVPE 選択成長法について説明されている。

第 3 章では、実験手法について、具体的には MOVPE 法の原理と半導体ナノ材料の評価技術の原理について纏められている。

第 4 章は、MOVPE 選択成長における GaAs、InAs、InGaAs ナノワイヤの成長機構に関するこれまでの知見を纏めている。特に、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と、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ことを示唆している。

第 5 章では、第 4 章で示唆した『InGaAs ナノワイヤの混晶組成に依存した成長ダイナミクス』が、種々のナノワイヤの成長特性の温度依存性の実験結果をもとに考察されている。まず、成長時に In 供給量の多い In リッチのナノワイヤと Ga 供給量の多い Ga リッチのナノワイヤのでは、直径・高さ・混晶組成 x に対する成長温度依存性に大きな、かつ x に従う系統的な差があること示している。更に、その結果を基に、所望の形状 (直径・高さ) および混晶組成 x を有する $In_{1-x}Ga_xA$ ナノワイヤを形成するための成長モデルを提案し、その成長モデルから見積もられる最適成長温度において、形状均一性の高い良好な $In_{1-x}Ga_xAs$ ナノワイヤ成長 ($0 < x < 1$) が可能であることを示している。

第 6 章では、第 5 章に引きつづき、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 MOVPE 成長における III 族原料と V 族原料ガスの供給比の観点から議論している。In リッチのナノワイヤと Ga リッチのナノワイヤではその成長ダイナミクスの V/III 比依存性にも大きな差があることを実験的に確認するとともに、第 5 章での知見も合わせ、これらの違いについて、GaAs と InAs の物性の本質的な相異の観点から説明している。

第 7 章では、ナノワイヤ直径の微細化について論じられている。特に断面寸法 50nm 以下の InGaAs ナノワイヤを形成する場合、ナノワイヤ形成過程が隣接するナノワイヤの間隔に依存することなどを見いだしている。また、それに依存せず微細な断面寸法 (約 30nm) のナノワイヤを実現するため、2 段階成長法を提案・実証している。

第 8 章では、単一の InGaAs ナノワイヤを用いた横型 MISFET(金属-絶縁体-半導体電界効果トランジスタ) の作製と評価について論じている。特に、MISFET の作製プロセスを 2 種類提案し、その違いが電気特性に及ぼす影響が考察されている。これにより 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ている。

第 9 章は結論であり、本研究のまとめおよび将来展望が述べられている。

これを要するに、著者は、InGaAs ナノワイヤの直径・高さ・混晶組成の制御技術と、ナノワイヤを用いたデバイスの作製技術の確立について新しい知見を得ることに成功しており、これは半導体材料工学・エレクトロニクス分野の発展に対して大きく寄与するものである。よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める。