

平成 21 年 4 月 10 日現在

研究種目：特別推進研究

研究期間：2006～2010

課題番号：18002003

研究課題名（和文） 有機金属気相選択成長法による半導体
ナノワイヤエレクトロニクスの創成研究課題名（英文） Semiconductor Nanowire Electronics by
Selective-Area Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy

研究代表者

福井 孝志 (FUKUI TAKASHI)

北海道大学大学院情報科学研究科・教授

研究者番号：30240641

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子・電気材料工学

キーワード：ナノワイヤ、化合物半導体、結晶成長、1次元物性、磁性体

1. 研究計画の概要

有機金属気相選択成長法を用いて半導体ナノワイヤの形成技術を確立し、その成長機構、結晶構造の解明を行いつつ、ナノワイヤの電子物性・光物性・磁性に関する基礎特性を明らかにしナノワイヤを用いたトランジスタや光素子を試作することでナノワイヤのエレクトロニクス応用への可能性を探索する。具体的には、以下4つの分担研究課題を設けそれぞれの目標を達成する。

(1) 結晶成長・結晶工学

ナノワイヤ成長機構、結晶構造相転移の解明

(2) 光物性・光デバイス

光学物性把握と光素子への応用展開

(3) 電子物性・電子デバイス

1次元伝導の評価、トランジスタ試作

(4) 新材料系ナノワイヤ

強磁性材料によるヘテロ接合ナノ構造形成

2. 研究の進捗状況

(1) 結晶成長・結晶工学

GaAs ナノワイヤ成長初期過程の電子顕微鏡観察による詳細な結晶構造解析の結果、(111)結晶軸まわりの回転双晶がナノワイヤ形成に大きく関与していることを突き止めた。

(2) 光物性・光デバイス

GaAs/GaAsP コアシェル型（横方向ヘテロ接合）ナノワイヤ1本からの光励起レーザ発光に成功した。ナノワイヤからの発光（フォトルミネッセンス；PL）スペクトルの観測では、ナノワイヤへの励起光強度を $1.7\text{kW}/\text{cm}^2$ から次第に増加させると $10\text{kW}/\text{cm}^2$ 前後から PL 強度が急激に増大し、一方線幅は 1 nm 程

度に狭まりついにレーザ発光へと変化することを見出した。

(3) 電子物性・電子デバイス

InGaAs ナノワイヤ1本で横型 FET を作製し FET の基本動作を確認した。ナノワイヤ FET のドレイン電圧対ドレイン電流特性測定では、ゲート電圧 V_g を 0V から -2.0V まで 0.5V 間隔で減少させると -1.5V 以下の電圧で電流がピンチオフすることがわかり、1次元伝導体としてのナノワイヤでトランジスタ動作が確認できた。

(4) 新材料系ナノワイヤ

強磁性材料 MnAs の GaAs 基板上への選択成長条件の検討で最小直径 200 nm の MnAs/AlGaAs/GaAs 基板ヘテロ接合構造ナノクラスタの形成に成功した。また原子間力顕微鏡計測と磁界計測を組み合わせたナノ計測システムによる詳細な計測評価から、ナノクラスタは単磁区構造を有することも確認できた。

(5) 当初の研究計画範囲外の顕著な成果

Si 基板上への GaAs/AlGaAs ナノワイヤアレーの選択成長技術を確立した。本検討では、ナノワイヤ成長前の Si(111)基板表面の熱処理条件を色々と変化探索することにより、(111)結晶軸方向にのみナノワイヤの成長、更には GaAs/AlGaAs コアシェル型ナノワイヤの形成に成功した。

pn 接合 InP ナノワイヤアレーを用いた太陽電池素子プロトタイプを完成した。太陽電池の発電効率は、AM1.5 の照射条件下で

3.4%とナノワイヤ素子としては世界トップレベルである。

3. 現在までの達成度

当初の計画以上に進展している。

(理由)

平成18年度に研究開始して以来、4つの研究項目は順調に進展している。平成20年度からはInP ナノワイヤアレーを用いた太陽電池素子プロトタイプ¹の作製にも着手し、発電効率3.4%を達成した。本研究におけるInP ナノワイヤアレー太陽電池素子の発電効率は、先行するハーバード大学から論文発表されたデータと同じ値であり、ナノワイヤ太陽電池としては世界トップレベルにある。これは当初の研究目的に含めていなかった研究テーマによる特筆すべき成果であり、今後更に共同研究先企業との連携を深め、実用化されている太陽電池素子の性能と同等レベルの性能達成へ向けた進展が期待できる。

4. 今後の研究の推進方策

(1) 結晶成長・結晶工学

閃亜鉛鋅型とウルツ鋅型との構造相転移の機構を包括的にまとめる。

縦方向、または横方向へテロ接合構造の成長制御手法の条件探索と縦横独立制御技術²を確立する。

ナノワイヤの最小直径15 nmを形成する技術を確立する。

(2) 光物性・光デバイス

p-n 接合ナノワイヤ形成のためのドーピング技術、素子作製技術を確立し電流注入での発光特性を評価する。

縦横ヘテロ接合構造による単一光子発光素子作製技術を確立する。

縦/横ヘテロ構造(InP/InAs マルチコアシェル型)ナノワイヤの光学物性を解明する。

(3) 電子物性・電子デバイス

InAs, InGaAs ナノワイヤの表面保護材料探索、表面への被覆手法とナノワイヤの電気伝導特性との相関を明らかにし、表面保護材料の最適被覆技術を確立する。

縦型ナノワイヤを用いた FET 作製に向け、3端子電極形成技術を確立する。縦型 FET や単電子トランジスタ作製に向け、ナノワイヤと電極とのアライメント方法の提案と試作を行う。単電子トランジスタの高温動作に向けた構造検討を行う。

(4) 新材料系ナノワイヤ

ヘテロ接合ナノワイヤ構造の作製、結晶構造解析等により形成機構を解明する。

GaAs(111)B 基板上への最小直径20 - 50 nm 程度の強磁性体/非磁性体ダブルヘテ

ロ接合ナノ構造形成条件の取得・最適化、磁気特性評価を行う。

1次元ナノワイヤ状に非磁性体 GaAs あるいは AlGaAs を挟んだダブルヘテロ接合構造を形成する選択成長技術を確立し、スピントランジスタの作製と評価を行う。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計31件)

B. Hua, J. Motohisa, Y. Kobayashi, S. Hara and T. Fukui, "Single GaAs/GaAsP coaxial core-shell nanowire lasers", Nano Letters, vol.9, pp.112-116 (2009) 査読有

H. Goto, K. Nozaki, K. Tomioka, S. Hara, K. Hiruma, J. Motohisa and T. Fukui, "Growth of Core-Shell InP Nanowires for Photovoltaic Application by Selective-Area Metal Organic Vapor Phase Epitaxy", Applied Physics Express, vol.2, pp.035004-1 - 035004-3 (2009) 査読有

J. Noborisaka, T. Sato, J. Motohisa, S. Hara, K. Tomioka and T. Fukui, "Electrical Characterizations of InGaAs Nanowire-Top-Gate Field-Effect Transistors by Selective-Area Metal Organic Vapor Phase Epitaxy", Japanese Journal of Applied Physics, vol.46, pp. 7562-7568 (2007) 査読有

[学会発表](計42件)

T. Fukui, S. Hara and J. Motohisa, "Growth of III-V Semiconductor Nanowires", The 29th International Conference on the Physics of Semiconductors, July 27 - Aug 1, 2008, Rio de Janeiro, Brazil

[産業財産権]

出願状況(計6件)

名称: 半導体発光素子アレー、およびその製造方法

発明者: 比留間 健之、原 真二郎、本久 順二、福井 孝志

権利者: 北海道大学

種類: 特許権

番号: PCT/JP2008/002956

出願年月日: 2008年10月17日

国内外の別: PCT 国際

[その他]

ホームページ

<http://www.rciqe.hokudai.ac.jp>