

課題番号	GR093
------	-------

**先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム)
実施状況報告書(平成23年度)**

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	機能性シリコンナノ複合材料を利用した次世代高効率太陽電池の開発
研究機関・ 部局・職名	独立行政法人物質・材料研究機構・国際ナノアーキテクトニクス研究拠点・グループ リーダー
氏名	深田 直樹

1. 当該年度の研究目的

本研究の目的としては、Si ナノ構造体を用いた新規太陽電池材料として、p 層および n 層をナノワイヤ内の動径方向に持つコアシェルナノワイヤの形成方法を確立する。ナノワイヤ内部に pn 接合を形成することで、pn 接合面積の飛躍的な増大を狙う。また、基板から垂直に成長したナノワイヤの構造では、それ自体がテキスチャ構造を形成しているため、光の有効な散乱・閉じ込め効果を期待でき、変換効率の増大が期待できる。さらに、pn 接合をナノワイヤ内部のコアシェル層に形成するために、コア/シェルそれぞれの層への位置制御ドーピング技術を確立する。コアおよびシェル層の結晶性、位置制御ドーピングの評価、および pn 接合の特性を評価し、成長技術に再度フィードバックし、高い変換効率を得られる新規太陽電池材料の開発に繋げる。また、スパッタ装置を利用した Si ナノ結晶の大量生産法の開発についても実施する。

2. 研究の実施状況

p 層および n 層をナノワイヤ内の動径方向に持つコアシェルナノワイヤの成長制御に関する研究を行った。Si ナノワイヤ成長には、金属触媒として金を用いるため、シェル層形成時には、それを除去するか、成長軸方向の成長に比べて動径方向のシェル成長を圧倒的に速くする条件で成長を行う必要がある。前者の触媒の金を取り除く方法として、 $KI+I_2$ 溶液によるエッチングを行い、金触媒の除去に成功した。一方、後者の方法として、動径方向の成長を加速できるガス圧・成長温度の条件を導き出すことに成功した。ナノワイヤ内部に pn 接合を形成させる技術として、位置制御ドーピングを可能にする成長条件を導き出した。コアおよびシェル層の結晶性については、TEM、ラマン分光、および XRD 測定により詳細に調べ、シェル層の結晶性とシェル層の形成温度の関係について系統的なデータを得た。位置制御ドーピングの評価には、ラマン分光、電子スピン共鳴および XRD 測定を用いて行った。具体的には、ラマン分光法で観測される不純物の局在振動ピークおよび Fano 効果、電子スピン共鳴法で観測される伝導電子シグナル、XRD で観測されるピークのシフトを分析することで、ドーパされた不純物の結合・電子状態を詳細に調べることができた。

新規に導入したスパッタ装置を利用して、Si ナノ結晶の大量合成に関する実験も行った。スパッタのターゲットサイズを 3 インチから6インチに増大させたことで、Si ナノ結晶の生成効率を4倍程度増大させることができた。

3. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 4 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計 3 件 1. X. Zhang, D. Golberg, Y. Bando, and N. Fukata, "n-ZnO/p-Si 3D heterojunction solar cells in Si holey arrays", <i>Nanoscale</i> 4, 737-741 (2012). 2. F. Fabbri, F. Rossi, G. Attolini, G. Salviati, B. Dierre, T. Sekiguchi, and N. Fukata, " Luminescence properties of Si/SiO₂ core-shell nanowires with different radial structure ", <i>Materials Letters</i> 71(12), 137-140, (2011). 3. K. Sato, S. Yokosuka, Y. Takigami, K. Hirakuri, K. Fujioka, Y. Manome, H. Sukegawa, H. Iwai, and N. Fukata, " Size-Tunable Silicon/Iron Oxide Hybrid Nanoparticles with Fluorescence, Superparamagnetism and Biocompatibility", <i>JACS</i> 133 (46), 18626-18633, (2011) (掲載済み一査読無し) 計 0 件 (未掲載) 計 1 件 1. N. Fukata, R. Takiguchi, S. Ishida, S. Yokono, S. Hishita, and K. Murakami, "Recrystallization and Reactivation of Dopant Atoms in Ion-Implanted Silicon Nanowires", <i>ACS NANO</i> (in press)</p>
<p>会議発表 計 14 件</p>	<p>専門家向け 計 12 件 1. N. Fukata, Doping and characterization of impurity atoms in silicon and germanium nanowires, Lesbos (Greece), 2011/6/13-2011/6/17, Nanowire2011 2. Naoki Fukata, Keisuke Sato, Masanori Mitome, Yoshio Bando, and Takashi Sekiguchi, Impurity doping in semiconductor nanowires, Nelson (New Zealand), 2011/7/18-2011/7/22, The 26th International Conference on Defects in Semiconductors 3. 瀧上泰則, 佐藤慶介, 平栗健二, 深田直樹, 薄膜太陽電池用ボロンドープシリコンナノ粒子の構造評価, 山形大学, 2011/8/28-2011/9/2, 応用物理学会 4. 滝口 亮, 石田慎哉, 横野茂輝, 鈴木慶太郎, 深田直樹, 菱田俊一, 陣君, 関口隆史, 村上浩一, Si ナノワイヤへのホットインプランテーションによる P ドーピング, 山形大学, 2011/8/28-2011/9/2, 応用物理学会 5. 滝口 亮, 鈴木慶太郎, 深田直樹, 菱田俊一, 陣君, 関口隆史, 村上浩一, 低温オゾン酸化による SiNWs 中の B 偏析抑制効果, 山形大学, 2011/8/28-2011/9/2, 応用物理学会 6. 鈴木慶太郎, 横野茂輝, 滝口 亮, 深田直樹, 菱田俊一, 関口隆史, 村上浩一, Si ナノワイヤ中の Si ナノ結晶に対する水素パッシベーション効果, 山形大学, 2011/8/28-2011/9/2, 応用物理学会 7. N. Fukata, S. Ishida, S. Yokono, R. Takiguchi, T. Sekiguchi, and K. Murakami, Segregation behaviors and radial distribution of dopant atoms in silicon nanowires, Boston (USA), 2011/11/28-2011/12/2, 2011 MRS Fall Meeting 8. N. Fukata, M. Mitome, Y. Bando, T. Sekiguchi, M. Kirkham, J.-il Hong, Z. L. Wang, and R.L. Snyder, Segregation behaviors and radial distribution of dopant atoms in silicon nanowires, Boston (USA), 2011/11/28-2011/12/2, 2011 MRS Fall Meeting 9. N. Fukata, Doping and characterization of impurity atoms in Si and Ge nanowires, Hokkaido University, 2012/3/5-2012/3/6, 2012 RCIQE International Workshop for Green Electronics 10. Xiaomei Zhang, Dimitri Gorberg, Yoshio Bando, Naoki Fukata, n-ZnO/p-Si heterojunction solar cells in Si holey arrays, Waseda University, 2012/3/15-2012/3/18, 応用物理学会 11. 神永惇, 滝口亮, 鈴木慶太郎, 深田直樹, 菱田俊一, 陣君, 関口隆史, 村上浩一, シリコンナノワイヤ中の P ドナーの熱酸化過程での偏析挙動, 早稲田大学, 2012/3/15-2012/3/18, 応用物理学会 12. 千把太, 深田直樹, 佐藤慶介, 平栗健二, ボロンドープシリコンナノ粒子の構造特性 —ターゲット条件とアニール温度依存性—, 早稲田大学, 2012/3/15-2012/3/18, 応用物理学会 一般向け 計 2 件 1. 深田直樹, 次世代半導体ナノ構造太陽電池, NIMS 所内, 2011/6/30, NIMS 一般公開 2. 深田直樹, 次世代半導体ナノ構造太陽電池, 東京ビックサイト, 2012/2/15-2012/2/17, Nanotech2012</p>
<p>図書 計 0 件</p>	

様式19 別紙1

産業財産権 出願・取得状 況 計0件	(取得済み) 計0件 (出願中) 計0件
Webページ (URL)	http://nfukata.sakura.ne.jp/nfukata.org/index.php http://www.nims.go.jp/mana/people/mana_scientist/n_fukata/index.html
国民との科 学・技術対話 の実施状況	1. 次世代半導体ナノ構造太陽電池, 2011/6/30, NIMS 所内, 一般市民, NIMS 一般公開 2. 次世代半導体ナノ構造太陽電池, 2012/2/15-2012/2/17, 東京ビックサイト, 一般市民(企業 の方中心), Nanotech2012
新聞・一般雑 誌等掲載 計1件	鉄鋼新聞, 2012/1/27, Si ナノ構造の高速形成技術開発-高効率太陽電池を低コスト化-
その他	

4. その他特記事項

実施状況報告書(平成23年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されません

1. 助成金の受領状況(累計)

(単位:円)

	①交付決定額	②既受領額 (前年度迄の 累計)	③当該年度受 領額	④(=①-②- ③)未受領額	既返還額(前 年度迄の累 計)
直接経費	87,000,000	40,560,000	0	46,440,000	0
間接経費	26,100,000	12,168,000	0	13,932,000	0
合計	113,100,000	52,728,000	0	60,372,000	0

2. 当該年度の収支状況

(単位:円)

	①前年度未執 行額	②当該年度受 領額	③当該年度受 取利息等額 (未収利息を除 く)	④(=①+②+ ③)当該年度 合計収入	⑤当該年度 執行額	⑥(=④-⑤) 当該年度未執 行額	当該年度返還 額
直接経費	40,410,375	0	0	40,410,375	38,338,111	2,072,264	0
間接経費	12,123,000	0	0	12,123,000	12,123,000	0	0
合計	52,533,375	0	0	52,533,375	50,461,111	2,072,264	0

3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	31,704,367	半導体ナノ構造製造装置等
旅費	426,235	研究成果発表旅費(ICDS-26参加)等
謝金・人件費等	5,846,295	人件費(研究業務員、ポスドク研究員、事務業務員)
その他	361,214	英文校閲、学会参加費等
直接経費計	38,338,111	
間接経費計	12,123,000	
合計	50,461,111	

4. 当該年度の主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能 等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関 名
雰囲気可変型赤外線ランプ加熱装置	赤外線放射物面反射集光式、10°C/sec	1式	5,250,000	5,250,000	2011/8/26	(独)物質・材料研究機構
半導体ナノ構造製造装置	マグネトロンスパッタ・6インチ対応	1式	16,821,000	16,821,000	2011/9/1	(独)物質・材料研究機構
ドライポンプ部品	アイシン精機DB-010C-Pモジュール	1式	1,218,000	1,218,000	2011/9/15	(独)物質・材料研究機構
電池充放電システム	8チャンネル、5電流レンジ	1式	1,861,650	1,861,650	2012/3/13	(独)物質・材料研究機構
不活性ガス雰囲気下Liイオン用セル組立システム	露点-66°C及び酸素濃度1ppm以下	1式	4,331,250	4,331,250	2012/3/13	(独)物質・材料研究機構