

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 24 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

本年度は、動径方向に pn 接合を持つコアシェルナノワイヤの構造最適化を行う。良好な pn 接合を形成するために、シェル層の結晶性改善と不純物の電氣的活性化を重点的に研究するとともに、低反射かつ光閉じ込め効果の最適化についても研究する。作製されたコアシェルナノワイヤへの電極形成プロセスについても実験を行い、より高い変換効率を出せるプロセスを確立する。また、Si ナノ結晶への不純物ドーピングを行い、導電性の制御をより精度良く行う。マイクロホール型太陽電池に関しては、これまでの p-Si/n-ZnO ヘテロ構造太陽電池セルの作製技術を応用し、p-Si/n-Si 太陽電池セルの形成、および太陽電池特性の評価を行う。

2. 研究の実施状況

CVD 法を用いて、動径方向内部に pn 接合を持つコアシェル Si ナノワイヤを成長できた。また、通常のテーパレス構造に加えて、自己バンドギャップ変調機能を備えたテーパ構造のコアシェル Si ナノワイヤも成長できた。成長条件を最適化することで、表面での光反射を 5% 以下まで低減することができた。セル形成後の熱処理により、変換効率を向上できることを明らかにできた。Si ナノ結晶に関してはスパッタ法を利用して、作製と不純物ドーピングまで確立できた。ナノ結晶の直径サイズは約 2-10nm の範囲で制御できた。ナノワイヤ型太陽電池に関しては、無電解エッチング法を利用した別の方法も取り入れた。この方法では、無電解エッチング法による Si ナノワイヤの形成および CVD 法による pn 接合の形成も行い、金属汚染を低減した太陽電池の形成を実現できる。太陽電池特性の評価を行った結果、現時点での最大変換効率は約 4% であった。シェル層を有機ポリマーに変えたハイブリッド太陽電池の研究からは、CVD で形成されるシェル層の結晶性を改善することで更なる変換効率の向上が見込めることが分かった。具体的には、無電解エッチング法を利用して n 型 Si ナノワイヤを形成し、その後、p 型ポリマーを利用して pn 接合を形成したハイブリッド型の新規太陽電池の開発を行った。セル形成を最適化することで、現時点までに Si のみからなる太陽電池よりも高い最大変換効率 9.3% を達成できている。一方、マイクロホール型太陽電池に関しては、次年度までの p-Si/n-ZnO ヘテロ構造太陽電池セルの作製技術を利用して n-Si 基板へのマイクロホールの形成および CVD を利用した p-Si 層の形成を行うことで表面にマイクロホールを有する Si の pn 接合を形成し、マイクロホール型の p-Si/n-Si 太陽電池セルの作製を行った。I-V 測定の結果、良好な pn 接合の形成まで確認できている。

3. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 7 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計 7 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. M. Dutta, L. Thirugnanam, K. Sato, and N. Fukata, "Diameter-controlled growth and impurity doping of silver colloid-seeded silicon microwires to nanowires for the realization of solar cell materials" <i>Mater. Exp.</i> 3, 1-7 (2013). 2. X. Zhang and N. Fukata, "Fabrication of Holey Silicon Structures with Inner Radial p-n Junction for Solar Cells", <i>Solid. State. Comm.</i> 156, 76-79 (2013). 3. K. Sato, A. Castaldini, N. Fukata, and A. Cavallini, "Electronic Level Scheme in Boron- and Phosphorus-Doped Silicon Nanowires", <i>Nano Lett.</i> 12 (6), 3012-3017, (2012). 4. N. Fukata, M. Mitome, T. Sekiguchi, Y. Bando, M. Kirkham, J-I. Hong, Z. L. Wang, and R. L. Snyder, "Characterization of Impurity Doping and Stress in Si/Ge and Ge/Si Core-Shell Nanowires", <i>ACS NANO</i> 6(10), 8887-8895 (2012) 5. Dai-Ming Tang, Cui-Lan Ren, Ming-Sheng Wang, Xianlong Wei, Naoyuki Kawamoto, Chang Liu, Yoshio Bando, Masanori Mitome, Naoki Fukata, and Dmitri Golberg, "Mechanical Properties of Si Nanowires as Revealed by in Situ Transmission Electron Microscopy and Molecular Dynamics Simulations", <i>Nano Lett.</i> 12, 1898-1904, (2012). 6. 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> 6(4), 3278-3283, (2012). 7. 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). <p>(掲載済み一査読無し) 計 0 件</p> <p>(未掲載) 計 0 件</p>
<p>会議発表 計 9 件</p>	<p>専門家向け 計 8 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 深田直樹, 滝口亮, 石田慎哉, 横野茂輝, 関口隆史, 村上浩一, シリコンナノワイヤへの不純物ドーピングと不純物の挙動, 名古屋大学, 2012/6/21, シリコン材料・デバイス研究会 (SDM), (招待) 2. Naoki Fukata, Doping and characterization of impurity atoms in Si and Ge nanowires, ラフォーレ修善寺, 2012/7/11-2012/7/13, 第 31 回電子材料シンポジウム(EMS), (招待) 3. 鈴木慶太郎, 横野茂輝, 神永 惇, 深田直樹, 関口隆史, 菱田俊一, 村上浩一, Si+イオン注入による Si ナノワイヤ中への Si ナノ結晶形成・制御, 愛媛大学, 2012/9/11-2012/9/14, 秋季第 72 回応用物理学会学術講演会 4. 神永 惇, 鈴木慶太郎, 深田直樹, 菱田俊一, 関口隆史, 村上浩一, Si ナノワイヤの結晶性回復と不純物の活性化, 愛媛大学, 2012/9/11-2012/9/14, 秋季第 72 回応用物理学会学術講演会 5. Shun Ito, Kenji Hirakuri, Keisuke Sato and Naoki Fukata, Fabrication of nitrogen-doped silicon nanoparticles by reactive RF sputtering, Warsaw (Poland), 2012/9/17-2012/9/21, E-MRS 2012 FALL MEETING 6. Naoki Fukata, Recrystallization and reactivation of dopant atoms in ion implanted silicon nanowires, Berlin (Germany), 2012/9/19-2012/9/21, Nanowires2012, (Invited). 7. Naoki Fukata, Doping and characterization of impurity atoms in Si and Ge nanowires, Hanoi (Bietnam), 2012/10/29-2012/11/2, The 6th International Workshop on Advanced Materials Science, IWAMS2012, (Invited) 8. N. Fukata, M. Mitome, T. Sekiguchi, Y. Bando, M. Kirkham, Jung-il Hong, Zhong Lin Wang, and R. Snyder, Characterization of selective doping and stress in Si/Ge and Ge/Si core-shell nanowires, Boston (USA), 2012/11/26-2012/12/1, 2012 MRS FALL Meeting <p>一般向け 計 1 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 深田直樹, 半導体ナノ構造の機能化による新奇デバイス応用への挑戦, つくば国際会議場, 2013/1/22, SAT テクノロジー・ショーケース 2013

様式19 別紙1

図書 計1件	1. 深田直樹, 「ナノワイヤ最新技術の基礎と応用展開」の第2編第2章ドーピングを執筆担当, シーエムシー出版, pp127-136, 全ページ241, 2013年
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, 2012/4/18, 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, 2013/1/30-2013/2/1, 東京ビックサイト, 一般市民(企業の方中心), Nanotech2013
新聞・一般雑誌等掲載 計1件	1. 日刊工業新聞, 2012年5月28日掲載, 『ナノワイヤ太陽電池』
その他	1. 日刊工業新聞社 J-NET21, 2012年12月7日から掲載, 第20回 大幅な性能向上の可能性を秘める太陽電池用シリコンナノワイヤ

4. その他特記事項

- 2013年1月22日 SAT テクノロジー・ショーケース「ベスト新分野開拓賞」(Best Presentation Award for Opening New Frontier)
- 2012年5月9日 The 8th International Nanotechnology Conference (INC), Japan Nano Day Best Poster Award 「Segregation behaviors and radial distribution of dopant atoms in silicon nanowires」(Tsukuba, Japan)

実施状況報告書(平成24年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されず

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	24,410,000	22,030,000	0
間接経費	26,100,000	12,168,000	7,323,000	6,609,000	0
合計	113,100,000	52,728,000	31,733,000	28,639,000	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	2,072,264	24,410,000	0	26,482,264	22,510,522	3,971,742	0
間接経費	0	7,323,000	0	7,323,000	7,323,000	0	0
合計	2,072,264	31,733,000	0	33,805,264	29,833,522	3,971,742	0

3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	5,403,214	Low Voltage Source Meter等
旅費	702,487	研究成果発表旅費(MRS Fall Meeting参加)等
謝金・人件費等	16,223,207	人件費(研究業務員、ポスドク研究員)
その他	181,614	学会参加費、英文校閲等
直接経費計	22,510,522	
間接経費計	7,323,000	
合計	29,833,522	

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
				0		
				0		
				0		