

課題番号	GR040
------	-------

**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 25 年度)**

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	シリコンインクを用いた低コスト量子ドット太陽電池の開発
研究機関・ 部局・職名	東京工業大学・大学院理工学研究科・教授
氏名	野崎 智洋

1. 当該年度の研究目的

- ・ リン (P) をドーピングしたn型SiQDを用いてハイブリッド太陽電池を開発する。ただし、当研究室ではホスフィン (PH<sub>3</sub>) などの毒性物質を利用できる環境がないため、SiQDのドーピングは浙江大学との共同研究により実施する。
- ・ ドープしたSiQDは有機溶媒に対する可溶性が大きく変化するため、当研究室においてSiQDの表面水素修飾を実施し、有機溶媒への可溶性および半導体ポリマーとの混和性を改善しつつ、開放電圧の増大に必要なドープ量を調査する。
- ・ SiQDのダウンサイズにより半導体ポリマーとの混和性を改善し、バルクヘテロジャンクション (BHJ) 構造の最適化を図る。有機太陽電池で多用されるフラーレン誘導体の大きさは1nm～1.5nmであり、2nmのSiQDはBHJ構造の最適化においても好ましく、短絡電流とともに曲線因子も増大することが期待できる。

2. 研究の実施状況

結晶サイズが小さくなるほど SiQD の収率が低下するため、3nm の SiQD を合成し、エッチングにより 2nm までダウンサイズする手法を採用した。2nm まで小さくすることで SiQD のバンドギャップが広がり、太陽電池の開放電圧が上昇することを確認した。しかし、結晶サイズが小さくなるほど表面のパッシベーションが困難となり、短絡電流が低下した。一方、SiQD をエッチングする過程において、水素によって表面ドープできることを見出した。これにより、真性シリコンでも n 型半導体として機能させることができる。その結果、約 6nm の SiQD とポリマーをブレンドしたハイブリッド太陽電池で変換効率 3.6%を達成した。リンをドープすることで物性を能動的に制御すること試みた。リンは SiQD の表面に選択に存在する。一方、ボロンはナノ結晶の中心部にまで入り込み活性化されることを見出した。SiQD はシリコン原子が約 10000 個程度で構成されている。したがって、1 個のドーパントでも 10<sup>-2</sup>%の濃度となり、ドープ量としては過剰である。リンをドープすることで高い変換効率を得たが、変換効率は 1%~6%まで大きく変動し、再現性に課題が残った。「1粒子1ドーパント」を実現する、精密なドーピング技術が必要であることが明らかとなった。太陽電池開発とともに、超精密ドーピングを実現するためのプラズマ CVD の開発が必要である。

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2件</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>山田陸, Ryan Gresback, 丁毅, 岡崎健, <b>野崎智洋</b>: プラズマ CVD によるシリコンナノ粒子合成: 収率, 粒径分布, 結晶性の最適化, 機械学会論文集 B, <b>79(804), 221-228</b>, 2013</li> <li>Y Ding, R Gresback, R Yamada, K Okazaki, <b>T Nozaki</b>: Hybrid silicon nanocrystal/P3HT solar cells from a chlorinated silicon precursor, <i>Japanese Journal of Applied Physics</i>, <b>52</b>, 11NM04(5pp), 2013.</li> </ol> <p>(掲載済み一査読無し) 計0件</p> <p>(未掲載一査読有り) 計2件</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>R Gresback, Nicolaas Kramer, Y Ding, Ting Chen, U Kortshagen, <b>T Nozaki</b>: Controlled Doping of Silicon Nanocrystals Investigated by Solution-Processed Field Effect Transistors, <i>ACS Nano</i>, in press, 2014. <a href="http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/nn500182b">http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/nn500182b</a></li> <li><b>野崎智洋</b>, Yi Ding, Ryan Gresback, Shu Zhou, 菅谷通弘: シリコンナノ粒子を用いたバルクヘテロジャンクション太陽電池の開発, 熱物性, <b>accepted</b>, 2014</li> </ol>
<p>会議発表 計13件</p>	<p>専門家向け 計12件</p> <p>招待講演</p> <ol style="list-style-type: none"> <li><b>T Nozaki</b>: Plasma synthesis of silicon nanocrystals: application to organic/inorganic photovoltaics through solution processing, THERMEC'2013 (Int Conf on Processing &amp; Manufacturing of Adv. Mater. Processing, Fabrication, Properties, Applications), Las Vegas, USA, 2-6 December 2013.</li> </ol> <p>国際会議</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>S Zhou, D Yan, <b>T Nozaki</b>, XD Pi, Non-thermal plasma synthesis of hyperdoped silicon nanocrystals, 6th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials / 7th International Conference on Plasma-Nano Technology &amp; Science (ISPlasma2014 / IC-PLANTS2014), Meijo University, March 2-6, 2014. <b>Oral</b></li> <li><b>T Nozaki</b>, Y Ding, R Gresback: Plasma synthesis of silicon inks and application to printable hybrid solar cell, Japan-Korea Joint Seminar on Heat Transfer VII, Kyushu Univ., November 17-19 2013. <b>Oral</b></li> <li>Y Ding, R Gresback, <b>T Nozaki</b>: Further performance enhancement of hybrid Si-nanocrystal/P3HT solar cells through hydrofluoric acid vapor treatment, Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-23), Taipei, 10/28-11/1, 2013. <b>Oral</b></li> <li><b>T Nozaki</b>, Y Ding, K Okazaki, R Gresback, R Yamada: Controlled oxidation of Cl-terminated silicon nanocrystals towards organic/inorganic PVs, 21st Int. Symposium on Plasma Chemistry, Cairns, Australia, 4-9 Aug., 2013. <b>Poster</b></li> <li>Y Ding, R Gresback, <b>T Nozaki</b>: Performance enhancement of hybrid Si-nanocrystal/P3HT solar cells through hydrofluoric acid vapor treatment, 35th International Symposium on Dry Process, Jeju, Korea, 29-30 August, 2013. <b>Oral</b></li> <li><b>T Nozaki</b>, Y Ding, R Gresback: Organic/inorganic solar cells using size-tunable free-standing silicon nanocrystals, 7th International Conference on Materials for Advanced Technologies (ICMAT2013), SunTec, Singapore, 30 June-5 July 2013. <b>Oral</b></li> <li>I Dogan, R Gresback, <b>T Nozaki</b>, Mauritius C M van de Sanden: Quantitative Analysis of Size Distribution and Surface Chemistry of Silicon Nanocrystals by Using Raman Spectroscopy: MRS Spring Meeting, San Francisco, CA, 1-5 Apr., 2013. <b>Oral</b></li> </ol> <p>国内学会</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Y Ding, S Zhou, M Sugaya, <b>T Nozaki</b>: Performance promotion of silicon nanocrystal and conjugated polymer hybrid solar cells, 第61回応用物理学会春季学術講演会, 青山学院大学, 2014年3月17-20日</li> </ol>

様式19 別紙1

	<p>10. 船木健伍, 近藤信啓, 宇佐美浩一, 小寺哲夫, 河野行雄, <b>野崎智洋</b>, 小田俊理: シリコンナノ結晶と P3HT の複合体における光伝導特性評価, 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会, 同志社大学, 2013 年 9 月 16-20 日</p> <p>11. Y Ding, R Gresback, <b>野崎智洋</b>: Development of Si-nanocrystals/P3HT blended BHJ-type solar cell, 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会, 同志社大学, 2013 年 9 月 16-20 日</p> <p>12. <b>野崎智洋</b>, 丁毅, Ryan Gresback: シリコンナノ粒子を用いた有機・無機ハイブリッド太陽電池の開発, 第 18 回動力・エネルギー技術シンポジウム, 千葉大学 (けやき会館), 2013 年 6 月 20-21 日</p> <p>一般向け 計1件</p> <p>13. <b>野崎智洋</b>: SRATC ワークショップ 2013, 横浜, 2013 年 9 月 12 日</p>
<p>図書</p> <p>計0件</p>	
<p>産業財産権 出願・取得状 況</p> <p>計0件</p>	<p>(取得済み) 計0件</p> <p>(出願中) 計0件</p>
<p>Webページ (URL)</p>	<p>野崎研究室ホームページ <a href="http://www.nano-silicon.com/ats/">http://www.nano-silicon.com/ats/</a></p>
<p>国民との科 学・技術対話 の実施状況</p>	<p>1. 「シリコンインクが拓く太陽電池研究の最前線」 2013 年 9 月 4 日 東京工業大学 田町キャンパスイノベーションセンター (4 階・410 号室) 対象: 一般向け公開講演会 (参加者 53 名) アンケート調査: 実施</p> <p>2. 第 3 回特別講演「低炭素社会に向けたエネルギー技術」 2013 年 12 月 20 日 香川高専 (香川県・勅使) 対象: 機械工学科, 機械電子工学科の 3 年生 (参加者: 約 80 名) アンケート調査: 実施</p>
<p>新聞・一般雑 誌等掲載 計1件</p>	<p>1. <b>野崎智洋</b>: 大気圧プラズマとその応用, ケミカルエンジニアリング, <b>58</b>(12), 887-891, 2013</p>
<p>その他</p>	

4. その他特記事項

平成 25 年 10 月 16 日 東京工業大学工系創成的研究賞 受賞

実施状況報告書(平成25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す

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	130,000,000	103,400,000	26,600,000	0	0
間接経費	39,000,000	31,020,000	7,980,000	0	0
合計	169,000,000	134,420,000	34,580,000	0	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	4,048,648	26,600,000	0	30,648,648	30,648,648	0	0
間接経費	0	7,980,000	0	7,980,000	7,980,000	0	0
合計	4,048,648	34,580,000	0	38,628,648	38,628,648	0	0

3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	14,075,678	シリコンク及びシリコン量子ドット太陽電池開発システム
旅費	2,882,171	研究に関わる旅費
謝金・人件費等	11,813,340	研究に関わる事務員の人件費
その他	1,877,459	学会参加費、学内分析機器利用料等
直接経費計	30,648,648	
間接経費計	7,980,000	
合計	38,628,648	

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
真空蒸着装置	アルバック機工 機製 VPC-410	1	2,100,000	2,100,000	2013/4/25	東京工業大学
グローブボックス用 水分計		1	735,000	735,000	2013/7/4	東京工業大学
半導体レーザー	アイリックス(株) 製・DL532-50S	1	1,365,000	1,365,000	2013/9/20	東京工業大学
スクラバ背面組込 型ドラフトチャン パー	機ダルトン製・ DFV-21VK- 12CAT	1	2,992,500	2,992,500	2013/9/27	東京工業大学
半導体評価システ ム(4200-SCS) 用CV測定モジュー ル	ケースレーインス ツルメンツ社製・ 4210-CVU	1	1,386,000	1,386,000	2014/2/10	東京工業大学