

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 24 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

シリコン量子ドットの光学物性評価およびシリコン量子ドット太陽電池の開発:シリコン量子ドット太陽電池で高効率発電が期待される最も重要なメカニズムの一つである,結晶サイズに依存した光(可視光)吸収波長のチューニングの実現可能性について,光学物性を明らかにすることを目的に研究を実施した。その結果を踏まえ,量子ドット太陽電池のプロトタイプとなるショットキー・バリア太陽電池,さらにシリコン量子ドットとドナー分子(p型半導体ポリマー)をブレンドした有機・無機ハイブリッド太陽電池を開発した。

2. 研究の実施状況

発電効率40%~60%が期待されるとして,異なるサイズのシリコン量子ドット(Si QD)を積層したオールシリコン・タンデムセルが提案された。しかし,「結晶サイズに依存した光吸収のチューニングが,間接遷移半導体であるシリコンでも実現可能か」という最も本質的な課題に取り組んだ研究は少ない。本研究では,高効率太陽電池の実現において最も本質的で重要な課題に挑戦し,そのメカニズムを科学的に解明した。具体的には,4nm~16nm±1.5nmのSi QDを作り分け光吸収特性を調べた。その結果,紫外線領域では結晶サイズに依存した光吸収波長シフトが明確に観察されたが(紫外線吸収による多重励起子生成を支持する結果),可視光領域では,光吸収波長の結晶サイズ依存性が極めて小さいことを明らかにした。さらに,オールシリコン・タンデムセルの主構成要素となる,Si QDを用いたショットキー・バリア太陽電池を開発した。開発にはシリコンインクを塗布する方法のほか,有機溶媒を一切用いないインパクト法によりSi QDを高密度に積層・薄膜化する方法も検討した。しかし,ショットキー・バリア太陽電池の発電効率は1%を大きく下回る結果となった。励起子の寿命計測などから種々の要因が考えられるが,これは,シリコン量子ドット太陽電池研究に一石を投じる重要な研究成果であり,今後,オールシリコン・タンデムセルではなく,実現可能性の高い低コストなシリコン量子ドット太陽電池を目指した研究が,本研究課題の成果に基づき推進されると期待される。これら一連の成果を鑑み,有機・無機ハイブリッド太陽電池の開発も同時に実施した。現在,アクセプター分子には主にフラーレン誘導体が用いられるが,キャリア易動度,溶媒との可溶性などの点でドナー分子より開発が遅れており,材料のレパトリーも多くない。そこで,有機系材料よりキャリア易動度の大きいSi QDをアクセプターとして用い,p型半導体ポリマー(P3HT)とブレンドしたバルクヘテロジャンクション構造を有する太陽電池を開発した。溶媒との可溶性,半導体ポリマーとの混和性に課題が残るものの,Si QD(6nm)とドナー分子が重量比で50~60%の範囲にある場合に最も高い発電特性を示した(PCE=0.13%)。量子ドットのブレンド方法によって発電効率は改善する傾向を示すも,再現性の問題があり,現状では発電効率0.1%オーダーと判断するのが妥当である。以上より,シリコンインクがSi QDを用いた太陽電池研究のスピードアップを可能とする有効な手段であることを証明すると同時に,適切な材料の組み合わせによって発電効率が大幅に向上することを示した。

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2件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. R Gresback, Y Murakami, Y Ding, R Yamada, K Okazaki, T Nozaki: Extinction cross section of silicon nanocrystals: size and oxidation dependence of direct transition, <i>Langmuir</i>, 29(6), 1802-1807, 2013. 2. T Nozaki, S Yoshida, K Okazaki: Plasma-induced damage and surface functionalization of carbon nanotubes using atmospheric pressure RF discharge, <i>Plasma Processes and Polymers</i>, 9, 1154-1159, 2012. <p>(掲載済み一査読無し) 計0件</p> <p>(未掲載) 計2件</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. Y Ding, R Gresback, R Yamada, K Okazaki, T Nozaki: Hybrid silicon nanocrystal/P3HT solar cells from a chlorinated silicon precursor, <i>Jpn Journal of Applied Physics</i>, 査読中 (minor revision) 2013/June. 4. 山田陸, Ryan Gresback, 丁毅, 岡崎健, 野崎智洋: 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, <i>機械学会論文集 B</i>, 2013 (掲載決定)
<p>会議発表 計18件</p>	<p>専門家向け 計12件</p> <p>招待講演</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 野崎智洋: シリコンインクの開発と有機・無機ハイブリッド太陽電池への応用, 第156回応用物理学会シリコンテクノロジー分科会研究会, 東京大学 (本郷キャンパス), 2013年2月15日 2. 野崎智洋: シリコンインクと量子ドット太陽電池の開発, 第12回 プラズマエレクトロニクス新領域研究会 (応用物理学会主催), 東京大学 (本郷キャンパス), 2012年12月11日. 3. T Nozaki, R Gresback, R Yamada and K Okazaki: Silicon Nanocrystal Thin Films: Application to Quantum-dot Photovoltaics, International Union of Materials Research Societies/International Conference of Electronic Materials (IUMRS-ICEM) 2012, Sep 23-28, 2012, Yokohama, Japan. <p>国際会議</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. Y Ding, R Gresback, K Okazaki, T Nozaki: Plasma synthesis of silicon quantum dots and application to organic/inorganic hybrid photovoltaics, Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-22), Hangzhou, China, 5-9 Nov., 2012. Oral 5. R Gresback, R Yamada, K Okazaki, T Nozaki: Ligand-free silicon nanocrystal inks applied to Schottky solar cells, MRS Spring Meeting, San Francisco, California, April 9-13, 2012. Poster <p>国内会議</p> <ol style="list-style-type: none"> 6. 野崎智洋, R Gresback, Y Ding, 岡崎健: シリコン量子ドットを用いた有機・無機ハイブリッド太陽電池の開発, 第4回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 北九州国際会議場, 2012年10月22-24日. 7. 山田陸, R Gresback, Y Ding, 前菌圭佑, 岡崎健, 野崎智洋: インフライトプラズマ CVD によるシリコン量子ドット合成及び薄膜形成への応用, 熱工学コンファレンス, 熊本大学, 2012年11月17-18日. 8. 岡田健, 山本和弥, 園田達彦, 山根大和, 山田憲二, 野崎智洋: 有機薄膜太陽電池における BHJ 活性層への増感量子ドットの導入効果, 2012年日本化学会西日本大会, 佐賀大学, 2012年11月10-11日. 9. Y Ding, R Gresback, K Okazaki, T Nozaki: Enhancing P3HT/PCBM solar cell efficiency by employing silicon quantum dots, 2012年秋季第73回応用物理学会学術講演会, 松山大学, 2012年9月11-14日. 10. R Gresback, R Yamada, Y Ding, I Dogan, K Okazaki, T Nozaki: Electronic Properties of Silicon Nanocrystal Thin-Films, 2012年秋季第73回応用物理学会学術講演会, 松山大学, 2012年9月11-14日. 11. 山田陸, R Gresback, Y Ding, I Dogan, 岡崎健, 野崎智洋: シリコンインクを用いたシリコン量子ドット薄膜の作製, 2012年秋季第73回応用物理学会学術講演会, 松山大学, 2012年9月11-14日. 12. 山田陸, R Gresback, 岡崎健, 野崎智洋: インフライトプラズマ CVD によるシリコン量子ドット合成: 収量及び粒径分布計測, 第49回日本伝熱シンポジウム, 富山, 2012年5月30日-6月1日.

様式19 別紙1

	<p>一般向け 計6件</p> <p>13. T Nozaki: Green Innovation Session, Advanced Plasma Nanotechnology towards Green Innovation, 5th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials, Nagoya, 28 Jan - 1 Feb, 2013.</p> <p>14. 野崎智洋: 大気圧プラズマとその応用, 第23回プラズマエレクトロニクス講習会, 東京大学浅野キャンパス, 2012年11月14日</p> <p>15. T Nozaki: Plasma fuel reforming: fundamentals and applications, European Plasma Summer School & Master Class (the Ruhr University Bochum (Germany) and the Eindhoven University of Technology (Netherlands)), Physikzentrum, Ban Hoff, Germany, Oct 12-13, 2012.</p> <p>16. 野崎智洋: シリコンインクが拓く太陽電池研究の最前線, 「やまと市民大学講座: エネルギー源と環境を考える」, 東京工業大学大岡山キャンパス, 2012年8月10日</p> <p>17. 野崎智洋: 太陽光発電と低炭素社会, 「高校生・一般向け公開講演会(東京工業大学主催)」, 神奈川県大和市(大和市生涯学習センター), 2012年7月14日</p> <p>18. 野崎智洋: 低炭素社会に向けたエネルギー技術, 「香川高専における出張講義」, 香川県勅使町香川高専, 2012年12月7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>本プロジェクトのページ http://www.nano-silicon.com/</p>
<p>国民との科 学・技術対話 の実施状況</p>	<p>① 「高校生・一般向け公開講演会(東京工業大学主催)」, 講演タイトル: シリコンインクが拓く太陽電池研究の最前線, 対象: 中高生を主とする一般市民(参加者 79名), 東京工業大学大岡山キャンパス・平成24年8月10日。アンケート実施。</p> <p>② 「やまと市民大学講座: エネルギー源と環境を考える」, 講演タイトル: 太陽光発電と低炭素社会, 対象: 大和市民(参加者 61名), 神奈川県大和市(大和市生涯学習センター)・平成24年7月14日。アンケート実施。</p> <p>③ 「香川高専における出張講義」, 講演タイトル: 低炭素社会に向けたエネルギー技術, 対象: 機械系および電気系3年生(参加者 121名), 香川県勅使町香川高専・平成24年12月7日。アンケート実施。</p>
<p>新聞・一般雑 誌等掲載 計0件</p>	
<p>その他</p>	

4. その他特記事項

該当なし

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	46,000,000	57,400,000	26,600,000	0
間接経費	39,000,000	13,800,000	17,220,000	7,980,000	0
合計	169,000,000	59,800,000	74,620,000	34,580,000	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	4,377,353	57,400,000	0	61,777,353	57,728,705	4,048,648	0
間接経費	0	17,220,000	0	17,220,000	17,220,000	0	0
合計	4,377,353	74,620,000	0	78,997,353	74,948,705	4,048,648	0

3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	41,745,692	シリコンインク及びシリコン量子ドット太陽電池開発システム一式等
旅費	5,422,987	研究に係る旅費
謝金・人件費等	9,500,737	研究に係る事務員の人件費
その他	1,059,289	学会参加費、学内分析機器利用料等
直接経費計	57,728,705	
間接経費計	17,220,000	
合計	74,948,705	

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
電界放出形走査電子顕微鏡	日本電子(株)	1	33,579,000	33,579,000	2012/5/7	東京工業大学
半導体特性評価システム	Keithley Instruments Inc.	1	3,911,922	3,911,922	2012/6/29	東京工業大学
試料搬送機構	北野精機(株)	1	2,782,500	2,782,500	2012/6/29	東京工業大学