

## 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) 実績報告書

本様式の内容は一般に公表されません

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. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

2. 収支の状況

(単位:円)

	交付決定額	交付を受けた額	利息等収入額	収入額合計	執行額	未執行額	既返還額
直接経費	130,000,000	130,000,000	0	130,000,000	130,000,000	0	0
間接経費	39,000,000	39,000,000	0	39,000,000	39,000,000	0	0
合計	169,000,000	169,000,000	0	169,000,000	169,000,000	0	0

3. 執行額内訳

(単位:円)

費目	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度	合計
物品費	0	36,961,253	41,745,692	14,075,678	92,782,623
旅費	0	1,741,351	5,422,987	2,882,171	10,046,509
謝金・人件費等	0	1,246,108	9,500,737	11,813,340	22,560,185
その他	400,050	1,273,885	1,059,289	1,877,459	4,610,683
直接経費計	400,050	41,222,597	57,728,705	30,648,648	130,000,000
間接経費計	120,015	13,679,985	17,220,000	7,980,000	39,000,000
合計	520,065	54,902,582	74,948,705	38,628,648	169,000,000

4. 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
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	美和製作所製	1	22,942,500	22,942,500	2011/7/11	東京工業大学
スピコーター	押鐘社製	1	808,500	808,500	2011/7/13	東京工業大学
プラズマ発生装置	北野精機株式会社	1	2,075,850	2,075,850	2011/10/11	東京工業大学
I-Vカーブトレーサ	英弘精機社製	1	1,928,850	1,928,850	2011/10/14	東京工業大学
ソーラシミュレータ	朝日分光社製	1	2,182,950	2,182,950	2011/10/28	東京工業大学
モノクロメーター	朝日分光社製	1	997,668	997,668	2012/2/24	東京工業大学
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	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
真空蒸着装置	アルバック機工(株)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	(株)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	ケースレーインズツルメンツ社製・4210-CVU	1	1,386,000	1,386,000	2014/2/10	東京工業大学

5. 研究成果の概要

結晶サイズが異なるシリコン量子ドット(SiQD) (10nm以下)を合成し、これを電子受容体として用いる有機無機ハイブリッド太陽電池を開発した。可視光の吸収は半導体ポリマーが担い、SiQDは400nmより短波長の光を吸収してキャリアを生成する。厚さが約100nmのポリマー薄膜の中にSiQDが規則的に分散したバルクヘテロジャンクション構造を形成することでキャリアの分離を促進し、さらにSiQDは電子の輸送経路を与えることで、模擬太陽光(1SUN)の照射により変換効率3.6%を得た。さらに、SiQDのドーピング機構を解明し、さらなる高効率化に向けた指針を明らかにした。シリコンは豊富で無害な資源であることから、低コスト高効率太陽電池の大量導入を実現するうえで、SiQDは主要な役割を担う材料としてグリーンイノベーションへの貢献が期待される。

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) 研究成果報告書

本様式の内容は一般に公表されます
------------------

研究課題名 (下段英語表記)	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
	Development of low-cost quantum dot photovoltaics with silicon inks
研究機関・部局・ 職名 (下段英語表記)	東京工業大学・大学院理工学研究科・教授
	Tokyo Institute of Technology, Graduate School of Science and Engineering, Professor
氏名 (下段英語表記)	野崎智洋
	Nozaki Tomohiro

### 研究成果の概要

(和文) 結晶サイズが異なるシリコン量子ドット(SiQD) (10nm 以下)を合成し、これを電子受容体として用いる有機無機ハイブリッド太陽電池を開発した。可視光の吸収は半導体ポリマーが担い、SiQD は 400nm より短波長の光を吸収してキャリアを生成する。厚さが約 100nm のポリマー薄膜の中に SiQD が規則的に分散したバルクヘテロジャンクション構造を形成することでキャリアの分離を促進し、さらに SiQD は電子の輸送経路を与えることで、模擬太陽光(1SUN)の照射により変換効率 3.6%を得た。さらに、SiQD のドーピング機構を解明し、さらなる高効率化に向けた指針を明らかにした。シリコンは豊富で無害な資源であることから、低コスト高効率太陽電池の大量導入を実現するうえで、SiQD は主要な役割を担う材料としてグリーンイノベーションへの貢献が期待される。

(英文):

Silicon quantum dots (SiQDs) have unique optical and electronic properties that are advantageous for next generation solar cells. Freestanding SiQDs were synthesized by a non-thermal plasma using silicon tetrachloride (SiCl<sub>4</sub>) as a silicon precursor. Blended solutions of SiQD and semiconductor polymer (P3HT, PTB7) were fabricated by spin-casting to form bulk-heterojunction devices. SiQDs are almost uniformly distributed in a 100nm-thick polymer matrix which enhance the dissociation of photo-generated carriers. Also SiQD network provides electron transport pathways, resulting in 3.6% power conversion efficiency under 1 SUN. Photo-generated current, fill factors, and especially open

## 様式21

circuit voltage is expected to increase with surface doping by hydrogen. Moreover, intentional volumetric doping with impurity further enhances optical and electrical properties of SiQDs. Silicon is earth-abundant and non-toxic material; therefore, it greatly contribute future renewable power supply.

### 1. 執行金額 169,000,000 円

(うち、直接経費 130,000,000 円、 間接経費 39,000,000 円)

### 2. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

### 3. 研究目的

#### (1) 背景

InP, CdSe など、化合物半導体量子ドットを用いた次世代太陽電池の開発が大きく進展した。しかし、原材料の希少性や毒性など、社会受容性の観点から産業化が難航すると予想される。他方、太陽電池の基幹材料であるシリコンでも量子サイズ効果による多重励起子生成が確認されたことが契機となり、シリコン量子ドット太陽電池の開発が注目されている。しかし、シリコン量子ドットで多重励起子生成が可能になるのは300nm以下の紫外光を吸収した場合で、実質的な発電効率の向上はいまだ実現されていない。Greenらは結晶サイズが異なるシリコン量子ドットを積層したオールシリコン・タンデムセルを考案し、変換効率40%を達成できると提案している。しかし、結晶サイズが揃ったシリコン量子ドットを合成し、原子レベルで三次元配列させるためのプロセス技術はまだ開発されていない。

#### (2) 目的

次世代の高効率太陽電池を実現するためには、社会受容性(原材料の希少性や毒性)に配慮しつつ、太陽電池の効率向上と大幅なコスト削減を同時に達成しなければならない。本提案では、次世代高効率太陽電池に不可欠となる、サイズの揃ったシリコン量子ドット(以下 SiQD)を大量合成するための新規なプラズマ CVD 法を開発する。さらに、SiQD を有機溶媒に均一に分散させたシリコンインクを開発し、印刷技術で高効率太陽電池を低コストで製造するための基盤技術を確立する。これにより、旧来の高真空ドライプロセスでは対応できない量産性、コストダウン、自由度の高い太陽電池開発を可能とし、発電効率40%を実現するシリコン量子ドット太陽電池のプロトタイプを開発する。このために以下の課題に取り組む。

#### ①製造コストの大幅削減:革新的プラズマプロセスの開発

安価な四塩化ケイ素(SiCl<sub>4</sub>)を原料として用い、シリコン量子ドットを気相で連続合成する革新的プラズマ CVD 法を開発する。本提案では、シリコン量子ドットのサイズ分布制御と生産性向上の観点からプロセスの高度化を図る。

#### ②シリコンインクの開発

## 様式21

表面を安定化(パッシベーション)させたシリコン量子ドットのコロイド溶液, すなわちシリコンインクを開発し, 自己組織化等を利用して積層・薄膜化するプロセスを開発する。高温熱処理や高真空プロセスを必要とせず, 印刷技術を用いてシリコン量子ドットを薄膜化できるため, 製造コストの革新的な低減において必須の技術となる。

### ③光吸収波長の選択

Green によって提案されたオールシリコン・タンデムセルの実現可能性を検証するために, 平均結晶サイズが異なる(10nm 以下)の SiQD を合成し, 分光吸収特性を定量的に評価する。さらに, SiQD 薄膜を用いたショットキーバリア太陽電池を開発し, SiQD のサイズなどによって光吸収波長を紫外から近赤外の間でチューニングできることを検証する。

### ④シリコン量子ドット太陽電池の開発

オールシリコン・タンデムセルの開発及び検証と並行して, SiQD 太陽電池に必要な新しいアーキテクチャーを検証する。具体的には, SiQD をアクセプターとして用いる有機無機ハイブリッドチア用電池を開発する。

## 4. 研究計画・方法

### (1)製造コストの大幅削減: 革新的プラズマプロセスの開発

これまでの研究で開発していたインフライトプラズマ CVD 装置のスケールアップを行った。これにより, SiQD の収率 1000mg/h 以上を得る。

### (2)シリコンインクの開発

SiQD を有機溶媒に分散させたシリコンインクを合成する。長時間安定にコロイドとして存在する有機溶媒の選定と, SiQD の物性におよぼす影響を明らかにする。さらに, スピンコーティングによって均一な薄膜に加工するためのプロセスを開発する。

### (3)及び(4)光吸収波長の選択、シリコン量子ドット太陽電池の開発

窒素置換したガス循環精製機付きグローブボックス, 真空蒸着装置, ソーラーシミュレーターを導入し, 太陽電池の開発及び発電特性評価を一貫して実施するためのシステムを立ち上げる。さらに, ショットキー・バリア太陽電池、ハイブリッド太陽電池の太陽電池開発を行う。

## 5. 研究成果・波及効果

### (1)研究成果

#### ①製造コストの大幅削減: 革新的プラズマプロセスの開発、および②シリコンインクの開発

- ・ これまでの収量(100mg/h)に対し, 1 桁以上大きい 2000mg/h を得る大容量化に対応した新しいプラズマ反応システムを開発した。これにより, 粒径 3nm~15nm, 結晶/アモルファスのシリコンナノ粒子を作り分け, シリコンインクを製作することが可能となった。
- ・ シリコンインクをスピコートすることで SiQD のモノレイヤー(1層の薄膜)を制作し, 粒径分布を原子間力顕微鏡で評価するための手法を確立した。さらに, SiQD を積層した(1層~5層)薄膜に対してラマン分光分析を適用し, 結晶性を評価することを可能にした。

②光吸収波長の選択

- ・ SiQD を用いた太陽電池研究のほとんどが、「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本当に実現可能か」という最も本質的な課題に取り組んでいない。我々は、高効率太陽電池を実現するうえで最も本質的で重要な課題に取り組む、ショットキーバリア太陽電池の開発と並行して光吸収特性を詳細に調べ、そのメカニズムを科学的に解明した。紫外領域ではシリコンの直接遷移による光吸収波長のチューニングは明確に観察されたが(多重励起子生成を支持する結果)、可視光領域では、光吸収が弱くサイズ依存性がほとんどないことを明らかにした。これは、今後の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、実現可能性の高いシリコン量子ドット太陽電池を目指した研究が、我々の研究成果に基づき推進されることが期待される。

③シリコン量子ドット太陽電池の開発

- ・ SiQD の光吸収特性に関して、当初の研究計画を1年前倒しで重要な知見を得たため(5-(1)-②参照)、予定通り研究計画を見直し、当初予定していたインパクト法(気相合成法)による SiQD の薄膜化ではなく、有機無機ハイブリッド太陽電池の開発に専念した。SiQD は可視光をほとんど吸収しないため、ショットキー・バリア太陽電池の発電効率は 0.001%程度に留まる (S. Huang and G. Conibeer: *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **46** (2013) 024003)。しかし、有機無機ハイブリッド太陽電池の実現により効率 3.6%を達成した。シリコン量子ドット太陽電池では最も高い変換効率である。
- ・ シリコン量子ドット太陽電池開発の課題を明確にすべく、今まで手付かずであった光吸収特性を科学的に解明し、適切と思われる太陽電池構造として有機無機ハイブリッド太陽電池へ迅速に展開を図り、短期間でこれを実現した。このことから、①シリコンインクがシリコン量子ドットに関わる太陽電池研究のスピードアップを可能とする極めて有効な手段であることを証明しており、②ハイブリッド太陽電池をトップセルとして用いるタンデム化により、効率 10%を超える太陽電池の実現可能性が示唆している。

(2)波及効果

- ・ 次世代太陽電池の高効率化、低コスト化、および早期実現を加速し、CO<sub>2</sub> 排出量抑制など環境・エネルギー問題に直接的に貢献する。
- ・ 太陽電池以外の分野への貢献: ナノ結晶シリコンは熱電発電デバイスやバイオイメージングにも有望な先進材料として期待されており、現在までに複数の研究機関から問い合わせを受けサンプルを提供している。
- ・ シリコンは無害かつ豊富な資源であるだけでなく、エレクトロニクスを支える基幹材料である。シリコンインクを用いれば、材料を変えずに量子ナノ構造を付与した付加価値の高いデバイスを低コストで提供できる。

6. 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6件</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. R Gresback, <b>T Nozaki</b>, K Okazaki: Synthesis of luminescent silicon nanocrystals from silicon tetrachloride by very-high-frequency plasma, <i>Nanotechnology</i>, <b>22</b>, 305605(7pp), 2011.</li> <li>2. <b>T Nozaki</b>, S Yoshida, K Okazaki: Plasma-induced damage and surface functionalization of carbon nanotubes using atmospheric pressure RF discharge, <i>Plasma Processes and Polymers</i>, <b>9</b>, 1154–1159, 2012.</li> <li>3. 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> <li>4. R Gresback, Y Murakami, Y Ding, R Yamada, K Okazaki, <b>T Nozaki</b>: Extinction cross section of silicon nanocrystals: size and oxidation dependence of direct transition, <i>Langmuir</i>, <b>29</b>(6), 1802-1807, 2013.</li> <li>5. 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, <i>機械学会論文集 B</i>, <b>79</b>(804), 221-228, 2013.</li> <li>6. 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> </ol> <p>(掲載済み一査読無し) 計0件</p> <p>(未掲載) 1件</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>7. <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, accepted 2014/May</li> </ol>
<p>会議発表 計50件</p>	<p>専門家向け 計43件</p> <p>招待講演</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>野崎智洋</b>: シリコン量子ドットによる太陽電池研究, 東北大学通研共同プロジェクト微粒子研究会, 仙台市, 2011年9月3-4日.</li> <li>2. <b>野崎智洋</b>, Ryan Gresback, 山田陸, 岡崎健: 次世代太陽電池の早期実現に向けたシリコンインクの開発, 第24回プラズマ材料科学シンポジウム, 大阪大学, 2011年7月19-20日.</li> <li>3. <b>T Nozaki</b>: Plasma synthesis of size-tunable silicon nanocrystals towards next generation photovoltaics, The 8th Asian-European Int Conf on Plasma Surface Engineering, Dalian, China, 18-21 September, 2011.</li> <li>4. <b>T Nozaki</b>: Plasma synthesis of silicon inks applied to single junction Schottky photovoltaics, The 14th International Workshop on Advanced Plasma Processing and Diagnostics, Kyushu University, 7-8 January, 2012.</li> <li>5. <b>T Nozaki</b>, 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.</li> <li>6. <b>野崎智洋</b>: 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.</li> <li>7. <b>野崎智洋</b>: 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), 2013年2月15日</li> <li>8. <b>T Nozaki</b>: Plasma synthesis of silicon nanocrystals: application to organic/inorganic</li> </ol>

	<p>photovoltaics though solution processing, THERMEC'2013, Las Vegas, USA, 2-6 December 2013.</p> <p><b>国際会議</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>9. R Gresback, R Yamada, <b>T Nozaki</b>, K Okazaki: Optical Properties of Silicon Quantum Dots Photovoltaic and Light-emitting Applications, The 4th International Forum on Multidisciplinary Education and Research for Energy Science, Honolulu, Hawaii, 17-21 December 2011. <b>Oral</b></li> <li>10. R Gresback, Y Murakami, R Yamada, K Okazaki, <b>T Nozaki</b>: Single Particle Spectroscopy of Silicon Nanoparticles, Asian Doctral Innovation Conference, Zhejiang University, Hangzhou, China, November 9-12, 2011. <b>Oral</b></li> <li>11. R Gresback, S Kanegae, <b>T Nozaki</b>, K Okazaki: Nonthermal Plasma Synthesis and Oxidation Mechanisms of Photoluminescent Silicon Nanocrystals from Silicon Tetrachloride, 20th Int. Symp. on Plasma Chemistry, Philadelphia, USA, 24–29 July 2011. <b>Poster</b></li> <li>12. <b>T Nozaki</b>: Plasma synthesis of nano-silicon inks applied to single junction Schottky device, The 3rd International Symposium on Plasma Nanoscience (iPlasmaNano-III), Desaru, Malaysia ,27 Feb-1 Mar, 2012. <b>Oral</b></li> <li>13. Y Ding, R Gresback, K Okazaki, <b>T Nozaki</b>: 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. <b>Oral</b></li> <li>14. R Gresback, R Yamada, K Okazaki, <b>T Nozaki</b>: Ligand-free silicon nanocrystal inks applied to Schottky solar cells, MRS Spring Meeting, San Francisco, California, April 9-13, 2012. <b>Poster</b></li> <li>15. <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>16. 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>17. <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>18. 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>19. <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>20. 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> <li>21. 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> </ol> <p><b>国内会議</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>22. 山田陸, Ryan Gresback, <b>野崎智洋</b>, 岡崎健 : プラズマ CVD によるシリコンインクの合成と物性評価, 第 32 回日本熱物性シンポジウム, 慶応大学, 2011 年 11 月 21 日 – 23 日.</li> <li>23. <b>野崎智洋</b>, グレスバック ライアン, 岡崎健 : インフライトプラズマ CVD によるシリコン量子ドット大量合成, 2011 年日本機械学会年次大会, 東京工業大学, 2011 年 9</li> </ol>
--	---

	<p>月 11-14 日.</p> <p>24. R Gresback, R Yamada, K Okazaki, <b>T Nozaki</b>: Optical Properties of Silicon Quantum Dots Synthesized with a Nonthermal Plasma, 2011 年秋季第 72 回 応用物理学会学術講演会, 山形大学, 2011 年 8 月 29-9 月 2 日.</p> <p>25. 山田陸, Ryan Gresback, 岡崎健, <b>野崎智洋</b>: 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, 第 24 回プラズマ材料科学シンポジウム, 大阪大学, 2011 年 7 月 19-20 日.</p> <p>26. <b>野崎智洋</b>, グレスバック ライアン, 鐘ヶ江俊輔, 岡崎健: 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: 太陽電池への応用, 第 48 回日本伝熱シンポジウム, 岡山コンベンションセンター, 2011 年 6 月 1-3 日.</p> <p>27. R Gresback, S Kanegae, K Okazaki, <b>T Nozaki</b>: Synthesis of Silicon Quantum Dots from Silicon Tetrachloride via Very High Frequency Plasma, 2011 年春季 第 58 回 応用物理学関係連合講演会, 神奈川工科大学, 2011 年 3 月 24-27 日.</p> <p>28. R Yamada, R Gresback, K Okazaki, <b>T Nozaki</b>: プラズマ CVD によるシリコン量子ドット及びシリコンインクの合成, 2012 年春季第 59 回応用物理学関係連合講演会, 早稲田大学, 2012 年 3 月 15-18 日.</p> <p>29. R Gresback, R Yamada, K Okazaki, <b>T Nozaki</b>: Silicon Nanocrystal Thin-Films: Fabrication and Modification of Transport Properties, 2012 年春季第 59 回応用物理学関係連合講演会, 早稲田大学, 2012 年 3 月 15-18 日.</p> <p>30. <b>野崎智洋</b>, 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.</p> <p>31. 山田陸, R Gresback, Y Ding, 前菌圭佑, 岡崎健, <b>野崎智洋</b>: 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.</p> <p>32. 岡田健, 山本和弥, 園田達彦, 山根大和, 山田憲二, <b>野崎智洋</b>: 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.</p> <p>33. Y Ding, R Gresback, K Okazaki, <b>T Nozaki</b>: 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.</p> <p>34. R Gresback, R Yamada, Y Ding, I Dogan, K Okazaki, <b>T Nozaki</b>: 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.</p> <p>35. 山田陸, R Gresback, Y Ding, I Dogan, 岡崎健, <b>野崎智洋</b>: 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.</p> <p>36. 山田陸, R Gresback, 岡崎健, <b>野崎智洋</b>: 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.</p> <p>37. 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>38. 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>39. <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, 2013 年 6 月 20-21 日</p> <p>40. 山田憲二, 山本和弥, 岡田健, <b>野崎智洋</b>: シリコン量子ドットの量子効果発現による高効率有機薄膜太陽電池の開発研究, 文科省ナノテクノロジープラットフォーム事業「分子・物質合成プラットフォーム成果報告会」, 岡崎コンファレンスセンター, 2013 年 3 月 13-14 日</p>
--	--

	<p>41. Y Ding, R Gresback, R Yamada, K Okazaki, <b>Tomohiro Nozaki</b>, Plasma Synthesis of Silicon Nanocrystals and Application to Hybrid Si-nanocrystal/P3HT Solar Cells, 第 60 回応用物理学会春季学術講演会, 神奈川工科大学, 2013 年 3 月 27 日 - 30 日.</p> <p>42. 前薮圭佑, 山田陸, Ryan Gresback, 丁毅, 岡崎健, <b>野崎智洋</b>: プラズマ CVD を用いたシリコンナノ粒子の合成および収率評価, 第 60 回応用物理学会春季学術講演会, 神奈川工科大学, 2013 年 3 月 27 日 - 30 日.</p> <p>43. 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</p> <p>一般向け 計7件</p> <p>44. <b>野崎智洋</b>: 大気圧プラズマを基盤とする環境・エネルギー研究, 第 10 回プラズマ技術研究会 (産総研九州センター主催), 福岡, 2012 年 3 月 13 日.</p> <p>45. <b>T Nozaki</b>: Silicon nanocrystal based next-generation photovoltaics: impact on global energy and environment, Asian Doctoral Innovation Conference, Zhejiang University, Hangzhou, China, 9-11 November, 2011.</p> <p>46. <b>T Nozaki</b>: Silicon inks towards next generation photovoltaics, Invited lecture at Key Lab Green Chemistry, Tianjin University, China, 30 June, 2011.</p> <p>47. <b>T Nozaki</b>: Green Innovation Session, Advanced Plasma Nanotechnology towards Green Innovation, 5<sup>th</sup> International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials, Nagoya, 28 Jan - 1 Feb, 2013.</p> <p>48. <b>野崎智洋</b>: 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>49. <b>T Nozaki</b>: Plasma fuel reforming: fundamentals and applications, European Plasma Summer School &amp; Master Class (the Ruhr University Bochum (Germany) and the Eindhoven University of Technology (Netherlands)), Physikzentrum, Ban Hoff, Germany, Oct 12-13, 2012.</p> <p>50. <b>野崎智洋</b>: シリコン量子ドットとプリンタブル有機無機ハイブリッド太陽電池の開発, 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 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><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>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 香川高専における出張講義（第1回目）、世界最先端の太陽電池開発を目指して、機械系2学科（<b>80</b>名）、香川高専（香川県勅使町）、平成23年9月6日。アンケート実施。</li> <li>2. 東京工業大学が主催する国民との科学・技術対話、太陽電池とこれからの環境・エネルギー問題、一般の<b>85</b>名（うち9人が女性、25名が中高大学生）、平成23年11月5日。アンケート実施。</li> <li>3. イノベーションジャパンに出展、シリコンインク及び低コスト量子ドット太陽電池の開発、企業とのマッチングを目的とした研究成果の公開、参加者多数、平成23年9月21-22日。</li> <li>4. Joint Public Symposium in The 14<sup>th</sup> International Workshop on Advanced Plasma Processing and Diagnostics、Plasma synthesis of silicon inks applied to single junction Schottky Photovoltaics、日中韓、タイ、ベトナム、マレーシア、台湾などアジア諸国の研究者及び大学院生を対象（参加者約<b>50</b>名）（英語で実施）、九州大学、平成24年1月8日。アンケート実施。</li> <li>5. 高校生・一般向け公開講演会（東京工業大学主催）、シリコンインクが拓く太陽電池研究の最前線、中高生を主とする一般市民（参加者<b>79</b>名）、東京工業大学（大岡山）、平成24年8月10日。アンケート実施。</li> <li>6. やまと市民大学講座：エネルギー源と環境を考える、太陽光発電と低炭素社会、大和市民（参加者<b>61</b>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。</li> <li>7. 香川高専における出張講義（第2回目）、低炭素社会に向けたエネルギー技術、機械系および電気系3年生（参加者<b>121</b>名）、香川高専（香川県勅使町）、平成24年12月7日。アンケート実施。</li> <li>8. 高校生・一般向け公開講演会（東京工業大学主催）、シリコンインクが拓く太陽電池研究の最前線、一般向け公開講演会（参加者<b>53</b>名）、東京工業大学（田町）、平成25年9月4日。アンケート実施。</li> <li>9. 香川高専における出張講義（第3回目）、低炭素社会に向けたエネルギー技術、機械工学科・機械電子工学科の3年生（参加者：約<b>80</b>名）、香川高専（香川県勅使町）、平成25年12月20日。アンケート実施。</li> </ol>
<p>新聞・一般雑誌等掲載計5件</p>	<p>新聞</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 環境新聞「太陽電池低コスト化競う」：2011年9月28日。</li> </ol> <p>一般紙</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. <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</li> <li>3. <b>野崎智洋</b>：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，化学工学，<b>76</b>(4), 201-202, 2012.</li> <li>4. <b>野崎智洋</b>：シリコン量子ドット一次世代太陽電池の早期実現に向けてー工業材料，<b>60</b>(1), 60-61, 2012.</li> <li>5. <b>野崎智洋</b>：大気圧プラズマ環境保全からナノマテリアル創生まで，機械の研究，<b>63</b>(2), 100-106, 2011.</li> </ol>

## 様式21

その他	<p>受賞</p> <ol style="list-style-type: none"><li>平成 25 年 10 月 16 日 東京工業大学工系創成的研究賞 受賞</li><li>平成 24 年 8 月 6 日 日本学術振興会第 153 委員会 プラズマ材料科学賞 受賞</li></ol> <p>その他</p> <ol style="list-style-type: none"><li>学会誌「化学工学 (Vol.76, No.4, 2012)」の表紙で研究成果の一部が紹介。</li><li>島津製作所ホームページで研究成果の一部が紹介： <a href="http://www.an.shimadzu.co.jp/surface/spm/sol/data/8-11.htm">http://www.an.shimadzu.co.jp/surface/spm/sol/data/8-11.htm</a></li><li>東京工業大学・国民との科学・技術対話：<a href="http://www.rpd.titech.ac.jp/ken.sien/taiwa/">http://www.rpd.titech.ac.jp/ken.sien/taiwa/</a></li><li>ハピ★テク 「女子高生のための理工系大学・学部の進学情報サイト！」 ：<a href="http://hapiteku.com/topics/archive/post.php">http://hapiteku.com/topics/archive/post.php</a></li></ol>
-----	--

## 7. その他特記事項

該当なし