

革新的光電変換機能をもつオールナノカーボン太陽電池の開発

研究代表者

松田一成 京都大学 エネルギー理工学研究所



1. 研究の背景と達成目標

カーボンナノチューブやグラフェンに代表されるナノカーボン物質は、太陽電池材料として潜在的に高いポテンシャルを有し、新たな原理や構造に基づく光電変換機能やそれらを利用した太陽電池デバイスを実現しうる。本研究では、まずナノカーボン物質における新たな光学特性・光電変換機能を明らかにすることを試みる。次に、ナノカーボン物質を利用した太陽電池のモデルケースとして、ヘテロ構造太陽電池の作製とその光電変換特性を理解することで、高い変換効率を有する太陽電池デバイスを実現する。さらに得られた知見を通して、高機能を持つオールナノカーボンやナノカーボン有機ハイブリッド太陽電池デバイスの実現を目指した。

2. 主な研究成果と社会、学術へのインパクト

- ・グラフェンナノ構造(酸化グラフェン・グラフェン量子ドット)の特異な電子状態・光学特性の解明、さらに、カーボンナノチューブにおいて、発光量子効率の劇的な向上を実現した(*Nature Photonics* 掲載、新聞報道3件、ウェブ報道多数)。
- ・カーボンナノチューブ/Si ヘテロ構造太陽電池において、17%を超える光電変換効率の達成(*Nature Communications* 掲載) 上記の値は、カーボンナノチューブを利用した太陽電池デバイスの性能として最も高いものである。
- ・軽量・フレキシブルなどの高機能を有しうる太陽電池へ発展可能な、高機能カーボンナノチューブ・有機ハイブリッド構造太陽電池で、10%を超える光電変換効率を達成した。

3. 研究成果

本研究で対象としたナノカーボン物質(カーボンナノチューブ、グラフェンナノ構造)は新しい物質系であるためその作製とともに、基礎学術的な面からまずその電子状態や光学特性を明らかにすることを試みた。その一例として、カーボンナノチューブにおける、光電変換の逆プロセスである電子から光への変換プロセスである、発光現象に関して研究を進めた。従来カーボンナノチューブでは、発光効率が1%程度と非常に低いものであったものを、酸素ドーピングという方法を利用し(図1)、かつ詳細な解析を行うことによって、18%以上(約20倍)まで劇的に高めることに成功した。(*Nature Photonics* 掲載、新聞報道3件、ウェブ報道多数)。また、グラフェンナノ構造(酸化グラフェン・グラフェン量子ドット)の特異な電子状態と光学特性を明らかにした。

次のステップとして、カーボンナノチューブをベースにした太陽電池の光電変換プロセスを理解する目的で、カーボンナノチューブとシリコンのヘテロ構造太陽電池を作製し、その光電変換特性を調べた。その結果、化学気相堆積成長法で作製された高品質なカーボンナノチューブ薄膜を利用し、かつ太陽電池構造やパラメーター

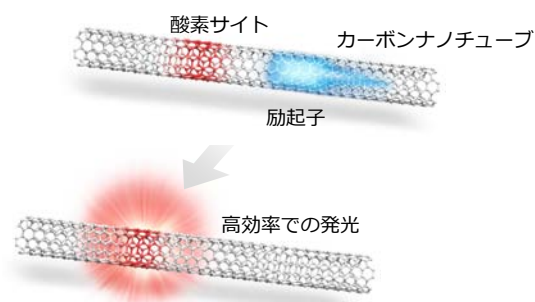


図1 酸素サイトを利用したカーボンナノチューブの発光効率の劇的な向上

を最適化することによって、12.6%の変換効率を有する太陽電池を製作することに成功した(*ACS Photonics*掲載, 2014年4月のMost read article)。この太陽電池デバイスの光電変換特性を詳細に解析することによって、ナノチューブ/シリコンヘテロ構造太陽電池における光電変換プロセスの詳細を理解することができた。ここで得られた知見から、カーボンナノチューブと電極界面のショットキー障壁がこの太陽電池の光電変換効率を制限していることが明らかとなった。これを改善するため、図2に示すように酸化モリブデン(MoO_x)をホール輸送層として付加することによって、17%を超える非常に高い光電変換効率を達成した(*Nature Communications*掲載)。この値は、カーボンナノチューブを利用した太陽電池デバイスとしてこれまで報告されているものの中で最も高い値となっている。

さらに、軽量・フレキシブルなどの高機能を有する太陽電池へ発展可能な、カーボンナノチューブ・有機ハイブリッド構造太陽電池で、10%を超える光電変換効率を達成した。

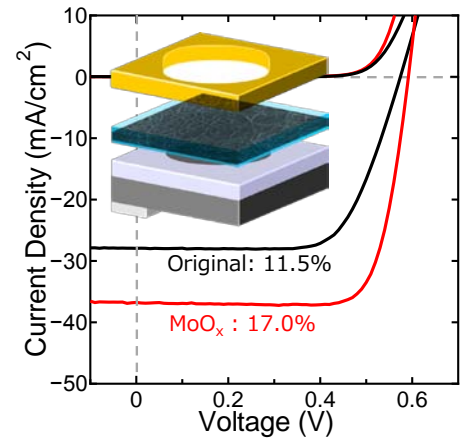


図2 ナノチューブ/シリコンヘテロ構造太陽電池の光電変換特性とデバイス模式図

4. 今後の展開

本研究を通して、カーボンナノチューブ・グラフェンナノ構造などのナノカーボン物質は、その特異な構造等に起因する電子状態や光学的性質を有し、さらに太陽電池材料として高いポテンシャルをもつ非常に有用な物質系であることを明らかにした。ここで得られた知見は、光電変換を利用した太陽電池デバイスに留まらず、ナノカーボン物質を利用した発光デバイスなどへの応用も可能であり、ナノカーボン物質の応用の可能性を大きく広げるものであると考えられる。

発表実績

- [1] F. Wang, D. Kozawa, Y. Miyauchi, K. Hiraoka, S. Mouri, Y. Ohno, and K. Matsuda, *Nat. Commun.* **6**, (2015) 6305.
- [2] F. Wang, D. Kozawa, Y. Miyauchi, K. Hiraoka, S. Mouri, Y. Ohno, and K. Matsuda, *ACS Photonics* **1**, (2014) 360.
- [3] M. Iwamura, N. Akizuki, Y. Miyauchi, S. Mouri, J. Shaver, Z. Gao, L. Cognet, B. Lounis, and K. Matsuda, *ACS Nano* **8**, (2014) 11254.
- [4] N. Fuyuno, D. Kozawa, Y. Miyauchi, S. Mouri, R. Kitaura, H. Shinohara, T. Yasuda, N. Komatsu, and K. Matsuda, *Adv. Opt. Mat.* **1**, (2014) 989.
- [5] D. Kozawa, X. Zhu, Y. Miyauchi, S. Mouri, M. Ichida, H. Su, and K. Matsuda, *J. Phys. Chem. Lett.* **5**, (2014) 1754.
- [6] N. Akizuki, M. Iwamura, S. Mouri, Y. Miyauchi, T. Kawasaki, H. Watanabe, T. Suemoto, K. Wanatabe, K. Asano, and K. Matsuda, *Phys. Rev. B* **89**, (2014) 195432.
- [7] F. Wang, D. Kozawa, Y. Miyauchi, K. Hiraoka, S. Mouri, and K. Matsuda, *Appl. Phys. Exp.* **6**, (2013) 102301.
- [8] Y. Miyauchi, M. Iwamura, S. Mouri, T. Kawazoe, M. Ohtsu, and K. Matsuda, *Nat. Photonics* **6**, (2013) 715.
- [9] D. Kozawa, S. Mouri, Y. Miyauchi, and K. Matsuda, *J. Phys. Chem. Lett.* **4**, (2013) 2035.
- [10] Y. Hirana, G. Juhasz, Y. Miyauchi, S. Mouri, K. Matsuda, and N. Nakashima, *Sci. Rep.* **3**, (2013) 2959.