

次世代型ライフスタイルの創成を担う 高機能軽元素複合材料の開発

Development of High-Functional Light-Element Composites for Creating a Next Generation Life Style



准教授 佐藤 義倫
Associate Professor
Yoshinori Sato

ナノ物質は小さいながらも、優れた特性を持っている。しかし、ナノ物質の特性を生かした複合材料の設計・合成は、ランダムに配置された個々のナノ物質の特性が打ち消されるため、極めて難しくなる。そこで、ナノ物質の特性を最大限に活かしたナノ複合界面設計に基づいた高機能性複合材料が必要である。本研究室では、材料科学分野における課題である「ナノ物質の特性をバルクまで引き伸ばすための軽元素複合材料設計と材料開発およびその複合界面に関する研究」を目指している。研究を遂行するにあたり、軽元素のホウ素、炭素、窒素を用いた高機能な表界面を持つ軽元素複合材料の開発を行っている。

In the past, a number of composites consisting of nanomaterials that possess excellent features of their own, have been produced in basic studies. However, it is hard to design and produce composites in which the properties of nanomaterials are reflected because each nanomaterial in the composite assembles at random, not to enhance the features of the nanomaterials. In this laboratory, the purpose of the research is to study and develop high-functional composites with high-performance surfaces and interfaces using boron, carbon, and nitrogen, in an effort to expand the properties of nanomaterials to those of bulky composites.

高結晶性単層カーボンナノチューブを用いた全炭素電界放出電子源の作製

電界放出電子源はトンネル効果を使って電子を引き出す電子放出の1つである。単層カーボンナノチューブ (SWCNTs) は化学的安定性、高電気伝導率、高熱伝導率、先鋭で大きな縦横比を持ち、優れた電界放出電子源の候補材料である。しかし、SWCNT 含有電界放出電子源が優れた特性を示さない1つの理由は、ナノチューブに空孔欠陥が存在するからである。空孔欠陥はデバイス作製によって導入される。故に、デバイス作製後に高温で電界放出電子源自身をアニールすることが望ましい。そこで我々は高結晶性金属型 SWCNTs (あるいは半導体型 SWCNTs) を用いて、炭素材料で構成された「全炭素電界放出電子源」を作製し、高温処理で得られたデバイスを熱処理した後に、電界放出特性を調べている (Fig.1)。

高効率酸素還元反応を目指した脱フッ素化経路による熱処理によって調製された窒素ドーピング単層カーボンナノチューブ触媒における電気物性の変調

ピリジン型とグラフィティック型窒素原子は炭素ナノ材料にドーピングされると、酸化還元反応 (ORR) の触媒活性が向上する。触媒の電気

Fabrication of all-carbon field-emission sources using highly crystalline single-walled carbon nanotubes

Field-emission (FE) techniques involve the extraction of electrons using the tunnel effect. Single-walled carbon nanotubes (SWCNTs) have some excellent characteristics, such as chemical stability, high electrical conductivity, high thermal conductivity, sharpness, and a large aspect ratio. Therefore, SWCNTs can be superior FE sources. However, SWCNT-containing FE sources cannot always show their excellent characteristics due to the presence of vacancy defects in the nanotubes. Such defects are introduced into the nanotubes during device processing. Thus, it is desirable to anneal all FE devices at high temperatures after they are fabricated. In our laboratory, we fabricated all-carbon FE devices using highly crystalline metallic SWCNTs (and semiconducting SWCNTs), annealed these devices at high temperatures, and then investigated their FE properties (Fig.1).

Creating efficient catalysts for oxygen reduction reaction by tuning the electrical properties of nitrogen-doped single-walled carbon nanotubes prepared with annealing via defluorination

Pyridinic and graphitic nitrogen atoms can be doped into carbon nanomaterials to improve catalytic activity in the oxygen reduction

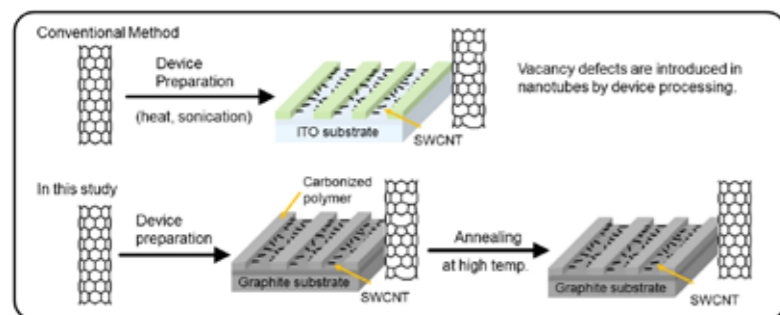


Fig.1 FE fabrication of both conventional and our original methods.



Fig.2 Relationship between the electrical properties and doping nitrogen atoms.



Fig.S1 New crews. Yuuichi Ito (left) and Youta Sakamoto (right).



Fig.S2 Cherry-blossom viewing.



Fig.S3 Oktoberfest in our laboratory.

特性と ORR 活性との間の相関関係の理解は、より優れた ORR 性能を持つ触媒を設計するのに役立つ。我々は高結晶性単層カーボンナノチューブ (SWCNTs) を使用して、脱フッ素化による置換反応と高温処理を組み合わせ高結晶性窒素ドーピング SWCNTs を合成した。仕事関数、キャリアタイプ、電気伝導率の電気物性を測定し、酸系電解質での ORR 活性を調べ、それらの相関を調べた。N タイプキャリア、低仕事関数、高電気伝導率を持つグラフィティック型リッチ窒素ドーピング SWCNTs は優れた ORR 活性を示した。触媒の仕事関数、キャリアタイプ、電気伝導率、酸素解離吸着サイトはドーピング窒素の数と種類に依存することがわかった。ドーピング窒素の数と種類に依存することがわかり、ドーピング窒素の変調が高い ORR 活性を達成するために必要であることを明らかにした (Fig.2)。

reaction (ORR). An understanding of the relationship between the electronic properties and the ORR activity of nitrogen-doped carbon nanomaterials could help in the design of catalysts to improve ORR performance. We synthesized highly crystalline nitrogen-doped SWCNTs using a combination of a defluorination-assisted nanotube-substitution reaction and a high-temperature annealing treatment of highly crystalline SWCNTs. We measured the electronic properties of the prepared samples—such as their work function, carrier type, and conductivity; these properties correlated with the samples' ORR activity in an acid electrolyte. Graphitic nitrogen-rich SWCNTs with an n-type carrier, low work function, and high conductivity exhibited efficient ORR activity. The work function, carrier type, conductivity, and O₂-dissociative adsorption sites were dependent on the species and number of doping nitrogen atoms. We revealed that tuning the doping nitrogen atoms was necessary to achieve high ORR activity (Fig.2).

受賞

- ・横山 幸司 “第 55 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム 若手奨励賞”
- ・横山 幸司 “第 45 回炭素材料学会年会 ポスター賞”

研究費

- ・JSPS 科学研究費補助金 18H04145 (基盤研究 (A)/ 代表)
- ・17H01584 (基盤研究 (A)/ 分担)
- ・16H05518 (基盤研究 (B)/ 分担)
- ・26220104 (基盤研究 (S)/ 分担)
- ・共同研究費 (ステラケミファ株式会社 / 代表)

共同研究

- ・信州大学先鋭領域融合研究群 バイオメディカル研究所 (齋藤直人 教授)
- ・ステラケミファ株式会社 (研究部)

Awards

- ・Koji Yokoyama received the Young Scientist Award at the 55th Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium.
- ・Koji Yokoyama received the Poster Award at the 45th Annual Meeting of the Carbon Society of Japan.

Grants

- ・JSPS KAKENHI 18H04145 (Scientific Research A/Principal Investigator)
- ・JSPS KAKENHI 17H01584 (Scientific Research A/Co-Investigator)
- ・JSPS KAKENHI 16H05518 (Scientific Research B/Co-Investigator)
- ・JSPS KAKENHI 26220104 (Scientific Research S/Co-Investigator)
- ・Collaboration grant (Stella Chemifa Corporation/Principal Investigator)

Collaborations

- ・Institute for Biomedical Sciences, Interdisciplinary Cluster for Cutting Edge Research, Shinshu University (Prof. Naoto Saito)
- ・Stella Chemifa Corporation (Research Division)

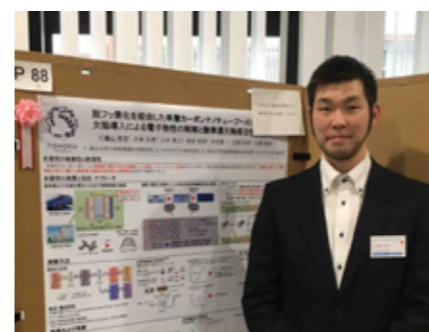


Fig.3 “Poster Award” at the 45th Annual Meeting of the Carbon Society of Japan. (Koji Yokoyama)



Fig.4 Open campus 2018.



Fig.5 Snapshot after seminar's meeting.