

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料  
〔平成29年度研究進捗評価用〕

平成26年度採択分  
平成29年2月28日現在

低炭素社会をもたらす単層カーボンナノチューブを利用した  
平面発光デバイスの開発

Development of a Low-energy Flat Plane-emission Panel  
Device Employing Single-walled Carbon Nanotubes

課題番号：26220104

田路 和幸 (TOHJI KAZUYUKI)

東北大学・環境科学研究科・教授



研究の概要

結晶性の制御により完全なカーボンネットワークを持つ単層カーボンナノチューブは高電流出力かつ長寿命化に耐えうる電界電子放出特性を有する。この特徴を活かし、超省エネルギー型平面発光デバイスを創製すべく、デバイスを構築するための基礎技術を確認し、さらに低炭素社会を先導する技術確立を目指す。

研究分野：環境学・環境創成学・持続可能システム・低炭素社会

キーワード：高結晶単層カーボンナノチューブ・電界電子放出・低炭素化技術

1. 研究開始当初の背景

我々は、  
・完全なカーボンネットワークを有する単層カーボンナノチューブ(SWCNT)の合成  
・SWCNTを用いた安定した電界電子放出(FE)する基礎構造およびFE活性化技術の確立という、SWCNTに関する基礎・応用技術の有しており、これら技術をベースにSWCNTの電子デバイスへの応用研究を展開する。その展開の一環として、環境負荷低減及び低炭素化技術を先導すべく超省エネルギー型平面発光デバイスを基礎構築し、照明に起因する二酸化炭素排出の大幅低減への貢献を目指す。

2. 研究の目的

徹底的な省エネルギーとエネルギーロスのない先導的デバイスとして、高結晶化SWCNTでのみ達成できる電界電子放出型平面発光デバイスの開発を推進し、さらにアノード電極を含めたカソードルミネセンス型発光デバイスの基礎設計構築を推進しつつ、発光に費やすエネルギーを市販LED比で1/2までの削減を目指す。さらに超省エネルギーな高出力電子放出源を開発し、様々な電子産業で利用できる次世代電子デバイスの基盤を構築し、電子産業における先導的低炭素化技術の確立を最終目的とする。

3. 研究の方法

主に以下に示す4項目を中心に研究を推進する。

○ 高結晶化SWCNTを用いたFE信頼性検証  
高結晶化SWCNTのFE寿命および出力パワ

ー（高電流密度）に関する基本的な出力特性を評価、検証する。

○ FE型電子放出源素子の構築

高結晶化SWCNTの構造改質により界面活性剤による分散性を向上させた湿式分散制御技術および薄膜の形成技術を確認する。

○ 電子照射型発光層の高輝度効率化開発

電子照射による紫外～可視光域の発光制御可能な蛍光材料および発光層構造を構築する。

○ 平面発光パネルの基礎構築

パネルの低温封止技術を確認し、カソードルミネセンス型平面型発光パネルの基礎設計を開発する。試作パネルについて発光特性を評価し、消費電力および信頼性評価を推進する。

4. これまでの成果

理論的に予測されていた単層カーボンナノチューブ(SWCNT)の優れた物性は、「完全ネットワークを有する高結晶性SWCNT」を用いて初めて発現することを証明した。

○ 高結晶化SWCNTのFE特性高出力、長寿命化の確認

結晶欠陥が殆ど存在しない高結晶化SWCNTをFE電子源として用いたFEカソードデバイスについて、 $30\text{mA}/\text{cm}^2$ 以上の電流密度で1000時間以上の連続駆動を達成した。また、湿式塗布で形成したFE電子源を用いた $3\text{A}/\text{cm}^2$ の高電流密度駆動で100分以上の連続駆動にも成功している。本駆動実験においてカソード電極は殆ど発熱せず、エネルギー損失の観点からローディングにおけるエネルギーロスが殆ど無いことが確認された。カ

ーボン材料を用いた FE デバイスとしては世界初の成果であり、SWCNT を用いた電子デバイス実用化への可能性が高まった。

○ 線順次走査型電極パターン設計指針確立  
より実用に近い 3 極構造 (SWCNT 電子源カソード電極-電流駆動制御ゲート電極-蛍光面アノード電極) の基礎設計 (図 1) を行い、真空チャンバー内にて消費電力 0.12W で輝度 14000cd/m<sup>2</sup> を達成し、LED 同等の輝度効率 (82lm/W) を得た。本成果は 3 極構造の駆動性を確認する基礎検討段階であり、電子放出のための電極構造の最適化によりさらに駆動消費電力を下げる余地は充分にある。

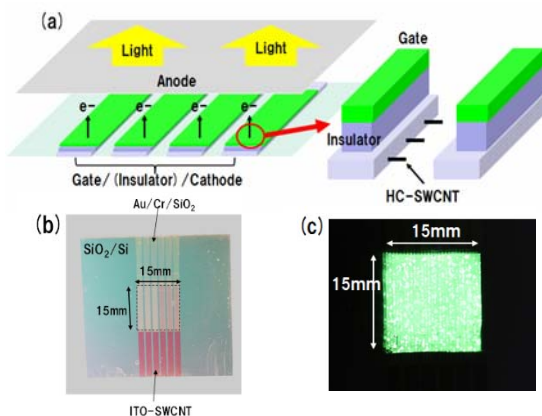


図 1 (a) 電極パターン, (b) 試作パターン, (c) 面発光の様子

○ 酸化ケイ素膜被覆による蛍光体発光寿命の改善基礎効果確認

硫化亜鉛 (ZnS) 蛍光体の表面に酸化ケイ素薄膜を湿式プロセスで被覆し、電子線照射による蛍光体組成の瓦解・劣化を防止し発光寿命の改善を試みた。数ミクロン径の蛍光体に 50~100nm 程度の酸化ケイ素を蛍光体表面に被覆し、約 70% 以上の被覆率で発光寿命を約 1.8 倍に延ばす改善に成功した。

○ 高結晶化 SWCNT の均一分散技術確立

均一な湿式分散が困難な高結晶化 SWCNT をホモジナイザー、ジェットミル技術の併用及び段階分散の導入により均一に湿式分散する技術を確立した。数~10 本程度の SWCNT が凝集した小バンドルでの均一分散に成功しており、SWCNT 分散塗料のポットライフ (再凝集による二次凝集物の沈降) も良好である。

○ 金属型/半導体型 SWCNT の分離及び FE 特性評価

SWCNT の高純度高結晶化処理のためにアーク放電で生成した SWCNT を使用しているが、金属型と半導体型導電性を有する CNT が混在する。各々の導電性を有する SWCNT を用い FE 特性を評価し、その結果 FE 特性について SWCNT の導電性に有意差が見られないため、金属・半導体 SWCNT 混在での

FE に対する実用性を見出した。また、仕事関数を小さくし、キャリア密度を増加させるチューブ構造が制御された半導体性 SWCNT は高結晶性で高寿命・低電界高電子放出を実現でき、より産業界で実用可能なものになるという指針を得た。

5. 今後の計画

高結晶化 SWCNT を応用した平面発光デバイスは LED 同等レベルの輝度効率を得ることに成功しており、今後は更なる消費電力削減を推進する。FE 電子源である高結晶化 SWCNT の構造改質技術の導入および孤立分散技術の確立により、より低電圧で電子放出駆動を制御できる線順次駆動型 FE 電極を構築する。さらにカソードルミネセンス型発光特性を活用し、高効率な発光特性を有する蛍光体および発光層の構築を推進し LED 比較で 1/2 以下の消費電力で高効率な発光輝度を得られる平面発光デバイスを創製していく。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)  
査読付き論文

[1] 下位法弘, “低炭素社会を構築するカーボン素材応用新技術”, エレクトロニクス実装学会誌 20(1), 38-42 (2017).

[2] K. Yokoyama, S. Yokoyama, Y. Sato, K. Hirano, S. Hashiguchi, K. Motomiya, H. Ohta, H. Takahashi, K. Tohji, \*Y. Sato, "Efficiency and long-term durability of nitrogen-doped single-walled carbon nanotube electrocatalyst synthesized by defluorination-assisted nanotube-substitution for oxygen reduction reaction", Journal of Materials Chemistry A, 4, 9184-9195 (2016).

[3] S. B.-Garrido, \*N. Shimoi, D. Abe, T. Hojo, Y. Tanaka, K. Tohji, "Planar light source using a phosphor screen with single-walled carbon nanotubes as field emitters"; Review of Scientific Instruments 85, 104704 (2014).

等、10 報以上。

学会発表等

[1] S. Kumon, N. Shimoi, D. Abe, K. Matsumoto, and K. Tohji, "High efficiency plane luminescence device using highly-crystallized Single-Walled Carbon Nanotubes"; EcoDePS 2016, Tokyo, Japan, 2016.12.17.

[2] K. Yokoyama, S. Yokoyama, Y. Sato, K. Hirano, S. Hashiguchi, K. Motomiya, H. Ohta, H. Takahashi, K. Tohji, Y. Sato, "Oxygen Reduction Reaction of Nitrogen-Doped Single-Walled Carbon Nanotubes Synthesized by Defluorination", 2016 MRS Fall Meeting, EC3.10.25, Boston, USA, 2016.12.1

等、20 件以上。

ホームページ等

<http://bucky1.kankyo.tohoku.ac.jp/news6.html>