



TOHOKU
UNIVERSITY

平成 28 年 1 月 26 日

報道機関 各位

東北大学 多元物質科学研究所

青紫色レーザー描画でスーパーキャパシタ

—集積化可能な平面型構造で高性能フレキシブル—

【研究概要】

東北大学多元物質科学研究所の渡辺明准教授と蔡金光助教のグループは、青紫色半導体レーザー^{(*)1}を用いて高分子フィルム上に微細なカーボン電極構造を直接描画することにより、安価なカーボン材料による平面型スーパーキャパシタ^{(*)2}としては、世界最高の静電容量を有するフレキシブルで高性能なマイクロスーパーキャパシタの開発に成功しました。このキャパシタは、小型で低コスト高エネルギー効率な青紫色半導体レーザーを用いた描画によって、フレキシブルな高分子フィルム平面上に集積化して形成できることから、今後ウェアラブル・フレキシブル電子デバイスなどの電源用途としての応用が期待されます。

電子機器のウェアラブル化・フレキシブル化が進められるなかで、小型で柔軟性のある電源の実現が求められています。そのうちの1つがスーパーキャパシタあるいは電気二重層キャパシタと呼ばれるもので、電池よりも高速な充放電が可能な特徴を有しています。従来のスーパーキャパシタは2つの電極からなる積層構造でしたが、近年、より構造がシンプルで集積化が可能な平面型構造のマイクロスーパーキャパシタが注目されています。レーザー直接描画法^{(*)3}により製造できるシンプルな平面型構造のマイクロスーパーキャパシタの開発は、低コスト量産技術につながると考えられます。

本研究成果は、英国王立化学会が発行する材料化学の専門誌「Journal of Materials Chemistry A」誌・電子版に平成 28 年 1 月 8 日に掲載されました。また、東京ビッグサイトで開催される世界最大級の国際ナノテクノロジー総合展・技術会議 nano tech 2016 (2016 年 1 月 27 日 (水) ~1 月 29 日 (金)) に、文部科学省 科学研究費 新学術領域研究「元素ブロック高分子材料の創出」の研究成果の一つとして、本研究を出展いたします。

【問い合わせ先】

(研究内容)

東北大学多元物質科学研究所 准教授 渡辺 明 (わたなべ あきら)

Tel.: 022-217-5851, E-mail: watanabe@tagen.tohoku.ac.jp

東北大学多元物質科学研究所 助教 (研究特任) 蔡 金光 (さい じんがん)

Tel.: 022-217-5851, E-mail: cai@tagen.tohoku.ac.jp

【研究の背景】

近年、身につけて持ち歩くことができるウェアラブルデバイスやフレキシブルデバイスに関する研究開発が精力的に行われています。これらにおいてはデバイスの薄型設計が要求されることから、電源においても小型・薄型で柔軟性のあるものが求められています。そのうちの1つが、平面型のマイクロスーパーキャパシタです。スーパーキャパシタは電気二重層キャパシタとも呼ばれ、電池とよく似た特性を持っていますが、電池のような金属系の電極を必要とせず構造が簡単で、急速な充放電が可能といった特徴を有しています。通常は、2つの電極の積層構造ですが、平面型のマイクロスーパーキャパシタでは、2つの微細な櫛形の電極が1枚のフレキシブルな高分子フィルム上に向かい合って形成された構造をとっており、従来の積層構造のスーパーキャパシタよりも、さらに薄型でフレキシブルで、同一平面内に多数の微細なキャパシタを集積化できるといった特徴を有しています。

【研究の内容】

このような平面型のマイクロスーパーキャパシタの作成には、これまでは感光性の材料を用いたフォトリソグラフィ法^(*)4)が用いられてきましたが、最近、レーザー直接描画法が注目されています。フォトリソグラフィ法では多段プロセスが必要でしたが、レーザー直接描画法では、レーザー光を照射した場所に選択的に一段階でカーボン電極構造を形成することが可能です。このような特性を生かした、平面型マイクロスーパーキャパシタの低コスト量産技術が期待されています。

平面型マイクロスーパーキャパシタのレーザー直接描画には、これまで炭酸ガスレーザー^(*)5)等の比較的大掛かりな装置が用いられてきました。これに対して、東北大学の研究グループは、よりコンパクトでエネルギー消費の少ないレーザー描画装置の開拓をこれまでに進めてきておりましたが、今回、数センチ角の大きさのコンパクトな青紫色半導体レーザー(発振波長 405 ナノメートル^(*)6))を用いて新規に開発したレーザー直接描画装置(図1)を用い、フレキシブルなポリイミドフィルム^(*)7)上へのマイクロキャパシタ構造(図2)の形成条件を最適化することによって、従来までの最高値の2倍以上の静電容量(35 mF/cm²)を有する平面型マイクロスーパーキャパシタを開発することができました。

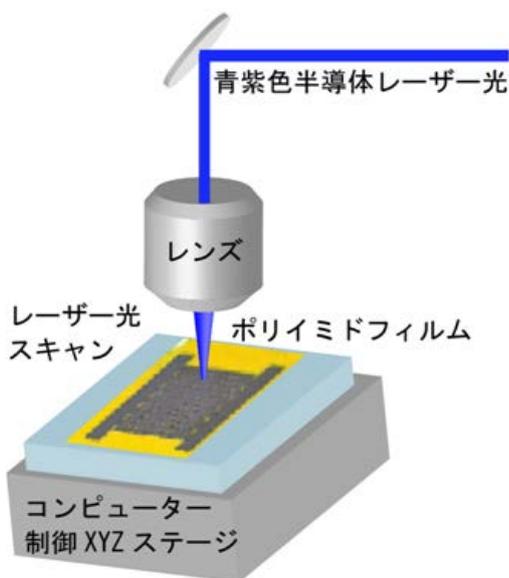


図 1. 青紫色半導体レーザー直接描画法によるポリイミドフィルムへのマイクロカーボン電極形成のイメージ。

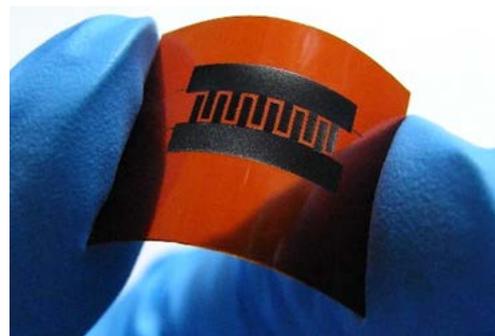


図 2. フレキシブルポリイミドフィルムに形成したマイクロカーボン電極。

青紫色半導体レーザーを用いることによって性能が向上した理由としましては、炭酸ガスレーザー光は10マイクロメートル付近(10600ナノメートル)の赤外線であるのに対して、青紫色半導体レーザー光は405ナノメートルとより短波長の光であり、レーザー光を照射するポリイミドフィルムでの吸収効率が低いことがあげられます。これによって、図3の電子顕微鏡写真で示されるような、特異な多孔質構造で表面積の大きなカーボン層が形成され、スーパーキャパシタの静電容量の向上につながったと考えられます。

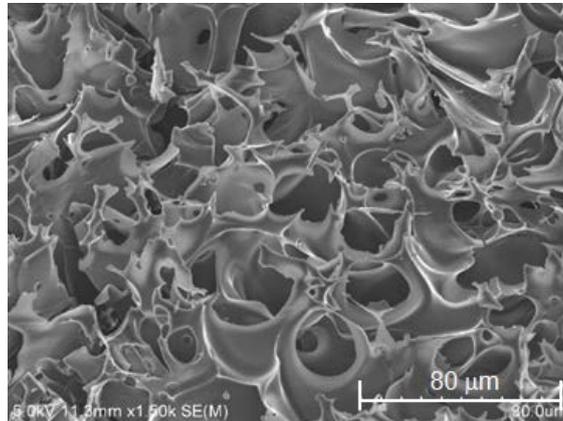


図 3. 紫色半導体レーザー直接描画法によりポリイミドフィルムへ形成したカーボン電極の電子顕微鏡写真.

図4には、これまでに報告されているレーザー描画で作成された平面型スーパーキャパシタの代表例の比較で、今回、東北大学の研究グループが青紫色半導体レーザー直接描画で形成した平面型スーパーキャパシタの特性を示しました。これまでの炭酸ガスレーザー描画で形成されたものに比べて、高いエネルギー密度が得られており、ある条件下においては、リチウムイオンバッテリーよりも高いエネルギー密度となっています。

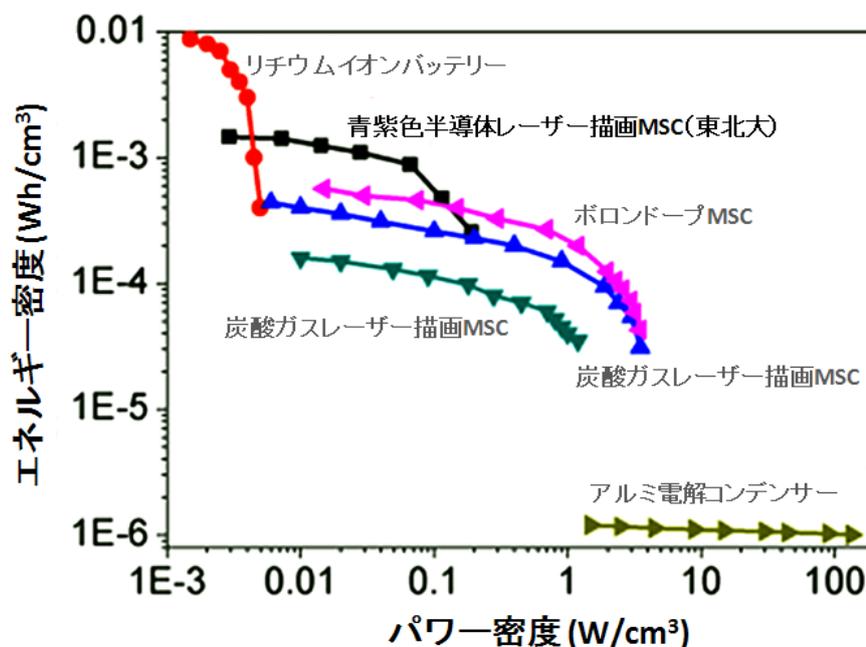


図 4. Ragone プロット^(*) (エネルギー密度対パワー密度の関係図).
MSC: マイクロスーパーキャパシタ.

【今後の展開】

平面型マイクロスーパーキャパシタには、シンプルな構造と製造プロセスにより集積化が可能であるという特徴がありましたが、今回、非常に小型の青紫色レーザーを用いたコンパクトなレーザー描画装置を新たに開発し、マイクロキャパシタ構造の形成条件を最適化することによって、さらに高性能化が可能でした。日本の独自技術である小型でエネルギー効率の高い青色発光デバイスは、照明や各種電子デバイスとして私たちの生活を変えたばかりでなく、製造業の分野においても革新をもたらす可能性を有しています。コンパクトな青紫色半導体レーザー描画装置は、現在我が国で盛んに研究が進められているフレキシブル&プリンテッドエレクトロニクス^(*)においてはオンディマンドな生産システムを可能とし、また、マルチヘッド型のレーザー描画装置ができれば、それは平面型マイクロスーパーキャパシタの低コスト量産プロセスの実現につながると考えられます。

東北大学の研究グループでは、青紫色レーザーによる平面型マイクロスーパーキャパシタの研究をさらに進めており、より高い特性が得られる可能性が示されています。

【用語解説】

(*1) 青紫色半導体レーザー

発振波長が410nm前後の半導体レーザーのこと。Blu-ray Discといった光ディスクの光源に使われるほか、照明光源やディスプレイの光源などへの展開も期待される。日亜化学工業やソニー、三洋電機、シャープなどが製品化している。

(*2) スーパーキャパシタ

電気二重層キャパシタとも呼ばれ、電極表面の電荷の吸着・脱着を利用して充放電が行われ、電気化学反応によって充放電が行われる従来の電池よりも、高速充放電特性、長寿命といった特徴を有している。

(*3) レーザー直接描画法

集光したレーザー光を対象物に照射し、コンピューター制御でスキャンすることによって、微細な構造を直接描画する手法。フォトリソグラフィ法で必須のフォトマスクが要らず、コンピューター画面に描画した構造をオンディマンドに一段階で形成できる利点を有している。

(*4) フォトリソグラフィ法

感光性の物質を塗布した物質の表面を、パターン状に露光（パターン露光、像様露光などとも言う）することで、露光された部分と露光されていない部分からなるパターンを生成する技術。非常に微細なパターン形成が可能であるが、多段プロセスを要するため、低コスト化が求められるデバイスに用いにくい面がある。

(*5) 炭酸ガスレーザー

ガスレーザーの一種であり、気体の二酸化炭素（CO₂）を媒質に赤外線領域の連続波や高出力のパルス波を得るレーザー。

(*6) ナノメートル

10億分の1（10⁻⁹）メートル

(*7) ポリイミドフィルム

繰り返し単位にイミド結合を含む高分子の総称。芳香族化合物からなるポリイミドは剛直で強固な構造で、高強度、耐熱性を有している代表的なエンジニアリングプラスチックである。レーザー光照射によるカーボン化においては、芳香族環が同一平面に配列して分子鎖が互いに密に充填したポリイミドにおいて、結晶性および導電性が高く静電容量の大きなものが得られている。

(*8) Ragone プロット

ラゴンプロット（ラゴンプロット）は、エネルギー密度対パワー密度のプロットによって蓄電デバイスの特性を示す。縦軸のエネルギー密度はどのぐらいの蓄電容量があるかを示し、横軸はどのぐらいの電力を充放電できるかを表す。エネルギー密度の高いバッテリーは長時間の放電が可能であるが、短時間に大電力の充放電を行える特性は有していない。これに対して、コンデンサーは長時間の放電はできないが、瞬間的に大電力の充放電が可能である。スーパーキャパシタは、これらの両者の特性を兼ね備えている。

(*9) フレキシブル&プリントドエレクトロニクス

フレキシブルな素材を用いて従来の高エネルギーな真空プロセスに依存しないウェットプロセスで電子デバイスを製造することが目的とされている。また、装着可能なウェアラブルエレクトロニクスデバイスの製造においては、顧客の要求に柔軟かつ迅速に対応できるオンデマンドな生産システムが重要になっている。

【論文情報】

Jinguang Cai, Chao Lv and Akira Watanabe, "Cost-effective fabrication of high-performance flexible all-solid-state carbon micro-supercapacitors by blue-violet laser direct writing and further surface treatment", *Journal of Materials Chemistry A*, DOI: 10.1039/c5ta09450j

Published on 08 January 2016. (平成 28 年 1 月 8 日 電子版に掲載)

本研究は、文部科学省科学研究費補助金新学術領域研究「元素ブロック高分子材料の創出」（領域番号 2401 領域代表・京都大学・中條 善樹）/課題番号 24102004 を受けて行われました。