



2023年10月27日

報道関係者各位

慶應義塾大学
Rice University

高速な変調を可能とするマイクロ偏光熱光源を実現 — 偏光を用いた分析・センシング技術への応用が期待 —

慶應義塾大学理工学部物理情報工学科の牧英之教授と同大学院理工学研究科博士課程2年の俣野眞一郎、米国・ライス大学電気・コンピューター学科の河野淳一郎教授らの研究グループは、一次元ナノ材料であるカーボンナノチューブが高密度・高配向に積層したカーボンナノチューブ配向膜(注1)を用いて、高速に変調(オン/オフ)できる偏光熱光源(注2)の開発に成功しました。

偏光した光は、物質分析やバイオ分析、創薬などの分野で重要であり、基礎研究から産業界まで広く活用されています。しかしながら、これらを応用した高感度化や時間依存測定には、マクロサイズの偏光板や光チョッパーを用いるため小型・集積化が困難なことや、高速な変調速度が必要にもかかわらず、最大でも数kHz程度と低速であることが問題となっていました。

今回、カーボンナノチューブを最密充填した高密度のカーボンナノチューブ配向膜を用いた発光素子を開発し、赤外広波長帯域で高速に偏光発光する熱光源を実現しました。本光源は、チップ上に微細加工したマイクロ偏光熱光源となることから、さまざまな場面で需要が高まりつつある分析・センシング技術の発展に貢献すると期待されます。

本研究成果は、2023年10月26日に米国化学会(ACS)のNano Letters オンライン版で公開されました。

1. 本研究のポイント

- ▶ ナノマテリアルであるカーボンナノチューブ配向膜を用いて、高速変調が可能なマイクロ偏光熱光源を実現した。
- ▶ 開発した光源によって、従来、白熱電球などの熱光源から偏光子・光チョッパーなどのマクロな光学素子を用いて生成していた広波長域での高速変調偏光を、マイクロデバイス一つで生成可能にした。
- ▶ チップ上にマイクロサイズの微細加工をした本光源は、電気駆動の高速変調が可能な偏光熱光源であり、分析・センシング分野において、新しい偏光応用を開拓できる。

2. 研究背景

偏光を用いた分光分析技術は、物理、化学、生物と幅広い分野において用いられており、無機材料から有機分子、生体分子等の旋光性・配向性・キラル特性などを分析する際に利用されています。そのため、特に化学物質同定や、バイオ分析、創薬等、さまざまな分野において重要な技術となっています。

偏光分光分析では、偏光を測定試料へ照射し、その応答を測定することで物質構造同定などを行うため、広い波長帯域を持つ偏光光源が必要となります。加えて、高感度な分析を行うためには、光のオン/オフを高速に切り替えられる(高速変調できる)偏光光源が求められます。一般的な偏光光源としてレーザー光源が知られており、高速変調も可能なことから広く普及していますが、単一波長でスペクトルが狭線幅であるため、広波長範囲の分析では利用できません。そのため、広波長範囲での分析では、白熱電球等の熱光源と偏光板を組み合わせた上、光学チョッパーなどの光変調機器を用いることで、変調可能な偏光光源を用意していますが、変調速度が数kHz程と低速であることに加えて、

マクロな光学素子や機器を複数組み合わせる必要があり、光源系が大型で小型化・集積化できないといった問題がありました。

3. 研究内容・成果

今回、新たなナノマテリアルである「カーボンナノチューブ配向膜」に着目し、広波長帯域で偏光発光する、高速変調が可能なマイクロ偏光熱光源を開発しました（図1）。カーボンナノチューブ配向膜は、高密度・高配向度にカーボンナノチューブが最密充填され積層されており、1平方センチメートルあたり10兆本と非常に多くのカーボンナノチューブが充填されています。本研究では、そのカーボンナノチューブ膜を用いて、1 μm 四方の発光面を持つ電気駆動の熱発光デバイスを作製しました。本素子の高速変調特性を調べるため、作製したデバイスに対して、高速の矩形電圧印加下での時間分解発光測定を行いました。その結果、カーボンナノチューブ配向膜の偏光熱光源は、20 MHz程度的高速変調性能を持つことが明らかとなりました。さらに、シミュレーションによる解析を行うことで高速変調性のメカニズムを解明したところ、カーボンナノチューブ配向膜の配向方向における高い熱伝導特性によることが明らかとなりました。

4. 今後の展開

カーボンナノチューブ配向膜を用いて開発した本光源は、広波長域の偏光した高速赤外光をたった一つのチップ上のマイクロ光源で発生させる技術であり、熱光源・偏光板・光チョッパーといった複数のマクロな光学素子・機器を組み合わせていた従来技術をワンチップで高集積化する技術に相当します。そのため、新たな偏光赤外技術を開拓する新技術となり、分析やセンシング技術への応用が可能なことから、材料開発、バイオ分析、創薬等への幅広い分野での応用展開が期待されます。

本研究の一部は、科学研究費補助金(20H02210、JP23KJ1913、JP23KJ1903)、JST 研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム A-STEP 産学共同(JPMJTR20R4、JPMJTR221B)、JST 未来社会創造事業(JPMJMI22G6)、国際共同研究教育パートナーシッププログラム(PIRE プログラム、JPJSJRP20221202)、JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム(JPMJSP2123)、スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク、文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム事業(NIMS 微細加工プラットフォーム)、潮田記念基金による慶應義塾博士課程学生研究支援プログラム、JST 戦略的創造研究推進事業(CREST、JPMJCR17I5)、空軍科学研究局(FA9550-22-1-0382)、アメリカ国立科学財団(PIRE-2230727)、Robert A. Welch 財団(C-1509)、ライス大学における Carbon Hub の支援を受けて実施されました。

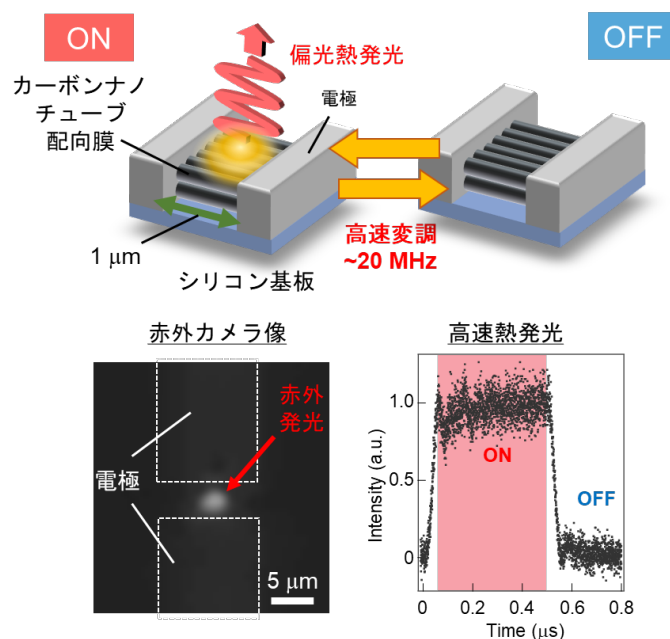


図1 上図：開発したカーボンナノチューブ配向膜を用いた高速偏光熱光源の概要図。
左下図：カーボンナノチューブ配向膜光源の赤外カメラ像による発光の様子。

右下図：高速変調性を示す時間分解発光強度の測定結果。0.5 μs 毎に発光をオン/オフしている。

<原論文情報>

“High-Speed Modulation of Polarized Thermal Radiation from an On-Chip Aligned Carbon Nanotube Film”

Shinichiro Matano, Natsumi Komatsu, Yui Shimura, Junichiro Kono, Hideyuki Maki
Nano Letters, doi: <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.3c02555>

<用語説明>

(注1) カーボンナノチューブ配向膜

原子一層の炭素材料であるグラフェンを円筒状に丸めた直径 1 ナノメートルオーダーの一次元物質がカーボンナノチューブであるが、このカーボンナノチューブが同一方向に配列・積層して単結晶のようになった膜をカーボンナノチューブ配向膜と呼ぶ。1 平方センチメートルあたり 10 兆本と非常に多くのカーボンナノチューブが最密充填されており、全体的にはバルク材料であるが、カーボンナノチューブの配列に起因して、電気伝導率や熱伝導率は極めて高い異方性を有する。

(注2) 熱光源

あらゆる物質は、有限温度で熱放射することが知られており、その現象は黒体放射と呼ばれる。熱に起因した発光であり、光のオン/オフをするためには温度を急激に上昇/降下させなければならないため、一般的な熱光源のオン/オフ切り替え速度は 10 Hz 程度と遅い。

※ご取材の際には、事前に下記までご一報くださいますようお願い申し上げます。

※本リリースは文部科学記者会、科学記者会、各社科学部等に送信させていただいております。

・研究内容についてのお問い合わせ先

慶應義塾大学 理工学部 物理情報工学科 教授 牧 英之 (まき ひでゆき)

TEL : 045-566-1643 E-mail : maki@appi.keio.ac.jp <http://www.az.appi.keio.ac.jp/maki/>

ライス大学 電気・コンピューター学科 教授 河野 淳一郎 (こうの じゅんいちろう)

E-mail : kono@rice.edu <https://kono.rice.edu/>

・本リリースの配信元

慶應義塾広報室 (望月)

TEL : 03-5427-1541 FAX : 03-5441-7640 E-mail : m-pr@adst.keio.ac.jp <https://www.keio.ac.jp/>