

2024年6月4日

報道関係者各位

慶應義塾大学
Rice University

ナノ架橋構造による高効率・高偏光度のマイクロ偏光熱光源を実現 —分析・センシング・光デバイスなど、偏光技術応用への展開に期待—

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修士課程2年（研究当時）のザッケオ・アンドレア、同博士課程2年の侯野眞一朗、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、1次元ナノ材料であるカーボンナノチューブ配向膜が高配向・高密度に整列したカーボンナノチューブ配向膜（注1）を用いて、高偏光度の偏光熱光源（注2）の開発に成功しました。

偏光（直線偏光）とは、電場・磁場が特定方向に振動した光であり、センシングや光デバイス、分析などの幅広い分野で用いられています。広い波長帯域での偏光を得るには、単色のレーザー光は使えないことから、白熱電球等の熱光源と偏光板を組み合わせる必要がありましたが、小型化や集積化が困難でした。これに対して、本研究グループでは、カーボンナノチューブ配向膜を用いたマイクロサイズの偏光熱光源を開発してきました。しかし、偏光度はそれほど高くないなど、さらなる性能向上が求められていました。

今回、カーボンナノチューブ配向膜が架橋した新たな構造のデバイスを開発することで、高偏光度を高効率で得ることに成功しました。開発したデバイスでは、偏光度（注3）が最大で約0.9となっており、従来構造での0.6と比較して大幅に向上しました。また、エネルギー効率も、従来の構造と比較して12倍以上と大幅に向上しました。本光源は、シリコンチップ上に微細加工をすることで作製できるマイクロ偏光熱光源であり、偏光技術の新たな発展に貢献することが期待されます。

本研究成果は、2024年6月4日に米国化学会（ACS）のACS Nano オンライン版で公開されました。

1. 本研究のポイント

- カーボンナノチューブ配向膜が架橋した構造を有する新たな偏光熱光源の開発をした。
- 従来構造と比較して、高偏光度・高効率を有する偏光熱光源の開発に成功した。
- シリコンチップ上に集積可能な本光源は、電気駆動が可能で微小な偏光光源となることから、分析、センシング、光デバイスなどの広い分野で、偏光を用いた応用を開拓すると期待される。

2. 研究背景

偏光を用いた技術は、物理、化学、生体、環境とさまざまな分野で用いられており、偏光技術を活用するためには偏光を生成するための偏光光源が必要となります。現在、広く普及している光源としてレーザーがあり、単一波長の偏光を利用する際に用いられています。一方、広い波長帯域を有する（ブロードな）偏光が必要な場合は、白熱電球などの熱光源からブロードな発光を得た後、偏光板を通すことで、ブロードな偏光を生成しています。そして、そのような光源は構造上、小型化することが難しく、偏光応用技術を発展させていく上で妨げとなっていました。

このような課題を解決する技術として、本研究グループは、カーボンナノチューブが最密充填で1方向に整列したカーボンナノチューブ配向膜を用いた熱光源を開発し、広い波長域で発光する偏光した熱光源の開発に成功していました [1]。しかし、得られた偏光の偏光度は、0.6程度とそれほど高

くないことから、さらなる偏光度の向上が求められるとともに、発光のエネルギー効率のさらなる向上も望まれていました。

3. 研究内容・成果

今回、シリコンチップ上のカーボンナノチューブ配向膜を用いた偏光光源において、カーボンナノチューブ配向膜が架橋した新たな構造の熱光源を開発しました（図1 左上：概要図、右上：電子顕微鏡像）。この素子に通電して発光させたところ、図1（左下）に見られるように通電加熱による赤外領域での熱発光が得られました。この熱発光の偏光特性を測定したところ、図1（右下）のようにカーボンナノチューブの配向方向に直線偏光した発光が得られました。偏光の度合いを示す偏光度は、0.9程度と高く、架橋構造を有しない従来の熱光源の偏光度0.6と比べて、大幅に向上しました。この高い偏光度では、非偏光成分である垂直方向の偏光強度が約5%に抑えられていることから、架橋ナノ構造によって、偏光板を用いなくても、カーボンナノチューブ配向膜から高い偏光度の偏光をダイレクトに得ることに成功しました。さらに、本素子での発光のエネルギー効率は、架橋構造を有さない従来の素子と比較し、12倍以上向上しており、省エネルギーの熱光源となることも明らかとなりました。

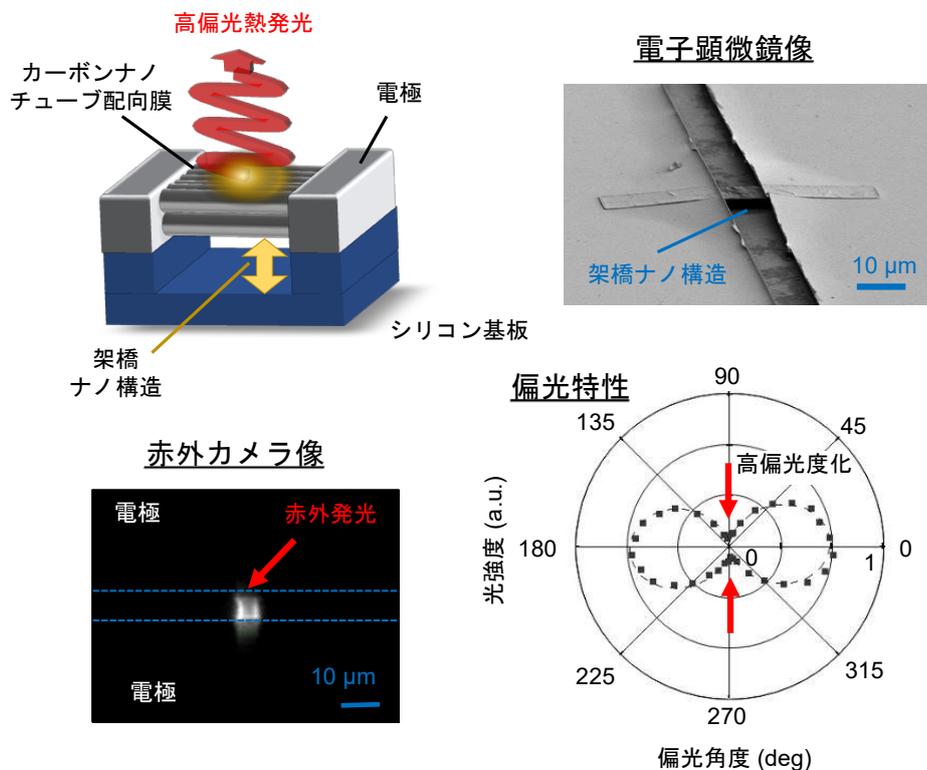


図1 左上図:架橋ナノ構造を組み込んだカーボンナノチューブ配向膜を用いた偏光熱光源の概要図。
 右上図:カーボンナノチューブ配向膜光源の電子顕微鏡像。
 左下図:カーボンナノチューブ配向膜光源の赤外カメラ像による発光の様子。
 右下図:開発した偏光熱光源における高偏光度の偏光特性。

4. 今後の展開

本研究では、カーボンナノチューブ配向膜を用いた偏光熱光源の高偏光度化、高効率化に成功し、偏光板等を用いることなく、マイクロサイズでの高性能な偏光光源を実現しました。開発した高性能のカーボンナノチューブ配向膜を用いた偏光熱光源は、シリコンチップ上に集積可能で超微小なマイクロサイズの新しい偏光光源となることから、従来技術では実現できない新しいセンシングや光デバイス、分析技術を創出することが可能であり、科学技術から産業応用まで、幅広い分野で活用されることが期待されます。

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。

<参考文献>

- [1] Matano, S.; Takahashi, H.; Komatsu, N.; Shimura, Y.; Nakagawa, K.; Kono, J.; Maki, H. Electrical Generation of Polarized Broadband Radiation from an On-Chip Aligned Carbon Nanotube Film. *ACS Mater. Lett.* **2022**, *4* (4), 626-633.

<原論文情報>

“Efficient Emission of Highly Polarized Thermal Radiation from a Suspended Aligned Carbon Nanotube Film”

Andrea Zacheo, Shinichiro Matano, Yui Shimura, Shengjie Yu, Jacques Doumani, Natsumi Komatsu, Junichiro Kono, and Hideyuki Maki

ACS Nano, doi: <https://doi.org/10.1021/acsnano.4c02447>

<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1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、黒体放射と呼ばれる。電球やヒーターでは、通電によるジュール加熱を熱光源として利用している。

(注3) 偏光度

偏光度 (Degree of Linear Polarization: DLP) は、偏光の度合いを表す指標であり、完全な偏光で1となり、非偏光では0となる。

※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きます。

・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/>