

2023年10月10日

国立大学法人東北大学

レーザー用結晶上に磁気光学結晶を成長 -フォトニクスとスピントロニクスの架け橋材料に-

【発表のポイント】

- 現在、レーザーに使われる結晶と磁気光学の結晶は別々に使用されています。両方の機能を一度に活用したい場合、これら2つの結晶を接着したり、高精度に配置したりする必要がありました。
- 磁気光学結晶をレーザー結晶上で成長させ磁気光学効果を確認しました。
- 磁気と光の両方の性質を活かし、磁気で制御する小型ハイパワーレーザーデバイスや、高速・高精細なディスプレイなど新デバイス実現に貢献することが期待されます。

【概要】

磁気と光を組み合わせた新しいデバイスは、動作に電子の流れを用いないため、現代の電子デバイスがもつ発熱や動作の遅さなどの課題を解決すると期待されています。これまで、磁気特性と光の特性をもつ結晶を組み合わせる形でデバイス開発が行われてきました。しかし、デバイスのさらなる進化のためには、磁気と光の両方の特性をもつ結晶が求められていました。

東北大学電気通信研究所の後藤太一准教授らは、磁気特性に優れた結晶と、発光特性に優れた結晶（レーザー結晶）を一体化することを目指しました。イオンビームスパッタ法と呼ばれる手法を用いて、レーザー結晶上に磁気光学結晶を成長することができ、大きな磁気光学効果を確認することができました。

今後、研究グループは今回開発した結晶の光学的な特性も確認し、優れた磁気光学効果を持つデバイス開発へと展開予定です。具体的には、磁気で制御する小型ハイパワーレーザーデバイスや、高速・高精細なディスプレイなどの開発に貢献することが期待されます。

本成果は9月13日、応用物理学分野の専門誌 Applied Physics Letters に掲載されました。

【詳細な説明】

研究の背景

我々の生活を豊かにしている電子デバイスですが、同時に発熱や動作の遅さなどの課題も抱えています。一方、特に光や磁気を利用する研究は、「フォトンクス」や「スピントロニクス」として知られ、活発に研究開発がされています。フォトンクスとスピントロニクスを組み合わせることで、新しいデバイスの創製を行うことが期待されています。

実際に実社会で役立つ性能をもつデバイスを生み出すには、優れた特性をもつ材料が必要不可欠です。これまでは、ファラデー効果（注 2）という磁気関連の効果が大きな材料と発光特性が優れた光関連の材料を一つのデバイスで利用したい場合、両材料を貼り合わせたり、高精度に配置したりするなどの手間が必要でした。しかし現代の市場が求めるデバイスの小型化・省電力化・高安定化といった高い要求に、磁気と光の材料を完全に一体化することでしか応えられない状況となっています。

今回の取り組み

本研究では、優れた発光材料の母材であるイットリウムアルミニウムガーネット（YAG）上に、磁気光学特性に優れたセリウム置換イットリウム鉄ガーネット（Ce:YIG）の結晶成長を試みました。結晶の成長には、緻密な膜を作製可能なイオンビームスパッタ法（注 1）を用いました。この手法は一般的に室温で使用されますが、研究グループは装置を改良し、YAG 材料を 900 度まで加熱しました。その結果、期待通りの大きなファラデー効果をもつ Ce:YIG を YAG 上に作製することができました。これまで YAG 上に、優れた性能をもつ磁気光学材料が作製された報告例はなく、この成果は、フォトンクスとスピントロニクスの架け橋としての重要な材料になると期待しています。

今後の展開

新たに作製した材料の光特性を評価した後、磁気と光の両方の性質を活かした実デバイスの開発に本材料を用いる予定です。具体的には、磁気で制御可能なハイパワーレーザー、高精細ディスプレイなどです。機械加工産業やゲーム産業といった分野での活用が期待されます。電子デバイスの現存する課題を、新たに開発するデバイスで克服し、より便利で豊かな社会の実現に寄与することを期待しています。

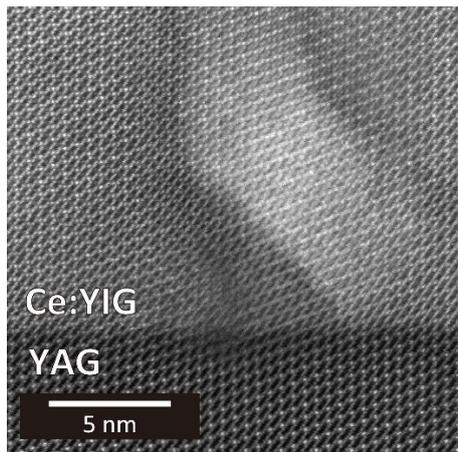


図 1. YAG 上に作製した Ce:YIG 結晶の断面を透過電子顕微鏡で撮影した画像です。結晶の中の原子構造が見えています。



図 2. 結晶成長をしている様子。イオンビームが左から出ています。900 度で加熱しているため、YAG は赤色に光って見えます。均一な材料を作るために YAG は回転しています。

装置が動いている様子の動画 : <https://youtube.com/shorts/wW-qXh3PoHU>



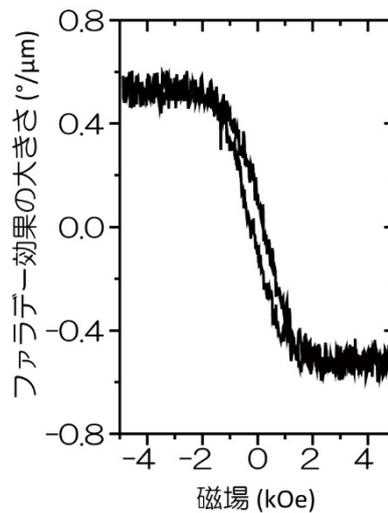


図 3. レーザー結晶上に作製した磁気光学結晶のファラデー効果の測定結果。レーザーの発光波長で、大きなファラデー効果が生じている様子が分かります。

【謝辞】

本研究は、東北大学大学院工学研究科、豊橋技術科学大学、信越化学工業株式会社 精密機能材料研究所、マサチューセッツ工科大学 材料科学工学科と共同で行われました。

本研究の一部は、JSPS 科研費（課題番号：No. JP20H02593、JP 20K20535、JP 23H01439）、NEDO 若手研究者発掘支援事業（No. 23200047）、稲盛財団、アメリカ国立科学財団（No. ECCS2028199）、文部科学省世界で活躍できる研究者戦略育成事業「学際融合グローバル研究者育成東北イニシアティブ（TI-FRIS）」、ナノテク融合支援センター、金属材料研究所国際共同利用・共同研究拠点、電気通信研究所ナノ・スピン実験施設、研究基盤技術センターの支援を受けて行われました。感謝申し上げます。

【用語説明】

- 注1. イオンビームスパッタ法：イオンビームスパッタ法は、高エネルギーのイオンビームを材料表面に照射して、表面の原子や分子を物理的に蒸散させる技術です。微細な膜の作製に使用されることが多いです。
- 注2. ファラデー効果：ファラデー効果は、光の偏光面が磁場中を伝播する際に回転する現象を指します。この効果は、磁場の強さと光の伝播距離に比例して回転の大きさが増加します。光学的な磁場センサーや材料の磁氣的性質の研究に利用されます。

【論文情報】

タイトル : Growth of magneto-optical cerium-substituted yttrium iron garnet on yttrium aluminum garnet using ion beam sputtering

著者 : Yuki Yoshihara, Kazushi Ishiyama, Toshiaki Watanabe, Pang Boey Lim, Mitsuteru Inoue, Caroline A. Ross, *Taichi Goto

*責任著者 : 東北大学 電気通信研究所 准教授 後藤太一

掲載誌 : Applied Physics Letters

DOI : 10.1063/5.0161296

URL: <https://doi.org/10.1063/5.0161296>

【問い合わせ先】

(研究に関すること)

東北大学 電気通信研究所

准教授 後藤太一

TEL: 022-217-5489

Email: taichi.goto.a6@tohoku.ac.jp

(報道に関すること)

東北大学 電気通信研究所 総務係

TEL: 022-217-5420

Email: riec-somu@grp.tohoku.ac.jp