

【本件リリース先】

投函時間 平成30年3月29日 11時
(資料添付)
宮城県政記者会、
文部科学記者会、科学記者会
茨城県政記者クラブ、原子力規制庁記者
会(仮称)

解禁時間 : 設定なし

平成30年3月29日
公益財団法人電磁材料研究所
国立大学法人東北大学
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構



従来の40倍もの巨大ファラデー効果を示す薄膜材料の開発に成功

— 45年ぶりの新しい磁気光学材料の発見 —

公益財団法人電磁材料研究所(理事長:荒井賢一)の小林伸聖主席研究員、池田賢司主任研究員、国立大学法人東北大学(総長:里見進)学際科学フロンティア研究所の増本博教授、同金属材料研究所の高橋三郎准教授および国立研究開発法人日本原子力研究開発機構(理事長:児玉敏雄)先端基礎研究センターの前川禎通センター長、グウ・ボウ副主任研究員の研究グループは、全く新しい発想による磁気光学材料の開発に世界で初めて成功しました。開発した材料は、ナノグラニューラー構造^{1,2)}と呼ばれる、ナノメートルサイズの磁性金属粒子をセラミックス中に分散させたナノ組織を有する薄膜材料であり、光通信に用いられる波長(1550nm)の光に対して、実用材料であるビスマス鉄ガーネットの約40倍もの巨大なファラデー効果³⁾を示します。

磁気光学効果の一つであるファラデー効果を示す材料は、光アイソレーター⁴⁾に代表されるように、光デバイスや、とりわけ光通信システムに広く用いられ、先端情報技術には欠かすことができません。しかしながら、1972年にビスマス鉄ガーネット(Bi-YIG)が発見されて以来、Bi-YIGを超えるファラデー効果を有する物質は見つかっていませんでした。さらに、光学デバイスの小型化および集積化のため、材料の薄膜化が必須であり、Bi-YIGの薄膜化の検討がなされてきましたが、それらの特性はバルクBi-YIGに大きく劣っています。このため、これまでのファラデー効果を用いたデバイスでは、設計および性能が限定されていました。

本研究グループは、ナノメートル(1/1000000 ミリメートル)の微細複合構造を持つナノグラニューラー磁性体の研究開発を進め、Bi-YIGに比して巨大なファラデー回転角を有する薄膜材料の開発に成功しました。この材料は、粒径が数ナノメートルの鉄-コバルト合金微粒子(グラニューラー)が、フッ化アルミニウムやフッ化イットリウムなどのフッ化物セラミックス⁵⁾から成る媒質(マトリックス)中に分散した構造を有します。この構造により、グラニューラーとマトリックスの界面において、グラニューラーを構成する鉄やコバルト原子の磁気モーメントが増大して、大きなファラデー効果が得られると考えられます。

この新しい材料は、45年ぶりに見出され、従来材料よりもはるかに大きなファラデー効果を示す磁性薄膜材料です。この材料を用いることにより、光デバイスの大幅な高性能化、さらに小型化・集積化が可能となります。従来の電子を信号とする電子デバイスの進化と同様に、光デバイスが集積化されれば、いふなれば電子に代わる“光子”集積化回路が可能となり、電磁ノイズの影響が無く、高密度情報伝達が可能で、大幅な省エネルギー化を実現することができます。

なお、本研究成果は、英国科学誌「Scientific Reports (サイエンティフィック レポート)」(3月21日付)に掲載されました。

補足説明

【背景と経緯】

ファラデー効果を有する材料は、光アイソレーターに用いられています。光アイソレーターとは、一方向の光のみ通過させ逆方向は遮断する、電子部品ではダイオードのような働きをします。ダイオードは最も基本的な電子部品の一つであり、その原理はトランジスタや集積回路(LSI)に繋がるものであり、多種多量の電子デバイスに用いられています。このように光アイソレーターにおいても、光増幅器、光リングレーザ、各種光センサおよび光通信システムなどと多くの光デバイスにおいて重要となっています。ファラデー効果のイメージを図1に示しました。一方で、ファラデー効果材料として1972年にビスマス鉄ガーネット(Bi-YIG)が発見されて以来、それに代わる有望な材料は見つかっていません。特にデバイスの小型化や集積化には、材料の薄膜化が必須でありBi-YIGの薄膜化の検討が行われていますが、その特性はバルクに比べて大幅に劣化してしまいます。

ナノグラニューラー材料は、ナノメートルサイズの微細な金属の粒子(グラニューラー)が絶縁体セラミックス中に均一に分散した特徴的な構造を有します(図2)。物性が異なる2つの相がナノ状態で混在するため、金属と絶縁体の含有比率の違いによって物性が大きく変化します。金属が多い組成では金属特有の物性が、絶縁体が多い組成では誘電特性や光透過特性が期待されます。さらに、中間領域では両相の機能が複合した多機能性が期待できます。薄膜材料であって、その機能性はナノ構造に由来するために、非常に小さい材料で必要な機能性を発揮し、さらに工業的に用いられるスパッタ法⁶⁾で容易に作製でき、再現性や耐熱性にも優れているので、実用性の高い材料であると言えます。

【研究の内容】

ナノスケールの強磁性金属を透明な絶縁相中に分散させたナノグラニューラー膜を作製することで、従来の40倍ものファラデー効果を示す薄膜材料を見出すことに成功しました。さらに、第一原理計算によって、グラニューラーの磁性元素の磁気モーメントを解析した結果、軌道磁気モーメントが増加していることが明らかとなり、このことが巨大ファラデー効果(表1)の要因と考えられます。

今回の研究では、鉄(Fe)-コバルト(Co)合金と、フッ化アルミニウム(AlF_3)やフッ化イットリウム(YF_3)のターゲットを用いたスパッタ法によりナノグラニューラー膜を作製しました。膜中では両者が分離して存在しますが、両者の界面においてFeやCo原子の軌道磁気モーメントが増大していることが確認されました。磁性体の軌道磁気モーメントがファラデー効果に寄与することから、ナノグラニューラー構造によってもたらされる磁性グラニューラーのマトリックスとの界面構造状態の制御によって、巨大ファラデー効果が実現しました。

【本研究のインパクト】

本研究によって、世界的に求められつつも45年間実現しなかった新しいファラデー効果を示す材料の開発を実現しました。さらにその大きさは、従来の約40倍にも及びます。加えて薄膜材料であることから、光デバイスの設計の自由度が大幅に拡大します。

本研究の成果を発展させることにより、光デバイスの小型化・集積化が可能となります。すなわち、電子ではなく“光”を用いたダイオード機能やトランジスタ機能を持つ素子の実現を可能とすることになります。集積化によって集積回路(LSI)や中央処理装置(CPU)といった半導体の開発が実現すれば、電子デバイスに代わる、いわば“光子デバイス”が実現し、そのデバイスには、ノイズ、消費電力、処理速度などの電子デバイスが抱える原理的な限界は無縁のものになるでしょう。

本研究の実験は、公益財団法人電磁材料研究所の新材料創生部門長小林伸聖主席研究員と池田賢司研究員および同部門スタッフによって行われたものであり、実験結果の解析は、小林と池田および国立大学法人東北大学の増本博教授により行われました。また、この新しい機能の理論検証および理論構築は、同大学の高橋三郎准教授および国立研究開発法人日本原子力研究開発機構のグウ・ボウ副主任研究員と前川禎通先端基礎研究センター長により行われました。

【参考図】

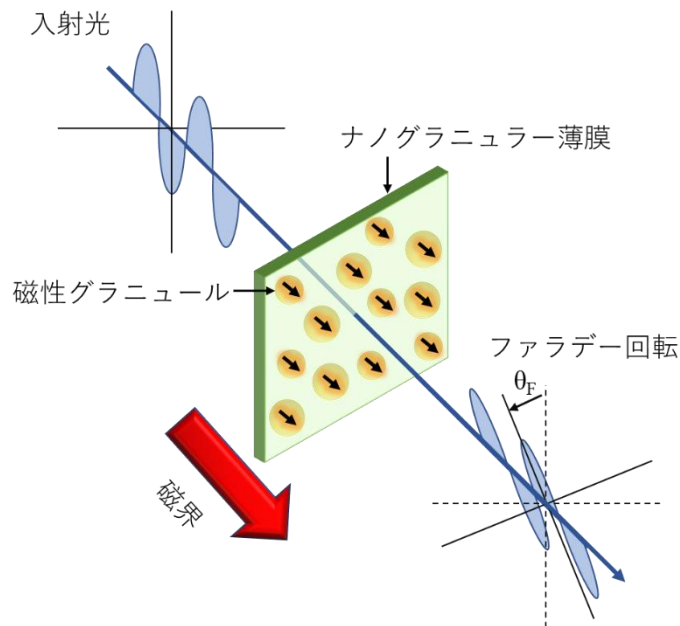


図 1. ナノグラニューラー膜におけるファラデー効果のイメージ図です。ファラデー効果とは、磁性体に加えた磁界に平行な方向に入射する光において、磁性体を透過する光の偏光面が回転する現象のことです。

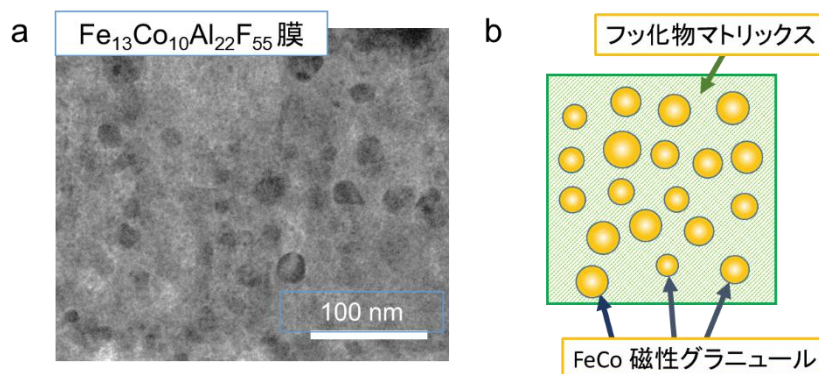


図 2. ナノグラニューラー膜の透過電子顕微鏡写真(a)とそのイメージ図(b)です。フッ化物から成るマトリックスに、ナノメートルサイズの微細な磁性グラニューールが分散した構造を有します。

材料	ファラデー回転角 θ_f (deg./ μm)	
	波長 $\lambda=650\text{nm}$	波長 $\lambda=1550\text{nm}$
$\text{Fe}_{26}\text{Al}_{28}\text{F}_{46}$	2.9	-0.53
$\text{Fe}_{13}\text{Co}_{10}\text{Al}_{22}\text{F}_{55}$	1.6	-1.3
$\text{Fe}_{25}\text{Y}_{23}\text{F}_{52}$	2.7	-0.71
$\text{Fe}_{21}\text{Co}_{14}\text{Y}_{24}\text{F}_{41}$	8.0	-4.0
Bi-YIG	-0.6	-0.11

表 1. ナノグラニューラー膜と実用材料(Bi-YIG)のファラデー回転角の比較です。ナノグラニューラー膜のファラデー回転角はBi-YIG に比べていずれも大幅に大きく、特に光通信に用いられる波長(1550nm) では、 $\text{Fe}_{21}\text{Co}_{14}\text{Y}_{24}\text{F}_{41}$ 膜は約 40 倍もの大きな値を有します。

【用語解説】

1) ナノグラニューラー構造

「ナノ」とは、10億分の1 (10^{-9}) を表す単位の接頭語であり、1ナノメートル(nm)は10億分の1メートル。すなわち、「ナノグラニューラー構造」とは、母相（マトリックス）中にナノサイズの微小な粒子が分散した構造です。

2) 本研究で用いたナノグラニューラー材料は、磁性相の鉄 - コバルト合金粒子を、母相のフッ化アルミニウム (AlF_3) やフッ化イットリウム (YF_3) 中に分散させたものです。

3) ファラデー効果

ファラデー効果とは、磁気光学効果の一種で、磁性体に加えた磁界に平行な方向に入射する光において、磁性体を透過する光の偏光面が回転する現象のことです。

4) 光アイソレーター

ファラデー効果を応用したデバイスです。入射光を一方向だけに伝え、途中で反射して戻ってくる光を阻止する機能を有し、電気回路におけるダイオードと同じ役割をします。

5) フッ化物セラミックス

ナノグラニューラー材料のマトリックス物質として選択されるセラミックス材料として、化学的・熱的に安定な窒化物、酸化物、およびフッ化物があります。フッ化アルミニウムやフッ化イットリウムは、バンドギャップが大きく光透過性が優れていることが特徴です。

6) スパッタ法

スパッタ法とは、アルゴンガスを低圧で満たしたチャンバー内に、対面して配置した基板（成膜基材）とターゲット（原料）の間に高電圧をかけ、プラズマ化したアルゴンガスでターゲット表面をたたき原子を弾き飛ばして基板に堆積させ膜を作製する方法。汎用的膜作成方法として多くの科学技術分野および産業分野で利用されている。

【論文名・著者名】

“Giant Faraday Rotation in Metal-Fluoride Nanogranular Films”

(金属-フッ化物ナノグラニューラー薄膜の巨大ファラデー効果)

Nobukiyo Kobayashi、 Kenji Ikeda、 Bo Gu、 Saburo Takahashi、 Hiroshi Masumoto、
Sadamichi Maekawa

DOI:10.1038/s41598-018-23128-5

【関連特許】

特開 2017-98423 「透光性磁性体」

【お問い合わせ先】

<研究に関すること>

小林 伸聖 (コバヤシ ノブキヨ)

公益財団法人電磁材料研究所 研究開発事業部 新機能材料創生部門 部門長 主席研究員

〒981-3341 宮城県富谷市成田 9-5-1 Tel : 022-347-3788

E-mail : n.kobayashi@denjiken.ne.jp

増本 博 (マスモト ヒロシ)

国立大学法人東北大学 学際科学フロンティア研究所 教授

〒980-8578 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3 Tel : 022-795-4405

E-mail : hiromasu@fris.tohoku.ac.jp

高橋 三郎 (タカハシ サブロウ)

国立大学法人東北大学 金属材料研究所 准教授

〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1 Tel : 022-215-2022

E-mail : takahasi@imr.tohoku.ac.jp

前川 禎通 (マエカワ サダミチ)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 先端基礎研究センター センター長

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4 Tel : 029-282-5093

E-mail : maekawa.sadamichi@jaea.go.jp

<報道担当>

公益財団法人電磁材料研究所 事業支援室 室長 永洞 純一 (ナガホラ ジュンイチ)

〒981-3341 宮城県富谷市成田 9-5-1

Tel : 022-341-6245、 Fax : 022-341-6568

E-mail : nagahora@denjiken.ne.jp

国立大学法人東北大学 学際科学フロンティア研究所 企画部 特任准教授 鈴木 一行
(スズキ カズユキ)

〒980-8578 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3

Tel : 022-795-4353、 Fax : 022-795-7810

E-mail : suzukik@fris.tohoku.ac.jp

国立大学法人東北大学金属材料研究所 情報企画室広報班

〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1

Tel : 022-215-2144 Fax : 022-215-2482

E-mail : pro-adm@imr.tohoku.ac.jp

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 広報部報道課

〒100-8577 東京都千代田区内幸町 2-2-2

Tel : 03-3592-2346、 Fax : 03-5157-1950

E-mail : tokyo-houdouka@jaea.go.jp