



令和3年5月10日

東北大学金属材料研究所
科学技術振興機構(JST)

音波による磁石の向きの制御に世界で初めて成功

- 携帯電話などに用いる弾性波デバイスの高度化に期待 -

【発表のポイント】

- 空気や物質の振動が波として伝わる音波は、物質の表面を伝わる場合は表面音波と呼ばれ、振動方向が回転していく性質があります。
- 音波の振動方向の回転を、磁石の元となる電子の自転(スピン)に移すことにより、磁石の向きを制御することに成功しました。
- 表面音波(表面弾性波)は高精度のフィルターとして携帯電話などに使われており、記録素子として広く使われる磁性との融合による、デバイスの高度化が期待できます。

【概要】

音波は、空気や物質の振動が波として伝わる現象です。音波が物質の表面を伝わる場合は「表面弾性波」と呼ばれており、その振動方向が回転しながら伝わっていく性質を持っています。このような回転は、物理学的には、磁石の元となる電子の自転(スピン)と同様に「角運動量」と呼ばれる回転量で表されることが知られています。

東京大学大学院総合文化研究科大学院生および東北大学特別研究生(現在理化学研究所研究員)の佐々木遼と東北大学金属材料研究所の新居陽一(JST さきがけ研究員兼務)、小野瀬佳文は、表面弾性波から電子のスピンへの角運動量の移動を利用することにより、音波による磁石の向きの制御に世界で初めて成功しました。表面弾性波を用いたデバイスは、高精度なバンドパスフィルター(※1)として携帯電話などに内蔵されており、記録素子として広く使われる磁性との融合によりデバイスの高度化が期待できます。本研究の詳細は Nature Communications に 2021年5月10日(英国時間)に掲載されます。

【詳細な説明】

○研究背景

コンピュータの磁気記憶媒体においては、“1”と“0”からなる 2 進数の情報を、磁石の向き、つまり“NS”か“SN”という形で保持しています。したがって効率的に磁石の向きを制御することは重要で、多くの研究がなされてきました。特に革新的だったのが、電子の自転(スピン)方向をそろえた電流を注入することで磁石の向きを制御する方法で、実際に磁気抵抗メモリ素子(※2)に活用されています(図1)。物理学において、電子のスピンは回転量を表す「角運動量」として理解されていますが、角運動量は物体の回転など様々な形をとり得るため、別の角運動量を磁石に注入して磁石の向きが制御できるのかは興味深い観点となります。本研究グループが注目したのは音波の持つ角運動量です。音波は空気や物質中における原子やイオンの振動が波として伝わりますが、物質の表面を伝わる音波は振動が回転しており角運動量を持ちます。このような表面音波を磁石に伝えたときに磁石の向きが角運動量の移動によって制御できるかを検証しました(図2)。

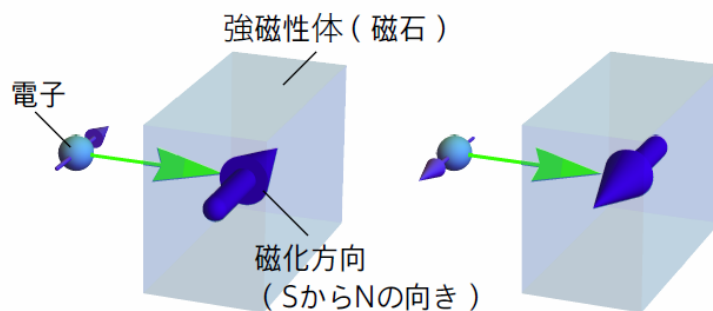


図1：電子スピンによる磁石の向きの制御。スピンがそろった電子による電流が磁石に注入されると磁石の向きが制御される。

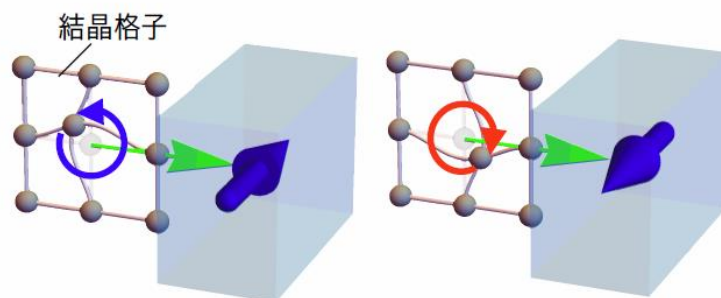


図2：表面音波による磁石の向きの制御。結晶中の原子の回転振動による音波が磁石に伝わると、音波の回転方向によって磁化が制御される。

○成果の内容

上記の研究を行うにあたって、圧電体基板上に表面音波(表面弾性波)を発生できるくし型電極(※3)を2つ作成し、その間に磁石であるニッケル(Ni)薄膜細線を作成しました(図3)。ニッケル薄膜の磁石は、形状の効果によって細線の方に平行に向く特徴があり、上方向もしくは下方向へ向いている状態が安定です。表面音波の効果を検証するために、まず細線に垂直に強い磁場を印加し磁石を強制的に細線に垂直方向に向けたのち、表面音波をニッケル薄膜に伝えながら磁場を弱めていくと、磁石が上を向くか下を向くかが表面音波の方向に依存して決定されることが明らかになりました(図4)。これは、表面音波の回転方向が磁石の向きを決定していることを示しています。

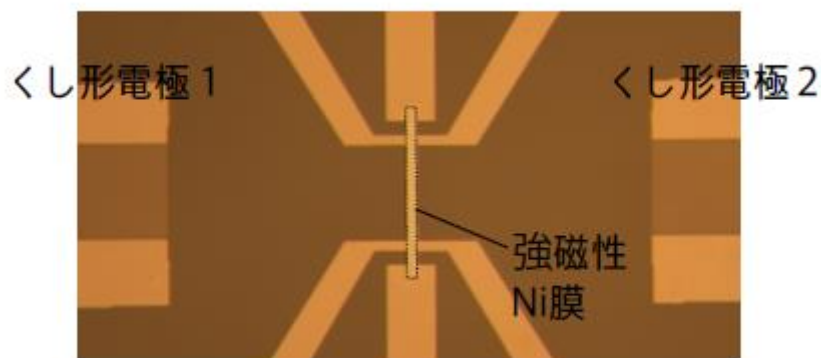


図3：研究に用いたデバイス。圧電体基板上にくし型電極2つとニッケル(Ni)薄膜細線が作成されている。

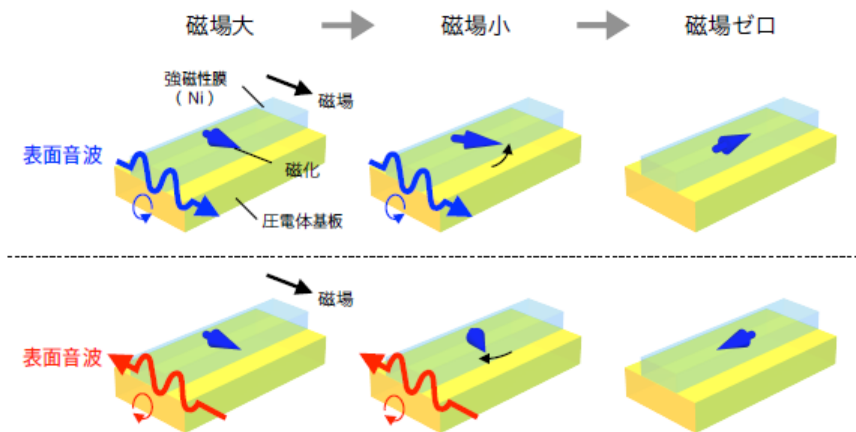


図4：ニッケル細線における表面音波印加の効果。垂直磁場が減少する過程で表面音波を印加すると最終的な磁石の向きが制御できる。

○意義・課題・展望

表面音波(表面弾性波)は高精度のバンドパスフィルターとして携帯電話などに使われています。一方、電子スピンからなる磁石は既に記録素子として広く使われており、スピンのさらなる利用を目指した「スピントロニクス」(※4)分野の研究も活発に行われています。本研究成果は、弾性波デバイスとスピントロニクスを融合させるものとしてデバイスの高度化につながる事が期待できます。

○発表論文

雑誌名: Nature Communications

英文タイトル: Magnetization control by angular momentum transfer from surface acoustic wave to ferromagnetic spin moments

全著者: R. Sasaki, Y. Nii, Y. Onose

DOI: 10.1038/s41467-021-22728-6

○専門用語解説(注釈や補足説明など)

※1 バンドパスフィルター: 決まった周波数領域だけを通すフィルター。

※2 磁気抵抗メモリ素子: 情報を磁化の方向として保持して、抵抗の大きさでその情報を読み出すことができる素子。電源を切っても情報が保持できる「不揮発な」性質を持つ。

※3 くし型電極: くし型をしている電極 2 組をかみ合わせた構造のもので、圧電体基板上で高周波を印加すると表面音波(表面弾性波)が発生する。

※4 スピントロニクス: 電子の電荷とスピン(電子の磁石としての性質)の両方を利用した機能開拓を行う研究分野のこと。

○共同研究機関および助成

本研究の成果は、当時東京大学大学院総合文化研究科の大学院生および東北大学特別研究生(現在理化学研究所研究員)の佐々木遼、東北大学金属材料研究所の小野瀬佳文教授、新居陽一助教の共同研究によって得られたものです。

本研究は、JSPS科研費(課題番号:16H04008, 17H05176, 18K13494, 20K03828)、JSTさきがけ(課題番号:JPMJPR19L6)、日本学術振興会特別研究員奨励費(課題番号:18J12130)、三菱財団、野口遵研究助成の支援を受けました。

本件に関するお問い合わせ先

◆研究内容に関して

東北大学金属材料研究所

量子機能物性学研究部門

小野瀬 佳文

TEL:022-215-2040

Email: onose[at]imr.tohoku.ac.jp

◆報道に関して

東北大学金属材料研究所 情報企画室広報班

TEL:022-215-2144 FAX:022-215-2482

Email: imr-press [at]imr.tohoku.ac.jp

科学技術振興機構 広報課

TEL:03-5214-8404 FAX:03-5214-8432

E-mail: jstkoho[at]jst.go.jp

◆JST事業に関して

科学技術振興機構 戦略研究推進部 グリーンイノベーショングループ

嶋林 ゆう子

TEL:03-3512-3526 FAX:03-3222-2066

E-mail: presto[at]jst.go.jp