



2022年10月5日

報道関係者各位

慶應義塾大学

## わずか1兆分の4メートルの精度で振動量を正確に決定することに成功 ー弾性表面波デバイスの微小な動きを捉えるー

慶應義塾大学大学院理工学研究科の岩崎綾華（修士課程2年）、西川大智（博士課程3年）、立野翔真（2021年3月修士課程修了）、同理工学部物理学科の岡野真人専任講師（研究当時）、山野井一人助教、能崎幸雄教授、渡邊紳一教授の研究グループは、弾性表面波（※1）デバイスの表面で起こる極めて小さな振動現象の変位を、わずか1兆分の4メートルの精度で定量的に決定することに成功しました。本成果は、弾性表面波を利用した今後の電気・磁気デバイスの正確な特性評価への活用が期待されます。

本研究成果は、2022年10月3日（現地時間）に『APL Photonics』で公開され、論文誌編集者による注目論文（Editor's Pick）に選出されました。また、米国物理学協会でも興味深い研究を紹介するサイトであるScilight（science highlight）でも紹介されました。

### 1. 本研究のポイント

- ・デバイス表面からの反射光のみを抽出することで測定の定量性を高めることに成功。
- ・光学経路の不安定性の影響を除去した高精度な振動量計測を実現。
- ・弾性表面波を利用した電気・磁気デバイスの新たな評価手法として期待される。

### 2. 研究背景と結果の概略

弾性表面波デバイスは携帯電話やスマートフォンに内蔵されており、不要な周波数成分をカットするためのフィルターとして活用されています。さらに近年では、電子スピンを操作する目的で弾性表面波デバイスが活用されており、次世代の磁気デバイスとしても有望視されています。弾性表面波デバイスでは、デバイス表面上をレイリー波（※2）と呼ばれる表面波が伝搬します。レイリー波の伝搬時に、デバイス表面が何メートル振動しているのか（変位しているのか）を正確に計測することは、デバイスの性能評価をする上で極めて重要です。

このような表面変位量計測には、これまでレーザー干渉計（※3）が用いられてきました。レーザー干渉計では、デバイス表面の振動量を振動している表面からの反射光の干渉計測によって電圧信号として観測します。しかし従来のレーザー干渉計では、デバイス表面からの反射光と、光学系のその他の部分で反射した反射光を分離することが極めて困難であるため、計測量の定量性が損なわれるという問題がしばしば生じていました。

今回、本研究グループは、複数の波長の光の干渉計測が同時に実現できるデュアルコム干渉計（※4）を用い、観測したい反射面からの信号のみを分離抽出することで、測定の定量性を向上させました。さらに、同じ光学経路をお互いに逆方向に通る2つの光の位相を比較するように光学系を工夫することで、光学経路の不安定性の影響を除去した、計測の不確かさの小さい測定系を実現しました。これらの工夫の結果、デュアルコム干渉計では最高精度である4ピコメートル（1兆分の4メートル）の精度で、弾性表面波の振動量を決定することに成功しました。

### 3. 研究内容・成果

本研究の概要を図1に示します。ここでは、パルス1とパルス2が $\Delta t$ だけ異なる時刻にデバイス表面で反射されます。その時間差 $\Delta t$ の間に弾性表面波によってデバイス表面が変位するため、光パルスが反

射される位置が変化します。デュアルコム干渉計測では、その反射位置の変化を反射光の位相変化として観測することができます。図2は実際に得られたパルス1のデュアルコム干渉信号です。四角い点線で囲ったピーク信号がデバイス表面で反射された光による干渉信号で、その他のピーク信号は光学系の他の場所で反射された光による干渉信号です。こうして観測したい反射面からの干渉信号とそれ以外の干渉信号が時間的に分離されるため、デバイスからの反射信号を容易に抽出でき、測定の定量性を著しく向上させることに成功しました。さらに、パルス1とパルス2について同じ光学経路をお互いに逆方向に通るように測定系を工夫することで、光学経路の経時変化による不安定性の影響を大幅に低減しました。図3は、振動量の測定精度を表すアラン偏差(※5)の計測時間依存性です。計測時間を増やし積算回数を増やすことで、最終的に4ピコメートルの精度で、弾性表面波の振動量を決定することに成功しました。

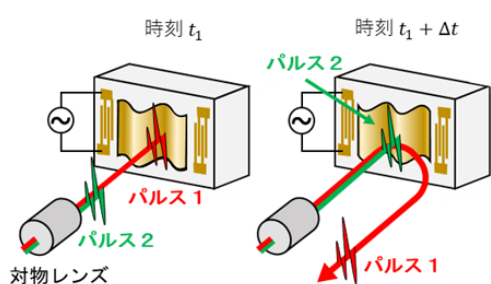


図1

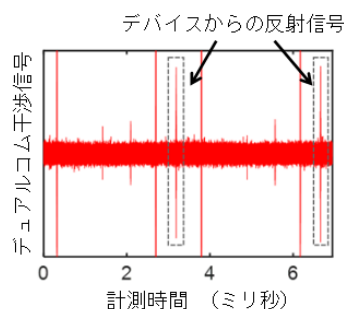


図2

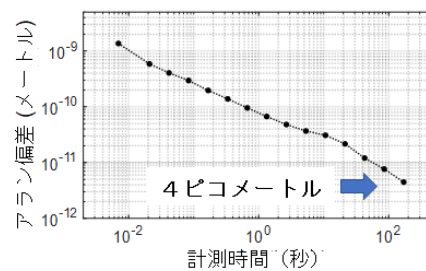


図3

#### 4. 今後の展開

本研究グループは、弾性表面波を利用した新しい磁気デバイスの研究に焦点をあてた研究を進めています。今後、デバイス表面の定量的な振動量から磁気生成量を見積もり、その効率を調べることで弾性表面波励起による磁気励起の起源を明らかにする取り組みを進めていきます。

※本研究の一部は、国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST) CREST (課題番号: JPMJCR19J4) および文部科学省光・量子飛躍フラッグシッププログラム (Q-LEAP) (課題番号: JPMXS0118067246) の支援を受けたものです。また本研究の一部は、文部科学省「ナノテクノロジープラットフォーム」事業 (課題番号: JPMXP09-F-21-AT-0085) の支援を受けて、国立研究開発法人産業技術総合研究所ナノプロセッシング施設において実施されました。

#### <原論文情報>

A. Iwasaki, D. Nishikawa, M. Okano, S. Tateno, K. Yamanoi, Y. Nozaki, and S. Watanabe, "Temporal-offset dual-comb vibrometer with picometer axial precision", APL Photonics vol. 7, Issue 10, Article Number 106101 (2022).

DOI: doi.org/10.1063/5.0099155

<米国物理学会協会 Scilight による紹介記事>

<https://aip.scitation.org/doi/10.1063/10.0014828>

#### <用語説明>

※1 弾性表面波: 弾性体の表面付近にエネルギーが集中して伝わる波のこと。

※2 レイリー波: 弾性表面波の一種。表面近くの弾性体部分は楕円運動を行う。

※3 レーザー干渉計: 2つのレーザー光が1点で重なるときに、その位相差に応じて光が強め合ったり弱

め合ったりする効果を利用した光学装置。極めて小さな振動量計測が可能である。

※4 デュアルコム干渉計：周波数と相対位相が極めて正確に制御された2台のレーザー光源（光周波数コム光源）を干渉させることで、片方の光源の位相変化量を正確に求めることができる手法。

※5 アラン偏差：もともとは周波数安定性の評価として導入された指標。ここでは、振動量計測の精度を表す指標として用いている。

※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 物理学科 教授 渡邊 紳一（わたなべ しんいち）

TEL：045-566-1687 FAX：045-566-1672 E-mail：watanabe@phys.keio.ac.jp

- ・ 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/>