

研究紹介 2021/06/02

量子情報応用へ向けた表面弾性波 フォノンにおける非線形現象の探索

【概要】

固体表面を伝わる表面弾性波は、エネルギー散逸が少なく、優れた量子系として量子情報分野への応用が期待される。本研究では、表面弾性波フォノンを量子ビットとして用いるために必要な非線形効果の観測を目指す。

東京大学 理学系研究科 物理学専攻 林研究室
博士課程2年 松本啓岐

量子コンピュータと量子ビット

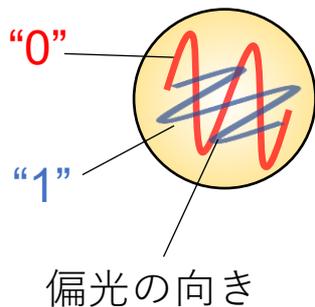


一度の計算に1通りの情報しか処理できない 一度の計算で 2^n 通りの情報を処理できる

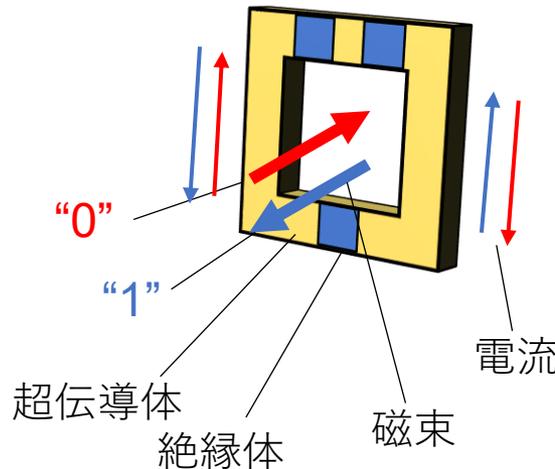
→ **高速演算**が可能

◆ 量子ビットに用いられる物理系の例

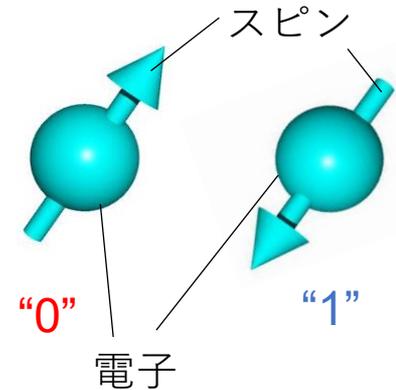
光子



超伝導量子ビット

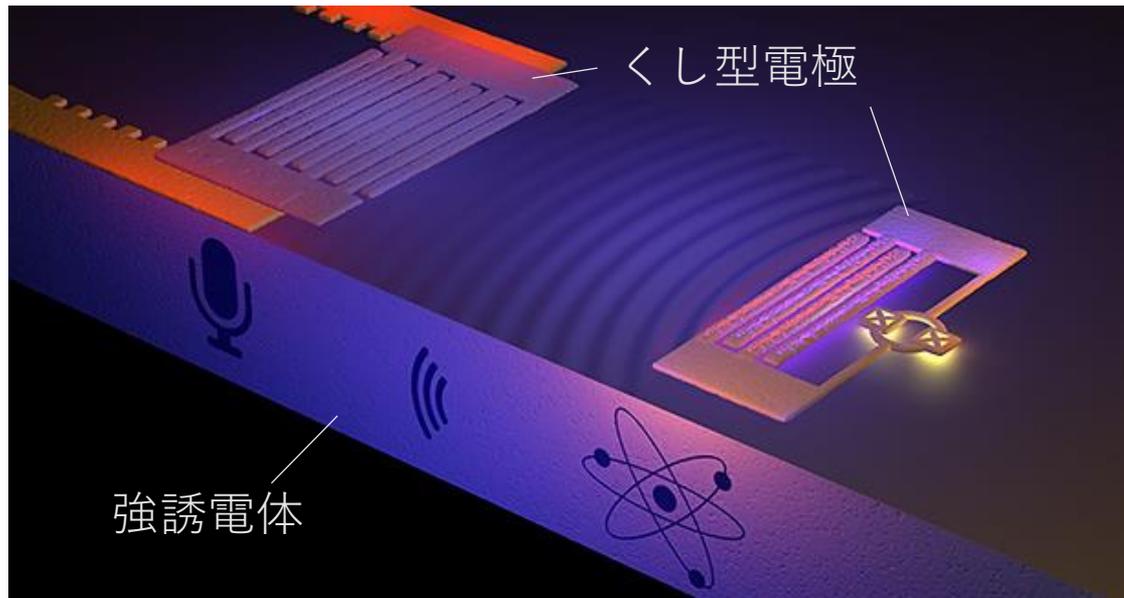


スピン量子ビット



多くの量子系では量子状態の安定性が悪い：**量子状態の長時間保持が課題**

表面弾性波 - 固体表面の格子振動波 -



くし型電極に交流電圧を加える

↓
圧電効果

強誘電体表面に格子ひずみの波が誘起される = 表面弾性波

- ✓ エネルギー散逸が少ない
- ✓ 長時間情報を保持できる

[1] *J. Phys. D: Appl. Phys.* **52**, 353001 (2019).

- 超伝導量子ビットによる表面弾性波フォノン（表面弾性波量子）の吸収[2]
- 超伝導量子ビットによる単一フォノンレベルでの表面弾性波読み出し[3]

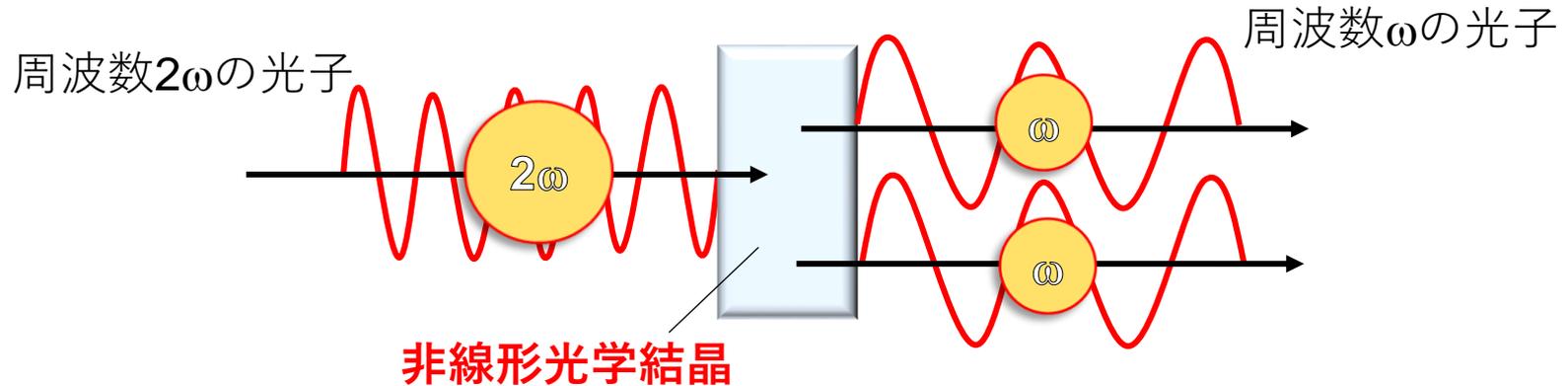


表面弾性波フォノン量子ビットが実現可能??

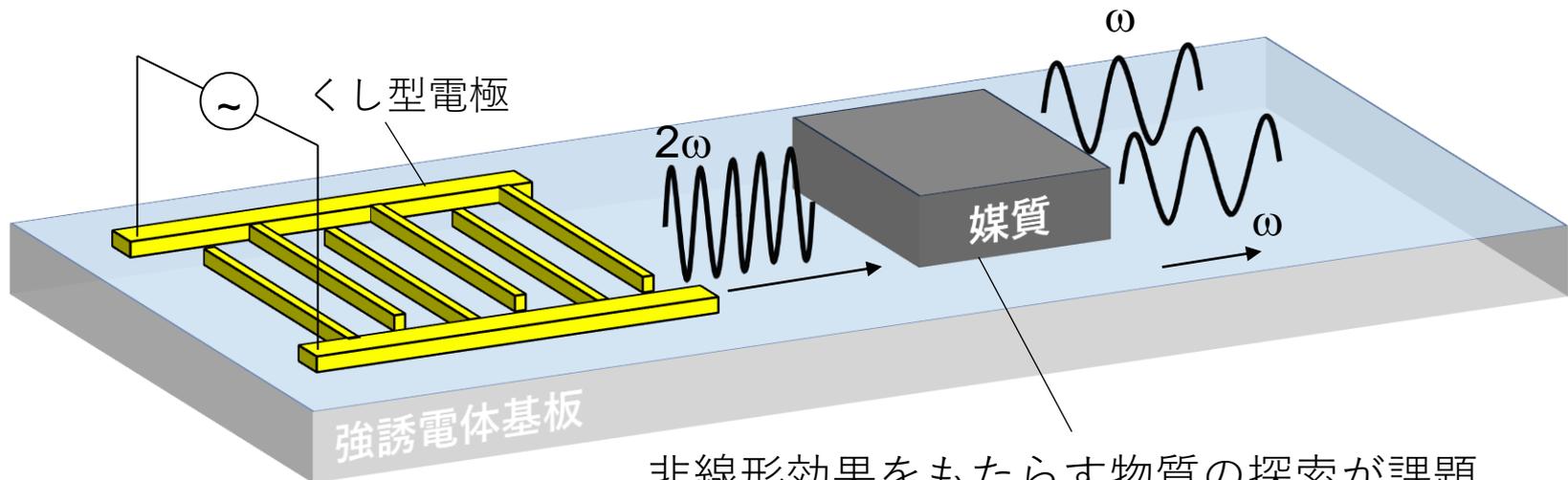
[2] M. V. Gustafsson *et al.*, *Science* **346**, 207 (2014). [3] A. Noguchi *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **119**, 180505 (2017). ³

表面弾性波における非線形効果

◆ 光量子ビット作製に用いられる **非線形光学効果**

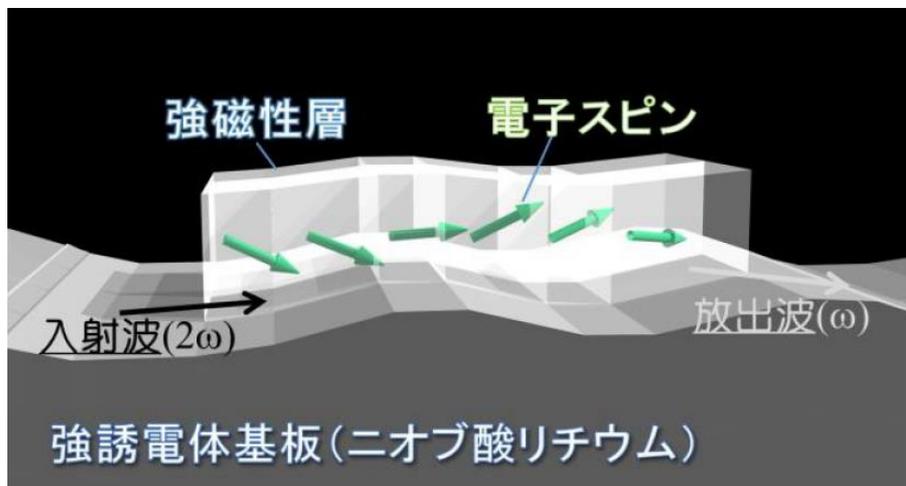


◆ 表面弾性波量子ビット作製のため、同様の非線形効果を実現したい



非線形効果をもたらす物質の探索が課題

非線形効果発現のための媒質



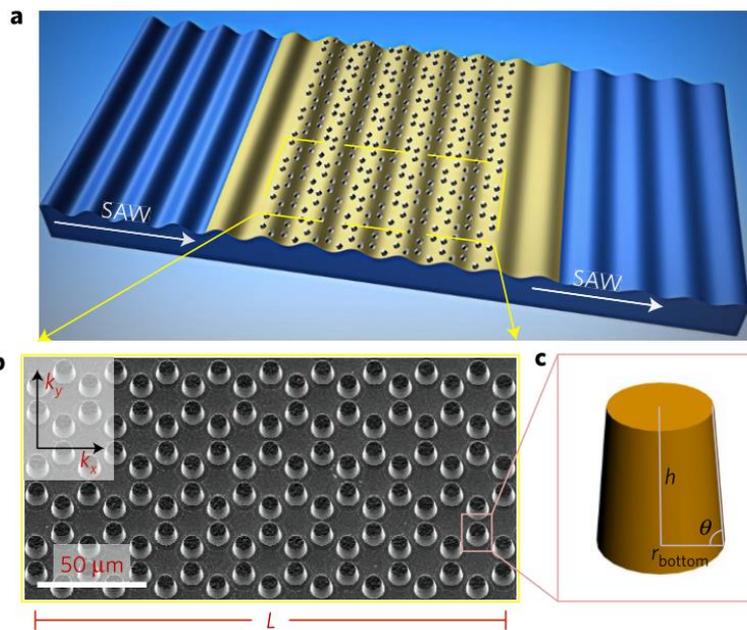
媒質候補① 強磁性体金属薄膜

磁気弾性結合（格子ひずみと磁性の相互作用）による
表面弾性波 – 電子スピン波変換[4]

電子スピン波における非線形効果[5]を利用
→ 表面弾性波の非線形効果が実現？

[4] M. Weiler *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **106**, 117601 (2011).

[5] C. W. Sandweg *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **106**, 216601 (2011).



媒質候補② 蜂の巣格子配列構造（疑似グラフェン） [6]

μm スケールの柱状固体（図c）を蜂の巣状に並べる（図b）

... 表面弾性波フォノンにとってのグラフェン

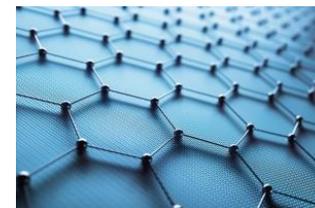
グラフェンで生じる非線形現象[7]を、表面弾性波フォノンの
スケールで実現？

グラフェンの原子配列[8]

[6] S. -Y. Yu *et al.*, *Nat. Mater.* **15**, 1243 (2016).

[7] N. Vermeulen *et al.*, *Nat. Commun.* **9**, 2675 (2018).

[8] *Nat. Nanotechnol.* **14**, 903 (2019).



自己アピール① アカデミアでの業績

◆ 論文発表 3 件（第一著者 2 件）

- **H. Matsumoto**, S. Ota, A. Ando, and D. Chiba, “A flexible exchange-biased spin valve for sensing strain direction”, *Applied Physics Letters* **114**, 132401 (2019).（本論文で発表したデバイスで特許取得）
- S. Ota[†], M. Ono[†], **H. Matsumoto**, A. Ando, T. Sekitani, R. Kohno, S. Iguchi, T. Koyama, and D. Chiba, “CoFeB-MgO-based magnetic tunnel junction directly formed on a flexible substrate”, *Applied Physics Express* **12**, 053001 (2019).（第42回応用物理学会優秀論文賞受賞）
- **H. Matsumoto**, S. Ota, T. Koyama and D. Chiba, “Control of magnetic anisotropy in a Co thin film on a flexible substrate by applying biaxial tensile strain”, *Applied Physics Letters* **118**, 022406 (2021).

◆ 学会受賞 4 件（第一著者 3 件）

- 第79回応用物理学会秋季学術講演会 第10回英語講演奨励賞（英語講演、全発表者中 上位10%）
- 第80回応用物理学会秋季学術講演会 講演奨励賞（英語講演、全発表者中 上位1%）
- 日本磁気学会第43回学術講演会 令和元年度学生講演賞（全発表者中 上位5%）
- 第42回応用物理学会優秀論文賞（共著論文）

◆ 研究費・研究奨励金獲得 2 件

- 日本学術振興会 特別研究員DC1
- 東京大学理学系研究科物理学専攻 JSRフェローシップ CURIE生（卓越リサーチ・アシスタント）

自己アピール② スキル・知識等

物理学の基礎知識

学部時代から物理学を専攻。解析力学・電磁気学・量子力学・統計力学・固体物理学・光学など

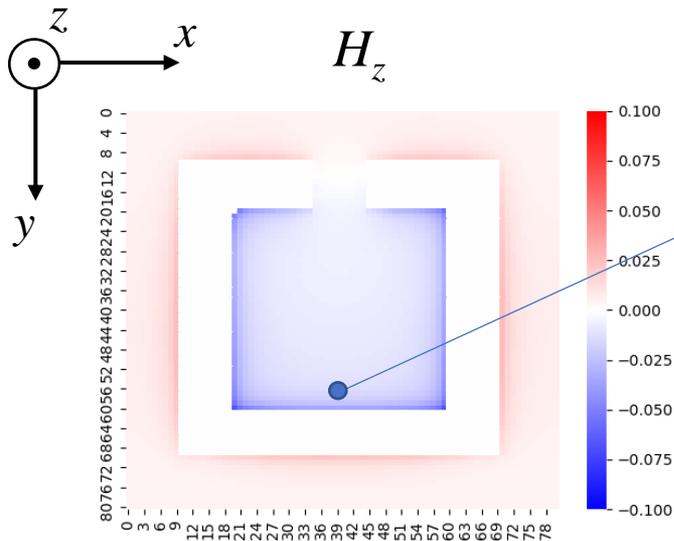
プログラミングスキル (Python, Labview)

実験装置の自動制御、実験結果の解析、図表作製、シミュレーション

FDTD法 (時間領域差分法) による電磁波解析シミュレーションの経験

マクスウェル方程式を有限空間時間領域において差分法により数値計算で解く

→ スプリットリング共振器における電磁場分布の時間発展を計算 (Python, GPUを利用)



磁場の時間発展

