

GHz 超音波共振による音響スピン波共鳴励起とその反作用効果

Spin-wave resonance driven by a GHz-ultrasound resonance and its back-action effect

NTT 物性科学基礎研究所 [○]畑中 大樹、国橋要司、眞田治樹、岡本創、山口 浩司NTT Basic Research Laboratories [○]Daiki Hatanaka, Yoji Kunihashi, Haruki Sanada,

Hajime Okamoto, and Hiroshi Yamaguchi

e-mail: daiki.hatanaka.hz@hco.ntt.co.jp

格子振動とスピン波の相関物理の理解や、それを利用したハイブリッド系の研究に注目が集まっている [1]。特に最近、表面弾性波 (SAW) 素子を用いたスピン波共鳴 (SWR) や磁気スキルミオン生成、非相反伝搬の観測等、興味深いスピンメカニカル現象に関する報告が次々に行われている [2,3]。しかしながら、これまでは SAW 伝搬波が用いられていたため、磁気弾性効果は小さく、SWR の効率的な励起や多様な非線形現象の観測は不可能であった。また、その反作用による機械系の動的な変調効果も観測されず、ハイブリッド系としての結合動作は極めて限定的であった。我々は、一次元フォノンニック周期構造を有する高 Q 値の GHz 超音波 SAW 共振器を作製し、SWR による機械特性への反作用効果について調べた。その高い閉じ込め効果により実効的な結合強度が増強された結果、SWR の高強度励起とそれによる共振周波数や Q 値の変調を観測することに成功した。本成果は、スピン波と音響波による強結合状態の実現に繋がる。

図 a にデバイスの光学顕微鏡写真を示す。ニオブ酸リチウム基板 ($128^\circ\text{-Y LiNbO}_3$) 上に、相対した楕型電極 (IDT) を一組、その外側にフォノンニック構造 (ブラッグ反射器) が形成されている。これより、IDT から励起された周波数 $f_0 = 0.9747$ GHz の SAW は反射され、室温で最大 4,500 に至る高 Q 値の共振が発生する。両 IDT の間には、外部磁場 ($\mu_0 H_{ex}$) により磁化したニッケル (Ni) 薄膜が形成されている。これが共振により歪むことで、周波数 f_0 の有効磁場が Ni 磁化に対して働く (磁歪)。Ni 薄膜の磁化容易軸に対する磁場の角度を適切に選択し、SWR 周波数が周波数 f_0 と一致するようにその値を調整すると、SWR が引き起こされる。その過程で、SAW エネルギーの一部が消費されるため、SAW の伝達強度 ($|S_{21}|^2_{\text{norm}}$) が低下する (図 b)。同一周波数帯の過去の報告値より大きな SAW の吸収が観測され、また、SWR からの反作用により周波数 f_0 (図 c) や Q 値も変調を受けた。これら結果は磁気弾性現象をモデル化した計算からもよく再現され、確かに機械共振と SWR の複合効果によるものであることが分かり、磁気弾性効果への機械共振の有用性が示された。今後は、高 Q 値・低モード体積のフォノンニック結晶共振器の導入を進めることで [4]、磁気弾性の強結合や非線形 SWR の観測を目指す。

[1] M. Weiler *et al.*, Phys. Rev. Lett., **106**, 117601 (2011). [2] T. Yokouchi *et al.*, Nat. Nanotechnol., **15**, 361–366 (2020). [3] A. Hernandez-Minguez *et al.*, Phys. Rev. Appl., **13**, 044018 (2020). [4] D. Hatanaka and H. Yamaguchi, Phys. Rev. Appl., **13**, 024005 (2020).

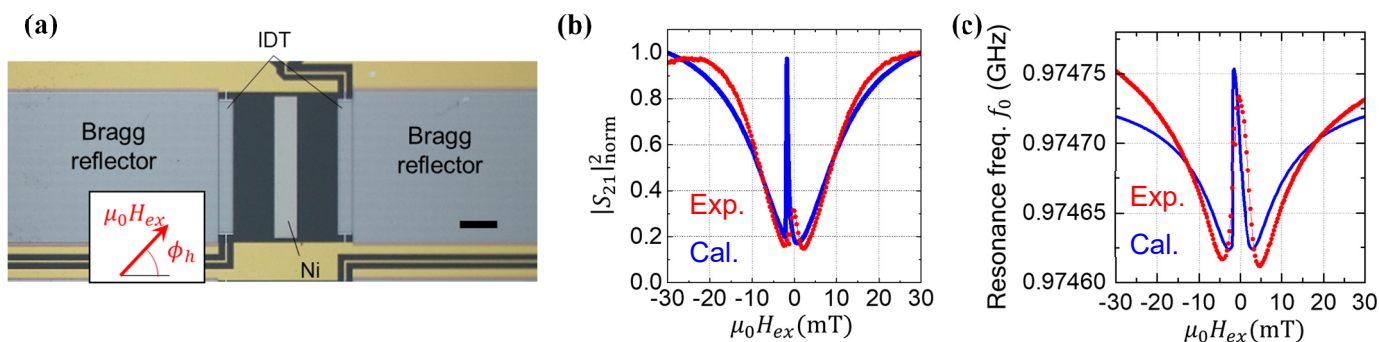


Fig. (a) Schematic of a SAW resonator consisting of 50 nm-aluminum inter-digit transducers (IDT) and Bragg reflectors. A Ni film (50 nm-thick) is formed between the IDTs. The angle between $\mu_0 H_{ex}$ and the SAW direction is set to $\phi_h = 45^\circ$. The scale bar is 200 μm . **(b)** The $\mu_0 H_{ex}$ dependence of the normalized SAW transmission ($|S_{21}|^2_{\text{norm}}$) with $f_0 = 0.9747$ GHz. **(c)** The $\mu_0 H_{ex}$ dependence of the SAW resonant frequency f_0 .