

# 表面弾性波共振器マグノメカニクス

畑中大樹 (NTT 物性科学基礎研究所 daiki.hatanaka@ntt.com)

浅野元紀 (NTT 物性科学基礎研究所 motoki.asano@ntt.com)

熱や音の素励起であるフォノン<sup>1</sup>は、観察対象を不明瞭にしたり、デバイスの動作性能を劣化させたりするなど、しばしば実験家を悩ます存在である。しかしながら、超音波などの音響フォノンは、同一周波数の電磁波と比較して、波長が5桁も短く、エネルギー損失が小さいという特徴をもつ。それゆえ、情報担体として利用すれば、デバイスの小型化や省エネに繋がるという期待がある。

フォノンの制御技術は、エレクトロメカニクスやオプトメカニクスといった分野において近年精力的に研究されてきた。圧電効果や光音響効果のような振動と電気、もしくは光との結合現象の理解が進み、成熟したエレクトロニクスやフォトニクスの知見や技術をフォノン制御に活用できるようになった。その結果、フォノン物理の理解や、その応用可能性が飛躍的に高まった。

フォノンは、物質の格子振動としても現れることから、同じく格子中の電子スピンの集団運動であるマグノン(スピン波)と**磁気弾性効果**を通して相互作用する。これにより、マグノンをういたフォノンの励起、またはその逆過程によるマグノン励起が可能となる。そして両者が双方向に作用する強結合領域では、**マグノンポーラロン**と呼ばれる準粒子状態が形成される。ここでは、両者の長所が共存し互いの性質を補完しあうため、フォノンの高いコヒーレンス性によるマグノンの長距離輸送や、マグノンの磁気感受性や非線形性、非相反性などの諸特性を用いて、より自由度の高いフォノン制御への期待がある。

マグノンとフォノンを研究対象にした学際領域はマグノメカニクスと呼ばれる。特に**表面弾性波(SAW)**デバイスは、基板表面を伝わる高周波振動と、強磁性体中のマ

グノンとの相互作用を容易に観察できる基本素子である。SAWによるマグノンの励起だけでなくフォノンの動力学的回転を介したマグノンとの相互作用物理の探求など、先駆的な取り組みが近年報告され始めている。しかしながら、これらはSAWの伝搬波を扱っており、相互作用が小さく、観測可能な現象やそれをういたフォノン制御にも限界があった。

我々は、この課題に取り組むため、共振器マグノメカニクスの概念を導入した新しい磁気弾性デバイスを提案、実証した。周期金属細線からなる音響ミラーを両端に据えたSAW共振器は、良好な $Q$ 値を示し( $Q_a=4,500$ )、強い閉じ込め効果によって小さな損失を示す( $\kappa_a/(2\pi)=210$  kHz)。圧電的に励起された1 GHzのSAWは、共振により高強度の振動となり、磁気弾性効果を介して効率的なマグノン駆動を可能にした。そして、マグノンによるSAW共振への反作用によって、SAW共振周波数の変化や $Q$ 値の低減といった共振特性の変化も現れた。理論モデルとの比較から、マグノン・フォノン間の結合レート( $g/(2\pi)=9.9$  MHz)の算出に成功し、強度比で50%以上のフォノンがマグノンへコヒーレントに変換されることを明らかにした。一方で、今回はマグノンの損失過多のため、強結合状態を実現するまでには至らなかったが、これは低磁気損失膜への変更など強磁性体の最適化を通して解決可能である。

本成果から、SAW共振器の導入はフォノンの損失を著しく抑制し、マグノン・フォノン相互作用の増強に有効とわかった。これにより、従来、観測の難しかった磁気弾性効果も顕在化し、マグノンの特異な特性を利用したフォノンの新しい制御技術の創出が期待される。

## 用語解説

### 磁気弾性効果：

磁性体に磁場をかけていくと、その形状が変化する現象。スピン軌道相互作用や交換相互作用、磁気双極子相互作用を介して磁氣的もしくは電氣的に磁化と歪が結合する。

### マグノンポーラロン：

マグノンとフォノンの混合状態からなる準粒子。マグノンが強磁性体中を伝搬すると、磁気弾性効果により周囲の格子が変形する(フォノン)。そして、この歪が再び磁気弾性効果を通してマグノンの特性に影響を与える。これにより、フォノンを周辺にまとめたマグノンの仮想的な粒子が形成される。

### 表面弾性波(SAW)：

固体物質表面に局在した弾性振動。レイリー波とも呼ばれる。表面の垂直方向にそって上下に楕円を描くように振動し伝搬する。櫛型形状の電極を圧電基板上に設置し、そこに交流電圧を加えることで容易にSAWの励起と検出が可能である。