


超高速マグノフォニック共振器デバイス

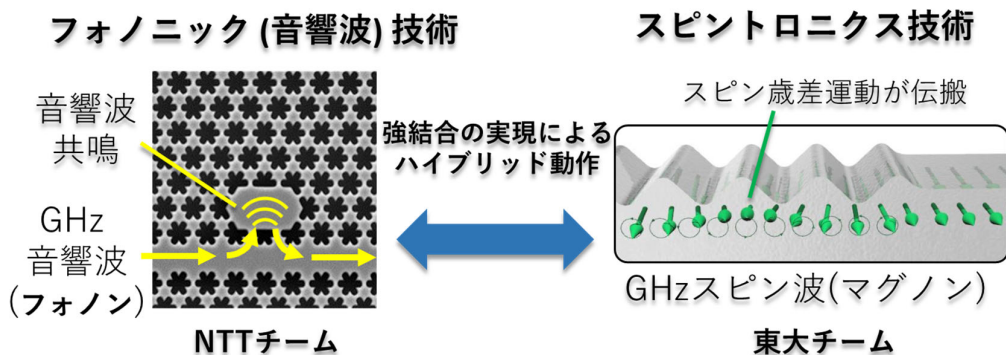
	研究代表者	日本電信電話株式会社 NTT 物性科学基礎研究所・フロンティア機能物性研究部・フェロー	
		山口 浩司 (やまぐち ひろし)	研究者番号:60374071
	研究課題情報	課題番号: 23H05463	研究期間: 2023年度~2027年度
		キーワード: 音響共振器、スピントロニクス、フォニック結晶、マグノン	

なぜこの研究を行おうと思ったのか (研究の背景・目的)

●研究の全体像

鐘や音叉などのフォニック (音響) 共振器は、最も古くから人類が技術応用を行ってきたデバイスである。昨今では水晶振動子などのバルク音響共振器や表面弾性波によるマイクロ波フィルタなどの微小デバイスとして形を変え、携帯端末や車載機器、各種センサーやタイミングデバイス等の、最先端微小デバイスとして広く用いられている。今後、beyond 5G あるいは 6G という通信技術の発展により、その多機能化、集積化、さらには高周波化技術の開発が重要であることは間違いない。特に 10 GHz を超える高い周波数領域では、電磁波の輻射損失や相互干渉による影響が無視できなくなり、既存の半導体デバイスに基づいた信号処理のみに技術を委ねるのは困難になると予想される。

一方、同様に古くから技術応用がなされてきた「磁性」材料は、昨今スピントロニクスとして微細構造デバイス技術の一端を担い、例えば不揮発性メモリ MRAM として実用化が進んでいることは周知の事実である。本研究ではこれらフォニック共振器とスピントロニクス構造の融合デバイス技術を開拓し、強磁性体が持つ様々な特徴的物性を活用した新しい超高速フォニックデバイス技術の確立を目指す。



超高速・量子テクノロジーを  
不揮発性・オンチップ集積デバイスで実現する

図1 本研究の概念図

●研究の特徴

本研究の特徴は、①チップ上の集積化と高周波化に有利なフォニック共振器として、フォニック結晶ならびに窒化物半導体によるバルク音響共振器を用い、②スピントロニクス材料として低損失の強磁性材料および超高速周波領域に共振を持つ人工反強磁性薄膜やフェリ磁性などの新規スピントロニクス材料を用いたハイブリッドマグノフォニックデバイス構造を用いる点にある。これにより、フォノンと強磁性体、すなわちマグノンの相互作用における物理を徹底解明することにより、新しい機能の超高速フォニックデバイスの実現を目指す点に学術的な独自性がある。

●期待される波及効果

フォニック共振器は携帯端末や各種センサーなど、さまざまな情報処理技術に用いられているキーデバイスの一つである。磁性体ドメインにストアした情報により、その特性を「再構成」することができれば、構造設計で固定されていた共振器特性を、使用状況・用途に合わせて最適化することが可能となり、共振・伝搬特性を再構成可能な可変フィルタ/タイミングデバイスや音響導波路、さらには、その逆動作として、検出情報をストアしポストプロセッシングできる新しい IOT センシング技術など、その利用範囲は大きく広がると期待される。また、磁気音響効果を媒介させることにより Si のような非圧電性材料によるプラットフォームにもフォニック素子の形成、さらにはその非線形動作が可能となり、材料選択の自由度や既存の Si 集積回路との融合も可能となる。電気信号に比べてフォノン流の輻射損失は非常に小さく、アナログ回路で構成されるフロントエンド部分をフォノンデバイスで運用できれば、様々な高周波デバイスの省エネ、小型化、高速化につながる潜在的可能性がある。

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

●フォノンとマグノンの強結合状態の実現

強磁性体とフォニック共振器の結合構造にデバイス機能を出現させるために、これらの結合の強さを大きく改善することが重要である。ナノスケールにおける磁気弾性結合の振る舞いを詳細に解明し、磁気共鳴の損失より大きな相互作用を実現することを最も重要なマイルストーンとする。具体的には、磁気弾性結合が大きく磁気緩和が小さい磁性材料をフォニック結晶共振器に集積し、強磁性共鳴とフォニック共鳴が反交差する強結合状態をチップ上で実現する。

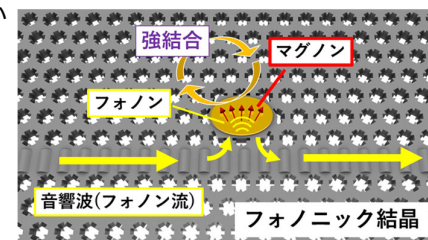


図2 フォニック結晶共振器を用いた強結合マグノフォニック素子の概念図

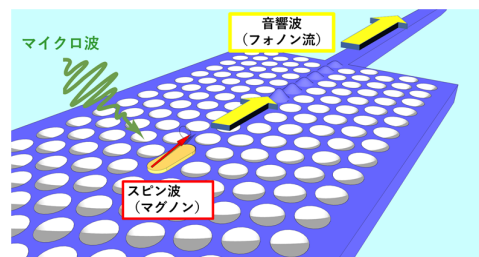


図3 フォニック結晶共振器を用いたマグノンによるフォノン振動生成の概念図

●磁化状態による共振制御、ならびにフォニック信号による磁化状態制御

用いる磁性材料を最適化することで強結合を実現するとともに、磁気弾性結合物性の詳細な解明、ならびにその物理を最大限に活用したナノスケールでの磁歪効果制御技術確立し、上記の二つの機能実現を目指す。最終的には、磁気弾性効果を介したマグノンによるフォノン振動の生成やフォノンによるマグノン状態の制御を目指す。

●これらの動作をミリ波帯という超高速周波領域で動作させる基盤技術を確立する

現時点ではフォニック結晶共振器を用いた 1 GHz 近傍の共振を用いているが、この動作周波数を高めるために、人工反強磁性やフェリ磁性、さらには反強磁性を有する新しい超高速周波磁性材料を導入するとともに、フォニック結晶だけではなく、高い圧電性と音速の大きさにより高速化に有利な窒化物半導体を用いた BAW 共振器など、異なる共振器構造をベースとしたフォニック共振器と強磁性材料との結合デバイスを集積チップ上で実現する。

また、これらの技術の礎となる窒化物半導体の高純度弾性材料成長技術やプロセス技術、高周波測定技術やオプトメカニクス干渉計を用いた共振検出手法などの要素技術に関しても最適化研究を進める。

超高速周波動作を実現する要素技術

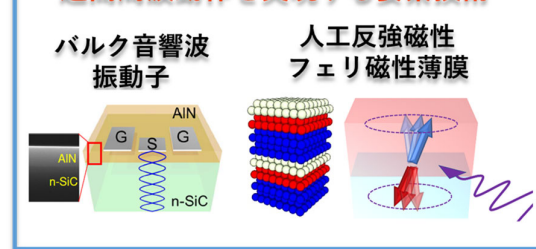


図4 高周波動作に向けた基盤技術