

研究課題名 極超音波トポロジカルフォノニクスの開拓と多機能弾性波デバイス開発

岡山大学・自然科学学域・教授

つるた けんじ
鶴田 健二

研究課題番号： 21H05020

研究者番号： 00304329

研究期間： 令和3年度～令和7年度 研究経費（期間全体の直接経費）： 122,500千円

キーワード： トポロジカルフォノニクス、フォノン結晶、トポロジー最適化、表面弾性波イメージング、スピンメカニクス

【研究の背景・目的】

2016年のノーベル物理学賞以来、電子系の波動関数の幾何位相（トポロジー）に着目したトポロジカル絶縁体・トポロジカル超伝導体の研究が国内外で盛んである。“トポロジー”はこれまであまり注目されてこなかった波動現象における不変量であり、界面・表面において不純物や構造乱れの影響を受けない“トポロジーに保護されたエッジモード”が現れる。近年、同じ理論的枠組みを弾性波の伝搬モードに適用する“トポロジカルフォノニクス”にも注目が集まっている。異なる音響・弾性特性を持つ物質を周期的に積層した人工構造“フォノン結晶”をベースにして、その分散関係を制御するフォノンバンドエンジニアリングにより、物質中の電子バンドのトポロジーと同様の解析と設計が可能である。

本研究では、計算科学的バンド設計と、それに基づいてトポロジーで保護されたエッジモードの発現を予測し、時間分解計測や力学系マッピングにより可視化、その知見からエッジモードを介した極めて低損失な音響波・弾性波伝搬を極超音波領域（GHz帯）で実証し、さらに、磁性体のスピン振動との結合や非線形増幅などの新機能を開拓する。特に、弾性波ならではの波動伝搬の多自由度性（縦波・横波、薄板内対称・非対称モード等）と、非線形増幅やスピンメカニクス等との複合化により、内部に電流・電圧を一切介さない新奇な超多重化弾性波デバイスの実現を目指す。

【研究の方法】

本研究では、[1]計算科学的手法によるフォノン結晶

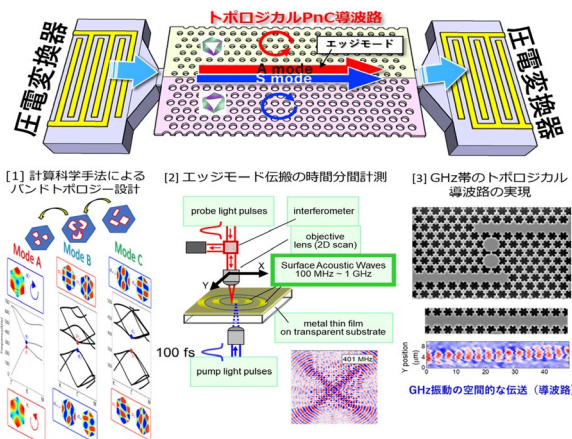


図1 本研究で設計するマルチモードトポロジカルフォノン結晶デバイスの模式図(上)と、その[1]設計・[2]可視化・[3]GHz帯実装・高機能化のための各要素技術。

構造設計、[2]薄膜弾性波におけるエッジモード伝搬の時間分解計測、および同様のエッジモード発現に対する力学モデル構築、[3]μmスケールでのフォノン結晶構造作製とGHz帯でのエッジモード伝搬実証、ならびにスピンメカニクスによる非相反デバイス実証の各々を、代表者グループ(岡大)と分担者グループ(早大・北大・NTT)との緊密連携によって遂行する(図1)。

【期待される成果と意義】

音波・弾性波を一方向にのみ伝搬させる“整流性”または“非相反性”を与える機構や、外部印可場による変調や非線形音響応答による信号増幅機構は、エレクトロン(電子)やフォトン(光子)に代わる(あるいは相補する)情報伝送キャリアにも応用できる可能性がある。例えば、フォノンの波長は電磁波(光子)と同一周波数で比較して5桁も短く、集積化の限界を迎えつつある電子デバイス・集積回路設計に新しい基軸を付加する。しかし、フォノンをキャリアとする既報のデバイス構造では、伝送効率が著しく低い、変調や整流を実現するための構造が複雑で集積化が困難、ロバスト性が低い、などの課題が存在し、現状では情報処理デバイスへの応用に程遠い。トポロジーに保護されたエッジモードを利用することで、これらの問題を解決し、電流電圧を直接介さない超低消費電力の情報デバイス実現への道が拓かれる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ K. Okuno and K. Tsuruta, "Topologically robust sound wave transport in two-dimensional phononic crystal with a circular rod arrangement in water", Jpn. J. Appl. Phys. **59**, SKKA05(8pages) (2020).
- ・ D. Hatanaka and H. Yamaguchi, "Real-space characterization of cavity-coupled waveguide systems in hypersonic phononic crystals", Phys. Rev. Appl. **13**, 024005 (9pages) (2020).
- ・ P. H Otsuka, S. Mezil, O. Matsuda, M. Tomoda, A. A. Maznev, T. Gan, N. Fang, N. Boechler, V.E. Gusev, O. B. Wright, "Time-domain imaging of gigahertz surface waves on an acoustic metamaterial", New J. Phys. **20**, 013026 (12pages) (2018).

【ホームページ等】

http://www.cc.okayama-u.ac.jp/~eng_mdd/
tsuruta@okayama-u.ac.jp