

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料 〔令和5（2023）年度 中間評価用〕

令和5年3月31日現在

| | |
|---------------|----------------------------------|
| 研究期間 | 2021～2025 |
| 課題番号 | 21H05020 |
| 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 |
| 研究代表者氏名（ローマ字） | 鶴田 健二（TSURUTA Kenji） |
| 所属研究機関・部局・職 | 岡山大学・自然科学学域・教授 |
| 研究者番号 | 00304329 |

研究の概要：

古典波動現象における“トポロジー”の工学応用により、損失の極めて少ない弾性波デバイスを実現する。計算科学的最適化法、力学系マッピング、光学可視化手法を用いて、複数モードで“トポロジカルに保護された”エッジモードを設計、さらに、スピンメカニクスや非線形効果等の新規機構により、内部に電流・電圧素子を含まない超低消費電力マルチチャンネル情報伝送素子実現を目指す。

研究分野：マイクロ・ナノデバイス、応用物理学一般

キーワード：トポロジカルフォノニクス、フォノニック結晶、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

1．研究開始当初の背景

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。近年、同じ理論的枠組みを電磁波や弾性波の伝搬モードに適用する“トポロジカルフォトンクス”（光・電磁波）や“トポロジカルフォノニクス”（弾性波・音波）にも注目が集まっている。様々なトポロジカルフォノニック構造とバルク-エッジ対応に関する論文が発表されているが、これらは基本原理に関する理論が先行し、実証実験の多くはkHz～MHzの超音波領域での原理検証にとどまる。次世代の情報通信デバイスに応用するには、GHz以上の極超音波領域の機構設計が必要であるが、その構造・領域で実現した報告は（2021現在で）ない。特に国内では当該分野の研究は寡少であり、加えて、近年急伸している計算科学・データ科学手法との連成によるデバイス設計まで視野に入れた取り組みは皆無である。

2．研究の目的

本研究では、計算科学的バンド設計とそれに基づいてエッジモードの発現を予測、力学系にモデル化・実証し、その知見に基づいてトポロジーに保護されたエッジモードを介した極めて低損失な音響波・弾性波伝搬を実現、その上で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開発を、本提案の期間全体における研究遂行フローとする。それらの取り組みを通して、トポロジカルフォノニクスの学理と基盤技術を構築する。特に、弾性波ならではの波動伝搬の多自由度（縦波・横波、薄板内対称・非対称モード等）を活かし、弾性波・音響波をマルチモードで制御することで、他に類を見ない新奇な超多重化弾性波デバイスを実現することを最終目的とする。

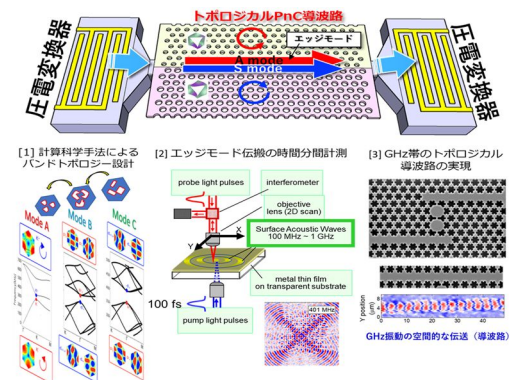


図1本研究で設計するマルチモードトポロジカルフォノニックデバイスの模式図(上)と、その[1]設計・[2]可視化・[3]GHz帯実装・高機能化のための各要素技術。

3．研究の方法

本研究では、[1]計算科学的手法によるフォノニック構造設計、[2]薄膜弾性波におけるエッジモード伝搬の時間間計測、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ニック構造作製と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)との緊密連携により遂行する。

4 . これまでの成果

本研究グループは, (i) フォノン構造の計算科学設計技術, (ii) 光学計測・力学モデルによる可視化技術, (iii) GHz フォノン構造作製・集積技術の各分野をリードしており, それら基盤技術の結集によって, 第2年度までに以下の成果をあげている:

- (A) C_{3v} 対称性を持つフォノン構造の計算科学手法による最適化と, それによるトポロジカル弾性波導波路の設計・試作・ロバスト性実証に成功
- (B) GHz 帯でのトポロジカル弾性導波路の設計・試作と極超音波伝搬の実証・可視化, さらに共振系との結合によるスイッチング機能付与に成功
- (C) 音響トポロジカル非線形効果発現機構, スピンメカニクス基礎特性など, トポロジカルフォニクスの多機能化の基盤構築

特に, (B)は高周波化とともに限界に近づく電子デバイス(ゲート素子)の微細化に対し, 電子をキャリアとしない新たな高集積回路実現の可能性を示した重要な成果と言える。

5 . 今後の計画

当初計画に概ね沿った方針で進めるが, 幾つか新たな課題も追加で取り組む(下線)。具体的には, (鶴田班) T1:トポロジカルフォノンモード, および, T1':高次トポロジカルフォノンモード探索・設計・試作, T2:再構成可能導波路設計, T3:フォノン-スピン結合, THzトポロジカルフォノン構造の第一原理解析 (松田・ライト班) M1:GHz領域のフォノン結晶中・表面弾性波時間分解計測, M2:ウェーブマシン等による力学系メタマテリアル, エッジ状態発現のフロケ動的制御実験, M3:球表面のトポロジカル音響波物理 (畑中班) H1:GHz 極超音波トポロジカル弾性体作製とエッジモード観測, H2: GHz 帯音響フロケエンジニアリング・音響スキルミオン観測, H3:トポロジカル・スピンメカニクス素子の動作実証
これらの設計手法・作製・計測技術の有機連携により, 最終年度までにトポロジカル音響マルチプレクサのプロトタイプ作製を目指す。

6 . これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

- "Acoustic metasurfaces and topological phononics for acoustic/elastic device design," *[Kenji Tsuruta](#), Japanese Journal of Applied Physics (Progress Review), 査読有, in press (2023).[DOI 10.35848/1347-4065/acc6da]
- "Refraction, beam splitting and dispersion of GHz surface acoustic waves by a phononic crystal," *[Osamu Matsuda](#), Hiroaki Koga, Hiroki Nishita, Motonobu Tomoda, Paul H. Otsuka, and [Oliver B. Wright](#), Photoacoustics, 査読有, Vol. 30, 100471 (9pages) (2023).
- "Reconfigurable waveguide based on valley topological phononic crystals with local symmetry inversion via continuous translation," Md. Shuzon Ali, Motoki Kataoka, Masaaki Misawa, and *[Kenji Tsuruta](#), Japanese Journal of Applied Physics, 査読有, Vol. 62, SJ1002 (9pages) (2023).
- "Design and Robustness Evaluation of Valley Topological Elastic Wave Propagation in a Thin Plate with Phononic Structure," Motoki Kataoka, Masaaki Misawa, *[Kenji Tsuruta](#), Symmetry, 査読有, Vol. 14, 2133 (12pages) (2022).
- "Compact acoustic metamaterial based on the 3D Mie resonance of a maze ball with an octahedral structure," Ting Zhang, Eun Bok, Motonobu Tomoda, [Osamu Matsuda](#), Jianzhong Guo, Xiaojun Liu, and *[Oliver B Wright](#), Applied Physics Letters, 査読有, Vol. 120, 161701 (6 pages) (2022).

7 . ホームページ等

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