



研究課題名 kHz から GHz 周波数帯の音響メタマテリアルデバイスの開発と定量的解釈

北海道大学・大学院工学研究院・教授 Oliver B. Wright

研究課題番号： 19H05619 研究者番号： 90281790

キーワード： 音、メタマテリアル、フォノン、電磁波、プラズモン、マイクロ、メタサーフェス

【研究の背景・目的】

波の波長よりも小さな局所共鳴人工構造を持つ自然界には見られない媒質であるメタマテリアルは、物理学、材料科学および技術に新しい可能性をもたらす。例えば電磁メタマテリアルは、負の透磁率をもたらすスプリットリングや、負の誘電率をもたらすIの字型の電線からなる媒質によって作られる。音響メタマテリアルは、しばしば負の体積弾性率や負の密度を示す。本研究では、シングルネガティブ音響メタマテリアル（1つの負の有効パラメータを持つ状態）で波が減衰する現象を、振動を閉じ込める応用に利用する。また、ダブルネガティブ音響メタマテリアルによって回折限界以下の小さな領域に音響波を収束させる。音響透過率の増幅を、波長以下のサイズの小さな開口を共鳴させる異常透過現象や、音響インピーダンスが大きく違う媒質間の中にインピーダンス整合のための小さなメタアトムを入れる方法によって達成する。kHz から GHz 帯の周波数の音響メタマテリアルや、phoxonic（同時に photonic 光学的かつ phononic 音響的な）メタマテリアルデバイスの開発とその定量的な解釈する。

【研究の方法】

本研究では、空気中の音響メタマテリアルの異常透過現象に基づく走査型音響顕微鏡や、音響インピーダンスが合わない媒質間、特に空気と水の間に音波を効果的に透過させるメタサーフェスを作製する。また、単一の素材に空洞や溝を掘って構成される単純で軽い、広い周波数帯ですべての振動モードを通さない音響メタマテリアルに基づく柱や梁、もしくはダブルネガティブの振る舞いをする板の曲げ振動音響メタマテリアルの開発をする（図1）。さらに、我々はシリコンや金属誘電体からなる phoxonic メタマテリアルを作製し（図2）、光学および音響的な分光によってそれらの振る舞いの性質を測定する。

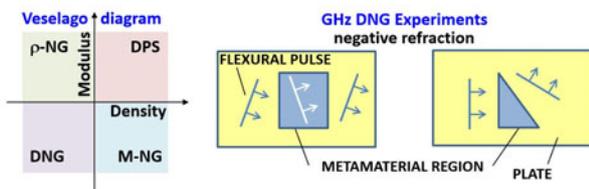


図1 ヴェセラゴダイアグラム（弾性率  $M$  と密度  $\rho$  の関係）（左）と、GHz ダブルネガティブメタマテリアルの実験計画（右）。 $\rho$ -NG: 負の密度、M-NG: 負の弾性率、DPS: ダブルポジティブ。

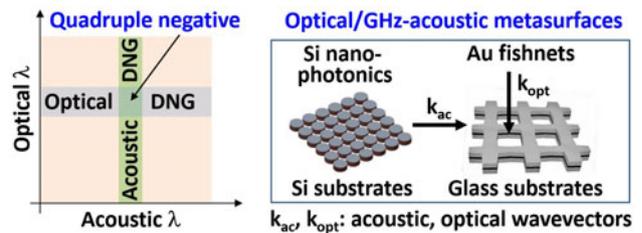


図2 光と GHz 音響メタマテリアルのバンドギャップを持つ Phoxonic メタサーフェスとクアドラプルネガティブ（quadruple negative）メタマテリアル。

【期待される成果と意義】

メタマテリアルの走査型音響顕微鏡は波長よりもはるかに小さい分解能で織物や皮膚イメージングを可能にするため、産業や医療分野での幅広い応用が期待される。新しいメタサーフェスは幅広い帯域において効果的に音波を伝達する応用が期待される。また、多数の共振周波数を利用して kHz から数 Hz の周波数帯において完全に振動を通さない音響メタピラーや音響メタビーム、ダブルネガティブの振る舞いをする音響メタプレートの開発は応用に直結するであろう。さらに、phoxonic メタマテリアルによって、音響光学変調や光と音響波の両方の回折限界を超えた光と音響波の一点への収束を可能にする革新的な4重のネガティブメタマテリアルが実現される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- Q. Xie, S. Mezil, P. H. Otsuka, M. Tomoda, J. Laurent, O. Matsuda, Z. Shen and O. B. Wright, 'Imaging GHz zero-group-velocity Lamb waves', Nat. Comm. **10**, 2228, 2019.
- E. Bok, J. J. Park, H. Choi, C. K. Han, O. B. Wright and S. H. Lee, 'Metasurface for Water-to-Air Sound Transmission', Phys. Rev. Lett. **120**, 044302, 2018.

【研究期間と研究経費】

令和元年度～令和3年度  
107,700 千円

【ホームページ等】

<http://kino-ap.eng.hokudai.ac.jp/j-index.html>  
[olly@eng.hokudai.ac.jp](mailto:olly@eng.hokudai.ac.jp)