

令和 2 年 5 月 20 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H02807

研究課題名(和文) GHz表面弾性波の時間分解イメージング測定と音響カイラリティ制御

研究課題名(英文) Time-resolved imaging of GHz surface acoustic waves and controlling acoustic chirality

研究代表者

松田 理 (Matsuda, Osamu)

北海道大学・工学研究院・准教授

研究者番号：30239024

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、表面弾性波を活用する材料・デバイスの研究・開発において強力なツールである表面弾性波の時間分解二次元イメージング法において、従来の方法で弱点とされた周波数分解能の不足を解決し、任意周波数の音響波の伝播を時間分解イメージングする方法を確立した。また、この手法を用いてフォニックメタマテリアルの音響バンドギャップや板構造におけるゼロ群速度モードなどの音響特性を明らかにした。さらに、カイラリティを有する音響場の制御方法を確立した。関連研究として、特定の周波数領域で全ての音響モードを禁止する完全バンドギャップを示すメタマテリアル構造を設計・製作しその特性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、GHzまでの周波数領域における表面弾性波の時間分解イメージング測定において、任意の周波数の弾性波を生成・検出が可能になった。これにより、フォニック結晶・メタマテリアル等様々な媒質や音響機能性デバイスの周波数特性を、従来よりはるかに高い精度で測定できる。本研究の意義は、将来の表面弾性波を用いた機能性素子の開発の基礎となる技術を確立する点にある。また、ここで用いる周波数制御の技術は、周期的励起および独立励起を用いる様々な時間分解測定、例えばマグノンのダイナミクス測定等に幅広く応用できる。社会的には、高速小型の各種機能性デバイスの開発に貢献する。

研究成果の概要(英文)：In this project, we have established the experimental method to achieve the time-resolved two-dimensional imaging of GHz surface acoustic waves at arbitrary frequencies. The technique overcomes the restriction of the existing techniques, i.e. the insufficient frequency resolution. The technique can be utilized to the development of materials and devices which exploit surface acoustic waves. We have used the developed technique to study the properties of the phononic band gaps of phononic metamaterials, of the zero group velocity modes of Lamb waves on a plate, etc. We also have established the way to control the chirality of the acoustic field. As a related study, we have designed and fabricated a metamaterial rod structure which shows the perfect band gap, i.e. the band gap for all the possible acoustic modes at certain frequency range.

研究分野：光物性、超音波物性、超高速分光

キーワード：表面弾性波 時間分解イメージング 任意周波数 フォニック結晶 フォニックメタマテリアル
カイラリティ ラム波 ゼロ群速度モード

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

1. 研究開始当初の背景

近年、異なる音響特性を持つ物質の組み合わせにより構成されるフォノンニック結晶やフォノンニックメタマテリアルと呼ばれる人工物質が注目されている[1,2]。これらは弾性波の伝播様態を人為的に制御することができ、弾性波の負屈折、スーパーレンズなどの興味深い現象や、高性能のフィルタデバイス、防音材、熱電素子や熱伝導制御への応用などが期待されている。これらの研究において、弾性波の伝播状況の詳細な観測・解明は極めて重要である。

物質にピコ秒～サブピコ秒の時間幅を持つ超短レーザーパルスを照射すると、光吸収による局所的かつ急峻な温度上昇等により物質中に GHz～THz 周波数領域の弾性波が生成される。この弾性波の伝播の様子は、それによって引き起こされる試料の過渡的光反射率変化によって検出できる[3]。この実験手法はピコ秒レーザー音響法と呼ばれ、物質のナノメートルスケールの内部構造を非破壊で調べることに[4]などに広く応用されている。我々はピコ秒レーザー音響法における複素光反射係数変化を検出するための高感度・高安定度の光干渉計を開発した[5]。さらに、これを光学スキャナと組み合わせることにより、GHz 周波数領域の表面弾性波伝播をマイクロスケール空間分解能・ピコ秒時間分解能で時間分解二次元イメージとして計測する技術を開発し[6,7]、フォノンニック結晶における弾性波分散関係の直接測定や、フォノンニックバンドギャップの検証などの大きな成果を上げてきた[8]。しかしながら従来のこれらの方法には、検出可能な弾性波の周波数が、光源として用いるパルスレーザーの繰り返し周波数(典型的な値として 80 MHz 程度)の整数倍に限られるという制約があり、たとえばフォノンニックバンドギャップのバンド端周波数付近や、 Q 値の高い共振器構造の共振周波数付近の振る舞いを正確に調べるといったような用途には不向きであった。

この制約を打破するために、我々は、光パルス列を変調すると、[レーザーの繰り返し周波数の整数倍] \pm [変調周波数]の周波数成分を持つ弾性波が生成されることに着目した。このような変調分光法は広く用いられているが、通常の方法では正負の離調周波数を持つ変調成分を分離できない。我々は、光パルス列の変調方法および変調成分の検出方法を詳細に検討することにより、これらを分離する計測・解析方法を考案した。これを用いて変調周波数をレーザーの繰り返し周波数の 1/2 までの範囲で変化させることにより、任意の周波数の弾性波を生成・検出が可能となった[9,10]。また、我々は本手法を用いてマイクロスケールの銅ディスクの周囲に局在する音響ウィスパーリングギャラリモード(WGM)の測定を行った[11]。過去の研究ではレーザーの繰り返し周波数の整数倍に偶然一致したモードが観測されただけであったのに対し[12]、周波数を細かく変化させることで多数のモードが確認された。

2. 研究の目的

本研究の第一の目的は、表面弾性波を活用する材料・デバイスの研究・開発において強力なツールである表面弾性波の時間分解二次元イメージング法において、従来の方法で弱点とされた周波数分解能の不足を解決することである。この問題に対して、我々は測定に用いる繰り返しレーザーパルス列の強度を適切な周波数で変調することで任意周波数音響波成分を励起し、これを時間分解測定する手法を確立・発展させる。また、この手法を用いてフォノンニック結晶・メタマテリアルの音響特性を調べる。本研究の第二の目的は、カイラリティを有する音響場とカイラリティを有する構造との相互作用を明らかにすることである。カイラル物質と光との相互作用については広く研究されているが、音響場との相互作用は未開拓の分野である。しかしながら、音響カイラリティはカイラル物質の選択的励起や音響波の単一方向伝播などの新しい応用が見込まれ、その基本的理解は重要である。

3. 研究の方法

本研究では、GHz 周波数領域の時間分解表面弾性波イメージング法において、従来問題とされた周波数分解能の不足を解決するために、任意の振動数の表面弾性波を励起・検出する方法を開発する。さらに、開発した測定・解析手法を用いて、フォノンニック結晶・メタマテリアルやそれに基づく音響素子の周波数特性・弾性波伝播特性の測定・解析を行い、これらの構造における弾性波伝播の詳細な知見を得るとともに、新しい音響機能性素子を開発する。また GHz 帯に固有振動を持つ様々なマイクロン・サブマイクロンスケールの構造の測定を行う。

研究の基盤としては既に運用中の時間分解表面弾性波二次元イメージング装置を用いる。これはサブピコ秒の時間幅を持つ光パルスを使用したポンププローブ分光装置に、ポンプまたはプローブ光集光位置の二次元走査機構を加えたものである。また、弾性波によって生じる高速で微小な表面変位を高感度に検出する光干渉計を備えている。光源としてはモードロック Ti サファイアレーザーを用いる。これは時間幅 100 fs、繰り返し周波数 80 MHz、中心波長 830 nm の光パルスを発生する。これを SHG(第二高調波発生)結晶を用いて中心波長 415 nm に変換したものをポンプ光として用いる。ポンプ光は顕微鏡対物レンズを用いて試料上に集光される。波長 830 nm の光は光学遅延を介してプローブ光として用いる。二軸可動鏡と 4f リレー光学系を用いてプローブ光の対物レンズへの入射方向を変化させることにより、プローブ光集光位置を試料表面で走査する。この光学系は、単一の固定された対物レンズを用いて、ポンプ光とプローブ

光双方を集光しつつ、プローブ光照射位置のみを操作できる特徴を持つ。プローブ光パルスは 300 ps 程度の時間差を持って時間的に分割されたふたつの光パルスとして試料に入射し、反射されたこれらのパルスを干渉させることで、試料表面の変位の時間微分(表面変位速度)を検出する。ポンププローブ間の遅延時間、およびプローブ光の照射位置を走査することにより、ポンプ光照射後の音響場の時空間発展を計測する。

表面弾性波による反射光強度変化は非常に小さいため、従来の時間分解イメージング測定においてもポンプ光パルス列を適当な周波数で変調し、この変調周波数に同調した信号のみを検出するロックイン検出が用いられていた。しかしながら従来の方法では、変調周波数が比較的低いこと、および $nf+F$ と $nf-F$ の周波数成分の弁別が原理的に不可能な簡便な検出法が用いられていたことなどのために、得られた信号はパルス繰り返し周波数の整数倍の周波数成分 nf のみを持っているとして扱われるのが通例であった。これに対し、我々は、ポンププローブ法における変調方法およびロックイン検出方法をその基礎に立ち戻って再検討した。すなわち、測定系に含まれる光学遅延と変調器の可能な配置を詳しく分類し、それぞれに対応する測定信号の性質を明らかにするとともに、ロックインアンプの同相信号および直交信号出力から複素信号を構築し、これを先の分類に対応した方法で適切に処理することにより $nf+F$ 、 $nf-F$ の振動成分に起因する信号を区別して取り出すことができることを指摘・実証した[9,10]。この検証に用いた測定系は、しかしながら周波数の選択が煩雑であることや、異なる周波数での測定信号強度の規格化などに難があった。

本研究ではこの装置を改良し、効率的で定量性に優れた測定系を構築する。このために本研究経費で購入した広帯域のファンクションジェネレータおよび既存の電気光学変調器を使用する。このような高い変調周波数の光信号を検出するために、もう一台の新規購入の電気光学変調機により検出光パルス列を F とは異なる周波数 F' で変調し、ロックインアンプでその差周波数 $|F-F'|$ を検出するヘテロダイン検出法を用いる。この方法では光検出器の帯域幅は $|F-F'|$ で十分であり、既存の MHz 程度の帯域を持つ光検出器を用いることができる。試料としては既存のスパッタリング装置を用いて作製した金属薄膜試料および手持ちのフォノンニック結晶・メタマテリアル試料を用いる。得られた時間分解イメージング結果から時間空間フーリエ変換により高周波数分解能の分散関係を取得し、理論的に期待される分散関係と比較検討する。

4. 研究成果

(1) コンピュータ生成ホログラムによる表面音響波生成のカイラリティ制御[13]

表面音響波イメージングにおける音響波生成は集光されたポンプ光パルスによってなされる。通常の測定においては、ポンプ光のレーザービームを顕微鏡対物レンズで点状に集光する。生成される音響波モードの対称性は、この集光形状の対称性に支配される。例えば文献[11,12]では、 SiO_2 中に埋め込まれた銅円板における WGM(whispering gallery modes, 円板の縁に沿って伝播する音響波)を観測したが、その励起は円板の縁付近に点状に集光されたポンプ光によってなされた。この場合は、励起光集光形状と試料の対称性から、円板の縁を左回り、右回りに周回する音響波がほぼ同強度で励起された。しかしながら WGM の応用の観点からは、一方向のみに伝播する音響波の生成することは興味深い。例えば、このようなカイラリティを有する音響場と、カイラリティを有する分子などとの相互作用を利用したセンサーデバイスなどが期待される。

本研究課題では、カイラリティを持つ音響モードの一方のみを励起する方法を確立することを目的とした。そのために、コンピュータ生成ホログラムと空間位相変調器を用いて音響波励起光を任意の形状に成型する装置を構築した。これを用いて上述のマイクロスケール銅円板において右回り、左回りの WGM 生成強度を制御可能なことを実験的に示した。

(2) フォノンニックメタマテリアルの音響波伝播の任意周波数時間分解イメージング[14]

音響メタマテリアルは、共振器などの音響機能構造を母材中に分散した人工物質で、多くの場合、構造間の距離などの特徴的な長さが、共振周波数に対応する母材の音響波の波長よりも短いことを特徴とする。これは高周波電子回路に用いられる分布定数回路の音響波版とみなされる。音響機能構造の適切な選択により、物質の音響特性を自在に設計できる。著しい場合には、実効的に負の質量密度や負の弾性定数を持たせることもできる。本研究課題では、時間分解二次元イメージング技術を用いて音響メタマテリアルの特性評価を行うことを目的とする。

ガラス基板上に厚さ 100 nm の Al 薄膜を形成し、その上に直径 1.08 μm 、質量密度 2.0 g/cm^3 のシリカビーズを散布した。この試料に対して、上記の音響波の時間分解イメージングを行った。任意周波数の方法も用い、10 MHz 以下の周波数ステップでデータを取得した。得られた時空間音響場データの時空間フーリエ変換を行った結果を図 1 に示す。これはこの系の音響分散関係のグラフになっている。ビーズの音響共振周波数に応じて 150 MHz、300 MHz、650 MHz 付近に特徴的なバンド構造がみられた。

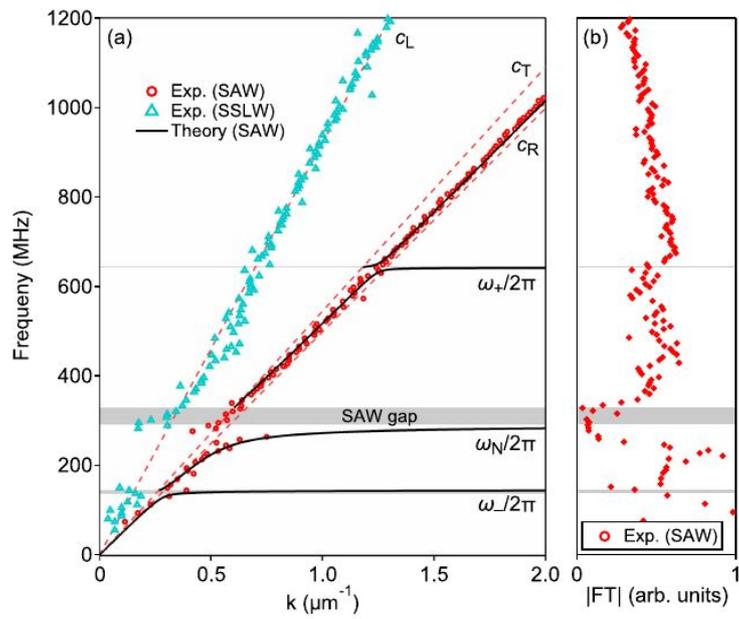


図 1: シリカビーズ音響メタマテリアルの時間分解イメージングから得られた分散関係。理論的に求められた分散関係(実線)ともよく一致する。[14]

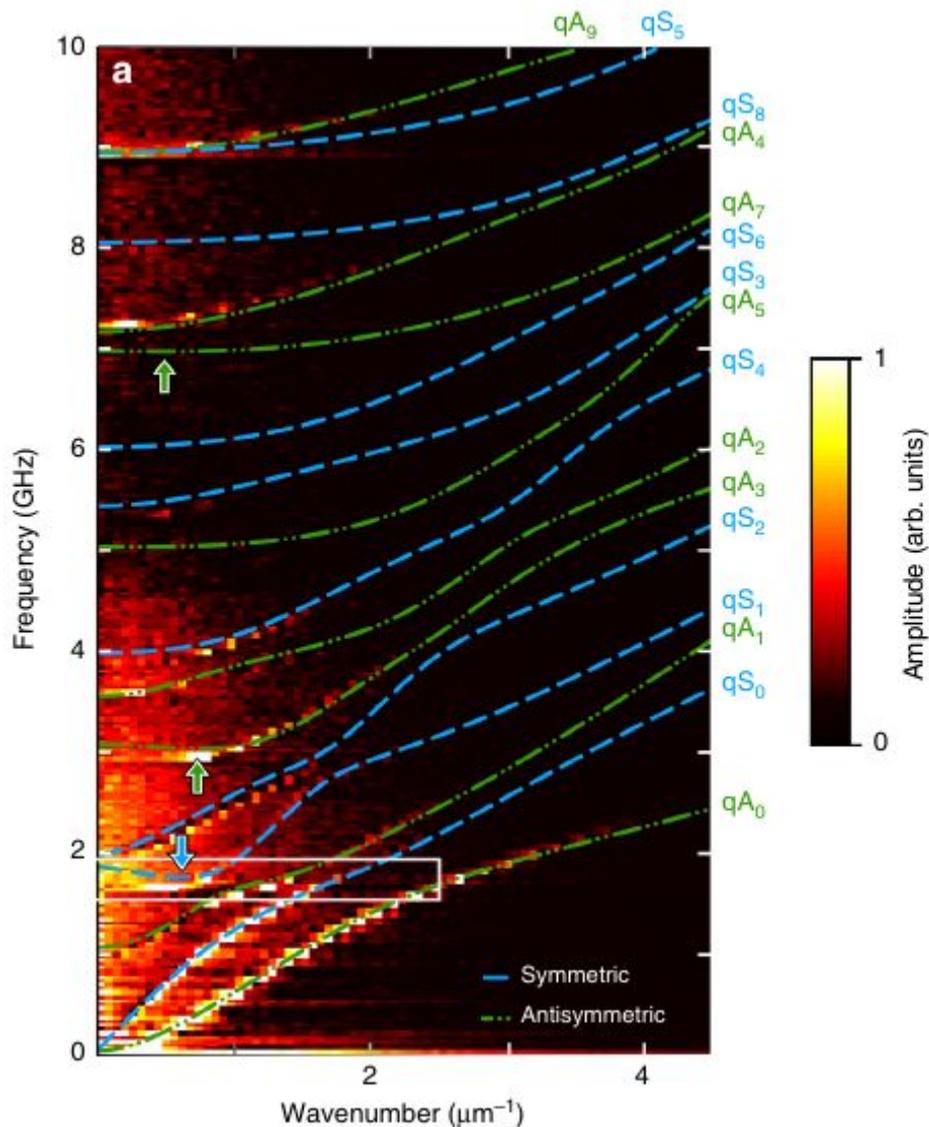


図 2: SiN/Ti 板の Lamb 波の時間分解イメージングから得られた分散関係。青点線・緑二点鎖線は理論計算で求められた分散関係で、実験結果とよく一致している。矢印で示された部分がゼロ群速度モードである。[15]

(3) ゼロ群速度モードを含む GHz 領域 Lamb 波のイメージング[15]

薄板にみられる Lamb 波では、特定の波数・振動数で群速度がゼロになるゼロ群速度モードが存在する。この音響的性質を調べるために、板状試料の任意周波数の音響波イメージング測定を行った。試料は窒化シリコン板(1830 nm 厚)に多結晶チタン膜(660 nm 厚)を形成した二層構造の自立板構造である。得られた時間空間領域での音響場データを時空間フーリエ変換して波数・振動数の関数としてフーリエ振幅を得た。その絶対値を強度プロットしたものを図 2 に示す。フーリエ振幅の大きな明るい点が、理論的に予測される分散関係(青、緑の線)とよく一致している。また矢印で示された部分にゼロ群速度モードが強く観測されている。本研究において、GHz 領域のゼロ群速度モードによる音響波の局在がはじめて時空間領域で観測された。

(4) 完全バンドギャップを示すメタマテリアルビーム[16]

フォノンメタマテリアルの一つの重要な応用は、フォニックバンドギャップを利用した振動の遮断である。しかしながら、音響振動には多様なモードがあり、多くの場合、バンドギャップの位置はモード毎に異なる。また外部の振動をこのようなフォニックメタマテリアルに導入する際には、外界とフォニックメタマテリアルとの境界条件に応じて複数のモードが励起されるのが一般的であるので、モード毎にバンドギャップが異なるようでは振動の遮断素子としては使用しづらい。本研究課題では、このような状況を改善すべく、許されるすべてのモードのバンドギャップ周波数域が重複する完全バンドギャップ物質をフォニックメタマテリアルで実現する。プロトタイプとして 1 kHz 程度の振動数の振動を遮断するビーム形状のメタマテリアルをジュラルミンを材料として用いて設計・製作した。シミュレーションと実験により、所望の振動遮断特性を持つことを示した。単一材料による可聴周波数域の完全バンドギャップ媒質の実現は本論文が世界初である。

参考文献

- [1] M. S. Kushwaha, P. Halevi, L. Dobrzynski, and B. Djafari-Rouhani, *Phys. Rev. B* **49**, 2313 (1994).
- [2] Z. Liu, X. Zhang, Y. Mao, Y. Y. Zhu, Z. Yang, C. T. Chan, P. Sheng, *Science* **289**, 1734 (2000).
- [3] C. Thomsen, J. Strait, Z. Vardeny, H. J. Maris, J. Tauc, and J. J. Hauser, *Phys. Rev. Lett.* **53**, 989 (1984).
- [4] G. A. Antonelli, H. J. Maris, S. G. Malhotra, J. M. E. Harper, *J. Appl. Phys.* **91**, 3261 (2002).
- [5] D. H. Hurley and O. B. Wright, *Opt. Lett.* **24**, 1305 (1999).
- [6] Y. Sugawara, O. B. Wright, O. Matsuda, M. Takigahira, Y. Tanaka, S. Tamura, and V. E. Gusev, *Phys. Rev. Lett.* **88**, 185504 (2002).
- [7] T. Tachizaki, T. Muroya, O. Matsuda, Y. Sugawara, D. H. Hurley, and O. B. Wright, *Rev. Sci. Instr.* **77**, 043713 (2006).
- [8] D. M. Profunser, O. B. Wright, and O. Matsuda, *Phys. Rev. Lett.* **97**, 055502 (2006).
- [9] S. Kaneko, M. Tomoda, and O. Matsuda, *AIP Adv.* **4**, 017124 (2014).
- [10] O. Matsuda, O. B. Wright, S. Kaneko, and M. Tomoda, *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control* **62**, 584 (2015).
- [11] S. Mezil, P. H. Otsuka, S. Kaneko, O. B. Wright, M. Tomoda, O. Matsuda, *Opt. Lett.* **40**, 2157 (2015).
- [12] T. Tachizaki, O. Matsuda, A. A. Maznev, and O. B. Wright, *Phys. Rev. B* **81**, 165434 (2010).
- [13] S. Mezil, K. Fujita, P. H. Otsuka, M. Tomoda, M. Clark, O. B. Wright, and O. Matsuda, *Appl. Phys. Lett.* **111**, 144103 (2017).
- [14] P. H. Otsuka, S. Mezil, O. Matsuda, M. Tomoda, A. A. Maznev, T. Gan, N. Fang, N. Boechler, V. E. Gusev, and O. B. Wright, *New J. Phys.* **20**, 013026 (2018).
- [15] Q. Xie, S. Mezil, P. H. Otsuka, M. Tomoda, J. Laurent, O. Matsuda, Z. Shen, and O. B. Wright, *Nat. Commun.* **10**, 2228 (2019).
- [16] K. Fujita, M. Tomoda, O. Matsuda, and O. B. Wright, *Appl. Phys. Lett.* **115**, 081905 (2019).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Qingnan Xie, Sylvain Mezil, Paul H. Otsuka, Motonobu Tomoda, Jerome Laurent, Osamu Matsuda, Zhonghua Shen, and Oliver B. Wright	4. 巻 10
2. 論文標題 Imaging gigahertz zero-group-velocity Lamb waves	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 2228-1--7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41467-019-10085-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Kentaro Fujita, Motonobu Tomoda, Oliver B. Wright, and Osamu Matsuda	4. 巻 115
2. 論文標題 Perfect acoustic bandgap metabeam based on a quadruple-mode resonator array	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 081905-1--5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/1.5117283	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Paul H. Otsuka, Sylvain Mezil, Osamu Matsuda, Motonobu Tomoda, Alexei A. Maznev, Tian Gan, Nicholas Fang, Nicholas Boechler, Vitalyi E. Gusev, Oliver B. Wright	4. 巻 20
2. 論文標題 Time-domain imaging of gigahertz surface waves on an acoustic metamaterial	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 New Journal of Physics	6. 最初と最後の頁 013026 ~ 013026
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1367-2630/aa9298	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Sylvain Mezil, Kentaro Fujita, Paul H. Otsuka, Motonobu Tomoda, Matt Clark, Oliver B. Wright, Osamu Matsuda	4. 巻 111
2. 論文標題 Active chiral control of GHz acoustic whispering-gallery modes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 144103 ~ 144103
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/1.4994886	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計21件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 Kentaro Fujita, Motonobu Tomoda, Oliver B. Wright, and Osamu Matsuda
2. 発表標題 Lightweight single-material rectangular-section meta-beam with a perfect acoustic band gap
3. 学会等名 The 4th A3 Metamaterials Forum 2019, Sapporo, Japan (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Ogasawara, Kentaro Fujita, Motonobu Tomoda, Osamu Matsuda, and Oliver B. Wright
2. 発表標題 Acoustic meta-rod based on a single material
3. 学会等名 The 4th A3 Metamaterials Forum 2019, Sapporo, Japan (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Osamu Matsuda
2. 発表標題 Time-resolved imaging of GHz acoustic waves/vibrations in phononic crystals and metamaterials
3. 学会等名 METANANO 2019, St. Petersburg, Russia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Osamu Matsuda, Hiroki Muramoto, Hiroaki Koga, Hiroki Nishita, Kentaro Fujita, Motonobu Tomoda, and Oliver B. Wright
2. 発表標題 Time-resolved Imaging of GHz Surface Acoustic Waves in Two-dimensional Phononic Crystals with an Arbitrary-Frequency Technique
3. 学会等名 Phononics 2019, the 5th international conference on phononic crystals/metamaterials, phonon transport/coupling and topological phononics, Tucson, Arizona, USA (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小笠原央, 藤田健太郎, 友田基信, 松田 理, Wright Oliver
2. 発表標題 完全バンドギャップを有する音響メタマテリアルロッドの単一材料設計
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会, 北海道大学
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Oliver B. Wright, Qingnan Xie, Sylvain Mezil, Paul H. Otsuka, Motonobu Tomoda, Jerome Laurent, Zhonghua Chen, Osamu Matsuda
2. 発表標題 Two-dimensional Imaging of Zero-Group-Velocity Lamb Waves
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会, 北海道大学 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松田理, 村本裕貴, 古賀裕章, 西田浩紀, 藤田健太郎, 友田基信, ライトオリバー
2. 発表標題 2次元フォノンニック結晶の GHz 音響特性の任意周波数イメージング法を用いた 解析
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会, 北海道大学 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤田健太郎, 友田基信, 松田理, ライト オリバ
2. 発表標題 完全バンドギャップをもつ音響メタマテリアル梁の開発
3. 学会等名 電子情報通信学会 超音波研究会, 北海道大学
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Osamu Matsuda
2. 発表標題 Time-resolved imaging of gigahertz surface acoustic waves: recent development and applications
3. 学会等名 Laser Ultrasonics 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kentaro Fujita, Motonobu Tomoda, Oliver B. Wright, Osamu Matsuda
2. 発表標題 Dependence of acoustic metamaterial response on geometrical handedness
3. 学会等名 The third A3 metamaterials forum (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松田理, 村本裕貴, 古賀裕章, 西田浩紀, 藤田健太郎, 友田基信, Oliver Wright
2. 発表標題 任意周波数イメージング法による2次元フォノンニック結晶のGHz音響波伝播特性の詳細測定
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤田健太郎, 友田基信, Oliver B. Wright, 松田理
2. 発表標題 完全バンドギャップを有する音響メタマテリアル梁の設計
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木原 会, ペツリル トマス, 友田 基信, 松田 理
2. 発表標題 GHz 帯表面弾性波の高速フルフィールド光学的イメージング
3. 学会等名 第39回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム(USE2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 村本 裕貴, 古賀 裕章, 西田 浩紀, 藤田 健太郎, 友田 基信, 松田 理
2. 発表標題 2次元フォノンニック結晶における GHz 帯任意周波数表面弾性波の時間分解イメージング
3. 学会等名 第39回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム(USE2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田健太郎、友田基信、Oliver B. Wright、松田理、柳澤亮人、野村政宏
2. 発表標題 反転対称性の破れた二次元音響メタマテリアルによるGHz音響波の伝播制御
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田健太郎、友田基信、Oliver B. Wright、稲垣敬介、松田理、柳澤亮人、野村政宏
2. 発表標題 負の屈折を起こすGHz音響メタマテリアルの開発
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田健太郎, Sylvain Mezil, Matt Clark, 友田基信, Oliver Wright, 松田理
2. 発表標題 カイラルな形状の波源によるGHz帯音響ウィスパリングギャラリーモードの励起制御
3. 学会等名 物理学会秋期大会, 岩手大学
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤田健太郎, 友田基信, 稲垣敬介, Wright Oliver B., 松田理
2. 発表標題 GHz帯板波を制御するフォノンニックメタマテリアルの設計
3. 学会等名 USE 2017, 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム, 多賀城市文化ホール
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤田健太郎, 友田基信, 稲垣敬介, 松田理, Wright Oliver B.
2. 発表標題 二次元フォノンニックメタマテリアルの有効パラメータ導出方法の検討
3. 学会等名 応用物理学会 2018年春季学術講演会, 早稲田大学
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 P. H. Otsuka, K. Miyoshi, S. Mezil, M. Tomoda, O. Matsuda and O. B. Wright
2. 発表標題 Imaging subsurface features in a micro-scale slab using laser ultrasonics at GHz frequencies
3. 学会等名 2017 International Congress on Ultrasonics (ICU), Honolulu, Hawaii, USA (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Osamu Matsuda, Hiroki Nishita, Hiroaki Koga, Paul H. Otsuka, Motonobu Tomoda, Oliver B. Wright
2. 発表標題 Time-resolved Imaging of Surface Acoustic Waves Propagating in Two-dimensional Phononic Crystals
3. 学会等名 Phononics 2017, the 4th international conference on phononic crystals/metamaterials, phonon transport/coupling and topological phononics, Changsha, China (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	O・B Wright (Wright Oliver) (90281790)	北海道大学・工学研究院・教授 (10101)	
研究分担者	友田 基信 (Tomoda Motonobu) (30344485)	北海道大学・工学研究院・助教 (10101)	