

令和 3 年 5 月 6 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04967

研究課題名（和文）2次元モアレパターンが内包するベクトル場のメタ表面による系統的理解とその動的制御

研究課題名（英文）Systematic study and control of vector fields appearing in two dimensional moiré #233; fringes with meta surfaces

研究代表者

大野 誠吾（Ohno, Seigo）

東北大学・理学研究科・助教

研究者番号：70435634

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：2つの2次元周期構造がずれて重なり干渉するときに生じるモアレパターンはある種のベクトル場として扱うことができる。本研究ではそのベクトル場の電磁場に対する性質を系統的に明らかにすることを目的とし、2次元金属周期構造を重ね合わせたメタ表面（モアレ型メタ表面）をテラヘルツ帯で動作するように設計、作製した。さらにそのベクトル場の動的変調手法の開発を行った。モアレ型メタ表面により電磁場へ与える位相分布はそのずらし方によらずトポロジカルな普遍性を有することが分かった。また、モアレの発生手法として視差を取り入れることで入射角を変えるだけで電磁場を感じるベクトル場を動的に変調できることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光を感じる幾何学的位相を空間的に分布させるメタ表面は従来数多く提案されている。これらが示す機能は作製の時のリジッドな構造に依っており動的な変調は不可能であった。本研究で明らかになった幾何学低位相の動的な変調手法はこれまで例がなく、学術的にも意義深い。また、今回明らかになった斜入射による幾何学的位相の変調法は特に帯域を選ばないことから、同様の手法は今回の研究対象であったテラヘルツ領域に限らず、すでに社会実装が多くの場面で進んでいる電波領域や光波領域など、電磁波がモアレパターンによる幾何学的位相を感じるそのほかの周波数帯への展開も期待できる。

研究成果の概要（英文）：A moiré pattern appears when two kinds of periodic structures with some deformations are interfering. The moiré pattern of two-dimensional periodic structures can be treated as a kind of the vector field. We designed moiré-type meta-surfaces which consist of two layers of 2D periodic metal structures with deformation and whose operation frequency range are in the THz frequency region. The deformation was systematically changed to investigate the feature of the vector field. Then, we developed the method to actively control the vector field. We revealed that the phase distribution of electromagnetic wave provided by the moiré-type meta-surface had the universality independent on the operation of the deformation. In addition, by introducing the incident angle modulation method inspired from the moiré pattern appearing due to the parallax, we succeeded to modulate the vector field felt by an electromagnetic wave.

研究分野：光物性物理

キーワード：モアレ型メタ表面 幾何学的位相

### 1. 研究開始当初の背景

THz 光は、その帯域に物質固有の振動モード (指紋スペクトル) があることから様々な応用が期待、提案されている反面、その固有モードにより広帯域に利用可能な光学材料に乏しい。それに伴い光学領域では当たり前にあるような空間位相変調器、偏光変調器といった変調技術もいくつかの提案があるものの、THz 帯では変調可能な帯域が非常に限定的なのが現状である。光学材料の乏しさを補うものとして注目されている技術の一つとしてメタ表面がある。メタ表面は、サブ波長人工構造により自然界に無い光学応答を示すメタマテリアルの派生として 2012 年ごろから注目を集めている概念であり、2 次元平面上に人工構造を分布させることで波長よりもはるかに薄い平面内で光の波面、位相、強度などを制御する技術である。図 1 に示すのは金属ナノロッドが左右方向に向かって徐々に回転しながら配列しているメタ表面の例で、近赤外領域で円偏光の異常屈折を起こす。興味深いことに、屈折に必要となる空間的な位相差はロッドの回転という幾何学的配置に依存しているので波長には依存せず、幾何学的位相を動作原理とするメタ表面には波長に対するロバスト性がある。

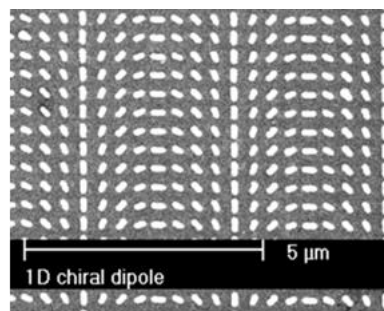
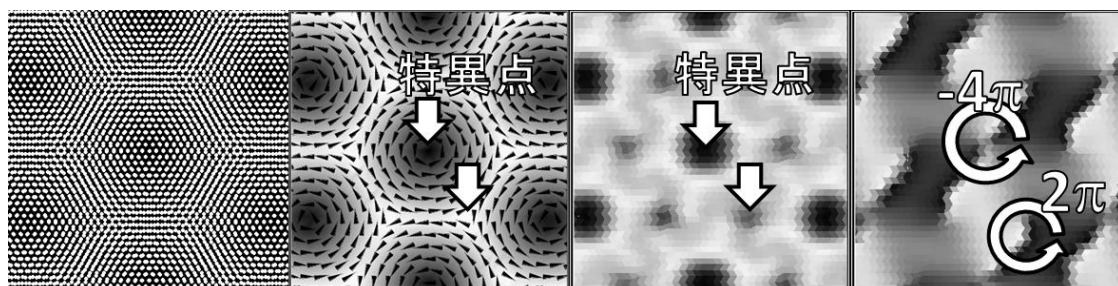


図1 円偏光異常屈折メタ表面の構造  
Nano Lett. 12, 5750 (2012)

一方で 2 つの周期的な構造が互いに干渉するとき新たな周期として生じるモアレは、わずかなずれによりパターンが大きく変化することから、多くの精密測定の測定原理にも用いられている現象である。このわずかなずれに敏感な性質とメタ表面の技術を組み合わせることで、光の変調技術へ、特に THz 光に対して応用することをその発想の出発点として申請者は研究を進めてきた[業績欄:論文学術誌 3]。2 次元面内の三角格子上に周期的に並べた金属円盤配列を 2 層重ねるとき、わずかな回転を加えて重ねると図 2(a)に見るモアレパターンを示すモアレ型メタ表面を形成できる。2 層間における最近接の金属円盤を結ぶベクトルは、空間的に分布し 2 次元面内のベクトル場を形成する(図 2(b))。このようなモアレ型メタ表面を透過する光の強度、位相をある近似のもと数値計算で調べたところ図 2(c,d)に示す分布となり、ベクトル場の持つ位相特異点が電磁場分布にも同様に現れる。



(a)モアレパターン (b)モアレのずれベクトル場 (c)透過強度分布 (d)透過位相分布

図2 2次元モアレパターンが内包するベクトル場とトポロジカルな性質の電磁場への射影

### 2. 研究の目的

ベクトル場の持つトポロジカルな性質はメタ表面の技術を応用することで光の電磁場へと転写できる」という命題が予想される。本研究ではこの命題を実験的に実証し、モアレパターンに対して共通する普遍性を抽出することを第一の目的とする。さらにその上でモアレパターンのずれに敏感な性質を応用してベクトル場を動的に制御する手法を提案し、THz 帯で広帯域に利用可能な変調技術の基礎原理を確立する。

微細加工の分野ではモアレは位置合わせ精度が低い時やプロセスに歪があった場合生じ、いわば厄介者であった。本研究ではそれを逆手にとって、積極的に構造にずれを与えることで生まれる新奇な性質に着目している。またモアレに生じるベクトル場にはトポロジカルな保存量があり本研究ではその普遍性を探る。

従来型のメタ表面として、図 1 に見たような幾何学的位相に着目した例は多く報告があるが本研究ではその独自性として幾何学的位相に動的な可変性を持たせる方法論を探る。一方で、可変性を有する THz 変調素子に焦点を当てるとキャリアドープした半導体の電気的変調、光励起キャリアの光学的変調、MEMS によるメカニカルな変形、物質の相転移など様々な技術を用いて可変性を与える研究もなされている物質や構造の持つ波長分散の影響はぬぐい切れない。本研究では、モアレに生じる幾何学的位相の持つロバストな性質を広帯域性へ、モアレの持つわずかなずれに敏感な性質を変調原理へとそれぞれ応用することで独自の調技術へと発展することが

期待できる。

### 3. 研究の方法

#### 3-1 イメージング系の構築

本研究の研究対象であるモアレ型メタ表面によりうけるテラヘルツ波の影響を可視化するために図4に示すテラヘルツ時間領域分光イメージング測定系の構築を目指した。非線形光学結晶で発生したテラヘルツ波はモアレ型メタ表面で変調を受け、それに対応した偏光の空間分布を作る。その検出側にファイバー結合した光伝導アンテナを用いることで、検出器の位置をXYの2次元面内で動かしても、プローブ側のアームの長さは変わらず、テラヘルツ波形の空間分布を取得できる特徴を持つ。評価光学系について当初の予定では、テラヘルツ発生に非線形光学結晶を用いることを計画していた。非線形光学結晶の励起には十分に強い出力のレーザーが必要な反面、利点として入射光の偏光方向と結晶の角度を変えるだけで発生するテラヘルツ波の偏光方向を自由に換えられる。しかしながら、励起レーザーの経年劣化により十分な強度での励起が困難となったことから比較的出力でも強いテラヘルツ波強度が得られる集積型的光伝導アンテナをテラヘルツ発生に用いた。偏光方向の制御はテラヘルツ帯で動作するワイヤグリッド偏光子を用いた。

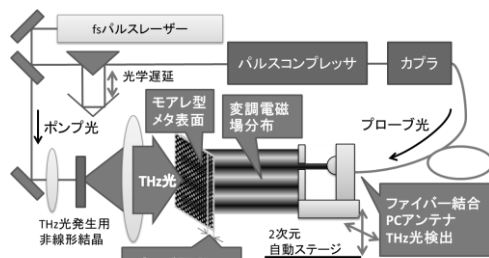


図3 THz-時間領域分光イメージングシステム

#### 3-2 モアレの普遍性の実証

2次元周期構造におけるモアレパターンに生じるベクトル場の持つ特異点について、その周辺でのベクトルの回転数は図4に示すようにずらし方に依らない普遍性を示す。本研究では、異なるずらし方のモアレ型メタ表面を作製し、電磁波の位相に転写されるトポロジカルチャージにもその普遍性が与えられるか実験的に検証する。ポリイミドフィルムの両面に金属メッシュをマスクとした金薄膜のリフトオフプロセスにより、金属周期構造を作成した。金属メッシュには電子回路の表面実装時に用いる金属マスクを用い、近年発展しているオンデマンドのメタルマスク作製サービスを活用することができる。そのようにして作ったモアレ型メタ表面（回転モアレ、拡大縮小モアレ）について、テラヘルツ分光イメージング測定を行い、テラヘルツ波がうける位相分布を空間的に調べた。

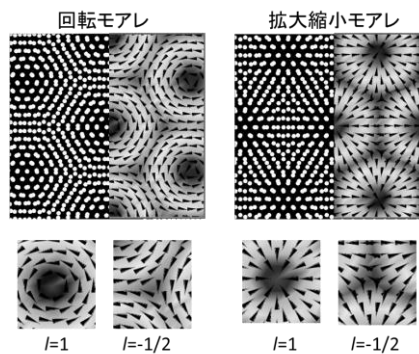


図4 モアレに導入するずらし方と特異点周りの普遍性

#### 3-3 ベクトル場の動的制御

ベクトル場の動的な制御方法の具体的なアイデアを図5に示す。三角格子上に円形のパターンが配列したモアレ型メタ表面を想定し、手前の層にはx方向にのみ格子歪みを与えている。その場合、モアレパターン、ずれのベクトル場は、重ね合わせるときのy方向のずれ $\Delta y$ によって大きく変化する(図5下)。注目すべきは $\Delta y$ が格子定数aの1/3以下の時で、ベクトル場はx方向に沿って徐々に回転している。これは図1に示したメタ表面と同様に、円偏光異常屈折を引き起こすことを見込まれる。事前に行った数値シミュレーションにおいてもその振る舞いは確認済みであり、 $\Delta y$ を機械的に制御できれば異常屈折の制御が可能となる。変調に必要な $\Delta y$ の大きさは $100\mu\text{m}$ 程度と見積もっており、市販のピエゾ素子で十分実現可能な量をずらすだけでベクトル場の変調、ひいては透過する電磁場の変調が可能となる。具体的な方法について以下ではそれぞれについて述べる。

##### (1) ずれの導入法について

当初、ずれの導入にピエゾ素子駆動のアクチュエーターを導入しメタ表面を構成する層をスライドさせる方法を考え、実際、図5に示す変調素子を構築した。ところがテラヘルツ光発生に用いる励起レーザーの経年劣化による出力低下により、ピエゾ素子による変調周期( $\sim 100\text{Hz}$ )では十分安定的な評価ができなかった。同時にメタ表面固定時の位置合わせについても長期的な安定性を保つことが困難であることがわかってきた。そこでより安定的に長時間積算に耐えうるずれの導入方法を検討し、視差モアレを用いたずれの導入方法に至った。視差モアレ

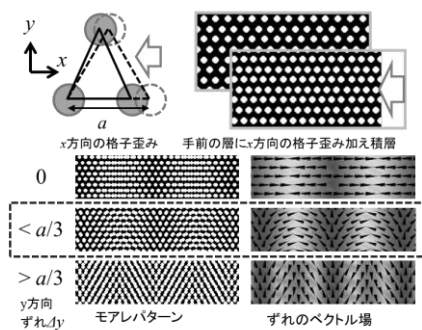


図5 格子歪みモアレとずれのベクトル場

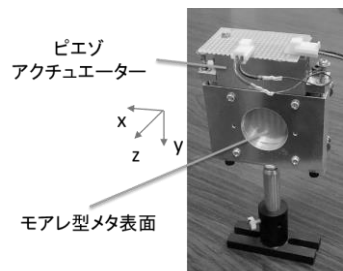


図6 モアレ型メタ表面変調素子

は、光の進行方向の変化に付随したモアレ現象である。その考え方としては、従来2次元モアレパターンを作るベクトル場は2次元として捉えてきたが、3次元へ拡張、すなわち1層目の格子点と2層目の最近接の格子点を結ぶ3次元ベクトルとして捉えなおす。さらにそのベクトルを入射波面の面内へ射影する。それにより、 $\Delta y=0$  の非等方歪モアレであっても、射影されたベクトル場は図6に示すように斜めから光を入射することでx方向に回転して見える(図6(d))。このことから2枚の金属メッシュ間の相対位置は固定したまま入射角を変えることでベクトル場の変調が可能となることが考えられる。

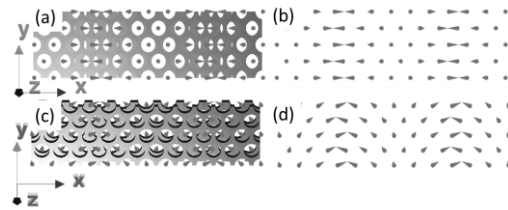
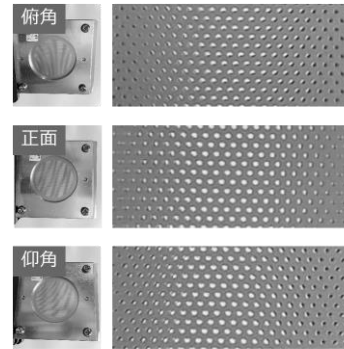


図7 視差モアレ型メタ表面の概念図。(a)Z方向から、(c)斜め方向から見たモアレ型メタ表面とそれぞれの時のベクトル場(b,d)。

後述のようにこのような構造を実際に作製し入射角依存性を調べる実験を行った。

## (2) 非等方歪モアレ型メタ表面の開発

モアレ型メタ表面は金属メッシュを2枚重ね合わせる構造として設計した。(1)で述べたように入射角を変えることでベクトル場の変調ができるような非等方歪みモアレにおいて $\Delta y$ となるように2枚の金属メッシュを重ね合わせた。その際、 piezoelectric actuator 駆動のメタ表面において問題となった位置合わせの精度が変わらないよう、位置決めピンを用いて互いの相対的な位置を固定した。作成したメタ表面の写真を図7に示す。開口の形状をよく見るとモアレのベクトル場の空間分布に対応して、局所的な異方性が分布している。これに対してテラヘルツ波を入射し、異常屈折した成分の円偏光度を調べる実験を行った。



x方向モアレ周期: 8 mm

図8 開発したモアレ型メタ表面。入射角(視差)により開口の異方性も変わって見える。

また、本マスク作成手法の応用としてランダム金属メッシュマスクの作成も可能であり成果の欄で述べるように超広帯域単画素撮像へ応用可能である。

## 4. 研究成果

### (1) モアレパターンの普遍性について

作製したモアレ型メタ表面について、回転モアレ、拡大縮小モアレそれぞれについてテラヘルツ透過分光イメージングを行い、円偏光クロスニコル測定に対応する透過位相分布を取得した(図9)。これを見るとベクトル場における位相特異点A,Bに対応した箇所には暗点が存在しその周辺での位相変化がそれぞれA:  $4\pi$ , B:  $-2\pi$ であった。この辺りはそれぞれの位相特異点の周囲でのベクトルの正味の回転  $l=1, -1/2$  に対応している。このことは回転モアレ、拡大縮小モアレのいずれの場合にも成り立つことからある種の普遍性を示している。また、構造が波長に比べ十分に小さいとみなせる波長領域において、このような性質を示すことからトポロジカルな情報の周波数無依存性を示しているものと考えられる。これらのことからモアレパターンは、ずらし方に普遍的なトポロジカルな性質を持ち、その性質はモアレ型メタ表面をもちいることで電磁場へ転写することができるということが分かった。

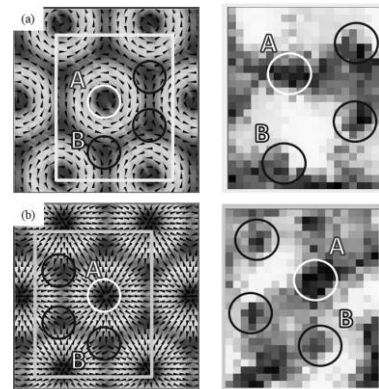


図9 モアレのベクトル場と透過位相強度分布  
上段 回転モアレ、下段拡大縮小モアレ

### (2) 入射角による円偏光度の変調

非等方歪メッシュと無歪メッシュを重ねた非等方歪モアレ型メタ表面(図8)について、異常屈折成分の円偏光度の入射角依存性を調べた。異常屈折成分は入射方向とは異なる横方向の波数成分をテラヘルツ波面イメージング結果に対して2次元フーリエ解析を行うことで取得した。励起レーザのパワー低下により十分なSN比が得られなかったのでA: 1.41-2.34THz, B: 0.47-1.41THz, C: 0.47THz 未満の帯域ごとに分けて積算した結果を図10に示す。横軸はテラヘルツ波の入射角であり縦軸は円偏光度を表す。構造共鳴のある帯域Bにおいては円偏光度に対して有意な差は見られなかったものの構造共鳴の弱い帯域A,Bにおいて入射角により楕円偏光の回転の左右が変化している様子がわかる。このことは、入射角を変えることで電磁場を感じるベクトル場が変調できることを意味している。ただし、構造共鳴の強い周波数では入射角変化よりも構造による異方性が優位にな

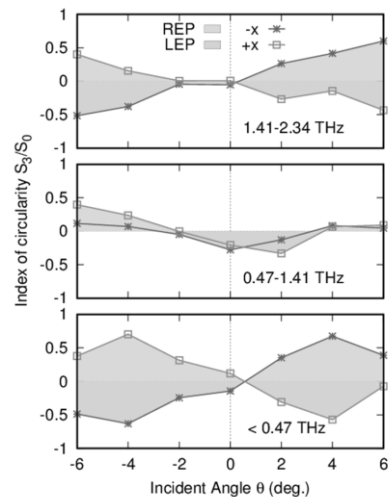


図10 各帯域における $\pm x$ 方向に伝搬ベクトルを持つ成分の円偏光度の入射角度依存性

りベクトル場の変調による効果は得られなかったものと考えられる。

### (3)ベクトル3次元化の応用

(2)で得られた知見から電磁場へより簡便にトポロジカルチャージを付与することもできることが分かった。すなわち、空間的な歪を導入しない2枚の金属メッシュを2枚重ね合わせ、それを集光光学系の内側に配置し、(1)と同様に円偏光クロスニコル測定を行うことを考える。すると集光光学系では光軸周りに少しずつ異なる方向の波数ベクトルが集まっていることから、透過波が感じるベクトル場もそれぞれの入射方向によって異なる。このことはあたかも拡大縮小モアレ型メタ表面に入射した時と同じような影響を受けることが予想される。三角格子金属メッシュ2枚について、局所的な対称性が異なる2つの重ね方—格子同士をそのまま重ね合わせたA型と格子を互い違いに

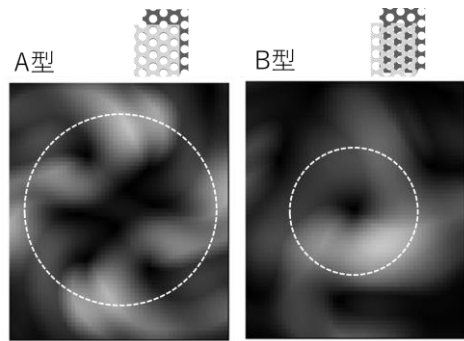


図11集光光学系において歪のない2重金属メッシュ構造により獲得するトポロジカルチャージ

なるように重ねたB型—について、円偏光クロスニコル測定における透過後の位相強度分布を数値的にしらべた(図11)。A型B型いずれも中心に暗点を持ち、A型ではその周りで位相が $8\pi$ 変化し、B型では $2\pi$ 変化していた。それぞれ4次、1次のトポロジカルチャージが付与されたことに対応する。(1)の拡大縮小モアレではA、Bの特異点まわりで得られるトポロジカルチャージはそれぞれ2と-1次であり正負については光学配置等によることを考慮すると特異点Bと集光系のB型との対応は理解できる。またA型の方は、中心の暗点の周りのトポロジカルチャージ2と周辺の-1次を示す特異点6つを足し合わせることで $2+6\times(-1)=-4$ となることに対応するものと考えられる。このことはトポロジカルチャージを調べることで局所的な対称性の違いが判ることを意味しており、実験による実証が今後の課題である。

### (4)単画素撮像への応用

本研究で培った金属メッシュの作成手法は超広帯域単画素撮像用マスクとして応用可能であることが分かった。金属の光学応答はプラズマ周波数以下でドルーデモデルによって記述されその性質は比較的平坦な性質を示す。特に電磁波を透過させないという性質については可視光領域以下の周波数で共通する性質である。このことを単画素撮像用のランダムマスクに応用すると実質的に波長依存性のないマスクを作ることができる。

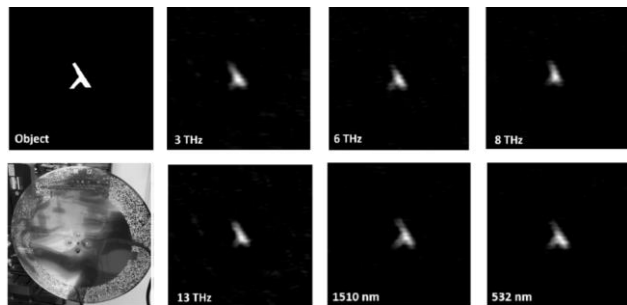


図12 超広帯域単画素撮像用メタルメッシュ(左下)と各波長におけるイメージ

このような着想から千葉大学・尾松、宮本研究室との共同研究へと発展したのが本応用である。あらかじめ計算機により発生させた既知のランダムパターンに基づいて穴がランダムに空いた金属円盤を作成した(図12左下)。これを単画素イメージングに用いた結果を図12に示す。3-13THzの幅広いテラヘルツ帯と1510nmの近赤外線領域、532nmの可視光領域においてイメージングに成功している。金属の基本的な性質に立ち返りマスクを作製することで非常に広帯域な単画素撮像用マスクにも応用できることを示している。このことは、撮像素子が未だに高価なテラヘルツ帯のカメラや多くの分子振動をゆるする中赤外帯のハイパースペクトルイメージングなどへの応用が期待される。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Shikata Jun-ichi, Ohno Seigo, Minamide Hiroaki	4. 巻 17
2. 論文標題 Terahertz-wave generation from surface phonons at forbidden frequencies of lithium niobate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Electronics Express	6. 最初と最後の頁 20200133-1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/elex.17.20200133	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 -
1. 著者名 Seigo Ohno, Yu Tokizane, Jun-ichi Shikata, Hiroaki Minamide	4. 巻 2
2. 論文標題 Phase and Direction Control of a Terahertz Wave Propagating in a Waveguide Coupled With a Bull's-Eye Structure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 URSI RADIO SCIENCE LETTERS	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.46620/RSL20-0030	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 -
1. 著者名 Valles Adam, He Jiahuan, Ohno Seigo, Omatsu Takashige, Miyamoto Katsuhiko	4. 巻 28
2. 論文標題 Broadband high-resolution terahertz single-pixel imaging	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 28868-28881
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/OE.404143	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 -
1. 著者名 Ohno Seigo, Miyamoto Katsuhiko, Hayashi Shin'ichiro, Sekine Norihiko	4. 巻 28
2. 論文標題 Zero-spindle spectral drill: real-time spectral measurement in a fixed Fabry-Perot cavity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 22088-22094
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/OE.397238	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 -

1. 著者名 Seigo Ohno, Katsuhiko Miyamoto, Shin' ichiro Hayashi, Norihiko Sekine	4. 巻 1
2. 論文標題 High Speed Measurement in Spectral Drill using Q-plate and Camera	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 8th International Conference on Photonics, Optics and Laser Technology	6. 最初と最後の頁 97-99
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5220/0008959400970099	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 -

1. 著者名 Ohno Seigo	4. 巻 1
2. 論文標題 Spectral drill: a geometrical phase shifter within a Fabry-Perot cavity	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 OSA Continuum	6. 最初と最後の頁 136 ~ 136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OSAC.1.000136	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 -

[学会発表] 計17件(うち招待講演 5件/うち国際学会 7件)

1. 発表者名 大野 誠吾、石原 照也
2. 発表標題 非等方歪モアレ型メタ表面における異常屈折効果の斜入射特性
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大野 誠吾、石原 照也
2. 発表標題 集光光学系においた2重金属メッシュ構造により獲得する光のトポロジカル チャージ
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Adam Valles, Jiahuan He, Taisei Ookawa, Seigo Ohno, Katsuhiko Miyamoto, Takashige Omatsu
2. 発表標題 Broadband terahertz single pixel imaging system
3. 学会等名 OMC2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Adam Valles, Seigo Ohno, Takashige Omatsu, Katsuhiko Miyamoto
2. 発表標題 High pixel resolution terahertz imaging
3. 学会等名 シンポジウム テラヘルツ科学の最先端
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Adam Valles, Jiahuan He, Taisei Ookawa, Seigo Ohno, Katsuhiko Miyamoto, Takashige Omatsua
2. 発表標題 Broadband terahertz single pixel imaging system
3. 学会等名 OMC 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大野 誠吾
2. 発表標題 モアレパターンに現れるベクトル場とモアレ型メタ表面によるTHz波制御
3. 学会等名 応用物理学会北陸・信越支部講演会 / 共催 第24回(2019年)福井セミナー(招待講演)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 大野 誠吾, 石原 照也
2. 発表標題 テラヘルツ波制御に向けたモアレ型メタ表面の開発
3. 学会等名 東北大学・理化学研究所研究連携ワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大野 誠吾
2. 発表標題 モアレ型メタ表面を用いたテラヘルツ波制御
3. 学会等名 第182委員会 研究会 テラヘルツ波科学技術と産業開拓（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大野 誠吾, 石原 照也
2. 発表標題 モアレ型メタ表面におけるずれベクトルの3次元への拡張
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大野 誠吾, 宮本 克彦, 林 伸一郎, 関根 徳彦
2. 発表標題 機械動作を排したスペクトルドリル
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第40 回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Seigo Ohno, Katsuhiko Miyamoto, Shin' ichiro Hayashi, Norihiko Sekine
2. 発表標題 High Speed Measurement in Spectral Drill using Q-plate and Camera
3. 学会等名 PHOTOPTICS 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shin' ichiro Hayashi, Seigo Ohno, Norihiko Sekine
2. 発表標題 Wavelength Conversion between Terahertz wave and Infrared for frequency measurement
3. 学会等名 3rd PEM International Workshop in Ise (PEM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Seigo Ohno, Hiromichi Hoshina, Hiroaki Minamide, Teruya Ishihara
2. 発表標題 Phase singularities in moire type metasurfaces
3. 学会等名 PIERS 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大野 誠吾
2. 発表標題 モアレパターンに見るベクトル場とモアレ型メタ表面
3. 学会等名 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会 粒子-流体混成系がもたらす多様な機能性 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Seigo Ohno
2. 発表標題 Vector field design in moire type metasurface toward light manipulation
3. 学会等名 2018 NAIST Interdisciplinary Research Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Seigo Ohno
2. 発表標題 Fabry-Perot Interferometer Scanned By Geometric Phase
3. 学会等名 IRMMW-THz 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大野 誠吾, 石原 照也
2. 発表標題 モアレ型メタ表面における異常屈折現象観測のための THz時間領域分光イメージング系の構築
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 光学共振器の共振周波数の掃引方法	発明者 大野誠吾	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-145873	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

幾何学的位相を用いた光学キャビティの連続掃引  
<http://sspp.phys.tohoku.ac.jp/ohno/jk/2018-11-29/Spectral-drill/index.html>

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
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------