

報道関係者 各位

2024年2月13日
国立大学法人 東京農工大学
学校法人 早稲田大学

超薄型な可変焦点レンズに偏光分離機能を統合 —次世代の光通信技術へ応用可能なメタレンズ—

国立大学法人東京農工大学大学院の羽田充利氏（専門職学位課程1年）と阿出川彪氏（2023年3月博士前期課程修了）、青木活真氏（博士前期課程2年）、早稲田大学理工学術院の池沢聡研究院講師、東京農工大学大学院の岩見健太郎准教授は、メタサーフェス（注1）を利用して、光通信波長帯において偏光を分離しながら焦点距離を調整可能なメタレンズ（注2）を実現しました。この成果は、高速かつ大容量な次世代の光通信技術への応用が期待されます。

本研究成果は、Optica (旧米国光学会 OSA) 発行の Optics Express (IF=3.833, 電子版 2024年2月8日付) に掲載されました。

論文タイトル: Polarization-Separating Alvarez Metalens

DOI: 10.1364/OE.516853

URL: <https://opg.optica.org/oe/fulltext.cfm?uri=oe-32-4-6672&id=546455>

研究背景: メタアトム（注3）と呼ばれる光の波長より小さいサイズの構造体を配列して光を制御するメタサーフェスは、小型軽量な素子で様々な光学的機能を実現できることから、次世代の光学デバイスとして注目されています。これらは厚さ数百ミクロンの基板上に半導体の製造プロセスを用いて微細な柱状構造を配列したものであり、非常に薄型であるだけでなく大量生産も可能な特徴を持っています。また柱状構造の配置によってホログラフィや可変焦点レンズなど様々な機能を実現できるほか、メタアトムの形状によって偏光や波長に依存した設計も可能です。これらメタサーフェスの多機能性に着目し、今回私たちは、光通信技術へ応用可能な偏光の分離機能と可変焦点機能を併せ持つメタレンズを開発しました。

研究体制: 本研究は、国立大学法人 東京農工大学大学院 工学府 産業技術専攻の羽田充利氏（専門職学位課程1年）と同大学院工学府機械システム工学専攻の阿出川彪氏（2023年3月博士前期課程修了）、青木活真氏（博士前期課程2年）、早稲田大学理工学術院の池沢聡研究院講師、東京農工大学大学院工学研究院先端機械システム部門の岩見健太郎准教授により行われました。また、本研究の一部は日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(B)(一般)(21H01781)、基盤研究(C)(22K04894)の支援により行われました。また、本研究の試料作成には、文部科学省「マテリアル先端リサーチインフラ」事業(課題番号 JPMXP1223UT1008)の支援を受け、東京大学微細加工拠点の共用設備を利用させていただきました。解析の一部は、東京工業大学のスーパーコンピュータ TSUBAME 3.0 を利用して行われました。

研究成果: 今回、光通信波長帯である波長 1550 nm で動作する偏光分離機能を持つ可変焦点メタレンズを開発しました。これは、図1のように直交する2つの直線偏光成分を分離して異なる位置に集光さ

せつつ、その焦点距離を変化させることができます。設計ではまず初めに、可変焦点メタレンズである Alvarez メタレンズ（注4）の位相分布（注5）を改変し、光軸外に集光する可変焦点メタレンズの位相分布を導出しました。メタアトムの断面構造を長方形として垂直・水平直交偏光に対する位相遅延量を独立して制御し、集光位置の異なる位相分布を割り当てることで所望の機能を実現しました。設計したメタレンズは、東京大学微細加工拠点の電子線描画装置、反応性イオンエッチング装置を用いて製作し（図2）、設計波長の光源にてその機能を確認しました（図3）。

今後の展開：社会の情報化に伴い、高速かつ大容量で安全な光通信技術への需要が高まっています。自由空間光通信（注6）は高速で秘匿性も高く、光ファイバーの敷設が不要で設置コストも低いため次世代の光無線通信技術として期待されています。空間中を伝搬する信号光は大気の揺らぎなどの影響を受けるため、受信装置においてはこれを追尾して検出器に誘導する調芯が必要です。また伝送容量の増大のためには、異なる情報を持つ偏光を多重化して伝送し、受信部で分離する偏光多重技術が使われています。本研究で開発したメタレンズを自由空間光通信の受信器に用いることで、調芯と偏光分離の二つの機能を小型の素子で担うことが可能になります。さらにメタレンズは半導体の製造プロセスにより大量生産することが可能であり、次世代の光通信設備の簡素化やコスト削減に貢献できると期待できます。

注1 メタサーフェス

光（電磁波）の波長に比べて小さいサイズの誘電体導波路構造を配列することで、自然界には存在しない屈折率や光機能を実現できる機能性表面。「メタ」は「高次な」「超-」を意味する接頭語。

注2 メタレンズ

メタサーフェスの考え方に基づいて作られた、誘電体導波路を配列したレンズ。非常に薄型なことに加えて、偏光分離機能など従来のレンズでは実現できなかった機能を持つことができる。

注3 メタアトム

メタサーフェスを構成する、光（電磁波）の波長に対して微小なサイズの構造体のこと。本研究では、アモルファスシリコンで製作した196～396 nmの幅を持つ矩形断面のメタアトムを500 nm周期で配列した。

注4 Alvarez メタレンズ

2枚の光学素子からなる可変焦点レンズ。図1のように、重ねた2枚の光学素子を光軸と垂直な方向に駆動させ、その変位量によって焦点距離を制御する。光軸方向への移動を伴わないため薄型な特徴を持つ。

注5 位相分布

メタレンズ平面における、メタアトムが光波に与える位相遅延量の分布のこと。位相分布を適切に設計することで、メタレンズに所望の機能を与えることができる。

注6 自由空間光通信

光ファイバーの代わりに空間中を伝わるレーザー光線を用いた光通信技術のこと。高速通信が可能で傍受の危険が少なく、ファイバーの敷設が不要なため導入コストが低いといったメリットがあり、次世代の光通信技術として期待が大きい。

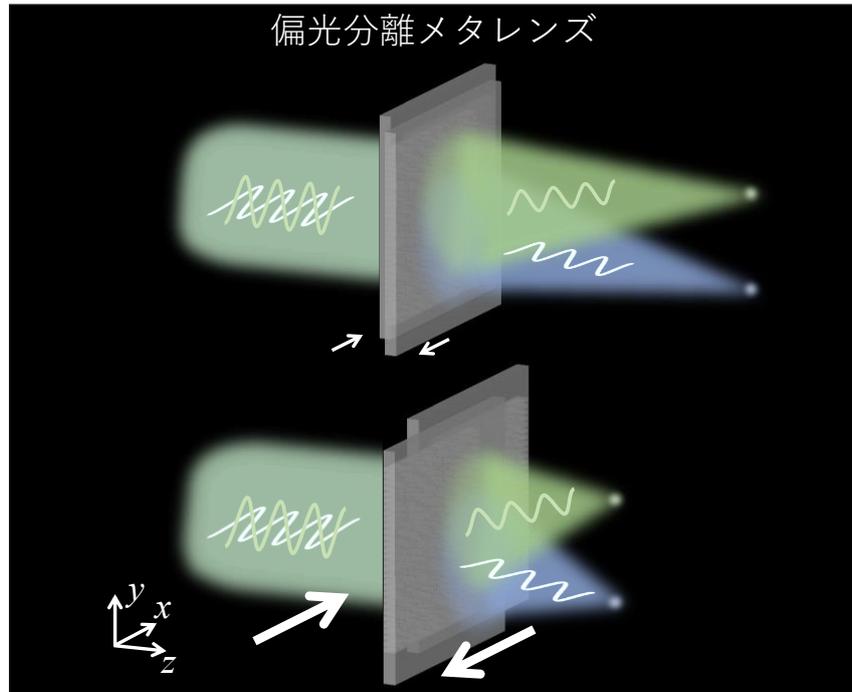


図1 偏光分離機能を持つ可変焦点メタレンズの概念図
重ねた2枚の光学素子が、緑色と青色で示した直線偏光をそれぞれ異なる位置に集光させる様子。またその焦点距離は、2枚の素子の変位が小さいときは長く(上図)、大きいときは短く(下図)なる。

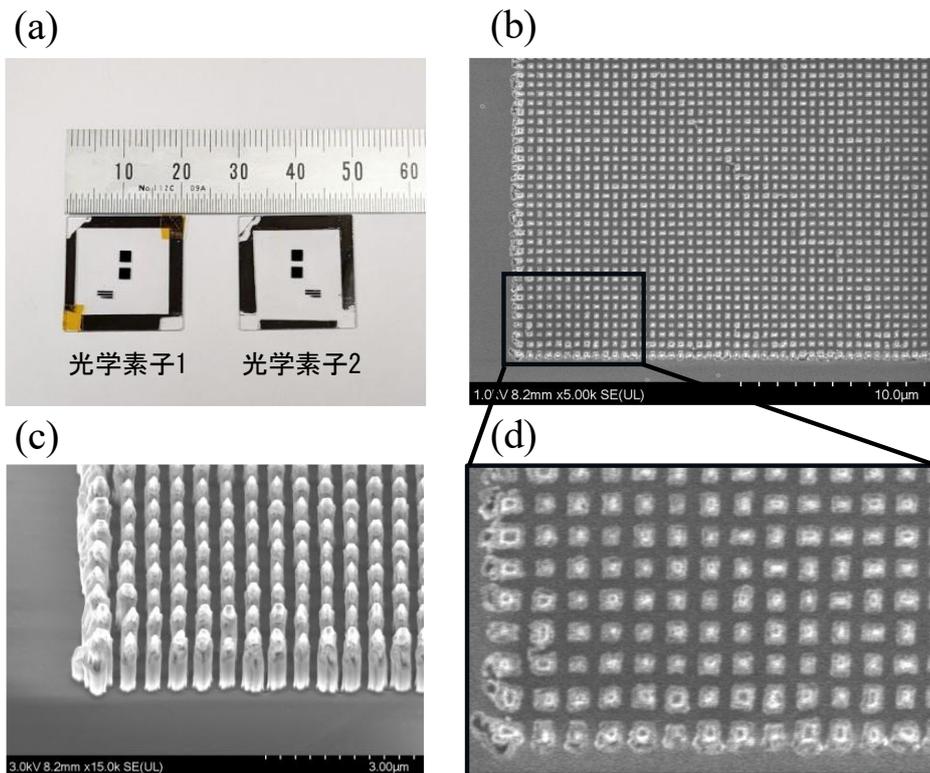


図2 製作結果 (a) メタレンズ写真 (b) 上から撮影した電子顕微鏡写真
(c) 斜め方向から撮影した電子顕微鏡写真 (d) (b)の拡大図長方形の断面構造を持つメタアトム

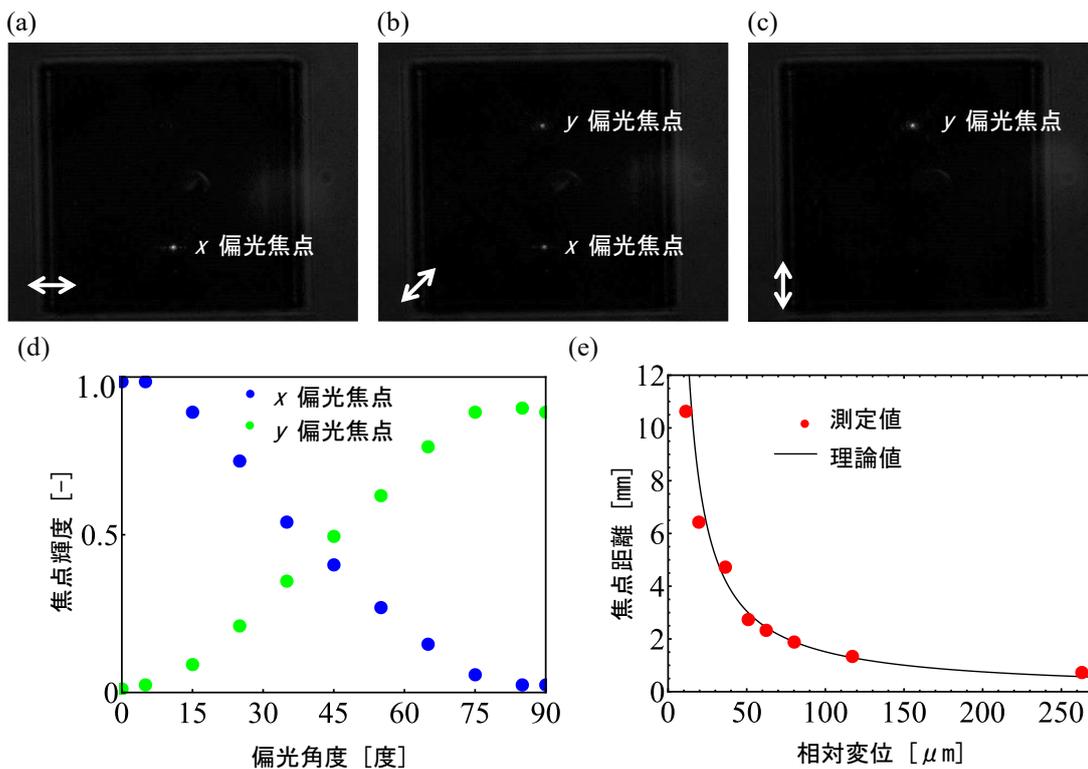


図3 実験結果(a) x 偏光 (b) 45 度偏光 (c) y 偏光 を入射した時の焦点面の様子。 x 偏光を入射した時には、設計通り画像下側に集光し、 y 偏光を入射した時には画像上側に集光している。また、両方の偏光を含む 45 度偏光を入射した時には、偏光が分離されてそれぞれの焦点位置に集光している様子が分かる。(d) 入射偏光によって 2 つの焦点輝度が変化する様子。偏光角度は 0 度が x 偏光、90 度が y 偏光を表しており、(a)-(c) に示した焦点の明るさが入射光に含まれる各偏光の量に依存していることから偏光を正しく分離できていることが分かる。(e) Alvarez レンズの 2 つの素子の相対変位 d によって焦点距離 f が変化する様子。黒線で示した理論値に沿って焦点距離を制御できていることが分かる。

◆研究に関する問い合わせ◆

東京農工大学大学院工学研究院
 先端機械システム部門 准教授
 岩見 健太郎 (いわみ けんたろう)
 TEL/FAX : 042-388-7658
 E-mail : k_iwami@cc.tuat.ac.jp