

無偏光な積層構造メタレンズアンテナの大開口径化による高指向性利得設計

Design of high directivity characteristics by polarization-independent laminated metalens antenna with a large aperture

三ツ井 祐ノ介[†] 中田 成央^{††} 鈴木 健仁^{†††,††††}

Yunosuke MITSUI[†] Nao NAKATA^{††} Takehito SUZUKI^{†††,††††}

東京農工大学[†]工学部 知能情報システム工学科^{††}工学府 電気電子工学専攻

^{†††}工学研究院 先端電気電子部門 ^{††††}JST 創発研究者

[†]Department of Electrical Engineering and Computer science, ^{††}Department of Electrical and Electronic Engineering, Graduate School of Engineering, ^{†††}Division of Advanced Electrical and Electronics Engineering, Institute of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology, ^{††††}FOREST Researcher, Japan Science and Technology Agency

1. まえがき

次世代高速無線通信[1]やイメージング[2]への応用に向け、共鳴トンネルダイオード[3]や量子カスケードレーザー[4]などの小型テラヘルツ光源が充実しつつある。これらの小型テラヘルツ光源からの放射波は放射状となることが多く、小型テラヘルツ光源の指向性利得を高めるコンポーネントが必要となる。しかしながら、自然界に存在する材料を用いた誘電体レンズは 3 次元的な厚さを有し、光源へ搭載した際に大型化してしまう。人工構造材料であるメタサーフェスを用いたメタレンズアンテナは 2 次元平面構造であり、光源への搭載に向いている[5]。また、無偏光なメタレンズアンテナは、テラヘルツ光源に角度合わせなしで搭載して、テラヘルツ光源の指向性利得を向上できる利点もある[6]。メタレンズアンテナの指向性利得の向上に向けて、積層構造メタサーフェスを用いた偏光特性を有するメタレンズアンテナの大開口径化も報告されている[7]。本稿では、無偏光な積層構造メタレンズアンテナを大開口径化し、高指向性利得設計をしたので報告する。

2. 無偏光で大開口径な積層構造メタレンズアンテナの設計

図 1(a), (b)に、それぞれ設計した積層構造メタレンズアンテナ、同一のパラメータのメタアトムを有する積層構造メタサーフェスの拡大図を示す。設計周波数は 0.312 THz である。図 1(a)の積層構造メタレンズアンテナは、微小磁気ダイポールからの放射波を平面波に変換する透過位相遅れ分布を模擬するようにメタアトムの金属パッチを配置している。積層構造メタレンズアンテナは、フレネルレンズの原理を用いることで 360 度を超える位相の折り返しを制御し、開口径を拡大させている。積層構造メタレンズアンテナの半径は 6.9 mm (7.2 λ) である。積層構造メタレンズアンテナと微小磁気ダイポールの距離は 3 mm (3.1 λ) である。図 1(b)の積層構造メタサーフェスは、誘電体基板の表裏に正方形金属パッチを対称に配置して構成されている。誘電体基板と正方形金属パッチはそれぞれシクロオレフィンポリマー ($n=1.53+j0.0012$)、銅 ($\sigma=5.8 \times 10^7$ S/m) を用いた。メタサーフェス同士は接着シート ($n=1.58+j0.103$) で接着している。誘電体基板、金属パッチ、接着シートの厚さは、それぞれ $d=50 \mu\text{m}$ 、 $t=0.5 \mu\text{m}$ 、 $h=20 \mu\text{m}$ である。

図 2(a), (b)に、それぞれメタサーフェスの周期構造解析の透過位相遅れ、透過率の解析結果を示す。図 2(a), (b)内の白丸のプロットは積層構造メタレンズアンテナの設計に用いたパラメータを示す。解析には有限要素法電磁界シミュレータ ANSYS 社 HFSS を用いた。金属パッチの 1 辺の長さ l を $100 \mu\text{m}$ から $300 \mu\text{m}$ 、金属パッチ同士の間隔 s を $10 \mu\text{m}$ から $210 \mu\text{m}$ で変化させている。

3. 無偏光で大開口径な積層構造メタレンズアンテナの解析

図 3 に微小磁気ダイポール単体と微小磁気ダイポールに設計した積層構造メタレンズアンテナを搭載した場合の指向性利得の解析結果を示す。指向性利得は、微小磁気ダイポールの指向性利得の最大値を 0 dB に規格化している。解析により、設計した積層構造メタ

レンズアンテナは、微小磁気ダイポール単体の指向性利得を $E(yz)$ 面と $H(xz)$ 面の両方で 22.0 dB 向上させることを確認した。また、設計した積層構造メタレンズアンテナは、 $E(yz)$ 面と $H(xz)$ 面の両方で微小磁気ダイポール単体の半値幅 91 度を 7 度まで狭めることを確認した。設計した積層構造メタレンズアンテナにより、微小磁気ダイポールからの放射状のテラヘルツ波を平面波に変換することを解析で確認した。

4. まとめ

無偏光で大開口径な積層構造メタレンズアンテナを設計した。設計した積層構造メタレンズアンテナは、微小磁気ダイポールの指向性利得を $E(yz)$ 面と $H(xz)$ 面の両方で 22.0 dB 向上させることを解析で確認した。本稿で設計した無偏光で大開口径な積層構造メタレンズアンテナは、テラヘルツ波の産業応用に貢献できる。

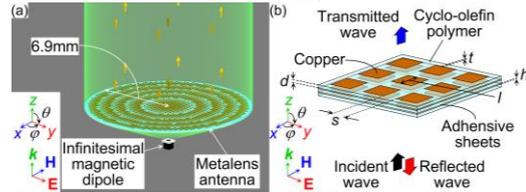


Fig. 1 (a) Laminated metalens antenna with an infinitesimal magnetic dipole and (b) laminated metasurfaces.

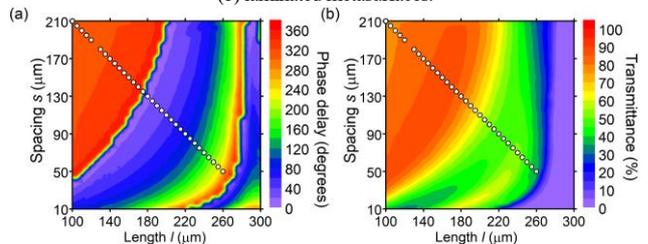


Fig. 2 Simulated (a) transmission phase delay and (b) transmittance of laminated metasurfaces.

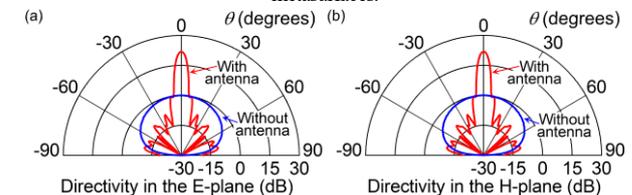


Fig. 3 Simulated directivity of the laminated metalens antenna with an infinitesimal magnetic dipole and a single infinitesimal magnetic dipole in the (a) $E(yz)$ - and (b) $H(xz)$ -planes.

謝辞 本研究の一部は、JST 創発的研究支援事業 (JPMJFR2221)、JSPS 科研費基盤研究 (B) (21H01839)、公益財団法人中部電気利用基礎研究振興財団の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] S. Dang et al., Nat. Electron., **3**(1), 20–29 (2020).
- [2] D. M. Mittleman, Opt. Express **26**(8), 9417–9431 (2018).
- [3] M. Asada and S. Suzuki, J. Infrared, Millimeter, Terahertz Wave **37**(6), 1185–1198 (2016).
- [4] K. Fujita et al., Nanophotonics **10**(3), 703–710 (2022).
- [5] K. Endo et al., Appl. Phys. Express **14**(8), 082001 (2021).
- [6] K. Sato and T. Suzuki, IRMMW-THz 2021, WE-PO-61, Virtual conference (2021).
- [7] K. Urashima and T. Suzuki, IEICE Technical Report **122**(352), 47–52 (2023).