

7G 無線通信に向けた 0.85 THz 帯積層構造メタレンズアンテナの設計

Design of a laminated metalens antenna in the 0.85-THz band for 7G Wireless Communications

蛸澤 魁斗[†] 安川 昂秀^{††} 鈴木 健仁^{†††,††††}Kaito EBISAWA[†] Takahide YASUKAWA^{††} 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 知能情報システム工学専攻 ^{†††}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 Engineering and Computer science, 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

テラヘルツ波帯は次世代高速無線通信[1]での応用が期待されており、共鳴トンネルダイオード[2]や量子カスケードレーザー[3]などの室温で連続発振可能なテラヘルツ波帯光源が充実してきている。しかしながら、テラヘルツ波帯光源から放射されるテラヘルツ波はしばしば放射状に広がるため、空間を伝搬することに電力密度が低下してしまう。6G 無線通信の実現に向けて、0.30 THz 帯で、高屈折率・低反射なメタサーフェス[4]を用いた積層構造メタレンズアンテナ[5,6]による光源の指向性利得の向上が報告されている。積層構造メタレンズアンテナの動作周波数を高周波化し、0.30 THz 帯より高周波な光源の指向性利得の向上を実証できれば、6G 無線通信のさらに次の世代である 7G 無線通信に向けて先駆けた研究となる。本稿では、電波の窓の存在する 0.85 THz[7]で直径 15 mm の積層構造メタレンズアンテナを設計し、解析で 18.5 dB の指向性利得の向上を確認したので報告する。

2. 0.85 THz 帯積層構造メタレンズアンテナの構造

図 1(a), (b)に、それぞれ光源単体、光源と積層構造メタレンズアンテナを示す。積層構造メタレンズアンテナは、光源からアンテナの放射端までの伝搬路を等しくすることで、光源から放射された放射状に広がるテラヘルツ波を指向性の高い平面波に変換できる。積層構造メタレンズアンテナは、3 層のメタサーフェスを 2 層の接着シートで密着して積層した構造である。メタサーフェスを構成するメタアトムは、誘電体基板の表と裏の両面の対称な位置に正方形金属パッチを配置した構造である。誘電体基板は厚さ 23 μm のシクロオレフィンポリマー(周波数 0.50 THz で屈折率 $n=1.53+j0.0012$)で、正方形金属パッチは厚さ 0.5 μm の銅(周波数 0.85 THz で導電率 $\sigma=5.78 \times 10^7 + j7.73 \times 10^6 \text{ S/m}$)である。

3. 0.85 THz 帯積層構造メタレンズアンテナの設計

図 2(a), (b)に、それぞれ 3 層積層構造メタサーフェスの正方形金属パッチの 1 辺の長さ l と配置間隔 s を変化した場合の透過位相遅れ、反射率の解析結果を示す。図 2(a), (b)内の黒点は、積層構造メタレンズアンテナの設計に使用したメタアトムのパラメータである。積層構造メタレンズアンテナは、アンテナに入射したテラヘルツ波の放射状の位相を平面状に変換するような理想的な透過位相遅れ分布を、メタアトムの配置によって離散的に模擬して設計している。図 3(a), (b)に、それぞれ理想的な透過位相遅れ分布、設計した積層構造メタレンズアンテナの透過位相遅れ分布を示す。設計した積層構造メタレンズアンテナは、動作周波数 0.85 THz、直径 15 mm (42.5λ)、焦点距離 25 mm (70.9λ)である。図 3(a), (b)より、設計した積層構造メタレンズアンテナは、理想的な透過位相遅れ分布を模擬できている。

4. 0.85 THz 帯積層構造メタレンズアンテナの解析結果

図 4(a), (b)にそれぞれ光源単体、光源と積層構造メタレンズアンテナの場合の、 xz 面(E 面)と yz 面(H 面)の放射パターンの解析結果を示す。光源単体の指向性利得の最大値を 0 dB として規格化している。設計した積層構造メタレンズアンテナと 0.85 THz で励振する微小磁気ダイポールを、イメージの原理で 4 分の 1 構造を解析した。図 4(a), (b)より、積層構造メタレンズアンテナを光源に搭載することで、光源の指向性利得が xz 面(E 面)と yz 面(H 面)ともに 18.5 dB 向上することを確認した。また、設計した積層構造メタレンズアンテナが、0.80 THz から 0.90 THz の帯域で光源の指向性利得を 16.7 dB 以上向上させることを解析で確認している。

5. まとめ

7G 無線通信に向けて、0.85 THz で直径 15 mm の積層構造メタレンズアンテナを設計した。解析より、設計し

た積層構造メタレンズアンテナと光源により、光源単体の指向性利得と比較して 18.5 dB 向上することを確認した。今後、設計した積層構造メタレンズアンテナの作製法を開拓しながら、作製を進め、実験評価する。また、直径を 15 mm より大開口径な積層構造メタレンズアンテナも設計、作製、実験し、さらなる指向性利得の向上を目指す。

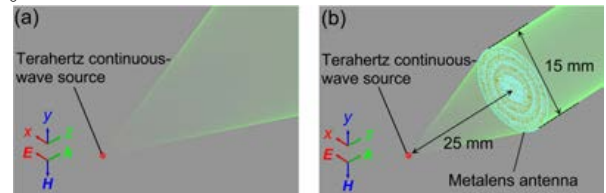


Fig. 1 (a) Single terahertz continuous-wave (CW) source and (b) laminated metalens antenna with the terahertz CW source.

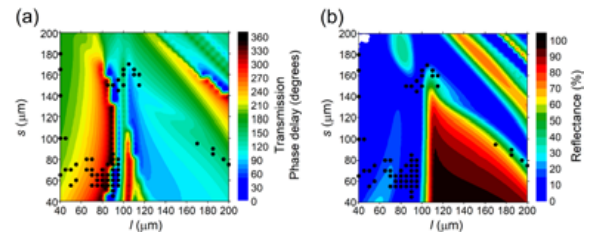


Fig. 2 (a) Simulated transmission phase delay and (b) reflectance of 3-layer laminated metasurface.

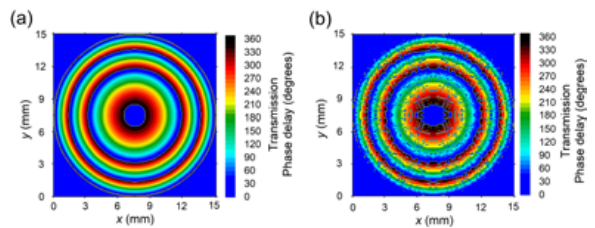
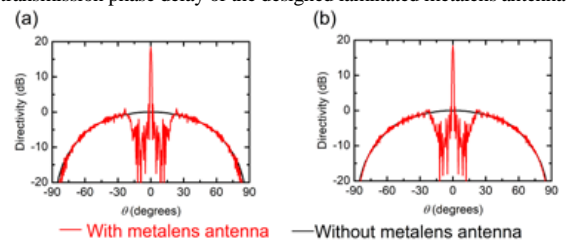


Fig. 3 Simulated distribution maps of (a) ideal transmission phase delay and (b) transmission phase delay of the designed laminated metalens antenna.

Fig. 4 Simulated radiation patterns of the designed laminated metalens antenna in the (a) xz (E)-plane and (b) yz (H)-plane.

謝辞 本研究の一部は、JST 創発的研究支援事業(JPMJFR222I)、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, vol. 3, no. 1, pp. 20–29, Jan. 2020.
- [2] M. Asada and S. Suzuki, J. Infrared, Millimeter, Terahertz Waves, vol. 37, no. 6, pp. 1185–1198, Oct. 2016.
- [3] F. Kazuue et al., Opt. Express, vol. 24, no. 15, pp. 16357–16365, Jul. 2016.
- [4] K. Ishihara and T. Suzuki, J. Infrared, Millimeter, Terahertz Waves, vol. 38, no. 9, pp. 1130–1139, Jul. 2017.
- [5] K. Urashima and T. Suzuki, IEICE Technical Report, vol. 122, no. 352, pp. 47–52, Jan. 2023.
- [6] 宇野 他, テラヘルツ科学の最先端 X, 東北大学, Dec. 2023.
- [7] T. Nagatsuma, J. IEICE, vol. 106, no. 6, pp. 470–478, Jun. 2023.