

# テラヘルツ光渦生成メタサーフェスの機械学習のアシストも活用した最適化の検討

## B-1 Optimization of terahertz optical vortex components based on metasurfaces assisted by machine learning

山森 駿司<sup>†</sup> 佐藤 建都<sup>\*\*</sup> 劉 久美子<sup>\*\*</sup> 池本 菜々子<sup>\*\*\*</sup> 鈴木 健仁<sup>\*\*\*\*,\*\*\*\*\*</sup>  
 Shunji YAMAMORI<sup>†</sup> Kento SATO<sup>\*\*</sup> Kumiko RYU<sup>\*\*</sup> Nanako IKEMOTO<sup>\*\*\*</sup> Takehito SUZUKI<sup>\*\*\*\*,\*\*\*\*\*</sup>  
 東京農工大学 <sup>†</sup>工学部 電気電子工学科 <sup>\*\*</sup>工学府 電子電子工学専攻 <sup>\*\*\*</sup>工学部 知能情報システム工学科  
<sup>\*\*\*\*</sup>工学研究院 先端電気電子部門 <sup>\*\*\*\*\*</sup>国立研究開発法人 科学技術振興機構 さきがけ

<sup>†</sup>Department of Electronic and Engineering, Faculty of Engineering, <sup>\*\*</sup>Department of Electrical and Electronic Engineering, Graduate School of Engineering, <sup>\*\*\*</sup>Department of Electrical Engineering and Computer Science, Faculty of Engineering, <sup>\*\*\*\*</sup>Division of Advanced Electrical and Electronics Engineering, Institute of Engineering, <sup>\*\*\*\*\*</sup>Japan Science and Technology Agency, PRESTO  
 Tokyo University of Agriculture and Technology

### 1. はじめに

次世代高速無線通信[1]やイメージング技術[2]に向けて、光源から放射されたテラヘルツ波の制御が必要不可欠である。らせん状の波面を有する光渦[3]は、異なるトポロジカルチャージの光渦の多重化による大容量無線通信システムでの活躍が期待されている[4]。

筆者の研究グループでは、これまでに独自の高屈折率・低反射なメタサーフェス[5,6]を積層した光渦生成素子の可能性を見出している[7]。しかしながら、[7]はカット金属ワイヤーを用いた高屈折率・無反射なメタサーフェスを応用しており、偏光特性を有する。無偏光な光渦生成素子が実現できれば、共鳴トンネルダイオードなどの連続発振テラヘルツ光源に位置合わせなしで導入でき、次世代無線通信システムとの親和性を大きく高められる。

本稿では、無偏光・高屈折率・無反射なメタサーフェス[8]を応用し、0.3 THz 帯で平面波を光渦に変換する素子を設計した。光渦特有の電界位相分布と電界強度分布を解析により確認したので報告する。

### 2. 光渦生成メタサーフェスの設計

図 1(a), (b)にそれぞれ、理想的な屈折率分布を有する材料による光渦生成素子と、4層積層構造メタサーフェスによる光渦生成素子を示す。メタサーフェスは、誘電体基板の両面に対称に正方形の金属パッチを配置して構成している。誘電体基板は、シクロオレフィンポリマー(屈折率  $n=1.53+j0.0012$ )を用いた。正方形の金属パッチは、銅(導電率  $\sigma=5.8 \times 10^7$  S/m)を用いた。メタサーフェスの厚さとメタサーフェス間の積層間隔はそれぞれ  $51 \mu\text{m}$ 、 $1 \text{ mm}$  とした。図 1(b)は、図 1(a)の理想的な屈折率分布を離散的に模擬するように、理想的な屈折率分布を有する材料を正方形の金属パッチで置き換えている。正方形金属パッチの一边の長さ  $l$  と間隔  $s$  を変化した場合の透過位相遅れ、透過率を導出し、図 1(b)の4層積層構造メタサーフェスによる光渦生成素子を設計した。図 1(b)の設計では、透過率 72% 以上かつ反射率 27% 以下のパラメータを使用している。

### 3. 光渦生成メタサーフェスの解析結果

設計した4層積層構造メタサーフェスによる光渦生成素子を ANSYS 社 HFSS により全構造解析した。解析周波数は  $0.312 \text{ THz}$  で、ガウシアンビームを入射している。図 2(a), (b)にそれぞれ理想的な材料による光渦生成素子の電界位相分布と電界強度分布を示す。図 2(c), (d)にそれぞれ2で設計した光渦生成素子を初期値として、繰り返し補正した光渦生成素子の電界位相分布と電界強度分布を示す。ベイズ最適化プログラム COMBO[9]も用いている。図 2(a)-(d)の破線はそれぞれ素子領域を示す。理想材料による光渦生成素子では、電界位相分布は  $z$  軸を中心に時計回りに位相が遅れ、電界強度分布は光渦特有のドーナツ状である。メタサーフェスによる光渦生成素子でも、電界位相分布は  $z$  軸を中心に時計回りに位相が遅れている。電界強度分布は完全なドーナツ状ではないものの、理想材料に近い解析結果が得られつつある。

### 4. まとめ

4層積層構造メタサーフェスによる光渦生成素子を設計した。全構造解析により、光渦特有の電界位相分布と電界強度分布が設計できていることを確認した。今後、引き続き、繰り返し補正による最適化を進めるとともに、光渦生成素子を作製し、実験評価する。

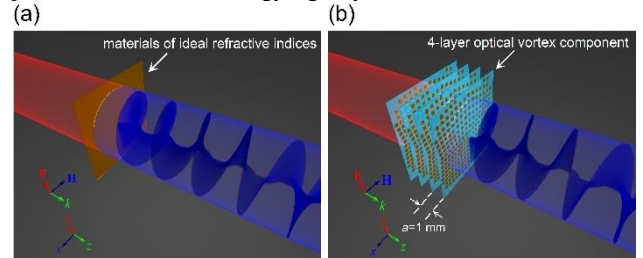


Figure 1 Optical vortex components consisting of (a) materials with ideal refractive indices and (b) 4-layer metasurfaces.

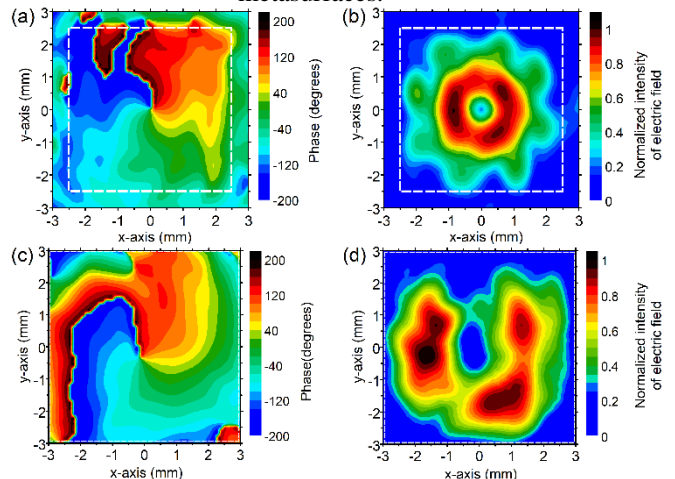


Figure 2 Simulations of (a) phase distribution map and (b) normalized intensity distribution map at  $1\lambda$  away from the optical vortex components consisting of ideal materials. Simulations of (c) phase distribution map and (d) normalized intensity distribution map at  $1\lambda$  away from the optical vortex components consisting of 4-layer metasurfaces.

### 参考文献

- [1] T. Nagatsuma et al., Nat. Photonics, vol. 10, no. 6, pp. 371-379, May 2016.
- [2] D. M. Mittleman, Opt. Express, vol. 26, no. 8, pp. 9417-9431, Apr. 2018.
- [3] L. Allen et al., Phys. Rev. A, vol. 45, no. 11, pp. 8185-8189, Jun. 1992.
- [4] J. Wang et al., Nat. Photonics, vol. 6, no. 7, pp. 488-496, Jun. 2012.
- [5] K. Ishihara et al., J. Infrared Millim. Terahertz Waves, vol. 38, no. 9, pp. 1130-1139, Sep. 2017.
- [6] H. Asada et al., Opt. Express, vol. 29, no. 10, pp. 14513-14524, Apr. 2021.
- [7] 中尾, 鈴木, 2020 年第 67 回応用物理学春季学術講演会, 13a-B508-5, 上智大学, Mar. 2020.
- [8] 佐藤, 鈴木, 2020 年第 81 回応用物理学秋季学術講演会, 11a-Z24-4, オンライン開催, Sep. 2020.
- [9] T. Ueno et al., Materials Discovery, vol. 4, pp. 18-21, Jun. 2016.

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費挑戦的研究(萌芽)(21K18712)、JSPS 科研費基盤研究(B)(21H01839)、国立研究開発法人科学技術振興機構さきがけ(JPMIPR1815)、公益財団法人東電記念財団の助成を受けたものである。