

積層構造メタサーフェスによるテラヘルツ光渦コンポーネント

Terahertz vortex component based on laminated metasurfaces

○中尾 春映¹ 鈴木 健仁^{1,2*} Haruaki Nakao¹ Takehito Suzuki^{1,2*}東京農工大学 工学府 電気電子工学専攻¹ 国立研究開発法人 科学技術振興機構 さきがけ²Tokyo University of Agriculture and Technology¹ Japan Science and Technology Agency, PRESTO²

1. まえがき

高屈折率・低反射な薄型のメタサーフェス[1]を積層した積層構造のメタサーフェス[2]は、比誘電率と比透磁率の空間的な制御により、既存の自然材料の制約を受けないテラヘルツ光学コンポーネントを実現できる。螺旋状の波面を有する光渦[3]は、トポジカルチャージの異なる各モードによる多重が可能であり、大容量無線通信[4]などへの応用が期待されている。テラヘルツ波帯での光渦の生成方法として螺旋型位相板[5]によるユニークな手法が報告されている。

もし、より薄型な光渦変換コンポーネントが実現できれば、情報端末などの小型な通信デバイスへの組み込みへの可能性が広がる。そこで、本稿では0.3 THzで平面波を光渦に変換するコンポーネントを積層構造メタサーフェスにより設計し、電磁界シミュレータにより基礎検討した。

2. コンポーネントの構造と設計

図1(a)に理想的な屈折率を有する材料による光渦コンポーネントを示す。入射されたガウシアンビームがトポジカルチャージ $m=-1$ を有する光渦に変換されるように屈折率を分布している。コンポーネントの厚さは $51\ \mu\text{m}$ 、コンポーネントの半径は $2\ \text{mm}$ である。この理想的な屈折率を有する材料を人工構造材料のメタサーフェスで置き換えることを考える。

図1(b)に積層構造メタサーフェスによる光渦コンポーネントを示す。図1(a)と同様に平面波が $m=-1$ を有する光渦に変換するよう、積層構造メタサーフェスを離散的に配置している。コンポーネントの半径は $2.5\ \text{mm}$ とした。コンポーネントには薄型のメタサーフェスを3層積層している。1層のメタサーフェスは誘電体基板の両面に対称にカット金属ワイヤーを配置した構造である[1]。メタサーフェスの厚さは $24\ \mu\text{m}$ 、メタサーフェス間の積層間隔は $1\ \text{mm}$ とした。

図2(a), (b)にそれぞれカット金属ワイヤーの長辺方向の長さ l と長辺方向の間隔 g を変化させた場合の3層の積層構造メタサーフェスの透過電力と透過位相遅れを示す。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。位相遅れは3層の積層構造メタサーフェスを配置した場合と取り除いた場合の透過位相差から求めている。設計周波数は $0.3\ \text{THz}$ とした。誘電体基板にはシクロオレフィンポリマーを、カット金属ワイヤーには銅を用いた。解析結果をもとに、光渦変換コンポーネントを設計した。平面波を $m=-1$ を有する光渦に変換するための理想の位相遅れの分布を計算し、その理想分布を3層の積層構造メタサーフェスで離散的に模擬して設計した。理想の透過位相遅れとの誤差が10%以下となるようにメタサーフェスを配置している。図2の赤の点は設計に用いたカット金属ワイヤーのパラメータである。

3. 解析結果

設計した理想的な材料と積層構造メタサーフェスによる光渦コンポーネントそれぞれにガウシアンビームを入射し、コンポーネント通過後から $1\lambda(\lambda=1\ \text{mm})$ 離れた場所の電界位相分布と電界強度分布を確認した。解析周波数は $0.3\ \text{THz}$ とした。図3(a), (b)に電界位相分布を、図3(c), (d)に電界強度分布の解析結果をそれぞれ示す。図3(a), (c)は理想的な材料による光渦コンポーネント、図3(b), (d)は3層構造メタサーフェスによるコンポーネントの解析結果である。電界強度分布はそれぞれの最大値を1として規格化した。理想的な材料による光渦コンポーネントでは、通過後の電界位相分布が z 軸を中心にして方位角方向に変化し、電界強度分布が光渦の特徴の1つであるドーナツ状となっている。積層構造メタサーフェスによるコンポーネントでも、通過後の電界位相分布が方位角方向に変化している。

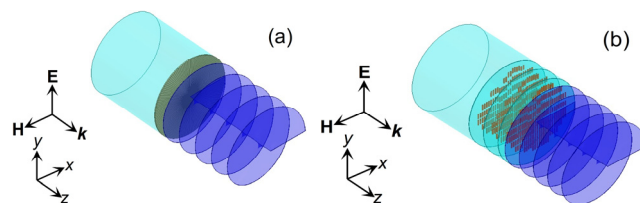


Fig.1 Terahertz vortex component based on (a) materials with ideal refractive indices and (b) laminated metasurfaces.

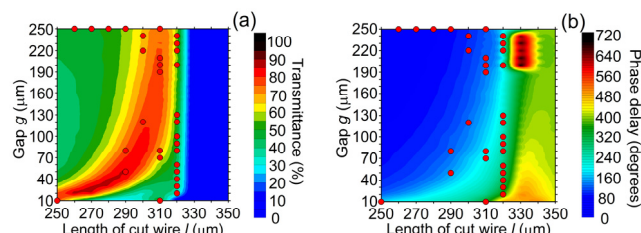


Fig.2 Simulated (a) transmittance and (b) phase delay of 3-layer metasurfaces.

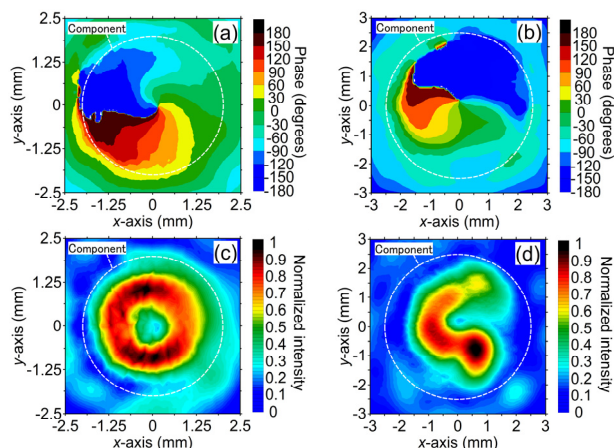


Fig.3 Simulated phase distribution maps at 1λ away from a component based on (a) ideal materials and (b) 3-layer metasurfaces. Simulated normalized intensity maps at 1λ away from a component based on (c) ideal materials and (d) 3-layer metasurfaces.

電界強度分布はドーナツ状になっていないが、分布の中心付近の電界強度は小さくなっている。設計時のパラメータが最適化できていないことが原因の1つと考えられる。今後、設計したコンポーネントにより発生した光渦の定量的な評価を行う。

4. まとめ

積層構造メタサーフェスにより光渦コンポーネントを設計し、全構造解析にてコンポーネント通過後の電界位相分布及び電界強度分布を評価した。今後は設計したコンポーネントを複製し、実験評価する。

参考文献

- [1] K. Ishihara and T. Suzuki, *J. Infrared Millim. Terahertz Waves* **38**(9), 1130-1139 (2017).
- [2] H. Nakao and T. Suzuki, *IRMMW-THz 2019, Paris* (2019).
- [3] L. Allen et al., *Phys. Rev. A* **45**(11), 8185-8189 (1992).
- [4] J. Wang et al., *Nat. Photonics* **6**(7), 488-496 (2012).
- [5] K. Miyamoto et al., *Appl. Phys. Lett.* **104**(26), 261104 (2014).

謝辞

本研究の一部は、公益財団法人東電記念財団、公益財団法人稲盛財団、文部科学省科研費基盤(C)(18K04970)、JST さきがけ(JPMJPR1815)の助成を受けたものである。