

3.0THz 帯両面構造ペアカットワイヤーアレーアンテナ

Double-Side Paired Cut Wire Array Antenna in the 3.0-THz Band

近藤 諭¹ 鈴木 健仁^{2*}

¹Satoshi Kondoh¹ Takehito Suzuki^{2*}

東京農工大学大学院 工学府 電気電子工学専攻¹

東京農工大学 工学研究院 先端電気電子部門²

Department of Electrical and Electronic Engineering,
Graduate School of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology¹

Division of Advanced Electrical and Electronics Engineering,

Institute of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology²

*E-mail: takehito@go.tuat.ac.jp, <http://web.tuat.ac.jp/~suzuki-lab/index.html>

1. まえがき

近年、テラヘルツ波を発生、検出、活用する技術が活発に研究されている。発生技術面では、室温での連続発振光源の充実の勢いが著しい[1]。しかし、テラヘルツ波を制御する光学コンポーネントは性能もサイズも成熟の域まで達していない。テラヘルツ波帯の発生、検出技術の成熟化を魅力的なアプリケーションへつなげるためには、放射波を指向性の高い平面波に変換可能な高性能な平面アンテナが必要である。

本原稿では 3.0 THz 帯で動作する高性能な平面アンテナの設計法を提案する。アンテナは、周辺部から中央部に向かって屈折率が高くなるように、屈折率を同心円状に配置させた構造で、焦点距離は 0.5 mm である。有限要素法電磁界シミュレータ ANSYS 社 HFSS Ver. 2017 で全構造解析し、指向性利得 20.1 dB を設計した。

2. 屈折率材料の設計

図 1(a)に両面構造ペアカットワイヤーアレーアンテナ[2-4]を示す。アンテナの設計に用いる屈折率材料[5]を設計する。カット金属ワイヤーの長さ l とカット金属ワイヤー間のギャップ g を変化させ、材料特性の等高線図を作成し、最適なパラメータを導出する。図 1(b)の周期境界壁を有するペアカット金属ワイヤーを用いて、材料特性を導出できる。表 1 にペアカット金属ワイヤーのパラメータを示す。設計周波数は 3.0 THz である。金属には導体損の少ない銅 $\sigma = 5.8 \times 10^7$ S/m を用い、誘電体基板にはシクロオレフィンポリマー $n_{\text{COP}} = 1.53 + j0.0012$ (0.5 THz での実測値)を用いた。設計には有限要素法電磁界シミュレータ ANSYS 社 HFSS Ver.14.0.1 を用いた。図 2(a), (b)に、それぞれ屈折率の実部と反射電力の等高線図を示す。設計した最大の屈折率は 12.4 で、反射電力は 9.33% であり、アンテナの中央部で用いる。

Table 1 Parameters of cut metal wires.

w	$6 \mu\text{m}$	p_x	$12 \mu\text{m}$	d	$2 \mu\text{m}$	t	$0.5 \mu\text{m}$
-----	-----------------	-------	------------------	-----	-----------------	-----	-------------------

3. 両面構造ペアカットワイヤーアレーアンテナの設計

周辺部から中央部に向けて屈折率が高くなるように配置している。分布屈折率レンズのようにレンズ面から焦点までの電磁波の光路長を電磁波の経路によらず一致するように設計する[2-4]。アンテナ中央の屈折率を n_1 、アンテナ中央から r 離れた位置の屈折率を $n_1(r)$ 、 f は焦点距離、 $d+2t$ はアンテナの厚さとした場合、焦点からアンテナまでの光路長が一定になることを考え、以下の式が成り立つ。

$$n_1(r) = n_1 - \frac{1}{d+2t} (\sqrt{r^2 + f^2} - f) \quad (1)$$

焦点距離は 0.5 mm とした。全てのカットワイヤーをおさめうるアンテナ中央部からの距離は 0.27 mm であり、アンテナの開口面積は 0.23 mm² である。 $a = 0.40$ mm, $b = 0.54$ mm である。

4. ペアカットワイヤーアレーアンテナの全構造解析

設計したペアカットワイヤーアレーアンテナの動作を確認するため、3.0 THz で全構造解析した。解析には有限要素法電磁界シミュレータ HFSS Ver. 2017 を用いた。波源には y 軸方向に電界成分を有する微小磁気ダイポールを用い、球面波を模擬した。図 3(a)に指向性利得を示す。角度 0 度で 20.1 dB を設計している。図 3(b)にアンテナを配置した場合と取り除いた場合の E 面の電界の位相を示す。アンテナを配置することで、球面波は平

面波に変換できている。

5. まとめ

ペアカット金属ワイヤーを用いたメタマテリアルにより 3.0 THz 帯平面アンテナの設計法を構築した。全構造解析により 3.0 THz で指向性利得 20.1 dB、開口効率 36%を確認した。両面構造ペアカットワイヤーアレーアンテナやアンテナを構成する高屈折率・無反射材料は、不足しているテラヘルツ波を制御する素子の充実に大きく貢献できる。

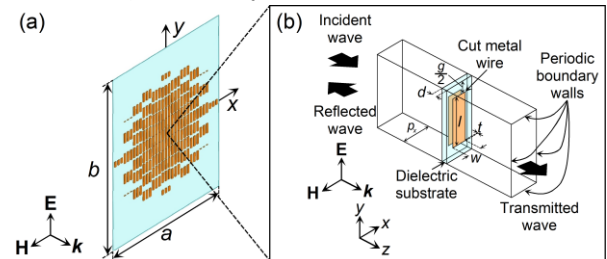


Fig. 1 (a) Double-side paired cut wire array antenna. (b) Unit-cell model of the paired cut metal wires.

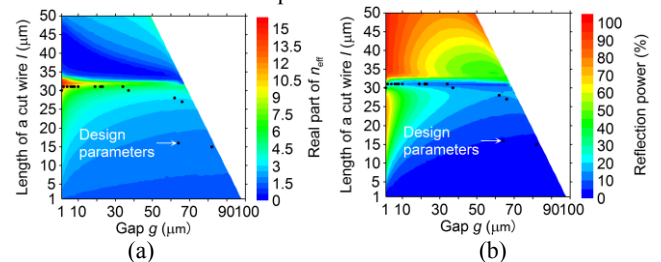


Fig. 2 Contour maps for (a) real parts of refractive indices n_{eff} , (b) and reflection power.

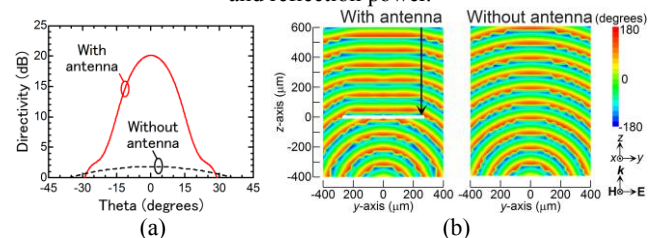


Fig. 3 (a) Directivity. (b) Two-dimensional distribution of phases in the E-plane with and without the antenna at 3.0 THz.

謝辞 本研究の一部は、文部科学省科研費若手研究 (A)(26706017)、テレコム先端技術研究支援センター、公益社団法人新化学技術推進協会、公益財団法人東電記念財団、東京農工大学学長裁量経費(次世代研究支援)の助成を受けたものである。また、電磁界シミュレータ ANSYS 社 HFSS に関して、アンシス・ジャパン株式会社小寺貴士様にご協力と数多くのご助言をいただきました。深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] K. Fujita et al., The 64th JSAP Spring Meeting, 14p-211-5 (2017) (in Japanese).
- [2] T. Suzuki et al., Rev. Laser Eng. **44**, 116 (2016) (in Japanese).
- [3] R. Ohuchi et al., IEICE Trans. Commun. **J100-B**, 235 (2017) (in Japanese).
- [4] 鈴木, 応用物理 **86**, 897 (2017).
- [5] K. Ishihara and T. Suzuki, J. Infrared Millim. Te. **38**, 1130 (2017).