

## 両面構造ペアカットワイヤーアレーランテナによる 0.3THz 帯共鳴トンネルダイオードの指向性の向上と制御 Double-side paired cut wire array antenna for directivity enhancement and control of the 0.3-THz band resonant-tunneling diode

○関谷 允志<sup>1</sup> 金 在瑛<sup>2</sup> 鈴木 健仁<sup>1,3,\*</sup>

○Masashi Sekiya<sup>1</sup> Jaeyoung Kim<sup>2</sup> Takehito Suzuki<sup>1,3,\*</sup>

東京農工大学 工学部 電気電子工学科<sup>1</sup>

ローム株式会社<sup>2</sup>

国立研究開発法人 科学技術振興機構 さきがけ<sup>3</sup>

Department of Electrical and Electronics Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology<sup>1</sup>

ROHM Co., Ltd<sup>2</sup>

Japan Science and Technology Agency, PRESTO<sup>3</sup>

### 1. まえがき

近年、テラヘルツ波技術の実用化を意図し、共鳴トンネルダイオード(RTD)[1]などの室温連続発振テラヘルツ波光源の研究開発が活発に進んでいる。ミリ波産業に続くテラヘルツ波産業の隆盛のためには、光源から放射後に伝搬するテラヘルツ波の高度な制御技術の蓄積が不可欠である。

本稿では、高屈折率低反射メタマテリアル[2]を活用した両面構造ペアカットワイヤーアレーランテナ[3]により 0.3 THz 帯 RTD の遠方界での出力を向上したので報告する。実験により RTD 単体の場合と比較して 4.2 倍の遠方界での出力向上を確認した。アンテナと RTD を一体で見た場合の指向性利得は 17.4 dB と見積もれる。イメージング[1]や通信[4]などの様々なテラヘルツ波技術の実用化に大きく貢献できる。

### 2. 両面構造ペアカットワイヤーアレーランテナ

図 1 に両面構造ペアカットワイヤーアレーランテナと RTD を示す。光源からアンテナ通過後までの電磁波の光路長が経路に寄らず等しくなるように、アンテナの屈折率を周辺部から中央部に向かって同心円状に高くする[3]。本稿のアンテナの屈折率分布は、理想的な球面波がアンテナに入射するとして導出している。アンテナ上の屈折率配置を RTD の位相特性に合わせて最適化もできる[5]。アンテナと RTD の距離  $a$  はアンテナの焦点距離の設計値 10 mm である。RTD は 0.312 THz の電磁波を発振し、 $y$  軸方向に電界の主偏波成分を有する。図 2 に作製したアンテナの写真と拡大画像を示す。アンテナ上のカットワイヤーは、厚さ  $0.5 \mu\text{m}$  の銅(導電率  $\sigma = 5.8 \times 10^7 \text{ S/m}$ )を用いた。誘電体基板は、0.5 THz で実測した屈折率  $n_{\text{COP}} = 1.53 + j0.0012$  を有する厚さ  $23 \mu\text{m}$  のシクロオレフィンポリマー薄膜を用いた。銅を両面に成膜したシクロオレフィンポリマー薄膜をエッティング加工して、アンテナを作製した。作製したアンテナの設計値との平均誤差は、設計値を基準として  $l = -3.1\%$ 、 $g = 6.9\%$ 、 $w = 14\%$ 、 $s = 11\%$  である。アンテナと RTD を一体で見た場合の指向性利得の周波数特性の設計値は、0.299 THz で最大値 16.7 dB となり、0.268~0.319 THz の帯域で 11 dB 以上である。

### 3. 実験結果

作製した両面構造ペアカットワイヤーアレーランテナを RTD により実験した。図 3(a)、(b) に 0.312 THz での実験による  $yz$  面と  $xz$  面の遠方界放射パターンをそれぞれ示す。RTD の出力の最大値で規格化している。アンテナを搭載することで、RTD 単体の場合と比較して出力が 4.2 倍向上している。 $yz$  面と  $xz$  面の半値幅はそれぞれ、アンテナを搭載した場合は 8 度と 7 度、RTD 単体の場合は 52 度と 32 度である。アンテナの実験結果と RTD 単体の指向性利得の解析値 11.2 dB を用いると、アンテナと RTD を一体で見た場合の指向性利得は 0.312 THz で 17.4 dB と見積もれる。

図 4 にアンテナを  $x$  軸方向にずらした場合の  $xz$  面の放射角の実験結果を示す。アンテナをずらしていない場合を  $x = 0 \text{ mm}$  とすると、 $x = -0.5 \text{ mm}$ 、 $1.0 \text{ mm}$ 、 $2.0 \text{ mm}$ 、 $3.0 \text{ mm}$ 、 $4.0 \text{ mm}$  の場合、出力が最大となる角度はそれぞれ  $\theta = -2$  度、6 度、10 度、16 度、22 度となり、RTD 単体の場合と比較した出力の向上はそれぞれ 3.8 倍、3.7 倍、3.6 倍、3.1 倍、2.0 倍である。ずれ量が増加するほどアンテナ通過後の放射角が傾き、アン

テナの位置制御により指向性の向きを容易に制御できる。

### 4. まとめ

両面構造ペアカットワイヤーアレーランテナを 0.312 THz を発振する RTD により実験した。遠方界での出力が RTD 単体の場合と比較して 4.2 倍向上することを実験で確認した。指向性利得はアンテナと RTD を一体で見た場合に 17.4 dB と見積もれる。アンテナの位置制御で指向性も制御可能なことを確認した。

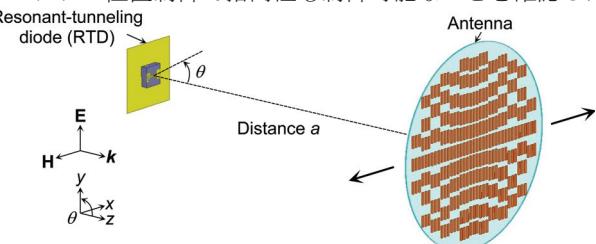


Fig. 1 Double-side paired cut wire array antenna and RTD.

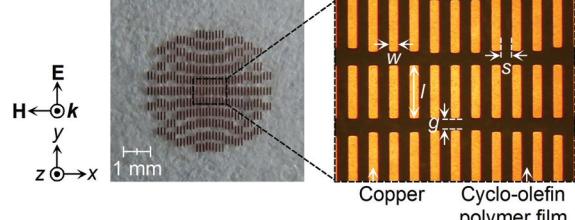


Fig. 2 Fabricated double-side paired cut wire array antenna.

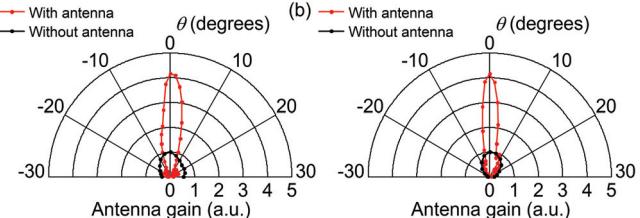


Fig. 3 Measured far-field pattern in the (a)  $yz$ - and (b)  $xz$ -planes.

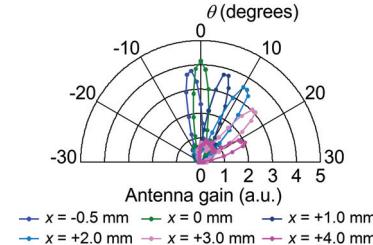


Fig. 4 Measurements of directivity control with antenna position.

**謝辞** 本研究の一部は、文部科学省科学研究費基盤(C)(18K04970)、JST さきがけ(JPMJPR18I5)、公益財団法人東電記念財団、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、公益財団法人精密測定技術振興財団、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。

### 参考文献

- [1] T. Miyamoto et al., Jpn. J. Appl. Phys. **55**, 032201 (2016).
- [2] K. Ishihara and T. Suzuki, J. Infrared Millim. Te. **38**, 1130 (2017).
- [3] 大内 他, 電子情報通信学会論文誌 B **J100-B**, 235 (2017).
- [4] T. Nagatsuma et al., Nat. Photonics **10**, 371 (2016).
- [5] 遠藤 他, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会, 東京工業大学 (2019).