

両面構造ペアカットワイヤーアレーアンテナと 0.3THz 帯共鳴トンネルダイオードの短距離融合による指向性実験 Directivity measurements of double-sided paired cut wire array antenna with the 0.3-THz band resonant-tunneling diode

○遠藤 孝太¹ 金 在瑛² 鈴木 健仁^{1,3,*}

○Kota Endo¹ Jaeyoung Kim² Takehito Suzuki^{1,3,*}

東京農工大学大学院 工学府 電気電子工学専攻¹ ローム株式会社² 国立研究開発法人 科学技術振興機構 さきがけ³

Department of Electrical and Electronic Engineering, Graduate School of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology¹
ROHM Co., Ltd².

Japan Science and Technology Agency, PRESTO³

1. まえがき

テラヘルツ波を利用した高速無線通信[1]やイメージング技術[2]は産業利用が強く期待されている。これらの技術を産業化する際、連続発振(CW)テラヘルツ光源から放射されるテラヘルツ波の制御が不可欠であり、高機能な制御素子の開発が求められる。そこで、高屈折率低反射材料(メタサーフェス)[3]を応用した超薄型の波面整形素子である両面構造ペアカットワイヤーアレーアンテナ[4-6]が提案された。このアンテナは各種の CW テラヘルツ光源への実装が可能であり、[5]では厚さ 23 μm のシクロオレフィンポリマー(COP)基板を用いてアンテナを作製し、0.3 THz 帯共鳴トンネルダイオード(RTD)から 10 mm の位置にアンテナを配置することで RTD の出力向上を確認している。

本稿では、両面構造ペアカットワイヤーアレーアンテナの光源への積層に向け、光源まで短距離で設計した COP 基板によるアンテナ[4]と、さらに大量生産を意識して光源まで短距離で設計したポリイミド(PI)基板によるアンテナ[6]を作製し、指向性利得を実験で評価した。2種類ともにアンテナと RTD の距離は 3.0 mm である。0.312 THz を発振する RTD を用いた実験で、それぞれのアンテナにより 2.3 倍、1.8 倍の RTD の指向性利得の向上を確認した。

2. シクロオレフィンポリマー基板を用いたアンテナの実験

図 1(a)に RTD と COP 基板を用いた両面構造ペアカットワイヤーアレーアンテナ、(b)に作製したアンテナの写真を示す。アンテナは RTD から 3.0 mm の位置で、アンテナに入射する球面波が平面波に変換[4,5]されるように、COP 基板とその表裏に対称に配置したカット金属ワイヤーで構成した高屈折率低反射材料を離散的に分布している。COP 基板の厚さは 23 μm 、屈折率 $n = 1.53 + j0.0012$ である。カット金属ワイヤーは厚さ 0.5 μm の銅(導電率 $\sigma = 5.8 \times 10^7$ S/m)を用いた。銅を両面に成膜した COP 基板をエッチング加工してアンテナを作製した。図 1(c)、(d)に 0.312 THz を発振する RTD の yz 面、xz 面の遠方界放射パターンの実験結果を示す。それぞれの結果は RTD 単体の出力の最大値を 1 として規格化している。アンテナにより RTD の遠方界での最大出力は yz 面では 2.3 倍、xz 面では 2.1 倍向上している。有限要素法電磁界解析シミュレータ ANSYS 社 HFSS を用いた解析では、アンテナによって RTD の指向性利得は 4.2 倍向上すると見積もっている。実験値と解析値を比較すると、作製したアンテナの性能は設計の約 1/2 倍に低下しており、作製誤差、実験誤差などの原因の把握を進めている。

3. ポリイミド基板を用いたアンテナの実験

図 2(a)に RTD と PI 基板を用いた両面構造ペアカットワイヤーアレーアンテナ、(b)に作製したアンテナの写真を示す。アンテナは RTD から 3.0 mm の位置で、アンテナに入射する RTD の放射波が平面波に変換[6]されるように、PI 基板とその表裏に対称に配置したカット金属ワイヤーで構成した高屈折率低反射材料を離散的に分布している。RTD の放射波面の位相情報は、HFSS による解析で求めた。PI 基板は厚さ 12.5 μm 、屈折率 $n = 1.8 + j0.04$ [7]である。カット金属ワイヤーは厚さ 0.4 μm の銅(導電率 $\sigma = 5.8 \times 10^7$ S/m)を用いた。銅を両面に成膜した PI 基板をエッチング加工してアンテナを作製した。設計には PI 基板と銅膜間のニッケル系合金(導電率 $\sigma = 5.0 \times 10^4$ S/m)の接着層も考慮している。図 2(c)、(d)に 0.312 THz を発振する RTD の yz 面、xz 面の遠方界放射パターンの実験結果を示す。それぞれの結果は RTD 単体の出力の最大値を 1 として規格化している。アンテナを配置することにより RTD の遠方界での最大出力は yz 面では 1.8 倍、xz 面では 1.6 倍向上している。HFSS を用いた解析では、RTD の指向性利得はアンテナによって 1.7 倍向上すると見積もっている。

4. まとめ

COP 基板、PI 基板のそれぞれで 2 種類の両面構造ペアカットワイヤーアレーアンテナを作製した。さらに 0.312 THz を発振する

RTD を用いた実験により、それぞれのアンテナは RTD の遠方界での出力を 2.3 倍、1.8 倍向上することを確認した。今後は、作製した 2 種類のアンテナのカット金属ワイヤーのパラメータを測定し、作製誤差による影響を把握する。アンテナと光源のさらなる短距離化とともに、RTD への積層化を目指す。

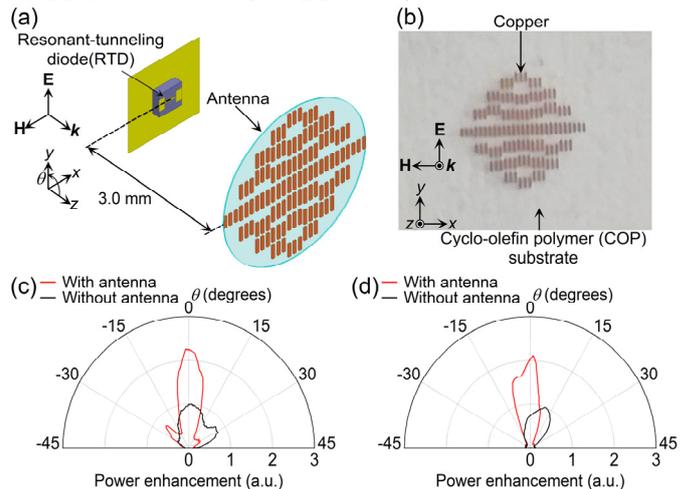


Fig. 1 (a) Double-sided paired cut wire array antenna on a cyclo-olefin polymer (COP) substrate, (b) photograph of the antenna and measurements of the far field patterns in the (c) yz- and (d) xz-planes.

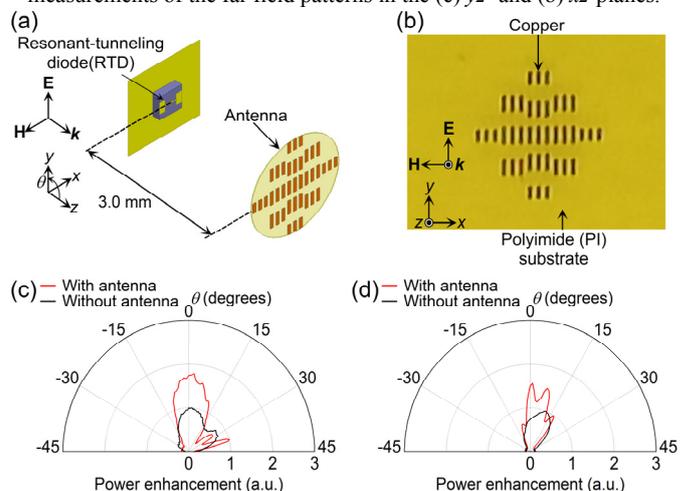


Fig. 2 (a) Double-sided paired cut wire array antenna on a polyimide (PI) substrate, (b) photograph of antenna and measurements of the far field patterns in the (c) yz- and (d) xz-planes.

謝辞 実験素子の設計、作製に多大なご協力をいただきました関谷允志氏に深く感謝を申し上げます。本研究の一部は、文部科学省科研費基盤(C)(18K04970)、JST さきがけ(JPMJPR1815)、公益財団法人稲盛財団の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] M. A. Akkas, *Wireless Netw.* **25**(1), 145-155 (2019).
- [2] S. A. N. Saqueeb and K. Sertel, *IEEE Trans. Terahertz Sci. Technol.*, **8**(6), 757-764 (2018).
- [3] K. Ishihara and T. Suzuki, *J. Infrared Millim. Te.* **38**(9), 1130-1139 (2017).
- [4] 関谷 允志, 鈴木 健仁, 第 65 回応用物理学会春季学術講演会, 20a-A402-9, 早稲田大学 西早稲田キャンパス(2018).
- [5] 関谷 他, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会, 11p-S421-12, 東京工業大学 大岡山キャンパス(2019).
- [6] 遠藤 他, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会, 10p-PB2-11, 東京工業大学 大岡山キャンパス(2019).
- [7] H. Tao et al., *J. Phys. D: Appl. Phys.* **41**(23), 232004 (2008).