

# ブリュースター現象を用いたカットスルー金属スリット型テラヘルツ波帯偏光子の高感度設計 Highly Sensitive Terahertz Polarizer Consisting of Cut-Through Metal Slits at Brewster's Angle Condition

○永田 光<sup>1</sup> 富樫 隆久<sup>2</sup> 永井 正也<sup>3</sup> 鈴木 健仁<sup>1,2\*</sup>

○Hikaru Nagata<sup>1</sup> Takahisa Togashi<sup>2</sup> Masaya Nagai<sup>3</sup> Takehito Suzuki<sup>1,2\*</sup>

茨城大学 工学部 電気電子工学科<sup>1</sup> 茨城大学大学院 理工学研究科 電気電子工学専攻<sup>2</sup> 大阪大学 基礎工学研究科<sup>3</sup>

Department of Electrical and Electronic Engineering, Ibaraki University<sup>1</sup>

Major in Electrical and Electronic Engineering, Ibaraki University<sup>2</sup> Graduate School of Engineering Science, Osaka University<sup>3</sup>

\*E-mail: [takehito@mx.ibaraki.ac.jp](mailto:takehito@mx.ibaraki.ac.jp), <http://suzuki-lab.ee.ibaraki.ac.jp/>

## 1. まえがき

近年、テラヘルツ波を活用した計測によりサイエンスの新しい扉が開かれる中[1, 2]、高感度かつ所望の特性を実現可能なテラヘルツ計測ツールの実現が鍵となっている。著者らはカットスルー金属スリット[3]を用いることで、高消光比、高透過電力、高堅牢性を両立した偏光子 GoIS<sup>®</sup>を実現し、既に-50 dB 以下の高消光比、80%程度の高透過電力を比較的広帯域で実現した[4, 5]。しかしながら偏光子と自由空間とのインピーダンス不整合により、透過電力にリップルが生じてしまう問題が残されていた。本稿ではさらなる高感度化のため、ブリュースター角での特性について検討した。導体損が生じない完全導体を用いた条件下ではあるが、おおむね-50 dB 以下の高消光比を保つパラメータを用い、比較的広帯域で100%に近い透過電力を保つ設計を行った。

## 2. ブリュースター現象を用いた高感度偏光子

図1にカットスルー金属スリット型テラヘルツ波帯偏光子を示す。カットスルー金属スリット型では、導波管のカットオフ周波数を用い、伝搬方向のスリット長を長くすることで高消光比を容易に実現できる。スリットのパラメータを制御することで高透過電力も実現できる。偏光子と自由空間とのインピーダンス不整合による透過電力の周期的なリップルは、ブリュースター現象により抑圧できる。カットスルー金属スリットのブリュースター角 $\theta_B$ は $\theta_B = \cos^{-1}(d/p)$ で与えられる[6]。ここで $d$ は金属スリット幅、 $p$ は周期である。

## 3. ブリュースター現象を用いた高感度偏光子の設計

図1の全構造は波長に対して十分に大きく、 $x$ 軸方向は無限一様構造、 $y$ 軸方向は周期構造である。 $y$ 軸方向に周期境界壁を仮想し、金属スリット1本分を抜き出した解析モデルで設計できる。表1に設計パラメータを示す。 $z$ 軸と水平な入射の場合、0.3 THz から 2.3 THz でおおむね-50 dB 以下の消光比となり、カットオフ周波数が3.0 THz となる設計パラメータである[5]。表1のパラメータでのブリュースター角は $\theta_B = 44.4$ 度である。

図2にTMモードの透過電力の等高線図の解析結果を示す。解析には有限要素法電磁界シミュレータ ANSYS 社 HFSS 13.0.2 を用いた。金属は完全導体を用いた。図2よりブリュースター角 $\theta_B = 44.4$ 度付近でインピーダンス整合が取れ、高い透過電力が得られていることが確認できる。図3に入射角 $\theta = 0, 44.4$ 度におけるTMモードの透過電力の周波数特性を示す。角度 $\theta = 0$ 度では、0.3 THz ~ 2.3 THz の全域でリップルが確認できる。ブリュースター角 $\theta_B = 44.4$ 度では0.3 THz から 1.1 THz で透過電力が約100%を保つ。1.1 THz から 2.0 THz ではリップルが生じるが、 $\theta = 0$ 度の場合よりもリップル幅が抑えられている。2.0 THz 以降では $\theta = 0$ 度の場合よりもリップル幅が大きくなる。

## 4. まとめ

ブリュースター現象を用いたカットスルー金属スリット型テラヘルツ波帯偏光子の高感度設計を行った。完全導体での解析により、ブリュースター角で0.3 THz から 1.1 THz で透過電力が約100%を保つ。今後、導体損を考慮した設計とともに、素子を作製し、実験により動作確認する。

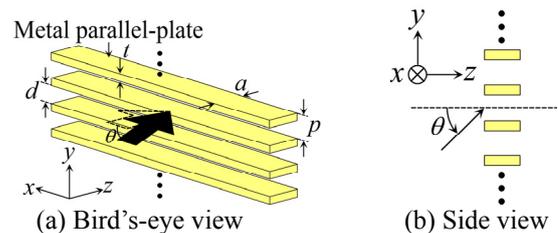


Fig. 1 Terahertz polarizer consisting of cut-through metal slits.

Table 1 Design parameters of a terahertz polarizer.

$a$	2.0 mm	$d$	50 $\mu$ m	$p$	70 $\mu$ m	$t$	20 $\mu$ m
-----	--------	-----	------------	-----	------------	-----	------------

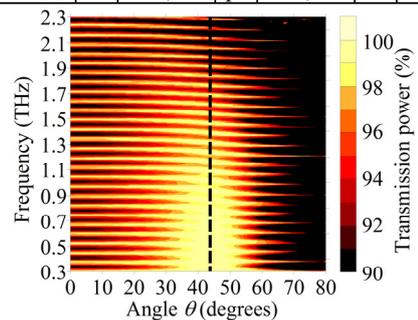


Fig. 2 Transmission power distribution of a TM mode.

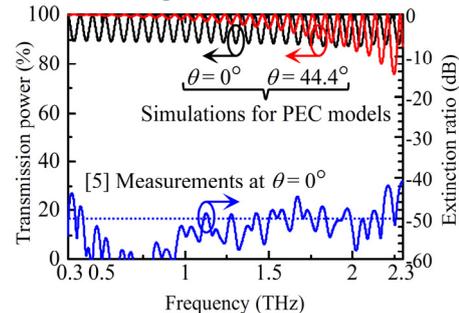


Fig. 3 Frequency characteristics of transmission power.

謝辞 本研究の一部は、文部科学省科研費挑戦的萌芽研究(26600108)、JST 重要知財集約活用制度スーパーハイウェイ(SHW005)、文部科学省科研費若手研究(A)(26706017)の助成を受けたものである。貴重なアドバイスを頂いた萩行正憲教授(大阪大学)、高野恵介助教(大阪大学)に深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] R. Shimano et al., Nature Commun. **4**, 1 (2013).
- [2] R. Matsunaga et al., Science **345**, 1145 (2014).
- [3] T. Fujii and N. Matsumoto, The 70th JSAP Autumn Meeting, 2009, 8p-M-17 (2009).
- [4] Y. Kishi et al., Appl. Phys. Express **8** 032201 (2015).
- [5] Y. Kishi et al., Optical Terahertz Science & Technology Conference 2015, 8-13 (2015).
- [6] A. Alù et al., Phys. Rev. Lett. **106**, 123902 (2011).