高感度なカットスルー金属スリットアレー型テラヘルツ波帯偏光子の広帯域化

Broadband Design of an Extreme-sensitivity Terahertz Polarizer Consisting of a Cut-Through Metal-Slit Array

○古謝 望¹ 富樫 隆久1

永井 正也² 鈴木 健仁1* Takehito Suzuki1* Takahisa Togashi¹ Masaya Nagai²

^ONozomu Koja¹ 茨城大学大学院 理工学研究科 電気電子工学専攻! 大阪大学 基礎工学研究科 2

Major in Electrical and Electronic Engineering, Ibaraki University¹

Graduate School of Engineering Science, Osaka University² *E-mail: takehito.suzuki.antenna@vc.ibaraki.ac.jp, http://suzuki-lab.ee.ibaraki.ac.jp/

1. まえがき

近年、テラヘルツ波帯での新たな物理現象が観測される中 [1,2]、極めて高感度な偏光計測を可能とする高感度かつ広帯 域かつ堅牢な偏光子が求められている。著者らは、0.3~2.2 THzの帯域で約-50 dB以下の高消光比、平均で 80%程度の高 透過電力を実現した高堅牢なカットスルー金属スリットアレ ー型テラヘルツ波帯偏光子 GoIS®[3, 4]を実現している。また ブリュースター現象[5]を活用し、透過電力のリップルを抑圧 した偏光子[6]も報告している。カットスルー金属スリットア レー型テラヘルツ波帯偏光子は[7]で初めて提案された。本稿 では、金属スリット間隔を狭くすることでカットオフ周波数 を向上させ、広帯域化をはかり、さらにブリュースター現象 を活用した高感度なテラヘルツ波帯偏光子を設計した。

2. スリットアレー型テラヘルツ波帯偏光子の構造

図 1 にカットスルー金属スリットアレー型テラヘルツ波帯 偏光子を示す。金属スリット間に支持基板として誘電体を挿入 している。カットスルー金属スリット構造では、平行平板導波 路の TE モードのカットオフ状態を活用し、 伝搬方向の金属ス 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。伝搬 方向の金属スリット長を長くすることで高消光比は得られる が、導体損と誘電体損による透過電力の減衰が大きくなるため、 導体損、誘電体損の小さい材料を選択する必要がある。金属ス リット間隔を狭くすることでカットオフ周波数が向上し、広帯 域な偏光子を実現できる。 偏光子と自由空間の境界でのインピ ーダンス不整合により生じる透過電力の周期的なリップルは、 伝搬方向の金属スリット長が長くなるにつれて周期が短くな り、金属スリット間隔が狭くなるにつれて振幅が大きくなる。 このリップルはブリュースター現象を活用し、偏光子を傾ける ことで抑圧できる。

3. スリットアレー型テラヘルツ波帯偏光子の広帯域設計

偏光子は波長に対して十分大きく、x 軸方向は無限一様構造、 y軸方向は周期構造とみなせる。x軸、y軸方向に周期境界壁を 仮想し、1周期分を抜き出したモデルにより設計した。表1に 設計パラメータを示す。金属には銅を用い、導電率 σ として 5.8×107S/mを用いた。誘電体にはシクロオレフィンポリマー を用い、屈折率 n として 1.0 THz での値 n = 1.53 + j0.0011 を用 いた。設計パラメータでのカットオフ周波数は $f_c = c/(2d\text{Re}(n))$ より4.26 THz である。ここで c は光速である。解析には ANSYS 社有限要素法電磁界シミュレータ HFSS ver.13.0.2 を用いた。 図2に傾きがθ=0(黒線)、51°(赤線)の場合のTMモードの透過 電力を示す。θ=0°では偏光子と自由空間の境界でのインピー ダンス不整合により、周期0.95 THzのリップルが生じている。 透過電力は 0.1、1、2、3、4.25 THz でそれぞれ 93.7、77.2、66.6、 63.0、61.2%で、0.1 THzから4.25 THzの平均透過電力は71.0% である。 θ=51°ではブリュースター現象により、0.1 THz から 2.71 THz で透過電力のリップル幅は1%以下に抑えられ、平均 透過電力は81.5%である。透過電力の減衰は誘電体損と導体損 によるものであり、完全導体の場合には図2の青線の通りリッ プルは残るものの約100%の透過電力となる。消光比は、金属 スリット内の TE モードの伝搬定数をもとに、0.1 THz から 4.25 THz で-60 dB 以下となるように設計している。図3 にθを変化 させた場合のTMモードの透過電力の等高線図を示す。ブリュ ースター角θ=51°に近づくにつれ、リップルが抑えられている ことが分かる。θ=51°より大きくなるとリップルの影響が再び 大きくなり、θ= 72°以降では 0.1 THz から 4.25 THz の全域で

4. まとめ

金属スリット間隔を狭くし、カットオフ周波数を向上するこ とで、広帯域なカットスルー金属スリットアレー型テラヘルツ 波帯偏光子を設計した。金属スリット間隔 d を 23 µm とし、0.1 THzから4.25 THzで消光比が-60 dB以下、平均透過電力で71.0% となるように設計した。傾きが θ = 51°ではブリュースター現象 によりリップルを1%以下に抑えることができる。今後、素子を 作製し、実験により本偏光子の高感度かつ広帯域な動作を確認 する。

 $\theta = 0^{\circ}$ の場合よりもリップルが大きくなる。



Fig. 1 (a) Extreme-sensitivity terahertz polarizer consisting of a cutthrough metal-slit array. (b) Side view of the terahertz polarizer.





Fig. 3 Transmission power distribution of the TM-mode.

謝辞 本研究の一部は、JST 重要知財集約活用制度スーパーハイウェイ (SHW005)の委託、文部科学省科研費挑戦的萌芽研究(26600108)、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。

- 参考文献
- R. Matsunaga et al., Science 345, 1145 (2014). [1]
- R. Shimano et al., Nat. Commun. 4, 1 (2013). [2]
- [3] T. Suzuki et al., Opt. Lett. 41, 325 (2016).
- Y. Kishi et al., Appl. Phys. Express 8, 032201 (2015). [4]
- A. Alù et al., Phys. Rev. Lett. 106, 123902 (2011). [5]
- T. Togashi, et al., The 76th JSAP Autumn Meeting, 2015, 14a-2S-6 (2015). [6]
- [7] T. Fujii and N. Matsumoto, The 70th JSAP Autumn Meeting, 2009, 8p-M-17 (2009).