

3次元金属マイクロコイルを装加した金属スリットアレーによるテラヘルツ波帯負の屈折率設計

Design of Negative Refractive Index in Terahertz Frequency for Metal Slit Array with Three-dimensional Metal Microcoils

○石原 功基¹ 岸 湧大² 高野 恵介³ 萩行 正憲³ 鈴木 健仁^{1,2}○Koki Ishihara¹ Yudai Kishi² Keisuke Takano³ Masanori Hangyo³ Takehito Suzuki^{1,2}茨城大学 工学部 電気電子工学科¹ 茨城大学大学院 理工学研究科 電気電子工学専攻²大阪大学 レーザーエネルギー学研究センター³Department of Electrical and Electronic Engineering, Ibaraki University¹ Major in Electrical and Electronic Engineering, Ibaraki University²
Institute of Laser Engineering, Osaka University³E-mail: takehito@mx.ibaraki.ac.jp, <http://suzuki-lab.ee.ibaraki.ac.jp/>

1. まえがき

テラヘルツイメージングは、X線に代わる安全、安心かつ高精度な可視化技術の1つとして大きな魅力を有する。回折限界を突破した近接場によるテラヘルツナノイメージング[1]も報告されている。最近では1.4 THzで分解能400 nm ($\lambda/540$)も報告されている[2]。また、共鳴トンネルダイオードを用いた0.3 THzでのイメージングも報告されている[3]。

メタ材料は負の屈折率 $n=-1$ に設計することができ、エバネッセント成分となる近接場光を離れた場所で復元し、回折限界を超えた平板完全レンズを実現できる可能性がある。負の領域の屈折率を実現する構造として、初めて分割リング共振器と金属細線を用いた構造がマイクロ波帯で報告された[4, 5]。またマイクロ波帯で、導波管に分割リング共振器を装加した構造[6]や金属平行平板に円盤状の誘電体共振器を装加した構造[7]により負の屈折率を実現し、カットオフ周波数でTEモードが伝搬することも報告されている。

著者らは、分割リング共振器を装加した2次元金属スリットアレーによる負の屈折率の制御を進めている[8]。本稿では試作実現性の検討のため3次元金属マイクロコイルを装加した金属スリットアレーによる負の屈折率設計を行ったので報告する。

2. 周期構造解析による負の屈折率の設計

負の誘電率はカットオフ状態の金属スリットアレーにより、負の透磁率はマイクロコイルの共振により設計できる。全体構造は波長に対して十分に大きく、 x 軸方向、 y 軸方向で無限周期構造である。図1のように外部に周期境界壁を仮想し、1個分抜き出した解析モデルで設計できる。表1に解析パラメータを示す。図2に解析結果を示す。解析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。カットオフ状態の0.27~0.28 THzでTEモードが伝搬し、負の屈折率が設計できている。0.272 THzで透過電力96%、反射電力は4.0%である。

3. 全構造解析による負の屈折率の確認

負の屈折率を確認するため、周期構造解析で求めたパラメータのプリズム形状を全構造解析した。解析結果を図3に示す。領域1と領域3には屈折率 $n=+4.5$ を配置しており、入射角は約39度である。0.3 THzで約25度の負の屈折角を有する。屈折角と屈折率の関係より負の屈折率 $n=-3.0$ となっている。

4. まとめ

3次元金属マイクロコイルを装加した金属スリットアレーで負の屈折率設計を行った。プリズム形状の全構造解析を行い、負の屈折率 $n=-3$ の動作確認を行った。今後、負の屈折率 $n=-1$ を設計するとともに、本構造の作製、及び実験での負の屈折率動作の確認を進める。

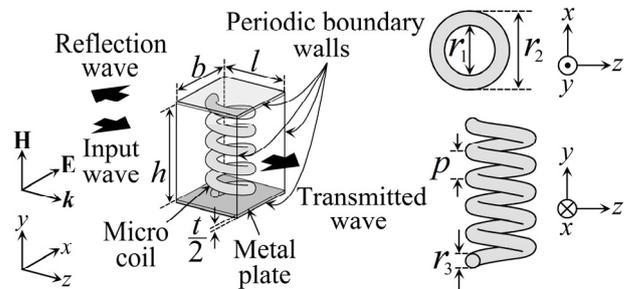


Fig. 1 Designed model with periodic boundary walls.

Table 1 Parameters of analysis model.

r_1	28 μm	r_2	46.8 μm	r_3	9.4 μm	p	18.7 μm
t	0.25 μm	b	69.1 μm	l	56 μm	h	148.8 μm

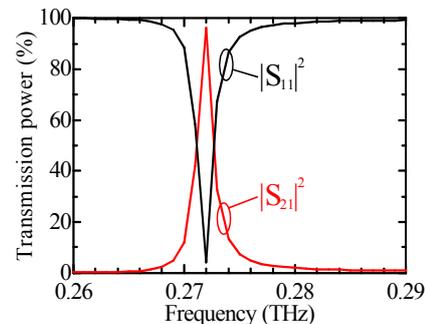


Fig. 2 Transmission and reflection power.

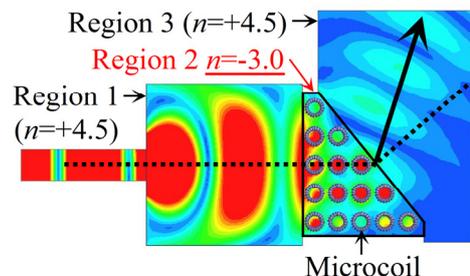


Fig. 3 Full model analysis at 0.3 THz.

謝辞

本研究の一部は、文部科学省科研費若手研究(A)(26706017)、総務省SCOPE(122103011)、文部科学省科研費挑戦的萌芽研究(26600108)の助成、及び委託を受けたものである。

参考文献

- [1] Y. Kawano and K. Ishibashi, Nature Photon. **2**, 618 (2008).
- [2] 河野 行雄, 電子情報通信学会 テラヘルツ応用システム研究会, 講演 8 (2013).
- [3] T. Miyamoto et al., The 60th Spring Meeting, 2013; The Japan Society of Applied Physics and Related Societies, 29a-D1-2 (2013).
- [4] D. R. Smith et al., Phys. Rev. Lett. **84**, 4184 (2000).
- [5] D. R. Smith et al., Science **292**, 77 (2001).
- [6] R. Marques et al., Phys. Rev. Lett. **90**, 183901 (2002).
- [7] T. Ueda et al., IEEE Trans. Microw. Theory Tech. **55**, 1280 (2007).
- [8] Y. Kishi et al., The 73th Autumn Meeting, 2012; The Japan Society of Applied Physics and Related Societies, 11p-B1-1 (2012).