

テラヘルツ波高機能制御のための電磁メタマテリアルによる人工誘電体レンズを実装した高感度放射検出素子の研究開発 (122103011)

研究代表者

鈴木 健仁 国立大学法人 茨城大学 工学部 電気電子工学科

Takehito Suzuki

Dept. of Electrical and Electronic Engineering College of Engineering, Ibaraki University

研究分担者

高野 恵介

Keisuke Takano

国立大学法人 大阪大学レーザーエネルギー研究センター

Institute of Laser Engineering, Osaka University

研究期間 平成 24 年度～平成 26 年度

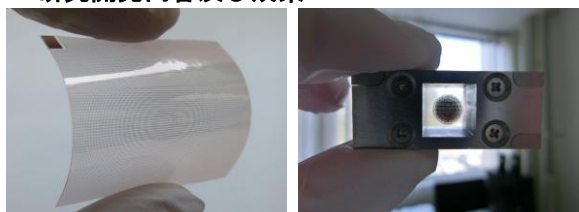
概要

テラヘルツメタマテリアルの解析、設計、試作、実験を進めた。代表的な研究開発の実績として、(a)実験による高屈折率無反射機能を有するフレキシブルフィルムの実現($n=6.7+j0.12$ 反射電力 1.2% 透過電力 92%)、(b)方形チップ周期構造による凸レンズ、(c)パスレングスレンズ、(d)金属凹レンズ、(e)金属ホールアレーレンズアンテナでのテラヘルツ波指向性の確認、(f)分割リング共振器と(g)3次元マイクロコイルを装加した負の屈折率導波路の設計、(h)低損失な負の屈折率(0.42 THz で $n=-4.6+j0.26$)を有するフレキシブルフィルムの実現、(i)フィルム構造と(j)中空構造のテラヘルツ波帯超高感度偏光子の着想などを達成した。

1. まえがき

現在、東京オリンピックが開催される 2020 年をテラヘルツ通信元年とすべく活発な研究開発が推進されている。0.3 THz 帯でのテラヘルツ波高速無線通信[1]や共鳴トンネルダイオードを用いたテラヘルツ波イメージング[2]などの具体的なアプリケーションも報告されている。送受信デバイスとのコンパクトな一体化や損失の回避を意識すると、ビーム制御をつかさどる光学素子の小型化が重要である。メタマテリアルは自然界のテラヘルツ波帯材料には存在しない高屈折率無反射材料や負の屈折率材料などを実現でき、極めて薄型で低損失なオンデマンド光学素子[3]へ応用できる。本 SCOPE では非常に高い正(+6.7)から大きな負(-4.6)に及ぶ幅広い屈折率を有するテラヘルツメタマテリアルの解析、設計、試作、実験を進めた。

2. 研究開発内容及び成果



$n=6.7+j0.12$ (0.31 THz)
反射電力 1.2%
透過電力 92%

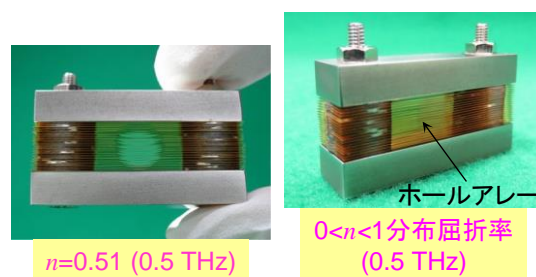
$n \approx 3.3$ (0.48 THz)

(a) 対称カットワイヤー構造 (b) 方形チップ構造

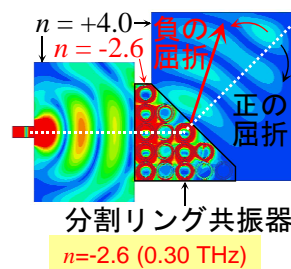


$n=1.32$ (0.52 THz)

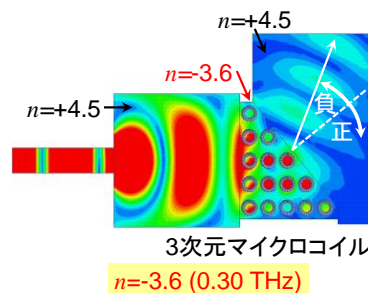
(c) 金属斜め板構造



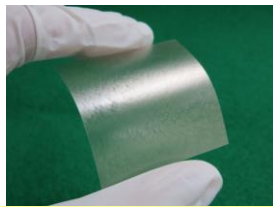
(d) 金属凹レンズ構造 (e) 金属ホールアレー構造



(f) 分割リング共振器装加金属スリットアレー

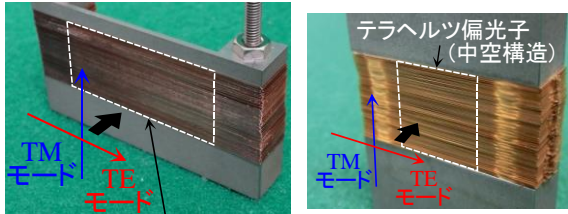


(g) 3次元マイクロコイル装加金属スリットアレー



$n=-4.6+j0.26$ (0.42 THz)

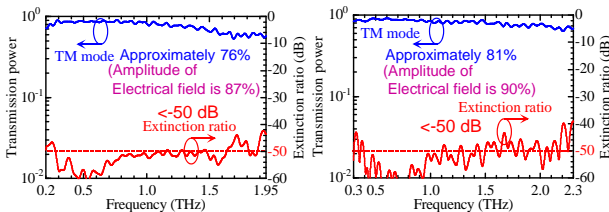
(h) 非対称カットワイヤー構造



テラヘルツ偏光子
(フィルム構造)

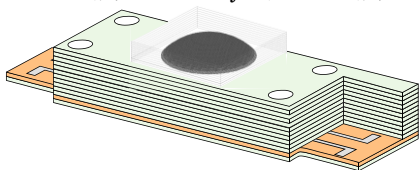
$\epsilon_r < 0$ (~2.9 THz)

$\epsilon_r < 0$ (~1.9 THz)



(i) フィルム構造偏光子

(j) 中空構造偏光子



(k) テラヘルツメタマテリアルを実装した放射検出素子
(完成までには至らなかった)

図1 テラヘルツメタマテリアルによる光学素子

図1に3年間の研究開発の成果及び結果をまとめている。

(a)では実験による高屈折率無反射機能を有するフレキシブルフィルムを実現した。0.31 THzで $n=6.7+j0.12$ を実現しながら反射電力1.2%を実現している。透過電力は92%であり、誘電損と導体損の影響により損失が起きている。(b),(c),(d)では、それぞれ方形チップ周期構造による凸レンズ、パズリングスレンズ、金属凹レンズを実現し、テラヘルツイメージャでテラヘルツ波の集光を確認した。(e)では金属ホールアレーレンズアンテナによりテラヘルツカメラでテラヘルツ波指向性を確認した。(f)と(g)では、それぞれ分割リング共振器と3次元マイクロコイルを装加した負の屈折率導波路を設計した。(h)では0.42 THzで $n=-4.6+j0.26$ を有する低損失な負の屈折率フレキシブルフィルムを実現した。(i)と(j)では当初の計画にはない-50 dB以下の高消光比と80%以上の高透過電力と堅牢性を全て両立する、フィルム構造と中空構造によるテラヘルツ波帯超高感度偏光子を着想した。(k)ではテラヘルツ波放射検出用光伝導アンテナの単体素子簡易設計法は構築した。しかしながら(a)から(h)のテラヘルツメタマテリアルを(k)のように実装した高感度テラヘルツ波放射検出素子を実現する当初の研究開発計画を全ては達成できず、深く反省している。現在、引き続き実装化の研究を進めている。

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

図1(i)(j)に示したテラヘルツ波帯超高感度偏光子の特許

第5626740号をJSTへ譲渡し、非破壊・非接触テラヘルツイメージングシステム応用のための権利強化と技術移転の研究を開始した。現在、ライセンス企業と協力し、サンプル提供*と商品化を開始している。

(*http://suzuki-lab.ee.ibaraki.ac.jp/material_distribution.html)

4. むすび

本SCOPEでは非常に高い正(+6.7)から大きな負(-4.6)に及ぶ幅広い屈折率を有するテラヘルツメタマテリアルの研究開発を進めた。現在、引き続きテラヘルツメタマテリアルを実装した高感度放射検出素子の研究を進めている。

参考文献

- [1] Tadao Nagatsuma et al., Opt. Express, vol.21, no.20, pp.23736-23747, Sept. 2013.
- [2] Atsushi Yamaguchi and Toshikazu Mukai, The 61st JSAP Spring Meeting, 2014, 18a-E17-2, Tokyo, Japan, March 2014.
- [3] Nikolay I. Zheludev and Yuri S. Kivshar, Nature materials, vol.11, pp.917-924, Nov. 2012.

【誌上发表リスト】

- [1] 竹林 佑記, 富樫 隆久, 鈴木 健仁, “金属非対称ペアカットワイヤーによるテラヘルツ波帯での負の屈折率構造の高周波数化の検討,” 電気学会論文誌 E, vol.135, no.11, 2015. (accepted)
- [2] Yudai Kishi, Masaya Nagai, John C. Young, Keisuke Takano, Masanori Hangyo, and Takehito Suzuki, “Terahertz laminated-structure polarizer with high extinction ratio and transmission power,” Applied Physics Express, vol. 8, no. 3, pp. 032201-1-4, Feb. 2015.
- [3] Takahisa Togashi, Hideaki Kitahara, Keisuke Takano, Masanori Hangyo, Mamoru Mita, John C. Young, and Takehito Suzuki, “Terahertz Path-Length Lens Composed of Oblique Metal Slit Array,” Applied Physics A, vol. 118, no. 2, pp. 397-402, Feb. 2015.

【申請特許リスト】

- [1] 鈴木 健仁, シート型メタマテリアル, 特願 2015-16116, 2015/1/29.
- [2] 鈴木 健仁, シート型メタマテリアル, 特願 2015-16116, 2015/1/29.
- [3] 鈴木 健仁, ワイヤグリッド装置, 特願 2014-170354, 2014/8/25.
- [4] 鈴木 健仁, ワイヤグリッド装置, PCT 出願 (PCT/JP2014/071866), 2014/8/21.

【登録特許リスト】

- [1] 鈴木 健仁, ワイヤグリッド装置, 特許第5626740号, 2014/10/10.

【受賞リスト】

- [1] 石原 功基(SCOPE参加学生), 平成26年度茨城大学成績優秀学生表彰, 2014/11/26.
- [2] 鈴木 健仁, 財団法人 宇部興産学術振興財団 第53回学術奨励賞, 2013/6/4.
- [3] 岸 湧大(SCOPE参加学生), 電気学会東京支部学術奨励賞, 2013/3/31.

【報道掲載リスト】

- [1] 日刊工業新聞, 茨城大、テラヘルツ帯で負の屈折率持つメタマテリアル開発一性能指数17.5, 2015/2/5.
- [2] 日刊工業新聞, 茨城大、光の特定信号を選択的に取り出す偏光子開発ーテラヘルツ波帯で世界最高感度, 2014/9/18.
- [3] 日刊工業新聞, 茨城大、テラヘルツ帯で感度100倍の偏光子を開発, 2013/9/6.

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://suzuki-lab.ee.ibaraki.ac.jp/index.html>