金属カットワイヤーによる 0.3 THz 帯高屈折率低反射フレキシブルフィルム Flexible Film with Metal Cut Wires for a High Refractive Index and Low Reflection in 0.3 THz Band ^O石原 功基¹ 鈴木 健仁^{1*} ^OKoki Ishihara¹ Takehito Suzuki^{1*} 茨城大学大学院 理工学研究科 電気電子工学専攻¹ Major in Electrical and Electronic Engineering, Ibaraki University¹ ^{*}E-mail: takehito@mx.ibaraki.ac.jp, http://suzuki-lab.ee.ibaraki.ac.jp/

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が推進されている。 0.3 THz 帯でのテラヘルツ高速無線通信[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。

しかしテラヘルツ波の放射や集光をビーム制御する コリメートレンズなどは波長に対して非常に大規模と なる。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 存在しない負の屈折率[3]や高屈折率[4,5]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[6]へ応用 できる。本稿では金属カットワイヤーによる簡易な構 造で、0.3 THz帯で高屈折率低反射フレキシブルフィル ムを実現したので報告する[5]。

2. 金属カットワイヤー構造による高屈折率設計

図1に金属カットワイヤーの解析モデルを示す。比誘 電率と比透磁率を一致させることでインピーダンス整 合の取れた高屈折率低反射構造を実現できる。全体構造 は波長に対して非常に大規模で x 軸、y 軸方向で無限周 期構造と仮想できるため、外部に周期境界壁を有する1 周期分を抜き出している。図2に金属ワイヤーの長さ1 とギャップgを変化させた場合の透過電力と屈折率の等 高線図を示す。金属には銅を用い、その他のパラメータ は $w = 46 \mu m$ 、 $p_x = 208 \mu m$ 、 $d = 50 \mu m$ 、 $t = 0.5 \mu m$ で固定 している。解析には電磁界シミュレータ ANSYS 社 HFSS Ver.13.0.2 を用いた。シクロオレフィンポリマーの屈折 率は n_{COP} = 1.53 + j0.0012 を用いた。実効屈折率 n_{eff} は周 期構造解析から得た散乱行列から導出した[7]。図2の等 高線図より、Xマークのパラメータの通りg=85 µm、l= 313 µm で高屈折率 n_{eff} = 7.0 + j0.32 と高透過電力 82%(反 射電力 1.49%)を設計した。

3. 金属ペアカットワイヤー構造の作製と実験評価

図3に作製した金属ペアカットワイヤーを示す。低損 失でフレキシブルなシクロオレフィンポリマーフィル ムに銅を成膜し、エッチング加工することで作製した。 表皮厚を考慮し、銅の厚さは0.5 µm とした。図4 に解 析と実験による実効屈折率と FOM の周波数特性を示す。 実験にはテラヘルツ時間領域分光法を用いた。実験結果 は0.31 THz で $n_{\rm eff} = 6.6 + j0.11$ 、透過電力92%、0.29 THz で $n_{\rm eff} = 4.9 + j0.016$ 、透過電力69%である。実験結果と 解析結果は概ね一致しており、高屈折率低反射構造を有 するフレキシブルフィルムを実現できている。FOM は 0.31 THz で 60.1、0.29 THz で 314 である。

4. まとめ

金属カットワイヤーにより、0.31 THz で n_{eff} = 6.6 + j0.11、透過電力 92%を有する高屈折率低反射フレキシ ブルフィルムを実現した。今後、高周波化と分布屈折率



を有する薄フィルムレンズへの応用を進める。





Fig. 3 Laser microscope image of fabricated metal cut wires.



 Fig. 4 Measurements and simulations of the metal cut wires.

 謝辞
 本研究の一部は、文部科学省科研費若手研究

 (A)(26706017)、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)の助成を受けたものである。また、テラヘルツ時間領域分光法による実験にご協力いただいた有限会社スペクトルデザインの髙橋功将様に深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] T. Nagatsuma et al., Opt. Express 21, 23736 (2013).
- [2] A. Yamaguchi and T. Mukai, The 61st JSAP Spring Meeting, 2014, 18a-E17-2 (2014).
- [3] Y. Takebayashi et al., IEICE Technical Group on Terahertz Application System, 11 (2015).
- [4] M. Choi et al., Nature **470**, 369 (2011).
- [5] K. Ishihara et al., IRMMW-THz 2015 (2015). (accepted).
- [6] N. I. Zheludev et al., Nature Mater. 11, 917 (2012).
- [7] X. Chen et al., Phys. Rev. E 70, 016608 (2004).