

非対称ペアカットワイヤーによる負の分布屈折率を有するフレキシブル薄フィルムレンズの設計 Design of Negative-Index Gradient Lens with Asymmetric Paired Metal Cut Wires on Flexible and Thin Film

○梅原 一樹¹ 佐藤 竜也¹ 石原 功基¹ 竹林 佑記² 鈴木 健仁^{1,2*}

○Kazuki Umehara¹ Tatsuya Sato¹ Koki Ishihara¹ Yuki Takebayashi² 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

Department of Electrical and Electronic Engineering, Ibaraki University¹ Major in Electrical and Electronic Engineering, Ibaraki University²

*E-mail: takehito@mx.ibaraki.ac.jp, <http://suzuki-lab.ee.ibaraki.ac.jp/>

1. まえがき

メタマテリアルでは、メタアトム素子により負まで含めた任意の屈折率を制御できる。分布屈折率[1-3]をメタアトム素子で設計することで、フレキシブルな薄いフィルムレンズも実現できる。そこで本稿では、非対称ペアカットワイヤー[4, 5]により負の分布屈折率[6]を制御した。単体モデルの周期構造解析により導出した初期値を用いた全構造解析を行い、テラヘルツ波の集光を確認した。

2. 分布屈折率 $n < 0$ レンズの動作原理

図 1 に非対称ペアカットワイヤーによる負の分布屈折率を有するフレキシブル薄フィルムレンズを示す。エバネッセント成分ではなく、伝搬波成分を集光する構造である。 x 軸方向は一樣構造で、 y 軸方向に屈折率を分布させている。屈折率の絶対値が端部からレンズの中央に向かって小さくなるようにメタアトム素子を分布させている [6]。屈折率分布 $n(r)$ は

$$n(r) = n_0 - \frac{1}{h+t} (\sqrt{r^2 + f^2} - f)$$

より設計した。 n_0 はレンズの中心#11 の屈折率、 f は焦点距離、 r はレンズの中心からの距離、 h がフィルムの厚さ、 t が金属の厚さである。

図 2 に単体モデルを示す。 x 、 y 軸方向で周期構造のため、周期境界壁を仮想し 1 ユニットのカットワイヤーを抜き出している。裏表で非対称なカットワイヤー構造となっている。電気性の共振は、ワイヤー自体の有するインダクタンス成分と電界方向のギャップ部でのキャパシタンス成分によって決定される。磁気性の共振は、裏表のワイヤーによるインダクタンス成分と裏表のワイヤーの両端部でのキャパシタンス成分により決定される。電気性と磁気性の共振周波数が重なり合うことで負の屈折率が実現できる。

3. 周期構造解析による初期値を用いた全構造解析

設計周波数は 0.3 THz ($\lambda=1.00$ mm) である。焦点距離を $f=10.0$ mm として、周期構造解析により所望の分布屈折率を実現するための初期値を導出した。全素子で $t=0.50$ μm 、 $h=50$ μm 、 $w=70$ μm 、 $s=280$ μm で固定している。分布屈折率は l と g で制御している。レンズ端部#1 は $l=510$ μm 、 $g=80$ μm で、 $n=-7.99$ 、透過電力は 99.0% である。レンズ中央#11 は $l=625$ μm 、 $g=50$ μm で $n=-0.36$ 、透過電力は 13.3% である。

図 3 に全構造解析による電界分布を示す。レンズの大きさは $a=13.5$ mm、 $b=5.88$ mm である。レンズはイメージの原理により、1/4 モデルを有限要素法電磁界シミュレータ ANSYS 社 HFSS で解析した。収差のずれの影響でレンズの先端部から 5.42 mm から緩やかではあるが、1 層のフィルムで集光を確認できた。しかし、レンズ表面での反射が大きいため集光が非常に弱い。集光するまでの位相面が表示できていないのは、さらに集光の確認のため dB で表示していることによる。レンズ

中央では端部と比較して透過電力に 85.7% と大きな差があることに起因している。メタアトム素子間での相互結合の影響を考慮し、初期値をもとに繰り返し補正も行う必要がある。

4. まとめ

非対称ペアカットワイヤーにより負の分布屈折率を制御したフレキシブルな薄フィルムレンズを設計した。全構造解析により、0.3 THz で集光を確認した。現状では入射面での反射が大きい問題がある。今後、レンズ中央での透過を増加した設計値を特定するとともに、メタアトム素子間の相互結合を考慮して繰り返し補正を行う。

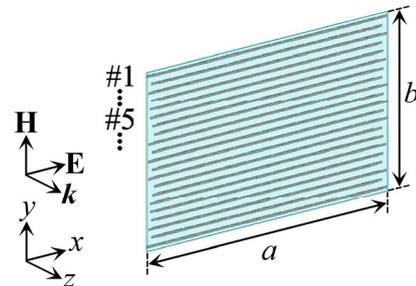


Fig. 1. Negative-Index Gradient Lens with Asymmetric Paired Metal Cut Wires on Flexible and Thin Film.

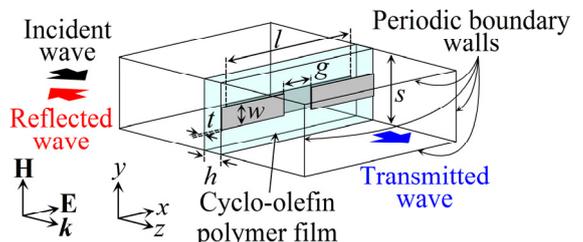


Fig. 2 Unit model with periodic boundary walls.

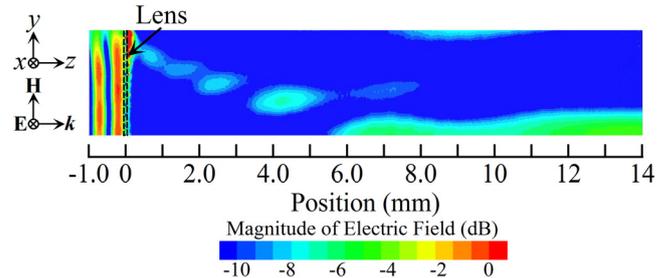


Fig. 3 Full model Analysis.

参考文献

- [1] D. R. Smith et al., Phys. Rev. E **71**, 036609 (2005).
- [2] T. Driscoll et al., Appl. Phys. Lett. **88**, 081101 (2006).
- [3] J. Neu et al., Opt. Express. **18**, 27748 (2010).
- [4] H. Kubo et al., IEICE Trans. Electron. **E95-C**, 1658 (2012).
- [5] B. Kanté et al., Phys. Rev. B **79**, 075121 (2009).
- [6] A. O. Pinchuk et al., J. Opt. Soc. Am. A **24**, A39 (2007).

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