

# メタマテリアルの有効媒質としての妥当性について

## On the validity of metamaterials as effective media

○市川 裕之<sup>1</sup>, 日野 湧也<sup>2</sup>

1. 愛媛大院理工、2. 富士重工業

○Hiroyuki Ichikawa<sup>1</sup>, Yuya Hino<sup>2</sup>

1. Ehime University, 2. Fuji Heavy Industries

E-mail: ichikawa@ehime-u.ac.jp

### 1 はじめに

メタマテリアルの有効光学定数についての研究はマイクロ波領域を中心に既になされている [1] が、ここではメタマテリアルが可視光の波長域で均質媒質として有効に作用するかについて、2次元平面内の問題に限定して厳密な検証を試みた。

### 2 解析モデル

真空中に金の矩形型分割共振リング (SRR) が周期的に配列された構造 (Fig. 1) を考える。x 方向には無限に広がり、z 方向には SRR と空隙から成る厚さ  $d$  の層が  $L$  層重なったものをここではメタマテリアルと呼ぶ。ここに平面波が z 方向に入射した際の反射率と透過率をフーリエモード法 (FMM) で求める。一方、厚さ  $Ld$  の単層膜が同一の反射率・透過率を示すような相対誘電率  $\varepsilon_R + i\varepsilon_I$ 、相対透磁率  $\mu_R + i\mu_I$  を通常の薄膜理論 (TFT) により探索する。反射・透過係数を用いないのは、x 方向の導波モードの影響を排除するためである。なお、ここで解析した構造範囲は  $0.02 \leq d/\lambda \leq 0.5$ 、 $L = 1, 2, 4$  であり、有効媒質としての妥当性に注力するため、単一波長  $\lambda = 521 \text{ nm}$  での解析に限定する。

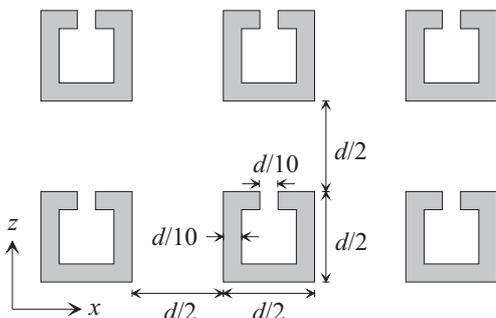


Fig 1: Metamaterials considered.

### 3 結果

$-10 \leq \varepsilon_R, \varepsilon_I, \mu_R, \mu_I \leq 10$  の範囲で、反射率・透過率の FMM・TFT 間の差が共に  $10^{-4}$  以下、且つ反射・透過係数間の位相差の FMM・TFT 間の差  $\Delta\phi$  が  $0.2 \text{ rad}$  以下となる解を選び検討した。例として  $d/\lambda = 0.02$  の場合、上記に該当する  $L = 1, 2, 4$  に対してそれぞれ 104, 33, 4 個の解の  $\varepsilon_R$  を Fig. 2 に示す。

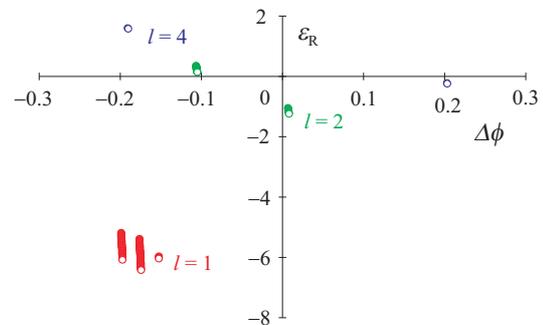


Fig 2:  $\varepsilon_R$  vs  $\Delta\phi$  for  $d/\lambda = 0.02$ .

もしメタマテリアルが有効媒質として機能するのであれば、異なる層数  $L$  で同じ  $\varepsilon_R, \varepsilon_I, \mu_R, \mu_I$  を有するはずである。他の構造においても、反射・透過率と位相差の双方で FMM と同様な結果を示す解を見つけることは出来なかった。

### 4 まとめ

今回解析を試みた金の2次元 SRR アレー構造 (最小は  $1 \text{ nm}$  幅) の範囲では、少なくとも伝搬方向に関しては、メタマテリアルは有効媒質ではなく、むしろ特定の寸法の一塊を一つの光学素子として扱うべきであろう。

日野湧也は愛媛大学在学中に本研究に従事した。

### 参考文献

[1] D. R. Smith, et al, Phys. Rev. E **71** (2005) 036617.