

変調メタルスリットアレイの光透過特性における 共鳴効果による位相シフトの増大

Enhancement of Phase Shift by Resonance Effect in Artificially Modulated Metallic Slit Array Systems

岡山県立大 情報工¹, 大阪大学 レーザー研²

○坂口 浩一郎¹, 高野 恵介², 福嶋 文浩¹, 萩行 正憲², 徳田安紀¹

Okayama Prefectural Univ.¹ Osaka Univ.² ○Koichiro Sakaguchi,¹

Keisuke Takano,² Takehiro Fukushima,¹ Masanori Hangyo² and Yasunori Tokuda¹

E-mail: koichiro@c.oka-pu.ac.jp

1. はじめに

波長より短い周期をもつメタルスリットアレイはメタマテリアルの一種として[1], 異常透過現象などから注目を集め, 基礎科学の観点からも応用技術の観点からも活発に研究されている[2]. 我々は, スリット周期を変調した多段の金属スリットアレイによって光波の位相制御が可能であることを FDTD シミュレーションにより示した[3]. この光フェイズドアレイ効果は, メタルプレート間のギャップ層での光路長の変調効果に基づいて生じることが分かっているが, 本研究では, この物理メカニズムについて, 透過率と位相シフト量の関係からさらに詳細に検討したので報告する[4].

2. 透過率と位相シフトの関係

図 1 は, 2 段の変調メタルスリットアレイを透過した光波の (a) 振幅透過率および (b) 位相シフト量の周波数依存性を示す. n は出射側スリットの番号を表しており, n が大きいほど入射側スリットの入り口からの最短光路長が短くなるように設計されている[3]. ここで, 透過率の周波数特性は Fabry-Perot 的な共鳴現象として説明できる. 一方, 位相シフトは, n が大きいほど光路差も大きくなるため, より大きくなることは単純に理解できるが, その量は光路差 ($nr/2$: r はスリット間隔の公差) から見積もった値に比べてかなり大きく (0.366 THz, $n = 8$ の場合で約 3 倍), 透過率と同様に顕著な周波数依存性を示していることが分かる.

3. エタロンモデルによる解釈

図 1 の特性を説明するため, 現在の系を長さ L , 反射率 R のエタロンと考えたとき, その振幅透過率 T および位相 ϕ は波数 k に対して次の式で表される.

$$T = (1-R) / (1-2R\cos 2kL + R^2)^{1/2}, \quad \phi = kL + \tan^{-1}\{R\sin 2kL / (1-R\cos 2kL)\}.$$

図 2 (a) および (b) は, それぞれ, この T と ϕ を kL に対して表したものである. また, 図 2(c) に kL に対する位相変化率 ($d\phi/d(kL)$) を示した. ここで, 図 2 (a) と (c) から, kL が 0 と π の共鳴点で位相変化が増大すること, さらに, 反射率 R が大きくなるほど変化量も著しく大きくなることが分かり, 図 1 の結果を定性的にうまく説明できる.

4. まとめ

変調メタルスリットアレイで得られる光フェイズドアレイ効果に関して, 得られる位相シフト量は, 強い周波数依存性を示し, その最大値は単純な光路差から見積もられる値よりもかなり大きくなることを明らかにした. さらに, これらの結果は, 高い Q 値を持つ光キャビティにおける共鳴効果により説明できることを示した.

参考文献

- [1] J. B. Pendry, Phys. Rev. Lett. **85**, 3966 (2000).
- [2] T. W. Ebbesen *et al.*, Nature **391**, 667 (1998).
- [3] Y. Tokuda *et al.*, Appl. Phys. Express **5**, 042502 (2012).
- [4] Y. Tokuda, *et al.*, AIP Advances **2**, 042112 (2012).

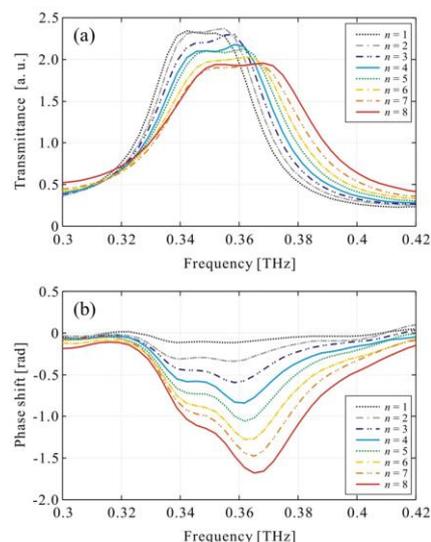


図 1. 振幅透過率と位相シフト

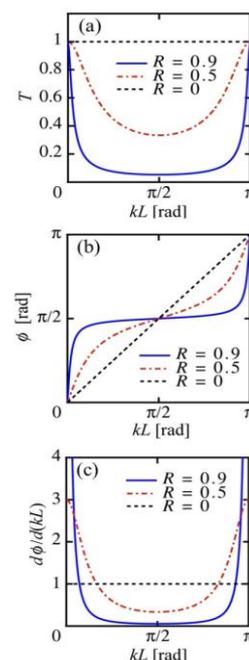


図 2. エタロンモデルの
振幅透過率と位相