

申請者	学科名	情報通信工学科	職名	教授	氏名	徳田 安紀
調査研究課題	積層型メタルスリットアレイの擬似誘電体的性質とその応用					
調査研究組織	氏名	所属・職		専門分野	役割分担	
	代表	徳田 安紀	情報通信工学科・教授	光・量子エレクトロニクス	テーマ設定, 構造設計, 結果解析, 論文作成	
	分担者	船木 洸希	システム工学専攻・M2	光エレクトロニクス	シミュレーション 学会発表	
		山口 祐生	システム工学専攻・M1	光エレクトロニクス	シミュレーション 学会発表	
橋本 雅文		システム工学専攻・M1	光エレクトロニクス	シミュレーション 学会発表		
調査研究実績の概要	<p>1. はじめに</p> <p>入射する電磁波の波長より短い周期で金属板に溝を切ったメタルスリットアレイは、自然界の物質では得られない興味ある特性を示すメタマテリアル (Metamaterial) の一種とみなせ[1], その体積の大半を金属が占めていても、特定の波長領域で誘電体的な、すなわち透明ガラスのような性質を示す[2]. 我々は、このメタルスリットアレイを多段に積み重ねた構造の光学的性質を調べ[3-6], 光波と電波の境界の周波数帯域の電磁波として注目を集めているテラヘルツ (THz) 波に対する新しい制御素子の創出に利用することを検討している[7,8].</p> <p>本研究では、2 段型のメタルスリットアレイ構造の透過スペクトルにおいてみられる Fabry-Perot 的な光学共鳴モードが周波数的に交差する現象について調べ、この擬似誘電体特有の性質を抽出し、その物理メカニズムを解明した[9].</p> <p>2. メタルスリットアレイ構造</p> <p>図 1 に、本研究で調べた 2 段型のメタルスリットアレイ構造を示す. 上下のスリットアレイは同一構造で、h はスリット高さ、d はスリット周期、w はスリット幅であり、$h = 1000 \mu\text{m}$, $d/w = 10$ とした. また、s は上下のスリットアレイ間の空気層幅、l は上下のスリットアレイの x 方向に対する相対ずれ量である.</p> <p>本研究では、横ずれが無い構造 ($l = 0$) と半周期ずらした構造 ($l = d/2$) に対して、THz 光を垂直入射した場合の透過スペクトルや電磁界分布を時間領域有限差分法を用いたシミュレーションにより求め、この系特有の共鳴モードの振舞いについて調べた.</p>					

3. 光学共鳴モードの交差現象

図 2 に、 $d = 2000 \mu\text{m}$ の 2 つの構造の光透過スペクトルの空気層幅依存性を示す。この系の垂直入射に対する Rayleigh-Wood の回折限界周波数 (f_{RW}) は c/d で与えられる。本構造では f_{RW} は 0.15 THz であり、その周波数以下、すなわちメタマテリアル条件下 ($\lambda > d$) で顕著な Fabry-Perot 的な共鳴モードが観測されていることが分かる。

$l = d/2$ では $s = 0$ で光学パスが閉じるため、0 次モード (D_0) は 1 次モード (D_1) とのミキシングにより消失している[6]。この $s = 0$ の近傍を除き、最低次モードは、どちらの構造でも s が大きくなるにつれてレッドシフトしている。しかし、2 番目と 3 番目のモードは、 $s = 800 \mu\text{m}$ 付近で全く異なった振舞いをしている。すなわち、 $l = 0$ では 2 つのモードは合体して消失しているのに対して、 $l = d/2$ では 2 つのモードは消失せず、明らかな周波数反発をもった反交差特性を示している。

$l = d/2$ のこの 2 つのモードは 1 次と 2 次モード (D_1 と D_2) である。通常、純粋な光学共鳴モードの交差現象では顕著な反発は観測されないが、この系では横ずれがある場合、空気層の有効屈折率が増大し[5]、モード間の相互作用が増大する。この効果を考慮することで図 2(b)の反交差現象は説明できる[9]。一方、 $l = 0$ では、2 番目のモードは 0 次モードが 2 つに分裂した高周波数側のモード (D_0^H) であり、それと対称性の異なる D_1 モードが交差して destructive な干渉を起こして消失している。この D_0 のモード分裂は、その $s = 0$ における波長が $2d$ 以下のとき、すなわち $f_{RW}/2$ 以上の周波数で生じ、現在の系では $f_{RW}/2$ は 0.075 THz であり、図 2(a)の結果と一致している[9]。

4. まとめ

メタルスリットアレイの 2 段構造において、横ずれにより空気層の有効屈折率が増大することで、Fabry-Perot 的な光学共鳴モードの顕著な反交差特性が観測されることが分かった。また、横ずれがない場合、回折限界周波数の半分以上の領域で、偶数次モードは空気層幅の増大とともにブルーシフトし、直上の奇数次モードと destructive な干渉を起こして消失することが分かった。この擬似誘電体特有の物理現象は新しい素子機能の創出に利用できる可能性がある。



図1 積層メタルスリットアレイ構造 (a: $l = 0$, b: $l = d/2$)

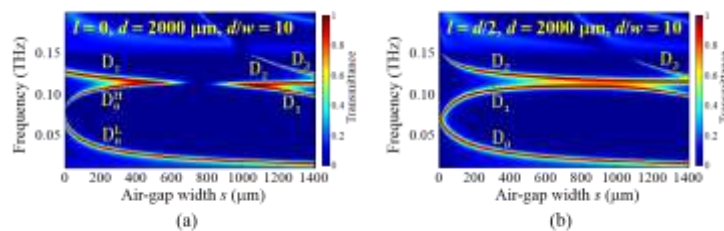


図2 透過スペクトルのエアギャップ依存性 (a: $l = 0$, b: $l = d/2$)

【参考文献】

- [1] T. W. Ebbesen *et al.*, Nature **391**, 667 (1998).
- [2] J. T. Shen *et al.*, Phys. Rev. Lett. **94**, 197401 (2005).
- [3] K. Akiyama *et al.*, Opt. Express **18**, 17876 (2010).
- [4] Y. Tokuda *et al.*, AIP Advances **2**, 042112 (2012).
- [5] K. Akiyama *et al.*, J. Appl. Phys. **113**, 243103 (2013).
- [6] Y. Tokuda *et al.*, J. Appl. Phys. **115**, 243104 (2014).
- [7] Y. Tokuda *et al.*, Appl. Phys. Express **5**, 042502 (2012).
- [8] Y. Tokuda *et al.*, Appl. Phys. Express **6**, 062602 (2013).
- [9] Y. Tokuda *et al.*, Appl. Phys. Express **9**, 032201 (2016).