

2021年2月18日

報告者	学科名	情報通信工学科	職名	教授	氏名	徳田 安紀
研究課題	人工誘電体構造における光学共鳴モードのカップリング特性の解明とその応用					
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	構造設計, 実験, 結果解析, 論文作成	
	分担者	渡辺 将伍	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	
研究実績の概要	<p>1. はじめに 低次の固有状態間のカップリング現象は興味深い物理現象であり, 電子系では量子井戸構造における量子化されたエネルギー準位を用いて詳しく調べられてきた[1]. 本研究では, 光学系での低次の固有状態間のカップリング特性を調べるため, 有効屈折率を構造パラメータで自由に変化できる人工的な誘電体とみなせるメタルスリットアレイの積層構造の共鳴モードの振舞いをシミュレーションし, 結果は電子系の場合と比較した[2].</p> <p>2. 構造と研究方法 図1に本研究で調べたメタルスリットアレイの二段構造の造模式を示す. <math>h</math>はスリット高さ, <math>d</math>はスリット周期, <math>w</math>はスリット幅, <math>s</math>はエアギャップ幅, <math>l</math>はアレイ間の横ずれ量である. 本研究では, 色々な<math>s</math>と<math>l</math>に対して垂直入射の透過スペクトルを時間領域有限差分法を用いてシミュレーションした.</p>					

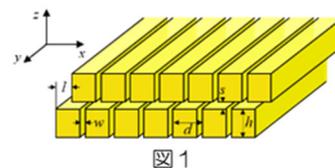


図1

研究実績  
の概要

3. 結果と考察

図2に  $w = 150 \mu\text{m}$ ,  $d = 500 \mu\text{m}$ ,  $h = 1000 \mu\text{m}$ ,  $l = 0$  に対する透過スペクトルのエアギャップ幅依存性の計算結果を示す[3]. 矢印で示したように, 3次と4次の共鳴モードはエアギャップが  $250 \mu\text{m}$  付近で合体している. 図3は, その結合モードの色々な横ずれ量に対する透過スペクトルである. 横ずれが無い場合はふたつのモードは縮退しているが, 横ずれが大きくなるにつれてモード間の反発により分裂し始めている. 図4は, その結合モードの図3より読み取った半値全幅の横ずれ量依存性を示す.

ここで, 我々のこれまでの研究から, エアギャップ層の有効屈折率  $n_g$  は横ずれにより1より大きくなり

$$n_g \cong \sqrt{2(l/s)^2 \text{sinc}^2(\pi w/d) \text{sinc}^2(\pi l/d) + 1}$$

で与えられることが分かっており[4], 図5は, その横ずれ量依存性を描いたものである. 図4と比べると, その傾向は極めてよく一致しており, モードカップリングの強さはエアギャップ層の有効屈折率と強い相関があることが分かった. この結果は, 横ずれがない構造で中間層の屈折率を上げるとモード間の反発が強くなり, 反交差特性を示す結果と一致した[2].

カップリングを強くするとモード間の反発が増大することは電子系と類似の現象であるが, 電子系と違って, 反発が起きるためにはフィールド分布の非対称性が必要であることも分かった. このような中間層の有効屈折率の変化を用いたテラヘルツ波の制御は応用上も意味があると考え.

謝辞

本研究の一部は, JSPS 科研費 JP16K04982 助成ならびに 2020 年度岡山県立大学独自の研究助成の交付を受けて行った.

<参考文献>

[1] For example, Y. Tokuda *et al.*, Phys. Rev. B **41**, 10280 (1990). [2] Y. Tokuda *et al.*, AIP Adv. **10**, 125304 (2020). [3] Y. Tokuda *et al.*, J. Appl. Phys. **123**, 183102 (2018). [4] K. Akiyama *et al.*, J. Appl. Phys. **113**, 243103 (2013).

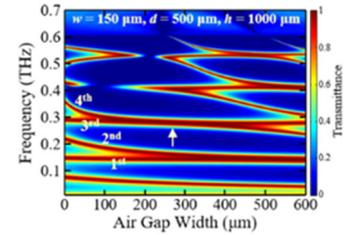


図2

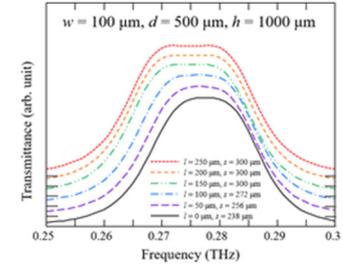


図3

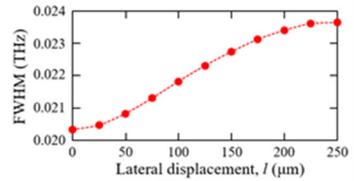


図4

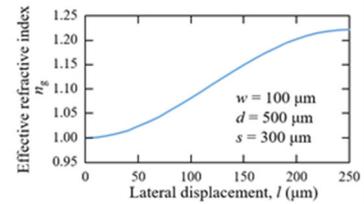


図5

成果資料目録

1. Y. Tokuda, K. Sakaguchi, S. Watanabe, M. Nakajima, and K. Akiyama, "Nondestructive mixing characteristics of optical resonance modes investigated using artificial dielectric systems," AIP Advances **10**(12), 125304 (2020).
2. M. Nakajima, H. Kitahara, S. Watanabe, K. Sakaguchi, K. Akiyama, and Y. Tokuda, "Study of the transmittance properties for the stacked metallic sub-wavelength slit arrays," 45th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2020), Buffalo, NY, USA, p. 128, 2020年11月.
3. 徳田安紀, 坂口浩一郎, 渡辺将伍, 中嶋誠, 「積層型メタルスリットアレイにおけるブルーシフトモードとスペクトル異常」光・量子レーザー科学合同シンポジウム2020 (OPTO 2020), 大阪大学レーザー科学研究所/国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構, 2020年9月.