

申請者	学科名	情報通信工学科	職名	教授	氏名	徳田 安紀 印
調査研究課題	テラヘルツ領域におけるメタルスリットアレイの Fabry-Perot 共振特性					
交付決定額						
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	坂口 浩一郎 平松 真也	情報通信工学科・助教 システム工学専攻 M2	光エレクトロニクス 光エレクトロニクス	シミュレーション シミュレーション	
調査研究実績の概要	<p>1. はじめに 入射する電磁波の波長より短い周期をもったメタルスリットアレイは, その体積のほとんどを金属が占めているにも関わらず, 誘電体的な性質を示す[1]. 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[2-4], 光波と電波の境界で未開拓の周波数帯域として注目を集めているテラヘルツ帯の新しい光素子の創製に利用することを検討している[5,6]. 本研究では, 応用上基本となる二段型のメタルスリットアレイ構造における Fabry-Perot 的な共鳴モードの振舞いとその消失メカニズムについて時間領域有限差分法を用いたシミュレーションにより検討した[7].</p> <p>2. 構造と透過スペクトル 図1は本研究で検討した二段型のメタルスリットアレイ構造を示す. ここで, 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, それぞれ1000, 600, および160 μmに固定した. また, sはアレイ間のエアギャップ幅, lはアレイのx方向に対する相対ずれ量である.</p> <p>図2にずれが無い構造 ($l=0$) と半周期ずらした構造 ($l=d/2$) の光透過スペクトルのs依存性を示す. $l=0$の場合, 奇数次のD_1モードの共鳴周波数はsにほとんど依存していないが, 偶数次のD_0とD_2モードはsが大きくなるにつれて顕著なレッドシフトを示している. 一方, $l=d/2$の場合, 偶数次のD_0とD_2モードの振舞いは$s=0$の近傍を除いて$l=0$の場合とほぼ同じであるが, 奇数次のD_1とD_3モードの振舞いは200 μm以下の領域で大きく異なり, $s=0$近傍でそれぞれD_0とD_2モードと一体となり消失していることが分かる.</p>					

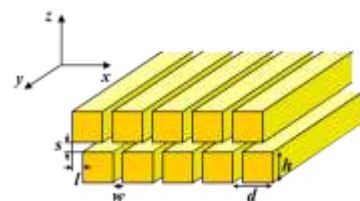
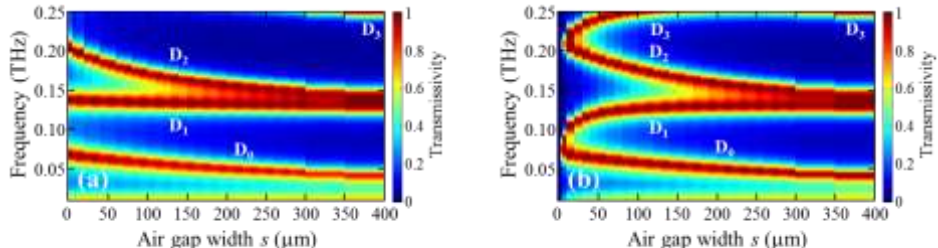
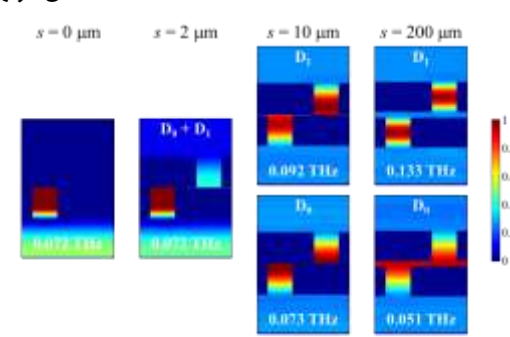


図1 二段メタルスリットアレイ構造

<p style="text-align: center;">調査研究実績 の概要</p>	<div style="text-align: center;">  <p>図2 透過スペクトルのエアギャップ幅依存性 ((a) $l = 0$, (b) $l = d/2$)</p> </div> <p>3. 共鳴モードの振舞いと消失メカニズムの解明</p> <p>このような共鳴モードの振舞いを理解するために、各共鳴モードに対して電磁場分布のシミュレーションを行った。図3に$l = d/2$の構造のD_0とD_1モードの磁場分布を示す。</p> <p>$s = 200 \mu\text{m}$では、D_0モードはエアギャップ層を含んだ全領域に半波長共鳴として広がって、その腹はエアギャップ内にあるためsが大きくなると共鳴波長は長くなる。これが偶数次モードがレッドシフトする理由である。一方、D_1モードはエアギャップ内で節をもち、上下のスリット内に半波長共鳴的に独立して閉じ込められている。これが奇数次モードの共鳴周波数は$l = 0$の場合にsにほとんど依存性しない理由である。</p> <p>$s = 10 \mu\text{m}$になってもD_0モードには大きな変化はないが、D_1モードの腹の位置は明らかにスリットの中央部からエアギャップ側にシフトし、D_0モードの分布パターンに似てきていることが分かる。これは、sが小さくなるとD_1モードは$1000 \mu\text{m}$に対する半波長共鳴から$1/4$波長共鳴に変化し、その結果、D_0モードの共鳴周波数に近づくためである。そして$s = 2 \mu\text{m}$では、D_1とD_0モードの共鳴周波数はほぼ一致し、上側のスリットでは二つのモードは逆位相であるためにdestructiveな干渉を起こし、$s = 0$で共鳴モードは完全に消えることになる。これがミキシングによるモード消失のメカニズムである。</p> <p>なお、磁場は金属表面では同相でほぼ完全に反射される。従って、アレイ間の横ずれがある場合、sが小さくなると境界条件の変化に合わせて腹の位置はエアギャップ側に動かなければならない。これが、元々エアギャップで節をもっていた奇数次モードのみがその分布状態を大きく変える理由である。</p> <p>4. まとめ</p> <p>二段型のメタルスリットアレイ構造が示すFabry-Perot的な共鳴モードについて</p> <ul style="list-style-type: none"> ・横ずれがない場合、エアギャップの増大とともに偶数次モードの共鳴周波数はレッドシフトするが、奇数次モードの共鳴周波数はほとんど変化しない ・横ずれがある場合、エアギャップの減少とともに奇数次モードの共鳴周波数は偶数次モードのそれに急接近し、一体となって消失する <p>ことをシミュレーションにより示し、電磁場分布の対称性と境界条件の変化からそれらの物理的メカニズムを明らかにした。</p> <div style="text-align: center;">  <p>図3 D_0とD_1モードの磁場分布</p> </div> <p>【参考文献】</p> <p>[1] J. T. Shen <i>et al.</i>, Phys. Rev. Lett. 94, 197401 (2005). [2] K. Akiyama <i>et al.</i>, Opt. Express 113, 243103 (2010). [3] Y. Tokuda <i>et al.</i>, AIP Advances 2, 042112 (2012). [4] K. Akiyama <i>et al.</i>, J. Appl. Phys. 113, 243103 (2013). [5] Y. Tokuda <i>et al.</i>, Appl. Phys. Express 5, 042502 (2012). [6] Y. Tokuda <i>et al.</i>, Appl. Phys. Express 6, 062602 (2013). [7] Y. Tokuda <i>et al.</i>, J. Appl. Phys. 114, 243104 (2014).</p>
	<p style="text-align: center;">成果資料目録</p>