

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	高屈折率擬似誘電体多層構造の設計と実験検証					
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	山口 祐生 橋本 雅文	システム工学専攻・M2 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 学会発表 シミュレーション	
調査研究実績の概要	<p>1. はじめに 金属板に電磁波の波長より短い周期で溝を切ったメタルスリットアレイは, その体積の大半を金属が占めていても, 非常に高い屈折率をもったガラスのような性質を示し [1], メタマテリアルの一種として盛んに研究が行われている[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[3-8], 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[9,10]. 本研究では, メタルスリットアレイを多段に積み重ねた構造に対して, 構造パラメータで光学特性がどのように変わるかをシミュレーションで予測し, 実際に試料を作製し擬似的な誘電体多層膜とみなせるかどうかを調べた[11].</p> <p>2. 積層メタルスリットアレイ構造と研究方法 本研究では, 図1のような板厚hが$1000\ \mu\text{m}$, スリット周期dが$500\ \mu\text{m}$, スリット幅w_cが$150\ \mu\text{m}$の中央のスリットアレイを, 同じ板厚とスリット周期をもったスリット幅がw_sのスリットアレイで上下から挟んだ構造について, y方向の磁場成分をもつp偏光のTHz波をz方向に沿って垂直入射させた場合の透過特性について調べた. 透過特性や電磁界分布のシミュレーションには Finite-Difference Time-Domain (FDTD) および Transfer Matrix法を用いた. 一方, 透過スペクトルの測定には大阪大学レーザーエネルギー学研究中心のTime-Domain Spectroscopy (TDS) 装置を用いて行った.</p> <p>3. 透過特性のシミュレーション 図2に透過スペクトルのw_s依存性のFDTDシミュレーション結果を示す. $0.6\ \text{THz}$以下で顕著な Fabry-Perot 的な共鳴モードが観測されている. この$0.6\ \text{THz}$は, 入射光の波長λがスリット周期dに一致するときの周波数c/d (cは真空中の光速), すなわち Rayleigh-Wood の回折限界周波数f_{RW}に対応している. ここで 1) T_{3m+2}モードの周波数はw_sにほとんど依存しない 2) T_{3m}とT_{3m+1}モードはw_sが大きくなるにつれて接近して合体した後消失する 3) T_{3m+1}と$T_{3(m+1)}$モードはw_sが0に近づくにつれ限りなくT_{3m+2}モードに接近することが分かる. メタルスリットアレイの積層構造におけるこれらの共鳴モードの振る舞いは, Transfer Matrix法による計算から, メタマテリアル条件下 ($\lambda > d$) で誘電体多層膜の特性とほぼ同じであることを確認した.</p>					

調査研究実績
の概要

4. 実験サンプルの作製と透過スペクトルの測定

図2のような特性が実際に得られるかを検証するため、真鍮を用いて放電加工により実験試料を作製し、TDS法により透過スペクトルを測定した。まず、図3(a)に3種の単体のメタルスリットアレイの透過スペクトルの測定結果を示す。予想通り0.6 THz以下で顕著な4つの共鳴ピークが観測され、試料は設計通り作製されていると判断した。

次に、図3(b)にスリット幅が150 μmのスリットアレイをスリット幅が150, 200, 270 μmのスリットアレイで上下から挟んだ3つの構造に対する透過スペクトルを示す。やはり0.6 THz以下で多くの共鳴ピークが観測された。我々の最近の研究から、スリットアレイ間に隙間がある場合、 $f_{RW}/2$ 以上で偶数次の共鳴モードが異常な振る舞いをする事が分かっている[7]。現在の測定ではアレイ間にわずかな隙間が存在していると考えられるので、積層構造本来の特性は0.3 THz以下のピークから抽出できると考えられる。図2中の白丸は、それらをプロットしたもので、図3(a)から得た $w_s = 500 \mu\text{m}$ の結果も含め、実験結果は計算結果と極めてよく一致した。

5. まとめ

メタルスリットアレイの積層構造の透過特性をシミュレーションを用いて調べ、メタマテリアル条件下において誘電体多層膜と等価な特性が得られることを示した。さらに、実験試料の作製と透過スペクトルの測定を行い、理論的に予測された特性が実際に得られることを示した。本研究により、メタルスリットアレイを積層することでTHz周波数帯でいろいろな透過特性を示す構造が容易に設計できる事が分かった。

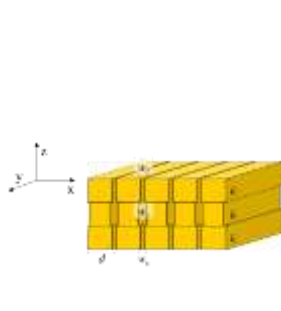


図1

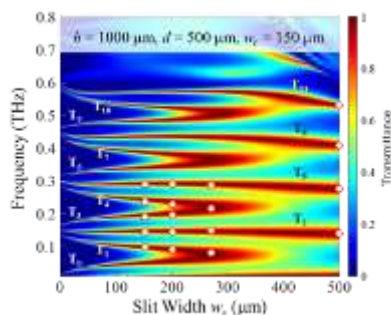


図2

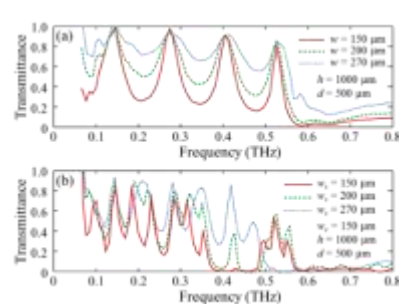


図3

【参考文献】

[1] J. T. Shen *et al.*, Phys. Rev. Lett. **94**, 197401 (2005). [2] T. W. Ebbesen *et al.*, Nature **391**, 667 (1998). [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 **9**, 032201 (2016). [8] Y. Tokuda *et al.*, AIP Advances **7**, 030306 (2017). [9] Y. Tokuda *et al.*, Appl. Phys. Express **5**, 042502 (2012). [10] Y. Tokuda *et al.*, Appl. Phys. Express **6**, 062602 (2013). [11] Y. Tokuda *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **56**, 030306 (2017).

成果資料目録

1. Jpn. J. Appl. Phys. **56**, 030306 (2017)
2. AIP Advances **7**, 035209 (2017)
3. レーザー研シンポジウム予稿 (2016.4.19)
4. 第67回電気・情報関連学会中国支部連合大会予稿 (2016.10.22)
5. 第77回応用物理学会秋季学術講演会 講演予稿 (2016.9.13)
6. 第64回応用物理学会春季学術講演会 講演予稿 (2017.3.14)