



Title	テラヘルツ領域における金属フォトニック結晶の光学特性に関する研究
Author(s)	宮丸, 文章
Citation	大阪大学, 2004, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/45901
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed 大阪大学の博士論文について

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	宮 丸 文 章
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 19028 号
学位授与年月日	平成 16 年 9 月 30 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科応用物理学専攻
学位論文名	(テラヘルツ領域における金属フォトニック結晶の光学特性に関する研究)
論文審査委員	(主査) 教授 萩行 正憲
	(副査) 助教授 谷 正彦 助教授 小西 育 教授 笠井 秀明 教授 菅原 康弘 助教授 大中幸三郎 教授 増原 宏 教授 河田 聰 教授 川上 則雄 教授 八木 厚志 教授 高井 義造 教授 伊東 一良 教授 石井 博昭 教授 魚崎 勝司 教授 谷田 純 教授 中村 收 教授 岩崎 裕 教授 沼尾 正行

論文内容の要旨

本研究では、テラヘルツ (THz) 領域における、金属開孔アレイ型 2 次元金属フォトニック結晶 (2D-MPC) の透過特性とその物理機構を明らかにすることを目的とした。特に、2D-MPC の透過スペクトルにおいて観測されたバンドパス特性と、金属表面に励起される表面プラズモンポラリトン (SPP) との関係について詳細な考察を行った。また 2D-MPC の偏光特性において、従来知られていなかった 2D-MPC の偏光変化現象を見いだし、その物理機構に関する考察を行った。さらに、2 枚の 2D-MPC を積層させた DL-MPC において、直観的な予想と反する透過現象を見いだし、その物理機構に関する考察を行った。以下に、各章ごとの要旨を述べる。

第 1 章では、研究の背景として、THz 電磁波とフォトニック結晶におけるこれまでの研究例を紹介し、ついで、THz 領域においてフォトニック結晶を研究する意義を述べ、本研究の目的を示した。

第 2 章では、金属フォトニック結晶の研究を行う上での理論的背景について述べた。金属開孔中の電磁波の特性、SPP の基本特性及び、フォトニック結晶中の電磁波の基本特性について説明した。

第 3 章では、本研究で用いた THz 時間領域分光法の実験系について述べた後、2D-MPC の典型的な透過スペクトルの測定例を示した。その結果、比較的高い透過率を持つバンドパス特性が観測された。種々の構造パラメータに対する透過スペクトルの依存性から、2D-MPC のバンドパス特性が現れる物理機構を考察した。それらの結果より、SPP が金属表面に共鳴的に励起されることによって、2D-MPC のバンドパス特性が生じることがわかった。その他、周期構造が有限な場合の透過特性の変化や、フォトニック結晶材料の誘電率が透過特性に与える影響を調べ、2D-MPC のバンドパス特性が現れる物理機構に SPP が重要な役割を果たしているという証拠を得た。

第 4 章では、2D-MPC の透過偏光特性を調べた。透過テラヘルツ波形において、偏光状態の測定を行った結果、垂直入射のときの透過波の偏光は入射偏光と等しいのに対して、入射角をわずかに傾けると、透過波の偏光は橢円偏光となる現象を観測した。種々の実験を行った結果、2D-MPC の偏光変化現象は SPP と密接に関係していることがわ

かつた。

第5章では、2D-MPCを2層積層したDL-MPCの透過特性を測定した。その結果、ファブリペロー効果による透過スペクトルの変化に加え、直観的な考えとは反する透過現象を観測した。ある層間隔において、2層目が半周期ずれているときの透過ピークが、2層の面内ずれが無いときと比較して、3倍程度透過率が高くなる現象を観測した。FDTDシミュレーションを行った結果、この異常透過現象は、2層の内側の金属表面に励起されたSPPのカップリングによるものであることがわかった。また、波長の1/5程度の微小な開孔径の2D-MPCの両面に、それよりも大きな開孔径の2D-MPCを積層させたTL-MPCの透過スペクトルを測定した。その結果、最大で260倍程度の透過率の増強効果が得られた。FDTDシミュレーションの結果、この増強効果は、開孔径の大きい2D-MPCを貼り合わせたことにより、開孔径の大きい部分でSPPの励起強度が増大したためであることがわかった。

第6章において、本論文を総括した。

論文審査の結果の要旨

可視光領域において、金属開孔を周期的に並べることによって、従来の単一金属開孔の回折理論から予測される透過率の1000倍もの透過率が現れる異常透過現象が1998年に報告されて以来、この現象の物理的機構の解明に関する多くの研究が行われている。本研究は、テラヘルツ(THz)領域において金属開孔アレイ型金属フォトニック結晶の透過特性を測定し、異常透過の物理的機構を明らかにすることを目的としている。THz領域では、比較的自由に構造パラメータを変えられること、及び、THz時間領域分光法を用いると現象の物理描像が描きやすいことを利用して、表面プラズモンポラリトン(SPP)が異常透過の原因であることを明らかにするとともに、興味深い新現象を数多く見出している。本研究の主な成果は以下の通りである。

- (1) THz領域における金属フォトニック結晶の透過特性を、開孔アレイの開孔間隔、有限開孔数、金属表面の誘電率の変化などのパラメータを変化させて測定し、それらの結果から異常透過現象の原因がSPPであることを明らかにしている。
- (2) 金属フォトニック結晶の透過波の偏光特性を調べた結果、直線偏光の入射波に対し、透過後の偏光が橢円偏光となる、従来知られていなかった現象を見出している。また、構造パラメータを系統的に変えるなどの実験により、金属表面に励起されたSPPによって、この興味深い偏光特性が引き起こされることを明らかにしている。これは従来の波長板とは全く異なる機構であり、THz領域における波長板の作製に応用できるとともに、スケールを小さくした場合に、赤外から可視領域の新しい光学素子へと発展する可能性を示すものである。
- (3) 金属開孔アレイを2層積層した金属フォトニック結晶において、直観的な予想とは反する興味深い透過現象を見出している。FDTD法によるシミュレーションの結果などから、この現象が2層の金属表面に励起されたSPPの結合によるものであることを明らかにしている。
- (4) 開孔径が波長の1/5程度になるとSPPの励起効率が急激に減少し、開孔内のTHz光強度が減少するが、開孔の表面形状を最適化することによりSPPの励起効率を大幅に増大させ、開孔内のTHz光強度を260倍程度増強させることに成功している。

以上のように、本論文は応用物理学、特に金属フォトニック結晶の新しい展開に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。