



|              |   |
|--------------|---|
| Title        | 人工微細構造体のテラヘルツ時間領域分光   |
| Author(s)    | 高野, 恵介  |
| Citation     | 大阪大学, 2010, 博士論文  |
| Version Type |   |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/57547">https://hdl.handle.net/11094/57547</a>   |
| 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、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。 |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

|               |   |
|---------------|---|
| 氏 名           | 高 野 恵 介   |
| 博士の専攻分野の名称    | 博士(工学)  |
| 学 位 記 番 号     | 第 23794 号   |
| 学 位 授 与 年 月 日 | 平成22年3月23日  |
| 学 位 授 与 の 要 件 | 学位規則第4条第1項該当<br>工学研究科精密科学・応用物理学専攻                             |
| 学 位 論 文 名     | 人工微細構造体のテラヘルツ時間領域分光   |
| 論 文 審 査 委 員   | (主査) 教授 萩原 正憲<br>(副査) 教授 笠井 秀明 教授 河田 聰<br>教授 北野 正雄(京都大学工学研究科) |

### 論文内容の要旨

電磁波の伝播特性は媒質自体の物性に加えて、与えた構造によっても制御することができる。1990年代には、電磁波の波長程度の周期性によって伝播特性を設計するフォトニク結晶の発展があり、2000年代に入ってからは、波長よりも十分に小さな人工構造の集合体によって、有効誘電率と有効透磁率を設計しようとするメタマテリアルの概念が広まった。人工構造によって特性を設計するので、マイクロ波領域、テラヘルツ波領域から光領域まで、基本的には電磁波の波長によらずに共通の設計の指針を用いることができる。テラヘルツ領域は、波長約3ミリメートルから30マイクロメートルの電磁波領域のことを指す。テラヘルツ領域は試料作製の容易さおよび母材料の選択肢の豊富さから、人工構造を用いた光学素子の試作と利用に適した電磁波領域である。本論文は、テラヘルツ領域における2次元金属フォトニク結晶および平面メタマテリアルと、誘電体メタマテリアルに関する研究からなり。将来のテラヘルツ領域の電磁波を用いたシステムを構成する光学素子の充実を目指したものである。第1章では近年特にめざましい発展を見せているメタマテリアルの研究状況と本論文の目的について述べ、第2章では本論文で試料の評価に用いたテラヘルツ時間領域分光法についてまとめた。第3章と第4章では、2次元金属フォトニク結晶と2次元平面メタマテリアルについて種々の構造を提案し、テラヘルツ波特性を調べた。このうち第3章では、バンドパス特性を示す金属開口配列を準周期およびインコメンシュレートな2重周期金属開口配列に発展させた。またカイラリティによって金属開口配列に円偏光2色性を加えることも試みた。第4章では、2次元平面メタマテリアルにおいて、構成要素の空間的なつながりによって得られる電磁特性を明らかにするため、金属ワイヤーの配列と金属正方形の配列のテラヘルツ波特性を調べた。第5章では、テラヘルツ領域で動作する平面金属構造の効率のよい作製法として、フォトリソグラフィよりも高機能で高効率な超微細インクジェット工法を用いる手法を提案し、有効性を実証した。第6章では、誘電体共振器を用いてテラヘルツメタマテリアルを構成するために酸化チタンセラミクスに着目した。酸化チタンのトップダウン的加工や微粒子によるボトムアップ的手法を用いた新しい方法を提案し、その有効性を確認した。本論文で得た知見は、テラヘルツ領域はもとより、マイクロ波領域から光領域の光学素子への貢献が期待できる。

### 論文審査の結果の要旨

電磁波の波長オーダーあるいは波長以下の周期を有する人工微細構造体は、電磁波の伝播を制御するための新しい素子として近年興味が持たれている。特に、原子スケールよりも十分大きくかつ電磁波の波長よりも十分小さな構造

要素(メタ原子と呼ぶ)を並べた人工微細構造体では、有効誘電率  $\epsilon$  や有効透磁率  $\mu$  が定義でき、構造の工夫によって自然界にある物質では得られないような  $\epsilon$  や  $\mu$  の値を実現することも可能である。この物質は、自然界にある物質を超えた物質という意味で「メタマテリアル」と呼ばれている。メタマテリアルは、マイクロ波領域から可視光領域にわたる共通の概念であるが、テラヘルツ領域ではメタ原子の大きさが数十ミクロン程度で、要求される作製精度がミクロンオーダーなので比較的作製しやすく、新しい構造のメタマテリアル開発には好都合の周波数領域である。また、このような新たな概念によって開発されるテラヘルツ素子は、近年多くの応用提案がなされて活発化しているテラヘルツ分野の実用的な素子となると期待される。

第 1 章では、人工微細構造体、特に、メタマテリアルについて紹介した後、テラヘルツ領域における開発の意義と本論文の目的について述べている。

第 2 章では、メタマテリアルの評価手段として用いるテラヘルツ時間領域分光法とその装置構成について、偏光測定法にも触れながら詳説している。

第 3 章では、近年、2 次元フォトニック結晶のひとつとしてその異常な電磁波透過特性が注目されている金属開口配列の特性について調べている。従来の単純な開口配列を超えて、準周期配列および 2 重周期配列について調べ、単純化された理論モデルと一致する結果を得ている。また、ネジ開口配列について偏光特性を調べ、光学活性が現れる機構について明らかにしている。

第 4 章では、平面金属構造体であるカットワイヤーグリッド構造とチェックボードパターンについて実験的および理論的に調べ、得られた有効誘電率と有効電気伝導度から、わずかな構造変化により金属-絶縁体転移が起こることを見出している。

第 5 章では、テラヘルツ領域の平面メタマテリアルを作製する手法として、マイクロエレクトロニクス用に開発された超微細インクジェットプリンタを用いることを提案し、実際に分割リング共振器配列などを作製することにより、従来に比べて極めて短時間でかつ簡便にメタマテリアルが作製できることを示している。この作製手法は、積層にも対応できることから、今後、有力なメタマテリアル作製法として期待される。

第 6 章では、高誘電率の誘電体である  $TiO_2$  を用いてメタマテリアルを作製することを提案し、2 次元の  $TiO_2$  立方体配列により、負の有効透磁率並びに有効誘電率が実現できることを実験的およびシミュレーションにより示している。これは、テラヘルツ領域では初めての誘電体を用いたメタマテリアルである。

以上のように、本論文はテラヘルツ領域における様々なメタマテリアル構造とその作製法を提案・実現し、今後の展開につながる多くの先駆的な結果を得ており、応用物理学、特にメタマテリアルの研究の発展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。