

自己評価報告書

平成23年 5月12日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2008～2011

課題番号：20244047

研究課題名(和文) フラクタル構造メタマテリアルによるテラヘルツ電磁波の制御

研究課題名(英文) CONTROL OF TERAHERTZ ELECTROMAGNETIC WAVES BY METAMATERIALS WITH FRACTAL STRUCTURES

研究代表者

武田 三男 (TAKEDA MITSUO)

信州大学・理学部・教授

研究者番号：20115653

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性I

キーワード：光物性

1. 研究計画の概要

メタマテリアルと呼ばれる人工物質では誘電率と透磁率が同時に負となり、物質の屈折率は負の実数となり、光は物質内へ侵入することが可能となる。このような物質内の光は、従来の正の屈折率を持つ物質の場合とは全く異なった振る舞いをする。本研究では、我々がこれまでに蓄積してきたテラヘルツ光領域でのフォトニック結晶などの微細人工構造物における電磁波局在等の光学現象に関する知識と測定技術に基づき、新規光学現象を発現するメタマテリアルの創製とその起源を解明することを目的とする。

2. 研究の進捗状況

① 「スプリットリング共振器メタマテリアルの設計・試作とテラヘルツ波伝播特性解析」

高抵抗シリコン基板に金属メッキによりスプリットリング共振器アレイを形成し、二次元メタマテリアルを作製した。テラヘルツ時間領域分光法により透過特性の詳細をしらべ、その電磁波伝播特性を議論した。透過及び反射スペクトルには磁気および電気共鳴に対応する位置に異常ピーク及びディップを確認し、電磁波の入射方向依存性からこれらのモードの伝播特性を議論した。

② 「三次元H型フラクタル構造メタマテリアルの設計・試作」

テラヘルツ領域で透明なセラミック基板に三次元微細加工により、三次元H型フラクタル構造を持つメタマテリアルを作製した。テラヘルツ時間領域分光法により透過特性し、FDTDにより局在モード

を特定した。

③ 「メタルホールアレイのテラヘルツ波透過特性の解明」

メタルホールアレイの実験結果の詳細な解析により、伝播特性を解明した。局在モードの電場及び磁場の空間分布をFDTDにより数値解析した。さらに、メタルホールアレイ表面に高分子化合物膜を張りアレイ表面の誘電率を変化させ、異常透過ピーク振動数の誘電率依存性の詳細を調べ、センシング素子の可能性を議論した。

④ 「H型フラクタル光伝導アンテナの設計試作と発振特性の解析」

金蒸着により GaAs 基板上に対称性の異なる数種類のH型フラクタル構造を持つアンテナを作製し、そのテラヘルツ波発振特性を調べた。また、FDTDにより局在モードを解析し、共鳴効果と発振特性を考察した。これにより点対称及び鏡面对称性を崩した場合にテラヘルツ波の発信特性が高まることを見出した。

3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している。

申請時における研究項目は下記の5つである。

(1) 新規メタマテリアル構造の設計・作製と電磁波局在機構の解明

(2) 共鳴モードを利用したメタマテリアルの高効率アンテナ応用への基礎研究

(3) フラクタル構造を用いたブロードバンド三次元メタマテリアルの開発

(4) 三次元H型フラクタル構造メタマテリアル光導波路の設計と透明マント効果の実証

(5) 半導体メタマテリアルを用いた光制御超高速光変調機構の解明

このうち、(1), (2), 及び(3)については、当初の目標を達成し、PRB や APL 等に発表し評価を得ている。(4)の三次元H型フラクタル構造メタマテリアル光導波路と透明マント効果の実証の設計については、三次元H型フラクタル構造を設計試作し、基本的な光学特性を確認済みである。透明マント効果の実証を残しているが、こちらは最終年度には達成できる見込みである。(5)の半導体メタマテリアルを用いた光制御超高速光変調機構の解明については、光伝導アンテナにスプリットリング共振器を接続して共振周波数を外部光により変化させることにより、発振特性を制御することに成功した。新しいアクティブな素子の原理を確認する等、当初の目標以上の成果を得ることができている。

4. 今後の研究の推進方策

(4)の三次元H型フラクタル構造メタマテリアル光導波路の設計と透明マント効果の実証を最終年度に実施するとともに、新しいタイプの三次元メタマテリアルの作製方法と試作を行う。このために、織物技術や三次元微細加工を有する研究室等との共同研究を積極的に実施する。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

1. "Fano effect of metamaterial resonance in terahertz extraordinary transmission", Xiao Xiao, Jinbo Wu, Fumiaki Miyamaru, Mengying Zhang, Shunbo Li, Mitsuo W. Takeda, Weijia Wen, & P. Sheng, Applied Physics Letters **90**, pp011911/1-3,(2011).
2. "Resonant terahertz transmissions through metal hole array on silicon substrate", Xiao Xiao, Wu Jinbo, Yuki Sasagawa, Fumiaki Miyamaru, Mengying Zhang, Mitsuo W. Takeda, Chunyin Qiu, Weijia Wen, and Ping Sheng, Optics Express **18**, pp18558-18564, (2010)
3. "Characteristics and generation process of surface waves excited on a perfect conductor surface", F. Miyamaru, M. Kamijyo, K. Takano, M. Hangyo, H. Miyazaki, and M. W. Takeda, Optics Express **18**, pp17576-17584, (2010).
4. "Characteristics of terahertz radiations emitted from fractal photoconductive antennas", F. Miyamaru, Y. Saito, M. W. Takeda, B. Hou, W. Wen, and P. Sheng, Japanese Journal of

Applied Physics **49**, pp70205/1-3, (2010).

5. "Three-dimensional bulk metamaterials operating in the terahertz range", F. Miyamaru, S. Kubota, K. Taima, K. Takano, M. Hangyo, and M. W. Takeda, Applied Physics Letters **96**, pp81105/1-3, (2010).
6. "Effect of dielectric thin films on reflection properties of metal hole arrays", F. Miyamaru, Y. Sasagawa, and M. W. Takeda, Applied Physics Letters **96**, pp21106/1-3, (2010).
7. "Emission of terahertz radiations from fractal antennas", F. Miyamaru, Y. Saito, M. W. Takeda, B. Hou, L. Liu, W. Wen, and P. Sheng, Applied Physics Letters **95**, pp221111/1-3, (2009).
8. "Coupling between localized resonance and excitation of surface waves in metal hole arrays", F. Miyamaru and M. W. Takeda, Physical Review B **79**, pp153405/1-6, (2009).
9. "Characterization of Terahertz Metamaterials Fabricated on Flexible Plastic Films: Toward Fabrication of Bulk Metamaterials in Terahertz Region", F. Miyamaru, M. W. Takeda, and K. Taima, Applied Physics Express **2**, pp42001/1-3, (2009).

[学会発表] (計 4 件)

1. "Generation process of surface waves excited on a structured perfect conductor surface", F. Miyamaru, M. Kamijyo, K. Takano, M. Hangyo, H. Miyazaki, and M. W. Takeda, European Optical Society Annual Meeting, Paris, France, 25th Oct. (2010).
2. "Terahertz response of fractal metamaterials", S. Kubota, F. Miyamaru, M. W. Takeda, M. Hangyo, K. Takano, and H. Miyazaki, International Symposium on Frontier of Terahertz Spectroscopy IV, 2010年10月20日, 長野.
3. "Terahertz response of metal hole arrays", M. Kamijyo, F. Miyamaru, M. Takeda, M. Hangyo, K. Takano, and H. Miyazaki, International Symposium on Frontier of Terahertz Spectroscopy IV, 2010年10月20日, 長野.
4. "Planar and three-dimensional metamaterials in the terahertz region" K. Takano, T. Kawabata, F. Miyamaru, S. Kuboda, M. W. Takeda, and M. Hangyo, 2010年5月30日, 筑波.

[図書] (計 1 件)

1. "フラクタルメタマテリアルによるテラヘルツ電磁波の制御", "トポロジーデザインング", 武田三男, 宮丸文章, 斎藤 祐, 編集:手塚育志, NTS, pp386-396, Chap. 5 (2009).