

学位論文の審査結果の要旨

本論文は、結合共振器系における電磁波の応答に関して、特にメタマテリアルと呼ばれる人工構造物を用いて調べている。メタマテリアルとは、サブ波長(波長よりも十分に小さい)の人工構造物を周期的またはランダムに配置させた集合体であり、それぞれ個別の構造はメタアトムと呼ばれている。メタアトムには通常、共振器を用いることが多い。共振現象に伴う電磁波の応答に対する大きな変化を利用することにより、様々な電磁波特性を得ることができる。このような共振器メタアトムを用いたメタマテリアルに関する研究は、世界中で活発に行われている。本論文でもその共振器をメタアトムとして採用しているが、その際、複数のメタアトムを近接させることにより、それらのメタアトムを電磁的に結合させる構造に関して研究を行っている。このような複数のメタアトムが結合した結合共振器系は、単体のメタアトムとは異なる電磁応答が現れることから、新たな電磁波特性を得ることができると期待されている。本論文では、そのために必要となる結合共振器メタマテリアルの基礎的な電磁波応答特性とそのメカニズムを調べている。また、従来行われていた結合共振器系メタマテリアルでは、異なる構造の複数のメタアトムを用いていることが多かったが、単一のメタアトムの配置の対称性を低下させることにより、結合共振器に特有な電磁波応答を得ることを目的としている。さらに、結合共振器系メタマテリアルの電磁波応答特性を応用につなげるために、結合共振器系メタマテリアルを用いたテラヘルツ領域における水のセンシングの可能性について調べている。

本論文で明らかになったのは以下の3点である。

1. 結合共振器系において、その電磁波の応答特性が電磁誘起透明化現象型から Aulter-Towns 分裂型に遷移するという報告が過去になされている。しかしそれらの報告では、共振器の Q 値が非常に大きい場合という近似がなされている。本論文では、比較的 Q 値の低い共振器であるメタマテリアルを用いており、従来の報告で使用されていた近似が使えない状態で、どのように電磁波の応答特性を取り扱うべきかを明らかにした。
2. これまでに結合共振器系を実現するための、様々な具体的な形状が提案され、報告されている。例えば、2種類の異なる結合共振器を近接させた構造や、1つの構造内に2つの共鳴モードが励起されるような構造(または励起方法)が提案されている。本論文では、1種類の共振器を2重周期で並べることにより、結合共振器系を実現するというこれまでにない構造での結合共振器系を提案し、理論計算や実験によって、その電磁波応答を調べた。
3. 結合共振器系をセンサー素子への応用を目指し、特に液体のセンシング応用可能性を調べた。特に、単独の共振器をセンサーに用いた場合と比較した。その結果、結合共振器を用いることによって幾分かのセンシング感度の向上が見込まれる結果を得た。

以上の結果は、世界的に見ても光学・電磁気学における新たな知見を得ているものと判断され、それ故、本論文は学位論文として認められると判断する。

公表主要論文名

1. Tsubasa Nishida, Yosuke Nakata, Fumiaki Miyamaru, Toshihiro Nakanishi, Mitsuo W. Takeda
“Observation of Fano resonance using a coupled resonator metamaterial composed of

meta-atoms arranged by double periodicity”

Applied Physics Express Vol. 9, No. 1, pp. 012201 (2016).

2. Fumiaki Miyamaru, Hiroki Morita, Yohei Nishiyama, Tsubasa Nishida, Toshihiro Nakanishi, Masao Kitano, Mitsuo Wada Takeda

“Ultrafast optical control of group delay of narrow-band terahertz waves”

Scientific Reports Vol. 4, pp. 4346 (2014).

3. Fumiaki Miyamaru, Kenta Hattori, Keiichiro Shiraga, Satoshi Kawashima, Sakiko Suga, Tsubasa Nishida, Mitsuo W. Takeda, Yuichi Ogawa

“Highly Sensitive Terahertz Sensing of Glycerol-Water Mixtures with Metamaterials”

Journal of Infrared Millimeter and Terahertz Waves Vol. 35, No. 2, pp. 198-207 (2014).