The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	光造形法による電磁波制御用フォトニック結晶の開発と応用に関する研究 Study on development of photonic crystals for control of electric magnetic wave by stereolithography and their applications
Author(s)	中川, 卓二
Citation	大阪大学, 2008, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/48624
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、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

【112】

氏　　名	中　川　卓　二（なかがわたくじ）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学　位　記　番　号	第　２２０８１　号
学位授与年月日	平成 20 年３月 25 日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当 工学研究科環境・エネルギー工学専攻
学　位　論　文　名	Study on development of photonic crystals for control of electric magnetic wave by stereolithography and their applications （光造形法による電磁波制御用フォトニック結晶の開発と応用に関する研究）
論　文　審　査　委　員	（主査） 教　授　宮本　欽生 （副査） 教　授　西嶋　茂宏　　教　授　節原　裕一　　准教授　桐原　聡秀

論　文　内　容　の　要　旨

本論文は大阪大学宮本研究室と村田製作所との共同研究の中で、光造形法を用いたフォトニック結晶に関する研究、特に光造形法をセラミック材料の位置決めに用いたフォトニック結晶の作製法とその素子の特性評価、応用面での研究結果を論じ、全８章から構成した。

第１章　本研究の背景と目的を述べた。

第２章　フォトニック結晶に関する一般論を概説した。

第３章　ラピッドプロトタイピングの一種である光造形法を概説した。

第４章　３次元的に完全バンドギャップを有する代表的なフォトニック結晶の構造はダイヤモンド構造である。この構造は FCC の様に空間での反転対称性を持たないため自己組織化等では作製が大変困難である。本研究では種々のセラミック材料を選択でき、種々の誘電率分布の形成が可能な方法として、光造形を用い誘電体を光造形樹脂中に固定する方法を開発した。そして、基本的なフォトニック結晶の特性を検討するために、原子配置に近い誘電率分布が得られる誘電体球を用いたダイヤモンド構造フォトニック結晶を作製した。これにより、計算では指摘されていたがその存在が確認されていなかったダイヤモンド構造フォトニック結晶の第８と第９バンド間の完全バンドギャップの存在を初めてジルコニア誘電体球で構成されたフォトニック結晶で確認した。そして、誘電体球が構造物に占める体積分率が完全フォトニックバンドギャップの発現を支配する事を実験とシミュレーションにより示した。また、フォトニック結晶を構成する誘電体材料の誘電率でバンド構造は異なってくる。高誘電率の酸化チタン誘電体球を光造形樹脂中に固定する方法でダイヤモンドフォトニック結晶を作製し、評価した。酸化チタンのように大きな誘電率の材料で作製された場合、一般にダイヤモンド構造で論議される第２と第３バンド間の完全バンドキャップ以外に第８と第９バンド間、第 24 と第 25 バンド間、第 54 と第 55 バンド間に完全バンドキャップが開く条件がある事を実験とシミュレーションで見出した。

第５章　電磁波の完全反射体である金属球を光造形樹脂中に固定する方法でダイヤモンドフォトニック結晶を作製し、評価した。具体的には鋼球用いたダイヤモンド構造フォトニック結晶を作製し、誘電体を用いたフォトニック結晶よりも広い完全バンドギャップの発現を確認するとともに、その発生要因を示した。

第６章　一般的にはフォトニック結晶はその作製条件でバンドギャップやバンド構図は固定されている。一方、これらを外部因子により自由に変化させる事が出来れば、応用範囲は大きく広がる。このような可変フォトニック結晶にするには、構造体の屈折率（すなわち、誘電率、透磁率）や周期構造の距離を変える事が必要である。ミリ波帯域で誘電率を大きく変化させる事は大変困難なため、フォトニック結晶の構成材料に磁性体を用いて、外部磁界の変化で透磁率を変えて制御する方法を検討した。すなわち、導波管中に欠陥層がガーネット型フェライト YIG である１次元フォトニック結晶を作製し、欠陥層で発生する局在モードを外部磁界で制御できる事を見出し、シミュレーション解析してそのメカニズムを明らかにした。
第７章　フォトニック結晶の応用例として、電磁波の反射体を上記の酸化チタン誘電体球と鋼球を用いて作製し、これらの反射体が電磁波の入射角に依存せずに反射する特長がある事を示した。
第８章　本研究の総括を記した。

論文審査の結果の要旨

本論文では電磁波をより効率的に制御するデバイスの一つとしてフォトニック結晶を取り上げ、また、作製プロセスとしては光造形法で格子となる材料の位置を定める手法を考案し、３次元で電磁波を制御できるダイヤモンド構造フォトニック結晶と、より能動的に制御できる可変フォトニック結晶の電磁波伝播特性を実験とシミュレーションで検討し、その応用を提案することを目的としている。

第１章においては、電磁波をより効率的に制御するデバイスの必要性を述べ、本研究の背景と目的を述べている。
第２章においては、１～３次元のフォトニック結晶の特徴、シミュレーション技術を解説し、フォトニック結晶に関する一般論を述べている。
第３章においては、ラピッドプロトタイピングの一種である光造形法を概説し、種々のセラミック材料を選択でき、複雑な誘電率分布の形成が可能な方法として、光造形を用い誘電体を光造形樹脂中に固定する新しい方法を提案している。
第４章においては、原子配置モデルに近い誘電率分布が得られる誘電体球を用いたダイヤモンド構造フォトニック結晶を作製し、計算では指摘されていたがその存在が確認されていなかった第８と第９バンド間の完全バンドギャップの存在をジルコニア誘電体球で構成されたフォトニック結晶で確認し、この事が誘電体球の構造物中に占める体積分率に起因する事を実験とシミュレーションにより示している。さらに、酸化チタンの様な高誘電率球で作製したダイヤモンド構造フォトニック結晶では、一般にダイヤモンド構造で論議される第２と第３バンド間の完全バンドギャップ以外に第８と第９バンド間、第 24 と第 25 バンド間、第 54 と第 55 バンド間にマルチの完全バンドギャップが開く条件がある事を実験とシミュレーションで新たに見出している。
第５章においては、電磁波完全反射体の金属球を用いたダイヤモンド構造フォトニック結晶を作製し、誘電体球フォトニック結晶よりも広い完全バンドギャップの発現を確認し、その発生要因を示している。
第６章においては、外部因子により制御する可変フォトニック結晶の一つとして構成材料の一部に磁性体（ガーネット型フェライト）欠陥層を用い、外部磁界の変化でバンドパス部分を制御する方法を検討し、実験による動作の確認と、シミュレーションによるメカニズムの解析をし、設計指針を示している。
第７章においては電磁波の反射体を上記の酸化チタン誘電体球と鋼球を用いてダイヤモンド構造フォトニック結晶で作製し、電磁波の入射角に依存しない反射体として有用な事を示した。
第８章においては本論文の総括を行っている。
以上のように、フォトニク結晶の新しい作製法を示し、誘電体球を用いたフォトニック結晶でマルチ完全バンドギャップが発現することを計算と実験で示し、また、磁性体を用いた可変フォトニック結晶の可能性を計算と実験の双方より示している。これらの新たな知見はフォトニック結晶が電磁波反射体を含めた種々の新たな電磁波制御アプリケーションに展開される元になると思われる。
よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。