

Title	Photonic Metal Crystals : Fabrication and Optical Properties
Author(s)	金子, 浩司郎
Citation	大阪大学, 2005, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/45873
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。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏 名	かね こ 浩 し りょう 金 子 浩 司 郎
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 9 4 6 7 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 17 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科応用物理学専攻
学 位 論 文 名	Photonic Metal Crystals : Fabrication and Optical Properties (フォトニック金属結晶 : 作製と光学特性)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 河 田 聡 (副査) 教 授 石 井 博 昭 教 授 谷 田 純 教 授 萩 行 正 憲

論 文 内 容 の 要 旨

フォトニック結晶は異なる誘電率の周期分布によって形成され、人工光学材料として光の放射・伝搬制御への応用が期待されている。金属を構成要素に含むフォトニック金属結晶には金属導波管にみられる cutoff 周波数に起因した広い周波数帯における光の禁制帯の形成、表面プラズモンの伝搬変調が可能な表面プラズモンバンドギャップの形成といった光学特性が生じ得る。しかしながら、そのような光学特性を持つフォトニック金属結晶作製の実現には加工技術の面で難がある。本論文では任意形状をした 3 次元フォトニック金属結晶の作製とその光学特性に関する研究を取りまとめた。

第 1 章では、これまでに報告されたフォトニック金属結晶の作製方法、光学特性とその応用について紹介した。

第 2 章では、2 光子光重合反応を応用した光造形システムの構築、そのシステムを用いた任意形状をしたフォトニック結晶の作製に関し報告した。作製した構造として、ダイヤモンド構造の炭素原子位置に球、その球を繋ぐロッドからなる複雑な格子構造を選択した。作製した構造に対する光学特性評価から、構造周期に起因した反射ピークが確認された。

第 3 章では、第 2 章で使用するフォトポリマーの屈折率向上を目的とした研究の成果をまとめた。屈折率向上のために、高い屈折率を有する金属酸化物 (TiO_2) ナノ粒子をポリマー中に分散させることを試みた。ナノ粒子を光硬化性樹脂中に分散し光造形することは困難であったため、チタンイオンを光硬化性樹脂に混入し、光造形後のポリマー中において TiO_2 ナノ粒子を析出させた。

第 4 章では、ポリマー中における金属ナノ粒子パターンからなるフォトニック金属結晶作製に関する研究成果をまとめた。集光レーザービームの走査によりポリマー中に分散した金属イオンを光還元し、3 次元的に金属ナノ粒子をパターンニングした。

第 5 章では、無電解めっき法によってポリマー周期構造を金属コートし、金属ナノシェル格子構造を作製する研究に関し報告した。表皮深さを超える金属膜厚をポリマー表面にコートし、金属のみで形成された周期構造と同じ光学特性を持つ構造を作製した。

論文審査の結果の要旨

フォトニック結晶の構成材料に金属を用いたフォトニック金属結晶は、光と金属内自由電子の共鳴効果による表面プラズモンや、メタマテリアルにみられるような自然には存在し得ない光物性に関する研究に寄与すると考えられる。これまでフォトニック金属結晶は、2次元ロッドの積み上げ、ナノ粒子の自己組織化により作製されている。しかし、そのような作製方法では限られた周期構造しか作製できない。そこで、新たな光応答現象の発生が期待できるようにデザインしたフォトニック金属結晶構造の作製方法が望まれている。本論文には、任意形状をしたフォトニック金属結晶の作製方法、および作製した構造の光学特性がまとめられている。以下に本論文における研究成果をまとめる。

(1)本論文では、2光子光重合反応を用いた作製方法により、任意形状をしたフォトニック結晶構造が作製可能であることを示している。微小球と微小球を連結するロッドからなる複雑なダイヤモンド格子構造を設計し、格子定数 $2.5 \mu\text{m}$ のフォトニック結晶構造を実現している。作製した構造の光学特性評価として、構造の透過率と反射率を測定し、波長 $2.7 \mu\text{m}$ の近赤外領域において、ブラッグ回折により透過率の低下および反射率の上昇が起こることを見出している。

(2)ポリマーのみで作製したフォトニック結晶構造では、フォトニックバンドギャップを得るのに必要な誘電率コントラストが得られない。本論文では、ポリマー構造の誘電率向上を目的とし、金属酸化物や金属ナノ粒子をポリマー中に分散している。ポリマーを形成する前の樹脂にナノ粒子を混入しても、粒子が凝集するために均一に分散させることは非常に困難である。そこで、ポリマー中においてナノ粒子をイオン状態から熱化学的反応により析出する手法を提案、実証している。

(3)2光子光重合反応によって形成した格子構造に対して無電極めっきを行い、金属周期構造を実現している。無電解めっきは、電極が不要であり低温で行うことができるので、ポリマー表面のめっきに適した方法である。めっきした金属膜の表面荒さはめっき液の pH によって、厚さはめっき液に浸す時間によって制御が可能であることを実験的に示している。ポリマーで作製したダイヤモンド格子構造に対して金属めっきを行い、複雑なマイクロ周期構造に金属コートが可能であることを実証している。

以上のように、本論文は2光子光重合反応を応用したフォトニック金属結晶の新たな作製方法を提案、実証しており、応用物理学、特にナノフォトニクス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。