

論文の内容の要旨

論文題目 二次元セラミックフォトニック結晶の作製と光学特性

氏名 島田 周

(緒言) フォトニックバンドギャップの概念が初めて提案されたのは1987年のことである。以来、フォトニック結晶は光の伝搬を自在に制御できる人工構造体として注目を集めてきた。フォトニック結晶の研究は、理論計算に先導されて進み、実際に様々な構造を持つフォトニック結晶が作製、評価されている。特に、高度に発達した半導体リソグラフィ技術を用いた、光通信波長域で動作するフォトニック結晶の作製とその光学特性は多く研究されている。また、可視領域にバンドギャップ構造を持つフォトニック結晶も、光集積回路の実現に重要な役割を果たすことが期待されている。フォトニック結晶の特性は構造体の誘電率差が大きいほど顕著である。しかし可視領域にバンドギャップを持ち誘電率差の大きな二次元フォトニック結晶の報告は我々の知る限りない。本研究の目的は、高屈折率で可視領域で透明であるセラミック材料を用いて、可視領域にバンドギャップを持つと予測される二次元フォトニック結晶の作製法を確立することである。また作製された二次元フォトニック結晶の光学特性の評価を目的とした。

(実験方法) フォトリソグラフィ技術あるいは電子線リソグラフィ技術を用いて、Si単結晶または電子線レジストに微細構造を作製して鋳型とした。この鋳型に金属アルコキシドを用いたゾル溶液を充填して乾燥させて前駆体を得た。このとき、乾燥による収縮に伴う亀裂の発生を抑制するために種々の有機物の添加剤としての効果を調査した。鋳型を剥離あるいは溶解して、有機無機複合体である前駆体からなる二次元周期構造体を得た。基板上に作製した前駆体の微細構造を焼成してTiO₂あるいはBaTiO₃セラミックからなる二次元微細構造を作製した。作製したTiO₂、またはBaTiO₃のセラミックス柱からなる二次元三角格子フォトニック結晶のバンド特性を、面内反射測定、面外反射測定、透過測定の方法で評価した。

(結果及び考察) 本研究の結果、以下の結論を得た。

1. TiO₂ゾル溶液にポリエチレングリコール(PEG、 $M_w=400$)を添加することによって、亀裂の発生を防いでTiO₂-PEG複合体をSiまたは電子線レジストで作製した微細な鋳型に隙間なく充填することができた。この鋳型を剥離することにより、TiO₂-PEG複合体からなる微細な周期構造を作製できた。またドライエッチング技術と鋳型の溶解により、基板上にこの周期構造を作製した。Si基板上に作製した、この周期構造を焼成することで、周期350-500 nm、半径55-70 nm、高さ500-600 nmのTiO₂セラミックス柱からなる二次元フォトニック結晶を作製できた。773 Kで焼成したセラミックス柱は粒径~9 nmのアナターゼ微結晶から構成されていた。柱の構造は1173 Kで焼成した後も保持されており、ルチル微結晶から構成されるフォトニック結晶の作製ができた。
2. BaTiO₃ゾル溶液にPEG ($M_w=400$)を添加することによって、亀裂の発生を防いでBaTiO₃-PEG複合体を電子線レジストで作製した微細な鋳型に隙間なく充填することができた。またドライエッチング技術と鋳型の溶解により、BaTiO₃-PEG複合体からなる微細な周期構造をMgO単結晶基板上に作製できた。この周期構造を焼成することで、周期450 nm、半径85 nm、高さ500 nmのBaTiO₃セラミックス柱からなる二次元フォトニック結晶を作製できた。1073 Kで焼成したセラミックス柱は粒径~13 nmの正方晶の微結晶から構成されていた。
3. 作製したフォトニック結晶は可視領域にバンドギャップを持つことが示唆された。メソポーラス膜上に作製した周期350 nm、半径60 nm、高さ600 nmのTiO₂セラミックス柱からなる二次元三角格子のフォトニック結晶では、TM、TEの両偏光に対して、 Γ -M、 Γ -K方向で1.8-2.0 eV付近にバンドギャップを持つことが強く示唆された。