

審査の結果の要旨

氏名 今川 成樹

誘電体が光の波長程度の周期性をもって配列した人工的な構造体である「フォトニック結晶」では、結晶構造をうまく設計することにより、特定の周波数領域の光の伝播をあらゆる方向で禁止するフォトニックバンドギャップ(PBG)が実現する。そのようなPBGをもつフォトニック結晶中に欠陥を導入することにより、その欠陥の微小領域にギャップ内周波数の光を閉じ込めることができる。このような微小領域への光の閉じ込め効果を利用すれば、極小な光共振器、急峻な曲げに対してもロスのない光導波路、極小なレーザー等の従来実現不可能であった光制御素子が実現可能となり、さらにはそれらを高密度で集積した光集積回路の実現も視野に入れて研究が進められている。

従来、PBGの形成は周期的結晶格子による光のブラッグ散乱に起因するものと考えられていたが、最近、周期的結晶格子を持たないアモルファス構造であるにもかかわらず、PBGを形成する構造が計算機シミュレーションにより発見された。これは、ダイヤモンド結晶構造と同様な4配位のネットワークからなるアモルファス構造で、フォトニック・アモルファス・ダイヤモンド(PAD)とよばれている。本研究はPADの光伝播に関わる基本的な特性を計算機シミュレーションとマイクロ波透過実験により明らかにしたものである。本論文は8章からなる。

第1章は序論であり、まずフォトニック結晶とその応用例、フォトニックバンド構造の概念を説明している。続いて、本研究の対象であるPADの構造を説明し、これがPBGを形成することを明らかにした計算機シミュレーションによる研究について述べている。

第2章では、本研究で用いた計算方法と実験方法の概要を説明している。計算方法ではFinite Difference Time Domain(FDTD)法と、これを用いた光固有状態の周波数分布の計算方法について説明し、実験方法では粉末焼結積層造形法を用いたマイクロ波帯サイズの試料作製とネットワークアナライザを用いた電磁波透過スペクトル測定について説明している。

第3章では、マイクロ波透過スペクトル測定によりPADがPBGを形成することを実験的に示した研究について述べている。粉末焼結積層造形法により作製

した PAD について種々の入射方位、入射偏光で測定したマイクロ波透過スペクトルに共通周波数域で透過率の落ち込みがみられ、これが PBG によるものであることが示されている。また、この PBG は完全に等方的であることが示されている。このような等方的な PBG 形成は、従来のフォトニック結晶では実現不可能な PAD の大きな特長の一つであることが述べられている。

第 4 章では、PAD のフォトニックバンド内周波数の光伝播特性について調べた結果が示されている。測定したマイクロ波透過スペクトルからバンド端近傍の周波数の電磁波が拡散伝播することが明らかになっている。また、計算機シミュレーションによりバンド端の非常に狭い周波数領域において光局在状態が形成していることが示されている。

第 5 章では、PAD における PBG 形成機構について述べている。バンド端近傍の光固有状態の電場集中度を計算し、従来のフォトニック結晶の PBG 形成機構の説明に用いられる誘電体バンド・空気バンドの描像が当てはまることを明らかにしている。また、その描像を実現するために PAD 構造が持つネットワークの連続性と、誘電体領域・空気領域の双対性が重要であることを指摘している。

第 6 章では、PAD に点欠陥を導入することにより光閉じ込めが実現する可能性について検討している。任意の誘電体ロッドの屈折率を低くすることにより形成される欠陥モードについて、そのモード体積と Q 値を計算している。その結果、PAD により従来のフォトニック結晶と同程度の強い光閉じ込めが実現可能であることが示されている。

第 7 章では、誘電体球で構成した PAD における PBG 形成について述べている。孤立した誘電体球で構成した PAD における光固有状態の周波数分布の計算から、誘電体球で構成した PAD では、誘電体ロッドで構成した PAD とは異なる周波数領域で PBG が形成することが示されている。この PBG の形成機構は固体電子論における強束縛モデルと同様なモデルで説明できることが示されている。

第 8 章は本論文の総括である。

以上を要するに、本研究では、PAD のようなアモルファス構造でも PBG が形成し得ることを初めて実験的に証明し、これを利用して強い光閉じ込めができることを示している。また PAD の PBG が従来のフォトニック結晶では実現不可能な高い等方性をもつことを示している。さらに PAD のバンド内周波数の光伝播の特徴を明らかにしている。これらの成果はフォトニック物質による PBG の形成機構や光局在状態の形成機構についての新たな知見を与え、光制御技術の更なる発展に寄与するものである。以上のように、本論文の光制御工学、材料光学への寄与は大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。