

Title	チューナブルフォトニック結晶とフォトニック結晶の拡張概念に関する理論研究
Author(s)	武田, 寛之
Citation	
Issue Date	
Text Version	none
URL	<a href="http://hdl.handle.net/11094/44978">http://hdl.handle.net/11094/44978</a>
DOI	
rights	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

氏名	武田寛之
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 18770 号
学位授与年月日	平成 16 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科電子工学専攻
学位論文名	チューナブルフォトニック結晶とフォトニック結晶の拡張概念に関する理論研究
論文審査委員	(主査) 教授 吉野 勝美 (副査) 教授 栖原 敏明 教授 尾浦憲治郎 教授 森田 清三 教授 八木 哲也 助教授 尾崎 雅則

### 論文内容の要旨

本論文は、光の波長程度の周期構造を有するフォトニック結晶と外場でその性質が変化する物質とを複合化したチューナブルフォトニック結晶の理論的解析と、フォトニック結晶の研究で用いられた手法を様々な対象に拡張して適用することによって得られる新しい概念の理論研究をまとめたものであり、本文 11 章から構成されている。

第 1 章では、フォトニック結晶の代表的な理論解析法、平面波展開法、FDTD 法の概略を述べ、フォトニック結晶に関するこれまでの研究を概観し、本研究の目的と意義を明らかにしている。

第 2 章では、液晶浸透オパール、反転オパールのチューナブルフォトニックバンド構造を理論的に検討し、光学的に複屈折を有するネマティック液晶をオパールや反転オパールの空隙に浸透すると、フォトニックバンド構造で見られる縮退が解けることを理論的に見出し、その結果、反射スペクトルに複数の新しい弱いピークが現われることを示している。

第 3 章では、液晶を用いた二次元フォトニック結晶における屈折を理論的に検討し、二種類の光、つまりバンドエッジでの周波数とバンドエッジから少し離れた周現数の光に対するチューナブル屈折効果を見いだしている。

第 4 章では、液晶の異方性による二次元フォトニック結晶での非結合モードの消滅を理論的に検討し、液晶の配向ベクトルを回転させることにより平面波で励起することが出来なかった非結合モードが消滅することを見いだしている。

第 5 章では、液晶を線欠陥として用いた空気孔から成る二次元三角格子フォトニック結晶の Y 型導波路における光伝搬のチューナビリティを理論的に検討し、Y 型導波路における光伝搬の方向を制御することができることを示している。

第 6 章では、液晶の面欠陥を持った二次元フォトニック結晶における電磁波の TE、TM モードの結合を理論的に検討し、TE、TM モードの結合は電磁波の群速度がゼロになる周波数、特に面欠陥モードで強く生じること、この系における液晶の配向ベクトルの制御により透過率の鋭いチューナビリティやスイッチングが可能なることを理論的に明らかにしている。

第 7 章では、銅酸化物高温超伝導体からなる二次元フォトニック結晶を理論的に検討し、磁場、温度などによるチ

ューナビリティを実現することが可能であること、それらは London 侵入長の温度依存性や、London 侵入長、臨界温度の磁界依存性に由来することを明らかにしている。

第 8 章では、弾性体中の二次元フォトニック結晶の特性を理論的に検討し、格子間隔が弾性体の影響で外部振動により周期的に変化することからチューナブルフォトニック結晶が可能となることを理論的に示している。

第 9 章では、温度に依存する半導体から成る二次元フォトニック結晶の Y 型導波路における電磁波伝搬を理論的に検討し、電磁波伝搬の方向が制御できることを明らかにしている。

第 10 章では、二次元正方格子減速材周期構造の熱中性子拡散を理論的に検討し、熱中性子拡散が生じない減衰定数領域が現われ、この拡散バンドギャップはロッドの半径や格子定数に強く依存することを明らかにしている。

第 11 章では第 2 章から第 10 章までの研究で得られたチューナブルフォトニック結晶とフォトニック結晶の拡張概念に関する理論研究の結果をまとめ、本研究の結論を述べている。

## 論文審査の結果の要旨

光の波長オーダーの周期構造を有するフォトニック結晶は 21 世紀のオプトエレクトロニクスに画期的な進展をもたらすものと期待されているが、具体的なフォトニック結晶の活用法についてはまだ十分に検討がなされていない。本論文ではその性質が電界、磁界、温度などで制御可能な物質をフォトニック結晶に取り込むことによってチューナブルフォトニック結晶が実現できること、更にフォトニック結晶で適用された方法、概念が様々な対象に適用できることを理論的に明らかにしたものであり、得られた多様な成果を要約すると次の通りである。

- (1) 液晶浸透オパール、反転オパールにおいて、fcc 構造の実空間 (1, 1, 1) 方向に光が入射する時、液晶の異方性により通常のフォトニック結晶では縮退していたフォトニックバンド状態が消え、新しい反射ピークが生じることを理論的に明らかにしている。
- (2) 液晶を用いた二次元フォトニック結晶において、異方性を持った液晶のために、フォトニック結晶中に高い対称性が消え、入射光は等方媒質からなるフォトニック結晶とは異なる屈折角でフォトニック結晶を伝搬すること、バンド端に近い周波数とバンド端から少し離れた周波数の二種類の光に対してチューナブル屈折効果があることを理論的に明らかにしている。
- (3) 液晶の異方性を持った二次元フォトニック結晶において、液晶の配向ベクトルを回転させることにより波数ベクトル空間での周波数の鏡面对称性が消滅し、外部平面波により励起できなかった非結合モードの消滅を引き起こすことを理論的に明らかにしている。
- (4) 液晶を線欠陥として用いた空気孔から成る二次元三角格子フォトニック結晶の Y 型導波路において光伝搬のチューナビリティが実現できること、すなわち、特定周波数の光に対して光の遮断、右側伝搬、両側伝搬、左側伝搬が可能となることを理論的に明らかにしている。
- (5) 液晶の面欠陥を持った二次元フォトニック結晶における電磁波の TE、TM モードの結合を理論的に検討し、TE、TM モードの強い結合は電磁波の群速度がゼロになる周波数、特に TM モードにおける二つの面欠陥モードで生じることを明らかにしている。
- (6) 銅酸化物高温超伝導体からなる二次元フォトニック結晶において、温度や磁界によりフォトニックバンドギャップは増加し、ミッドギャップは減少すること、それらの性質は London 侵入長の温度、磁界依存性によるものであることを理論的に明らかにしている。
- (7) 弾性体中の二次元フォトニック結晶において、外部振動によりフォトニックバンド構造は大きく変化し、バンドギャップは周期的に開閉することを理論的に明らかにしている。
- (8) 温度に依存する半導体から成る二次元フォトニック結晶の Y 型導波路における電磁波伝搬を理論的に検討し、プラズマ周波数付近の光に対する半導体の屈折率が温度により変化するので、光伝搬の方向を制御することができることを明らかにしている。
- (9) 二次元正方格子減速材周期構造においては減衰定数に熱中性子拡散が生じない拡散バンドギャップが現われる

ことを理論的に見いだしている。

以上のように本論文は様々なタイプのチューナブルフォトニック結晶が可能であること、フォトニック結晶の概念と手法を多様な対象に適用できることを理論的に見いだしており、電子工学に寄与するところ大である。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。