

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18760254
 研究課題名（和文） フォトニック結晶構造を有する波長変換素子と光スイッチの設計に関する基礎研究
 研究課題名（英文） Study on designs of wavelength converter and optical switch composed of photonic crystal structure
 研究代表者
 佐藤 弘明（SATOHI HIROAKI）
 静岡大学・電子工学研究所・助教
 研究者番号：00380113

研究成果の概要：

材料の非線形光学効果や、半導体への外部直流磁場印加による伝搬光の偏波面回転特性を積極的に導入したフォトニック結晶構造の機能性光波素子への可能性を検討した。微細構造や高機能デバイスとしての実現への困難性は依然として残されている。しかしながら本研究課題には、素子を実現するための必要条件や構造最適化について検討し、新たな課題や展開への知見を得るに至った。一方で光波解析一般の事項として、最近の計算機資源でもシミュレーションによる特性予測は困難となる場合が多く、シミュレーション手法の効率化も望まれる。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	800,000	0	800,000
2007年度	1,000,000	0	1,000,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	270,000	2,970,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：(分科) 電気電子工学、(細目) 電子デバイス・電子機器

キーワード：フォトニック結晶、光デバイス・集積化、波長変換、光スイッチ

1. 研究開始当初の背景

材料の機能性を利用したフォトニック結晶デバイスのシミュレーション[研究業績]は、国内外においてもここ4年程で活発になってきた。特に非線形光学効果を利用したフォトニック結晶構造を有する波長変換の検討は非常に活発に行われていた。また、本研究課題で取り扱う光スイッチのように、磁気的な現象を利用する磁性フォトニック結晶デバイスの検討も注目され始めており、種々の媒質による応用への分野は多岐に渡るようになっていた。

2. 研究の目的

フォトニック結晶が期待される超微細、超高速、極低パワーの光システムを構築するに当たって必要不可欠なコンポーネントを検討した。具体的には、材料の機能性を積極的に利用した素子として、(1)光記録用短波長光源等としての応用が期待される波長変換素子、(2)光論理回路を構成する光スイッチ、の2項目について、新たに提案することを目的とした。

3. 研究の方法

検討したフォトニック結晶光デバイスの基本特性は、凝縮節点空間回路網法を用いた電磁界シミュレーションによる評価を基本とした。また、媒質の機能性が利用可能な必要条件を本研究課題によって調査した。

4. 研究成果

まず、材料の非線形光学効果を利用したフォトニック結晶構造の波長変換素子に関して説明する。この場合、効率的な波長変換を実現するためには、(1)入射光と新たに発生した第2高調波との間に位相整合条件を満たすこと、(2)第2高調波のみを出力するための複合型導波路構造を利用しているため、2つの導波路の接続効率（第2高調波成分）を高めることが重要で、本研究の主な課題としていた。その結果、本研究で考えているような、導波路が真空で構成されている場合、入射光と第2高調波のエネルギー結合が導波路内部で行われないので、位相整合を実現することは困難であることが示された。すなわち導波路部分が非線形光学効果を有する媒質の挿入を要し、その上で位相整合を議論すべきである。その場合の特性や製作上の困難性は引き続き問題として残っている。また、複合型導波路構造の接続効率は矩形型、円形型およびテーパ型の接続部を検討し、テーパ型の接続効率が最も高いことがわかっている。テーパの幅が緩やかに狭まる構造によって出力される第2高調波のパワーが向上する。つまりはインピーダンス不整合の全体量を減少させて、広い帯域に渡って高効率の接続を行う、従来の高周波回路理論と大きな相違は無いことが示された。その結果、波長変換素子に限らず、複合導波路構造を利用すれば、複数の波長信号を扱うフォトニック結晶光回路を実現できる可能性を示している。本研究により提案することができた波長変換素子は、他のフォトニック結晶波長変換方式と比べて構造や作製が複雑となるものの、フォトニック結晶特有の良好なフィルタ特性を用いるので、SN比を高く取れることを期待している。

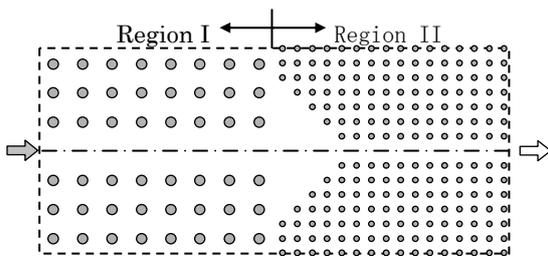


図 1. フォトニック結晶波長変換器の構造

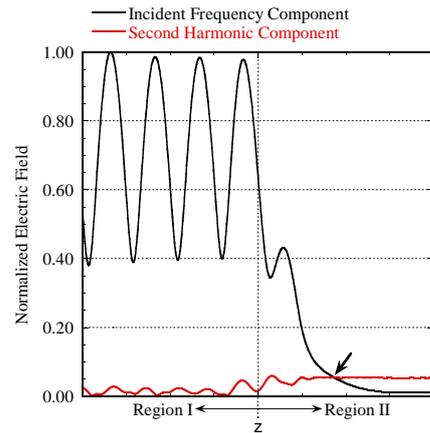
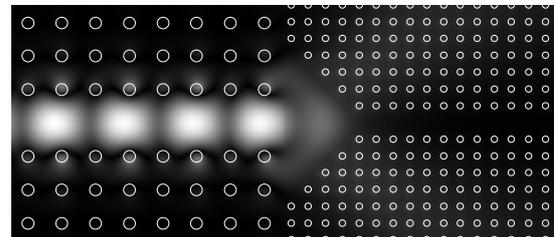
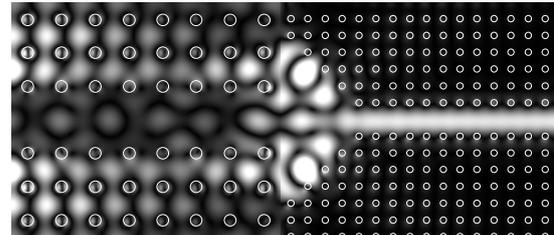


図 2. 入力光に対し2倍の周波数の光を出力するフォトニック結晶波長変換素子の動作



(a) 入射波長成分



(b) 第2高調波成分

図 3. 電界強度分布。入力光に対し、ほぼ第2高調波成分のみが出力されている。

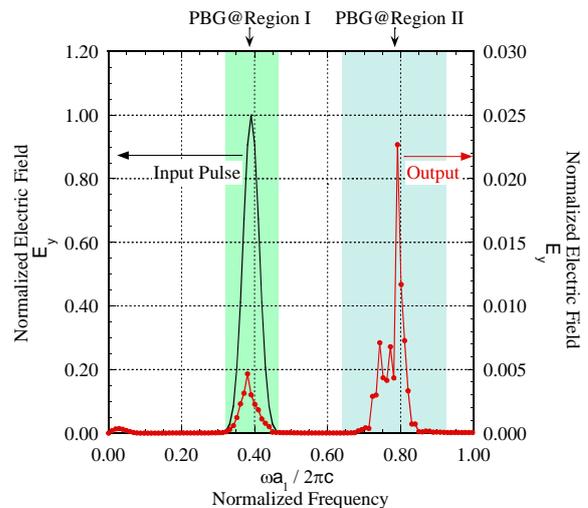


図 4. パルス入射に対する出力パルス。周波数2倍の帯域のパルスが出力されている。

次に、外部直流磁場印加による磁化プラズマを利用した光スイッチについて説明する。磁化プラズマを利用すると、電磁界を減衰させる周波数のピークを直流磁場の強度によって変化させられ、2光波の入力に対して一方のみを消光することが可能となる。こちらの検討課題は印加する外部直流磁場の印加方式に関する検討が重要であった。ところが、微細領域に大きな直流磁場を発生させることは代表者が考えていたほど容易ではないことがわかってきた。例としては、コイル状のカーボンナノチューブ等を何らかの形で多数配列させられるか等の検討を行ったが、その制御等の有力な手法を得られていないことから、代表者は磁場印加方式のターゲットを絞れていない。したがって本研究ではシミュレーションによる検討を主としたものの、そのデバイスモデルの具現化に至っていない。特性評価としては磁場印加のON/OFFに対するスイッチングの応答速度を検討し、印加領域のサイズや磁場強度に対する依存性を評価できた。

光コンポーネントとして重要な役割を担う波長変換素子と光スイッチについて、フォトニック結晶構造と材料の機能性を利用して構成できることを本研究で示した。この成果を基に、今後さらに展開していきたい。また光波解析一般の事項として、最近の計算機資源でもシミュレーションによる特性予測は困難となる場合が多く、シミュレーション手法の効率化も望まれる。

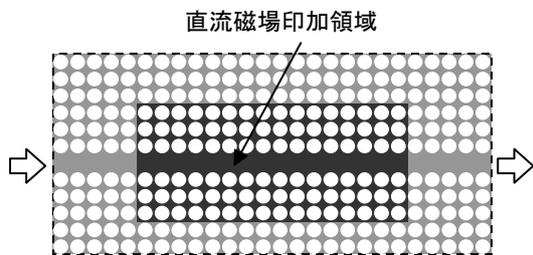


図 5. フォトニック結晶光スイッチの構造。導波路付近に直流磁場を外部から印加する。

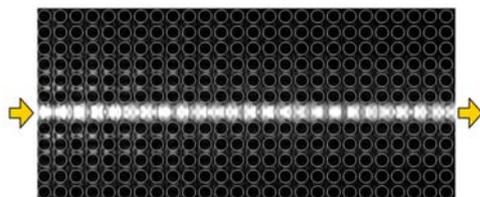


図 6. 2光波入力、外部直流磁場印加なしの応答。2光波ともに出力される

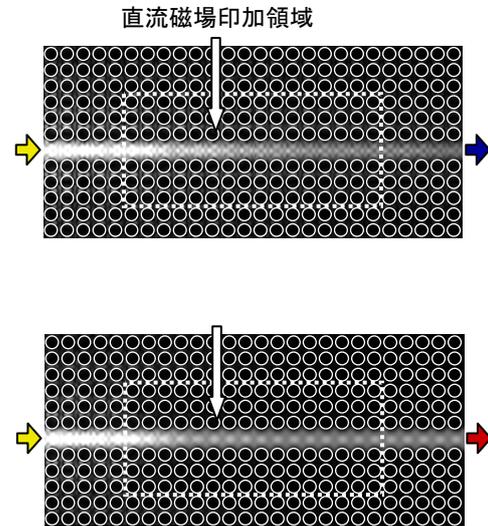


図 7. 2光波入力の光スイッチ。外部直流磁場強度を変化させて出力光の波長を選択する。

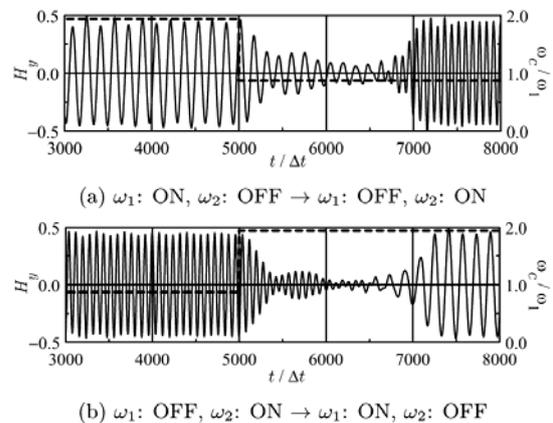


図 8. 出力ポートの磁界の時間波形。外部直流磁場強度を切り替えて出力する信号の波長（周波数）をスイッチさせている。スイッチング時間は数十周期程度で、波長 $1.5\mu\text{m}$ の光信号では、 $50\sim 500\text{fs}$ に相当。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 1 件)

- (1) H. Satoh and H. Inokawa, “Analysis of 2D Photonic Crystal Frequency Converter with Nonlinear Dielectrics and Compound Waveguide Structure by Condensed Node Spatial Network Method,” *Inter-Academia* 2007, Hamamatsu, Sep. 2007.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 弘明 (SATOHI HIROAKI)
静岡大学・電子工学研究所・助教
研究者番号：00380113

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし