

任意タイミング読み出し可能光バッファを目指したフォトニック結晶光回路の開発 (052103006)

Development of photonic crystal optical circuit for the optical buffer memory

研究代表者

山本宗継 産業技術総合研究所 光技術研究部門

Noritsugu Yamamoto, Photonics Research Institute, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

研究分担者

岡野 誠、鄭 錫煥

Makoto Okano and S.H. Jeong

産業技術総合研究所 光技術研究部門

Photonics Research Institute, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

研究期間 平成 17 年度～平成 19 年度

本研究開発の概要

本研究では、光バッファメモリに必要なフォトニック結晶デバイスの開発を行った。想定する光バッファメモリは、光パルス列を蓄積する光リング導波路と、リング導波路への入出力を制御する方向性結合器スイッチから構成される。光スイッチに関しては、偶モードにフラットバンド構造を持った変形フォトニック結晶方向性結合器を考案し、数値解析によりデバイス長が $1/25$ になることを示した。実際に構造を試作しフラットバンド構造が実現可能であること実証、さらに温度制御によりスイッチング動作を実現した。リング導波路については、60 度曲がり導波路から構成されるフォトニック結晶光リング導波路を試作、リング共振動作を得た。曲がり部分を自由曲線化することにより損失の低減を行った。最後に光スイッチとリング導波路を組み合わせあわせ、バッファリング動作の元となる可変 Q 値動作の実現に成功した。

Abstract

We developed photonic crystal devices for optical buffer memory, which consists of a ring waveguide storing optical pulses and an directional coupler type switch. We proposed the ultra short photonic crystal optical switch which has a special eigen mode with flat frequency region and have achieved switching operation of actual device. Optical ring resonator with low loss free-curved bend has been developed. These devices have been combined into one ring resonator device and we have achieved variable Q operation, which is primitive buffer device.

1. まえがき

情報通信需要に応えるために、光通信の波長多重化、多値符号化などにより通信路の高ビットレート化が進められている。その一方で、現状では各通信路をつなぐ通信ノードでは高速ビット列を一旦電気信号に変換した後、送出する通信路を決定し、ビット列を再度高速光信号に変換して送出を行っている。通信速度のさらなる高速化のためには、通信ノードにおける光・電気・光変換がボトルネックとなる。このボトルネックを避けるためには光のままでビット列を保持する光バッファメモリの実現が不可欠である。そこで、本研究では光バッファメモリの実現を目指したフォトニック結晶回路技術の開発を行った。

2. 研究内容及び成果

本研究では図 1 に示すような光バッファ回路を目指して研究を行った。このデバイスは光パルス列を蓄積するリング状導波路と入出力用の方向性結合器型光スイッチ (DCSw) から構成される。このデバイスは以下の要領でバッファメモリ動作を行なう。まず、光スイッチを入出力導波路とリング導波路とを接続する状態(cross 状態)にする。入射パルス列はリング状導波路に導かれる。その後、光スイッチを切り離れた状態(bar 状態)にすると、光パルス列はリング導波路中を周回する。光パルス列を取り出したいタイミングで光スイッチを cross 状態にすると、リング状導波路から出力ポートへと光パルス列を取り出すことができる。このデバイスを実現するために、本プロジェクトでは主に方向性結合器スイッチとリング状光導波路の開発を行なった。

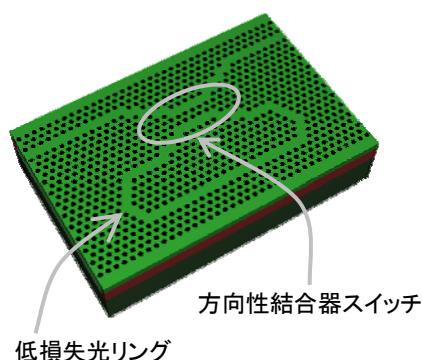


図 1: フォトニック結晶光バッファメモリの模式図

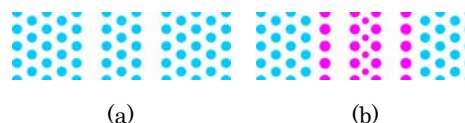


図 2: (a) 通常のフォトニック結晶方向性結合器構造。(b) 我々の提唱するフラットバンド方向性結合器構造。赤い部分の円孔サイズ・位置を変化させることにより、固有モードのうちの一つにフラットバンドを持たせることによりスイッチング長を劇的に短縮できる。

我々の提唱する新型方向性結合器(PC-DC)スイッチの模式図を図2に示す。通常のPC-DC(図2a)に比較して、新型PC-DC(図2b)では二つの固有モードのうち偶モードに周波数一定の領域(フラットバンド)を形成し、スイッチングに要するデバイスの長さ(スイッチング長)の短縮を行うことが出来る。実際に試作した構造を図3に示す。厚さ190nmのGaAs薄板中に半径113nmの空気円孔を390nm周期の三角格子形状に配列したフォトニック結晶を基本とし、各デバイスを形成している。直線導波路は円孔を一列なくした線欠陥導波路(1W導波路)とし、方向性結合器部分は2本の1W導波路を3列の円孔を挟んで並列させたものを基本に中心円孔列の半径を78nm、1W導波路内側円孔列の半径を117nm、配置を中心より97.5nmシフトさせ、外側円孔列の半径を125nm、中心より97.5nmシフトしたものである。

この構造に対して屈折率の変動を与えることができればスイッチング動作を行うことができる。屈折率の変動方法としては量子構造の非線形現象や、光励起によるキャリアプラズマ効果など種々の方法が考えられる。今回はスイッチング動作のファーストトライとして試料全体をパルチエ素子で加熱することで、熱光学効果による屈折率変調を与えた。方向性結合器部分の長さを600周期(234 μ m)とした試料の測定結果を図4に示す。方向性結合器の上側導波路から光を入れて温度を24度(図4(b))、27度(図4(c))、29度(図4(d))に変化させたところ、その光出力は最初上から出てくる状態(bar状態)であったものが、下から光が出てくる状態(cross状態)へと変化している。これはより光路切り替えスイッチが実現で来ていることを示している。

同じ長さをもつ円孔半径、位置シフトのない通常型フォトニック結晶方向性結合器を用いてスイッチング実験を行ったところ、スイッチングが見られなかった。温度変化による透過スペクトルのシフト量から見積もると、スイッチングを行うためには29倍の長さのデバイスか、もしくは29倍の温度変化を必要とすることがわかった。また、同時に長さ12a(長さ4.68 μ m)の試料に対してもスイッチング動作を実現している。

バッファメモリを構成するもう一つの要素であるリング状導波路の関して述べる。まず、三角格子フォトニック結晶でよく用いられる60度曲がりを用いてリング導波路を試作し、リング共振特性を得た。さらに曲がり導波路を我々の考案した自由曲線導波路へと置き換え、低損失化を図った。前述のスイッチと組み合わせ、バッファリング動作の元となる可変Q値動作を実現した。

3. むすび

光バッファメモリ構造として、リング導波路と入出力用スイッチからなる構造を提案し、各部をフォトニック結晶により実現した。光スイッチは特殊なバンド構造を有する

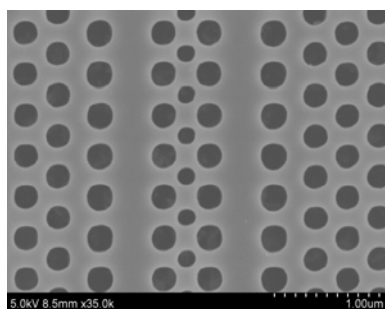


図3: 試作した方向性結合器スイッチのSEM像

構造を考案し、劇的にデバイス長を短縮、実際にスイッチング動作を行った。リング導波路は低損失化を図る自由曲線曲がり導波路を考案し、リング共振特性を得た。両者を組み合わせ、バッファリング動作につながる可変Q値動作を実現した。

【誌上発表リスト】

- [1] Noritsugu Yamamoto, Yoshinori Watanabe, and Kazuhiro Komori, "A Design of the Photonic Crystal Directional Coupler with a High Extinction Ratio and a Short Coupling Length", Japanese Journal of Applied Physics, vol. 44, No. 4B, pp. 2575-2578 (2005/4)
- [2] Noritsugu Yamamoto, Toru Ogawa, and Kazuhiro Komori, "Photonic crystal directional coupler switch with small switching length and wide bandwidth", Optics Express, vol. 14, pp. 1223-1229 (2006/2)
- [3] S.H. Jeong, Noritsugu Yamamoto, Jun-ichiro Sugisaka, Makoto Okano and Kazuhiro Komori, "GaAs-based Two-Dimensional Photonic Crystal Slab Ring Resonator consisting of a Directional Coupler and Bent Waveguides", Journal of the Optical Society of America B Optical Physics, vol. 24, pp. 1951-1959 (2007/8)

【申請特許リスト】

- [1] 山本宗継、フォトニック結晶方向性結合器、日本、H17/11/14

【登録特許リスト】

- [1] 山本宗継、小川徹、方向性結合器スイッチ、米国、H17/08/24、H18/7/5、7123797

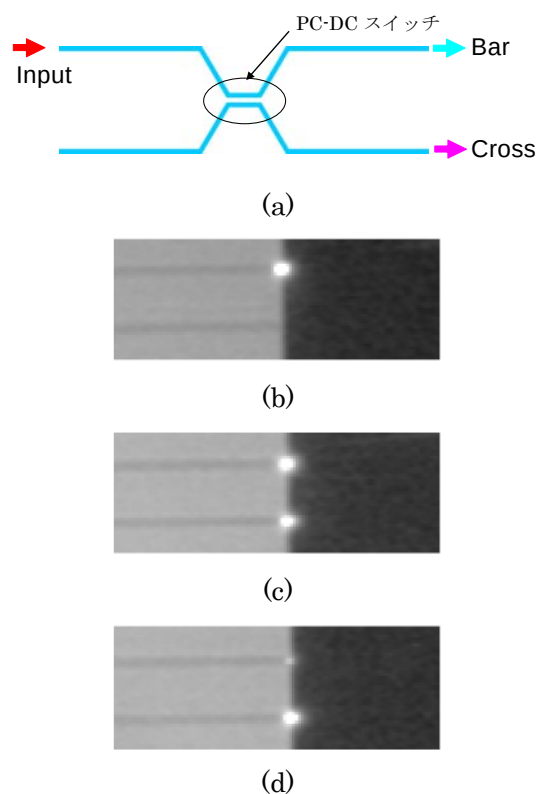


図4 スwitching実験結果。(a)実験デバイスの模式図と(b) 24℃, (c)27℃, (d) 29℃での光出力の様子。5℃の温度変化でスイッチングを実現