

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 22 日現在

機関番号：15401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2012

課題番号：22656084

研究課題名（和文） 磁気光学フォトニック結晶を用いた超低電圧光スイッチの研究

研究課題名（英文） Study of Optical Switches Operating at Ultra-Low Voltages Using Magneto-Optic Photonic Crystals

研究代表者

横山 新 (YOKOYAMA SHIN)

広島大学・ナノデバイス・バイオ融合科学研究所・教授

研究者番号：80144880

研究成果の概要（和文）：まずシリコン(Si)基板を用いてフォトニック結晶光共振器を作製する技術を開発し、共振波長 1502.9nm、Q 値 75000 を得た。次に磁気光学材料であるガドリニウムガリウムガーネット($Gd_3Ga_5O_{12}$:GGG) 基板を Si 基板に埋め込みフォトニック結晶を作製する技術を開発した。磁気光学効果による光スイッチについては、Si リング光共振器に GGG 粉末を吸着させ、磁場印加による共振波長のシフトを観測した。

研究成果の概要（英文）：Firstly the fabrication technology of photonic crystal resonator was developed using silicon (Si) wafer. And the quality factor of 75,000 was obtained at a resonation wavelength of 1502.9 nm. Next, the fabrication technology of photonic crystal using magneto-optic material, gadolinium gallium garnet ($Gd_3Ga_5O_{12}$: GGG), was developed by embedding the GGG substrate in the Si wafer. Concerning the magneto-optic switches, the GGG particles are absorbed on the Si ring resonator and the resonation-wavelength shift due to the magnetic field was observed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	0	1,500,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	480,000	3,580,000

研究分野：半導体工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード： フォトニック結晶、磁気光学効果、ガドリニウムガリウムガーネット、シリコンリング光共振器、電子ビームリソグラフィ

1. 研究開始当初の背景

情報社会の礎を成すコンピュータの心臓部マイクロプロセッサのクロック速度が頭打ちになりつつある。その原因は、金属配線の信号遅延と消費電力にある。この問題を克服するために、光配線をLSI内に導入する研究が、

世界的に活発に行われている。光配線LSIが実用化できれば、複数のプロセッサを並列で動作させて処理速度をあげるマルチコア方式とあいまって、コンピュータの処理速度が格段に上がり、情報社会に計り知れない恩恵をもたらすことが期待される。

2. 研究の目的

最近、磁場を利用した高密度メモリ、MRAM (Magnetic RAM) やスピントランジスタなどが注目されており、磁性体を利用した新しい集積回路に対する展望が拓けつつある。本研究では、磁気光学材料として、我々の研究グループで実績のあるビスマス鉄ガーネット ($\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$:BIG) などを用いて、本研究所の充実した最先端半導体微細加工設備・技術を駆使して、mV レベルで動作する極低電圧光スイッチを実現する研究を行う。フォトニック結晶の光学バンドギャップ付近で光速が遅くなることを利用すれば、実質的な磁気光学効果が大きくなり、より高性能な光スイッチが実現でき、光配線 LSI に組み込み可能な超小型低電力光スイッチが期待できる。

3. 研究の方法

本研究では、磁気光学材料を用いたフォトニック結晶を作製し、これを用いた光スイッチを実現する研究を実施する。

- (1) まず最初に微細加工技術の習熟した Si 基板を用いてフォトニック結晶光共振器の作製技術を開発する。
- (2) 次に磁気光学材料を用いてフォトニック結晶及びフォトニック結晶光共振器の作製技術を開発する。
- (3) さらに、磁気光学材料を用いた光スイッチの作製および測定技術を開発する。

4. 研究成果

(1) まず最初に微細加工技術の習熟した Si 基板を用いてフォトニック結晶光共振器の作製技術を開発した。図 1 にフォトニック結晶の作製プロセスを示す。電子ビーム露光とドライエッチングより SiO_2 マスクを作製し、これを用いて Si をドライエッチングしフォトニック結晶を作製した。レジストにはポジ型の ZEP520A を用いた。レジストをマスクとして直接 Si をドライエッチングすると Si の側面が垂直にならず特性の良いフォトニック結晶が得られないため、このような方法を用いた。

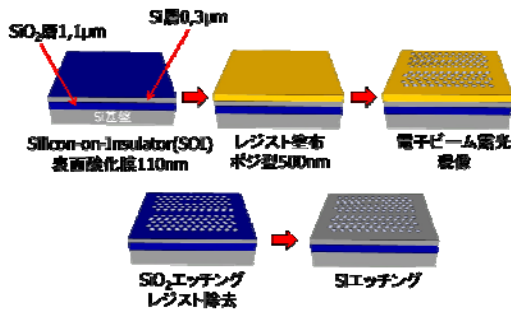


図 1 フォトニック結晶作製プロセス

図 2 に作製した Si フォトニック結晶の例を

示す。

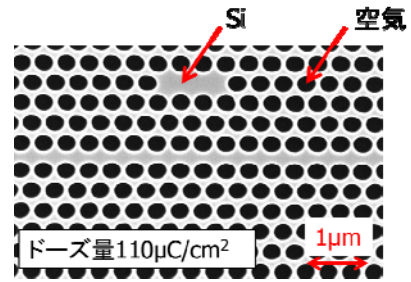


図 2 作製した Si フォトニック結晶の例

フォトニック結晶にとって重要なことは孔の周期および孔径が均一であることである。良いフォトニック結晶を得るために、電子ビーム露光におけるドーズ量依存性を調べた。結果を図 3 に示す。

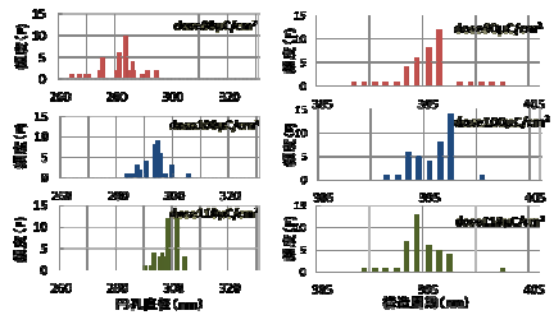


図 3 円孔直径および構造周期のばらつきのドーズ量依存性

図に示すようにドーズ量によって、円孔直径および構造周期のばらつきが変化することが分かった。横軸にドーズ量をとって、円孔直径およびそのばらつきをプロットしたものが図 4 である。

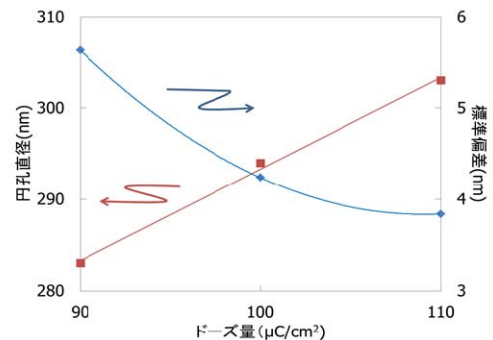


図 4 円孔直径およびその標準偏差のドーズ量依存性

ドーズ量が多いほど円孔直径が増大すると共にばらつきが減少する。周期のドーズ量依存性は直径に比べると少ない。直径が増大する原因は図 5 に示すように電子の Si 基板か

らの後方散乱によるものと考えられる。

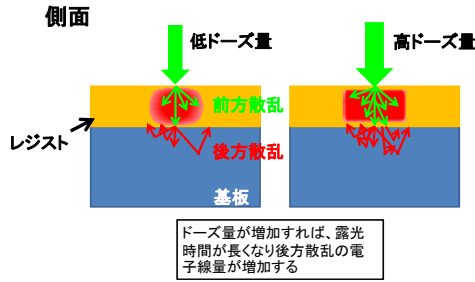


図5 電子の後方散乱の影響

一方、ばらつきの減少の理由を図6に示す。

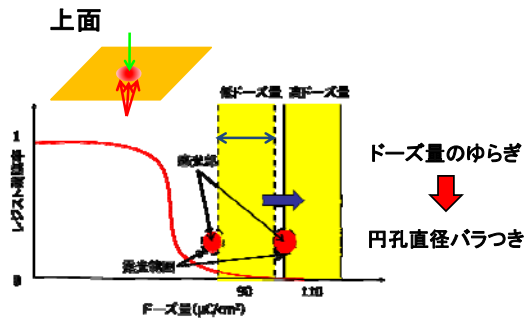


図6 ドーズ量と直径ばらつきの関係

図に示すようにポジレジストの感光特性は閾値付近で大きく変化し、さらに裾を引いているので、ドーズ量が少なく閾値付近にあるとドーズ量の揺らぎが直接形状ばらつきに影響する。一方、十分大きなドーズ量では、ドーズ量の揺らぎが形状ばらつきに影響しなくなる。次に Si フォトニック結晶中に、線欠陥導波路および点欠陥共振器を光シミュレータを用いて設計し、上で得られた条件を用いて作製し光共振を観測した。穴径 240nm、周期 394nm のフォトニック結晶中に点欠陥 (3 格子点) 共振器を作製した結果、共振波長 1502.9nm、Q 値 75000 と比較的良好な値を得ることができた。

(2) 次に磁気光学材料を用いてフォトニック結晶の作製を試みた。当初予定していたビスマス鉄ガーネット ($\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$:BIG) よりも磁気光学効果の大きいガドリニウムガリウムガーネット ($\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$:GGG) を用いてフォトニック結晶を形成する技術を開発した。まず、2インチ直径のシリコン基板にフッ酸・硝酸・酢酸混合液によって穴を開け、そこに5mm角のGGG単結晶板を埋め込み、エポキシ樹脂で接着・固定した後化学的機械研磨(CMP)によって表面を平らにした。その上にレジストを塗布して電子ビームリソグラフィーとド

ライエッチングをしてフォトニック結晶を形成する方法を開発した。GdおよびGaは原子番号が、それぞれ31、64とSiの原子番号14に比べ格段に大きく電子の後方散乱も格段に大きいため、Si基板の時と同じ電子ドーズ量を用いると円孔直径が倍ほどに大きくなった。設計値通りの直径を得るために孔径の設計値を大幅に減少させ目的の孔径を得ることができた。GGGを用いたフォトニック結晶光共振器は、まだ未完成であり今後の課題である。

(3) 次に磁気光学材料を用いた光スイッチに関する成果について述べる。GGGを用いたフォトニック結晶光共振器は、未完成なため、より容易に作製できるSiリング共振器に、直径0.5ミクロン以下のGGGの粉末を物理吸着させ、磁場を印加した。その結果、磁場を印加すると共振波長が長波長側へシフトすることが分かった。図7にGGG粉末を吸着させたSiリング共振器の光学顕微鏡写真を示す。

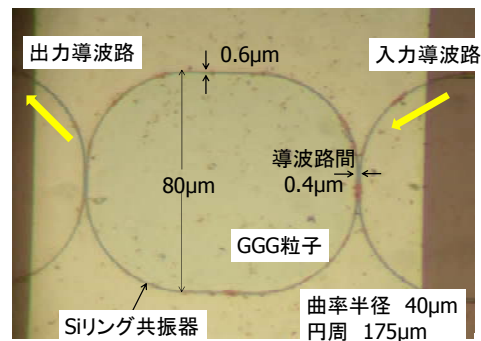


図7 GGG粉末を吸着させたSiリング光共振器

黒い粒々がGGGの粉末である。光共振スペクトルの磁場印加特性を図8に示す。

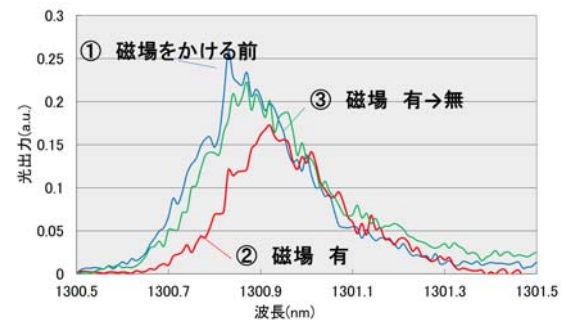


図8 GGG粉末を吸着させたSiリング光共振器の共振スペクトルの磁場印加特性

0.22Tの磁場強度をもつ永久磁石を試料の直近まで近づけることによって磁場を印加した。磁場を印加することにより、共振波長が

長波長側にシフトすることが分かる。磁場を除去すると元の共振スペクトルに戻る。波長を固定して観測すれば光スイッチ特性が観測されるはずであるが、試料の不具合により光スイッチ特性の観測までには至っていない。

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)

[雑誌論文] (計2件)

1. 原田 祥典、坂元 崇宣、岡田 一也、雨宮嘉照、横山 新、磁気光学材料を用いたフォトニック結晶共振器の作製、2013年第60回応用物理学会春季学術講演会予稿集、27p-PA2-15 (2013) 査読なし.
2. 原田祥典、雨宮嘉照、横山新、フォトニック結晶作製における電子ビーム露光条件依存性、2012年秋季第73回応用物理学会学術講演会予稿集、12a-PA3-14(2012) 査読なし.

[学会発表] (計2件)

1. 原田 祥典、坂元 崇宣、岡田 一也、雨宮 嘉照、横山 新、磁気光学材料を用いたフォトニック結晶共振器の作製、2013年第60回応用物理学会春季学術講演会、2013年03月27日、神奈川工科大学.
2. 原田 祥典、雨宮 嘉照、横山 新、フォトニック結晶作製における電子ビーム露光条件依存性、2012年秋季第73回応用物理学会学術講演会、2012年09月12日、愛媛大学・松山大学.

[その他]

ホームページ等

<http://www.RNBS.hiroshima-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

横山 新 (YOKOYAMA SHIN)

広島大学・ナノデバイス・バイオ融合科学
研究所・教授

研究者番号：80144880

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

雨宮 嘉照 (AMEMIYA YOSHITERU)

広島大学・ナノデバイス・バイオ融合科学

研究所・特任助教

研究者番号：20448260