

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24年 4月5日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2009～2011

課題番号：21656087

研究課題名（和文）シリコンナノフォトニクス回路実現のための超低損失光 NEMS 技術の基礎研究

研究課題名（英文） Fundamental study on ultralow loss optical NEMS technology for realization of silicon nano-photonic circuits

研究代表者

金森 義明 (KANAMORI YOSHIAKI)

東北大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：10333858

研究成果の概要（和文）：

水素アニール処理における，処理条件依存性を定量的に評価した。また空間周波数解析により，短周期の凹凸成分ほど平坦化されることを明らかにした。

Silicon on Insulator (SOI) 基板から製作した，櫛歯静電アクチュエータと Si 細線導波路を水素アニール処理した。アニール温度を 900 度程度に下げることによって，微細構造の形状を維持したまま，側壁の凹凸を除去することができた。

リング共振器を櫛歯静電アクチュエータで可動させる微小共振器を製作し，水素アニール処理による側壁荒れの低減を達成した。

研究成果の概要（英文）：

Hydrogen annealing characteristics depending on the condition was quantitatively evaluated. By applying spatial frequency analysis, after the hydrogen annealing, it was found that the roughen surfaces with the short-period was smoothed well compared to that with the long-period.

Electrostatic comb actuators and Si waveguides, which were fabricated from silicon on insulator (SOI) substrates, were annealed in the hydrogen gas environment. By decreasing the annealing temperature to about 900 deg. C, the surface roughness was eliminated, while the large scale structural shapes were maintained.

Micro-resonators consisting of ring-resonators and electrostatic comb actuators were fabricated. Then, the surface roughness was eliminated successfully.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,100,000	0	1,100,000
2010年度	1,000,000	0	1,000,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	270,000	3,270,000

研究分野：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：光デバイス、光回路、シリコンフォトニクス

1. 研究開始当初の背景

研究代表者らのグループは、Si 細線導波路型光スイッチ[1]、リング共振器型光スイッチ[2]、フォトニック結晶チューナブルフィルタ[3]など、Si ナノフォトニクス回路実現のための MEMS/NEMS 技術を、国内外を問わず先駆けて研究している。その他、UC バークレーの Lee ら[4]や東京大学の岩本ら[5]がフォトニック結晶 MEMS デバイスを報告している。形状寸法がナノオーダーになると、表面粗さが無視できなくなる。清水らは真空中での高温水素アニール処理により、プラズマエッチング加工による Si 側壁粗さが原子レベルの平坦性まで回復されることを報告している[6]。研究代表者は、近年、MEMS/NEMS 構造の製作に特化した真空高温水素アニール装置を開発した[7]。

光導波路の散乱損失は表面粗さと材質屈折率に対して二乗の効果で効いてくる。Si の屈折率は大きいため、石英系光回路よりも極めて表面粗さの小さな構造製作技術が不可欠である。研究代表者は、上記平坦化技術により Si ナノフォトニクス回路に適した低損失光 MEMS/NEMS デバイスを実現できると考えた。また、真空高温水素アニール処理により滑らかな曲面を形成し、低損失 Si 細線導波路や極めて Q 値の高い微小共振器フィルタを実現できると考えた。

- [1]E. Bulgan, Y. Kanamori, and K. Hane, *Appl. Phys. Lett.* 92, 101110 (2008).
- [2]K. Takahashi, Y. Kanamori, Y. Kokubun, and K. Hane, *Opt. Express* 16, 14421-14428 (2008).
- [3]Y. Kanamori, T. Kitani, and K. Hane, *Appl. Phys. Lett.* 90, 031911 (2007).
- [4]M.-C. M. Lee et al., *IEEE Photon. Technol. Lett.* 18, 358-360 (2006).
- [5]S. Iwamoto et al., *Appl. Phys. Lett.* 88, 011104 (2006).
- [6]清水了典, 岩崎裕, *応用物理* 76, 764-770 (2007).
- [7]Y. Kanamori, K. Douzono, S. Fujihira, and K. Hane, *J. Vac. Sci. Technol. A* 26, 365-369 (2008).

2. 研究の目的

シリコン(Si)ナノフォトニクスによる革新的な光回路は、ネットワーク機器の小型化、高機能化、低消費電力化、低コスト化を実現し、ユビキタス社会を支える基盤技術となる。Si ナノフォトニクス回路にチューナブル機能やスイッチング機能は不可欠である。可動構造を有する MEMS/ NEMS デバイスはこれらの機能を実現でき、実用化段階で顕在化する問題を抽出して研究を行うことは有意義である。

そこで、表面粗さを原子レベルまで低減する技術により、Si ナノフォトニクス回路に適した低損失光 MEMS/NEMS デバイスを実現すること、および、極めて滑らかな曲面を持つ、低損失な Si 細線導波路や微小共振器フィルタを実現することを、本研究の目的とする。

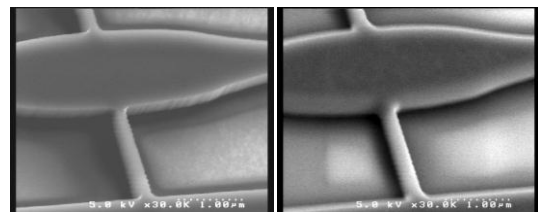
3. 研究の方法

(1) 可動 Si 細線リング共振器の製作

デバイスは Silicon On Insulator (SOI) ウエハ上に製作する。SOI ウエハ各層の厚みは、トップ Si 層 340nm、BOX 層 (SiO₂) 2 μ m、Si 基板 625 μ m である。トップ Si 層にアクチュエータやリング共振器を製作し、BOX 層の SiO₂ を犠牲層としてエッチングすることで自立構造とする。まず、2cm 角に切断した SOI ウエハにレジストをスピコートして電子線描画装置 (EB) で描画し、アクチュエータやリング共振器のパターンを描画する。EB を使用することにより、ナノオーダーのパターンをレジストに描画することが出来る。次に、高速原子線 (FAB) 加工装置でトップ Si 層をエッチングして、レジストのパターンを転写する。続いて、O₂ プラズマアッシング装置を用いてレジストを除去した後、ダイサーを用いてトップ Si 層側から溝入れを行い、その後サンプルを劈開することで光を入射するための導波路の端面出しを行う。さらに RCA 洗浄によりサンプル表面の有機物を取り除いた後、水素アニール処理を行う。最後に、気相フッ化水素酸 (Vapor HF) エッチングで犠牲層をエッチングし、自立構造を形成する。

4. 研究成果

図 1 (a)、(b) に水素アニール前後の導波路の SEM 像を示す。図 1 (a) から FAB 加工によって加工側面に筋状のラフネスが形成されていることがわかる。図 1 (b) は水素アニール条件出しの際に最もラフネスを除去することができた条件を参考に、温度 900 $^{\circ}$ C、全圧 50kPa、水素流量 0.1slm、時間 30sec で水素アニール処理を施した後の導波路の SEM 像である。図 1 (b) から、加工側面のラフネスが除去されたことがわかる。



(a) 水素アニール前 (b) 水素アニール後

図 1 Si 細線光導波路の SEM 像

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6件)

1. Yuta Akihama, Yoshiaki Kanamori, and Kazuhiro Hane, Ultra-small silicon waveguide coupler switch using gap-variable mechanism, Optics Express, 査読有, 19 巻, 2011 年, 23658-23663
2. 金森義明, Biomimetic Nanomechanical Structures for Optical Control, 光学, 査読無, 39 巻, 2010 年, 302-312
3. 金森義明, 大河内昌章, 羽根一博, Fabrication of Antireflective Subwavelength-Grating Structures on Optical Fiber End Faces Using Nanoimprinting Technique, 日本機械学会論文集 (C 編), 査読有, 76 巻, 2010 年, 2854-2860
4. 金森義明, 灰田周平, 羽根一博, 近赤外用サブ波長反射防止構造の光学設計および自己組織化ナノ微粒子を用いた製作, 電気学会論文誌 E, 査読有, 130 巻, 2010 年, 92-96
5. Yoshiaki Kanamori, Kazunori Takahashi, and Kazuhiro Hane, An ultrasmall wavelength-selective channel drop switch using a nanomechanical photonic crystal nanocavity, Applied Physics Letters, 査読有, 95 巻, 2009 年, 171911(3pp)
6. Yoshiaki Kanamori, Mao Miura, and Kazuhiro Hane, Fabrication of Subwavelength Gratings on Silicon Micro Lenses for MEMS Scanners at Optical Communication Wavelengths, 電気学会論文誌 E, 査読有, 129 巻, 2009, 120-124

[学会発表] (計11件)

1. Yoshiaki Kanamori, Nanophotonics and Optical MEMS for high efficiency and ultrasmall optical filters, Second Symposium Japanese-French Frontiers of Engineering (JFFoE), 2012 年 2 月 25 日, 国立京都国際会館
2. 金森義明, ナノ光機械によるエバネッセント波を介した光結合の動的制御と光通信への応用, 日本光学会 (応用物理学会) 光波シンセシス研究グループ第 19 回研究会, 2011 年 12 月 2 日, 理化学研究所仙台支所
3. Yoshiaki Kanamori, Nanomechanical Tunable Nanophotonics Devices for Optical Communication Systems, BIT's

1st Annual World Congress of Nano-S&T-2011, 2011 年 10 月 23 日, World EXPO Center(中国)

4. 佐藤裕一, 金森義明, 羽根一博, 高温真空アニールによる Si 深掘りエッチング面の平滑化と雰囲気ガスの影響, 第 72 回応用物理学会学術講演会, 2011 年 8 月 29 日, 山形大学
5. 佐藤裕一, 金森義明, 羽根一博, 水素アニールによる Si エッチング加工面のラフネス低減, 平成 23 年度電気学会 E 部門 (センサ・マイクロマシン部門) 総合研究会, 2011 年 6 月 30 日, 東京工業大学
6. Masaaki Okochi, Yoshiaki Kanamori, and Kazuhiro Hane, Fabrication of antireflective subwavelength gratings on the end faces of single mode optical fibers using UV nanoimprint lithography, 2010 International Microprocesses and Nanotechnology Conference, 2010 年 10 月 26 日, 小倉
7. T. Ikeda, Y. Kanamori, and K. Hane, Submicron silicon waveguide Mach-Zehnder interferometer using micro electro-mechanical phase-shifter, International Conference on Optical MEMS and Nanophotonics 2010, 2010 年 8 月 9 日, 札幌
8. 高橋一法, 金森義明, 國分泰雄, 羽根一博, 可動シリコンマイクロリング共振器を用いた波長選択アドドロップスイッチの特性評価, 2010 年春季 第 57 回応用物理学関係連合講演会, 2010 年 3 月 17 日, 平塚
9. Y. Kanamori, S. Haida, and K. Hane, Fabrication of variable-reflection photonic crystal MEMS filters using subwavelength-grating-embedded substrates, 2009 International Microprocesses and Nanotechnology Conference, 2009 年 11 月 16 日, 札幌
10. 金森義明, 灰田周平, 羽根一博, 近赤外用サブ波長反射防止構造の光学設計および自己組織化微粒子を用いた製作, 26th Sensor Symposium on Sensors, Micromachines and Applied Systems, 2009 年 10 月 15 日, 東京
11. 金森義明, 灰田周平, 羽根一博, サブ波長反射防止構造が埋め込まれた反射率可変導波共鳴 MEMS フィルタ, 2009 年秋季 第 70 回応用物理学会学術講演会, 2009 年 9 月 8 日, 富山

[図書] (計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金森 義明 (KANAMORI YOSHIAKI)
東北大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：10333858

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

羽根 一博 (HANE KAZUHIRO)
東北大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：50164893

胡 芳仁 (FU HUANREN)
東北大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：50396545