

平成 22 年 3 月 31 日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2009

課題番号：20710099

研究課題名 (和文) 多重量子井戸のひずみ制御 MEMS 波長可変レーザの開発

研究課題名 (英文) A study and development on MQW strain control MEMS for wavelength tunable laser

研究代表者

肥後 昭男 (HIGO AKIO)

東京大学先端科学技術研究センター・助教

研究者番号：60451895

研究成果の概要 (和文)：

本研究では、既存の化合物半導体レーザ構造にメカニカルな構造体を導入することを検討した。はじめに、DFB レーザにおいて発振波長を決めるグレーティング部に MEMS を導入することを検討したが、波長変化はわずかなものであった。そこで、多重量子井戸全体に外力を加えるような方法を検討し、シリコンに表面活性化接合技術を用いて多重量子井戸を接合し、シリコン側から電流注入をおこない動作を検証した。今後 MEMS を作製することで外力を多重量子井戸に加えることが可能になる。

研究成果の概要 (英文)：

In this study, we introduce of micro electro mechanical systems (MEMS) to conventional compound semiconductor laser structures. At first, we proposed and fabricated the MEMS-grating structure with comb drive actuators but the estimate of wavelength shifts is quite small. Therefore, in order to apply external force to multiple quantum well (MQW) structure by MEMS, we developed the surface active bonding technology and compound semiconductor chips were successfully bonded on silicon. We also measured optical emitting by current injection from silicon to MQW.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2009 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	940,000	4,240,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学 ナノ・マイクロデバイス

キーワード：マイクロ・ナノデバイス，マイクロマシン，量子井戸

1. 研究開始当初の背景

近年、インターネットサービスや動画配信などのコンテンツの向上により、通信容量の増大が必要不可欠になりつつある。その結果、

WDM システムの拡充が必要になり、その光源である波長可変レーザへの要求も高まっている。図 1 に示すとおり、WDM は波長数に対応する数十チャンネルの波長固定レーザがあ

り、そのバックアップ用にさらに同数のレーザを用意する必要があるため、システムコストや管理の煩雑さが問題視されてきた。そこで、単一波長光源を複数の波長を出力できる波長可変レーザに置き換えることで、送信器自体の価格低下やシステムの簡略化が見込めるとともに、次世代フォトニックネットワークのキーコンポーネントとされている OXC や ROADM などが実用化されることが予想され、波長可変レーザへの要求はさらに増加すると考えられる。

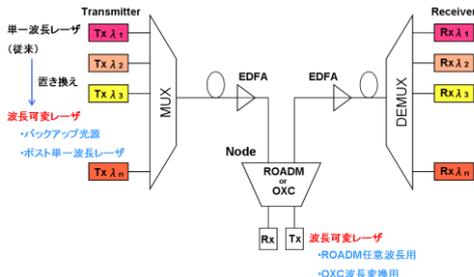


図1. WDM システムの一例と波長可変光源の応用

2. 研究の目的

波長可変光源は、半導体レーザと波長フィルタで構成されており、波長フィルタを変化させることで波長を制御する。波長制御方式として、電流注入による屈折率変化を用いる方式、半導体レーザ以外に MEMS あるいは機械構造をもち、それにより共振器長を変化させる方式などが提案されている。前者の場合、温度上昇により光出力が低下し、波長可変範囲も狭まる。また、後者の場合、数 100 nm という広帯域光源が可能となるが、モードとびが避けられないといった問題がある。さらに、機械駆動フィルタとレーザをアライメントする必要があるため光学部品が必要となり、小型集積化・低コスト化が難しい。そこで、電流注入方式によらない・モードとびをおこさない・光学アライメントの必要性がない・広帯域な波長可変領域を持つといった特性を持つレーザが強く望まれている。

3. 研究の方法

本研究は、MEMS による機械駆動部と発光部の 2 つのアプローチを検討している。まず波長可変にするために、DFB 部分の機械的な曲げを検討する。その結果得られた知見をもとに、多重量子井戸発光部の設計および機械的な特性を考察するための手段を構築する。

4. 研究成果

4.1 MEMS-grating の設計と作製

DFB 構造とサブミクロンのギャップをもつ櫛歯型アクチュエータを組み合わせたものを提案する。InP などの化合物半導体で駆動部を作製することは非常に困難であるため、

0.5 μm -SOI/3 μm -BOX/625 μm -Si Sub SOI (silicon on insulator) ウェハを用いた。図 2 に作製プロセスを示す。はじめにアドバンテスト製の EB (electron beam) 描画装置 F5112 で 250nm 間隔のグレーティングと幅 0.5 μm の細線光導波路、幅 0.5 μm 、長さ 2-5 μm 、0.5 μm の櫛歯アクチュエータを同時に描画する。次に、Silicon Deep-RIE (reactive ion etching) によって SOI 層をエッチングする。最後に蒸気 HF リリース法により構造体をリリースする。

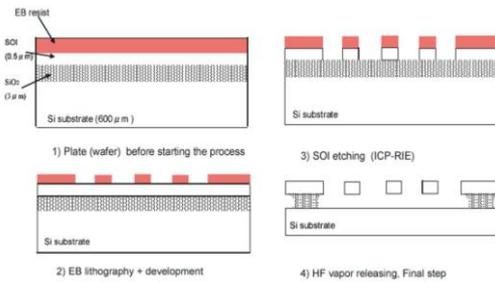
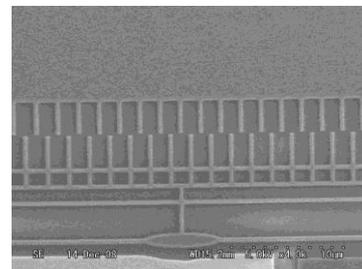
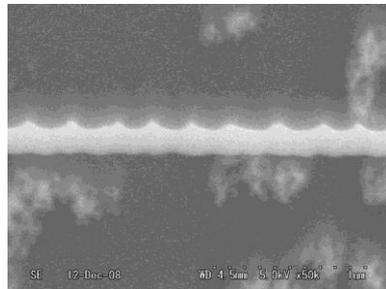


図 2, プロセスチャート

図 3 に作製した素子の SEM (scanning electron microscope) 写真を示す。フォトニック MEMS 構造体およびグレーティングが作製できていることが確認できる。また、櫛歯型アクチュエータは 80Vdc で変位約 100nm の確認をおこなった。



(a)



(b)

図 3, SEM 写真

(a) 全体図 (b) グレーティング

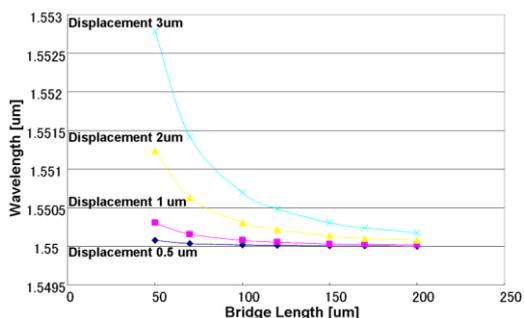


図 4, 波長と変位の依存性のシミュレーション結果

図 4 にグレーティング部の長さ 50um から 200um としたときの、たわみ量と波長変化の関係を示したものである。グレーティング部が短ければ短いほど、グレーティングにかかる影響が大きくなり超が変化することがわかる。しかしながら、最大の変化量は 1nm と非常に小さいことが明らかになった。

4.2 多重量子井戸と MEMS の検討

多重量子井戸部に MEMS を導入することを検討する。InP ベースの化合物多重量子井戸では、直接 MEMS 構造を作りこむことが難しいため、シリコン上に接合しシリコン側に MEMS を作製することを試みた。MEMS 作製技術は 4.1 ですでに述べているので、ここでは多重量子井戸構造をシリコンに接合する技術を検討した。さまざまな接合方法が検討されているが、本研究ではシリコン側から多重量子井戸側に電流注入が可能であることを想定しているため、表面活性化接合を用いた。図 5 に Ar と O₂ の混合ガスを用いて表面活性化をおこなった際の電流注入結果を示す。これより、照射時間が短い方が異種材料間を電流が流れることが分かる。酸素を用いた表面活性化は表面がわずかに酸化されるために、電流注入の際にバリアになってしまっていることが改めて示された。

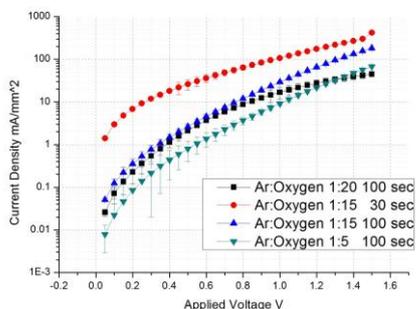


図 5, 照射時間と注入電流の関係

図 6 に p ドープシリコンと p ドープ InP, シリコンと InGaAsP を接合した場合の電圧-電

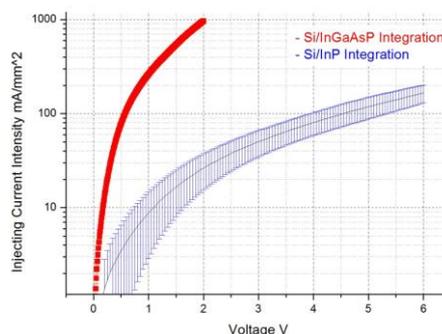


図 6, 異種材料接合の電圧-電流特性

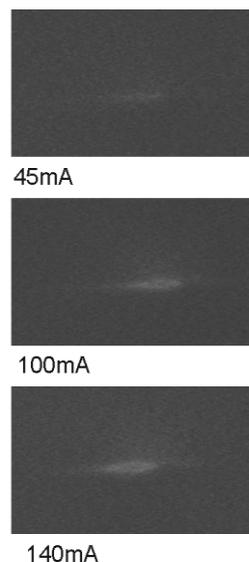
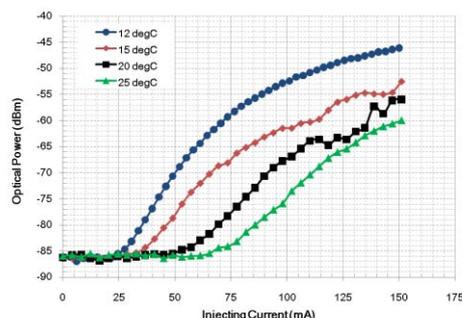


図 7, 電流注入による発光

流特性を示す。これから分かるように、p ドープシリコンと p ドープ InP では電流密度が小さい。これは、シリコンとのバンドギャップの差が影響しているものと考えられる。そのため、シリコンにバンドギャップが近い材料を用いれば、電圧-電流特性はさらに改善することが期待できる。

さらに、シリコンと多重量子井戸を接合した場合の測定結果を図 7 に示す。共振器長が数 mm と長く、レーザ発振まではいたっていないが、シリコン側から電流を注入することで多重量子井戸が発光することは確認できた。これにより、シリコン側に構造体を作製するこ

とで、多重量子井戸に大きな外力を加えることができるようなアクチュエータが設計可能になれば、多重量子井戸に対して、外力による波長変調が可能になる。

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0件)

[学会発表] (計6件)

①A. Higo, H. Fujita, H. Toshiyoshi, and Y. Nakano, "Design and fabrication of optical waveguide modulator integrated with silicon wire waveguide," in Proc. 4th Asia Pacific Conference on Transducers and Micro-Nano Technology (APCOT2008), June 22-25, 2008, TAYIH Landis Hotel, Tainan, Taiwan

②Ling-Han Li, Akio Higo, Masanori Kubota, Masakazu Sugiyama and Yoshiaki Nakano, "Design and Simulation of Hybrid Direct Coupling Laser with 3-5 MQW and Silicon Waveguide by Alignment Free Direct Bonding," in Proc. 4th Asia Pacific Conference on Transducers and Micro-Nano Technology (APCOT2008), June 22-25, 2008, TAYIH Landis Hotel, Tainan, Taiwan

③石塚彰, 肥後昭男, 中野義昭, "Si フォトニックMEMS grating の作製方法についての検討," 3-134, 平成21年 電気学会全国大会, 2009年3月17日-19日

④Ling-Han Li, Ryo Takigawa, Akio Higo, Masanori Kubota, Eiji Higurashi, Masakazu Sugiyama, and Yoshiaki Nakano, "Semiconductive Properties of Heterointegration of InP/InGaAs on High Doped Silicon Wire Waveguide for Silicon Hybrid Laser," International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM 2009), Newport Beach, CA, USA, 10 - 14 May, pp. 230-233 (2009).

⑤A. Higo, K. Takahashi, H. Fujita, Y. Nakano, and H. Toshiyoshi, "A Novel Parylene/Al/Parylene Sandwich Protection Mask for HF Vapor Release for Micro Electro Mechanical Systems," 15th Int. Conf. on Solid-State Sensors, Actuators & Microsystems (Transducers 2009)

⑥A. Higo, H. Toshiyoshi, H. Fujita, and Y. Nakano, "MEMS Integrated with Silicon Photonic Wire Waveguides," in Proc. 16th Int. Display Workshop (IDW'09), Dec. 9-11, 2009, World Convention Center Summit,

Phoenix Seagaia Resort, Miyazaki, Japan, session MEMS3-3. (招待講演)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

肥後 昭男 (HIGO AKIO)

東京大学先端科学技術研究センター・助教

研究者番号：60451895

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：