

論文 / 著書情報
Article / Book Information

| | |
|-------------------|---|
| 題目(和文) | シリコンスロット導波路を用いた温度無依存波長フィルタに関する研究 |
| Title(English) | Study of Athermal Wavelength Filters Based on Silicon Slot Waveguides |
| 著者(和文) | 渥美裕樹 |
| Author(English) | Yuki Atsumi |
| 出典(和文) | 学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9361号, 授与年月日:2013年12月31日, 学位の種別:課程博士, 審査員:西山 伸彦,荒井 滋久,水本 哲弥,宮本 恭幸,植之原 裕行, 山田 浩治 |
| Citation(English) | Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9361号, Conferred date:2013/12/31, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,, |
| 学位種別(和文) | 博士論文 |
| Category(English) | Doctoral Thesis |
| 種別(和文) | 論文要旨 |
| Type(English) | Summary |

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

| | | | | |
|--------------------------|--------|----|--|----------------------|
| 専攻： Department of | 電気電子工学 | 専攻 | 申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested | 博士 (工学) Doctor of |
| 学生氏名 : Student's Name | 渥美 裕樹 | | 指導教員 (主) : Academic Advisor(main) | 西山 伸彦 |
| | | | 指導教員 (副) : Academic Advisor(sub) | 荒井 滋久 |

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は「Study of Athermal Wavelength Filters Based on Silicon Slot Waveguides (シリコンスロット導波路を用いた温度無依存波長フィルタに関する研究)」と題し、英文 7 章からなっている。

第 1 章「Introduction (序論)」では、本研究の背景を概観し、その目的および論文の構成について述べている。まず、主要光通信技術のこれまでの歴史を述べ、さらに現在の研究動向として短距離光通信の実現に向けた光インターコネクション技術の世の中の取り組みを述べた。ここでは LSI と同じシリコンを主材料とするシリコンフォトニクスがオンチップ光集積回路に向けて有望視されており、世界的に様々な機能デバイスが開発されている。本論文では各主要デバイス、また集積デバイスに関する研究動向を紹介し、本研究で対象としている LSI ロジック層からの熱拡散に対するシリコンフォトニクスデバイスの温度動作安定化の必要性、及び様々な対策技術について述べた。その中で、素子サイズ、消費電力の面でシリコンスロット導波路を用いた温度無依存化技術の優位性を述べ、本論文の目的として、オンチップ波長分割多重(WDM)光集積回路に向けた温度無依存シリコンスロット導波路の設計・作製、及び本導波路構造を利用した温度無依存波長フィルタの実現を挙げた。

第 2 章「Design of athermal Si slot waveguide (温度無依存シリコンスロット導波路の設計)」では、まず本研究において主要技術であるスロット導波路の電界モード理論に関して説明し、有限差分法(FDM)による温度無依存導波路の断面構造設計を述べた。同時に作製誤差に起因する波長シフト温度係数構造誤差耐性を評価し、より高い構造耐性を有する導波路構造また、他の温度無依存導波路に対する優位性を明らかにした。次に、温度無依存導波路構造における基礎伝搬特性として、伝搬損失、曲げ損失に関して計算評価を行い、デバイス応用に向けた設計指針と共に微細加工技術の重要性を示した。

第 3 章「Micro-fabrication and loss reduction technologies for Si waveguide devices (シリコン導波路デバイスに向けた微細加工及び低損失化技術)」では、ナノスケールで構成されるシリコン導波路デバイスの作製技術の確立に関して述べた。まず、一連の作製プロセスを述べ、マスク技術として電子線露光プロセスにおけるビームショット位置補正、近接効果補正技術に関して述べ、伝搬損失の低減化、露光時間の短縮化を実証した。次に、Si 転写技術として ICP-RIE を用いたドライエッチング条件出しを行い、エッチングレート、レジスト選択比、側壁状態に関して評価を行い、微細加工技術を確立した。さらに設計技術として、複数の導波路幅を適材適所に組み合わせる事で、伝搬モードの維持、及び回路の低伝搬損失化を示した。これら技術により、設計デバイスの実現にむけた作製プロセスを確立した。

第 4 章「Athermal wavelength filters embedded with Benzocyclobutene (BCB 埋め込み温度無依存波長フィルタ)」では、前章までに述べた設計・作製技術を用いて波長フィルタの作製評価を行った。波長フィルタの一種であるマッハツェンダー干渉計(MZI)とリング共振器を設計・作製し、位相干渉領域に温度無依存スロット導波路を導入することで、それぞれ波長シフト温度係数-0.9 pm/K, 0.5 pm/K の温度無依存動作を実証した。さらに実用化に向けて重要な課題である、ポリマー材料有する大きな吸湿性に伴う共振波長シフトを抑制する方法として、アモルファスフッ化樹脂に関して述べた。恒温恒湿下加速試験での評価において吸湿耐性の向上を得た。

第 5 章「WDM demultiplexer using athermal ring-type wavelength filters (温度無依存リング共振器型波長フィルタを用いた WDM 分波器)」では、オンチップ WDM システム実現に向けて、温度無依存リング共振器のアレイ化による WDM 分波器の設計・作製に関して述べている。設計に関しては C バンド帯(1530~1565 nm)での利用を想定し、リング-バス導波路間結合効率 κ 、チャネル信号間隔をパラメータとした際のスペクトル効率を評価し、設計デバイス構造において最大 0.09 bit/s/Hz の効率を得た。また、チャネル信号波長との整合性を得るためのフィルタ波長制御に向けて、深紫外線照射を用いた波長トリミング技術を検討し、想定される構造誤差を補償可能な波長シフト量を実証した。

第 6 章「Future prospective (今後の展開)」では、本研究の主要技術であるスロット導波路のデバイス・分野応用として、EO 変調器、バイオセンサ、及び III-V/Si ハイブリッド温度無依存レーザへの可能性に関して述べた。

第 7 章「Conclusions (結論)」では、本研究で得られた結果を総括している。
以上を要するに、本論文はオンチップ WDM 光集積回路の実現を目的として、シリコンスロット導波路を用いた温度無依存波長フィルタの設計開発を行い、本成果は工学上ならびに工業上、社会に大きく貢献するものと考えられる。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

| | | | | | |
|--------------------------|--------|----|--|---------|-------------------------|
| 専攻 : Department of | 電気電子工学 | 専攻 | 申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested | 博士 (工学) | Doctor of (Engineering) |
| 学生氏名 : Student's Name | 渥美 裕樹 | | 指導教員 (主) : Academic Advisor(main) | 西山 伸彦 | |
| | | | 指導教員 (副) : Academic Advisor(sub) | 荒井 滋久 | |

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

In this thesis, toward on-chip WDM system, an athermal wavelength filters using Si slot waveguides embedded with Benzocyclobutene which achieve stable operation against temperature vibration resulted from LSI logic layer were studied. The athermal Si slot waveguides have advantages of needless power consumption, small footprint and device flexibility.

For the design of athermal structure, the waveguide and gap widths for Si slot waveguides were controlled to cancel out the temperature coefficient of refractive indices between Si and BCB. Furthermore, the structural sensitivities for wavelength shift temperature coefficient were theoretically evaluated, and that for athermal Si slot waveguide was found to be superior to that for narrow-width type athermal waveguides.

In order to realize the Si photonics devices, the micro-fabrication and loss reduction technologies were established. By introducing the beam step-size (BSS) fracturing and proximity effect correction (PEC) technologies for the electron beam lithography, the propagation loss was reduced as well as the exposure time. Also, design for low-loss optical circuits was investigated by integration of multiple waveguides structures, and the propagation loss was improved to less than 1 dB/cm with the waveguide with the width of 1 μm .

Then, athermal wavelength filters based on Si slot waveguide was fabricated. By controlling the gap width to 270 and 210 nm for MZI and ring resonator for the waveguide width of 700 nm, the wavelength shift temperature coefficients were measured -0.9 and 0.5 pm/K, respectively, which are small enough to utilize to 100-GHz channel spacing WDM signals.

Finally, the athermal Si slot ring resonator array typed WDM filter was designed and fabricated. At first, signal transmission analysis was theoretically executed and the spectral efficiency of 0.09 bit/s/Hz was obtained by controlling the parameters of channel spacing and coupling coefficient between ring and bus waveguide. Furthermore, wavelength trimming technology using DUV exposure to BCB was investigated, and a 4ch-WDM wavelength filter was demonstrated.

Through this entire thesis, the potential of the athermal wavelength filters based on Si slot waveguides as a countermeasure against operation temperature vibration from LSI logic layer were discussed.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).