

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06012

研究課題名(和文) CMOSプロセスを用いた超高速シリコンモノリシック光レシーバの開発

研究課題名(英文) Development of Highspeed Silicon Monolithic Optical Receiver using CMOS Processes

研究代表者

丸山 武男 (Maruyama, Takeo)

金沢大学・電子情報学系・准教授

研究者番号：60345379

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：SOI-PIN光検出器を提案した。この素子は電極間隔、受光部面積、パッド面積を最適化することで、20 GHz超での動作が期待できる。ファウンドリーサービスを用いて光検出器を作製し、波長0.8 μm 帯における特性を評価した。電極間隔 0.6 μm 、受光部面積 $20 \times 20 \mu\text{m}^2$ 、パッド面積 $30 \times 30 \mu\text{m}^2$ の素子において、最大帯域13 GHzを得た。

また、Si/SiO₂方向性結合器による導波路型偏波スプリッタを作製した。FDTD解析により、結合長の組み合わせを1:2とすることで実現し、ファウンドリーサービスを用いて作製した。偏波スプリッタとして動作し、消光比20dB以上を得た。

研究成果の概要(英文)：We propose the SOI-PIN photodiodes. It is expected that the devices are operated at over 20 GHz by optimizing electrode spacing, receiving size and pad size. The devices are fabricated by foundry service. The devices were measured at the wavelength of 0.8 μm region. The maximum bandwidth of 13 GHz was obtained at the electrode spacing of 0.6 μm , receiving size of $20 \times 20 \mu\text{m}^2$ and pad size of $30 \times 30 \mu\text{m}^2$.

We proposed a design of waveguide type polarization splitter based on directional coupler which is advantageous in terms of size. It was confirmed by FDTD analysis that it can be realized by setting the combination of coupling length to 1:2. Furthermore, we fabricated devices using foundry service and report results of measured polarization characteristics. From the result of the measurement, it was confirmed that this device was operating and an extinction ratio of 20 dB or more was obtained.

研究分野：工学

キーワード：光集積回路 光検出器 光導波路 シリコンフォトニクス

1. 研究開始当初の背景

インターネットにおけるコンテンツ大容量化に伴い、大容量データ通信の需要が急速に高まっている。そのため、アクセス系ネットワーク環境にも更なる高速化・大容量化が求められている。例えば 100Gbps(ビット毎秒)の伝送を確保するためには、波長多重光通信(WDM)技術を用いて、25Gbps×4 波長で達成できる。そしてこの要求に対し、超高速光トランシーバ用の光集積回路の実現が急務となっていた。

そこで、当時開発が進められていた 40Gbit イーサネット用光トランシーバでは、動作速度 40GHz 超を必要とするため、高移動度材料である化合物半導体が用いられていた。もしシリコン基板上にこれら高速動作光デバイスが実現すれば、更なる小型化、低コスト化が可能となる。その理由は、シリコンと SiO₂ との高屈折率差による光導波路の小型化、CMOS 技術の転用による低コスト化が可能であるためである。これらはシリコンフォトンクスという分野を確立し、現在研究が盛んに行われている。そしてシリコンを光導波路としているため、シリコンに対して透明波長である波長 1.5 μm 帯が用いられている。さらにこの波長帯に対応し、高速動作を満足させるため、化合物半導体による光デバイスをシリコン基板上に構成する必要がある。しかし既存の CMOS 標準プロセスに貼付プロセスは無く、CMOS プロセスとの融合には課題があった。

そこで申請者はこの課題を解決するために、シリコンを光導波路ではなく、光検出器として活用する波長 850nm 帯の光集積回路を提案することで、CMOS プロセスを用いた光集積回路が実現できると着想するに至った。

2. 研究の目的

本研究では CMOS プロセスを用いた SOI 光検出器と増幅回路(トランスインピーダンスアンプ:TIA)との集積化を目指し、その高速動作の実証を目的とした。具体的には以下の3点を重点的に行う。

- (1) 帯域 40 GHz 以上・印加電圧 2 V 以下で動作可能なシリコン光検出器の設計・試作および高速光応答特性の評価
- (2) 利得 100 dB ・帯域 10GHz のトランスインピーダンスアンプ(TIA)の回路シミュレータによる設計・試作および増幅の確認
- (3) シリコン光検出器と TIA との集積による高速光レシーバの試作および動特性の観測

3. 研究の方法

波長 0.8 μm 帯高速シリコン光検出器と TIA 回路を集積したモノリシック光レシーバ実現に向けて、以下の項目を達成目標として研究を遂行した。また CMOS プロセスによる試作に関しては、外部ファウンドリーサービスを活用した。

- (1) CMOS プロセスを用いた SOI 光検出器の試作と低電圧印加時での高速光応答電極面積および電極間隔の縮小による、高速・低電圧(40 GHz 以上・2 V 以下)動作の達成。
- (2) トランスインピーダンスアンプ(TIA)の設計および試作と高周波特性の観測利得 100 dB Ω ・10 GHz 超で動作可能な回路設計・試作および動特性の確認。
- (3) SOI 光検出器と TIA の集積によるモノリシック光レシーバの試作・評価
上記、(1)と(2)で設計した素子を集積させた光レシーバの試作・高周波応答の評価

4. 研究成果

- (1) CMOS プロセスを用いた SOI 光検出器
SOI 基板上に CMOS 互換プロセスを用いて、210 nm 薄膜 Si の横型 PIN 光検出器を作製した。受光面積を 20 \times 20 μm^2 、電極幅 1 μm と固定し、電極パッド面積と電極間隔を縮小させることで 20GHz 超の帯域が得られることを明らかにした。作製した素子の特性では、電極間隔依存性が観測されず、帯域は 13GHz 近辺で一定となった。この理由は、容量成分によるものであると考えている。今後 i 層幅を変化させ、更なる広帯域での応答を追求し、また高速応答を目指す。また、このデバイスは波長 0.8 μm 帯での光電子集積回路への応用が期待できる。

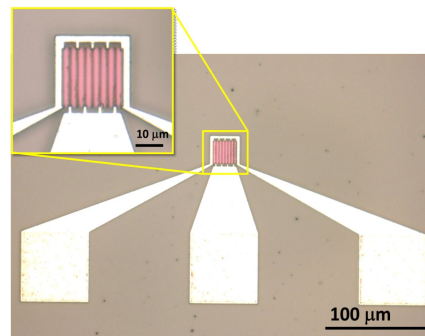


図1 PIN型光検出器の顕微鏡写真

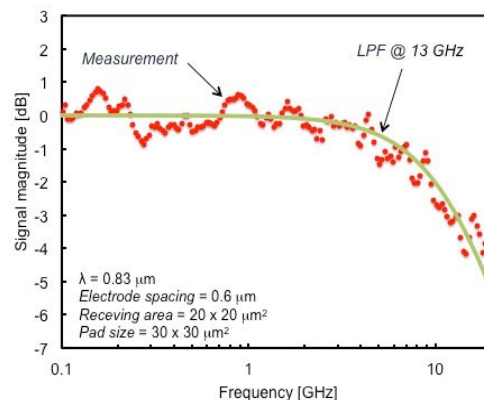
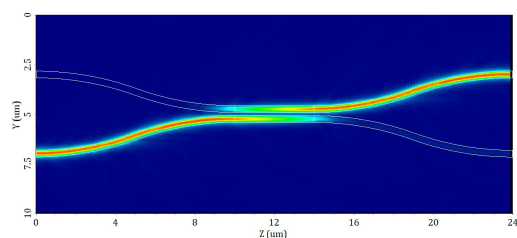


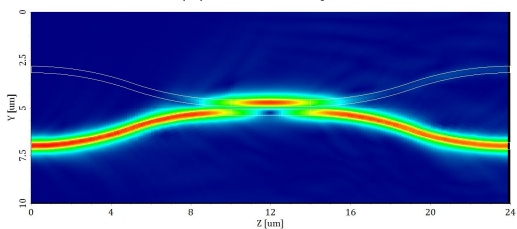
図2 周波数特性

(2) 波長無依存型シリコン偏波分波器

Si/SiO₂ 導波路のように高い屈折率差は高密度集積を可能にするが、一方強い偏波依存性の原因となり、設計を複雑化させる要因になる。この解決策として、我々は素子の小型化に有利という観点から方向性結合器による導波路型偏波スプリッタに着目した。これまでに波長 1550nm 帯において 10dB の消光比の報告があるが、今回は消光比 20dB 以上の構造を提案する。FDTD 解析により、結合長の組み合わせを 1:2 とすることで実現することを確認し、ファウンドリーサービスを用いてデバイスを作製し、偏波特性を評価した。測定した結果、偏波スプリッタとして動作していることが確認でき、消光比 20dB 以上を得た。



(a) TE モード



(b) TM モード

図 3 偏波分波器の解析結果

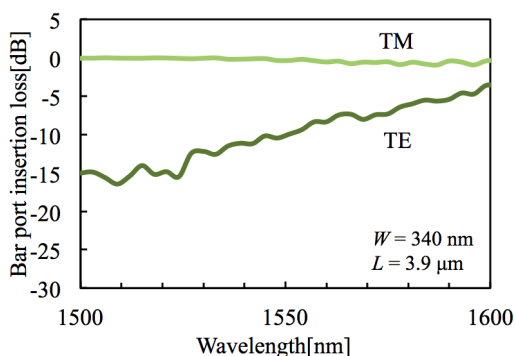


図 4 Bar ポートの透過率特性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

1. N. A. B. M. Lazam, K. Iiyama, T. Maruyama, Y. Kimura, and N. V. Tu: "Linearization of Nonlinear Beat Frequency in FMCW Interferometer Waveform Modifying Technique," ARPN Journal of Engineering and Applied Science, vol. 10, no. 8, pp.

3817-3822, May 2015. (査読有)

2. Z. A. F. M. Napiyah, R. Gyobu, T. Hishiki, T. Maruyama, and K. Iiyama: "Characterizing Silicon Avalanche Photodiode Fabricated by Standard 0.18 μm CMOS Process for High-Speed Operation," IEICE Transactions on Electronics, Vol. E99.C, no. 12, pp. 1304-1311, Dec. 2016. 10.1587/transele.E99.C.1304
3. A. W. S. Putra, M. Yamada, A. Sumiaty, and T. Maruyama, "Theoretical Comparison of Noise Characteristics in Semiconductor and Fiber Optical Amplifiers," IEEE Photonics Technology Letters, vol. 30, no. 8, pp. 756-759, Apr. 2018. 10.1109/LPT.2018.2816017

〔学会発表〕(計 26 件)

1. 中瀬大志、森野久康、丸山武男、飯山宏一、波長依存性低減に向けた Si/SiO₂ 曲線方向性結合器の設計と特性評価、電子情報通信学会 レーザ・量子エレクトロニクス研究会, LQE2015-17, 2015 年 5 月 22 日, 金沢
2. 谷沢元春、高橋良平、丸山武男、飯山宏一、青色半導体レーザ励起による面発光色素レーザの室温パルス発振、電子情報通信学会 有機エレクトロニクス研究会, OME2015-37, 2015 年 7 月 29 日, 富山
3. 周 霄、矢木農太郎、丸山武男, CF4 ドライエッチングによる Si₃N₄ 光導波路の波長 830nm における伝搬損失測定、電子情報通信学会 ソサイエティ大会, C-3-53, 2015 年 9 月 11 日, 仙台
4. 矢木農太郎、丸山武男、飯山宏一, CF4 ドライエッチングによる Ta₂O₅ シングルモード光導波路の作製, 第 76 回 応用物理学会 秋季学術講演会, 14p-PA4-8, 2015 年 9 月 14 日, 名古屋
5. 谷沢元春、久住拓司、面雅也、丸山武男、高屈折率差サブ波長回折格子による無反射膜の提案, 第 63 回 応用物理学会春季学術講演会, 19p-W531-9, 2016 年 3 月 19 日, 東京
6. 三津野翔哉、中瀬大志、丸山武男、飯山宏一, 20GHz 超応答に向けた SOI-PIN 光検出器の設計と高周波応答測定, 第 3 回集積光デバイスと応用技術研究会 (IPDA), P09, 2016 年 3 月 3 日, 三島
7. 中瀬大志、丸山武男, 方向性結合器による高ダイナミックレンジ偏波スプリッタの設計, 第 63 回 応用物理学会春季学術講演会, 21p-P16-3, 2016 年 3 月 21 日, 東京

8. 丸山武男、三津野翔哉、飯山宏一、20GHz超応答に向けた波長 850nm 帯 SOI-PIN 光検出器の設計と周波数応答の構造依存性、電子情報通信学会 レーザ・量子エレクトロニクス研究会、LQE2016-8、2016年5月20日、福井
9. 谷沢元春、上田将也、丸山武男、光給電の効率化に向けた基礎的検討、第77回応用物理学会秋季学術講演会、16p-A35-2、2016年9月16日、新潟
10. 上田将也、谷沢元春、中平英翔、丸山武男、光給電に向けた光検出器の効率波長依存性の測定、平成28年度応用物理学会北陸・信越支部学術講演会、D12、2016年12月10日、富山
11. 谷沢元春、丸山武男、光給電効率の波長依存性に関する基礎的検討、電子情報通信学会 光エレクトロニクス研究会、OPE2016-115、2016年12月9日、石垣
12. 谷沢元春、上田将也、中平英翔、丸山武男、光給電システムの電力効率の効率化に向けた基礎的検討、第64回応用物理学会春季学術講演会、15a-422-6、2017年3月15日、横浜
13. 丸山武男、Hendra Ainanta、谷沢元春、光無線給電実現に向けた半導体レーザーのビームステアリングシステム、電子情報通信学会 レーザ・量子エレクトロニクス研究会、LQE2017-7、2017年5月25日、石川
14. Hendra Adinanta、Hirotaka Kato、Takeo Maruyama、Laser Tracking using Computer Vision for Optical Wireless Power Transmission、第78回応用物理学会 秋季学術講演会、6p-C14-3、2017年9月7日、福岡
15. 三津野翔哉、丸山武男、方向性結合器を用いた導波路型偏波スプリッタの消光比向上に向けた設計と評価、電子情報通信学会 光エレクトロニクス研究会、OPE2017-100、2017年12月7日、宮古
16. Hendra Adinanta、Hirotaka Kato、Takeo Maruyama、Enhancement of Beam Steering System Speed towards Optical Wireless Power Transmission for Mobile Object、第65回応用物理学会春季学術講演会、19p-C303-4、2018年3月19日、東京
17. Alexander William Setiawan Putra、Motoharu Tanizawa、Takeo Maruyama、Numerical Calculation of System Efficiency of Optical Wireless Power Transmission Using Silicon Photovoltaic Through Various Mediums、第65回応用物理学会春季学術講演会、19p-C303-5、2018年3月19日、東京
18. 三津野翔哉、丸山武男、方向性結合器を用いた偏波スプリッタの消光比向上に向けた設計と評価、第65回応用物理学会春季学術講演会、18p-B21-13、2018年3月18日、東京
19. Wildan Panji Tresna、Takuma Ichikawa、Takeo Maruyama、Waveguide losses and Mirror losses in Si Optical Slab Waveguide、第65回応用物理学会春季学術講演会、20a-P-2-12、2018年3月20日、東京
20. 加藤広隆、ヘンドラ アディナンタ、丸山武男、移動体光無線給電に向けたレーザートラッキング速度改善、電子情報通信学会 総合大会、C-4-8、2018年3月21日、東京
21. Z. A. F. M. Napiah、R. Gyobu、T. Hishiki、T. Maruyama、K. Iiyama、Optimizing Silicon Avalanche Photodiode Fabricated by Standard CMOS Process for 8 GHz Operation、1st International Conference on Telematics and Future Generation Networks (TAFGEN2015)、D2S3-2、2015年5月27日、Kuala Lumpur
22. Daishi Nakase、Hisayasu Morino、Takeo Maruyama、Koichi Iiyama、Design and Characterization of Curved Directional Coupler based on Si/SiO₂ Waveguide for Wavelength Independency、The 5th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO 2015)、P2-20、2015年6月17日、新潟
23. Motoharu Tanizawa、Ryohei Takahashi、Takeo Maruyama、Koichi Iiyama、Organic Dye Vertical Cavity Surface Emitting Laser Pumped by Blue Laser Diode、The 5th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO 2015)、P2-9、2015年6月17日、新潟
24. Motoharu Tanizawa、Ryohei Takahashi、Takeo Maruyama、Koichi Iiyama、Pulsed oscillation of organic dye VCSEL excited by blue LD、20th Microoptics Conference (MOC2015)、H16、2015年10月27日、福岡
25. Hiroya Mitsuno、Takeo Maruyama、Koichi Iiyama、Sub-um Electrode Spacing SOI-PIN Photodiode Fabricated by CMOS Compatible Process、21st OptoElectronics and Communications Conference (OECC 2016)、WA2-79、2016年7月6日、新潟
26. Wildan Panji Tresna、Ryohei Tsurita、Takeo Maruyama、Losses

Investigating of the Si Optical Slab Waveguide, The 6th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO 2017), PO3-40, 2017年7月21日, 福井

〔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

丸山武男 (MARUYAMA TAKEO)
金沢大学・理工研究域・電子情報学系
准教授

研究者番号：60345379

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()