

科学研究費補助金（学術創成研究費）公表用資料
〔研究進捗評価用〕

平成17年度採択分

平成20年 3月31日現在

研究課題名（和文）シリコン CMOS フォトニクスに関する研究

研究課題名（英文） Silicon CMOS Photonics

研究代表者

氏名 和田 一実 (Wada, Kazumi)

東京大学大学院工学系研究科・マテリアル工学専攻・教授



推薦の観点：社会・経済の発展の基盤を形成する先見性・創造性に富む研究

研究の概要：電子・光集積回路(EPIC)を実現するためには、シリコン基板上に多種多様な光素子を集積する必要がある。しかし、光素子は CMOS 技術に互換性を持たぬ材料・プロセスからなるものが多く、このため現在のシリコンフォトニクスでは光素子材料の CMOS 互換化をゴールとする研究が盛んに行われている。本課題ではこれとは全く異なり、多様な光素子機能を単一化する「機能統合化素子」の実現を目標とし、その概念設計および製作を進め、基本動作を確認する。さらに、機能統合素子を Building Block とする EPIC をプロトタイプ化し、その基盤となるシリコン CMOS フォトニクスを構築する。

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学、マイクロ・ナノデバイス

キーワード：電子・光融合

1. 研究開始当初の背景

計算の高速化や通信の広帯域化が限界を迎えつつある中、その打破をねらって欧米ではシリコンフォトニクスによる EPIC をプロトタイプ化する研究が産学連携国家プロジェクトとして推進されていた。国内では組織化された研究プロジェクトはほとんどなかった。

2. 研究の目的

これまでの EPIC 製作のアプローチである光素子の CMOS 技術互換化路線とは異なる光素子機能の統合化を実現し、これを Building Block とし光素子体系のスリム化を図り EPIC を実現し、その基盤となるシリコン CMOS フォトニクスを構築する。

3. 研究の方法

光源、変調器、フィルターの光素子機能を統合化する。微小共振器の屈折率を外部電界により制御し、変調とフィルター機能を統合化する。電気光学的な屈折率の変調には、プラズマ効果に加えフランチケルディシュ効果に着目しその定量化を進める。共振器量子電気力学により発光を制御し、発光機能を統合化する。

以上の研究を日本電信電話株式会社(NTT)とマサチューセッツ工科大学(MIT)と共に進

める。

4. これまでの成果

シリコンフォトニクスは Si 基板上で電子・光回路の集積化をシリコン技術(CMOS 技術と以下略記)を用いて製作する技術分野である。光回路を構成する光素子にはレーザー、導光路、受光器、変調器、フィルターなど多くの種類があり、それぞれが異なる材料・プロセス技術により製作される。このため、CMOS 技術を用いるためには光素子の材料種を低減することが重要であり、この流れが現在のシリコンフォトニクス研究の中心である。しかし、電子集積回路を見るとトランジスターと配線のみからなるスリムな体系であり、それゆえ 10 億個のトランジスターがチップに搭載される現在の集積回路として結実したとすることができる。この研究では、電子・光集積回路を実現するもう一つのアプローチである、光素子の種類の低減を可能とする機能統合化素子をプロトタイプ化する。

具体的には、光源、変調器、およびフィルターなどを光共振器上で統合する。変調とフィルター機能の統合には、特に高速性の必要とされる変調には共振器の品質因子(Quality factor, Q) $>10^4$ が必要となることを明らかにし、シリコン製の共振器を作製しこれを達成した。

[4. これまでの成果 (続き)]

これまでに Si リング共振器を用い、室温で鋭い発光ピークを発生することに成功した。Si では 1.1 ミクロン帯に発光が現れるが、本計画では 1.5 ミクロン帯の光を用いる。このため、Ge をリング共振器の材料とし、同様な実験を行うことにより 1.5 ミクロン帯の発光を実現した。

次に、変調器を実現するため、共振波長を変化させるため、共振器の屈折率を変調する必要がある。シリコンでは電流を流すことにより屈折率を変調することが一般的であるが、電気的な充放電などの影響があり、変調速度が高くなならない問題があった。そこで、本研究では、電界を印加することにより屈折率を変調される、フランツケルディッシュ(FK)効果を使うことにしている。この効果では電流を流さずにすむため、高速な素子動作が期待できる。材料としては Ge に高い FK 効果が予想されたので、ダイオードを製作しその特性からこの効果を定量的に測定した。その結果、FK 効果を素子に用いている III-V 族半導体素子で得られると同程度の高い係数が得られることを明らかにした。

この現象を用い、SiGe を材料系として用いることにより、1GHz の変調速度を得ることに成功した。これは FK 効果を IV 族半導体で抽出したに初めての成果である。

以上により、LSI を構成するトランジスタに相当する、数多くの機能を統合化した光素子をシリコンフォトニクスにより、原理的に製作可能であることを明らかにした。

5. 今後の計画

機能統合化素子を実際に製作する。さらに、機能統合化素子からなる電子・光集積回路を製作するとともにシステムへの適用を行う。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む) (研究代表者は太字、研究分担者には下線)

1. **和田一実**、「シリコンフォトニクス」、電子情報通信学会誌、v91、No3、p195-200,2008
2. Shiyun Lin, Y.Kobayashi, Y.Ishikawa, **K. Wada**, “Luminescence enhancement by Si ring resonator structures on silicon on insulator” Appl. Phys. Lett.,v92、pp021113-1-021113-3,2008
3. **和田一実**、「シリコンフォトニクスの基礎と応用」光学, 37 巻1号,2008. ☆
4. **和田一実**、「シリコンフォトニクスの光インターコネクションへの応用」レーザー研究 P586-590,2007

5. D.D. Cannon, J.-F. Liu, D.T. Danielson, S. Jongthammanurak, U.U. Enuha, **K. Wada**, J. Michel, L.C. Kimerling, “Germanium-rich Silicon-germanium films epitaxially grown by ultrahigh vacuum chemical-vapor deposition directly on silicon substrates”, Appl. Phys. Lett., v91, 252111, 2007.
6. **和田一実**、ライオネルC.キマリング, 「高度情報化社会と Si フォトニクスの将来展望」応用物理 78, 141,2007.
7. J.-F. Liu, D. Pan, S. Jongthammanurak, **K. Wada**, L.C. Kimerling, J. Michel, “Design of monolithically integrated GeSi electro-absorption modulators and photodetectors on an SOI platform”, Optics Express, 15, pp.623-628, 2007.
8. S. Jongthammanurak, J.-F. Liu, **K. Wada**, D.D. Cannon, D.T. Danielson, D. Pan, J. Michel, L.C. Kimerling, “Large electro-optic effect in tensile strained Ge-on-Si films”, Appl. Phys. Lett. 89, pp. 161115-1-3, 2006.
9. F. Gan, F.J. Grawert, J.M. Schley, S. Akiyama, J. Michel, **K. Wada**, L.C. Kimerling, F.X. Kartner, “Design of all-optical switches based on carrier injection in Si/SiO₂ split-ridge waveguides (SRWs)”, Journal of Lightwave Technology, 24, pp. 3454-63, 2006.
11. **K. Wada**, J.F. Liu, S. Jongthammanurak, D.D. Cannon, D.T. Danielson, D.H. Ahn, S. Akiyama, M. Popovic, D.R Lim, K.K. Lee, H.-C Luan, Y. Ishikawa, J. Michel, H.A. Haus, and L.C. Kimerling, “Si Microphotonics for optical interconnection,” in Optical Interconnects, The Silicon Approach, eds L. Pavesi, G. Guillot (Springer Berlin Heidelberg New York, 2006), pp. 291-310.

ホームページ等

<http://www.microphotonics.material.t.u-tokyo.ac.jp>