

科学研究費補助金（特別推進研究）公表用資料
〔研究進捗評価用〕

平成19年度採択分

平成22年3月31日現在

研究課題名（和文） Si系LSI内広帯域配線層の為のInP系
メンブレン光・電子デバイス
研究課題名（英文） InP-based membrane optical and electrical
devices for Si LSI wide band global wiring
研究代表者
氏名 荒井 滋久（Arai Shigehisa）
所属研究機関・部局・職 東京工業大学・量子ナノエレクトロニクス
研究センター・教授



研究の概要：Si系LSIのCMOS微細化による高速化は、グローバル配線層の信号遅延の影響による性能限界を顕著にしつつある。本研究では、グローバル配線に適用可能な超低消費電力・超高速の光デバイス・電子デバイスをInP系材料を用いて実現することを目指し、超低消費電力動作の観点で従来の半導体レーザより有望なメンブレン構造半導体レーザを中心とする光デバイス、駆動用超高速電子デバイス、およびチップ間超高速信号伝送用テラヘルツデバイスの開発を行っている。

研究分野：光エレクトロニクス

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：インターコネクション・グローバル配線・半導体レーザ・トランジスタ
テラヘルツ・InP・光電融合

1. 研究開始当初の背景

シリコンLSI内のクロック周波数は、2017年以降には40GHzを超えていくことがITRSで予想され、従来のCR型配線ではその遅延が許されなくなる。その解決策としてマルチコア化による並列処理化、超高速信号伝送に有利な光信号伝送をグローバル配線に導入するための光デバイス・光回路の研究が2000年代より活発化している。

2. 研究の目的

本研究では、シリコンLSI上に薄膜として形成できる広帯域光配線技術を確立することを本研究の目的としており、図1に示すように、LSI内光配線の為の微細InP系メンブレンレーザと広帯域変調を行うメンブレン変調器、さらに同じ作製技術を活用拡張したサブテラヘルツ～テラヘルツ領域で動作するInP系メンブレン電子デバイスからなる、シリコン上のメンブレン光電子デバイスの形成技術の確立およびその高性能化を目指している。

3. 研究の方法

グローバル配線のための光回路としては超低消費電力動作が必要であり、それを達成するデバイス構成として薄膜InP系材料を低屈折率で挟みこんだメンブレン構造を利用し、光デバイス、電子デバイス、チップ間伝送用テラヘルツデバイスを実現する。

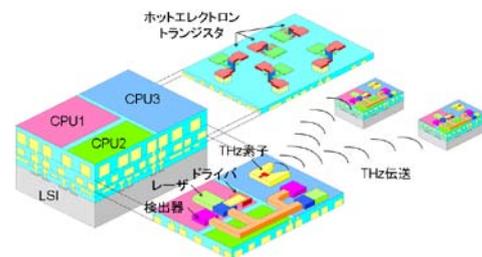


図1. 本研究で確立を目指すLSI内の光配線層の概念図

光デバイス：メンブレン化により活性層への光閉じ込めを向上し、DFB構造による高結合により0.1mA以下のしきい値動作で高速動作を目指す。また、フォトディテクタ、メンブレン導波路についても実現する。

電子デバイス：n-MOSトランジスタ駆動能力の限界を打破できる可能性を併せ持つ素子としての絶縁ゲート型ホットエレクトロントランジスタを形成し、さらにメンブレン電子デバイス化を行う。また変調時に必要な高耐圧高速素子としてInP系ヘテロ接合バイポーラトランジスタ（HBT）をメンブレン電子デバイスとして形成する。

テラヘルツデバイス：LSIチップ間で短距離大容量の無線伝送を行うため、共鳴トンネルダイオードと微細アンテナを半導体基板上に集積したテラヘルツ帯の発振素子を作製し、室温において1THz以上の基本波発振、

および、チップ間伝送に必要な不可欠な水平方向放射や光信号をテラヘルツ信号に変換するために必要な発振素子とその集積構造の確立を目指す。

また、これらのデバイスの集積化技術を検討し、光信号からテラヘルツ信号へのシームレスな信号変換技術を提案・実現する。

4. これまでの成果

LSIで使用されるSOI基板とInP基板の直接貼り付け技術において、窒素プラズマによる表面活性化技術により1MPaを超える貼り付け強度を実現した。また、直接貼り付け技術を利用し、SOI基板上の電流注入型DFBレーザを世界で初めて実現した。また、メンブレンレーザの電流注入動作実現のため、半絶縁基板上に400nmの薄膜半導体層を形成し、横方向にPN構造を形成することによってしきい値11mA、外部量子効率33%の室温連続発振レーザ動作を実現した。その構造を利用したフォトディテクタによって7GHzの小信号帯域を確認し、10Gbpsでのアイ開口を確認した。

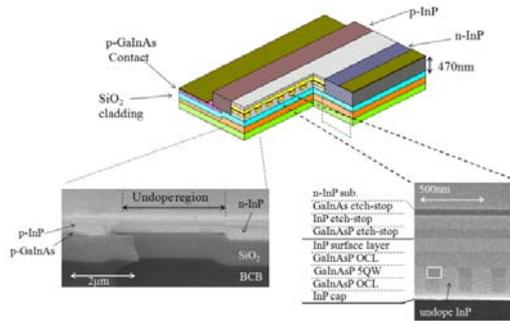


図2. 試作したメンブレンDFBレーザ

絶縁ゲート型ホットエレクトロントランジスタは、遮断周波数2THz以上を理論的に明らかにし、実験的にはチャンネル幅15nm、チャンネル長60nmの素子において1.1A/mm、0.53S/mmの電流駆動能力を得た。InP系HBTでは、遮断周波数468GHzを確認した。さらにシリコン基板上にHBTをメンブレン化して形成し、静特性を測定した。

テラヘルツデバイスについては、極薄バリアと傾斜エミッタにより電子走行時間を短縮した共鳴トンネルダイオード(RTD)を用いて、単体の室温電子デバイスとしては最高周波数の951GHz基本波発振を達成した。また、メンブレン型水平放射素子の

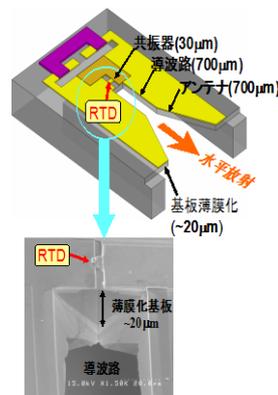


図3. 試作したテラヘルツ発振素子

作製プロセスを確立し、405GHzで出力60μWの単峰水平放射を得るとともに、線幅や雑音の測定に必要なRTDの発振出力の準光学的高調波ヘテロダイン検出に成功した。

また、光生成キャリアによる光信号からテラヘルツ信号への変換を可能とする半導体素子を提案し、その基礎実験において、光信号の反転信号がテラヘルツ信号として出力されることを確認した。

5. 今後の計画

薄膜化技術を向上させ、メンブレンDFBレーザにおいて極低電流・高効率動作を目指すと共に、超高速信号伝送を実現するためのメンブレン構造による光変調器および光検出器の実現を最重点研究課題として行うと共に、素子の集積化に向けた技術開発を行う。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

1. T. Okumura, H. Ito, D. Kondo, N. Nishiyama, and S. Arai, "Continuous Wave Operation of Thin Film Lateral Current Injection Lasers Grown on Semi-insulating InP," *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 49, 040205 (2010)
2. T. Okumura, T. Maruyama, H. Yonezawa, N. Nishiyama, and S. Arai, "Injection-Type GaInAsP-InP-Si Distributed-Feedback Laser Directly Bonded on Silicon-on-Insulator Substrate," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol. 21, No. 5, pp. 283-285, (2009)
3. H. Saito, Y. Miyamoto, and K. Furuya, "Improvement in Gate Insulation in InP Hot Electron Transistors for High Transconductance and High Voltage Gain," *Appl. Phys. Express*, Vol. 2, 034501 (2009)
4. M. Asada, S. Suzuki, and N. Kishimoto, "Resonant Tunneling Diodes for Sub-Terahertz and Terahertz Oscillators," (Invited), *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol. 47, No.6, pp.4375-4384 (2008).
5. K. Urayama, S. Aoki, S. Suzuki, M. Asada, H. Sugiyama, and H. Yokoyama, "Sub-Terahertz resonant Tunneling Diode Oscillators Integrated with Tapered Slot Antennas for Horizontal Radiation," *Appl. Phys. Exp.*, Vol. 2, 044501 (2009).

他 32 件

ホームページ等

<http://www.pe.titech.ac.jp/AraiLab/index.html>

<http://www.pe.titech.ac.jp/Furuya-MiyamotoLab/index.htm>

http://www.pe.titech.ac.jp/AsadaLab/Asada_Lab.html