

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 24 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2012～2015

課題番号：24681026

研究課題名(和文) 環境分析のためのシリコン上 InGaAs / InAs 発光素子の開発

研究課題名(英文) Development of InGaAs/InAs on Silicon light emitting devices for environmental analyses

研究代表者

肥後 昭男 (Higo, Akio)

東北大学・原子分子材料科学高等研究機構・助教

研究者番号：60451895

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 20,400,000円

研究成果の概要(和文)：シリコン基板上にIII-V族半導体をモノリシック集積するための基盤技術の確立と長波長光源のための基礎的発光特性について研究をおこなった。実際に作製をしたシリコン上InGaAs光源からはフォトルミネッセンス測定において1600nm帯の発光に成功した。環境分析において長波長光源を用いたガスセンサなどに応用が期待されており、その光源をシリコン上に作製することで将来的にシリコンデバイスとの高度集積素子が可能になる。

研究成果の概要(英文)：We have studied on III-V compound semiconductor materials growth on silicon substrate for Si/III-V monolithic integration and optical characteristics by photoluminescence. We have successfully fabricated InGaAs layer on silicon substrate and observed 1600nm wavelength by photoluminescence measurement. Infra red emitting devices have much attention for gases sensing in the environmental analyses and it is possible to realize the integration of III-V emitting device and Si LSI.

研究分野：Optical MEMS

キーワード：MOVPE InGaAs

1. 研究開始当初の背景

シリコン基板上 III-V 族半導体の研究は光デバイス応用で大変盛況であり、将来の電子回路上にハイブリッド集積した光電子回路による超高速集積回路の実現に向けて多くの研究が発表されている。その中で、III-V on Silicon の集積方法には大きく分けてハイブリッド集積とモノリシック集積の2種類がある。貼り合わせ技術を用いて Si 基板と III-V 族半導体基板を集積するハイブリッド集積と、結晶成長によって直接的に異種材料を成長するモノリシック集積である。ハイブリッド集積では Si 基板上に別途成長した III-V 族半導体を張り合わせる手法であるため光デバイスはある程度性能が期待できる。現在のシリコンフォトニクスにおける光・電子集積はハイブリッド集積が主である。ハイブリッド集積は BCB などの中間層を用いる方法、ダイレクトボンディング、プラズマ接合ボンディングなどがある。中間層を用いる方法は接合表面のラフネスに強くプロセスが容易である一方、絶縁層を介して接合するため基板水平方向に電流を流す必要がある。直接接合型は接合強度が高く、基板垂直方向に電流を流せるが、異種材料の接合は極めて難しく、さらに、接合界面に原子層レベルで平坦な表面を要するなどプロセスの難度が高い。任意の場所に素子を配置させるには高度なアライメントを要するなどプロセスが複雑になり、量産性とコスト面の課題がある。一方、ヘテロエピタキシャル結晶成長によって集積するモノリシック集積を考えると、たとえば、Si と III-V 族化合物半導体は格子定数、熱膨張係数、極性が大きく異なるため、Si 上に III-V 族半導体結晶の薄膜を得ることは極めて難である。しかし、結晶成長は大面積ウェハプロセスが可能で量産性に優れており、現在のほぼ全ての半導体デバイスが結晶成長によって作製されていることを考えても、ハイブリッド集積

に変わってモノリシック集積が主流になる可能性は十分にあると言え、現在でも多くの研究が行われている。

2. 研究の目的

本研究では、微小領域選択成長有機金属気層成長法を用いて Si 基板上 InGaAs マイクロディスクを成長し、Si 基板上光デバイスへの応用を検討することを目的とする。作製した InGaAs ディスクの発光特性を解明する。これを踏まえた上で、光閉じ込め構造を有する InGaAs ディスクの作製を行う。InGaAs ディスクの結晶成長条件を確立するとともに、本研究ではマスクパターンの変化によって得られる結晶の変化について調査を行う。また、光デバイスに必要な活性層内への光の閉じ込め構造の検証、クラッド層となるマスク膜厚を厚くした結晶成長プロセスを構築し、光閉じ込め構造を有した InGaAs ディスクの作製を行う。最後に、作製したディスクの発光特性を光励起によって解明する。

3. 研究の方法

成長用テンプレートの作製

本研究で用いた Si 基板は両面研磨、3inch、面方位は(111)just である。SOI 基板は2種類あり、活性層: 5um-Si(001)、BOX: 0.5um、支持基板: 350um-Si(111)と活性層:

5um-Si(001)、BOX: 1.0um、支持基

板: 350um-Si(111)であり、活性層を chemical mechanical polishing で 500nm 程度に薄膜化した。

選択成長のマスクは Si の熱酸化によって作製した。マスクパターンは武田先端知ビルのカリーナームにある ADVANTEST 製電子線描画装置 F5112 を用いた。リソグラフィ後にエッチングによって成長領域を作製した。その後、ウェハをクリーンルーム内の Disco 製ブレードダイサーでダイシングする。洗浄プロセスとして、成長用チップをアセトンに浸して超音波洗浄器で5分間洗浄する。次に、140 に加熱した硫酸加水で10分間洗浄する。最後に、

5%以下HF水溶液に30秒して表面の自然酸化膜を除去し、MOVPE装置にて成長を行う。

結晶成長プロセス

結晶成長はMOVPE装置で行う。反応炉内は全圧10kPa、温度610 の条件下で成長を行う。

結晶のサイズはInAs、InGaAsの成長時間によって制御した。

4. 研究成果

InAs成長におけるマスクパターン依存性 マスクパターンは選択成長において極めて重要なパラメータである。MOVPEで結晶成長を行う場合、試料表面近傍にたどり着いた製膜腫は濃度勾配に従って拡散する。しかしながら、拡散する間に成長領域に辿り着かなかった製膜腫は表面近傍から脱離するか、マスク上に吸着する。マスク上に発生した核は原料を取り込んで大きく成長するため、基板上に局所成長するか堆積をしてしまう。よって、成長領域間隔には上限が存在する。図1は成長領域間隔が7um、10um、15um、20umのマスクパターンでInAs結晶成長を行った結果である。7um、10umの成長領域間隔ではマスク上に異常成長した結晶が確認できないのに対して、15um、20umの成長領域間隔では徐々に異常成長する結晶が増える傾向が分かる。成長領域間隔を広げるにつれてマスク上に成長した結晶の割合が高まること分かる。成長領域間隔を30umに広げた場合は異常成長する割合が著しく増大していることが分かった。

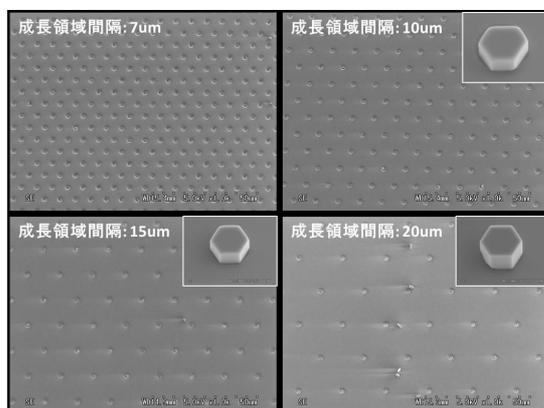
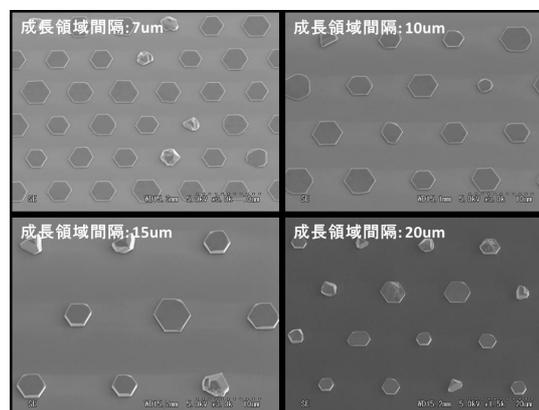
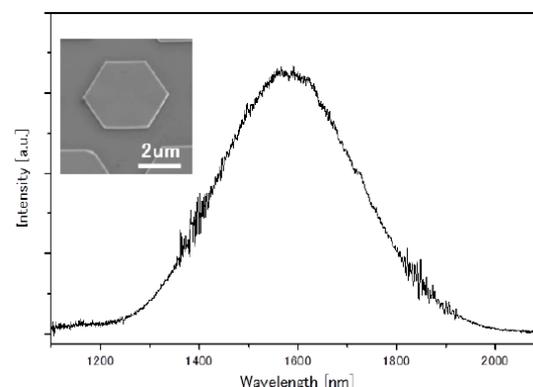


図1, 成長領域の間隔依存性
次にInGaAs成長におけるマスクパターン依

存性を調べた。InAs成長ではTMIInの気相拡散長に律速されてマスク上異常成長結晶が増大するが、InGaAs成長においても拡散長が成長機構を決定する要因であると考えられる。Gaの気相拡散長はInの気相拡散長よりも長く、Inが10umオーダーでありGaが100umオーダーなことが多い。そのため、InAsの結晶成長が可能な成長領域間隔20umパターンでInGaAs成長が可能であるという予想の下で成長を行った。成長領域間隔が7um、10um、15um、20umのパターンを持つ成長テンプレートを作製し、InGaAsを成長した時の結果が図2である。



以上のように、Si上にInGaAsを成長することに成功した。そこで、InGaAsナノディスクのフォトルミネッセンス測定を行った。その結果を図3に示す。



中心波長1.6umで非常に広範囲に発行していることが分かる。これは、InGaAsが面内で組成分布があるためである。

InGaAsからの発光を確認できたため、光デバイスへするための応用として、InGaAsのエッ

チングに関する研究をおこなった。通常のプラズマエッチングを活性層でおこなうとプラズマによって欠陥が生成してしまい、活性層がダメージを受けてしまい発光しなくなる。そこで、低損傷のドライエッチングプロセス [1] に目をつけた。プラズマ中の塩素イオンを電荷交換して中性化してエッチングをする手法は、運動エネルギーのみでエッチングされるため、極めて低損傷なエッチングである。InGaAsのエッチングでは、通常高温プロセスが必要になるが、本研究で用いた装置では、基板温度100度でエッチングが可能になった。また、プラズマ中の紫外線が結晶中のダメージを誘起する原因になる可能性もあるため、本装置では除去している。その結果、InGaAsのエッチングの成功した。さらに、フォトルミネッセンス測定の結果、InGaAs領域からの発光を確認することができている。

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2件)

Cedric Thomas, Yosuke Tamura, Mohd Erman Syazwan, Akio Higo, and Seiji Samukawa, Oxidation states of GaAs surface and their effects on neutral beam etching during nanopillar fabrication, *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol. 47 (2014) pp. 215203 (11pp) 査読あり

Cedric Thomas, Yosuke Tamura, Takeru Okada, Akio Higo and Seiji Samukawa, Estimation of activation energy and surface reaction mechanism of chlorine neutral beam etching of GaAs for nanostructure fabrication, *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol. 47 (2014) pp. 275201 (7pp) 査読あり

[学会発表](計2件)

Cedric Thomas, Kenichi Yoshikawa, Chang-Yong Lee, Yosuke Tamura, Akio Higo, Takayuki Kiba, Akihiro Murayama, Ichiro Yamashita, Seiji Samukawa, Top-down InGaAs/GaAs nanopillars fabrication using a bio-nano process and a neutral beam etching process, *American Vacuum Society 61st International Symposium*

& Exhibition, PS-ThA8 (Baltimore, 2014/11/13).

Yu Fujimoto, Akio Higo, Jon Oyvind Kjellman, Shota Watanabe, Masakazu Sugiyama, and Yoshiaki Nakano "Photoluminescence of InGaAs islands on Si (111) substrate grown using micro-channel selective-area MOVPE", International Conference on Optical MEMS and Nanophotonics (OMN 2012), WP25, pp. 200-201, Banff, Canada, August 8 (2012).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

肥後 昭男 (HIGO, Akio)

東北大学・原子分子材料科学高等研究機構・助教

研究者番号：60451895