

平成 22 年 4 月 28 日現在

研究種目：基盤研究(A)

研究期間： 2007～2010

課題番号：19206011

研究課題名(和文) 非線形光・電子集積回路の基盤技術に関する研究

研究課題名(英文) Study on fundamental technologies for nonlinear optoelectronic integrated circuits

研究代表者

近藤 高志 (KONDO TAKASHI)

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号：60205557

研究代表者の専門分野：非線形光学材料，半導体フォトニックデバイス

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎 応用光学・量子光工学

キーワード：非線形光学 波長変換，疑似位相整合，化合物半導体，シリコンフォトニクス，エピタキシャル成長，分子線エピタキシー

1. 研究計画の概要

化合物半導体の 2 次非線形光学効果を用いた非線形光学デバイスを半導体光デバイスとモノリシックに集積化した非線形光集積回路 (NLOIC: nonlinear-optic integrated circuit) と、それをさらに電子デバイスとモノリシックに集積化した非線形光・電子集積回路 (NLOEIC: nonlinear optoelectronic integrated circuit) を新たに提案し、これらを実現するために必要な基盤技術を確認することを目的として、以下の項目について研究する。

- (1) 周期空間反転 GaAs/AlGaAs 疑似位相整合 (QPM) デバイスへの電流注入による線形ゲインを共存させた、まったく新しい非線形光学デバイスの動作特性を解明する。
- (2) GaAs 基板上で上記の電流注入 GaAs/AlGaAs QPM 導波路デバイスを作製する際の問題点 (結晶性や発光特性など) について検討した上で、良質なデバイスを作製するためのプロセスを開発する。
- (3) 化合物半導体ベースの非線形光学デバイスを Si 基板上にモノリシック集積化するために基盤技術として、Si 基板上 Ge エピタキシャル膜を疑似基板とした GaAs ヘテロエピタキシャル成長と非線形光学デバイス作製について検討する。

2. 研究の進捗状況

- (1) 電流注入の前提となる周期反転 AlGaAs (あるいは AlGaP) 導波路デバイスの高性能化に取り組んだ。GaP/AlGaP で初め

て QPM 波長変換に成功した。GaAs/AlGaAs QPM デバイスの高効率化は大いに進展し、1.5 mm 帯 SHG と 3.4 mm 帯 DFG で世界最高の規格化変換効率を達成した。電流注入 QPM デバイスの特性について理論計算をおこなった結果、常識的な注入条件で桁違いの高効率化が実現できる見通しを得た。

- (2) 周期反転 AlGaAs エピタキシャル膜の結晶性について、高分解能 X 線回折法によって評価をおこなった。通常のスードモルフィック相に加えて、異常な歪挙動をしめす相の存在が明らかとなった。積層欠陥との関連について現在検討を継続している。これは、良質な電流注入デバイスの作製へ向けて解決しなければいけない問題であると認識している。また、実際の電流注入デバイス作製に必要な MBE チャンバーの整備がほぼ終了した。
- (3) Si 基板上 CVD 成長 Ge エピタキシャル層を疑似基板として用い、GaAs の MBE 成長をおこなった。事前の基板処理等の最適化により、APD のないシングルドメインの GaAs エピタキシャル成長が可能であることをあきらかにした。成長した GaAs の副格子配列は副格子交換不可能なものとなってしまっていることがわかった (したがって、この上で QPM デバイスを作製することは現状ではできない) が、後述の HIC デバイス等の帰っつとフォームとして極めて有望であると考えている。
- (4) 研究スタート後に、扁平高屈折率差

(HIC)導波路の構造異方性を利用した複屈折位相整合(BPM)という新しい着想を得、これについても並行して研究を進めている。高Al組成AlGaAsの強制酸化によるAl₂O₃化のプロセスを最適化し、AlGaAs/Al₂O₃ HIC デバイスの作製に成功した。この新規デバイスの特性評価をおこなうとともに、NLOEICのコンポーネントとして組み込む可能性について検討を進めている。

3. 現在までの達成度

おおむね順調に進展している。

(理由)

電流注入の前提となるQPMデバイスの高性能化については、当初の予定を遙かに上回る性能向上が達成できた。しかしながら、同時に、異常歪相の発見という予想しなかった事態に直面し、QPMデバイスの電流注入については、計画期間内に理論計算通りの特性を示すデバイスが実現できるかどうかわからなくなってしまった。また、MBEチャンバーの整備が当初の目標よりもあとにずれ込んでいる点も問題であると認識している。しかし、一方で、当初の計画になかったHIC-BPMデバイスの研究を本研究に組み込むことができ、これによって新しい研究の出口が見いだせるかもしれない、と考えている。また、MBEチャンバーの整備がほぼ終了し、残りの研究期間で十分な研究成果を挙げることができると考えている。

4. 今後の研究の推進方策

- (1) 電流注入QPM, BPMデバイスの特性の理論的予測をさらに進め、キュアリア引き抜きによる2光子吸収破壊の回避の可能性についても検討する。また、HIC BPMデバイスの特性評価とこの改善に注力する。
- (2) 結晶性向上の指針を得ることを目標として、周期反転AlGaAsの結晶性評価をさらに進める。また、ダブルヘテロQPMデバイスを試作し、電流注入を実際にして各種の特性評価をおこなう。
- (3) Si基板上でのHIC BPM素子の作製にトライする。

以上の研究項目の推進を通じて、当初の研究目的を達成したいと考えている。

5. 代表的な研究成果

[雑誌論文](計5件)

H. Ishikawa and T. Kondo, "Birefringent phase matching in thin rectangular high-index-contrast waveguides," Appl. Phys. Express 2,

042202-1--3 (2009). (査読有)

J. Ota, W. Narita, I. Ohta, T. Matsushita, and T. Kondo, "Fabrication of periodically-inverted AlGaAs waveguides for quasi-phase-matched wavelength conversion at 1.55 μ m," Jpn. J. Appl. Phys. 48, 04C110-1--4 (2009). (査読有)

T. Matsushita, I. Ohta, and T. Kondo, "Quasi-phase-matched parametric fluorescence in a periodically inverted GaP waveguide," Appl. Phys. Express 2, 061101-1--3 (2009). (査読有)

[学会発表](計26件)

I. Ohta, T. Matsushita, J. Ohta, and T. Kondo, "Quasi phase matched parametric fluorescence in high-quality GaAs/AlGaAs waveguides," Advanced Solid-State Photonics, January 27, 2008, Nara, Japan.

T. Matsushita, I. Ohta, and T. Kondo, "Fabrication of periodically-inverted GaP/AlGaP waveguides for quasi-phase matching nonlinear optical devices," IEEE Nanotechnology Materials and Devices Conference 2008, October 20, 2008, Kyoto, Japan.

T. Kondo, T. Matsushita, J. Ota, K. Hanashima, T.-W. Kim, I. Ohta, and H. Ishikawa, "Wavelength conversion via quadratic nonlinearities in compound semiconductors," 1st International Conference on Silicon Photonics, January 23, 2009, Tokyo, Japan.

T. Kondo, "Semiconductor guided-wave wavelength conversion devices," Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO 2009), June 4, 2009, Baltimore, USA.

T. Kondo, "Wavelength conversion in semiconductor waveguiding devices," Nonlinear Optics (NLO 2009), July 14, 2009, Honolulu, USA.