

● 集積量子フォトニックデバイス

本グループは将来の光通信や量子情報処理、光センシングのための半導体レーザや非線形光学素子を要素とする集積量子フォトニックデバイスに関する研究を推進している。本年度は、半導体レーザ関係では、バイオセンシングやレーザディスプレイの光源への応用を目指した多焦点グレーティング結合器集積GaInP DBRレーザの実現、コヒーレントTHz波発生用2波長集積AlGaAs DBRレーザの実現などの成果を得た。また量子情報処理への応用を目指した導波型非線形光学デバイスの研究を進め、伝令付単一光子を得るための非縮退光子対発生デバイスの作製と従来より1桁以上高い量子効率の達成、新規な集積2波長偏波エンタングル光子対発生デバイスの提案と作製および機能実証などの成果を得た。

1. はじめに

本研究室では、将来の光通信・光情報処理や光センシングの発展を支えるための先端的な光電子デバイスの研究を行っている。光技術と電子技術の融合により従来の限界を超える高性能や新機能を持つ多くのデバイスが実現できる。また光の量子論的特性の活用により量子情報通信や量子コンピューティングなど将来の可能性を開拓できると期待される。導波型非線形光学デバイスと集積半導体量子井戸レーザに重点を置いて、種々の具体的な応用をもつ新たな集積量子フォトニックデバイスを考案し、理論解析と設計を行い、プロセス要素技術確立し、デバイス試作と実験で可能性を実証することを目的として研究を行っている。以下に平成21年度成果の概要を報告する。

2. 多焦点出力グレーティング結合器集積分布

ブラッグ反射型(DBR)レーザ

高スペクトル純度で単一モード発振する高出力の半導体分布ブラッグ反射型(DBR)レーザを中心とするモノリシック光集積回路の研究を続けている。本年度は特に本グループ提案による曲線DBRグレーティングを用いたDBRレーザと位相変調集光グレーティング結合器を集積化した多焦点出力レーザを実現した。検体配列と微小流路を用いたバイオ蛍光センシングなど各種光センシングのための励起光源としての応用、光通信や光ディスプレイへの応用を目指している。これまで研究してきた集光グレーティング結合器のパターンをセグメント分割し2次元周期的2値位相シフトを与えることにより、効率を低減させることなく等強度の3×3スポットアレイ

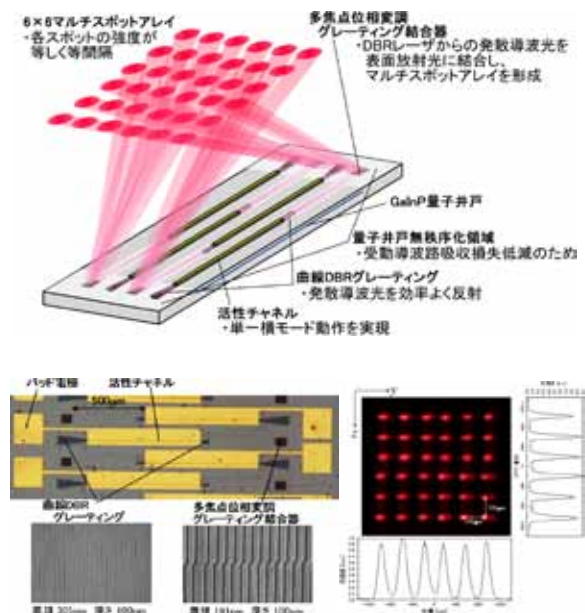


図1 多焦点グレーティング結合器集積DBRレーザアレイの構造と出力光スポットアレイ

を出力する結合器を実現できることを示し、この結合器を集積化したGaInP量子井戸DBRレーザを作製し、閾値電流30mA、注入電流70mAで出力0.2mWの3×3焦点を得て有効性を実証した^[1]。次に、この集積DBRレーザを4組アレイ集積化することにより図1のように6×6焦点の光出力を得るデバイスを設計・作製し、設計に近いマルチスポット出力を得た。また結合器パターンに逐次最適化計算で決定する連続位相変調を加えることによりn×nスポットアレイ出力結合器を設計する手法を開発し、GaInP量子井戸DBRレーザ発振器とテーパ型レーザパワー増幅器およびこの多焦点出力結合器を集積した多焦点出力レーザを設計・作製してその動作を実証した。

3. THz波発生用2波長集積DBRレーザ

半導体DBRレーザは発振波長制御性に優れ安定で純度の高い単一モード発振を行わせることが出来る。この利点を活用した応用の一つとして、THz波発生用2波長集積DBRレーザの実現に関する研究を行っている。近赤外域の僅かに波長の異なる2つのレーザ光の波面を重ねた光を低温成長GaAs光導電フォトミキサに入射させることによりビート周波数のコヒーレントTHz波を発生できる。2個のDBRレーザと波面重畳のための結合器を集積化すればコンパクトなTHz波発生システムの実現が期待できる。図2はこの目的のために提案した2波長集積AlGaAs量子井戸DBRレーザを示す。(a)のように2個のDBRレーザとY型活性チャネル結合増幅器を集積した構造であり、例えばDBRグレーティングに0.4nmの微周期差を与えれば1THzのTHz波発生に必要な約2nmの発振波長差が得られる。化学エッチングによる傾斜構造形成、精密制御電子ビーム描画とイオンエッチングによるグレーティング形成とリッジ形成、ファセット面への低反射/高反射コーティングでデバイスを試作した。各DBRレーザは閾値電流約33mAで発振し、DBRレーザへの80mAの注入、結合器への50mAの注入で約25mWの光出力(b)が得られ、ほぼ設計どおりの発振波長差1.0, 1.9nm(ビート周波数0.5, 0.93THzに対応)(c)が得られた^[2]。

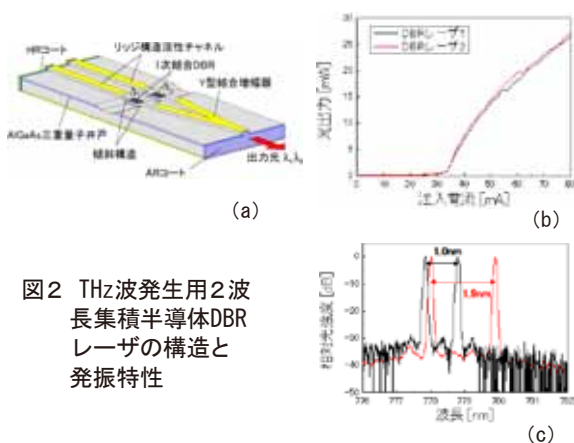


図2 THz波発生用2波長集積半導体DBRレーザの構造と発振特性

4. 量子光学機能導波型非線形光学デバイス

将来の量子暗号伝送や量子計算などの量子情報処理への応用を目指した集積量子フォトニックデバイスとして、LiNbO3導波路擬似位相整合非線形光学デバイスの理論的・実験的研究を進めた^{[3]-[7]}。光ファイバ長距離伝送可能な波長1.55μm帯光子とSi-APDで高効率光電変換可能な0.8μm帯光子の対を発生して伝令付単一光子を得るための非縮退光

子対発生デバイスを設計作製し従来研究の効率より1桁以上高い量子効率 2.15×10^{-9} を得た^[4]。またポストセクションが不要な純粋な量子エンタングル状態を得るための2区間の直交偏波光子対発生部からなる集積2波長偏波エンタングル光子対発生デバイス(図3)の提案と設計・作製および量子干渉実験による機能実証などの成果を得た^[6]。

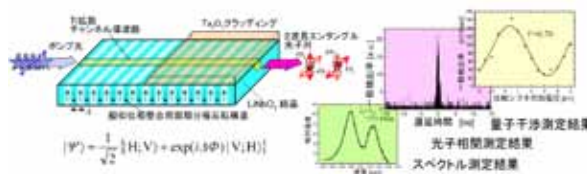


図3 集積2波長偏波エンタングル光子対発生デバイスの構成と光子対スペクトル、光子相関および量子干渉の実験結果

参考文献

[1] S.Takushima, M.Uemukai and T.Suhara: "GaInP red distributed-Bragg-reflector laser integrated with phase-shifted grating coupler for multispot focusing," Jpn. J. Appl. Phys., vol.48, 030206, 2009.
 [2] 石田秀直, 上向井正裕, 伊藤明, 栖原敏明: "THz波発生用AlGaAs量子井戸リッジ型2波長集積DBRレーザ," 平成22年春季第57回応用物理学関連連合講演会, 19p-E-10 (2010-03).
 [3] T.Suhara, "Generation of quantum-entangled twin photons by waveguide nonlinear optic devices," Laser & Photon. Rev., DOI 10.1002/lpor.200810054, vol.3, No.4, pp.370-393, 2009.
 [4] S.Kajita, M.Fujimura and T.Suhara, "LiNbO3 waveguide quasi-phase-matched highly nondegenerate twin photon generation device for heralded single photon source," Jpn. J. Appl. Phys., vol.49, no.3, pp.030206-1-3, 2010.
 [5] J.Kawashima, M.Fujimura and T.Suhara: "Type-I quasi-phase-matched waveguide device for polarization-entangled twin photon generation," IEEE Photon. Tech. Lett., vol.21, No.9, pp.566-568, 2009.
 [6] T.Suhara, G.Nakaya, J.Kawashima and M.Fujimura: "Quasi-phase matched waveguide devices for generation of postselection-free polarization-entangled twin photons," IEEE Photon. Tech. Lett., vol.21, No.15, pp.1096-1098, 2009.
 [7] T.Takaoka, M.Fujimura and T.Suhara, "Fabrication of ridge waveguide in LiNbO3 thin film crystal by proton-exchange accelerated etching," Electronics Lett., vol.45, no.18, pp.940-941, 2009