

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月24日現在

機関番号：14401
研究種目：基盤研究（A）
研究期間：2009～2011
課題番号：21246015
研究課題名（和文）
強閉じ込み埋込み導波路を用いた集積非線形量子フォトニックデバイスの研究
研究課題名（英文）
Research on Integrated Nonlinear-Optic Quantum Photonic Devices Using Strong-Confinement Buried Waveguides
研究代表者
栖原 敏明（SUHARA TOSHIAKI）
大阪大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：90116054

研究成果の概要（和文）：強誘電体結晶強閉じ込み埋込み光導波路を開発し、量子情報処理への応用のための非線形光学量子フォトニックデバイスを実現することを目的として、理論的・実験的研究を行った。接合拡散型、薄膜リッジ型などの新導波路構造および短周期分極反転擬位相整合構造を形成する技術を確立し、伝令付単一光子送信用高効率非縮退光子対発生デバイス、可変波長光子対発生デバイス、偏波エンタングル光子対発生デバイスの提案と機能実証などの成果を得た。

研究成果の概要（英文）：Theoretical and experimental research work was performed aiming at implementation of strong-confinement buried waveguides in ferroelectric crystals and nonlinear-optic quantum photonic devices for applications to quantum information processing. Fabrication techniques for waveguides of bonding/diffusion and ridge types and short-period quasi-phase matching structures were developed. Novel devices such as a twin-photon generation (TPG) device for single photon generation, a tunable TPG device, and polarization-entangled TPG devices were proposed and demonstrated.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	14,200,000	4,260,000	18,460,000
2010年度	12,900,000	3,870,000	16,770,000
2011年度	8,200,000	2,460,000	10,660,000
年度			
年度			
総計	35,300,000	10,590,000	45,890,000

研究分野：工学

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：光制御

1. 研究開始当初の背景

非線形光学デバイスは、この約20年間に導波路技術の適用や擬位相整合（QPM）技術の開発で著しい発展が得られ、波長変換、超高速光信号処理などの応用をもつデバイスが多くの機関で研究・開発され実用化が推進されてきた。本グループは将来の量子情報通信・処理のための量子光学機能を実現する

導波型 QPM-NLO デバイスの研究に逸早くとり組み、先駆的成果をあげてきた。これらデバイスでは太さ数 μm のアニールプロトン交換(APE)導波路やTi拡散(TD)導波路と数 μm 以上の周期のQPM構造が用いられ、デバイス長は数cmである。性能は理論限界に近づいており更なる高性能化は難しい。しかし導波路断面積を微細化して光波閉じ込めを強化

すれば、規格化変換効率を大幅に向上でき、同等の効率が短いデバイスで実現できる。また導波路を結晶内に埋め込んで対称化すれば、異波長モード間重なり改善による高効率化や、励起光源やファイバとの結合の高効率化が図れる。現デバイスに適合するサブ μm 周期 QPM 構造の形成は至難であるが、厚さ $1\mu\text{m}$ 程度以下の導波層内であれば短周期 QPM 構造形成と新デバイス実現も可能となると予想される。このように強閉じ込め導波路には利点が潜在するが作製技術は未開拓でありデバイス研究は限られていた。接合導波路を用いた波長変換デバイスの開発は始められていたが、量子光学機能デバイスに応用されるに至っていなかった。

2. 研究の目的

本研究は、本グループの導波型非線形光学(NLO)デバイス研究の経験と最近の成果を基盤として、ニオブ酸リチウム(LiNbO₃, LN)結晶における新規な埋込み光導波路の開発を行い、導波型 NLO デバイスの可能性を飛躍的に拡大することを目指して、各種の非線形量子フォトニックデバイスの実現と集積化の研究を理論と実験の両面から行ったものである。結晶接合拡散型導波路、結晶接合導波路、埋込細線導波路などの強閉じ込め埋込み導波路構造、および短周期分極反転擬似位相整合構造を形成する技術を開発し、具体的な量子光学機能を持つデバイスの設計・試作・評価を通じて、超高効率化、超小型化、高機能化と新機能実現の可能性を追求し、光通信、光情報処理、量子情報への応用を持つ各種デバイス実現の基礎技術を構築することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究は3年の研究期間で理論的・実験的研究を推進することで実施した。各種新導波構造の特性を解析して、設計データと精度要求を明らかにし、技術開発指針を得た。また各種の基本的な非線形光学デバイスの特性を解析し性能改善比を評価した。さらに新デバイスに関して、設計指針と理論特性を明らかにするための理論解析を行った。実験的研究では、まず拡散導波路技術、結晶直接接合技術、電子/イオン技術を駆使した拡散接合埋込み導波路、薄膜結晶埋込み導波路の作製技術開発に取り組んだ。また擬似位相整合用周期分極反転構造を形成する技術の開発と改善に取り組んだ。さらにこれらの技術を統合して、いくつかの量子フォトニックデバイスを試作・評価し可能性を実証した。結晶接着・研磨については企業との共同研究による協力を得た。

4. 研究成果

強閉じ込め導波路と短周期分極反転構造の

形成のための要素技術、および集積非線形量子フォトニックデバイスに関して多くの成果が得られた。得られた主な成果は以下のように要約される。

(1) 強閉じ込め埋込み導波路とそれを用いた基本型非線形デバイスの理論解析

高屈折率差薄膜リッジチャンネル導波路の理論解析と光子対発生(TPG)デバイスの理論解析を行い、設計・作製指針を明らかにし、従来型導波路デバイスに比した優位性を明らかにした。

(2) 強閉じ込め埋込み導波路作製技術

- ① 表面親水化処理結晶直接接合(DB)技術とアニールプロトン交換(APE)技術により、対称性に優れた埋込み導波路の作製技術を開発した。
- ② 結晶薄膜導波路を選択プロトン交換増速化学エッチングして強閉じ込めリッジ型導波路を形成する技術の開発を行った。
- ③ Au/Cr マスク使用(電界印加)マイクロプロトン交換増速エッチング法を開発してリッジ形状と光波閉じ込めの改善を行った。
- ④ 高速 He イオン注入によるイオンライニング技術を用いた光導波路形成技術開発に着手し、基礎的知見を得た。

(3) 周期的分極反転擬似位相整合構造作製技術

- ① 光損傷耐性 MgO:LiNbO₃ 結晶に加熱電圧パルス印加で QPM 用分極反転構造を形成する技術を確立した。また強閉じ込め導波路を用いた新規デバイス実現のため、接着・研磨薄膜結晶における QPM 構造形成に取り組み、作製条件を明らかにした。
- ② 光損傷耐性 MgO 添加 LN 結晶に微細周期 QPM 構造を形成する新技術として、紫外光照射2段階室温電圧印加法を確立し、導波型 QPM-SHG デバイスに適用して良好な結果を得た。
- ③ 短周期 QPM 構造形成技術確立に向けて、電子ビーム描画形成した周期電極への電圧印加による分極反転の検討を行い、実験的知見を得た。

(4) 強閉じ込め光導波路を用いた擬似位相整合(QPM)非線形光学デバイス作製と評価

- ① 結晶直接接合 APE 埋込み導波路を用いて周期分極反転により QPM-SHG デバイスを作製して性能評価した。また QPM 構造をアライメント接合する技術で SHG 効率を改善した。
- ② 薄膜結晶 APE 強閉じ込めリッジ導波路を用いた QPM-SHG デバイスを作製しその動作を確認した。

(5) 非線形量子フォトニックデバイスの理論解析

新規な量子フォトニックデバイスとして、対向伝搬光子対発生デバイスの量子論的解析を行い、QPM 特性、変換効率、光子対スペクトル・発生効率などの特異な理論特性を明らかにした。

(6) 非線形量子フォトニックデバイスの作製と特性評価

将来の量子暗号伝送などの量子情報処理への応用を目指した量子フォトニックデバイスに関して、以下の実験的研究成果を得た。

- ① ファイバ伝送される $1.55\mu\text{m}$ 帯単一光子を可視域波長に変換して高効率検出するための光子アップコンバータにおいて埋込型光導波路の採用により効率改善を図り、量子効率 30%を得た。
- ② 波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯光子と高効率光電変換可能な $0.8\mu\text{m}$ 帯光子の対を発生して伝合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、従来研究より 1 桁以上高い量子効率 2.15×10^{-9} を達成した。
- ③ 可変波長光子対発生デバイスの実現を目指し、広い温度範囲で動作する MgO:LiNbO₃ 光子対発生デバイスを設計・作製し、特性を評価した。理論予測に近い効率 1.6×10^{-6} 、および縮退光子対発生励起光波長の温度依存性が得られ、光子対波長制御の可能性を確認した。
- ④ Type-I 疑似位相整合光子対発生デバイスと偏波変換用波長板を集積した新規な集積偏波エンタングル光子対発生デバイスを提案し、設計作製して量子干渉実験により機能実証するとともに、従来より約 3 桁高い効率 2.4×10^{-7} を達成した。
- ⑤ ポストセレクション不要な純粋な量子エンタングル状態を得るための 2 区間直交偏波光子対発生部からなる 2 波長偏波エンタングル光子対発生デバイスを提案し、設計・作製および量子干渉実験による機能実証を行った。

(7) 電気光学効果ブラック偏向型光変調器

強誘電分極反転構造の新応用として、ブラック偏向型電気光学効果空間光変調器を提案した。試作した MgO:LiNbO₃ 結晶変調器で青緑色光および紫外光に対して、駆動電圧 ±50V で最高回折効率 97% の変調特性を得た。また MgO:s-LiTaO₃ 結晶を用いた低駆動電圧化デバイスを設計作製し、紫外光に対して駆動電圧 9V で最高回折効率 97.8% の変調特性を達成した。

(8) 集積非線形量子フォトニックデバイスのための半導体レーザの設計・作製

非線形量子フォトニックデバイスの励起光源として使用できる可変波長単一モード発振リッジ導波路型 DBR レーザや 2 波長集積 DBR レーザを設計・作製し、その動作を

実証した。

以上の成果は強閉込め埋込み導波路を用いた集積非線形量子フォトニックデバイスの技術的基礎を構築するものと評価され、学会等での招待講演依頼を受けるなど研究者の関心を集めており、今後の波及効果が期待される。しかし当初目標の一部はまだ達成されておらず、本研究により明確となった新たな可能性と課題もあるため、今後も更に研究を継続する必要がある。

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 14 件)

- 1) K.Uenishi, M.Uemukai and T.Suhara, "Rotation-symmetric multisport focusing phase-shifted grating coupler for integrated semiconductor laser," Jpn. J. Appl. Phys., vol.51, 2012, to be published.
- 2) S.Kakuno, M.Fujimura and T.Suhara, "Wavelength tuning by temperature control in MgO-doped LiNbO₃ waveguide quasi-phase-matching twin photon generation device," Jpn. J. Appl. Phys., vol.51, 030201-1-3, 2012.
- 3) M.Uemukai, H.Ishida, A.Ito, T.Suhara, H.Kitajima, A.Watanabe and H.Kan, "Integrated AlGaAs Quantum-Well Ridge-Structure Two-Wavelength DBR Laser for THz Wave Generation," Jpn. J. Appl. Phys., vol.51, 020205-1~3, 2012.
- 4) M.Okazaki, S.Yoshimoto, T.Inoue, and T.Suhara, "Electro-optic Bragg deflection modulator for UV laser light using periodically poled MgO:s-LiTaO₃," IEEE Photon. Tech., Lett., vol.23, No.22, pp.1709-1711, 2011.
- 5) M.Fujimura, E.Kitado, T.Inoue, and T.Suhara, "MgO:LiNbO₃ waveguide quasi-phase-matched second-harmonic generation devices fabricated by 2-step voltage application under UV light," IEEE Photon. Tech., Lett., vol.23, No.18, pp.1313-1315, 2011.
- 6) T.Inoue, and T.Suhara, "Electro-Optic Bragg deflection optical modulator using periodically poled MgO:LiNbO₃," IEEE Photon. Tech., Lett., vol.23, No.17, pp.1252-1254, 2011.
- 7) T.Suhara and M.Ohno, "Quantum theory analysis of counter-propagating twin photon generation by parametric downconversion," IEEE J. Quantum Electron., vol.46, No.12, pp.1739-1745,

- 2010.
- 8) 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. Applied Phys., vol.49, no.3, 030206-1-3,2009.
 - 9) 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.
 - 10) 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.
 - 11) J.Kawashima, M.Fujimura and T.Suhara, "Type-I quasi-phase-matched wave- guide device for polarization- entangled twin photon generation," IEEE Photon. Tech. Lett., vol.21, No.9, pp.566-568, 2009.
 - 12) 柘原敏明, 藤村昌寿, "偏波エンタングル光子対発生用導波路非線形光学デバイス," レーザー研究, vol.37, No.4, pp.264-270, 2009.
 - 13) 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.
 - 14) T.Suhara, "Generation of quantum-entangled twin photons by waveguide nonlinear optic devices (Invited Review Paper)," Laser & Photon. Rev., DOI10.1002/lpor.200810054, vol.3, No.4, pp.370-393, 2009.
- [学会発表] (計 41 件)
- 1) M.Uemukai and T.Suhara, "Integrated two-wavelength DBR lasers for tunable photomixing THz-wave generation (Invited Paper)," European Conf. Integrated Optics (ECIO'12), Barcelona, Spain, April. 18-20, 2012.
 - 2) M.Okazaki, T.Chichibu, S.Yoshimoto, H.Mizuno and T.Suhara, "EO spatial UV-light modulator using periodically-poled deep-proton-exchanged s-LiTaO₃ waveguide, European Conf. Integrated Optics (ECIO'12), Barcelona, Spain, April. 18-20, 2012.
 - 3) 柘原敏明, "導波型非線形光学量子フォトリックデバイス (招待講演)," 電子情報通信学会 第3回集積光デバイスと応用技術研究会, 一集積光デバイス技術の歩みと応用-現在・過去・未来— IPDA12-14, pp.99-104, 逗子市, 2012年2月2~3日.
 - 4) 井上敏之, 柘原敏明, "周期分極反転 MgO:LiNbO₃ を用いた電気光学ブラッグ偏向型光変調器," 電子情報通信学会技術報告, vol.111, No.412, pp.327-330, OPE2011-197, LQE2011-183 (2012-01-27).
 - 5) 北戸英理, 井上敏之, 藤村昌寿, 柘原敏明, "紫外照射下電圧印加分極反転 MgO:LiNbO₃ 導波路疑似位相整合第2高調波発生デバイス," 電子情報通信学会技術報告, vol.111, No.412, pp.323-326, OPE2011-196, LQE2011-182 (2012-01-27).
 - 6) 上向井正裕, 上西健吾, 柘原敏明, "マルチスポット形成位相変調グレーティング結合器集積化 GaInP 量子井戸 DBR レーザ," 電子情報通信学会技術報告, vol.111, No.412, pp.305-308, OPE2011-192, LQE2011-178 (2012-01-27).
 - 7) T.Suhara, M.Fujimura and M.Uemukai, "Integrated quantum photonic devices," The 3rd Global COE International Symposium on Electronic Devices Innovation, Proc. P-14, pp.139-142, Senri Life Science Center, Toyonaka, Osaka, Dec.16-17, 2011.
 - 8) 柘原敏明, "非線形光学デバイスの進展 (基調講演)," 応用物理学会・量子エレクトロニクス研究会「非線形光学 50年 その基礎と材料・デバイスおよび応用」, 上智大学軽井沢セミナーハウス 2011年12月9~11日.
 - 9) M.Okazaki, S.Yoshimoto, T.Inoue, and T.Suhara, "Electro-Optic Bragg deflection modulator for UV laser light using periodically poled MgO:s-LiTaO₃," 17-th Microoptics Conference (MOC'11), L-5, Sendai, Oct.30-Nov.2, 2011, 2011.
 - 10) T.Inoue, and T.Suhara, "Electro- Optic Bragg deflection optical modulator using periodically poled MgO:LiNbO₃," 17-th Microoptics Conference (MOC'11), L-4, Sendai, Oct.30-Nov.2, 2011, 2011.
 - 11) M.Fujimura, E.Kitado, T.Inoue, and T.Suhara, "MgO:LiNbO₃ waveguide SHG devices with domain-inverted gratings formed by 2-step voltage application under UV light," 17-th Microoptics Conference (MOC'11), H-15, Sendai, Oct.30-Nov.2, 2011, 2011.
 - 12) M.Uemukai, A.Ito, T.Suhara, H.Kitajima, A.Watanabe and H.Kan, "Demonstration of integrated AlGaAs quantum-well ridge-structure two-wavelength DBR laser

- for THz Wave generation,” 17-th Microoptics Conference (MOC'11),D-4, Sendai, Oct.30-Nov.2, 2011, 2011.
- 13) M.Fujimura, E.Kitado, T.Inoue, and T.Suhara, “MgO:LiNbO₃ waveguide second-harmonic generation devices with domain-inverted gratings formed by 2-step voltage application under UV light,” Int. Conf. Solid State Devices and Materials, I-3-4, pp.1151 – 1152, Nagoya, Sept.28-29, 2011.
 - 14) T.Suhara, “Waveguide quantum photonic devices,” Sixth Photonics Center Symposium Nanophotonics in Asia 2011, pp.28-29, Shima Kanko Hotel Classic, Sept.20-21, 2011.
 - 15) 北戸英理, 藤村昌寿, 井上敏之, 栖原敏明, “紫外照射下電圧印加分極反転 MgO:LiNbO₃ 導波路疑似位相整合第 2 高調波発生デバイスの作製と評価,” 平成 23 年秋季第 72 回応用物理学会学術講演会, 1p-ZN-10 (2011-09-1).
 - 16) 多田聡一郎, 藤村昌寿, 栖原敏明, “ピロリン酸マイクロプロトン交換増速エッチングによる LiNbO₃ リッジ光導波路作製,” 平成 23 年秋季第 72 回応用物理学会学術講演会, 1p-ZN-9 (2011-09-1).
 - 17) 上向井正裕, 伊藤明, 栖原敏明, “AlGaAs 量子井戸リッジ型 2 波長集積 DBR レーザの試作と THz 波発実験,” 平成 23 年秋季第 72 回応用物理学会学術講演会, 1p-ZL-8 (2011-09-1).
 - 18) 上西健吾, 上向井正裕, 栖原敏明, “集積半導体レーザ用回転対称マルチスポット形成位相変調グレーティング結合器,” 平成 23 年秋季第 72 回応用物理学会学術講演会, 1p-ZL-7 (2011-09-1).
 - 19) 上向井正裕, 伊藤明, 栖原敏明, “THz 波発生用 AlGaAs 可変波長リッジ型 2 波長集積 DBR レーザ,” 平成 23 年春季第 58 回応用物理学関連連合講演会, 26a-P5-8 (2011-03-26).
 - 20) 井上敏之, 栖原敏明, 岡崎雅英, “MgO:LiNbO₃ 分極反転構造 EO ブラッグ偏向型光変調器の短波長光変調特性,” 平成 23 年春季第 58 回応用物理学関連連合講演会, 26a-KB-5 (2011-03-26).
 - 21) 覺野重誠, 藤村昌寿, 栖原敏明, “MgO:LiNbO₃ 導波路型 QPM 光子対発生デバイスの作製と温度による光子対波長制御,” 平成 23 年春季第 58 回応用物理学関連連合講演会, 25a-BF-10 (2011-03-25).
 - 22) 藤村昌寿, 北戸英理, 井上敏之, 栖原敏明, “紫外照射 2 段階室温電圧印加作製 MgO:LiNbO₃ 周期分極反転構造を用いた導波路疑似位相整合 2 高調波発生デバイス,” 平成 23 年春季第 58 回応用物理学関連連合講演会, 25a-BF-3 (2011-03-25).
 - 23) 伊藤明, 上向井正裕, 栖原敏明, “THz 波発生用 AlGaAs 量子井戸 2 波長集積 DBR レーザの波長可変性の検討,” レーザー学会学術講演会第 31 回年次大会, F310p V 01 (2011-01-9).
 - 24) 多田聡一郎, 藤村昌寿, 栖原敏明, “Au/Cr マスク使用ピロリン酸マイクロプロトン交換増速エッチングによる LiNbO₃ リッジ光導波路,” レーザー学会学術講演会第 31 回年次大会, F209a V 04 (2011-01-9).
 - 25) 岡崎雅英, 吉本周平, 井上敏之, 栖原敏明, “MgO:SLT 周期分極反転構造を用いた紫外レーザ光用電気光学ブラッグ偏向型変調器,” Optics & Photonics Japan 2009 (日本光学会年次学術講演会)10aD6 (2010-11-10).
 - 26) 岡崎雅英, 吉本周平, 秩父孝夫, 武内誠, 水野博文, 栖原敏明, “電気光学ブラッグ偏向型光変調器用の薄型電圧印加構造の作製,” Optics & Photonics Japan 2010 (日本光学会年次学術講演会) 8pP15 (2010-11-8).
 - 27) 藤村昌寿, 井上敏之, 栖原敏明, “紫外光下電圧印加による MgO:LiNbO₃ 周期分極反転構造作製,” 応用物理学会励起ナノプロセス研究会, 第 6 回研究会, C-4 (2010-11-3).
 - 28) M.Uemukai, H.Ishida, A.Ito, T.Suhara, H.Kitajima, A.Watanabe and H.Kan, “Integrated AlGaAs Quantum-Well Ridge-Structure Two-Wavelength DBR Laser for THz Wave Generation,” 22nd IEEE International Semiconductor Laser Conference, ISLC2010, TuC 4, Conference Digest pp.74-75, Kyoto, 27-29 September 2010.
 - 29) 八木崇志, 藤村昌寿, 栖原敏明, “結晶直接接合 LiNbO₃ 埋込プロトン交換導波路第 2 高調波発生デバイス,” 平成 22 年秋季第 71 回応用物理学会学術講演会, 16p-G-6, (2010-09-16).
 - 30) 藤村昌寿, 井上敏之, 栖原敏明, “紫外照射 2 段階室温電圧印加による MgO:LiNbO₃ 周期分極反転構造作製,” 平成 22 年秋季第 71 回応用物理学会学術講演会, 16p-G-3, (2010-09-16).
 - 31) 井上敏之, 栖原敏明, 岡崎雅英, “MgO:LiNbO₃ 周期分極反転構造を用いた電気光学ブラッグ偏向方光変調器,” 平成 22 年秋季第 71 回応用物理学会学術講演会, 16a-G-6, (2010-09-16).
 - 32) 上向井正裕, 石田秀直, 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,” 電子情報通信学会技術報告, OPE2010-15, LQE2010-17, pp.3-6, (2010-06-25).

- 33) 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 (2010-03-19).
- 34) 栖原敏明, “非線形光学デバイスによる量子光学機能実現の理論的基礎,” (招待チュートリアル講演) 平成 22 年春季第 57 回応用物理学関連連合講演会, 19p-A-7 (2010-03-19).
- 35) 八木崇志, 藤村昌寿, 林由樹雄, 栖原敏明, “結晶直接接合 LiNbO₃ 埋込プロトン交換導波路第 2 高調波発生デバイス,” 平成 22 年春季第 57 回応用物理学関連連合講演会, 19p-A-5 (2010-03-19).
- 36) 八木崇志, 藤村昌寿, 栖原敏明, “結晶直接接合 LiNbO₃ 埋込プロトン交換導波路擬似位相整合第 2 高調波発生デバイスの作製と特性評価,” レーザー学会学術講演会第 30 回年次大会, F33p V 002 (2010-02-3).
- 37) 戸谷彰宏, 藤村昌寿, 栖原敏明, “絶縁液層を介した電圧印加による MgO:LiNbO₃ 擬似位相整合用周期分極反転構造の作製,” Optics & Photonics Japan 2009 (日本光学会年次学術講演会) 24pP19, pp.162-193 (2009-11-24).
- 38) T.Takaoka, M.Fujimura and T.Suhara, “Fabrication of ridge waveguide in LiNbO₃ thin film crystal by proton-exchange accerelated etching,” The 15th Microoptics Conference, pp.242-243, J-60, Odaiba, Tokyo, Oct.25-28, 2009.
- 39) 栖原敏明, “分極反転と光導波路波長変換,” 日本光学会(応用物理学会)第 4 回レーザーディスプレイ技術研究会～レーザーディスプレイを支えるデバイスと応用～, 大阪, 2009 年 7 月 30 日.
- 40) 栖原敏明, “ドメイン反転 LiNbO₃ 導波路波長変換デバイスとその応用,” (財) 光産業技術振興協会 フォトニックネットワーク新時代における産業・技術懇談会 平成 21 年度第 2 回公開討論会, 東京, 2009 年 7 月 23 日.
- 41) T.Suhara, G.Nakaya, J.Kawashima and M.Fujimura, “Quasi-phase matched waveguide devices for generation of postselection-free polarization- entangled twin photons,” The 14-th OptoElectronics and Communications Conference, TuJ3, Hong Kong, July 13-17, 2009.

[図書] (計 1 件)

- 1) 栖原敏明, “先端的な集積量子フォトニ

ックデバイスを創る,” 大阪大学グローバル COE プログラム次世代電子デバイス教育研究開発拠点編, pp150-161, 2012.

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

- 1) 名称: 光学デバイス、光学デバイスの製造方法および露光装置
発明者: 岡崎雅英, 栖原敏明
権利者: 大日本スクリーン製造(株)
種類: 特許 (国内)
番号: 特願 2010-221699
出願年月日: 平成 22 年 9 月 30 日
国内外の別: 国内
- 2) 名称: 光変調器
発明者: 岡崎雅英, 栖原敏明
権利者: 大日本スクリーン製造(株)
種類: 特許 (国内)
番号: 公開番号 2010-152212
出願年月日: 平成 22 年 7 月 8 日
国内外の別: 国内

○取得状況 (計 1 件)

- 1) 名称: Optical modulator
発明者: M.Okazaki and T.Suhara
(岡崎雅英, 栖原敏明)
権利者: 大日本スクリーン製造(株)
種類: 特許 (欧州)
番号: European Patent 09178865.3-1228
取得年月日: 2010 年 2 月 22 日
国内外の別: 国外

[その他]

ホームページ等

<http://ioe.eei.eng.osaka-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

栖原 敏明 (SUHARA TOSHIAKI)
大阪大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 90116054

(2) 研究分担者

藤村 昌寿 (FUJIMURA MASATOSHI)
大阪大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 80263218

上向井 正裕 (UEMUKAI MASAHIRO)

大阪大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 80362672

(3) 連携研究者

()

研究者番号: