

課題番号 H13/A03

分極反転構造ニオブ酸リチウム光導波路を用いた 広波長域波長変換の研究

[1] 組織

代表者：栖原敏明

(大阪大学大学院工学研究科)

責任者：伊藤弘昌

(東北大学電気通信研究所)

分担者：藤村昌寿

(大阪大学大学院工学研究科)

研究費：校費 31万4千円 (配分額)

旅費 10万8千円 (配分額)

[2] 研究経過

テラヘルツ (THz) 帯から遠赤外・中赤外・近赤外域の電磁波・光波は、次世代の超大容量情報通信、環境計測、プロセス計測、医療・生物などの分野で多くの重要な応用が期待されており、広い波長域でコヒーレントな電磁波・光波を発生できる小型・簡便で実用的なデバイスの開発が強く望まれる。本研究課題は、ニオブ酸リチウム(LiNbO_3)結晶に周期的な強誘電分極反転構造と光導波路構造を形成し、赤外レーザーで励起することにより、非線形光学波長変換によりTHz帯から中・近赤外域の電磁波・光波を発生するデバイスの基礎研究を行おうとするものである。東北大学と大阪大学のグループで理論解析・設計に関して研究討論を行うと共に、分担してデバイスを実際に作製して実験を行い、その可能性を実証することを目的として研究を遂行した。以下に本年度の研究活動状況の概要を記す。

本プロジェクトは、本年度が第2年目であった。東北大学と大阪大学の昨年度までの研究成果に基づき、電子メールと郵便により情報交換・意見交換し、本プロジェクトを具体的に遂行した。本年度は当初計画どおり、表面放射型導波路THz帯差周波発生デバイスを設計・作製・実験することとした。設計理論は昨年度末に完成し、本年度は欧文学術誌に出版した。デバイスは東北大学での結晶分極反転と大阪大学での光導波路形成により作製した。試作デバイスを電気通信研究所の高出力励起レーザー光源およびTHz帯～赤外域検出実験設備を用いて実験的に検討した。

この間、東北大学グループの水津光司、佐々木

雄三の大阪大学出張(6月9日～15日)により、代表者栖原・分担者藤村と協力し光導波路を作製した。さらに代表者栖原の東北大学出張(2月4日～5日)により、責任者伊藤はじめ東北大学グループと予備実験結果に関する討論と検討を行った。また大阪大学で見出した新しい分極反転法に関して、特許出願について検討を行った。その後3月には(株)東北テクノアーチを通じて実際に特許出願を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

- ① 表面放射型導波路THz帯差周波発生のための具体的なデバイス構造として、昨年度に新たに提案したチャンネル導波路を用いた上方放射型および横方向放射型デバイスについて、グリーン関数法に基づく理論解析を行い、放射指向性と変換効率などの理論特性を明らかにするとともに設計手法を確立した。
- ② 光導波路を用いるデバイス実現の前段階として、バルク結晶内の傾斜分極反転構造を用いた横方向放射型デバイスを作製し、2波長パラメトリック光発振器からの近赤外光で励起し、波長約 $200\mu\text{m}$ のTHz帯差周波発生の実験に成功した。
- ③ LiNbO_3 結晶における周期的分極反転構造形成法の改善を行い、広面積で一様性の良い構造を形成する技術を確立した。その有効性をまず導波型の近赤外域差周波発生デバイスで実証した。
- ④ THz波発生用 LiNbO_3 近赤外光導波路として、アニールプロトン交換法による作製法の検討を行い本研究の表面放射型導波路THz帯差周波発生デバイス作製に適した作製条件を見出した。
- ⑤ 最初のチャンネル導波路を用いた表面放射型THz波発生デバイスとして、傾斜していない分極反転構造を有するデバイスを東北大学と大阪大学で協同試作した。東北大学で実験装置を構築し、これまでに光パラメトリック発振器からの近赤外パルス光を入力結合することができ、導波路デバイス中の導波確認などの予備の結果が得られた。
- ⑥ 前項より高い変換効率を期待できる図1に示すような傾斜分極反転構造を有するチャンネル導

波路型表面放射型THz波発生デバイスを大阪大学で試作した。また同大学で簡便な実験装置を構成し、予備実験を開始した。これまでに半導体レーザとエルビウム添加ファイバ光増幅器からの近赤外光を入力結合することができ、導波路デバイス中の導波確認などの予備的結果が得られている。現在、THz波発生の実験を準備中である。

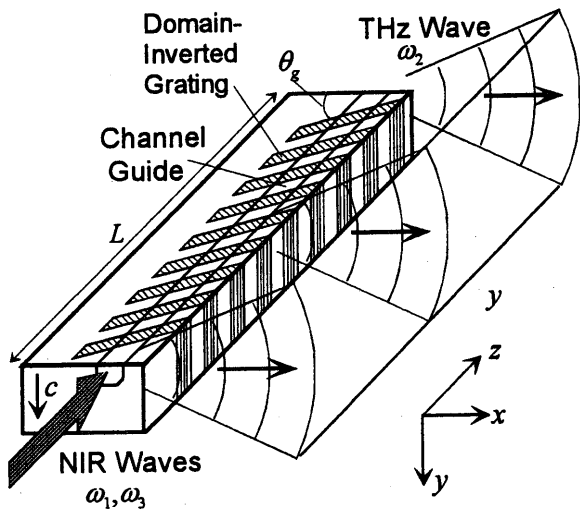


図1 傾斜分極反転構造表面放射型チャンネル導波路THz帯差周波発生デバイスの構造

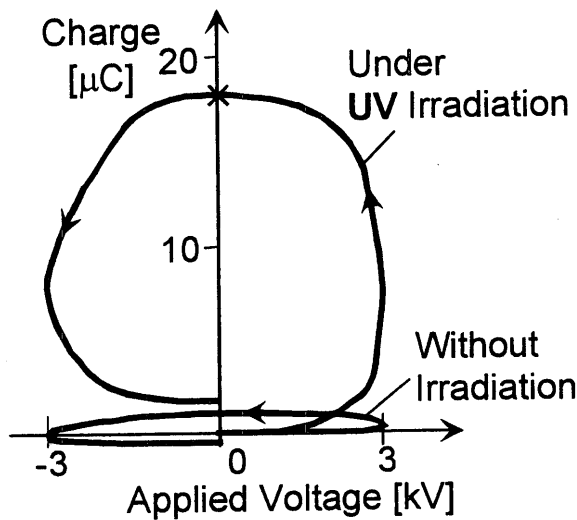


図2 MgO添加LiNbO₃結晶における強誘電分極反転特性

⑦ THz波発生を含めた非線形光学波長変換デバイスで高出力を達成するために必要な光損傷耐性に優れた結晶であるMgO添加LiNbO₃結晶における分極反転構造作製の実験的検討を行った。その結果、図2に示すように、この結晶では紫外

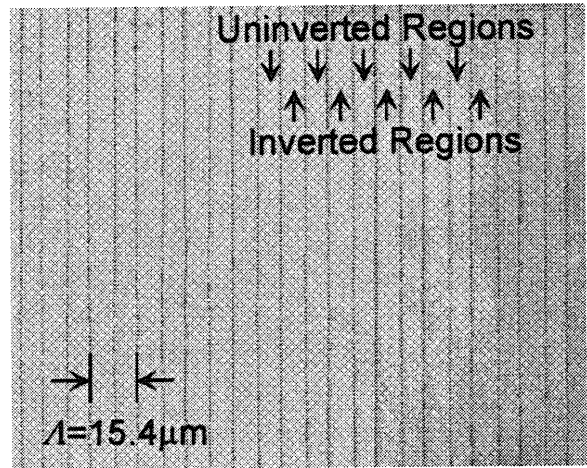


図3 MgO添加LiNbO₃結晶に紫外光照射と電界印加で形成した周期的分極反転構造

光照射により強誘電体分極反転抗電界の実効値が低減するという新たな知見を得た。この特性を利用することにより、周期分極反転構造の簡便な形成法を新たに見出し、実際に本研究のデバイス作製に有用な分極反転構造を形成できることを実験的に示すことができた。形成された分極反転構造の例を図3に示す。

(3-2) 波及効果と発展性など

本研究は本年度が第2年目で、デバイスの作製と実験的検討はまだ中間段階であるので、現在も継続中（平成15年度継続申請採択済）である。今後、本年度研究で提案・理論解析した新規デバイスの実証を含めて、差周波発生型波長変換によるTHz発生 of 多くの実験結果が得られると期待される。また、中赤外領域発生など波長域拡大にも着手しており、新規デバイスへの発展も予想される。これらの成果により光通信を初めとする実用的技術だけでなく、基礎科学にも幅広い貢献ができることを期待できる。

[4] 成果資料

- 1) 栖原敏明: “導波型擬位相整合非線形光学デバイス,” 日本学術振興会光エレクトロニクス第130委員会第228回研究会（第1第2部会）資料, pp.7-14, 2002.
- 2) T.Suhara: “Wavelength conversion in quasi-phase matched LiNbO₃ waveguide devices (Invited Paper),” Optoelectronics and Communication Conference (OECC '02), 12C4-1, pp.606-607, Yokohama, July 8-12, 2002.

- 3) 栖原敏明: “導波路型非線形光学波長変換・スイッチングデバイス,” 精密工学会超精密加工専門委員会第47回研究会資料, pp.3-19, 2002.
- 4) M.Fujimura, Y.Tamura, T.Kodama and T.Suhara: “Fabrication and characterizaion of Er-diffused Ti:LiNbO₃ waveguides lasers,” Jpn. J. Appl. Phys., vol.41, Pt.1, No.7B, pp.4802-4805, 2002.
- 5) Y.Shigematsu, M.Fujimura and T.Suhara: “Fabrication of LiNbO₃ TE/TM waveguides for 1.5 μ m wavelength band by Zn/Ni Diffusion in Low-Pressure Atmosphere,” Jpn. J. Appl. Phys., vol.41, Pt.1, No.7B, pp.4825-4827, 2002.
- 6) Y.Sasaki, Y.Avetisyan, K.Kawase and H.Ito: Terahertz-wave surface-emitted difference frequency generation in slant-stripe-type periodically poled LiNbO₃ crystal,” Appl. Phys. Lett., vol.81, No.18, pp.3323-3325, 2002.
- 7) T.Suhara, Y.Avetisyan and H.Ito: “Theoretical analysis of laterally emitting THz-wave generation by difference frequency generation in channel waveguides,” IEEE J. Quantum Electron., vol.39, No.1, pp.166-171, 2003.
- 8) T.Suhara and M.Fujimura, “Quasi-phase-matched LiNbO₃ waveguide nonlinear-optic devices for optical communication (Invited Paper),” The 1-st NIMS Conference: Material Solutions for Photonics, Tsukuba, II-2, pp.27-28, March 17-19, 2003.
- 9) 藤村昌寿, 荘村拓史, 栖原敏明, “紫外光照射常温電圧印加によるMgO:LiNbO₃分極反転グレーティングの作製,” 平15春第50回応用物理学関連連合講演会, 27p-W-7 (2003-03).
- 10) T.Suhara, “Quantum Photonic Devices: Waveguide NLO Devices and Semiconductor Lasers for Generation of Squeezed Light and Correlated Twin Photons (Invited Paper),” European Conf. Integrated Optics (ECIO '03), Prague, Czech Republic, April 1-4, 2003.
- 11) 藤村昌寿, 栖原敏明: “LiNbO₃光導波路非線形光学波長変換デバイス(招待講演),” 電子情報通信学会技術報告, PS2003-2, pp.5-10, 2003.
- 12) D.Sato, T.Morita, T.Suhara and M.Fujimura: “Efficiency improvement by high-index cladding in LiNbO₃ waveguide quasi-phase-matched wavelength converter for optical communication,” IEEE Photon. Tech. Lett., vol.15, No.4, pp.569-571, 2003.
- 13) M.Fujimura, T.Sohmura and T.Suhara: “Fabrication of domain-inverted gratings in MgO:LiNbO₃ by applying voltage under ultraviolet irradiation through photomask at room temperature,” Electron. Lett., vol.39, No.9, pp.719-721, 2003.