

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 279,000円, 旅費 109,170円

[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、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ったものである。また非線形光学導波路構造を用いて、新規な光デバイス機能を実現するための探索的研究に関する情報交換や討論も行った。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3年目にあたる。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。昨年度の基本デバイス設計の成果に基づき、基本的な導波路型デバイスを大阪大学での分極反転構造の形成と光導波路の形成により作製した。また、本年度は新しいデバイス構造の採用について検討し、その設計を行った。試作デバイスは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特性評価しその動作を実証することを目指している。

この間、代表者栖原と分担者藤村の東北大学出張 (11月18日～19日) により、責任者伊藤をはじめとする東北大学グループと研究討論を行った。大阪大学で見出した新しい分極反転法に関して、新たな実験的知見を互いに報告し、意見交換を行った。また、デバイス設計理論と新規デバイス構成案および実験方法に関する討論と検討を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

- ① 表面放射型導波路THz帯差周波発生の基本デバイスとして、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設計・試作した。また簡便な実験装置を構成し、実験を行った。半導体レーザー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し、導波路デバイス中の導波確認などの結果が得られた。
- ② 表面放射型導波路THz帯差周波発生デバイスの出力THz波を集光して取り出すことの出来る新しい構造として、図2に示すようなチャープ傾斜分極反転構造と近赤外光導波路およびTHz波導波路を有するデバイスを提案し、理論解析と設計を行い、理論特性を明らかにした。

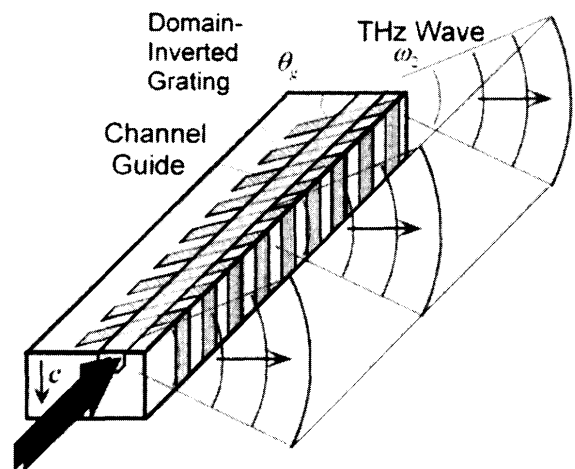


図1 傾斜分極反転構造表面放射型チャンネル導波路THz帯差周波発生デバイスの構造

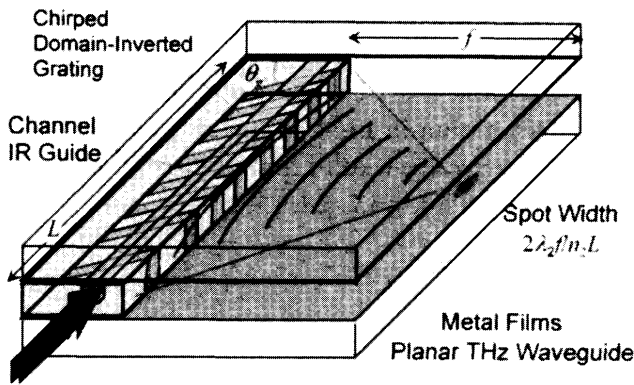


図2 チャープ分極反転構造・THz波導波・近赤外導波路を用いた集光THz波発生デバイス

- ③ 非線形光学波長変換デバイスで高出力達成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の形成法として、昨年度に見出した紫外線照射効果を応用して、図3に示すフォトマスク紫外線照射電界印加による実用的で簡便な方法を開発し、本研究のデバイス作製に有用な分極

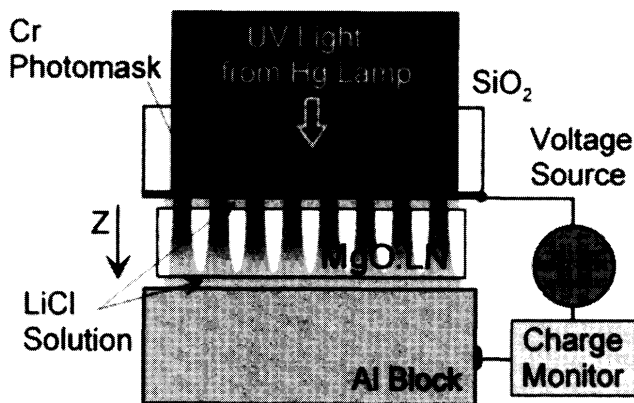


図3 フォトマスク紫外線照射と電界印加によるMgO添加LiNbO₃結晶周期的分極反転構造の形成

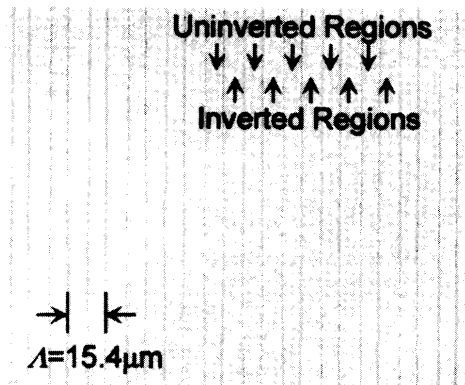


図4 得られたMgO添加LiNbO₃結晶周期的分極反転構造

反転構造(図4)を形成できることを示した。

- ④ 中赤外域のコヒーレント光を発生するためのQPM-DFG型波長変換デバイスの設計・作製を行い、波長0.98 μm帯と1.55 μm帯の半導体レーザーからの入力光から波長2 μm帯の出力光を得ることに成功した。
- ⑤ 非線形光学波長変換デバイスの高効率化のため、プロトン交換導波路を逆プロトン交換して得られる埋め込み導波路の使用について実験的に検討し、適切な作製条件を見出し、実際に近赤外域波長変換デバイスを作製して規格化効率最大1400%/Wまでの高効率化を達成した。また光通信波長域内波長変換特性を評価し、励起パワー4.4mWで-15dBの変換特性を得た。

(3-2) 波及効果と発展性など

本研究は本年度が第3年目であるが、デバイスの作製と実験的検討は現在も継続中である。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発生の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や高効率化に関しても成果が得られており、スクイズド光発生や相関光子対発生などの量子光学機能をもつ新規デバイスへの発展可能性も示された。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期待できる。

[4] 成果資料

- 1) 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, pp.166- 171, 2003.
- 2) 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, 2003.
- 3) 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.

- 4) 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.
- 5) 栖原敏明: "光通信用導波型非線形光学デバイス," *レーザー研究*, vol.31, pp.262-266, 2003.
- 6) 栖原敏明: "擬似位相整合非線形光学素子," *ナノテクノロジーハンドブック 第三編 第2章第2.3.1節*, pp.102-106, オーム社, 東京 (2003-05).
- 7) T.Suhara and M.Fujimura, *Waveguide Nonlinear-Optic Devices*, Springer Verlag, Berlin, 321pages, 2003. (ISSN 1437-0379, ISBN: 3-540-01527-2).
- 8) 金高裕樹, 栖原敏明: "LiNbO₃導波型擬似位相整合非線形光学デバイスによるパラメトリックフロレンセンス発生," 平成15年秋応用物理学会学術講演会, 30a-YK-6 (2003-08).
- 9) H.Kintaka and T.Suhara, "Parametric fluorescence generation in LiNbO₃ quasi-phase matched waveguide pumped by semiconductor laser," *Microoptics Conference, H33, Tokyo, Oct. 29-31, 2003.*
- 10) M.Fujimura, T.Sohmura and T.Suhara: "Fabrication of domain-inverted gratings in MgO:LiNbO₃ by voltage application with ultraviolet light irradiation through photomask at room temperature," *Microoptics Conference, J5, Tokyo, Oct.29-31, 2003.*
- 11) 栖原敏明: "擬似位相整合導波路を用いた非線形光学波長変換・信号処理デバイス," *応用物理*, vol.72, No.11, pp.1381-1386 (2003-11).
- 12) 神徳智広, 藤村昌寿, 栖原敏明: "LiNbO₃導波路を用いた中赤外域差周波発生デバイス," *電気関係学会関西支部連合大会*, G9-6, p.G202 (2003-11).
- 13) 村山徹, 藤村昌寿, 栖原敏明: "LiNbO₃プロトン交換・逆交換埋め込み導波路を用いた擬似位相整合非線形光学波長変換デバイス," *Optics Japan 2003*, 8aP24, pp.54-55 (2003-12).
- 14) 栖原敏明, 藤村昌寿: "周期状分極反転を用いた波長変換デバイスと光通信応用," *レーザー研究*, vol.32, No.3, pp.154-159, 2004.
- 15) 金高裕樹, Bijoy Krish Das, 藤村昌寿, 栖原敏明: "Type II擬似位相整合LiNbO₃導波路光子対発生デバイスの作製と基礎実験," *応用物理学関連連合講演会*, 29p-ZC-14 (2004-03).
- 16) 藤村昌寿, 栖原敏明: "分極反転を用いた光通信用波長変換デバイス," *応用物理学関連連合講演会*, 30p-T-4 (2004-03).
- 17) H.Kintaka and T.Suhara, "Parametric Fluorescence Generation in LiNbO₃ Quasi-Phase Matched Waveguide Pumped by Semiconductor Laser," *Jpn. J. Appl. Phys.*, to be published.