

3-9 研究施設

分子制御レーザー開発研究センター

猿 倉 信 彦 (助教授)

A-1) 専門領域：量子エレクトロニクス、非線形光学

A-2) 研究課題：

- a) 遠赤外超短パルスレーザー
- b) 紫外波長可変固体レーザー
- c) 非線形光学
- d) 青色半導体レーザー
- e) 超高速分光
- f) 新真空紫外域光学窓材

A-3) 研究活動の概要と主な成果

- a) 遠赤外超短パルスレーザー：今までレーザーが存在していなかった遠赤外領域において、世界で初めて、強磁場を印加した半導体から、平均出力がサブミリワットの遠赤外放射(テラヘルツ放射)を得ることに成功した。このテラヘルツ放射の偏光が、磁場によって大きく変化することも発見した。また、昨年度にテラヘルツ放射の実験に用いた半導体非線形ミラーに磁場を印加することにより、テラヘルツ放射の増強を実現した。この領域は分子物質のフォノンやエキシトンを直接励起できることができるため非常に重要であるだけでなく、工業的応用においてもイメージングやセンシングなどの新たな手法となるため、世界的にも大いに注目されている。
- b) 紫外波長可変固体レーザー：紫外、および深紫外波長領域において、世界で初めて全固体、かつコンパクトな10 mJクラスの出力を持つ波長可変紫外超短パルスレーザーを実現した。この紫外、深紫外波長領域は様々な分子物質の分子科学の研究、特にオゾン層問題の研究や青色半導体レーザーの研究において必要不可欠と考えられる波長領域である。
- c) 非線形光学：半導体において、レーザー照射による遠赤外複素屈折率の変化を測定した。
- d) 青色半導体レーザー：青色で発光する窒化ガリウム系の半導体素子において精密な分光を行い、未解明の分野である発光メカニズムについて様々な知見を得た。窒化ガリウム系の半導体素子は、近年、青色半導体レーザー材料として急速に注目されてきている物質である。青色半導体レーザーにおいては、室温連続発振青紫色レーザーダイオードの寿命が1万時間を超えて製品化が間近になっているにもかかわらずその発振機構の解明には至っておらず、原点に戻って、InGaN系発光ダイオードの発光機構について、研究を進める予定である。
- e) 超高速分光：a)で述べたような強力な遠赤外放射光を用いて、様々な分子物質の超高速過渡分光を行う。現在、化合物半導体であるInAsにおいて、清浄表面からのテラヘルツ電磁波放射の研究を、総合研究大学院大学光先端学科松本教授と行っており、表面とテラヘルツ電磁波に関連する多くの情報を得ている。また、神戸大学富永助教授、千葉大学西川教授と溶液、及び期待に関する超高速遠赤外分光の実験を行っており、成果をあげている。

- f) 新真空紫外域光学窓材:紫外 ,および深紫外波長領域におけるレーザー結晶に関するノウハウを用いて 放射光に用いることが可能な新しい真空紫外領域の窓材の研究を課題研究として行っており ,いくつかの新結晶の開発に成功している。

B-1) 学術論文

H. OHTAKE, H. MURAKAMI, T. YANO, S. ONO, N. SARUKURA, H. TAKAHASHI, Y. SUZUKI, G. NISHIJIMA and K. WATANABE, “Anomalous Power and Spectrum Dependence of Terahertz Radiation from Femtosecond-Laser-Irradiated Indium Arsenide in High Magnetic Fields up to 14 T,” *Appl. Phys. Lett.* **82**, 1164–1166 (2003).

H. TAKAHASHI, Y. SUZUKI, M. SAKAI, S. ONO, N. SARUKURA, T. SUGIURA, T. HIROSUMI and M. YOSHIDA, “Significant Enhancement of Terahertz Radiation from InSb by Use of a Compact Fiber Laser and an External Magnetic Field,” *Appl. Phys. Lett.* **82**, 2005–2007 (2003).

H. TAKAHASHI, Y. SUZUKI, A. QUEMA, M. SAKAI, T. YANO, S. ONO, N. SARUKURA, M. HOSOMIZU, T. TSUKAMOTO, G. NISHIJIMA and K. WATANABE, “Magnetic-Field-Induced Enhancement of THz-Radiation Power from Femtosecond-Laser-Irradiated InAs up to 27 T,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **42**, L532–L534 (2003).

H. TAKAHASHI, M. SAKAI, S. ONO, N. SARUKURA, H. SARO and T. FUKUDA, “Optical Property of Ce³⁺-Ion-Doped LiCaAlF₆ Crystal in Vacuum Ultraviolet Region,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **42**, L660–L662 (2003).

H. TAKAHASHI, A. QUEMA, R. YOSHIOKA, S. ONO and N. SARUKURA, “Excitation Fluence Dependence of Terahertz Radiation Mechanism from Femtosecond-Laser-Irradiated InAs under Magnetic Field,” *Appl. Phys. Lett.* **83**, 1068–1070 (2003).

M. TAKESADA, E. VANAGAS, D. TUZHILIN, I. KUDRYASHOV, S. SURUGA, H. MURAKAMI, N. SARUKURA, K. MATSUDA, S. MONONOBE, T. SAIKI, M. YOSHIMOTO and S. KOSHIHARA, “Micro-Character Printing on a Diamond Plate by Femtosecond Infrared Optical Pulses,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **42**, 4613–4616 (2003).

H. TAKAHASHI, Y. SUZUKI, S. ONO, H. MURAKAMI, N. SARUKURA and T. NAKAMURA, “Mode-Locking Stability Adjustment of a Kerr-Lens Mode-Locked Ti:sapphire Laser, Analyzed by a Recently Developed Real-Time Spectrum Analyzer,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **42**, 4330–4333 (2003).

A. QUEMA, H. TAKAHASHI, M. SAKAI, M. GOTO, S. ONO, N. SARUKURA, N. YAMADA and R. SHIODA, “Identification of Potential Estrogenic Environmental Pollutants by Terahertz Transmission Spectroscopy,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **42**, L932–L934 (2003).

H. TAKAHASHI, H. MURAKAMI, H. OHTAKE and N. SARUKURA, “Mid-Infrared and THz Coherent Sources Using Semiconductor-Based Materials,” *Top Appl. Phys.* P425–P444 (2003).

H. TAKAHASHI, A. QUEMA, M. GOTO, S. ONO and N. SARUKURA, “Terahertz Radiation Mechanism from Femtosecond-Laser-Irradiated InAs(100) Surface,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **42**, L1259–L1261 (2003).

B-2) 国際会議のプロシーディングス

H. TAKAHASHI, Y. SUZUKI, M. SAKAI, S. ONO, N. SARUKURA, T. SUGIURA, T. HIROSUMI and M. YOSHIDA, “Significant enhancement of THz-radiation from InSb(100) surface by use of a compact fiber laser and an external magnetic field,” the 2003 Ultrafast Electronics and Optoelectronics (UEO2003), January, 2003, Washington DC, U.S.A., 45–47 (2003).

G. MASADA, H. SHIRAIISHI, I. SEKINE, Y. SUZUKI, S. ONO and N. SARUKURA, “Thermal-induced two-photon absorption reduction of $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ for the high-pulse-energy scaling of the fourth harmonic generation of Nd:YAG laser,” Advanced Solid-State Photonics (ASSP), February, 2003, San Antonio, paper MB9 (2003).

H. MURAKAMI, T. KOZEKI, Y. SUZUKI, S. ONO, N. SARUKURA, H. SATO and T. FUKUDA, “Vacuum-ultraviolet, compact video camera system utilizing LiCaAlF_6 crystal optics transparent down to 112-nm,” Advanced Solid-State Photonics (ASSP), February, 2003, San Antonio, paper TuB11 (2003).

H. TAKAHASHI, Y. SUZUKI, A. QUEMA, R. YOSHIOKA, S. ONO, N. SARUKURA, M. HOSOMIZU, T. TSUKAMOTO, S. SAITO, K. SAKAI, G. NISHIJIMA and K. WATANABE, “Magnetic field dependence of THz-radiation from femtosecond-laser-irradiated InAs up to 27 T,” the Conference on Laser and Electro-Optics (CLEO2003), June, 2003, Baltimore, U.S.A., paper CMI3w (2003).

M. SAKAI, T. KOZEKI, H. MURAKAMI, M. HOSOMIZU, R. YOSHIOKA, Y. SUZUKI, S. ONO, N. SARUKURA, H. SATO and T. FUKUDA, “Vacuum-ultraviolet, real time imaging system utilizing LiCaAlF_6 optics,” the Conference on Laser and Electro-Optics (CLEO2003), June, 2003, Baltimore, U.S.A., paper CThR6 (2003).

G. MASADA, H. SHIRAIISHI, I. SEKINE, Y. SUZUKI, S. ONO and N. SARUKURA, “Thermal-induced two-photon absorption reduction of $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ and generation of 0.430-J, 10-Hz, 266-nm pulses from Nd:YAG laser,” the Conference on Laser and Electro-Optics (CLEO2003), June, 2003, Baltimore, U.S.A., paper CTuF3 (2003).

A. QUEMA, H. TAKAHASHI, Y. SUZUKI, S. ONO, N. SARUKURA, M. GOTO, R. SHIODA and N. YAMADA, “Identification of various hydroxynaphthalenes using terahertz spectroscopy,” Ultrafast Optics (UFO), June, 2003, Vienna, Austria, paper Tu3-7 (2003).

H. TAKAHASHI, Y. SUZUKI, A. QUEMA, R. YOSHIOKA, S. ONO, N. SARUKURA, M. HOSOMIZU, T. TSUKAMOTO, G. NISHIJIMA and K. WATANABE, “Magnetic-field induced enhancement of THz-radiation from InAs irradiated with 0.8 μm laser up to 27 T and InSb irradiated with 1.56 μm laser up to 5 T,” Ultrafast Optics (UFO), June, 2003, Vienna, Austria, paper Th2-3 (2003).

H. TAKAHASHI, M. SAKAI, S. ONO, N. SARUKURA, T. SUGIURA, T. HIROSUMI and M. YOSHIDA, “Enhancement of THz-radiation from InSb by use of a communication wavelength laser and an external magnetic field,” 11th International Conference on Terahertz Electronics THz 2003, September, 2003, Sendai, Japan, paper H-5 (2003).

H. TAKAHASHI, A. QUEMA, M. GOTO, S. ONO, N. SARUKURA, M. HOSOMIZU, T. TSUKAMOTO, G. NISHIJIMA and K. WATANABE, “THz-radiation from femto-second-laser irradiated InAs under magnetic field up to 27T,” 11th International Conference on Terahertz Electronics THz 2003, September, 2003, Sendai, Japan, paper P1-8 (2003).

H. TAKAHASHI, A. QUEMA, M. GOTO, S. ONO and N. SARUKURA, “Study of THz-radiation mechanism from femtosecond-laser irradiated InAs under magnetic field,” 11th International Conference on Terahertz Electronics THz 2003, September, 2003, Sendai, Japan, paper P2-4 (2003).

A. QUEMA, H. TAKAHASHI, M. GOTO, S. ONO and N. SARUKURA, “Terahertz spectroscopy of various naphthols,” 11th International Conference on Terahertz Electronics THz 2003, September, 2003, Sendai, Japan, paper P2-31 (2003).

- H. TAKAHASHI, Y. SUZUKI, A. QUEMA, R. YOSHIOKA, S. ONO, N. SARUKURA, M. HOSOMIZU, T. TSUKAMOTO, G. NISHIJIMA and K. WATANABE**, “THz-radiation From Femto-Second-Laser Irradiated InAs In Magnetic Fields Up To 27 T,” The 28th International Conference on Infrared and Millimeter Waves(IRMMW), September, 2003, Otsu, Japan, paper Th4-2 (2003).
- A. QUEMA, H. TAKAHASHI, M. SAKAI, M. GOTO, S. ONO, N. SARUKURA, R. SHIODA and N. YAMADA**, “Determination Of Mono- And Di- Substituted Naphthalene via Terahertz Spectroscopy,” The 28th International Conference on Infrared and Millimeter Waves(IRMMW), September, 2003, Otsu, Japan, paper WP-12 (2003).
- H. TAKAHASHI, A. QUEMA, R. YOSHIOKA, S. ONO and N. SARUKURA**, “Excitation Fluence Dependence Of THz –radiation From Femtosecond-Laser Irradiated InAs Under Magnetic Field,” The 28th International Conference on Infrared and Millimeter Waves(IRMMW), September, 2003, Otsu, Japan, paper WP-27 (2003).
- A. QUEMA, H. TAKAHASHI, M. SAKAI, M. GOTO, S. ONO, N. SARUKURA, R. SHIODA and N. YAMADA**, “Spectroscopic Studies Using Magnetically-Enhanced Terahertz Radiation from InAs of Various Hydroxynaphthalenes,” The 21st Samahang Pisika ng Pilipinas (SPP) Congress, October, 2003, Cebu, Philippines, paper 03-009 (2003).
- H. TAKAHASHI, A. QUEMA, S. ONO and N. SARUKURA**, “Excitation Fluence Dependence of Terahertz Radiation Mechanism from Femto-Second-Laser-Irradiated InAs Under Magnetic Field,” The 21st Samahang Pisika ng Pilipinas (SPP) Congress, October, 2003, Cebu, Philippines, paper 03-010 (2003).
- S. ONO and N. SARUKURA**, “All-solid-state Ultraviolet Femtosecond Laser system Using New Laser Medium,” JAPAN-TAIWAN Joint Seminar Toward Formation of New Network Between Physics and Chemistry On the Frontiers of Material Science, December, 2003, Taipei, Taiwan, paper P-4 (2003).
- G. MASADA, H. SHIRAIISHI, I. SEKINE, Y. SUZUKI, S. ONO and N. SARUKURA**, “Thermal-induced two-photo absorption reduction of $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ for the high-pulse-energy scaling of the fourth harmonic generation of Nd:YAG laser,” CLEO / Pacific Rim the 5th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics, December, 2003, Taipei, Taiwan, W2F-(5)-2 (2003).
- Y. SUZUKI, T. KOZEKI, H. OHTAKE, N. SARUKURA, T. NAKAJYO, F. SAKAI and Y. AOKI**, “Development of future all- solid- state ultraviolet, terawatt laser system using Ce:LiCaF as a gain medium,” CLEO/Pacific Rim the 5th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics, Taipei, December, 2003, paper W4D-(3)-3 (2003).
- H. OHTAKE, Y. SUZUKI, S. ONO, H. MURAKAMI, N. SARUKURA, T. HIROSUMI and T. OKADA**, “Simultaneous measurement of thickness and water content of thin black ink films for printing using THz-radiation,” CLEO/Pacific Rim the 5th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics, Taipei, December, 2003, paper W4G-(6)-2 (2003).
- H. TAKAHASHI, Y. SUZUKI, A. QUEMA, R. YOSHIOKA, S. ONO, N. SARUKURA, M. HOSOMIZU, T. TSUKAMOTO, G. NISHIJIMA and K. WATANABE**, “Magnetic field dependence of THz-radiation from femtosecond-laser-irradiated InAs up to 27 T,” CLEO/Pacific Rim the 5th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics, December, 2003, Taipei, Taiwan, W4G-(6)-4 (2003).
- H. TAKAHASHI, Y. SUZUKI, S. ONO, N. SARUKURA and T. NAKAMURA**, “Mode-locking stability observation of a Kerr-lens mode-locked Ti:sapphire laser analyzed by a recently developed real-time spectrum analyzer,” CLEO/Pacific Rim the 5th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics, December, December, 2003, Taipei, Taiwan, WP-(6)-2 (2003).

H. TAKAHASHI, Y. SUZUKI, M. SAKAI, S. ONO, N. SARUKURA, T. SUGIURA, T. HIROSUMI and M. YOSHIDA, “THz-radiation from InSb(100) surface by use of a communication wavelength laser and an external magnetic field,” CLEO/Pacific Rim the 5th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics, December, 2003, Taipei, Taiwan, TH1D-(6)-3 (2003).

H. TAKAHASHI, Y. SUZUKI, M. SAKAI, S. ONO, N. SARUKURA, T. SUGIURA, T. HIROSUMI and M. YOSHIDA, “Excitation fluence dependence of terahertz radiation mechanism from femtosecond-laser-irradiated InAs under magnetic field,” CLEO/Pacific Rim the 5th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics, December, 2003, Taipei, Taiwan, TH1D-(6)-4 (2003).

M. SAKAI, T. KOZEKI, M. HOSOMIZU, Y. SUZUKI, S. ONO, N. SARUKURA, H. SATO and T. FUKUDA, “Vacuum-ultraviolet, real time imaging utilizing LiCaAlF₆ optics,” CLEO/Pacific Rim the 5th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics, December, 2003, Taipei, Taiwan, TH2H-(7)-4 (2003).

A. QUEMA, H. TAKAHASHI, R. YOSHIOKA, Y. SUZUKI, S. ONO and N. SARUKURA, “Terahertz spectroscopic studies of mono- and di- substituted hydroxynaphthalenes,” CLEO/Pacific Rim the 5th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics, Taipei, December, 2003, paper F1G-(4)-1 (2003).

B-4) 招待講演

小野晋吾, 猿倉信彦, 「真空紫外光学材料としてのLiCAFと、レーザー材料としてのCe:LiCAF」, UVSOR ワークショップ
ビームライン高度化(第三回), IMS, 2003年3月.

N. SARUKURA, “Development of Future All-Solid-State, Ultraviolet, Terawatt Laser System Using Ce:LiCAF as a Gain Medium,” ACCGE-15, Keystone, July 2003.

猿倉信彦, 「強磁場下のInAsからのテラヘルツ電磁波放射」, 応用物理学会 関西支部セミナー「テラヘルツ・フォトニクス」
第3回目, 大阪大学, 2003年8月.

小野晋吾, 佐藤浩樹, 猿倉信彦, 福田承生, 「紫外領域における高出力全固体超短パルスレーザー開発」, 電気学会電子・
情報・システム部門大会, 秋田大学, 2003年8月.

N. SARUKURA, “Application and generation of various ultrashort optical pulses ranging from soft x-ray to far-infrared,” The
21st Samahang Pisika ng Pilipinas (SPP) Congress, Cebu (Philippines), October 2003.

猿倉信彦, 「強磁場中での半導体からのテラヘルツ電磁波放射」, 物性研短期研究会「短波長光などのコヒーレンスの生
成・消滅に関する新しい知見と構想」, 東京大学物性研究所, 2003年11月.

N. SARUKURA, “Magnetic Field Enhanced THz-radiation Emitted Irradiated with Femtosecond Optical Pulses,” JAPAN-
TAIWAN Joint Seminar Toward Formation of New Network Between Physics and Chemistry On the Frontiers of Material
Science, Taipei (Taiwan), December 2003.

小野晋吾, 猿倉信彦, 「紫外光学材料としてのLiCaAlF₆結晶の特性とその応用」, UVSOR20周年記念利用者研究報告会,
IMS, 2003年12月.

B-6) 受賞、表彰

猿倉信彦, 電気学会論文発表賞 (1994).

猿倉信彦, レーザー研究論文賞 (1998).

猿倉信彦, JJAP論文賞(ERATO 河村他)(2001).

和泉田真司, 大幸財団学芸奨励生 (1998).

劉振林, レーザー学会優秀論文発表賞 (1998).

B-7) 学会および社会的活動

学会の組織委員

FST '99実行委員会 (1998-1999).

Ultrafast Phenomena プログラム委員 (1997-2002).

応用物理学会プログラム委員 (1997-2002).

電気学会光量子デバイス技術委員 (1998-).

レーザー学会年次大会実行委員 (1998-).

レーザー学会中部支部組織委員 (1998-).

Advanced Solid- State lasers, program committee (2000-2002).

電気学会アドバンスコヒーレントライトソース調査専門委員会委員長 (2001-2003).

第28回赤外とミリ波に関する国際会議プログラム委員 (2002-2003).

Conference on Laser and Electro-Optics/ Pacific Rim プログラム委員 (2002-).

Ultrafast Phenomena Conference運営委員 (2002-2004).

THz 2003, program committee (2002-2003).

Ultrafast Optics, program committee (2002-).

Laser and Nonlinear Optical Materials, program committee (2002-2003).

学会誌編集委員

レーザー研究, 編集委員 (1997-).

B-8) 他大学での講義、客員

東京大学物性研究所客員助教授, 1998年4月-1998年9月.

東京大学物性研究所客員助教授, 2000年4月-2001年3月.

東北大学金属材料研究所客員助教授, 2000年10月-2001年3月.

宮崎大学工学部非常勤講師, 1998年10月-1999年3月.

理化学研究所非常勤フロンティア研究員, 1996年4月- .

工業技術院電子技術総合研究所非常勤研究員, 1994年4月-1995年3月, 1998年7月-1998年9月.

財団法人神奈川科学技術アカデミー非常勤研究員, 1998年5月-2003年3月.

National Research Council of Canada, 1999年12月.

Wien Technical University, 2000年6月.

C) 研究活動の課題と展望

遠赤外超短パルスレーザーにおいては, その実用という点において, ミリワット級のアベレージパワーを持つテラヘルツ放射光源の開発が課題となる。現在, 我々のグループでは, 強磁場を印加することで, 平均出力でサブミリワット級のテラヘルツ

電磁波光源の開発に成功している。この光源を用いることで、今まで非常に難しいとされていたテラヘルツ領域の時間分解分光も容易に行うことが可能となり、様々な興味深い現象を発見してきている。これにより、光による物性制御などの実現が現実味を帯びてきている。また、新たなテラヘルツ光源として、有機物結晶や磁性半導体にも探索の範囲を広げる方針である。深紫外波長可変全固体レーザーにおいては、大出力化と短波長化が当面の課題である。大出力化は励起配置や増幅光学系に特殊構造をもたせることによって大きな進歩が見込まれ、短波長化は新たなレーザー結晶を用いることにより具現化できる。現在、ロシア、東北大学との共同研究によるCe:LiCAF結晶を用いて、大出力紫外レーザーの開発を行っている。この共同研究により、200 nmより短波長での大出力深紫外波長可変全固体レーザーの実用化は、比較的早期に達成し得ると考えられている。

平等拓範(助教授)

A-1) 専門領域：量子エレクトロニクス、光エレクトロニクス、レーザー物理、非線形光学

A-2) 研究課題：広帯域波長可変クロマチップレーザーの研究

a) 高性能マイクロチップ固体レーザーの研究

a1) 固体レーザー材料の研究

a2) 高輝度Ndレーザーの研究

a3) 高性能Ybレーザーの研究

b) 高性能非線形光学波長変換チップの研究

b1) 高効率中赤外光発生法の研究

b2) 高性能QPMチップ作成法の研究

b3) 多機能非線形波長変換法の研究

A-3) 研究活動の概略と主な成果

中赤外域から紫外域にわたる多機能な応用光計測を可能とする高機能・広帯域波長可変クロマチップレーザー(Chromatic Microchip Laser System; Chroma-Chip Laser)をめざして以下のような研究を進めている。

a1) レーザー材料の分光特性を詳細に調べることにより、半導体レーザー(LD)励起固体レーザー(DPSSL)の中でも代表的なNd:YAGレーザーの性能を飛躍的に高めることのできる励起法を見出すことができた。Nd:YAGはGaAlAs-LDに適した808 nm(${}^4I_{9/2}$ - ${}^4F_{5/2}$)に強い吸収があったことが幸いしたものであるが、1064 nm発振に対する原子量子効率を76%と制限する要因ともなっていた。我々は最近になりNd³⁺高濃度添加YAGにおいて上準位直接励起(${}^4I_{9/2}$ - ${}^4F_{3/2}$)を行うことでレーザー性能が著しく向上することを実証した。一方で、YAGの結晶構造に対する詳細な研究により、励起に付随し誘起される熱複屈折特性を大幅に改善できる新構成を発見した。YAGに関する研究の殆どは30年近く前に成された解析に帰着するが、これに致命的な誤りがあった。基礎に立ち返った検討の結果、従来広く用いられている熱複屈折解消法を必要としない簡便な手法を提案することができた。また、新材料探索としてNd高濃度添加の可能なセラミックYAG、YAGの倍程度の熱伝導率を有するY₂O₃やスペクトル幅を制御できるYSAGなど半導体レーザー励起マイクロチップ固体レーザーの観点より材料開発に強い他機関と連携しながら研究開発を進めている。

a2) 小型固体レーザーの究極であるマイクロチップレーザーの高輝度化を、代表的なNd系固体レーザーを中心に進めている。これまでにモード品質を示す量として導入されつつあるM²因子を用いた設計法を提案、Nd:YVO₄マイクロチップレーザーにおいて、スロープ効率58.6%を達成している。次に、パワースケーリングを図り、Nd:YAGを用いて最大出力4.1 Wをスロープ効率57%で得た。さらに、高輝度化を図るため拡散接合型Nd:YAG結晶にCr:YAGを併用した受動Qスイッチレーザーを試作、最大平均出力4.2 Wを得た。さらに、小型簡便構成を継承しつつ高機能な応用を目指した、受動Qスイッチの制御法を検討している。すでに、パルスエネルギー800 μJ、パルス幅1 ns、スペクトル線幅0.05 nm以下の優れた特性を得ている。現在、このレーザーの実用化を進めるとともに、非線形波長変換による紫外光及び赤外光発生を検討中である。

a3) 90年代に入り、レーザーには不向きとされていたYb系材料が、LD励起により高性能なレーザーとなり得ることが

報告された。以来、我々はこの分野でも先導的な研究を行ってきた。高出力化が期待されているYb:YAGは、高効率発振が可能と言われながらも準四準位レーザーであるため、励起状態に敏感であり、条件によっては、発振効率が大きく損なわれる欠点を有する。全固体レーザーの励起光源であるLDは、ビーム品質が劣悪であるため、その高密度励起光学系の設計が困難であったが、 M^2 因子設計法を改良することでDPSSLの最適化を容易にした。これまでに、長さ400 μm のYb:YAGマイクロチップ結晶から、1 μm 領域において85 nmと蛍光幅の9倍にも及ぶ広帯域波長可変動作を実現した。さらに、SESAMを用いて490 fsまでの超短パルスが発生可能であることを実証した。このことは、高平均出力の超短パルスレーザーとしての可能性を示唆するものと考えている。一方、マイクロチップレーザーの高出力化を図るため、励起パワーのスケーリングが容易なエッジ励起法を考案し、準CW励起により最大出力130 W、スロープ効率60%を、またCW出力90.2 Wを2 mm \times 2 mm、厚み400 μm のコアから取り出すことに成功した(出力密度2.2 kW/cm²)。現在、高ビーム品質を維持しながら、さらなる高出力化を図る新規構成を検討している。

b1) レーザーは高輝度の優れた光源であるが、発振波長が限定されていることがその応用を制限していた。非線形光学に基づく波長変換法ではレーザー光のコヒーレンス特性を損なわずに高効率に異なった波長に変換できる特長を持っている。しかしながら、分子科学に限らず種々の応用分野から、より高度な非線形光学波長変換法が求められている。最近提案された擬似位相整合(Quasi Phase Matching: QPM)波長変換法では、位相整合条件を光リソグラフィによるデジタルパターンで設計できるため変換効率や位相整合波長が設計できるだけでなく空間領域、周波数領域、時間領域で位相整合特性を設計できる。

本研究では、OPO、DFGを組み合わせることで波長6 μm 領域の広帯域赤外光を高効率に発生することを検討している。ここでは、ニオブ酸リチウム(LiNbO₃)にQPM構造を導入したQPM-LiNbO₃を検討している。この場合、最適な周期や領域長が決定されれば、光リソグラフィにより1つの結晶上にOPOとDFGの2つの機能を持たせることも可能になる。これまでにOPOによる3 μm 域までの中赤外光発生を確認した。現在、6 μm 域発生用DFG光源と性能評価用の分光分析装置を試作開発中である。

b2) QPMデバイスには材料としてLiNbO₃が広く用いられているが、従来のプロセスでは分極を反転させるための印加高電界を深さ方向に制御することが不可能であり、原理的な検証は可能でも実用的な出力を得ることは困難であった。現在、初期的なQPM-LiNbO₃を用いた赤外光発生実験と高出力化のための大断面積QPM-LiNbO₃作成プロセス開発を併行して進めている。これまでに厚さ3 mmのMgO:LiNbO₃結晶に周期30 μm のQPM構造作成に成功しており、中赤外域で22 mJ(15 ns)にも及ぶ高エネルギーQPM-OPOを実証した。しかし、既存の非線形光学結晶では透明領域が5~6 μm 以下と限られている。一方、高い性能指数を有する化合物半導体は赤外域でも透明度が高く大きな熱伝導率を有するが、複屈折性を持たないため複屈折位相整合(BPM)が不可能なため従来は非線形光学結晶としては検討されてこなかった。ここでは、拡散接合によりQPM構造を導入すること検討しており、そのための新規プロセスを開発中である。これまでに100 μm 厚のGaAsプレートを拡散接合により4枚スタックすることに成功した。現在、その光学的な特性などを評価中である。

b3) 一方、QPM法では波長変換特性を設計できるものの許容幅が狭くなることが問題であった。非線形材料の分散特性を詳細に調べ、MgO:LNの d_{31} を用いることで通信に有用な1.56 μm で $\partial\Lambda/\partial\lambda = 0$ となることを見出し、実験により52 nmの広帯域位相整合特性を実証した。このことは通信領域での超短パルスの取り扱いを可能とするものであり、今後の展開が期待されている。

以上、広帯域波長可変光源をめざして高輝度マイクロチップレーザー、高性能非線形波長変換チップ、さらに新規光源を用いた新しい応用までを含めた研究開発を進めている。

B-1) 学術論文

- Y. SATO, T. TAIRA, N. PAVEL and V. LUPEI**, “Laser Operation with Near Quantum-Defect Slope Efficiency in Nd:YVO₄ under Direct Pumping into the Emitting Level,” *Appl. Phys. Lett.* **82**, 844–846 (2003).
- H. ISHIZUKI, T. TAIRA, S. KURIMURA, J. H. RO and M. CHA**, “Periodic Poling in 3-mm-Thick MgO:LiNbO₃ Crystals,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **42**, L108–L110 (2003).
- N. E. YU, S. KURIMURA, K. KITAMURA, J. H. RO, M. CHA, S. ASHIHARA, T. SHIMURA, K. KURODA and T. TAIRA**, “Efficient Frequency Doubling of a Femtosecond Pulse with Simultaneous Group-Velocity Matching and Quasi Phase Matching in Periodically Poled, MgO-Doped Lithium Niobate,” *Appl. Phys. Lett.* **82**, 3388–3390 (2003).
- A. LUPEI, V. LUPEI, T. TAIRA, Y. SATO, A. IKESUE and C. GHEORGHE**, “Energy Transfer Processes of Nd³⁺ in Y₂O₃ Ceramic,” *J. Lumin.* **102-103**, 72–76 (2003).
- J. SAIKAWA and T. TAIRA**, “Second-Harmonic Nonlinear Mirror CW Mode Locking in Yb:YAG Microchip Lasers,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **42**, L649–L651 (2003).
- H. ISHIZUKI, I. SHOJI and T. TAIRA**, “Periodical Poling Characteristics of Congruent MgO:LiNbO₃ Crystals at Elevated Temperature,” *Appl. Phys. Lett.* **82**, 4062–4064 (2003).
- Y. SATO, N. PAVEL and T. TAIRA**, “Laser Oscillation with more than 80% Slope Efficiency in Nd:YVO₄ under Direct Pumping into the Emitting Level,” *OSA TOPS* **83**, 46–50 (2003).
- T. DASCALU, T. TAIRA and N. PAVEL**, “Diode Edge-Pumped High Power Microchip Composite Yb:YAG Laser,” *OSA TOPS* **83**, 231–234 (2003).
- H. ISHIZUKI, I. SHOJI, T. TAIRA and S. KURIMURA**, “Periodical Poling Characteristics of 5mol% MgO-Doped Congruent LiNbO₃ Crystals at Elevated Temperature,” *OSA TOPS* **83**, 248–253 (2003).
- N. PAVEL, I. SHOJI, T. TAIRA, M. IWAI, T. YOSHINO, S. YAMAGUCHI and M. IMAEDA**, “High-Power Blue Generation in a Periodically Poled MgO:LiNbO₃ Ridge-Type Waveguide by Frequency Doubling of a Diode End-Pumped Nd:YAG Laser,” *OSA TOPS* **83**, 388–392 (2003).
- Y. SATO, I. SHOJI, T. TAIRA and A. IKESUE**, “The Spectroscopic Properties and Laser Characteristics of Polycrystalline Nd:Y₃Sc_xAl_(5-x)O₁₂ Laser Media,” *OSA TOPS* **83**, 444–450 (2003).
- S. ASHIHARA, T. SHIMURA, K. KURODA, N. E. YU, S. KURIMURA, K. KITAMURA, J. H. RO, M. CHA and T. TAIRA**, “Group-Velocity-Matched Cascaded Quadratic Nonlinearities of Femtosecond Pulses in Periodically Poled MgO:LiNbO₃,” *Opt. Lett.* **28**, 1442–1444 (2003).
- Y. SATO, T. TAIRA and A. IKESUE**, “Spectral Parameters of Nd³⁺-Ion in the Polycrystalline Solid-Solution Composed of Y₃Al₅O₁₂ and Y₃Sc₂Al₃O₁₂,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **42**, 5071–5074 (2003).
- K. MIZUUCHI, A. MORIKAWA, T. SUGITA, K. YAMAMOTO, N. PAVEL, I. SHOJI and T. TAIRA**, “High-Power Continuous Wave Green Generation by Single-Pass Frequency Doubling of a Nd:GdVO₄ Laser in a Periodically Poled MgO:LiNbO₃ Operating at Room Temperature,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **42**, L1296–L1298 (2003).
- V. LUPEI, N. PAVEL and T. TAIRA**, “Basic Enhancement of the Overall Optical Efficiency of Intracavity Frequency-Doubling Devices for the One-Micron Continuous-Wave Nd:Y₃Al₅O₁₂ Laser Emission,” *Appl. Phys. Lett.* **83**, 3653–3655 (2003).

M. IWAI, T. YOSHINO, S. YAMAGUCHI, M. IMAEDA, N. PAVEL, I. SHOJI and T. TAIRA, “High-Power Blue Generation from a Periodically Poled MgO:LiNbO₃ Ridge-Type Waveguide by Frequency Doubling of a Diode End-Pumped Nd:Y₃Al₅O₁₂ Laser,” *Appl. Phys. Lett.* **83**, 3659–3661 (2003).

T. DASCALU, N. PAVEL and T. TAIRA, “90 W Continuous-Wave Diode Edge-Pumped Microchip Composite Yb:Y₃Al₅O₁₂ Laser,” *Appl. Phys. Lett.* **83**, 4086–4088 (2003).

V. LUPEI, N. PAVE, Y. SATO and T. TAIRA, “Highly Efficient 1063-nm Continuous-Wave Laser Emission in Nd:GdVO₄,” *Opt. Lett.* **28**, 2366–2368 (2003).

B-2) 国際会議のプロシーディングス

Y. SATO, N. PAVEL, T. TAIRA and V. LUPEI, “Near quantum-defect slope efficiency laser operation in Nd:YVO₄ under direct pumping into the emitting level,” *OSA Topical meeting on Advanced Solid-State Photonics*, Texas, San Antonio, USA, 2-5 February 2003, MB12, 62–64 (2003).

T. DASCALU, T. TAIRA and N. PAVEL, “Diode radially-pumped microchip composite Yb:YAG laser:high power operation,” *OSA Topical meeting on Advanced Solid-State Photonics*, Texas, San Antonio, USA, 2-5 February 2003, TuB19, 213–216 (2003).

H. ISHIZUKI, I. SHOJI, T. TAIRA and S. KURIMURA, “Fabrication of periodically-poled structures in 3mm-thick MgO:LiNbO₃ crystals for high-power wavelength conversion,” *OSA Topical meeting on Advanced Solid-State Photonics*, Texas, San Antonio, USA, 2-5 February 2003, TuC4, 230–232 (2003).

N. PAVEL, I. SHOJI, T. TAIRA, M. IWAI, T. YOSHINO and M. IMAEDA, “High-power blue generation in a periodically poled MgO:LiNbO₃ ridge-type waveguide by frequency doubling of a diode end-pumped Nd:YAG laser,” *OSA Topical meeting on Advanced Solid-State Photonics*, Texas, San Antonio, USA, 2-5 February 2003, WC7, 350–353 (2003).

Y. SATO, I. SHOJI, T. TAIRA and A. IKESUE, “The spectroscopic properties and laser characteristics of a novel ceramic laser with Y₃Sc_xAl_(5-x)O₁₂,” *OSA Topical meeting on Advanced Solid-State Photonics*, Texas, San Antonio, USA, 2-5 February 2003, WE10, 403–406 (2003).

H. ISHIZUKI, I. SHOJI, T. TAIRA and S. KURIMURA, “Periodic poling of MgO:LiNbO₃ crystals for nonlinear wavelength conversion,” *Material Solutions for Photonics*, Tsukuba, 17-19 March 2003, 43–44 (2003).

S. ASHIHARA, T. SHIMURA, K. KURODA, N. E. YU, S. KURIMURA, K. KITAMURA, J. H. RO, M. CHA and T. TAIRA, “Femtosecond pulse compression using cascaded quadratic nonlinearities in periodically-poled lithium niobate,” *Material Solutions for Photonics*, Tsukuba, 17-19 March 2003, 45–46 (2003).

T. YAMADA, K. HAYASHI, S. KURIMURA, N. E. YU, K. KITAMURA, T. TAIRA and M. M. FEJER, “Periodical twin structure in quartz with high aspect ratio,” *Material Solutions for Photonics*, Tsukuba, 17-19 March 2003, 49–50 (2003).

S. KURIMURA, N. E. YU, K. KITAMURA, T. YAMADA, K. HAYASHI, T. TAIRA and M. M. FEJER, “Periodical twinning for quasi-phase-matched quartz,” *Conference on Lasers and Electro-Optics CLEO 2003*, Baltimore, Maryland, USA, June 2, CMF3 (2003).

H. ISHIZUKI, I. SHOJI, T. TAIRA and S. KURIMURA, “Fabrication of periodical poling in 3mm-thick MgO:LiNbO₃ crystals at elevated temperature,” *Conference on Lasers and Electro-Optics CLEO 2003*, Baltimore, Maryland, USA, June 2, CMF5 (2003).

- N. E. YU, S. KURIMURA, K. KITAMURA, J. H. RO., M. CHA, S. ASHIHARA, T. SHIMURA, K. KURODA and T. TAIRA**, “Frequency doubling of fs-pulses with simultaneous group velocity and quasi phase matching in MgO-doped periodically poled lithium niobate,” *Conference on Lasers and Electro-Optics CLEO 2003*, Baltimore, Maryland, USA, June 2, CMO4 (2003).
- T. DASCALU, T. TAIRA, N. PAVEL and I. SHOJI**, “Diode edge-pumped microchip composite Yb:YAG laser:thermal effects and laser performances,” *Conference on Lasers and Electro-Optics CLEO 2003*, Baltimore, Maryland, USA, June 4, CWG2 (2003).
- Y. SATO, N. PAVEL, I. SHOJI, T. TAIRA and V. LUPEI**, “The laser oscillation with near quantum-limit slope efficiency under direct pumping in Nd:YVO₄,” *Conference on Lasers and Electro-Optics CLEO 2003*, Baltimore, Maryland, USA, June 4, CWG4 (2003).
- N. PAVEL, I. SHOJI, T. TAIRA, M. IWAI, T. YOSHINO and M. IMAEDA**, “High-power blue emission by frequency doubling of a diode end-pumped Nd:YAG laser through a periodically poled MgO:LiNbO₃ ridge-type waveguide,” *Conference on Lasers and Electro-Optics CLEO 2003*, Baltimore, Maryland, USA, June 4, CWO4 (2003).
- V. LUPEI, N. PAVEL and T. TAIRA**, “The effect of Nd concentration on fundamental and frequency-doubled CW laser emission of miniature Nd:YAG lasers,” *Conference on Lasers and Electro-Optics CLEO 2003*, Baltimore, Maryland, USA, June 5, CThM44 (2003).
- S. ASHIHARA, T. SHIMURA, K. KURODA, N. EI. YU, S. KURIMURA, K. KITAMURA, J. H. RO, M. CHA and T. TAIRA**, “Femtosecond cascaded quadratic nonlinearities under simultaneous quasi-phase-matching and group-velocity-matching,” *Conference on Lasers and Electro-Optics CLEO 2003*, Baltimore, Maryland, USA, June 5, CThU2 (2003).
- Y. SATO, I. SHOJI, AND T. TAIRA and A. IKESUE**, “The polycrystalline Y₃Sc_xAl_(5-x)O₁₂ as designable laser medium,” *Conference on Lasers and Electro-Optics CLEO 2003*, Baltimore, Maryland, USA, June 6, CFG4 (2003).
- I. SHOJI, T. TAIRA and H. ISHIZUKI**, “Periodical poling of 3mm-thick MgO:LiNbO₃ crystals for high-power nonlinear wave-length conversion,” *Conference Digest CLEO/EUROPE 2003*, Munich GERMANY, June 23, CE2-2 (2003).
- N. PAVEL, I. SHOJI, T. TAIRA, M. IWAI, T. YOSHINO and M. IMAEDA**, “Harmonic blue light generation from a diode end-pumped Nd:YAG laser by a periodically poled MgO:LiNbO₃ ridge-type waveguide,” *Conference Digest CLEO/EUROPE 2003*, Munich GERMANY, June 24, CA8T (2003).
- N. PAVEL, V. LUPEI and T. TAIRA**, “The effect of Nd concentration on 1064 and 946-nm emission of Nd:YAG lasers under continuous-wave Ti:Sapphire pumping,” *Conference Digest CLEO/EUROPE 2003*, Munich GERMANY, June 24, CA9T (2003).
- T. DASCALU, T. TAIRA and N. PAVEL**, “Thermo-optical effects in high-power diode edge-pumped microchip composite Yb:YAG laser,” *Conference Digest CLEO/EUROPE 2003*, Munich GERMANY, June 27, CA8-3 (2003).
- I. SHOJI, T. TAIRA, A. IKESUE and K. YOSHIDA**, “Great reduction of thermally-induced-birefringence effect in highly Nd³⁺-doped YAG ceramics by laser oscillation,” *Conference Digest CLEO/EUROPE 2003*, Munich GERMANY, June 27, CA8-4 (2003).
- Y. SATO, J. SAIKAWA, I. SHOJI, T. TAIRA and A. IKESUE**, “The optical properties of novel microchip laser with polycrystalline gain media, solid solutions of neodymium-doped YAG and YSAG,” *The 5th International Meeting of Pacific Rim Ceramic societies*, Nagoya, 04-P-06, 90 (2003).

J. SAIKAWA and T. TAIRA, "Mode-locked Yb:YAG lasers by using SHG nonlinear mirror," *The 5th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics*, Taiwan, December 15-19, (2003).

B-4) 招待講演

平等拓範, 「国際会議 ASSP 報告」, 第4回光材料・応用技術研究会, 東京, 2003年2月.

T. TAIRA, "New generation of the ceramic lasers," Stanford Univ., CA (U. S. A.), June 2003.

平等拓範, 「CLEO2003 報告」第1回光材料・応用技術研究会, 東京, 2003年6月.

T. TAIRA, "Diode pumped microchip laser for chromatic light source," Grenoble Univ. (France), June 2003.

T. TAIRA, "Diode pumped microchip solid-state lasers," Bucharest (Romania), July 2003.

平等拓範, 「レーザー入門～光の基礎からレーザー研究の最前線まで～」, 安城市市民文化センター, 2003年7月.

B-6) 受賞、表彰

平等拓範, 第23回(社)レーザー学会業績賞(論文賞)(1999).

平等拓範, 第1回(財)みやぎ科学技術振興基金研究奨励賞(1999).

平等拓範, 他, 第51回(社)日本金属学会金属組織写真奨励賞(2001).

平等拓範, 他, (社)日本ファインセラミックス協会技術振興賞(2002).

庄司一郎, 第11回(2001年秋季)応用物理学会講演奨励賞(2001).

斎川次郎, 応用物理学会北陸支部発表奨励賞(1998).

B-7) 学会および社会的活動

学協会役員、委員

平等拓範, レーザー学会, レーザー素子機能性向上に関する専門委員会幹事(1997-1999).

平等拓範, レーザー学会, 研究会委員(1999-).

平等拓範, 電気学会, 高機能全固体レーザーと産業応用調査専門委員会幹事(1998-2002).

平等拓範, レーザー学会, レーザー用先端光学材料に関する専門委員会委員(2000-2002).

平等拓範, レーザー学会, 学術講演会プログラム委員(2001).

平等拓範, LASERS 2001, 国際会議プログラム委員(2001).

平等拓範, 米国スタンフォード大学, 客員研究員(1999-2002).

平等拓範, 宮崎大学, 非常勤講師(1999-2000).

平等拓範, 福井大学, 非常勤講師(1999-).

平等拓範, 理化学研究所, 非常勤研究員(1999-).

平等拓範, 物質・材料研究機構, 客員研究員(2001-).

庄司一郎, 日本光学会, 企画・事業担当幹事(2001-).

科学研究費の研究代表者、班長等

平等拓範, 基盤B(2) 展開研究(No. 10555016) 研究代表者(1998-2000).

平等拓範, 基盤B(2) 一般研究(No. 11694186) 研究代表者(1999-2001).

平等拓範, 地域連携推進研究(No. 12792003) 研究代表者(2000-2002).

平等拓範, 科学技術振興調整費 <産学官共同研究の効果的な推進>(輻射制御直接励起マイクロチップレーザー)
研究代表者 (2002-).
平等拓範, 基盤A (2) 一般研究(No. 15206073) 研究代表者 (2003-).

C) 研究活動の課題と展望

結晶長が1 mm以下のマイクロチップ固体レーザーの高出力化, 高輝度化, 多機能化と高性能な非線形波長変換方式の開発により従来のレーザーでは困難であった, いわゆる特殊な波長領域を開拓する。このため新レーザー材料の開発, 新レーザー共振器の開発を行う。さらに, マイクロチップ構造に適した発振周波数の単一化, 波長可変性, 短パルス化についても検討したい。この様な高輝度レーザーは多様な非線形波長変換を可能にする。そこで, 従来の波長変換法の限界を検討するとともに, これまでの複屈折性を用いた位相整合法では不可能であった高機能な非線形波長変換を可能とする新技術である擬位相整合法のためのプロセス及び設計法の研究開発を行う。

近い将来, 高性能の新型マイクロチップ固体レーザーや新しい非線形波長変換チップの研究開発により, 中赤外域から紫外域にわたる多機能な応用光計測を可能とする高機能・広帯域波長可変クロマチップレーザー(Chromatic Microchip Laser System; Chroma-Chip Laser)が実現できると信じている。