

3-10 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) テラヘルツ電磁波の発生とその応用
- b) 紫外新光学材料とその光源開発への応用

A-3) 研究活動の概要と主な成果

- a) テラヘルツ電磁波の発生とその応用:近年の研究に置ける重点課題の一つは、テラヘルツ電磁波に関する研究である。テラヘルツ電磁波とは電波と光の境界の振動数1 THz(波長300 μm)付近の電磁波で、これまで適当な光源や検出器がないため研究が進んでいなかった。我々は、磁場中の半導体にチタンサファイアレーザーにより汎用化された超短パルスレーザー光を照射することで、高平均出力のテラヘルツ電磁波発生に成功した。我々が発見した、磁場印加によるInAs基板からの電磁波の増強に関しては、理論研究者による新増強メカニズムの提唱もされつつある。また東北大金研・渡辺教授の協力の下、超高磁場下でのテラヘルツ電磁波発生について実験を行い、発生したテラヘルツ電磁波強度の、特異な磁場強度依存現象を発見し、その発生機構の解明に取り組んでいる。さらに光源の高性能化や小型化、分光学への応用を目指して研究を継続中である。我々が開発した新光源を用いた研究としては、神戸大の富永教授とのタンパクの溶液の分光研究、千葉大の西川教授との超臨界流体などの分光研究、日本分光やアイシン精機との計測器開発などがある。

それに加え現在は、従来のバルク素材を活用したテラヘルツ工学の限界を超えるべく、様々なナノ構造を持つ新素材の探索も始めている。台湾国立交通大学のPan教授や産総研の板谷らとは、MQWやDBR構造を持つ半導体非線形デバイスの研究が進行中であり、東工大の山瀬教授との研究ではナノクラスターを用いた設計可能な新非線形材料を発見した。これらの新素材の活用や外場での物性制御による遠赤外・中赤外での新非線形光学の開拓とその物性研究に取り組んでいる。

- b) 紫外新光学材料とその光源開発への応用:近年のもう一つの重点課題は、素材研究者と共同で行っている、新光学素子や新レーザー結晶・非線形結晶による光デバイス開発である。三菱マテリアルとの研究では、新非線形結晶LB4によりYAGレーザーの第5高調波が発生可能であることを発見した。またロシアのDubinskii教授や東北大の福田教授と、セリウム添加フッ化物による紫外固体レーザー開発を行った。これまで紫外の波長可変レーザーは、赤外・可視レーザーの波長変換しか方法がなかったが、新結晶を用いた発振器によって、波長可変紫外レーザー光の直接・高効率発生に成功した。この新素材が赤外領域におけるチタンサファイアと同様に重要であることを、科技団・東工大の細野教授とともに、全固体紫外超短パルスレーザーを構築することにより示した。この“紫外のチタンサファイア”あるいは“固体のエキシマ”としてセリウム添加フッ化物レーザーを使用し、新材料の真空紫外領域におけるバンド端発光特性の評価や、新レーザー媒質・非線形材料の探索を行っている。

B-1) 学術論文

H. TAKAHASHI, M. P. HASSELBECK, A. QUEMA, M. GOTO, S. ONO and N. SARUKURA, “Broadband Terahertz Radiation Emitter Using Femtosecond-Laser-Irradiated n-Type InAs under Magnetic Field,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **43**, L221–L223 (2004).

M. GOTO, A. QUEMA, H. TAKAHASHI, S. ONO and N. SARUKURA, “Teflon Photonic Crystal Fiber as Terahertz Waveguide,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **43**, L317–L319 (2004).

J. B. SHIM, A. YOSHIKAWA, T. FUKUDA, J. PEJCHAL, M. NIKI, N. SARUKURA and D. H. YOON, “Growth and Charge Transfer Luminescence of Yb³⁺-Doped YAlO₃ Single Crystals,” *J. Appl. Phys.* **95**, 3063–3068 (2004).

H. TAKAHASHI, M. SAKAI, A. QUEMA, S. ONO, N. SARUKURA, G. NISHIJIMA and K. WATANABE, “Terahertz Radiation from InAs with Various Surface Orientations under Magnetic Field Irradiated with Femtosecond Optical Pulses at Different Wavelengths,” *J. Appl. Phys.* **95**, 4545–4550 (2004).

M. YAMAGA, S. YABASHI, Y. MASUI, M. HONDA, H. TAKAHASHI, M. SAKAI, N. SARUKURA, J. -P. R. WELLS and G. D. JONES, “Optical, Infrared and EPR Spectroscopy of CaF₂:Ce³⁺ Crystals Co-Doped with Li⁺ or Na⁺,” *J. Lumin.* **108**, 307–311 (2004).

H. TAKAHASHI, M. P. HASSELBECK, A. QUEMA, M. GOTO, S. ONO and N. SARUKURA, “Effect of Ultrafast Optical Pulses with Different Pulse Duration on the Terahertz Radiation Spectrum of n-Type InAs,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **43**, L746–L748 (2004).

H. TAKAHASHI, A. QUEMA, M. GOTO, S. ONO, N. SARUKURA, G. NISHIJIMA and K. WATANABE, “Physical Origin of Magnetically Induced Periodic Structure Observed in Terahertz Radiation Spectrum Emitted from InAs,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **43**, L1017–L1019 (2004).

R. E. OUENZERFI, S. ONO, A. QUEMA, M. GOTO, N. SARUKURA, T. NISHIMATSU, N. TERAOKUBO, H. MIZUSEKI, Y. KAWAZOE, A. YOSHIKAWA and T. FUKUDA, “Design Proposal of Light Emitting Diode in Vacuum Ultraviolet Based on Perovskite-Like Fluoride Crystals,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **43**, L1140–L1143 (2004).

A. YOSHIKAWA, H. OGINO, J. B. SHIM, V. V. KOCHURIKIN, M. NIKL, N. SOLOVIEVA, S. ONO, N. SARUKURA, M. KIKUCHI and T. FUKUDA, “Growth and Scintillation Properties of Yb Doped Aluminate, Vanadate and Silicate Single Crystals,” *Opt. Mater.* **26**, 529–534 (2004).

R. E. OUENZERFI, S. ONO, A. QUEMA, M. GOTO, M. SAKAI, N. SARUKURA, T. NISHIMATSU, N. TERAOKUBO, H. MIZUSEKI, Y. KAWAZOE, H. SATO, A. YOSHIKAWA and T. FUKUDA, “Design Principle of Wide-Gap Fluoride Hetero-Structures for Deep Ultraviolet Optical Devices,” *J. Appl. Phys.* **96**, 7655–7659 (2004).

A. QUEMA, M. GOTO, M. SAKAI, G. JANAIRO, R. E. OUENZERFI, H. TAKAHASHI, S. ONO and N. SARUKURA, “Onset Detection of Solid-State Phase Transition in Estrogen-Like Chemical via Terahertz Transmission Spectroscopy,” *Appl. Phys. Lett.* **85**, 3914–3916 (2004).

B-2) 国際会議のプロシーディングス

H. TAKAHASHI, M. HASSELBECK, A. QUEMA, M. GOTO, S. ONO and N. SARUKURA, “Broadband THz-radiation emitter using femtosecond laser-irradiated n-type InAs under magnetic field,” Conference on Laser and Electro-Optics (CLEO 2004), May 16–21, 2004, San Francisco, California U.S.A., paper CTuB6 (2004).

- A. QUEMA, M. GOTO, M. SAKAI, H. TAKAHASHI, S. ONO and N. SARUKURA**, “Temperature-dependent vibrational modes of potential estrogenic Environmental pollutants measured by terahertz spectroscopy,” Conference on Laser and Electro-Optics (CLEO 2004), May 16–21, 2004, San Francisco, California U.S.A., paper CTuP47 (2004).
- M. GOTO, A. QUEMA, H. TAKAHASHI, S. ONO and N. SARUKURA**, “Plastic Photonic crystal fiber as terahertz waveguide,” Conference on Laser and Electro-Optics (CLEO2004), May 16–21, 2004, San Francisco, California U.S.A., paper CTuP49 (2004).
- A. QUEMA, M. GOTO, M. SAKAI, G. JANAIRO, R. EL OUEZNERFI, H. TAKAHASHI, S. ONO and N. SARUKURA**, “Solid-state phase transition onset detection in estrogen-like chemical via terahertz transmission spectroscopy,” 14th International Conference on Ultrafast Phenomena, July 25–30, 2004, Niigata, Japan, paper ME3 (2004).
- M. GOTO, A. QUEMA, H. TAKAHASHI, S. ONO and N. SARUKURA**, “Teflon photonic crystal fiber as polarization-preserving waveguide in THz region,” 14th International Conference on Ultrafast Phenomena, July 25–30, 2004, Niigata, Japan, paper ME33 (2004).
- H. TAKAHASHI, A. QUEMA, M. GOTO, S. ONO, N. SARUKURA, G. NISHIJIMA and K. WATANABE**, “Magnetically induced evolution of terahertz radiation spectrum emitted from InAs up to 27 T,” 14th International Conference on Ultrafast Phenomena, July 25–30, 2004, Niigata, Japan, paper ME44 (2004).
- H. TAKAHASHI, A. QUEMA, M. GOTO, S. ONO, N. SARUKURA, G. NISHIJIMA and K. WATANABE**, “Terahertz radiation spectrum emitted from InAs under the existence of Magnetic field up to 27 T,” Nonlinear Optics: Materials, Fundamentals and Applications, August 2–6, 2004, Waikoloa, Hawaii, U.S. A., paper MC1 (2004).
- H. TAKAHASHI, M. HASSELBECK, A. QUEMA, M. GOTO, S. ONO and N. SARUKURA**, “Strong enhancement of higher frequency terahertz radiation from n-type InAs by the reduction of excitation pulse duration,” Nonlinear Optics: Materials, Fundamentals and Applications, August 2–6, 2004, Waikoloa, Hawaii, U.S. A., paper MC4 (2004).
- A. QUEMA, M. GOTO, M. SAKAI, G. JANAIRO, R. EL OUEZNERFI, H. TAKAHASHI, S. ONO and N. SARUKURA**, “Onset detection of solid-state phase transition in a quasi-mimic natural Hormone chemical using transmission spectroscopy in the terahertz frequency region,” Nonlinear Optics: Materials, Fundamentals and Applications, August 2–6, 2004, Waikoloa, Hawaii, U.S. A., paper TuB5 (2004).
- M. GOTO, A. QUEMA, H. TAKAHASHI, S. ONO and N. SARUKURA**, “Photonic crystal fiber waveguide for terahertz radiation,” Nonlinear Optics: Materials, Fundamentals and Applications, August 2–6, 2004, Waikoloa, Hawaii, U.S. A., paper WB5 (2004).
- M. GOTO, A. QUEMA, H. TAKAHASHI, S. ONO and N. SARUKURA**, “Polarization-preserving teflon photonic crystal fiber waveguide for THz radiation,” The Joint 29th International Conference on Infrared and Millimeter Waves and 12th International Conference on Terahertz Electronics (IRMMW 2004 / THz 2004), September 27–October 1, 2004, Karlsruhe, Germany, paper M7.2 (2004).
- A. QUEMA, M. GOTO, M. SAKAI, G. JANAIRO, R. EL OUEZNERFI, H. TAKAHASHI, S. ONO and N. SARUKURA**, “Terahertz transmission spectroscopic detection of solid-state phase transition onset in endocrine-disrupting estrogen-like chemical,” The Joint 29th International Conference on Infrared and Millimeter Waves and 12th International Conference on Terahertz Electronics (IRMMW 2004 / THz 2004), September 27–October 1, 2004, Karlsruhe, Germany, paper Tu6.4 (2004).

S. ONO, H. TAKAHASHI, A. QUEMA, M. GOTO, N. SARUKURA, G. NISHIJIMA and K. WATANABE, “Evolution of terahertz radiation spectrum induced by a magnetic field applied on an InAs emitter in the Voigt configuration,” The Joint 29th International Conference on Infrared and Millimeter Waves and 12th International Conference on Terahertz Electronics (IRMMW 2004 / THz 2004), September 27–October 1, 2004, Karlsruhe, Germany, paper P1.39 (2004).

H. TAKAHASHI, M. HASSELBECK, A. QUEMA, M. GOTO, S. ONO and N. SARUKURA, “Higher frequency enhancement of terahertz-radiation spectrum from n-type InAs by using shorter excitation pulse,” The Joint 29th International Conference on Infrared and Millimeter Waves and 12th International Conference on Terahertz Electronics (IRMMW 2004 / THz 2004), September 27–October 1, 2004, Karlsruhe, Germany, paper Th9.2 (2004).

B-4) 招待講演

猿倉信彦, 「セリウム添加フッ化物レーザー結晶」, 科研費特定領域全体会議, 東京, 2004年1月.

猿倉信彦, 「テラヘルツ分光の将来展望」, 原研テラヘルツ研究会, 奈良, 2004年1月.

猿倉信彦, 「フッ化物ホストを用いたレーザー材料」, 学振161委員会, 東京, 2004年4月.

猿倉信彦, 「真空紫外光学材料としてのフッ化物の可能性」, 新プロ全体会議, 静岡, 2004年7月.

N. SARUKURA, “Development of Future All-Solid-State, Ultraviolet, Terawatt Laser System using Ce:LiCAF as a Gain Medium,” IWPA, Vietnam, April 2004.

S. ONO and N. SARUKURA, “All-solid-state, ultraviolet, high power laser system using Ce:LiCAF as a gain medium,” The 22nd SPP Physics Congress, Tagbilaran City, Bohol, October 2004.

B-5) 特許出願

特願平10-018498, 「高出力遠赤外光発生方法及びその装置」, 猿倉信彦、大竹秀幸(JST), 1998年.

特願平10-048318, 「THz電磁波発生制御方法」, 腰原伸也、猿倉信彦、嶽山正二郎、宗片比呂夫、南不二雄(財)神奈川県科学技術アカデミー), 1998年.

特願2000-109977, 「分光素子と遠赤分光装置」, 猿倉信彦、鈴井光一、矢野隆行、大竹秀幸(JST), 2000年.

特願2000-331796, 「発光材及びそれを用いた光源装置」, 川辺豊、山中明生、花村榮一、堀内大嗣、猿倉信彦、大竹秀幸(JST), 2000年.

特願2001-135236, 「光学材料」, 猿倉信彦、村上英利、大竹秀幸、山瀬利博、西 信之、井上克也(岡崎国立共同研究機構長), 2001年.

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

- Ultrafast Phenomena, program committee (1997-2002).
- Ultrafast Phenomena, local committee (2003-2004).
- Advanced Solid- State lasers, program committee (1999-2002).
- 応用物理学会プログラム委員 (1997-2002).
- 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-)
- 電気学会光量子デバイス技術委員 (1998-).
- 電気学会アドバンスドコヒーレントライトソース調査専門委員会委員長 (2001-2002).
- Femtosecond Technologyプログラム委員 (1998-1999).
- Ultrafast Optics, program committee (2002-).
- THz 2003, program committee (2002-2003).
- Laser and Nonlinear Optical Materials, program committee (2002-2003).
- Conference on Laser and Electro-Optics/ Pacific Rimプログラム委員 (2002-).
- 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).

学会誌編集委員

- レーザー研究, 編集委員 (1997-).
- JJAP編集委員 (1999-).
- JJAP Head Editor (2001-).
- IEEE JSTQE 編集委員 (2000-2001).

B-8) 他大学での講義、客員

名古屋工業大学, 「機能工学特別講義III」, 2004年4月-2005年3月.

B-9) 学位授与

高橋啓司, 「Development of intense and ultrashort terahertz radiation sources using semiconductor surfaces under magnetic field」, 2004年3月, 博士(工学)

B-10) 外部獲得資金

- 奨励研究(A), 「新紫外波長可変レーザーを用いた全固体高出力超短パルスレーザーシステム」, 猿倉信彦 (1996年-1998年).
- 奨励研究(A), 「紫外波長可変レーザー結晶を用いた高エネルギー出力抽出への試み」, 猿倉信彦 (1999年-2000年).
- 特定領域研究(B)(2), 「高強度テラヘルツ電磁波による画像新知覚化システムの構築」, 猿倉信彦 (1999年-2001年).
- 奨励研究(A), 「連続波レーザー光励起増幅器によるフェムト秒モード同期固体レーザーの高平均出力化」, 猿倉信彦 (2001年-2002年).
- 基盤研究(B)(2)(展開), 「高強度テラヘルツ電磁波を利用した環境ホルモン物質高感度小型検出システムの開発」, 猿倉信彦 (2001年-2004年).

特定領域研究(2),「テラワット紫外全固体超短パルスレーザーの開発」, 猿倉信彦 (2003年).

特定領域研究(2),「非同軸配置のパラメトリック増幅法による真空紫外超短パルスレーザー開発」, 猿倉信彦 (2004年-2005年).

学振特別研究員奨励費,「光結晶ファイバーを用いたテラヘルツ波ピッグテイルによる生体分子の実時間計測近接場顕微分析装置の開発」, Alex Quema (2004年-2005年).

若手研究(B),「紫外全固体レーザーのテラワット化にむけた高効率、高出力な新增幅器の開発」, 小野晋吾 (2004年-2006年).

科学技術振興事業団,「高出力遠赤外発生装置」, 猿倉信彦 (1999年).

科学技術振興事業団,「紫外レーザー材料の開発」, 猿倉信彦 (1999年-2000年).

中小企業総合事業団(NEDO再受託),「強磁場増強THz放射による時系列変換時間分解分光システムの研究開発」, 猿倉信彦 (1999年-2000年).

C) 研究活動の課題と展望

遠赤外超短パルスレーザーには、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が必要となる。我々のグループでは、半導体基板に強磁場を印加したテラヘルツエミッタを用いることで、平均出力でサブミリワット級のテラヘルツ電磁波光源を実現し、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った。現在我々は、これを分光測定に実際に使用し、タンパク質の分光測定やナフトール異性体の同定、ナフトール単結晶の構造相転移現象の観測など、すでにいくつかの成果を上げつつある。また、レンズダクトを使用した、テラヘルツ光を扱う新たな光学デバイスや、テラヘルツ領域だけでなく、可視・近・中赤外領域でも透明な新たな光学材料の開発など、テラヘルツ光を物性測定ツールとして用いるのに必要な周辺技術についても研究を行っている。これらを通し、テラヘルツ分光を新たな物性物理分野として確立しようと努力している。

また新紫外光学材料については、これまでの研究で、セリウム添加フッ化物結晶による紫外波長可変全固体レーザーの開発に成功した。今後はこれを用い、新たな紫外非線形材料の探索や新紫外レーザー結晶の特性評価などの物性研究を行う予定である。