

## 分子制御レーザー開発研究センター

猿 倉 信 彦 ( 助 教 授 ) ( 1996 年 2 月 15 日 ~ 2005 年 12 月 31 日 ) \* )

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  $\mu\text{m}$  ) 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光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

**G. DE LOS RAYES, A. QUEMA, C. PONSECA JR., R. POBRE, R. QUIROGA, S. ONO, H. MURAKAMI, E. ESTACIO, N. SARUKURA, K. AOSAKI, Y. SAKANE and H. SATO**, “Low-Loss Single-Mode THz Waveguiding Using Cytotop,” *Appl. Phys. Lett.* **89**, 211119 (2006).

**E. ESTACIO, A. QUEMA, R. POBRE, G. DIWA, C. PONSECA JR., S. ONO, H. MURAKAMI, A. SOMINTAC, J. SY, V. MAG-USARA, A. SALVADOR and N. SARUKURA**, “Below-Bandgap Excited, Terahertz Emission of Optically Pumped GaAs/AlGaAs Multiple Quantum Wells,” *J. Photochem. Photobiol.* **183**, 334–337 (2006).

**M. YAMAGA, E. HAYASHI, N. KODAMA, K. ITOH, S. YABASHI, Y. MASUL, S. ONO, N. SARUKURA, T. P. J. HAN and H. G. GALLAGHER**, “Vacuum Ultraviolet Spectroscopy of Ce<sup>3+</sup>-Doped SrMgF<sub>4</sub> with Superlattice Structure,” *J. Phys.: Condens. Matter* **18**, 6033–6044 (2006).

**E. HAYASHI, K. ITO, S. YABASHI, M. YAMAGA, N. KODAMA, S. ONO and N. SARUKURA**, “Vacuum Ultraviolet and Ultraviolet Spectroscopy of BaMgF<sub>4</sub> Codoped with Ce<sup>3+</sup> and Na<sup>+</sup>,” *J. Lumin.* **119**, 69–74 (2006).

**E. HAYASHI, K. ITO, S. YABASHI, M. YAMAGA, N. KODAMA, S. ONO and N. SARUKURA**, “Ultraviolet Irradiation Effect of Ce<sup>3+</sup>-Doped BaMgF<sub>4</sub> Crystals,” *J. Alloys Compd.* **408**, 883–885 (2006).

## B-2) 国際会議のプロシーディングス

**G. DE LOS REYES, A. QUEMA, E. ESTACIO, C. PONSECA JR., R. POBRE, R. QUIROGA, H. MURAKAMI, S. ONO, N. SARUKURA, K. AOSAKI, Y. SAKANE and H. SATO**, “Low-Loss Single-Mode THz Waveguiding Using CYTOP, a Highly Transparent Plastic with Potential as Hybrid Optics,” *Conference on Lasers and Electro-Optics and the Quantum Electronics and Laser Science Conference (CLEO/QELS 2006)* (2006).

**E. ESTACIO, C. PONSECA JR., A. QUEMA, G. DIWA, H. MURAKAMI, S. ONO, A. SOMINTAC, M. BAILON, A. SALVADOR and N. SARUKURA**, “Magnetic Field Orientation Dependence of the Terahertz Radiation from GaAs/AlGaAs Modulation-Doped Structures with Varying AlGaAs Spacer-Layer Thickness,” *Conference on Lasers and Electro-Optics and the Quantum Electronics and Laser Science Conference (CLEO/QELS 2006)* (2006).

**E. ESTACIO, C. PONSECA, A. QUEMA, H. MURAKAMI, S. ONO, R. POBRE, R. QUIROGA, N. SARUKURA, M. TANI and M. HANGYO**, “Terahertz Radiation from (100) p-InAs under 1 Tesla Magnetic Field Due to Surge Current,” *Conference on Lasers and Electro-Optics and the Quantum Electronics and Laser Science Conference (CLEO/QELS 2006)* (2006).

**E. ESTACIO, C. PONSECA, A. QUEMA, S. ONO, R. POBRE, R. QUIROGA, H. MURAKAMI, H. SUMIKURA, M. TANI, N. SARUKURA and M. HANGYO**, “Observation of Four-Fold Azimuthal Angle Dependence in the Terahertz Radiation Power of (100) p-InAs,” *Conference Digest of the 2006 Joint 31st International Conference on Infrared and Millimeter Waves and 14th International Conference on Terahertz Electronics (IRMMW-THz 2006)*, 18 (2006).

**C. S. PONSECA JR., A. V. QUEMA, E. ESTACIO, M. M. CADATAL, M. MURAKAMI, S. ONO, N. SARUKURA, A. ARGYROS, M. C. J. LARGE and M. A. VAN ELJKELENBORG**, “Terahertz-Time Domain Spectroscopy Microstructured Poly(methylmetacrylate) Polymer Fiber,” *Conference Digest of the 2006 Joint 31st International Conference on Infrared and Millimeter Waves and 14th International Conference on Terahertz Electronics (IRMMW-THz 2006)*, 244 (2006).

C. S. PONSECA JR., A. V. QUEMA, G. DE LOS REYES, E. ESTACIO, M. M. CADATAL, R. POBRE, R. QUIROGA, H. MURAKAMI, S. ONO, N. SARUKURA, T. TANNO, T. SASAKI, K. SUTO, J. NISHIZAWA and K. TOMINAGA, "Terahertz Transmission Spectroscopic Analysis of Mono- and Di-Substituted Hydroxynaphthalenes in the 0.5- to 6-THz Region Using GaP THz Wave Generator," *Conference Digest of the 2006 Joint 31st International Conference on Infrared and Millimeter Waves and 14th International Conference on Terahertz Electronics (IRMMW-THz 2006)*, 540 (2006).

E. ESTACIO, C. PONSECA, S. ONO, A. QUEMA, R. POBRE, R. QUIROGA, H. MURAKAMI, H. SUMIKURA, M. TANI, N. SARUKURA and M. HANGYO, "Fourfold Azimuthal Angle Dependence of the Terahertz Radiation Power in (100) pInAs under 1T Transverse Magnetic Field," *Proceedings of the Samahang Pisika ng Pilipinas (The 24th SPP National Physics Congress)* (2006).

C. PONSECA, A. QUEMA, E. ESTACIO, M. CADATAL, H. MURAKAMI, N. SARUKURA, S. ONO, R. POBRE, R. QUIROGA, A. ARGYROS, M. LARGE and M. VAN ELJKELENBORG, "Transmission Spectra of Microstructured Polymer Fiber Using Terahertz-time Domain Spectroscopy (THzTDS)," *Proceedings of the Samahang Pisika ng Pilipinas (The 24th SPP National Physics Congress)* (2006).

R. F. POBRE, G. A. DIWA, E. S. ESTACIO, S. ONO, H. MURAKAMI and N. SARUKURA, "Modal Analysis of Teflon Photonic Crystal Fiber Waveguide in Terahertz Frequency Region," *Proceedings of the Samahang Pisika ng Pilipinas (The 24th SPP National Physics Congress)* (2006).

C. S. PONSECA JR., A. V. QUEMA, G. DE LOS REYES, E. ESTACIO, H. MURAKAMI, M. M. CADATAL, S. ONO, N. SARUKURA, R. POBRE, R. QUIROGA T. TANNO, T. SASAKI, K. SUTO, J. NISHIZAWA and K. TOMINAGA, "Spectroscopic Analysis of 1,4-Dihydroxynaphthalene in the 0.5 to 6THz Region Using GaP THz Wave Generator," *Proceedings of the Samahang Pisika ng Pilipinas (The 24th SPP National Physics Congress)* (2006).

M. H. PHAM, C. PONSECA JR., E. ESTACIO, S. ONO, N. SARUKURA, H. MURAKAMI, Y. FUJIMOTO, Y. SEO, T. TATSUMI, M. NAKATSUKA, M. M. CADATAL, K. FUKUDA, A. YOSHIKAWA and T. FUKUDA, "Investigation of the Optical Properties of Nd<sup>3+</sup>-Doped LaF<sub>3</sub> and YLiF<sub>4</sub> in the Deep Ultraviolet (DUV) and Vacuum Ultraviolet (VUV) Region," *Proceedings of the Samahang Pisika ng Pilipinas (The 24th SPP National Physics Congress)* (2006).

#### B-3) 総説、著書

村上英利、小野晋吾、猿倉信彦、「超短パルスレーザーによる高出力テラヘルツ波の発生と応用」*応用物理* 75, 202–206 (2006).

村上英利、猿倉信彦、「超短パルスレーザーの画像技術への応用」*フェムト秒テクノロジー [基礎と応用]* 平尾一之、邱建栄編, 292–298 (2006).

村上英利、小野晋吾、猿倉信彦、「紫外光学結晶の新展開」*バルク単結晶の最新技術と応用開発*, 福田承生監修, (株)シーエムシー出版 (2006).

#### B-4) 招待講演

N. SARUKURA, "Band-structure design of wide-gap fluoride hetero-structures for deep-ultraviolet light-emitting diodes," 4th International Symposium on Laser, Scintillator and Non Linear Optical Materials (ISLNOM4 2006), Prague (Czech), June 2006.

#### 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-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).

萌芽研究,「真空紫外高輝度発光ダイオードを用いた画像計測システム」猿倉信彦(2005年-2007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の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。

\* ) 2006年1月1日大阪大学レーザーエネルギー学研究中心教授, 分子科学研究所教授兼任