



レーザー科学研究所
令和2年度（2020年度）

共同利用・共同研究成果報告書

（令和2年4月-令和3年3月）

ILE Annual Report of Collaborative Research
April 2020 - March 2021

はじめに

大阪大学レーザー科学研究所は、国内外の共同研究者の皆様と共に、レーザー技術を発展させ、レーザーが拓く人類未踏の世界を探究することで、イノベーションの源泉となる新学術や革新的技術の創生に努めています。レーザー技術をベースとした基礎及び応用として、レーザー科学・光量子科学に関する研究・教育を推進するとともに、共同利用・共同研究拠点として国内外の大学又は研究機関等の研究者の共同利用に供しています。皆様のご理解とご協力のもと、令和2年度もこれまで通り、光材料工学、光デバイス工学、レーザー工学ならびにテラヘルツフォトンクスやパワーフォトンクスなどを始めとしたレーザー科学やレーザー宇宙物理学やレーザー核融合などを含めた高エネルギー密度科学などの学際分野で多くの成果が得られました。これらの活動の成果を、共同研究成果報告書としてまとめましたので、ご高覧いただければ幸いです。

令和2年度は、新型コロナウイルスの影響で、一時期、施設へのアクセスが制限されるとともにスケジュールの変更が余儀なくされました。一方で、共同研究受け入れ制限期を活用し、これまでスケジュール的に困難なであった箇所の改修を重点的に行うことができました。またコロナ禍でも運転できるように、自動化にも取り組みました。さらに海外共同研究者などリアルな往来を制限された研究課題（大型装置利用）については、オンラインコミュニケーションの手法と所内研究者によるリモート遠隔実験の試験運用を実施しました。結果的に、これまで以上に多くの研究者が参加できる研究活動の場を提供することができました。今後、ポスト・コロナの時代にむけ、機器のデジタル化、リモート化を進めるとともにオンラインコミュニケーションの手法を積極的に取り入れ、国内外の共同研究の新しい展開、機能強化につながる新たなサービスを創出するデジタルトランスフォーメーションの推進に取り組んでいきたいと思っております。また、新たな拠点活動の試みとして、研究コミュニティの活性化と拡大のため、新たに萌芽課題枠を設定し、これまでの枠組みにとらわれない挑戦的な課題を積極的に採用することに努めました。さらに共同研究の発展促進のため、コミュニティの希望をもとに共同利用・共同研究の第2期公募を試験的に行いました。これらの結果、激光 XII 号レーザー装置、LFEX レーザー装置を使った共同研究も進み有償利用も従来以上の課題を実施することができました。その結果、令和2年度の参加機関数は130機関154部局、受け入れ人数は705人と昨年度までに比べ増加しました。さらに、令和2年度は、これまでの欧米中国アジアに加えて、インドネシア、フィリピン、ベトナムなど東南アジアに目を向けた取り組みを行い新たな部局間協定を締結するとともにオンラインを活用した人材交流を始めました。加えて、コミュニティの要望をもとに従来、進めてまいりました新たな時代のハイパワーレーザー施設の構想として、「ハイパワーレーザーインテグレーションによる新共創システムの構築」が“学術会議マスタープラン2020”になるとともに、令和2年6月に同学術会議より「パワーレーザー技術と高エネルギー密度科学の量子的飛躍と産業創成」という提言だされ、当分野の拠点整備の重要性が指摘され、本拠点活動の重要性が一層増しております。

令和3年度におきましても、レーザー科学ならびに高エネルギー密度科学を発展させ、より幅広いコミュニティの期待に応えることができる拠点活動を推進していきたいと思っております。ポスト・コロナ時代の新しい共同利用・共同研究拠点として、共同研究者の皆様と共に新しい学問領域を開拓するとともに社会に貢献していきたいと考えております。今後とも当拠点活動に対する皆様のご理解ご支援のほど、よろしくお願い申し上げます。

令和3年6月
大阪大学レーザー科学研究所長 兒玉 了祐

目次 INDEX

レーザー宇宙物理学

2020A1-004KURAMITSU	Experimental investigation on electron scale magnetic reconnections with high-power laser	Yasuhiro Kuramitsu	大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻	P.11
2020A1-017YAMAZAKI	Experiments of collisionless shocks propagating into magnetized plasma	Ryo Yamazaki	青山学院大学理工学部物理・数理学科	P.12
2020A1-023MORITA	Magnetic reconnection in self-generated magnetic fields and its dependence on a guide-field	Taichi Morita	九州大学大学院総合理工学研究院	P.13
2020A1-025MATSUKIYO	Empirical research of self-reformation of collisionless shock by using power laser	Shuichi Matsukiyo	九州大学大学院総合理工学研究院	P.14
2020A1-032SANO	Laser-astrophysics experiment on the suppression of interfacial hydrodynamic instabilities by strong magnetic fields	Takayoshi Sano	大阪大学レーザー科学研究所	P.15
2020A1-2019SAKAWA	Quasi-monoenergetic proton beam generation by collisionless shock	Youichi Sakawa	大阪大学レーザー科学研究所	P.16
2020B2-028MATSUKIYO	Full particle-in-cell simulation for Gekko XII collisionless shock experiment	Shuichi Matsukiyo	九州大学大学院総合理工学研究院	P.17
2020B2-032YAMAZAKI	Preliminary study toward magnetized shock experiments	Ryo Yamazaki	青山学院大学理工学部物理・数理学科	P.18
2020B2-036TANAKA	Preparation to laser experiments of induced Compton scattering	Shuta Tanaka	青山学院大学理工学部物理・数理学科	P.19
2020B2-044OHIRA	Theoretical study toward laser experiments for collisionless shocks propagating to various plasmas	Yutaka Ohira	東京大学大学院理学系研究科	P.20
2020B2-048FUKUDA	Proton acceleration using collisionless shocks produced in nonequilibrium plasmas	Yuji Fukuda	量子科学技術研究開発機構関西光科学研究所	P.21
2020B2-050TAKEZAKI	Comparison between high-power laser experiments and pulsed-power discharge experiment to study collisionless shocks	Taichi Takezaki	富山大学学術研究部工学系	P.22
2020B2-066LIU	Numerical investigation of wakefield acceleration in laboratory astrophysics	Yao-Li Liu	Department of Physics, National Central University	P.23

超高压物性・惑星物理学

2020A1-018OZAKI	Measurement of Hugoniot elastic limit of nano-polycrystalline diamond NPD	Norimasa Ozaki	大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻	P.24
2020A1-026YANG	Exploring the shock phase transition pathway of quartz-coesite-stishovite using GEKKO XII system	Wenge Yang	Center for High Pressure Science and Technology Advanced Research	P.25
2020A1-027OKUCHI	Extension of Hugoniot measurements for single crystals of synthetic denser polymorphs of Mg ₂ SiO ₄	Takuo Okuchi	岡山大学惑星物質研究所	P.26
2020B1-017YANO	Fundamental Development of Microparticle Capture System through Hypervelocity Impact Simulations and Experiments at >10 km/s	Hajime Yano	宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所	P.27

超高強度磁場科学

2020A1-009JOHZAKI	Development of electron beam control scheme using kilo-tesla-class self-generated resistive magnetic field	Tomoyuki Johzaki	広島大学大学院先進理工系科学研究科	P.28
2020A1-014LAW	Laser-driven three-dimensional magnetic reconnection by converging magnetized plasma	King Fai Farley Law	東京大学大学院理学系研究科	P.29
2020A1-021ABE	Control of kilo-Tesla-scale magnetic fields driven by high-power laser and micro-coil targets	Yuki Abe	大阪大学レーザー科学研究所	P.30
2020A1-024ZHANG	Collimated charged particles generation with accompanied magnetic field	Zhe Zhang	Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences	P.31

量子ビーム科学

2020A1-003ARIKAWA	The efficient generation of relativistic electron ion by using fundamental+second harmonics mixed LFEX beam	Yasunobu Arikawa	大阪大学レーザー科学研究所	P.32
2020A1-031YOGO	Realizing the high-temperature neutron environment inside a star by Laser-driven Neutron Source	Akifumi Yogo	大阪大学レーザー科学研究所	P.33
2020A1-2019YOGO	Novel laser ion acceleration realized by a pure solid hydrogen foil	Akifumi Yogo	大阪大学レーザー科学研究所	P.34
2020B1-002JOHZAKI	Radiation-hydrodynamics simulation for development of laser-plasma X-ray source	Tomoyuki Johzaki	広島大学大学院先進理工系科学研究科	P.35
2020B2-022TOKUMOTO	Development of New Soil Moisture Detection System by Neutrons	Ieyasu Tokumoto	佐賀大学農学部生物資源科学科	P.36

2020B2-037SATO	Theoretical calculation of neutron generation via nuclear reactions from spin-polarized deuterium	Toru Sato	大阪大学核物理研究センター	P.37
2020B2-039KITAGAWA	Development of spin-polarized deuterium target by using photo-excitation triplet electron dynamic nuclear polarization	Masahiro Kitagawa	大阪大学大学院基礎工学研究科システム創成専攻	P.38
2020B2-042NISHIUCHI	Clarification of the dynamics of the highly charged heavy metal plasma produced by the high intensity laser	Mamiko Nishiuchi	量子科学技術研究開発機構 関西光科学研究所	P.39
2020B2-059MORACE	Fast learning by high-intensity, high-repetition rate laser systems.	Alessio Morace	大阪大学レーザー科学研究所	P.40
2020B2-062IWAMOTO	Solid deuterium foil fabrication method for efficient cold neutron generation	Akifumi Iwamoto	核融合科学研究所ヘリカル研究部	P.41

プラズマ科学

2020B1-007HABARA	Modeling of fast electron collimation in the imploded plasma by embedded high z wire	Hideaki Habara	大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻	P.42
2020B2-010MORI	Investigation of electromagnetic wave propagation/absorption and plasma heating with polarization controlled counter-illuminating intense laser pulse	Yoshitaka Mori	光産業創成大学院大学光産業創成研究科	P.43
2020B2-043MORITA	Two-dimensional and two-directional parameter measurements with laser Thomson scattering	Taichi Morita	九州大学大学院総合理工学研究院	P.44
2020B2-049FRANCISCO	Compressible Richtmyer-Meshkov instability in a density gradient	Francisco Cobos-Campos	University of Castilla-La Mancha	P.45
2020B2-056SENTOKU	Study of intense laser driven isochoric heating using XFEL(SACLA)	Yasuhiko Sentoku	大阪大学レーザー科学研究所	P.46
2020B2-058SENTOKU	Developing a photon scattering model in non-thermal high energy density plasmas in PICLS code	Yasuhiko Sentoku	大阪大学レーザー科学研究所	P.47
2020B2-060YAMADA	The development on a high sensitive EO polymer for ion/neutron measurement in laser fusion experiment	Toshiki Yamada	情報通信研究機構未来ICT研究所	P.48
2020B2-064TAGUCHI	Interaction between ultra-intense laser and plasma	Toshihiro Taguchi	日本原子力研究開発機構高速炉・新型炉研究開発部門 敦賀総合研究開発センター	P.49
2020B2-067IWATA	Theoretical study on particle acceleration in high energy density plasmas created by kJ class ultra-intense lasers	Natsumi Iwata	大阪大学レーザー科学研究所	P.50

テラヘルツ光科学

2020B1-004ITO	Study of broadband terahertz liquid crystal devices	Ryota Ito	秋田県立大学システム科学技術学部	P.51
2020B1-006TANI	Development of new THz wave emission devices using metamaterial structures	Masahiko Tani	福井大学遠赤外領域開発研究センター	P.52
2020B1-009MORITA	Spin manipulation using high power THz pulse	Ken Morita	千葉大学大学院工学研究科	P.53
2020B1-010KAWAYAMA	Evaluation for carrier dynamics of perovskite solar cells using terahertz emission	Iwao Kawayama	京都大学大学院エネルギー科学研究科	P.54
2020B1-011SALVADOR	Investigation of deuterium irradiation on electrical and structural properties of gallium arsenide on silicon based solar cells	Arnel A. Salvador	National Institute of Physics, University of the Philippines	P.55
2020B1-013MATSUI	Terahertz fast switching utilizing organic semiconductors	Tatsunosuke Matsui	三重大学大学院工学研究科	P.56
2020B1-014ESTACIO	Terahertz emission characteristics of zinc oxide-based photoconductive antenna devices	Elmer Surat Estacio	National Institute of Physics, University of the Philippines	P.57
2020B1-015KAWAYAMA	Establishment and application of terahertz time-domain spectroscopy for complex conductivity analysis of disordered systems	Iwao Kawayama	京都大学大学院エネルギー科学研究科	P.58
2020B1-016MARUYAMA	Identification and imaging of polymorphs in urinary stones by terahertz spectroscopy	Mihoko Maruyama	大阪大学高等共創研究院/大学院工学研究科	P.59
2020B2-006OTANI	Examination of Control of Superconducting Transition Temperature and its application to Microwave Kinetic Inductance Detectors	Chiko Otani	理化学研究所光量子工学研究センター	P.60
2020B2-009KUWASHIMA	simultaneity of laser modes in laser chaos through plasmon antenna	Fumiyoshi Kuwashima	福井工業大学工学部電気電子工学科	P.61
2020B2-012MAKINO	Terahertz device applications based on phase change materials	Kotaro Makino	産業技術総合研究所ナノエレクトロニクス研究部門	P.62
2020B2-019LEE	IR and THz Wave Transmission Characterization of Gas Molecules Absorbed on Metal Organic Frameworks Electrodes	Sang-Seok Lee	鳥取大学大学院工学研究科情報エレクトロニクス専攻	P.63
2020B2-029ASAKAWA	Smith-Purcell radiation emitted from ps electron bunch in THz wave range	Makoto Asakawa	関西大学システム理工学部物理・応用物理学科	P.64
2020B2-033NASHIMA	Fabrication of ultrabroadband wire-grid polarizers using sub-10um diameter wire	Shigeki Nashima	大阪市立大学大学院工学研究科	P.65
2020B2-054KUWASHIMA	Low cost and stable CW-THz spectroscopy for volcanic ash	Fumiyoshi Kuwashima	福井工業大学工学部電気電子工学科	P.66

パワーレーザー科学

2020B2-018YOSHIDA	Development of fiber laser pumped 4 um band Fe: ZnSe laser	Yoshida Minoru	近畿大学理工学部電気電子工学科	P.67
2020B2-020KANABE	Improve performance of LFEX laser system	Tadashi Kanabe	福井大学大学院工学研究科原子力・エネルギー安全工学専攻	P.68
2020B2-038INOUE	Development of DPSS visible pulse laser system	Shunsuke Inoue	京都大学化学研究所	P.69
2020B2-045KAWATO	High gain of positive dispersion mode-locked laser and stabilization of output using highly nonlinear medium inside the oscillator	Sakae Kawato	福井大学学術研究院工学系部門	P.70
2020B2-047KAWATO	Quantification of the influence blue pumping on the efficiency of the continuous-wave Ti: sapphire laser	Sakae Kawato	福井大学学術研究院工学系部門	P.71

光学材料

2020B1-001MURATA	Improvement on characteristics of Pr ³⁺ -doped glass scintillator for neutron detector	Takahiro Murata	熊本大学大学院先端科学研究部	P.72
2020B1-003RADUBAN	Optimizing Praseodymium and Cerium co-doping in APLF glasses for improved neutron scintillator applications	Marilou Cadatal-Raduban	School of Natural and Computational Sciences, Massey University	P.73
2020B1-005GARCIA	Femtosecond pulsed laser deposition and characterization of CeO ₂ thin films	Wilson Ong Garcia	National Institute of Physics, University of the Philippines	P.74
2020B1-008SARMAGO	Vertically aligned zinc oxide-polymer composites as optical materials with improved UV luminescence quantum yield	Roland V. Sarmago	National Institute of Physics, University of the Philippines	P.75
2020B1-012PUTUNGAN	Investigation of Hydrogen adsorption on Gallium Nitride: A Density Functional Theory Study	Alexandra Bernardo Santos-Putungan	University of the Philippines Los Baños	P.76
2020B1-018SAMSON	Radiation-assisted ZnO nanostructure fabrication and its optical properties	Vallerie Ann Innis Samson	Philippine Nuclear Research Institute	P.77
2020B2-002FUJIMOTO	Development on advanced functional optical fiber devices and its application	Yasushi Fujimoto	千葉工業大学工学部電気電子工学科	P.78
2020B2-003TOKUDA	Quasi-dielectric properties of metallic slit arrays and their application to control terahertz waves	Yasunori Tokuda	岡山県立大学情報工学部情報通信工学科	P.79
2020B2-014PHAM	Development of a tunable, short-pulse UV laser system using a Ce:LiCAF crystal for LIDAR applications	Pham Hong Minh	Vietnam Academy of Science and Technology	P.80

2020B2-015YOSHIKAWA	Production of functional organic crystals by intense laser	Hiroshi Yoshikawa	Department of Chemistry, Saitama University	P.81
2020B2-023IWASA	Luminescence properties of rare-earth doped mixed-anion compounds	Yuki Iwasa	産業技術総合研究所計量標準総合センター物理計測標準部門	P.82
2020B2-024OGINO	Development of new excitonic luminescent materials based on mixed anion compounds	Hiraku Ogino	産業技術総合研究所エレクトロニクス製造領域電子光技術研究部門	P.83
2020B2-025NAKANO	Development of a transparent Nd:CaF ₂ ceramic material	Hitoshi Nakano	近畿大学理工学部電気電子工学科	P.84
2020B2-027MORI	Development of high-quality and large nonlinear optical borate crystal	Yusuke Mori	大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻	P.85
2020B2-051KUROSAWA	Scintillation study on transparent ceramics	Shunsuke Kurosawa	東北大学未来科学技術共同研究センター	P.86
2020B2-052YAMAJI	Development of novel red and infrared phosphors with high luminosity and fast decay time	Akihiro Yamaji	東北大学金属材料研究所先端結晶工学研究部	P.87

物理インフォマティクス

2020C-002NAGATOMO	Symposium on simulation and dataability for high energy density science	Hideo NAGATOMO	大阪大学・レーザー科学研究所	P.88
-------------------	---	----------------	----------------	------

一般共同研究

2020B2-001FURUKAWA	Development of integrated simulation code on laser processing using ultra short pulse lasers.	Hiroyuki Furukawa	レーザー技術総合研究所理論・シミュレーションチーム	P.89
2020B2-004HIROSE	Radiation MHD simulations of accretion disks	Shigenobu Hirose	海洋研究開発機構数理学・先端技術研究分野	P.90
2020B2-005MATSUOKA	Nonlinear interaction between an interface and bulk point vortices in Richtmyer-Meshkov instability	Chihiro Matsuoka	大阪市立大学大学院工学研究科応用数学講座	P.91
2020B2-007SUNAHARA	Numerical modeling of plasma facing materials	Atsushi Sunahara	Center for Materials Under eXtreme Environment, Nuclear Engineering, Purdue University	P.92
2020B2-008SASAKI	Analysis of damage of optical materials using percolation model	Akira Sasaki	量子科学技術研究開発機構関西光科学研究所	P.93
2020B2-011MOTOKOSHI	Build-up of silica glass structures by laser fabrication method	Shinji Motokoshi	レーザー技術総合研究所レーザー技術開発室	P.94

2020B2-013YAMAMOTO	Development of spherical rare-earth nitrides with different compositions for high-efficiency cryogenic refrigerators	Takao Yamamoto	大阪大学大学院工学研究科ビジネスエンジニアリング専攻	P.95
2020B2-016MOTOKOSHI	Laser-induced damage threshold by repetition pulses for optical materials	Shinji Motokoshi	レーザー技術総合研究所レーザー技術開発室	P.96
2020B2-017FURUTA	THz radiation and absorption properties of CNT forest metamaterials	Hiroshi Furuta	高知工科大学システム工学群	P.97
2020B2-021KOIZUMI	Development of a measurement system for NRTA using laser driven neutron source	Mitsuo Koizumi	日本原子力研究開発機構核不拡散・核セキュリティ総合支援センター	P.98
2020B2-026OHKUBO	Machine Learning of Dielectric Mirror for High Power Lasers	Tomomasa Ohkubo	東京工科大学工学部機械工学科	P.99
2020B2-030FUJITA	Development of Laser Beam Sources and their Applications	Masayuki Fujita	レーザー技術総合研究所レーザープロセス研究チーム	P.100
2020B2-031UTSURO	NMR study of HD probe in the temperature region of about 1-10K and preparation of solid HD thin layer-target	Masahiko Utsuro	大阪大学核物理研究センター	P.101
2020B2-034MASADA	Non-locality in the Solar Convection and its Impact on the Internal Transport Dynamics	Youhei Masada	愛知教育大学教育学部理科教育講座	P.102
2020B2-035OHTA	Development of Sub-Terahertz TDS Polarimetry for Cosmic microwave Background Observation system	Izumi S. Ohta	甲南大学理工学部	P.103
2020B2-040YAMANAKA	Laser isotope analyzer for luna mission	Chihiro Yamanaka	大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻	P.104
2020B2-041NISHIKINO	Reserch on sensing technology and advanced beam applications by laser scanning	Masaharu Nishikino	量子科学技術研究開発機構関西光科学研究所	P.105
2020B2-046FURUSE	Development of transparent ceramics	Hiroaki Furuse	北見工業大学工学部マテリアル工学科	P.106
2020B2-053TANABE	Evaluation of laser speckles with red, green, and blue colored laser light sources and its suppression	Minoru Tanabe	産業技術総合研究所物理計測標準研究部門	P.107
2020B2-055KAWAMURA	Effect of point defects on optical properties of GaN	Takahiro Kawamura	三重大学大学院工学研究科機械工学専攻	P.108
2020B2-057HIGASHIGUCHI	Development of regenerative D2O target for high repetition rate laser-driven quantum beam sources	Takeshi Higashiguchi	宇都宮大学大学院工学研究科	P.109
2020B2-061INUBUSHI	Study of transient state of intense-laser-produced plasma using femtosecond X-ray spectroscopy	Yuichi Inubushi	高輝度光科学研究センター XFEL 利用研究推進室	P.110
2020B2-063ODA	Development of real-time control system for application of repetitive-pulse high-power laser	Yasuhisa Oda	摂南大学理工学部機械工学科	P.111

2020B2-065SANO	Decay instabilities of whistler waves in solar wind plasmas	Takayoshi Sano	大阪大学レーザー科学研究所	P.112
2020B2-068NARAZAKI	Basic technology research of nano-processing data acquisition toward CPS laser processing	Aiko Narazaki	産業技術総合研究所電子光基礎技術研究部門	P.113
2020C-003KOIZUMI	Development of NRTA method using laser driven neutron source	Mitsuo Koizumi	日本原子力研究開発機構核不拡散・核セキュリティ総合支援センター	P.114

Experimental investigation on electron scale magnetic reconnection with high-power laser

Y. Kuramitsu¹, K. Sakai¹, T. Minami¹, T. Hihara¹, T. Nishimoto¹, K. Iwasaki¹, K. Himeno¹, T. Taguchi¹, Y. Sakawa², S. Egashira², M. Ota², Y. Nakagawa², Y. Matsumoto², H. Ishihara², O. Kuramoto², T. Morita³, S. Matsuo³, T. Kojima³, S. Matsukiyo³, S. Isayama³, M. Iwamoto³, T. Nagano³, M. Furukawa³, H. Luo³, R. Yamazaki⁴, S. J. Tanaka⁴, K. Sugiyama⁴, K. Aihara⁴, Y. Sato⁴, R. Shina⁴, K. Tomita⁵, T. Takezaki⁶, T. Oguchi⁶

1) Eng., Osaka University, Japan, 2) ILE, Osaka University, Japan, 3) Kyushu University, Japan, 4) Aoyama Gakuin University, Japan, 5) Hokkaido University, Japan, 6) University of Toyama, Japan.

SUMMARY

We have investigated magnetic reconnection driven by electron dynamics. In FY 2020, we used a structured target in Fig. (a) and applied a gradient magnetic field in Fig. (b). We irradiated the target with GEKKO XII HIPER laser. As shown in Fig. (c), the transverse global structures and local parameters are observed with optical imaging and collective Thomson scattering (CTS), respectively. Figure (d) shows the image of self-emission. The collimated flow due to the target structure is observed. We compared the results with and without the external magnetic field. In addition to this, we obtained two components of velocity via CTS. We have been analyzing the CTS spectra and the dynamics of both electron and ion will be revealed.

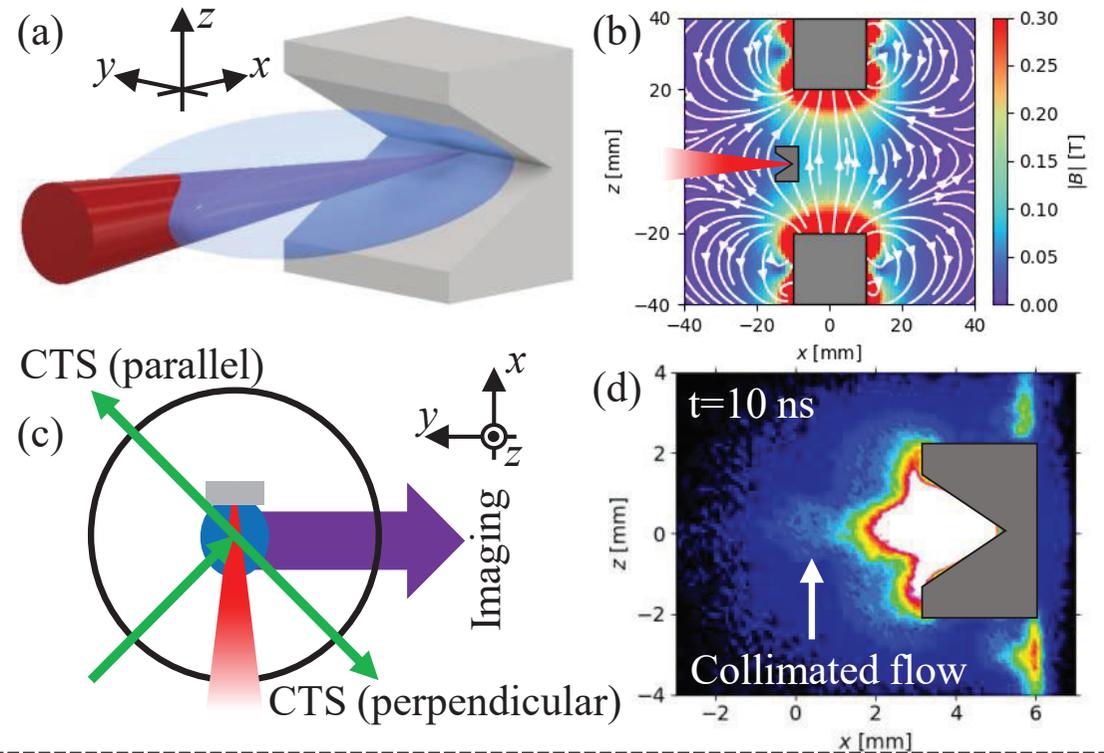


FIG. (a) Schematic image of the target. The plasma is collimated along the x axis. (b) Magnetic field configuration. The white arrow show the direction of magnetic field. (c) Experimental setup. (d) Self-emission image.

磁化プラズマ中を伝播する無衝突衝撃波の生成実験

山崎了^{1,2}, 田中周太¹, 杉山慧¹, 相原研人¹, 佐藤雄飛¹, 佐藤雄飛¹, 坂和洋一², 佐野孝好², 江頭俊輔², 太田雅人², 中川善治², 石原大樹², 倉本織羽乃², 松本雄志郎², 蔵満康浩³, 南卓海³, 境健太郎³, 檜原崇正³, 西本貴博³, 岩崎滉³, 姫野公輔³, 田口智也³, 松清修一⁴, 森田太智⁴, 長野鉄矢⁴, 古川将大⁴, Luo Haoyang⁴, 松尾涼人⁴, 児島拓仁⁴, 枝本雅史⁴, 竹崎太智⁵, 小口拓哉⁵, 富田健太郎⁶, 大西直文⁷, 梅田隆行⁸, 星野真弘⁹, 大平豊⁹, 石井彩子¹⁰
1) 青山学院大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所, 3) 大阪大学, 4) 九州大学, 5) 富山大学, 6) 北海道大学, 7) 東北大学, 8) 名古屋大学, 9) 東京大学, 10) マックスプランク重力物理学研究所

SUMMARY

超新星残骸などに存在する宇宙の低密度媒質中の磁化無衝突衝撃波の生成実験を行った。ショット前に窒素ガス 5 Torrを封入し、外部磁場をかけ、アルミ・ターゲットに激光XII号HIPERレーザーを照射した。今年度初めて外部磁場をかけたショットを複数回 (2.6 Tを7回、3.3Tを4回)行うことができた。プラズマ自発光、トムソン散乱、B-dot、粒子計測などを行い、外部磁場なしの場合や磁場強度の違いによる計測結果の違いを認め、粒子シミュレーションの結果と比較しながら、無衝突衝撃波生成の理論的解釈を行った。

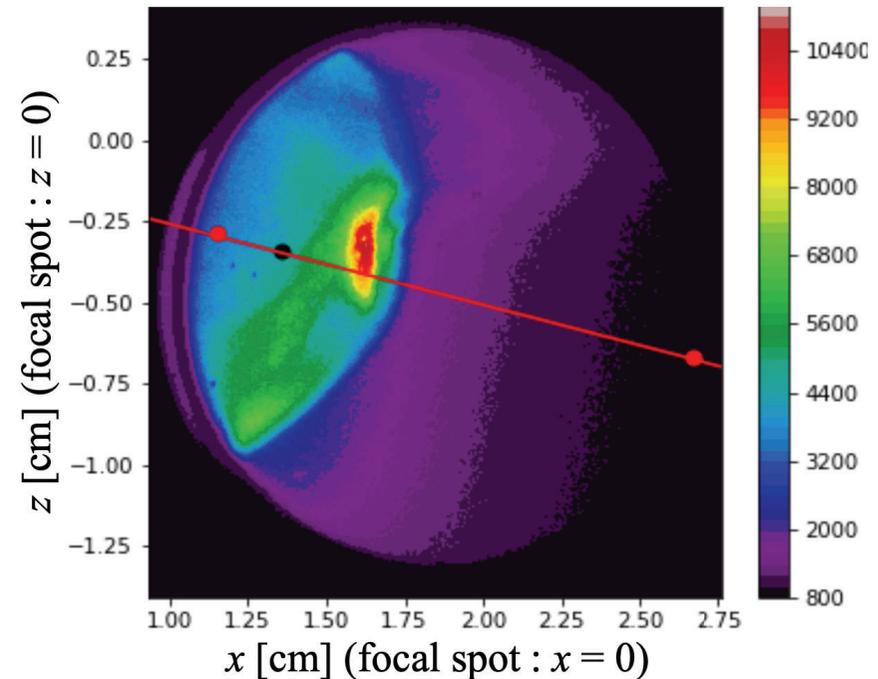


FIG. 外部磁場 3.3 T を印加したショット後40.5 nsのプラズマ自発光イメージング計測結果。黒点がチャンバー中心。HIPERレーザーのFocal spot 中心位置は $x = y = 0$ であり、ターゲットの法線を赤線で示す。

Magnetic Reconnection in self-generated magnetic fields and its dependence on a guide-field

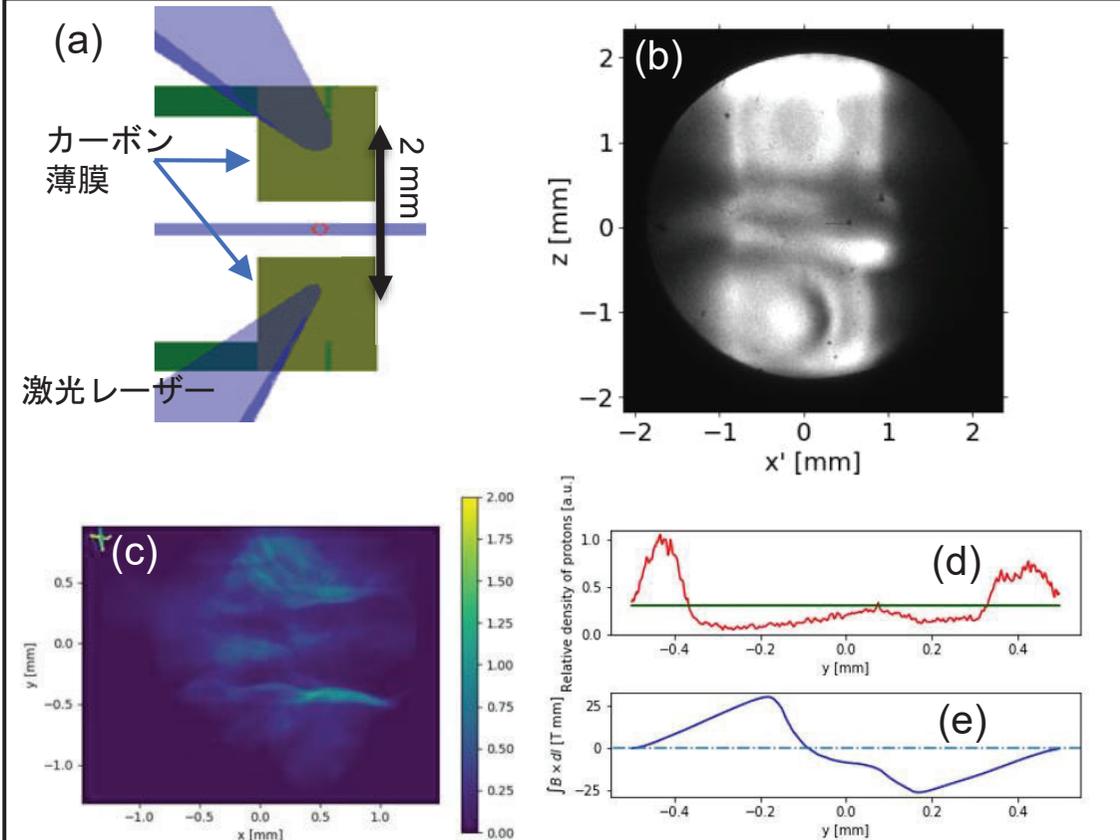
T. Morita¹, S. Matsuo¹, T. Kojima¹, S. Isayama¹, Y. Arikawa², T. Takezaki³, R. Yamazaki⁴, K. Sugiyama⁴, K. Aihara⁴,
S. Egashira², O. Kuramoto², Y. Matsumoto², K. Sakai², Y. Sakawa²

1) *Kyushu University, Japan*, 2) *Osaka University, Japan*, 3) *Toyama University, Japan*,
4) *Aoyama gakuin University, Japan*

SUMMARY

激光レーザー照射によるアブレーションプラズマによって自己生成磁場が生成され、それらの相互作用から磁気リコネクションが駆動される様子を計測した。プロトンバックライトから反平行磁場の生成と相互作用、リコネクションによる磁場構造の変化を計測し、自発光計測から密度分布の変化、レーザートムソン散乱計測から、リコネクション領域周辺加熱・加速、およびリコネクション領域に励起されるリコネクション電流強度を検証した。またリコネクション磁場に垂直なガイド磁場を印加することでリコネクション電流や磁場変化検証のためのデータを取得した。

レーザー駆動磁気リコネクション実験において、磁場の構造変化と同時に、プラズマパラメータの変化からバルクプラズマの加熱と加速を直接検出した例はこれまでの先行研究でも例がなく、本実験データを詳細に検証することで、レーザー生成プラズマ中に駆動される磁気リコネクションのエネルギー変換過程やリコネクション率など、詳細な検証が可能と考えられる。



(a) 平板2枚に激光レーザー2ビームを集光し、アブレーションプラズマを生成する。(b) $t=12$ nsにおけるプラズマ自発光計測結果。スポット間にプラズマの衝突が観測される。プロトンバックライト計測($t=3$ ns)で得られた(c) 2次元と(d) 1次元の強度分布を示す。この強度分布を解析することで、自己生成磁場が中間面で反平行磁場を形成していることがわかる(e)。

Experimental Study of Shock Reformation using a High Power Laser

S. Matsukiyo¹, T. Morita¹, S. Isayama¹, M. Iwamoto¹, T. Takezaki², Y. Kuramitsu³, R. Yamazaki⁴, S. J. Tanaka⁴, K. Tomita⁵, T. Sano⁶, T. Nagano¹, S. Furukawa¹, H. Luo¹, S. Matsuo¹, T. Kojima¹, M. Edamoto¹, T. Oguchi², T. Minami³, K. Sakai³, T. Hihara³, T. Nishimoto³, A. Iwasaki³, K. Himeno³, T. Tomoya³, K. Sugiyama⁴, K. Aihara⁴, Y. Sato⁴, S. Egashira⁶, M. Ohta⁶, Y. Nakagawa⁶, H. Ishihara⁶, O. Kuramoto⁶, Y. Matsumoto⁶, N. Ozaki³, Y. Sakawa⁶

1) *Kyushu University, Japan*, 2) *University of Toyama, Japan*, 3) *Osaka University*, 4) *Aoyama Gakuin University*,
5) *Hokkaido University*, 6) *Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan*

SUMMARY

The self-reformation of a collisionless shock is believed to be responsible for an energy dissipation including wave generation as well as particle acceleration at a collisionless shock. A high power laser experiment was conducted to empirically demonstrate the shock reformation. An ambient magnetic field is necessary to be applied in wide region of space to magnetize the surrounding gas plasma in which a forward and a reverse magnetized shock pair is created through the laser-target-gas interactions. The maximum ambient magnetic field of 4-5.4T was successfully applied by using a Helmholtz coil (FIG.A and FIG.B). The physical parameters of the created shock were measured by streaked self-emission optical pyrometer (SOP: FIG.C), self-emission gated optical image intensifier, Thomson scattering measurement, and B-dot coil.

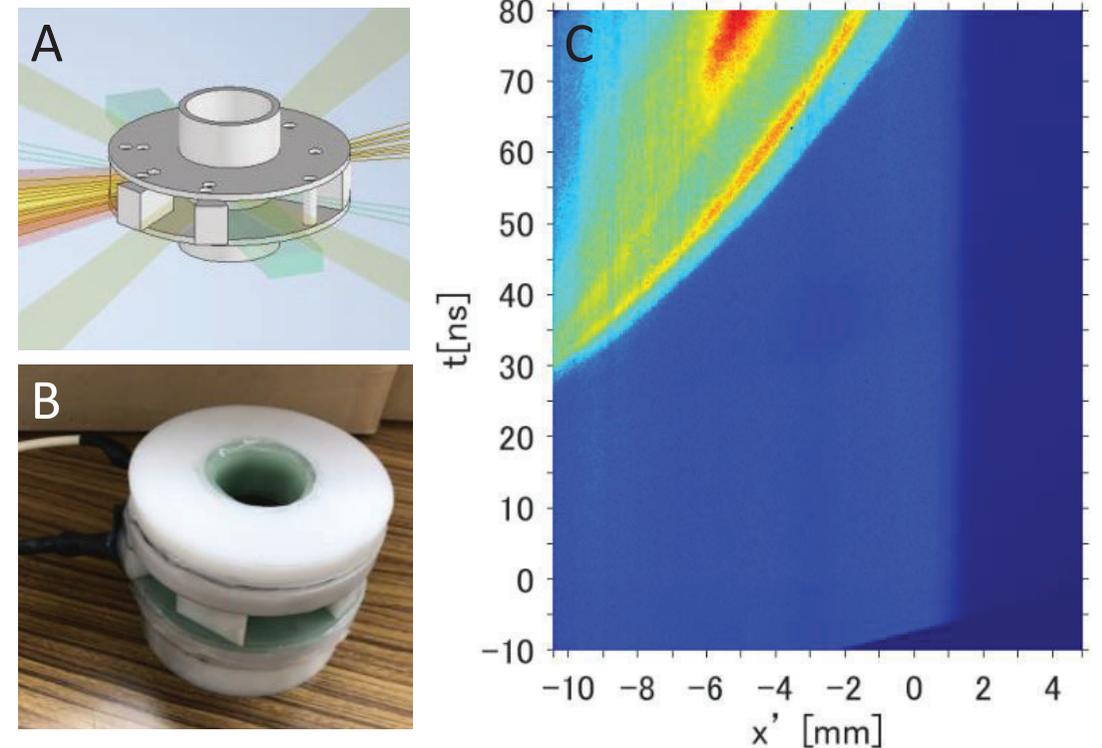


FIG. A) The holder of magnetic coil and a number of light paths. B) Photo of the magnetic coil system after electric insulating treatment. C) Measured self-emission intensity obtained from the SOP measurement.

高分解能X線シャドウグラフィ法を用いた強磁場による 界面流体不安定性の抑制条件の実験的検証

佐野 孝好, 郭 署旺, 朱 保君, 松尾 一輝, 嶽村 真緒, 敦 近原, 王 雨波, 藤岡 慎介
大阪大学レーザー科学研究所 Institute of Laser Engineering, Osaka University

SUMMARY

本研究の目的は、理論・数値シミュレーションで示されている界面不安定性の外部磁場による抑制の条件を実験的に検証することである。

外部から磁場を印加した状態で、波長 $100\mu\text{m}$ の正弦波形状の擾乱を片面に刻印したプラスチックターゲットに激光XII号レーザーを照射し、界面不安定性を生じさせた。磁場の発生にはキャパシター・コイルターゲットを用いた。プラズマを側面からX線でバックライトすることで、レーザー照射から5 ns後までの擾乱形状を観測した。X線の発生には、激光XII号レーザー又はLFEXレーザーを用い、高空間分解能で撮像するのに、位相型フレネルゾーンプレート(FPZP)を使用した。

時間が経過するに従って、擾乱の振幅が大きくなり、及び磁場の有無による擾乱形状の変化を捉えることに成功した。

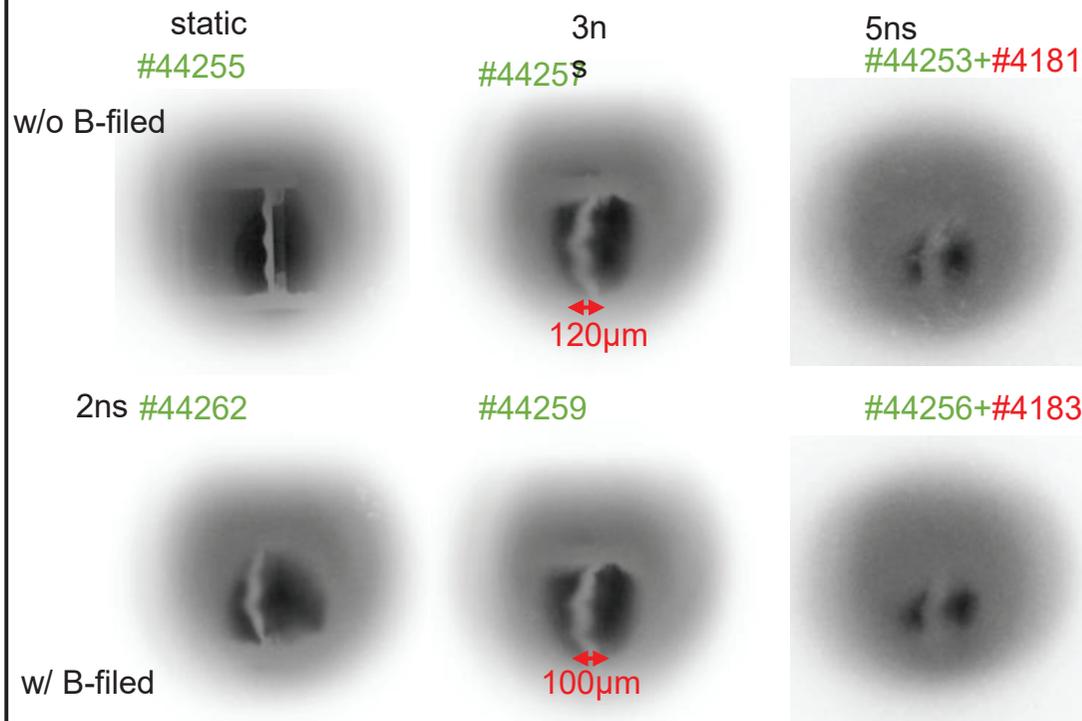


図 激光XII号レーザー及びLFEXレーザーで発生させたX線をバックライトとして用い、位相型フレネルゾーンプレートで結像した、0 ns、2ns、3ns、5ns後の擾乱形状。

Collisionless shock ion acceleration using LFEX

Y. Sakawa¹, H. Ishihara², O. Kuramoto², M. Ohta², S. Egashira², Y. Matsumoto², T. Pikuz³, T. Minami⁴, K. Sakai⁴, T. Nishimoto⁴, T. Taguchi⁴, K. Iwasaki⁴, M. Fukuda⁴, M. Yamamoto⁴, H. Tomita⁴, Y. Kuramitsu⁴, A. Morace¹, Y. Abe¹, Y. Arikawa¹, S. Fujioka¹, T. Sano¹, T. Morita⁵, S. Kanasaki⁶, T. Asai⁶, Y. Fukuda⁷

1) *Institute of Laser Engineering, Osaka University*, 2) *Graduate School of Science, Osaka University*,

3) *Institute for Open and Transdisciplinary Research Initiatives, Osaka University*,

4) *Graduate School of Engineering, Osaka University*, 5) *Kyushu University*, 6) *Kobe University*,

7) *Kansai Photon Science Institute, National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology*

SUMMARY

Collisionless shocks are ubiquitous in the universe and believed to be sources of cosmic-rays. High-intensity laser experiments are conducted to understand elementary physics of particle acceleration by an electrostatic collisionless shock. A near-critical density plasma is generated by irradiating one of the Gekko XII laser beams (1.3 ns, $I_L < 3 \times 10^{11}$ W/cm²) on a rear-side of 1- μ m thick C₈H₇Cl foil. After 2.5 ns delay, three beams of LFEX laser (1.5 ps, $I_L < 5.8 \times 10^{18}$ W/cm²) drives an electrostatic collisionless shock. The shock potential reflects the upstream ions and acceleration occurs. The accelerated ions and electrons are detected by Thomson parabola and electron spectrometer (ESM), respectively. The shock potential is measured by a proton back-lighter (PBL) method. Cl x-ray spectra are obtained by crystal spectrometer.

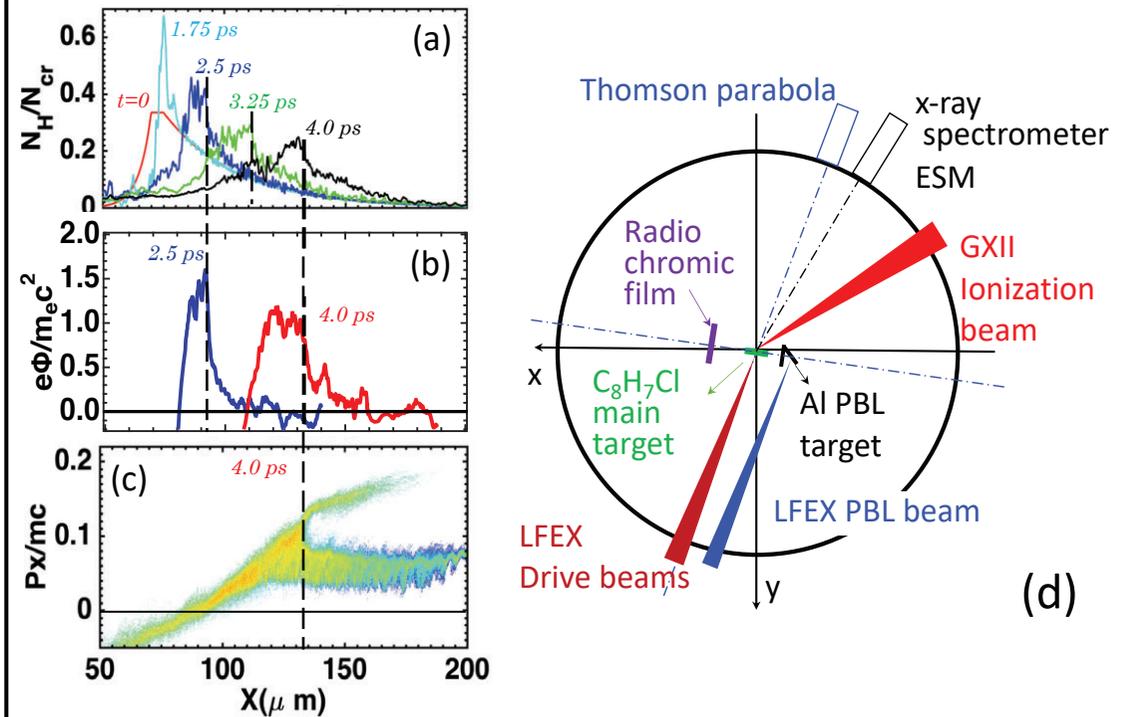


FIG. (a-c) 2D PIC simulation of collisionless shock ion acceleration. Temporal evolution of (a) proton density, (b) electrostatic potential, and (c) proton phase-space. (d) Top view of the experimental setup.

Full Particle Simulation for Gekko XII Collisionless Shock Experiment

S. Matsukiyo¹, Y. Sakawa²

1) *Kyushu University, Japan*, 2) *Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan*

SUMMARY

With the Gekko XII experiment on magnetized collisionless shock in mind, a one-dimensional PIC (particle-in-cell) code was developed. The interaction between an ambient magnetized gas plasma and a laser ablated target plasma was simulated. In a homogeneous gas plasma magnetized with 6T ambient magnetic field a target plasma having a finite bulk velocity is injected for a finite time duration corresponding to 1.3ns which is the temporal width of the main laser pulse. A spatio-temporal evolution of electron density is shown in the left panel of FIG.1. The initial target position is at $X=0$. The target plasma gyrates back and propagate in the region of $X<0$ after $t\sim 25$ ns. After $t\sim 20$ ns, a shock is formed in the gas plasma and propagates toward positive X direction. The overshoot is recognized as a red peak which shows the signature of the self-reformation. This is also confirmed from the left panels which are the snap shots of the electron density profile taken at every 8ns after $t=20$ ns. These features are expected to be observed by the Gekko XII experiment.

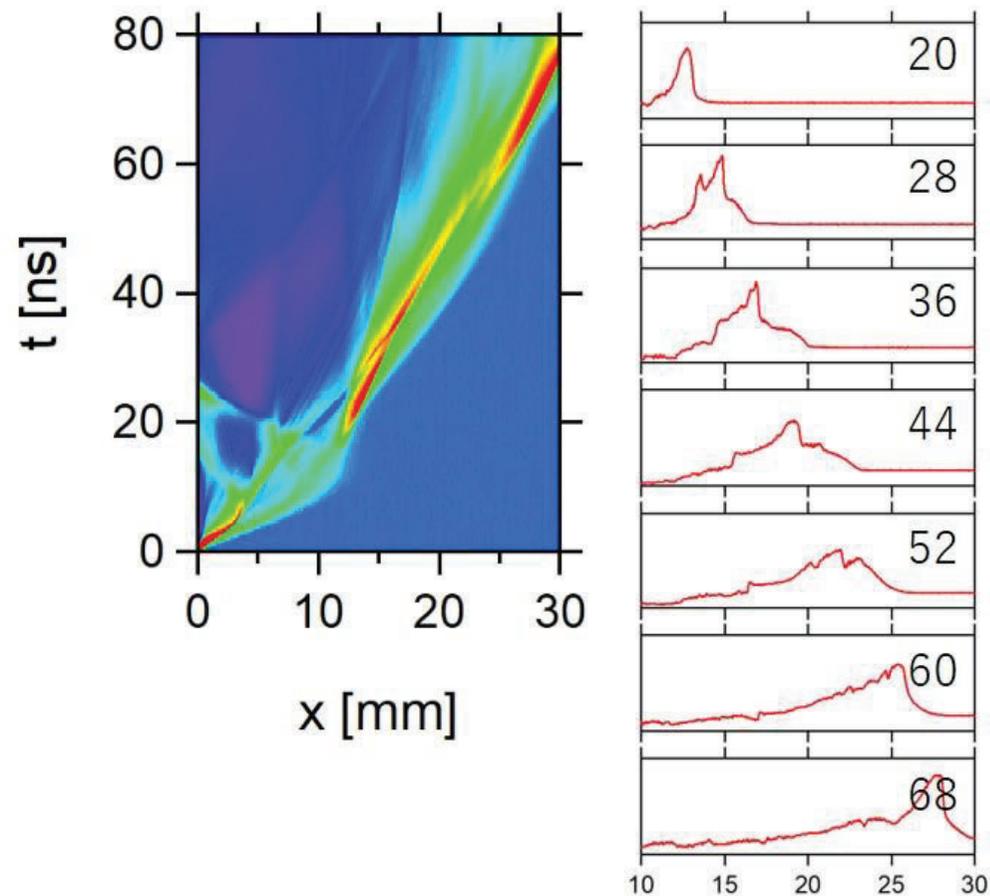


FIG.1 Left) Spatio-temporal variation of electron density. Right) Snap shots of the electron density profile taken at every 8ns after $t=20$ ns.

宇宙に存在する磁化衝撃波の実験実現に向けた準備研究

山崎了^{1,2}, 田中周太¹, 坂和洋一², 松清修一³, 森田太智³, 井上剛志⁴, 竹崎太智⁵

1) 青山学院大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所, 3) 九州大学, 4) 名古屋大学, 5) 富山大学

SUMMARY

超新星残骸などの天体には、磁化プラズマ中を伝播する衝撃波(磁化衝撃波)が普遍的に存在するが、これらの流体スケールでの振る舞いについて、中間衝撃波の安定性などの基礎的な未解明問題が残されている。激光XII号やLFEX実験によりこれらの問題に挑むべく、まずは実験デザインを詳細に検討した。衝撃波遷移層を短くし流体スケールの現象の観測を容易にするため、雰囲気ガスの封入ガス圧を大きくし平均自由行程を短くできるか検討した。しかし、ターゲット近傍で劇光12号HIPERレーザーがbreak downせずに雰囲気ガス中を進むには封入ガス圧をあまり大きくできず(窒素ガスの場合は10 Torr以下)、ガス圧を小さくすると無衝突性が大きくなり衝撃波遷移層が長くなってしまうことがわかった。

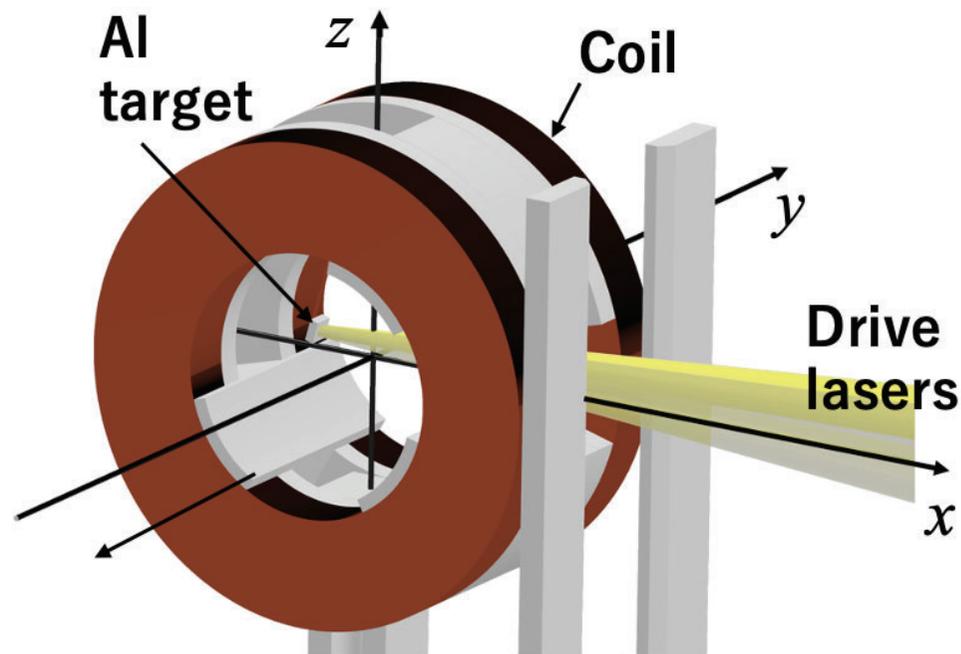


FIG. 磁化衝撃波生成のための実験デザイン。ショット前にチャンバー内に雰囲気ガスを封入し、外部磁場を印加する。するとショット後にターゲットから出る光子により雰囲気ガスが電離され、ターゲット由来のプラズマとの相互作用により、雰囲気ガス内に磁化衝撃波が生成される。

誘導コンプトン散乱のレーザー実験に向けての研究

田中周太¹, 山崎了^{1,2}, 蔵満康浩³, 福田祐仁⁴, 坂和洋一²

- 1) 青山学院大学理工学部, 2) 大阪大学レーザー科学研究所,
3) 大阪大学大学院工学研究科, 4) 関西光科学研究所

SUMMARY

本研究は「誘導コンプトン散乱(ICS)」というレーザー・プラズマ非線形相互作用の研究である。ICSの理論的研究とそれのレーザー実験での実証を目指す。右図が理論的に予想したICSの散乱光スペクトルである。本年度J-KAREN-Pレーザーを用いた実験申請が採択され、2020年12月に初めてのICS実験が行われた。データ解析中だが、現状右図のように明確な入射スペクトルの赤方偏移は見られない。ICSは近年Fast Radio Burst(FRB)という天体現象で注目される未解明のプロセスで、本研究は、FRBの起源の解明やFRBを用いた宇宙論の発展への寄与が期待される。

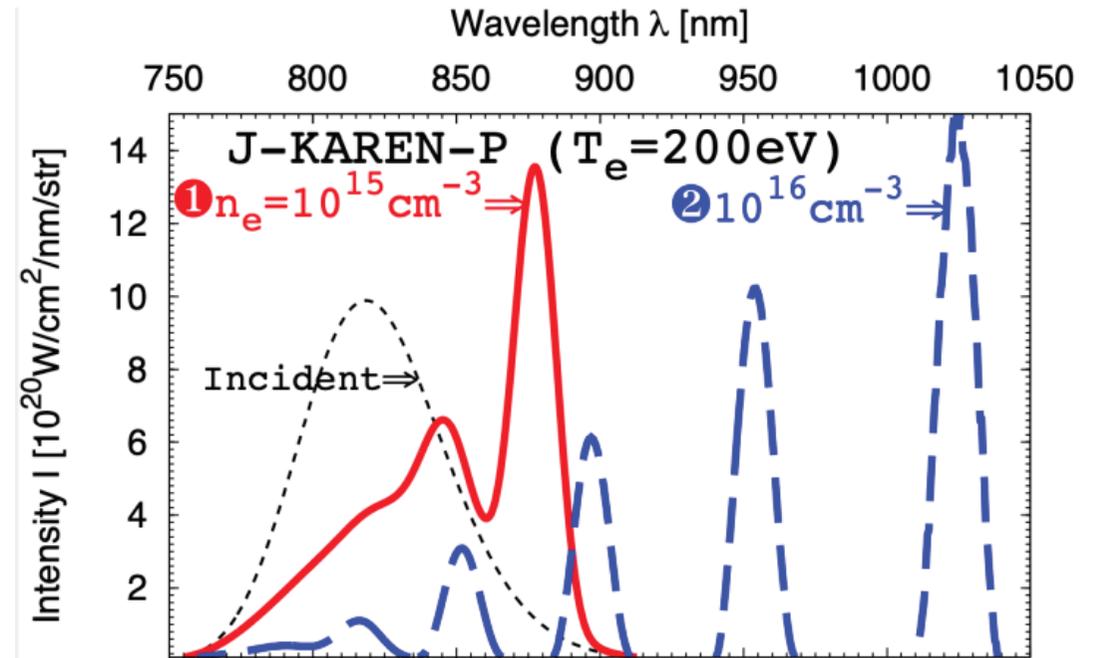


FIG. 黒点線が入射光スペクトルで、ガウス分布を仮定している。誘導コンプトン散乱は電磁波を赤方偏移させる過程であり、散乱体となる電子密度の大小で赤や青のスペクトルに変化する。特徴的な線状スペクトルを予言。

様々な状態のプラズマ中を伝搬する無衝突衝撃波のレーザー実験 に向けての研究

大平豊¹, K. F. F. Law¹, 坂和洋一²

1) 東京大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

宇宙の天体現象に伴って、無衝突衝撃波はしばしば形成される。銀河内のガスは部分電離状態であり、電荷が中性の水素原子がガスの約半分を占める。その様な部分電離プラズマ中を伝搬する無衝突衝撃波の実験や直接観測はこれまでにない。レーザー実験によって、部分電離プラズマ中の無衝突衝撃波で生じる物理現象を調べることができるか議論した。今年度は、ハイブリッドシミュレーションの結果をみて、何を観測したよいか議論した。下流から上流へ向かう水素原子の量を見積もるために、その水素原子が電離することで生じる上流のプラズマ加速を観測すると良いことがわかった。トムソン散乱計測でそれが実現可能と思われる。

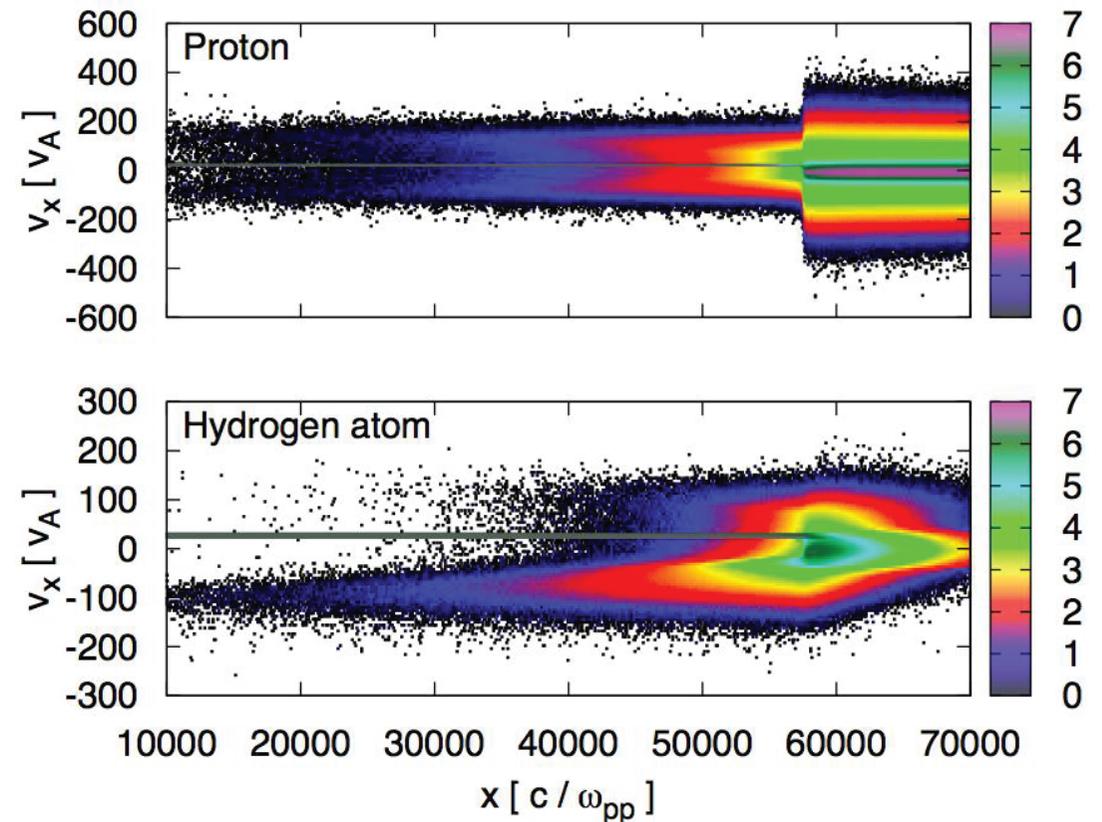


FIG. 衝撃波速度1000km/s, Alfvénマッハ数30, 電離度0.5の無衝突衝撃波のハイブリッドシミュレーションの結果. 陽子と水素原子の下流静止系の位相空間図. $x > 58000 c/\omega_{pp}$ が衝撃波上流領域. Y. Ohira, ApJ, 817, 137, (2016)

非平衡プラズマ中に発生する無衝突衝撃波を用いた陽子加速

福田祐仁¹, 坂和洋一²

1) QST関西光科学研究所, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

J-KARENレーザーによる、CHターゲットを用いた無衝突静電衝撃波による粒子加速において、プロトンに加えて炭素イオンについても準単色のイオン加速が起こっていることが確認された。プロトンと炭素イオンとで核子あたりの最大エネルギーに差があったため、これらは、別々の衝撃波によって加速されていることが示唆される。PICコードによるシミュレーションは、別々の衝撃波によって、プロトンと炭素イオンとが加速されることを支持している。

このような、2つの異なる衝撃波による、異なる種類のイオンの加速に関する報告はこれまでになく、本研究成果は、無衝突静電衝撃波による粒子加速において、新たな知見をもたらすものであると期待できる。

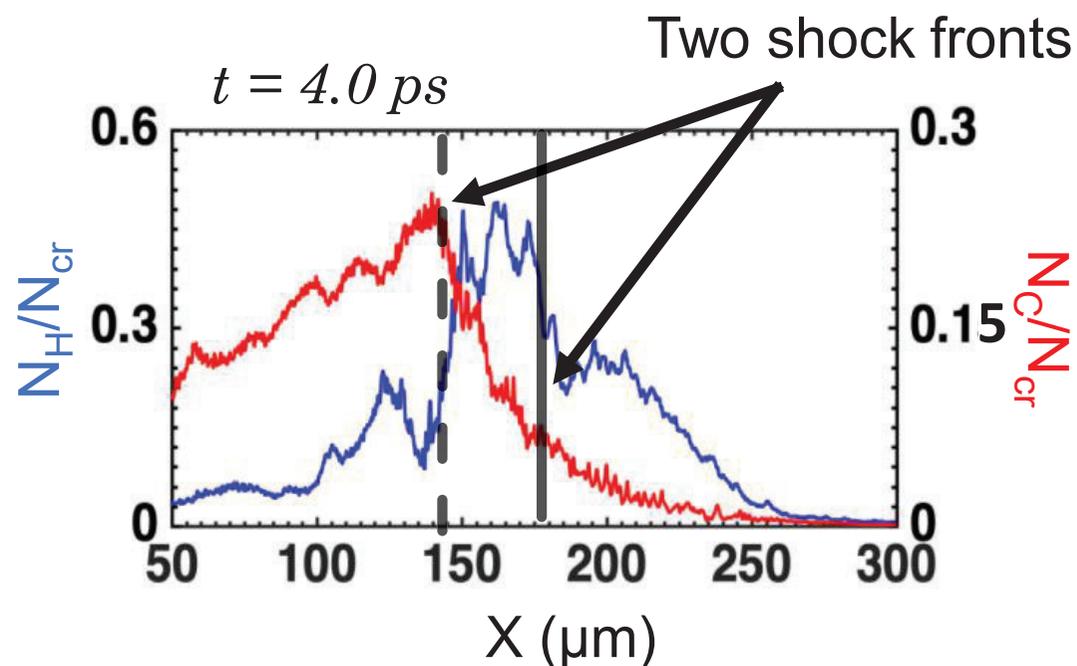


FIG. PICシミュレーションの結果。プロトンと炭素イオンとでそれぞれ異なる衝撃波が形成されて、それぞれが、プロトンと炭素イオンを加速していることが明らかとなった。

無衝突衝撃波の物理機構解明に向けた大型レーザー実験とパルスパワー放電実験との比較

竹崎太智¹, 山崎了², 松清修³, 森田太智³, 坂和洋⁴

1) 富山大学, 2) 青山学院大学, 3) 九州大学, 4) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

実験室での無衝突衝撃波の生成のため, 大型レーザー実験 (LE) やパルスパワー放電実験 (PP) が精力的に行われている。これらの実験で生成されるプラズマは速度・密度に大きな差があるが, 印加磁場強度を制御することで, 現象の比較が可能となる。激光XII号レーザーを用いた実験 (LE, Yamazaki2019) と小型パルスパワー放電実験 (PP, Takezaki2016) の比較を行った。LEとPPともにイオン平均自由行程 $\lambda_{ii} \sim 10 \text{ cm}$ だが, ラーマー半径 r_L とアルヴェンマッハ数 M_A に 10 倍程度の差がある。PP で LE の現象を再現するためには, パルスパワー放電で駆動されるプラズマ流の高速化が必要となる。

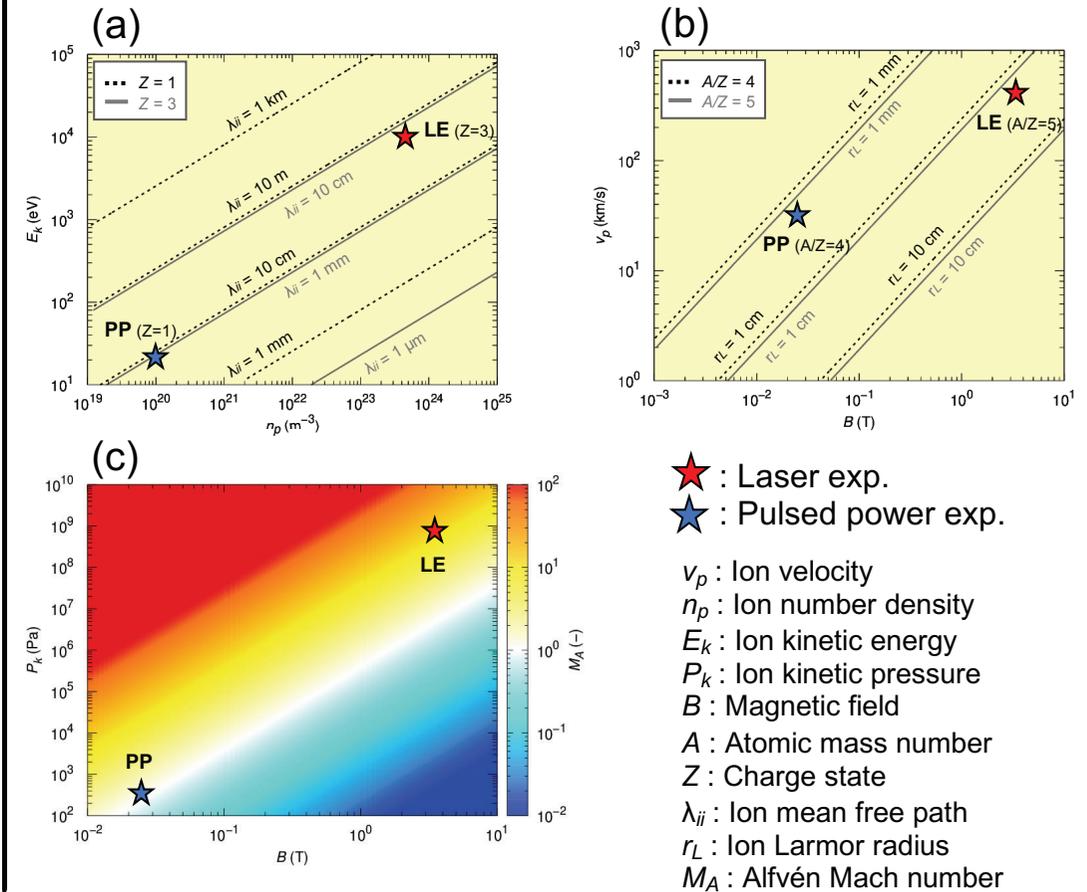


FIG. 大型レーザー実験 (Yamazaki2019) と小型パルスパワー放電実験 (Takezaki2016) の比較. (a) イオン平均自由行程, (b) ラーマー半径, (c) アルヴェンマッハ数について.

Study of turbulent wakefield acceleration in laboratory astrophysics by 2D particle-in-cell simulations

Yao-Li Liu¹, Shogo Isayama², Minami Takumi³, Sakai Kentaro³, Han-Wei Chen¹, Shih-Hung Chen¹,

Alessio Morace³, Yasuhiro Kuramitsu³

1) National Central University, Taiwan, 2) Kyushu University, Japan, 3) Osaka University, Japan

SUMMARY

Recently, wakefield acceleration has been considered as a candidate to address the accelerating mechanism of cosmic rays, where relativistic particles are nonthermally accelerated with the wakefield induced by intense light waves in the extreme astrophysical conditions. We employed 2D particle-in-cell simulations to investigate the turbulent wakefield generated by an intense laser based on the parameters of LFEX laser facility. We found that the laser is modulated to the filaments due to the near-critical density plasma resulting in the similar filament distributions of both electron and ion. Moreover, the filament distributions give the similar nonthermal distributions for both electron and ion even if the laser is relativistic to an electron but non-relativistic to a proton.

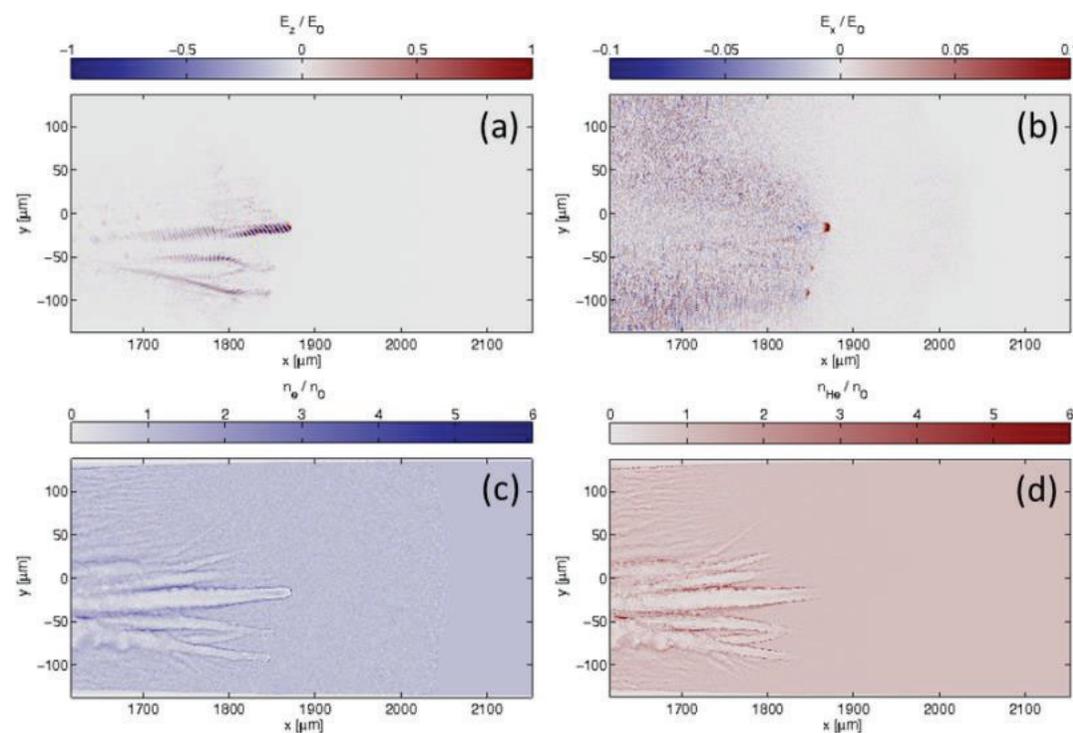


FIG. (a) The laser field; (b) the turbulent wakefield; (c) the electron density; (d) the ion density.

ナノ多結晶ダイヤモンドNPDのユゴニオ弾性限界測定

尾崎典雅^{1,2}, 片桐健登^{1,2}, 梅田悠平^{1,2,3}, 入舩徹男⁴, 上村伸樹¹, 宮西宏併⁵,
佐野孝好², 関根利守^{1,6}, 兒玉了祐^{1,2}

1) 大阪大学大学院工学研究科, 2) 大阪大学レーザー科学研究所, 3) 岡山大学惑星物質研究所, 4) 愛媛大学地球
深部ダイナミクス研究センター, 5) 理化学研究所, 6) HPSTAR上海

SUMMARY

小さな結晶を隙間なく詰め込んだ多結晶材料は、同じサイズの単結晶材料よりも強くなると言われていています。ここでは、数10ナノメートルサイズの微結晶を焼結させた、“ナノ多結晶”状態のダイヤモンド(NPD)に超高圧力を加え、その強度を調べた。激光XII号レーザーにより地球中心圧力の4倍を超える1,600万気圧を発生させ、変形していく様子を観察した。実験結果から、NPDが通常の単結晶ダイヤモンドに比べ2倍以上も高い強度を有することが明らかになるとともに、これまで調べられてきた材料の中で最高の強度であることがわかった。

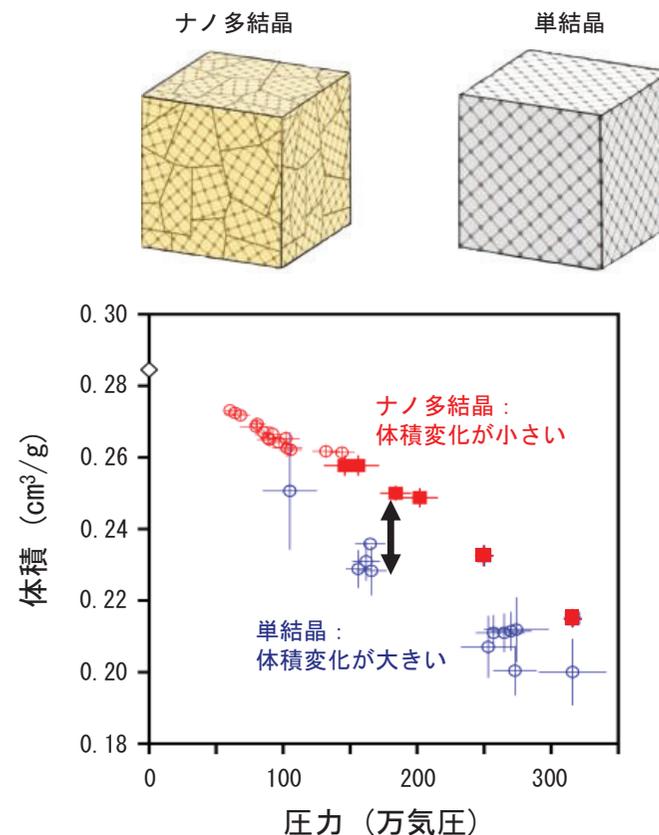


FIG. ナノ多結晶と単結晶の違い（上）と、実験で得られたナノ多結晶ダイヤモンドの圧力-体積の関係（下）。ナノ多結晶ダイヤモンドは単結晶ダイヤモンドに比べ変形しにくいことがわかる。

Exploring the shock phase transition pathway of quartz-coesite-stishovite using GEKKO XII system

Wenge Yang¹, Toshimori Sekine^{1,2}, Norimasa Ozaki², Tsubasa Tobase¹, Ho Kwang Mao¹, Kento Katagiri²,
Bihan Wang¹, Chuanlong Lin¹
1) HPSTAR, 2) Osaka University

SUMMARY

SiO₂ is one of most abundant minerals in the deep mantle of Earth and thus understanding its behavior under gigapascal pressures are important. Due to the diffusion speed and limited compression duration, so far no one has realized the phase transition quartz-coesite in SiO₂ by shock compression although both static compression and thermodynamics shows the transition sequence quartz-coesite-stishovite. In the FY 2020 campaign, we performed a series of shock-compression experiments on coesite to measure its Hugoniot at pressures from 150 GPa to 1,000 GPa, and found that the coesite should melt under shock at around 180 GPa. In the next experiments, we would like to introduce our heating stage to preheat the coesite sample, which would lead coesite to exhibit a different transition pathway to Stishovite and liquid.

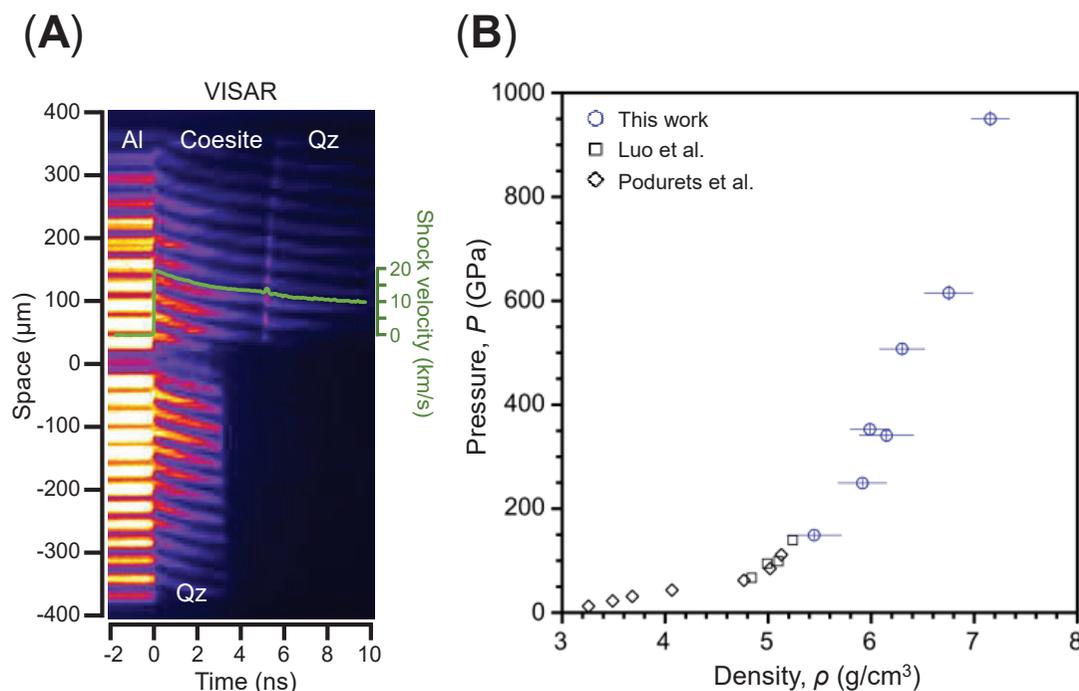


FIG. (A) Typical VISAR image recording shock wave velocity of Coesite. (B) The Hugoniot relationship of coesite at pressures up to 1,000 GPa obtained in this work.

Extension of Hugoniot measurements for single crystals of synthetic denser polymorphs of Mg_2SiO_4

T. Okuchi¹, Y. Umeda², N. Ozaki^{3,4}, N. Purevjav⁵, T. Sano³, T. Sekine⁶, R. Kodama^{3,4}

1) Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science, Kyoto University, Kumatori, Osaka, Japan,

2) Institute for Planetary Materials, Okayama University, Misasa, Tottori, Japan, 3) Graduate School of Engineering, Osaka University, Suita, Osaka, Japan,

4) Institute of Laser Engineering, Osaka University, Suita, Osaka, Japan, 5) University of Bayreuth, Germany,

6) Center for High Pressure Science & Technology Advanced Research, China

SUMMARY

Dense Hydrous Magnesium Silicate Phase E (DHMS: $Mg_6Si_3H_{12}O_{18}$) and antigorite ($Mg_6Si_4H_8O_{18}$) were shock-compressed using GEKKO-XII laser system for obtaining their equation-of-state datasets (principal Hugoniot; Fig. 1). For the former species synthesized at high pressure and temperature conditions, two shots were conducted in a preliminary manner to optimize the related technical parameters such as crystal synthesis procedures and measurement conditions. On the other hand, for the latter species prepared from natural mineral samples, we successfully acquired the Hugoniot datasets at 300 to 1000 GPa pressure range, which is much higher than those obtained before. Thus the pressure scaling up to 1000 GPa has been achieved (Fig. 2). Furthermore, it has been suggested that there is a rapid density change at 150 to 440 GPa pressure range. In the future, we will conduct more experiments under finely controlled laser conditions to acquire the Hugoniot datasets in the pressure region where the rapid density change of antigorite was observed.

Fig. 1



$Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$ 277.06
アンチゴライト (京都府宮津市産)
密度 2.62 空隙なし
屈折率 1.55~1.56
Uehara and Shirozu (1985)

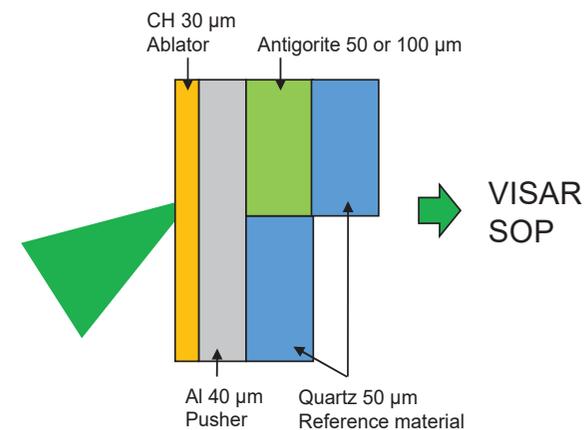


Fig. 2

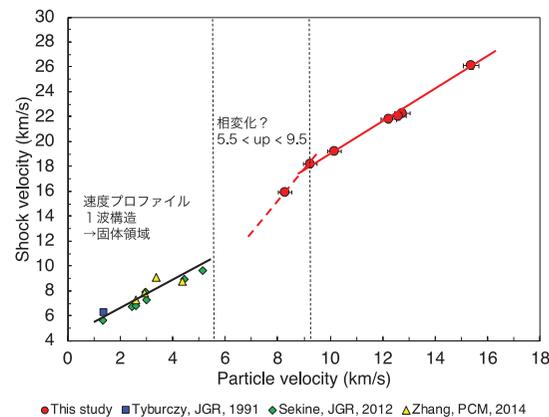


Fig. 3

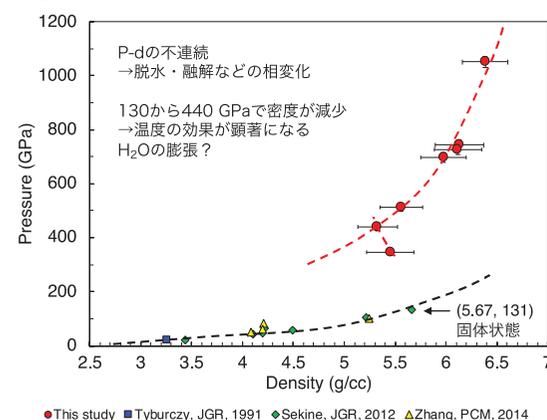


Fig. 1 The antigorite sample and the experimental setup

Fig. 2 The relation between particle velocity and shock velocity of antigorite

Fig. 3 The relation between density and pressure of antigorite

極超高速衝突シミュレーション実験による固体微粒子捕集機構の基礎開発

矢野創¹, 長友英夫², 弘中陽一郎², 佐野孝好², 田端誠³, 平井隆之⁴

1) 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, 2) 大阪大学レーザー科学研究所, 3) 千葉大学, 4) 千葉工業大学

SUMMARY

地球外生命の探索に直結する海洋天体プリュームのサンプルリターンの実現を目指し、(1) 10ミクロンオーダー直径の微粒子を10km/s以上の速度で標的へ単発で衝突させる実験設備の構築と、(2) 衝突微粒子の変成、破壊を最小限に抑えつつ、回収後に物質情報を得られる試料採取機構の基礎開発を行う。

初年度である今期は、まず二次元輻射流体シミュレーションコードを用いて、レーザー照射加速による固体微粒子の物理素過程と定性的な加速メカニズムを確認した。またガラスに金蒸着した微粒子射出部を試作し、真空小型レーザーによる直径約70ミクロンの球形有機物飛翔体の予備射出試験を行った。標的には世界最低密度(0.005g/cc)のエアロゲルを用いた。さらに衝突電離物質の物理吸着に基づく新たな試料採取方法についても、特許申請を開始した。

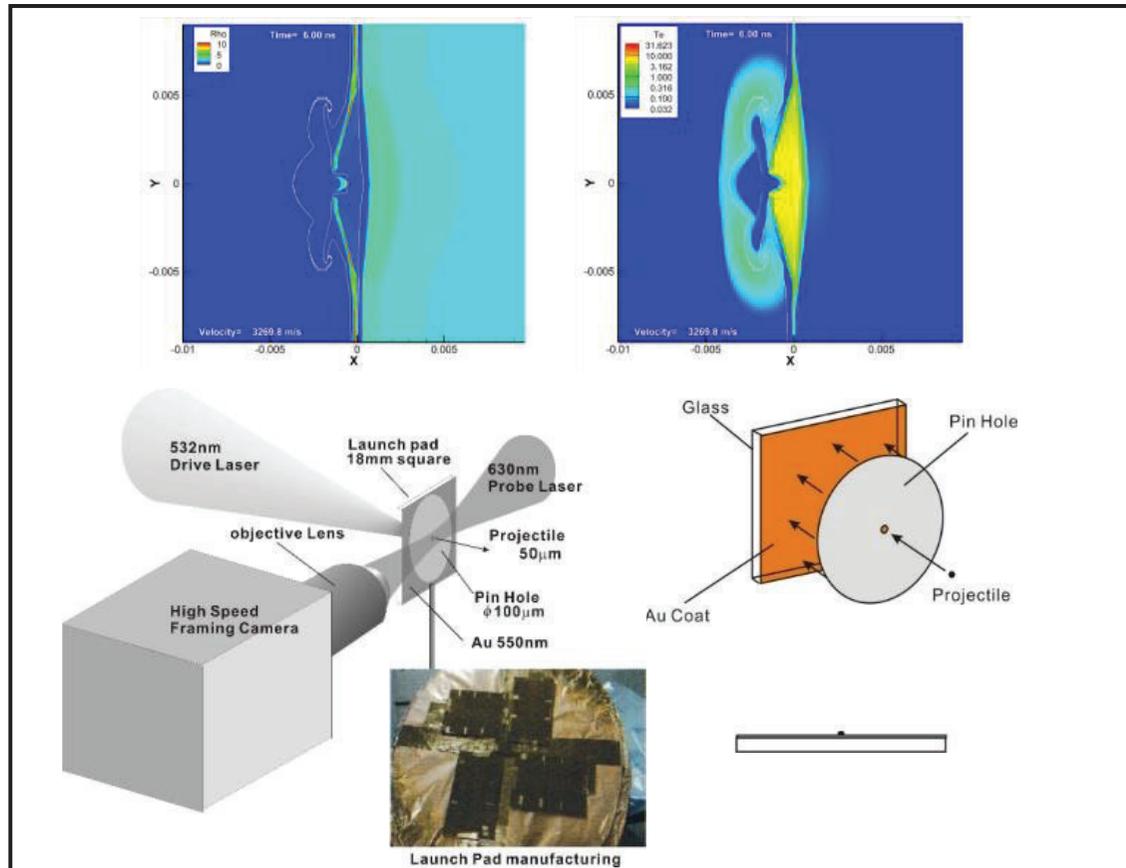


FIG. (上) 流体シミュレーションによるレーザー加速中の電子温度分布 (左) と密度分布 (右) の検討例。

(下) 微粒子レーザー加速衝突実験機構の概念図と微粒子射出部の製作。

キロテスラ級抵抗性自己生成磁場による電子ビーム制御法の確立

城崎知至^{1,2}, 嶽村真緒², 森田大樹², 吉武佳菜¹, 安部勇輝², 瀧澤龍之介², Shuwang Guo², Jinyuan Dun², Baojun Zhu², Chang Liu², 千徳靖彦², 藤岡慎介²

1) 広島大学大学院先進理工系科学研究科, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

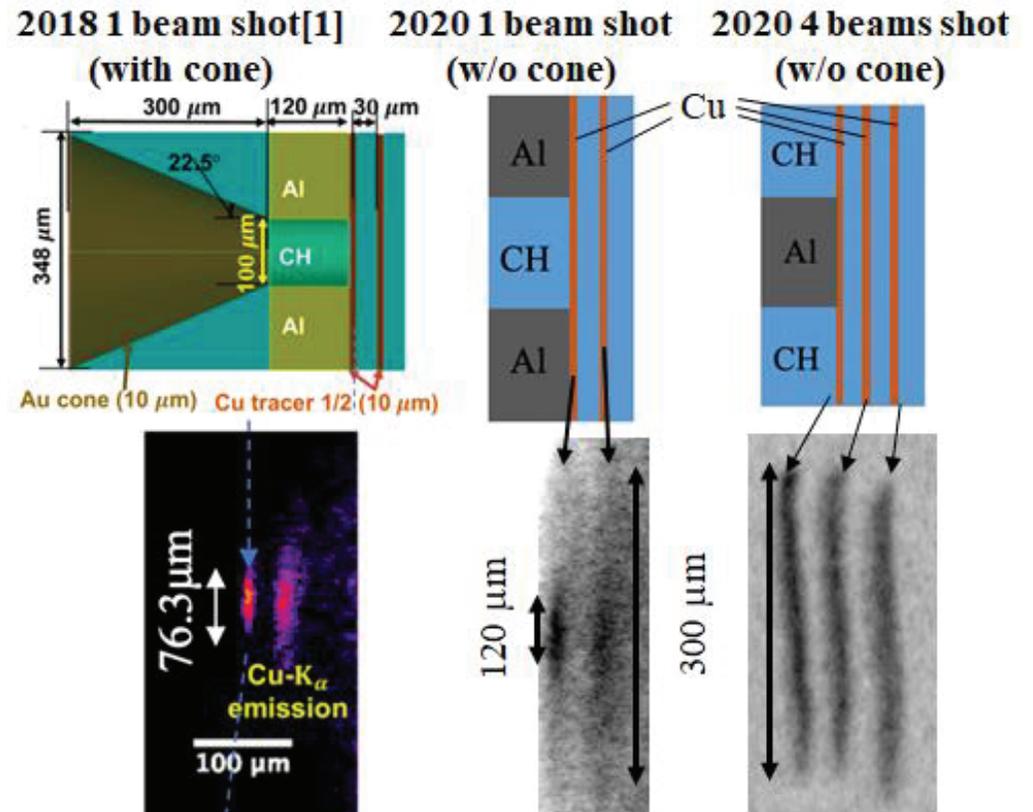
SUMMARY

目的: 高発散角を有するレーザー加速電子ビームの高効率利用のために、物質間に形成される抵抗性自己生成磁場を利用して高速電子を閉じ込め及び集束させる電子ビーム制御法の確立を目的とする。

本年度の結果: LFEX 1ビームを用いた既往研究[1]では、常温で抵抗率が高いCHをガイド材とし、導電体であるAl内に埋め込んだ場合に高速電子閉じ込め効果が示された。本年度は、LFEX 4ビームを用いた高強度・高エネルギーショットによる実験を行った。この場合、物質加熱が進み、高温プラズマでの抵抗率が現象を支配し、高ZのAlをガイド材、低ZのCHを周辺材とした場合に閉じ込め効果が期待された。しかし、4ビーム重畳効果による高発散角化により生成磁場が弱く、また生成電子の高エネルギー化により閉じ込め効果が見られなかった。

今後の方針: プラズマミラーを用いた高コントラスト化やパルス長伸長、閉じ込め磁場生成に適したガイド材形状設計を行い、高強度マルチビームショットでのガイディング効果実証を目指す。

[1] H. Li et al., High Energy Density Phys. **36**, 100773 (2020).



抵抗性磁場によるレーザー加速電子ビーム制御法実証実験結果. 2018年[1]並びに本年度のLFEX 1ビームショットでは常温で高抵抗率のCHをガイド材として常温で低抵抗率のAlに挿入したターゲットにおいてガイド効果(ターゲット裏面に挿入したCuからのKα光の発光分布により測定)が実証された。一方、LFEX4ビームショットでは、重畳照射効果による高発散角化、高エネルギー化のため閉じ込め効果が観測されなかった。

Laser-driven three-dimensional magnetic reconnection by converging magnetized plasma

K.F.F. Law¹, J. Dun², Y. Abe², A. Morace², Y. Arikawa², M. Takemura², S. Guo², T. Ozaki³, B. Zhu², Ph. Korneev⁴, J.J. Santos⁵, S. Fujioka², Y. Ohira¹, and M. Hoshino¹

1) University of Tokyo, Japan, 2) Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan, 3) National Institute for Fusion Science, Japan, 4) National Research Nuclear University MEPhI, Russia, 5) CELIA, France

SUMMARY

Magnetic reconnection, the process of magnetic field geometry rearrangement that result in energy conversion to ions and electrons in plasma, was studied by LFEX laser. A pair of magnetized plasma are produced by inner-surface irradiation of LFEX laser on a micro-coil target, providing the magnetic reconnection geometry.

In this experiment, the reconnection magnetic field is measured as 3 kT (preliminary value), by probing proton beam generated by one of the LFEX beam. Also, the magnetic reconnection case and magnetic field generation without reconnection case are compared directly. Electron spectra along the magnetic reconnection outflow direction were measured, while a significant energization was observed, as shown in the figure.

The observation of particle energization by magnetic reconnection in laboratory provide

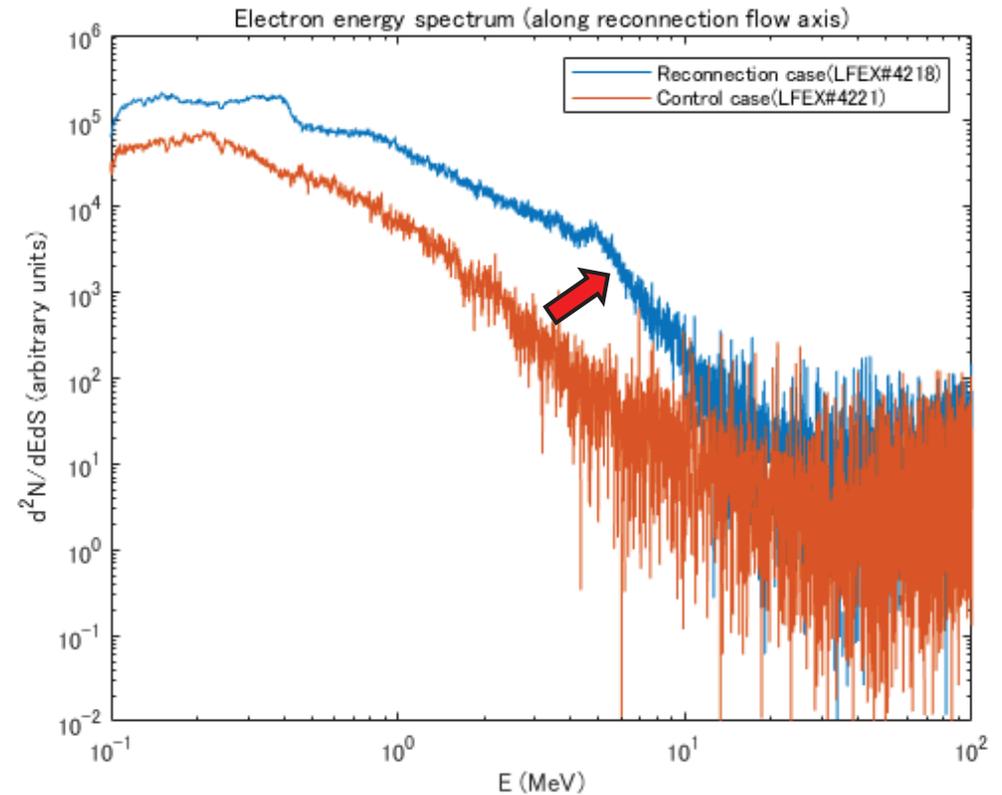


FIG. The plot of electron energy spectra in magnetic reconnection case and control case without magnetic reconnection, at direction of expected magnetic reconnection flow. A significant energization is observed.

高強度レーザーとマイクロコイルによるキロテスラ磁場の生成と制御

安部 勇輝¹, K.F.F. Law², Ph. Korneev³, J. J. Santos⁴, M. Ehret⁴,

I. Kochetkov³, N. Bukharskiy³, 藤岡 慎介¹

1) 大阪大学レーザー科学研究所, 2) 東京大学, 3) NRNU MEPhI, Russian Federation, 4) CELIA, France

SUMMARY

キロテスラ磁場がレーザープラズマ科学の新たな実験道具となりつつあり, その強度や配向の制御技術の構築が求められている. 本研究チームはこれまでに, 高出力レーザーとミクロンサイズのコイルを用いて前人未到の10 kTを超える磁場生成法を考案し, その原理実証を行ってきた[1-3]. 光駆動磁場の制御において最も重要な技術は微小コイルの製造技術である. 本研究を通して精密3Dプリントや螺旋形状のバクテリアを利用したコイルの製造法が確立され, 直径数十~数百ミクロンのソレノイドを含む様々な微細構造の造形が可能になった. LFEXを用いた実験では, 光駆動微小ソレノイドによる磁場の強度分布が初めて得られたほか, 球殻内面へのレーザー照射によってトロイダル状の強磁場を生成できることが見出された. トロイダル磁場の生成は光駆動磁場における新たな発見であり, レーザー核融合プラズマの「トカマク様磁気閉じ込め」といった新展開が期待される. [1] Y. Abe *et al.*, JETP (2018), [2] K. Law, Y. Abe *et al.*, PRE (2020), [3] M. Ehret, Y. Abe *et al.*, submitted to PRE

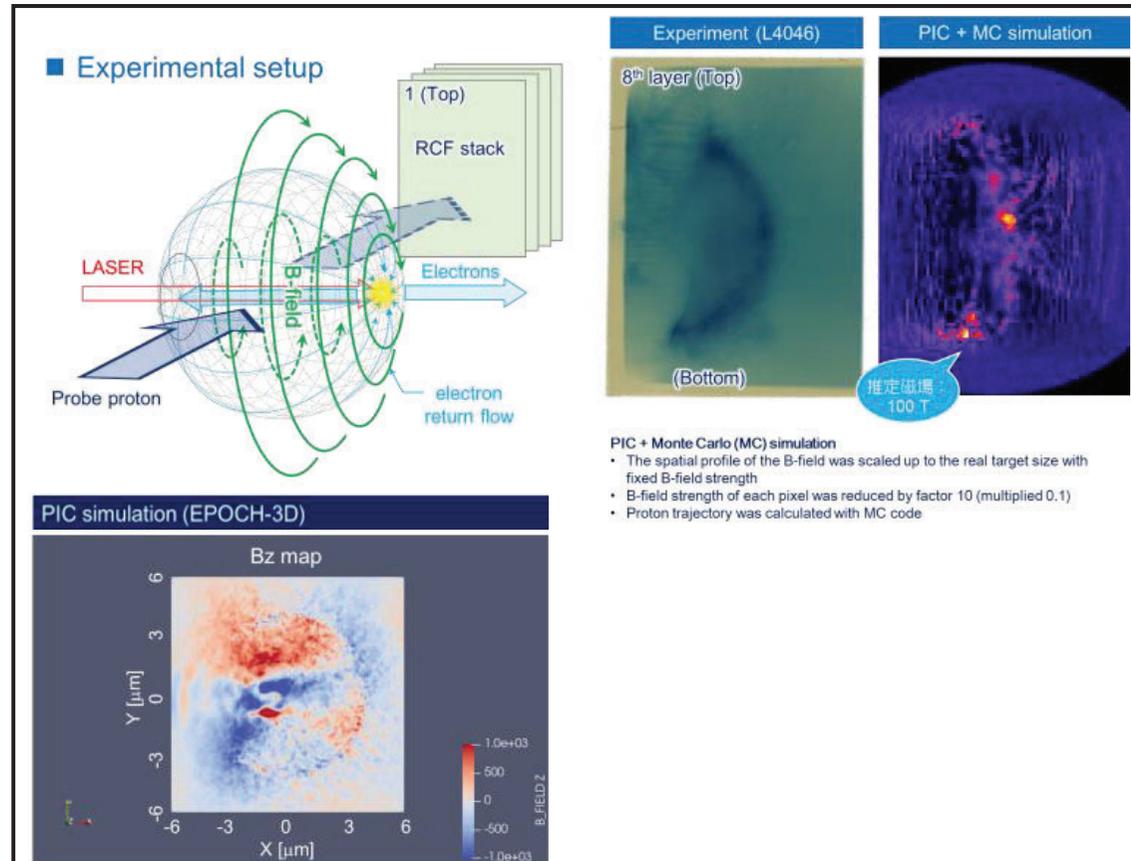


FIG. 球殻を用いたトロイダル磁場の生成. レーザー照射に伴う複雑な電子流の生成により, 強力なトロイダル磁場が生成する (左下). 実験では陽子ビームの偏向分布 (右上) からトロイダル磁場の生成が確認された.

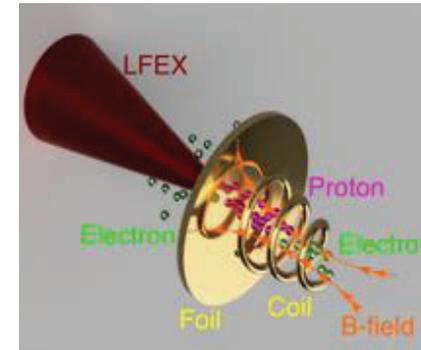
Collimated charged particles generation with accompanied magnetic field

B. Zhu¹, Y. Abe¹, Z. Zhang², M. Takemura¹, Y. Zhang², L. Cheng², X. Yuan³, S. Guo¹, Z. Lan¹, A. Morace¹, A. Nakao¹, R. Takizawa¹, C. Liu¹, H. Morita¹, A. Yogo¹, Y. Arikawa¹, M. Nakai¹, H. Shiraga¹, Y. Li², S. Fujioka¹

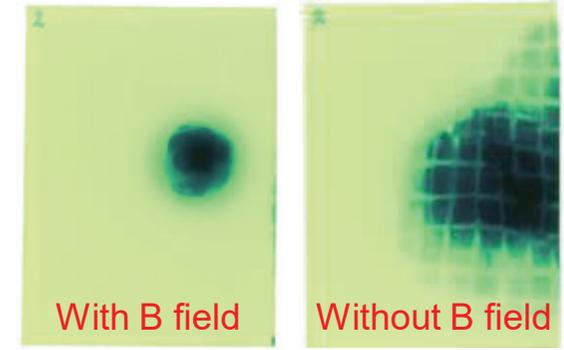
1) Institute of Laser Engine, Osaka University, Japan, 2) Institute of Physics, CAS, 3) MoE, Shanghai Jiao Tong Univ., 4) NIFS

SUMMARY

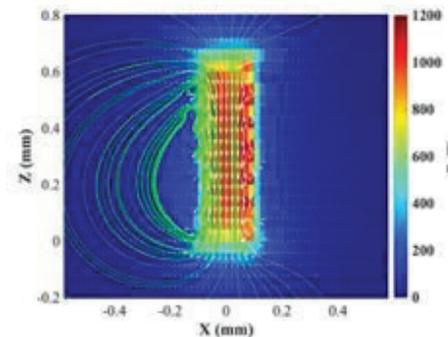
We proposed a novel idea to produce a collimated charged particle beam with a pulsed-magnetic field generated by relativistic picosecond lasers. Compared with the magnetic fields generated by nanosecond lasers due to return current, a kilo-tesla level magnetic field is generated with higher energy conversion efficiency due to hot electron flow current. The divergences of both electron and proton beams are suppressed by the simultaneously-generated strong magnetic fields. The divergence of proton beams in our experiments has been reduced by half compared with that generated with the conventional target normal sheath acceleration mechanism. These results provide some new opportunities for developing laser-driven magnetic fields and laser-driven energetic particle applications.



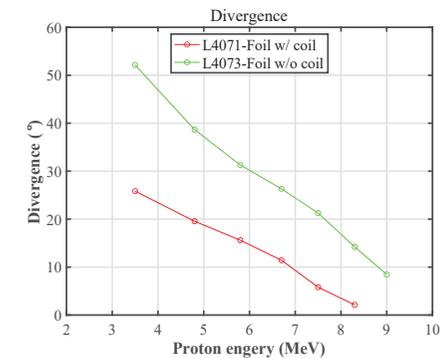
(a)



(b)



(c)



(d)

FIG. (a) The schematic of the experiments. (b) Proton pattern of 4.8 MeV on RCF. (c) The 2D B field strength distribution around the coil. 1-kT strong B field is generated with a laser energy of 334.3 J. (d) Comparison of the proton divergence with B field (red) and without B field (green).

The efficient generation of relativistic electron ion by using fundamental and second harmonics mixed LFEX beam

Y.Arikawa, K. Tsubakimoto, K. Nanjo, A. Nakao, S. Asano, A. Morace, R. Takizawa, M. Takemura, Y. Abe, H. Morita, J. Kawanaka, S. Fujioka, M. Nakai, H. Shiraga, LFEX-group, R. Kodama, ^AHu Zhanggui, (ILE, Osaka, ^ATianjin University of Technology, Institute of Functional Crystals)

SUMMARY

Second harmonics of LFEX was generated for four beams. An energy greater than 200 J of second harmonics was generated which is the highest value in this laser specification. Four pieces of 100mmx100mmx0.5mm uncoated LBO crystal was installed to LFEX system as shown in FIG1, and 1 kJ/10 ps fundamental laser was injected. A high efficient frequency conversion for a ultra high intensity laser was realized. A spatial distribution of the conversion efficiency was measured and up to 70-80% conversion at a spatial peak value was resulted. A numerical simulation showed a good agreement with the experimental results.

A wave front after the LBO crystal was not optimized in this experiment and it is needed to be improved in the next experiment so that we will realize an very efficient electron generation by a fundamental and second harmonics mixed LFEX.

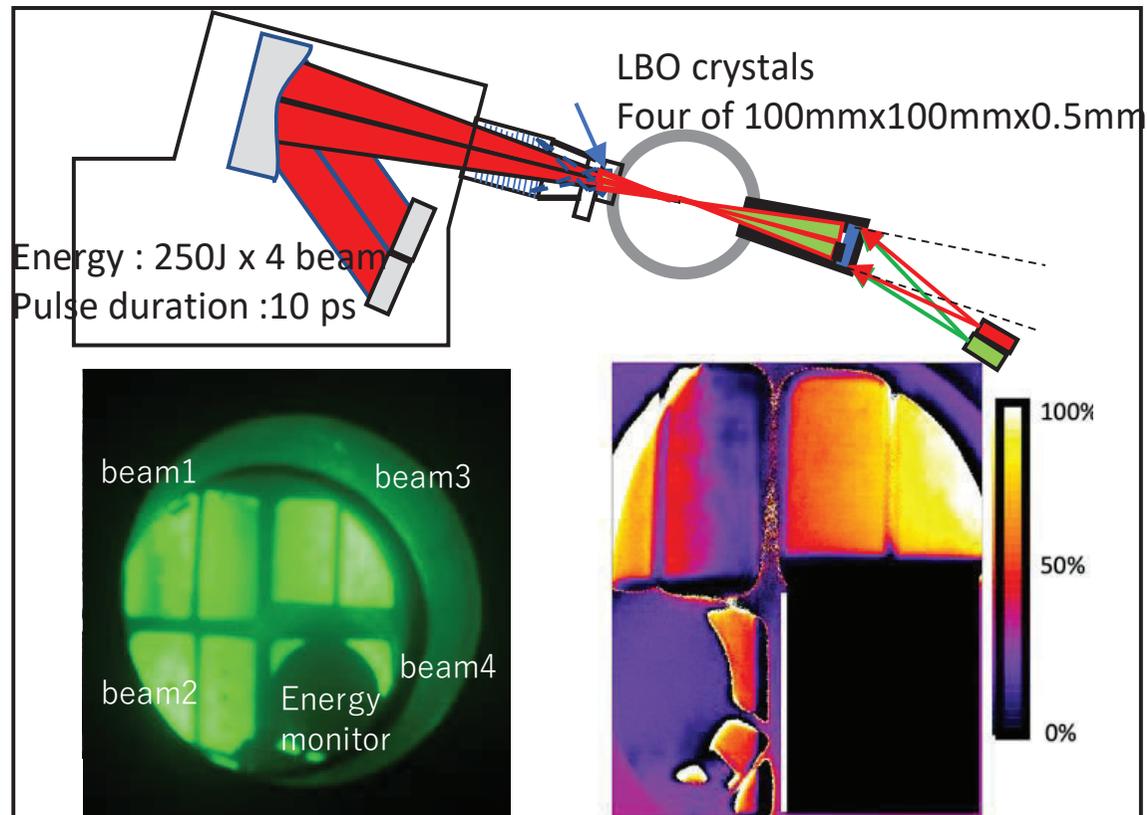


FIG1.(Top) Experimental setup. FIG2. (Left bottom) Color image of the second harmonics beam patterns for four beams. FIG3. (Right bottom) Spatial profile of the frequency conversion efficiency. Beam2 was blocked by energy monitor beam 4 was not fired in the shot.

レーザー駆動中性子源による恒星内高温中性子分布の再現

余語覚文、森隆人、藍沢塵、平松優祐、中西麻唯子、安部勇輝、有川安信、藤岡慎介、早川岳人*
小泉光生†、中井光男、三間罔興

大阪大学レーザー科学研究所、*量子科学研究開発機構 (QST)、†日本原子力研究開発機構 (JAEA)

SUMMARY

高密度の中性子環境を実現できるレーザー駆動中性子源を用いて、宇宙核時計と呼ばれる元素を実験室で生成し、太陽系形成の直前に起きた宇宙現象を解明することを目指す。第1段階として、レーザー駆動中性子のエネルギー分布を広範囲に絶対値計測できる手法の確立を目的とする。

本年度は、放射化法を用いて、これまで実施していなかった低エネルギー領域 (0.5 eV 以下) の中性子計測に成功した。実験では中性子減速材 (高密度ポリエチレン) を用いてレーザー駆動で発生する高速中性子 (MeV) を減速した後、複数種のサンプル (Hf等) に照射する。照射後のサンプルに生成した同位体量を、Ge検出器による γ 線計測から算出して中性子数を決定する。1ペアのサンプルの一方を低エネルギー中性子に対する吸収断面積の大きいCdで遮蔽することで放射化量の差分を導出し、低エネルギー成分の絶対値を計測することに成功した。

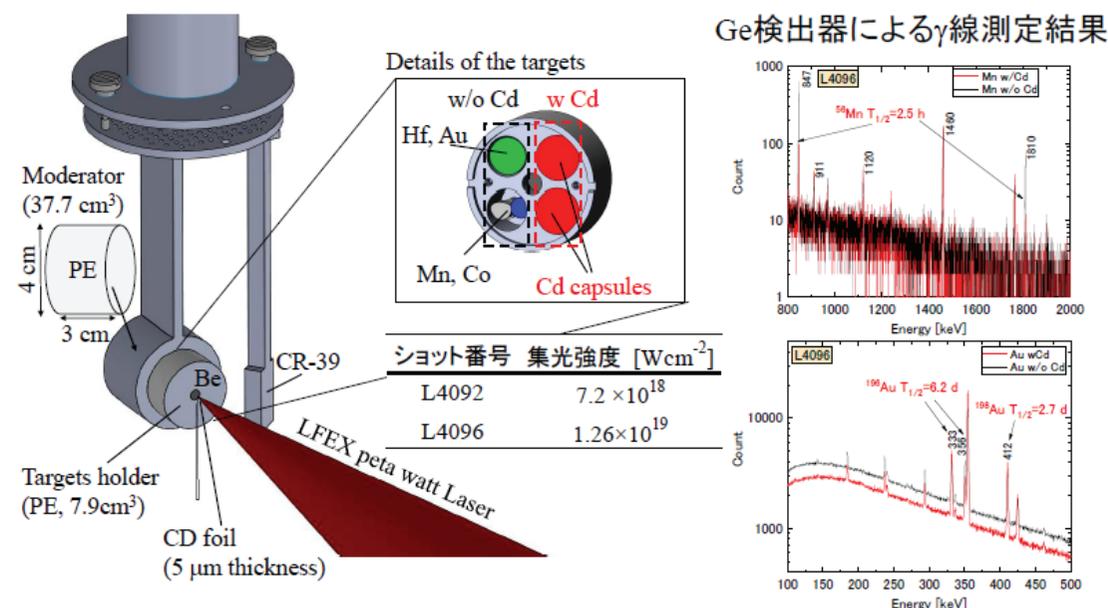


FIG. (左) 実験セットアップの概要。(右) 中性子照射後のサンプルのガンマ線計測結果。中性子を吸収した後、遅れて γ 線を放出する過程を計測することで、中性子量を算出する。

固体水素薄膜による新機構イオン加速

余語覚文、岩本晃史*、石本崇、田邊大貴、韋添允、千徳靖彦

大阪大学レーザー科学研究所

*核融合科学研究所

SUMMARY

理想的なプラズマターゲットである純粋固体水素薄膜を実験的に実現することで、大幅なイオン加速の効率化と、新しいイオン加速機構の実証を目指す。

LFEXレーザーを想定したPICシミュレーションでは200 MeV以上の陽子加速が予想された。これを実現すれば、陽子線がん治療に必要なエネルギーをレーザーのみで得られることを原理実証することになり、世界初の成果となる。将来的には、中性子を核破砕（J-PARC等の大型加速器と同じ過程）で高効率に発生することが可能になる。

今年度は、LFEX照射真空槽中において固体水素薄膜を生成することに成功した。しかしながら、水素の昇華量が予想より多く、真空度の悪化のためレーザー照射に至らなかった。レーザー照射部以外に固体水素が成長することを防ぐために樹脂材料を設置するなど、固体水素セル構造の改良を進めている。

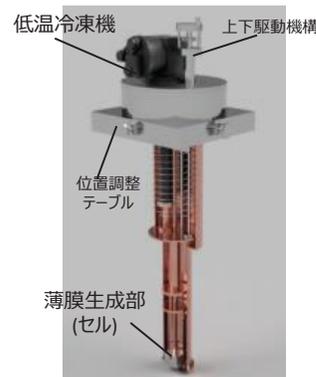
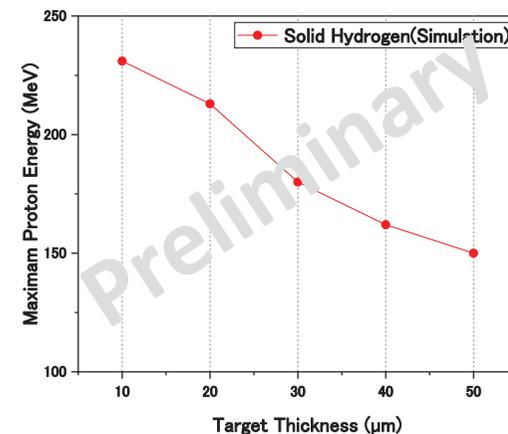
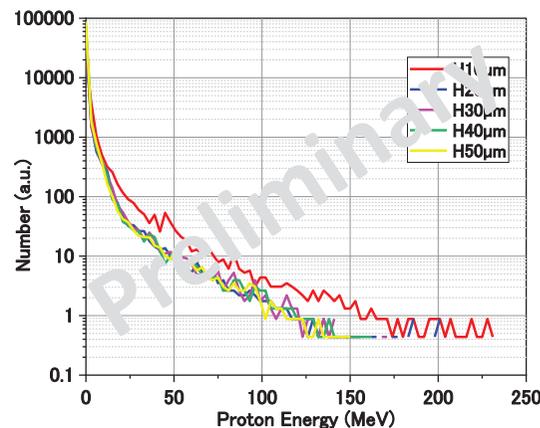


FIG. (上) 膜厚 10~50 μmの固体水素にレーザー*を照射したときに加速される陽子のエネルギースペクトル (*LFEXフルパワーを想定)。(下) 固体水素薄膜生成装置の概要と、真空中に生成した水素薄膜。

レーザープラズマX線源開発のための輻射流体シミュレーション

城崎知至^{1,2}, 長友英夫², 砂原淳^{2,3}, 難波慎一¹, 森下岳大⁴, Minsan Cho⁵, Byoung-ick Cho⁵, Hyun-Kyung Chung⁶

1) 広島大学大学院先進理工系科学研究科, 2) 大阪大学レーザー科学研究所, 3) Center for Materials Under eXtreme Environment, Purdue University, 4) 広島大学大学院工学研究科, 5) Department of physics and photon science, Gwangju Institute of Science and Technology, 6) Innovation Strategy Division, National Fusion Research Institute

SUMMARY

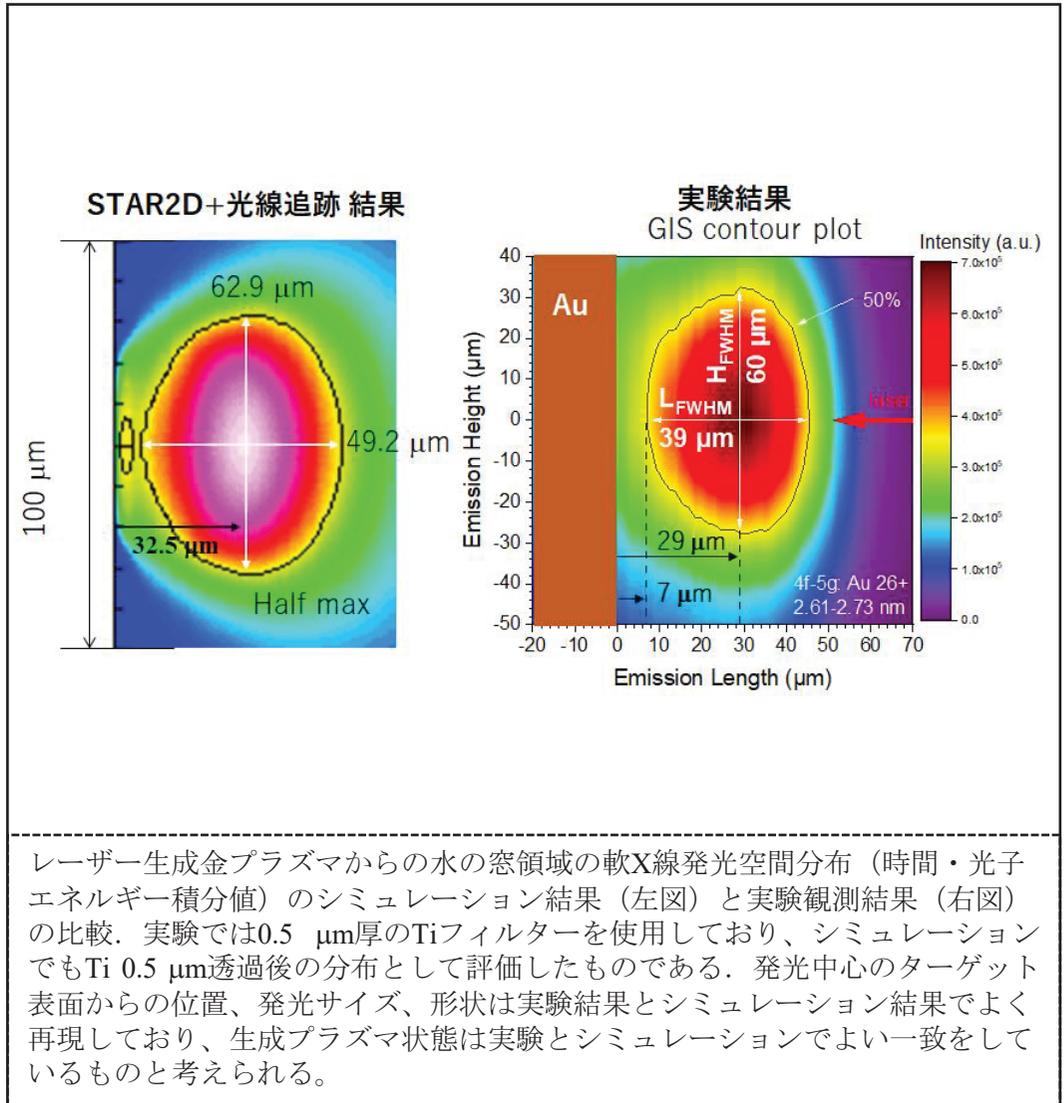
目的: 2次元輻射流体シミュレーションでレーザー生成金プラズマの時間・空間分布を求め、得られた分布を元に詳細輻射光線追跡計算を実施して水の窓領域の軟X線放出特性を評価し、実験結果との比較により妥当性評価と課題を明らかにするとともに、放出特性の解明、高効率化を目的とする。

本年度の結果: 広大で行われた金平板に市販のテーブルトップレーザー(波長 $1.064 \mu\text{m}$, エネルギー 0.63J , パルス長 5.6 ns , スポット径 $24 \mu\text{m}\phi$, ピーク強度 $1.6 \times 10^{13} \text{ W/cm}^2$)を垂直照射した実験を対象に解析を行った。2次元輻射流体コードSTAR2D^[1]でプラズマ生成シミュレーションを行い、得られたプラズマの時空間プロファイルを用いて、本共同研究で開発したポストプロセス詳細輻射光線追跡コードで輻射輸送計算を行い、放射特性の方向依存性(放射空間・時間分布・スペクトル・放射エネルギー)を評価した。放射エネルギーレーザー入射方向が最大で、ターゲット面平行方向に双方向に近づくにつれ低くなったが、放出方向依存性は小さい。この結果や、放射の時間分布・空間分布などは実験結果とほぼ一致した^[2]。しかし、レーザーから水の窓領域X線へのエネルギー変換効率は実験(約0.5%)とシミュレーション(約5%)で、一桁の差があった。

今後の方針: 変換効率の差の原因を計算・実験両面から検証する。また、詳細輻射輸送計算には異なる電離度のイオンのアバンダンス、並びにこの電離度のイオンの放射吸収特性を考慮した詳細オパシテータブルがいつ用である。これについては、韓国グループとの共同研究にて、現在作成していることであり、次年度以降、新規作成するテーブルを用いた評価を行う。

[1] A. Sunahara et al., Plasma Fusion Res. **3** (2008) 043.

[2] C. John et al., High Energy Density Phys. **37**, 100845 (2020).



レーザー生成金プラズマからの水の窓領域の軟X線発光空間分布(時間・光子エネルギー積分値)のシミュレーション結果(左図)と実験観測結果(右図)の比較。実験では $0.5 \mu\text{m}$ 厚のTiフィルターを使用しており、シミュレーションでもTi $0.5 \mu\text{m}$ 透過後の分布として評価したものである。発光中心のターゲット表面からの位置、発光サイズ、形状は実験結果とシミュレーション結果でよく再現しており、生成プラズマ状態は実験とシミュレーションでよい一致をしているものと考えられる。

中性子による新しい土壤水分計測システムの開発 徳本家康^{1,2}, 原菜月¹, 余語覚文², 有川安信², 安部勇輝²

1) 佐賀大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

中性子による新しい土壤水分計測システムの開発のため、中性子バブル検出器 (BDTおよびBDS10、100、600、1000) を用いた圃場試験を行った。圃場試験では、土壤水分量 (θ) を計測するため、土壤採取および電磁波を用いた土壤水分計測法 (TDR法) を使用した。

実験では、宇宙線中性子が θ に影響するとされる計測領域を設定し、18カ所において θ を計測した

(FIGs. A, b)。計測領域の中心地で中性子バブル検出器による計測を試みた。その結果、 θ の平均値が $0.19 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ において(FIG. d)、比較的低いエネルギーの高速中性子を示す有意なカウントが得られた(FIG. e)。しかし、地表面において熱中性子は全く検出されず、BDS1000においてもほとんど不検出であった。この成果は、今後の検出器デバイスの開発において重要な結果である。

今後は、宇宙から降り注ぐ高速中性子に焦点を当てた計測により、原位置における中性子バックグラウンド補正の高精度化が期待される。

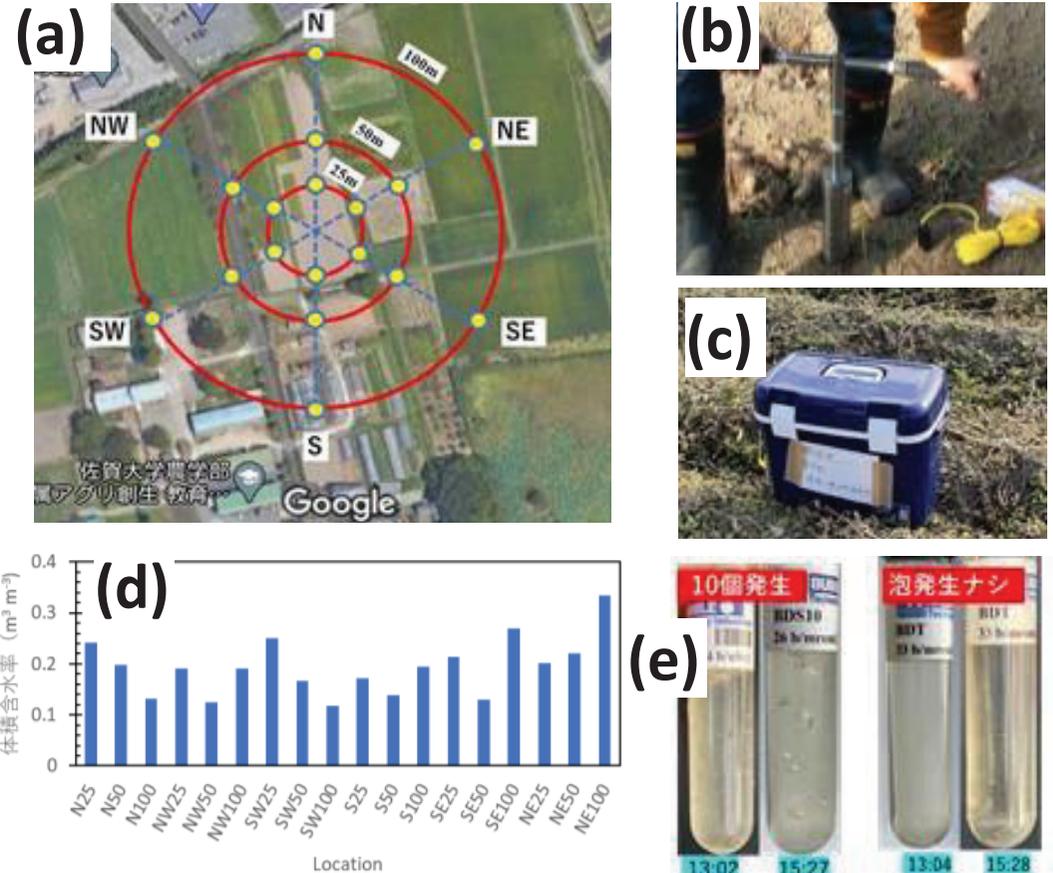


FIG.圃場における計測: (a) 土壤採取および θ 計測位置, (b)土壤採取法, (c) 中性子バブル検出器, (d) θ 計測の結果, (e) BDS10およびBDTのバブル検出の例

核偏極重陽子の核反応による中性子発生 の理論計算

佐藤透¹, 有川安信²

1)大阪大学核物理研究センター, 2)大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

重陽子における低エネルギー光分解反応において、偏極中性子発生する可能性に着目した。多重極展開を用いた定式化により、偏極重陽子・偏極光子による偏極中性子発生 の一般断面積公式を導出し、偏極中性子の発生機構を解明した。

- 原子核電磁カレントによる有効ハミルトニアン の多重極展開を用いた定式化:

$$\langle p, n | H_{eff}(\lambda) | d \rangle = \langle p, n | \sum_{J \geq 1} i^J \sqrt{2J+1} [\lambda T_M^{J\lambda} + T_E^{J\lambda}] | d \rangle$$

- 偏極重陽子・偏極光子による偏極中性子発生断面積:

$$\begin{aligned} \frac{d\sigma}{d\Omega} (1 + P^N(i) \cdot \hat{n}) &= \frac{\alpha}{4\pi} \frac{|p|}{|q|} m_N \sum_{\lambda, \lambda'} \sum_{m_d, m'_d} \sum_{s_p, s'_p, s_n, s'_n} \rho_{\lambda, \lambda'}^\gamma \rho_{m_d, m'_d}^d \rho_{s'_p, s_p, s'_n, s_n}^N \\ &\times \langle p(s_p), n(s_n), \mathbf{p} | H_{eff}(\lambda) | d(m_d) \rangle \\ &\langle p(s'_p), n(s'_n), \mathbf{p} | H_{eff}(\lambda') | d(m'_d) \rangle^* \end{aligned}$$

- 偏極した重陽子から発生する中性子の偏極:

中性子偏極の一般式を導出し、精密な核力 (ANLV18) による重陽子と陽子・中性子散乱状態波動関数を用いたImpulse近似による数値計算を行った。重陽子分解しきいエネルギー付近では磁気双極子遷移(M1)が主要となり、陽子・中性子の重心運動エネルギーが1MeV程度になると電気的雙極子遷移(E1)が主要となることが分かった。

またE1遷移が主要な領域では中性子が重陽子偏極の方向にほぼ100%偏極する可能性があることが判明した。

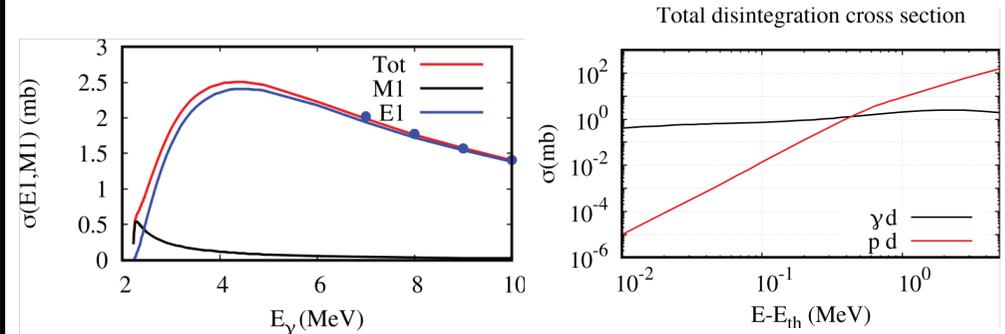


Fig. 1 (Left) 重陽子光分解全断面積 (青E1, 黒M1, 赤 (E1+M1)) 青丸実験値. (Right) 低エネルギーにおける重陽子の光子、陽子分解反応全断面積の比較.

光励起三重項電子を用いたスピン偏極重水素ターゲットの開発

北川勝浩^{1,2}, 香川晃徳^{1,2}, 根来誠¹, 有川安信³

1) 先導的学際研究機構 量子情報・量子生命研究センター,

2) 大阪大学大学院基礎工学研究科, 3) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

レーザー駆動中性子発生実験に向けて小型スピン偏極重水素製造装置の開発を行っている。部分重水素化材料（ペンタセンドープパラターフェニル結晶）を用いることでこれまでにHスピン偏極を室温で34%まで向上させることに成功している。このHスピン偏極は交差偏極法を用いればDスピンの移すことが可能である。

レーザー駆動中性子発生実験に向けて装置全体の小型化を進めており、図1に示すサイズまでの小型化に成功した。また現状はレーザー励起式の色素レーザーを用いているが、これを現在開発中の半導体励起固体レーザーに交換することでさらなる小型化と利便性の向上が期待される。2021年も研究を継続する。

可視光(590nm)レーザー装置
さらに小型化を目指して開発中

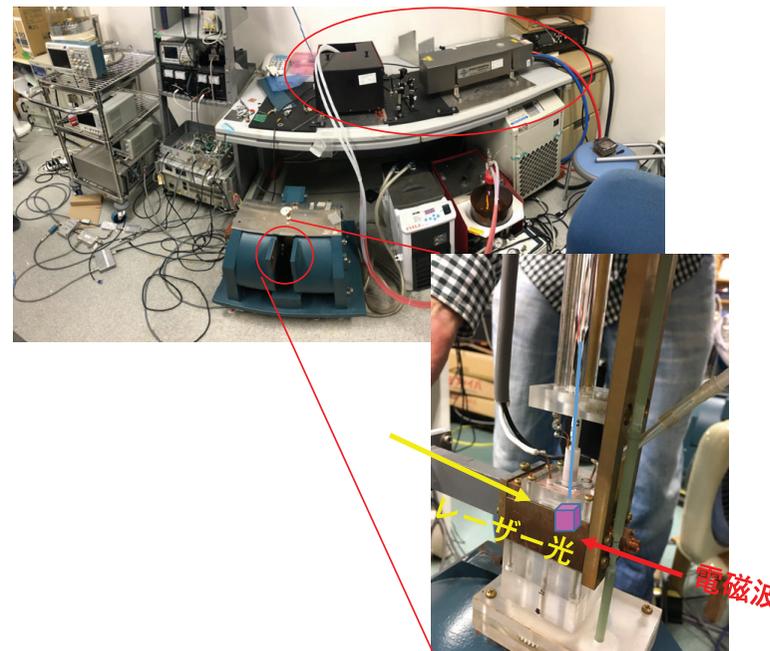


FIG1. 開発中のスピン偏極重水素装置の写真。テーブル上が590nmのレーザー装置、テーブル左がマイクロ波発生装置群、テーブル下が磁場発生装置と冷却装置群。

超高強度レーザーによる高電離重金属プラズマの形成過程の解明

西内満美子¹, N. P. Dover², 畑昌育³, 杉本馨^{3,4}, J. Koga¹, 近藤康太郎¹, 岩田夏弥^{3,5}, 榊泰直¹, 千徳靖彦³

1) 量子科学技術研究機構関西光科学研究所, 2) Imperial College London, 3) 大阪大学レーザー科学研究所, 4) 大阪大学理学研究科, 5) 大阪大学高等共創研究院

SUMMARY

超高強度レーザーを重金属に照射することで、極限的な高電離・高エネルギー密度プラズマを生成することができるが、その物性は未解明である。本研究では、衝突・電離・輻射過程を組み込んだプラズマ粒子シミュレーションコードPICLSを用いて、J-KAREN-Pに相当するレーザーパルス銀薄膜に照射した場合の加熱・電離過程および輻射特性を調べた。平均電離度約40価、電子温度約10 keVまで加熱された銀プラズマ(図(a))は、パルス照射後にX線を輻射しながらピコ秒の時間スケールで数100 eV以下まで冷却されることが明らかになった(図(b))。重金属プラズマの輻射体としての特性を明らかにした本成果は、高輝度X線源の開発研究や天文学への応用にも繋がる。

図(a)は M. Nishiuchi *et al.*, Phys. Rev. Res. **2**, 033081 (2020), 図(b)は K. Sugimoto *et al.*, HEDP **36** 100816 (2020) より一部改変し転載。

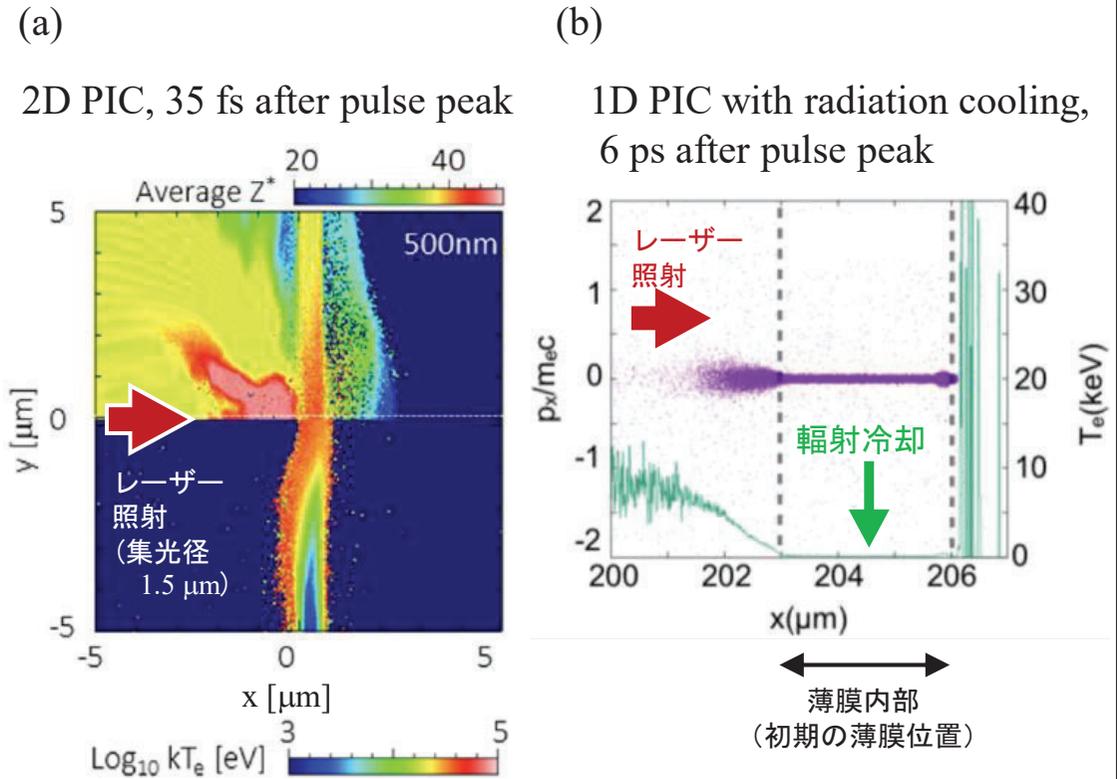


FIG. 銀薄膜(厚さ (a) 0.5 μm , (b) 3 μm)に強度 $10^{21}\text{W}/\text{cm}^2$ レベル、パルス長30 fsのレーザーを照射したPICシミュレーション。(a) パルス照射直後の平均電離度(上)と電子温度(下)。(b) 輻射冷却を考慮した場合のパルス照射後6 psの電子温度 T_e (緑)と電子の位相空間(x - p_x)分布(紫)。

Fast learning by high intensity, high repetition rate laser systems

SUMMARY

Intense laser-plasma physics and in particular the field of laser-ion acceleration, suffer from lack of consistency and reproducibility due to the uniqueness of the experiments, the different type of laser systems utilized and the relative lack of data.

The goal of this work is to build a data-driven surrogate model of laser-ion acceleration in order to create a model actually consistent with the experimental data. In order to do so, we performed a data intensive experiment on Vega-3 laser at CLPU in Salamanca-Spain where we varied the key laser parameters: pulse duration, energy and spot size.

The data collected will be fed to a machine learning routine to derive a consistent surrogate model of laser ion acceleration with predictive capability.

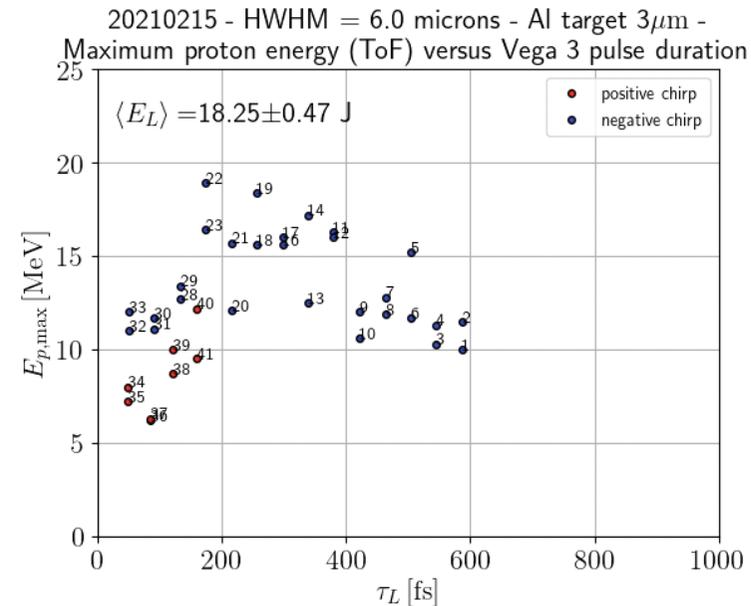


Fig. 1: Example of a dataset obtained for fixed pulse energy, spot size and target thickness while varying the pulse duration from 30 to 600 fs. It appears clear the non linear dependence of the accelerated ion energy to the pulse duration, in direct contrast to most existing scaling laws.

高効率冷中性子発生のための固体重水素薄膜生成手法の開発

岩本晃史、余語覚文*、石本崇*、田邊大貴*、中井光男*

核融合科学研究所

*大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

金属材料等の結晶解析に威力を発揮する冷中性子を、短時間パルスで発生するために、極低温固体重水素薄膜装置を実現することを目的とする。LFEX・GXII同時照射により、DD核融合反応により高速中性子を発生し、極低温の薄膜のその場で冷中性子まで冷却して発生する装置を開発する。

今年度は水素を用いて成膜試験を実施した。水素ガスの導入圧力と時間を制御することで、生成される固体水素の膜厚が制御を可能とし、現時点では厚さ1mm程度の薄膜生成に成功した。昇華した気体水素による熱伝導が輻射よりも大きく、温度上昇によって固体水素の残存時間が短くなることが判明したため、固体水素の昇華量を低減させる必要がある。この問題を解決するために、レーザー照射部以外に固体水素が成長することを防ぐために樹脂材料を設置するなど、セル部分の構造を改良する計画である。

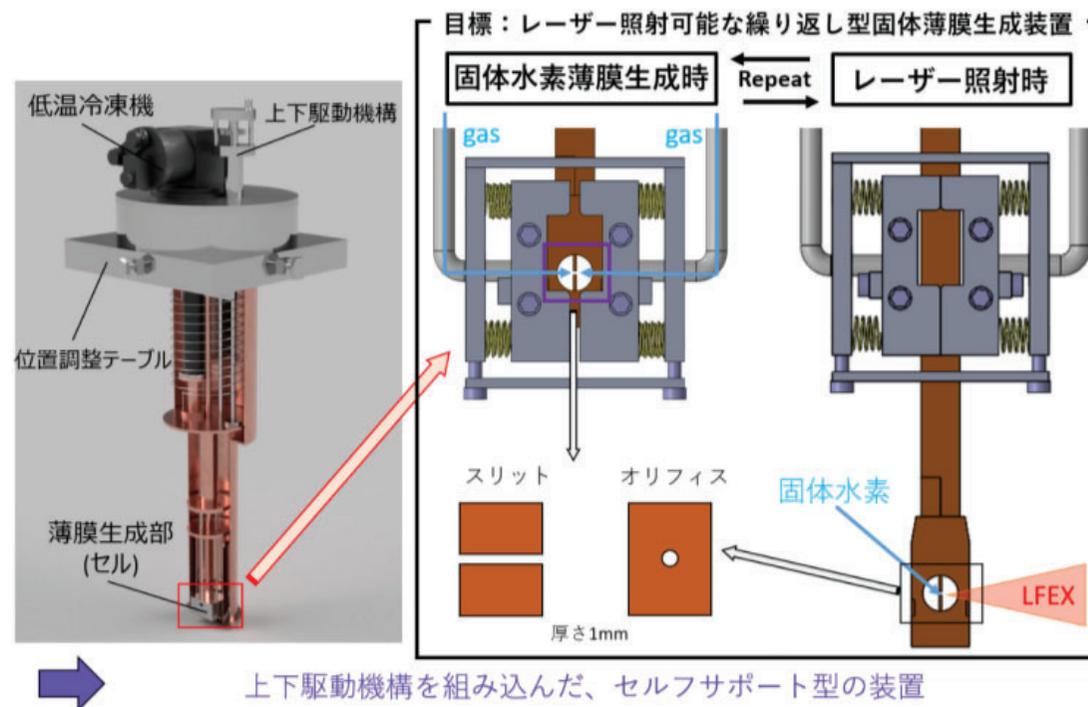


FIG.開発した固体水素薄膜装置。薄膜生成室で水素薄膜を成膜し、レーザーショット時に集光点へ移動させる。セルフサポートの固体水素を真空中に生成できる。

高密度爆縮プラズマ中における抵抗率勾配における強磁場生成のモデリング

羽原英明¹, 大熊祐輝¹, 藤域淳平¹, 吉武佳菜², 城崎知至², 長友英夫³

1) 大阪大学, 2) 広島大学, 3) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

本研究では追加熱レーザーとプラズマの相互作用によって生じる高速電子を抵抗率勾配による自己生成磁場によってガイディングすることを目的とした。そこで右の図(a)のようにGXIIビームによってプレプラズマを生成しLFEXレーザーによって生じる高速電子を裏面Cu層で観測する実験を提案し、輻射流体シミュレーションによりターゲット設計を行った(右図(b))。さらにNiの吹き出し(右図(c))により生成される抵抗率勾配から磁場の強度を計算し閉じ込め効果を推定した。その結果、GXIIピークから1.0ns後に磁場の強度が2360 Tで最大となり、そのとき生じる高速電子の80.4%をNiプラズマ領域に閉じ込めることができるということから追加熱レーザーの照射タイミングとして採用した。

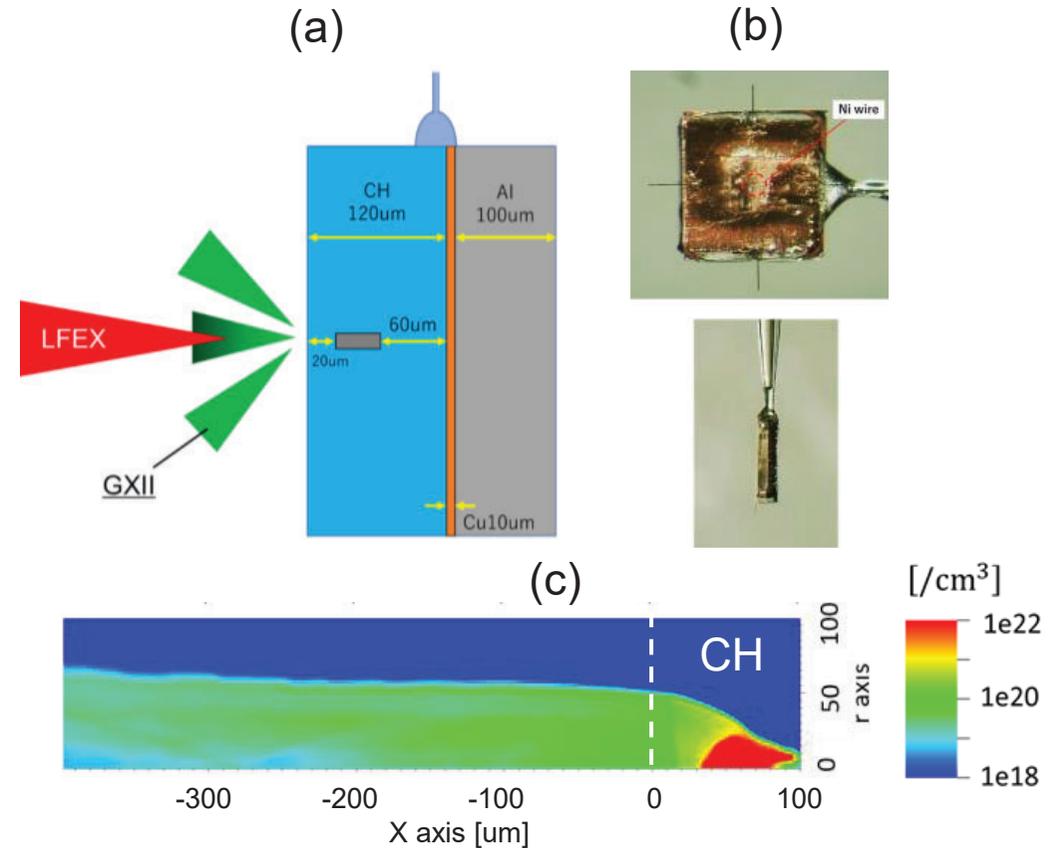


図 (a)実験設計模式図

(b)実際に製作した平板ターゲット

(c)磁場が最大となるときのNiイオン分布

偏光制御対向照射レーザーを用いた電磁場伝搬吸収とプラズマ加熱の検証 -対向ビームアライメント手法の整備-

森芳孝¹、北川米喜¹、佐野孝好²、千徳靖彦²、岩田夏弥^{2,3}

1) 光産業創成大, 2) 大阪大学レーザー科学研究所, 3) 大阪大学高等共創研究院

SUMMARY

ピーク出力数TW級超短パルスレーザーの照射配位、偏光、パルス幅を制御し、非相対論から相対論領域における電磁波の伝搬・吸収の検証を行うことを最終目的としている。今年度は、対向照射配位で、対向ビーム交差タイミングが調整可能な照射システムの整備を行った。大気中に高強度レーザーを対向照射することで形成されるプラズマボイド(サイズ: X 100 μm 、Y 300 μm) が対向照射アライメントの指標となることを見出した。プラズマボイドは、対向レーザーが交差する条件でのみ形成される。プラズマボイドの成長速度は、SHGプローブ計測結果より、 10^{10} cm/secと見積もられ、光速の1/3程度であった。ボイド形成速度は、実験のレーザー強度 2×10^{17} W/cm²のポンデラモータータイプ力から見積もられる規格化高速電子速度 $\beta=0.2$ (運動エネルギー 10 keV)とオーダーが一致するため、プラズマボイド形成は、高速電子が関与していることが予想される。調整時間幅は ± 3.3 ps、調整分解能は0.05 mm/167 fsである。

Illumination system: counter-beam overlapping timing control

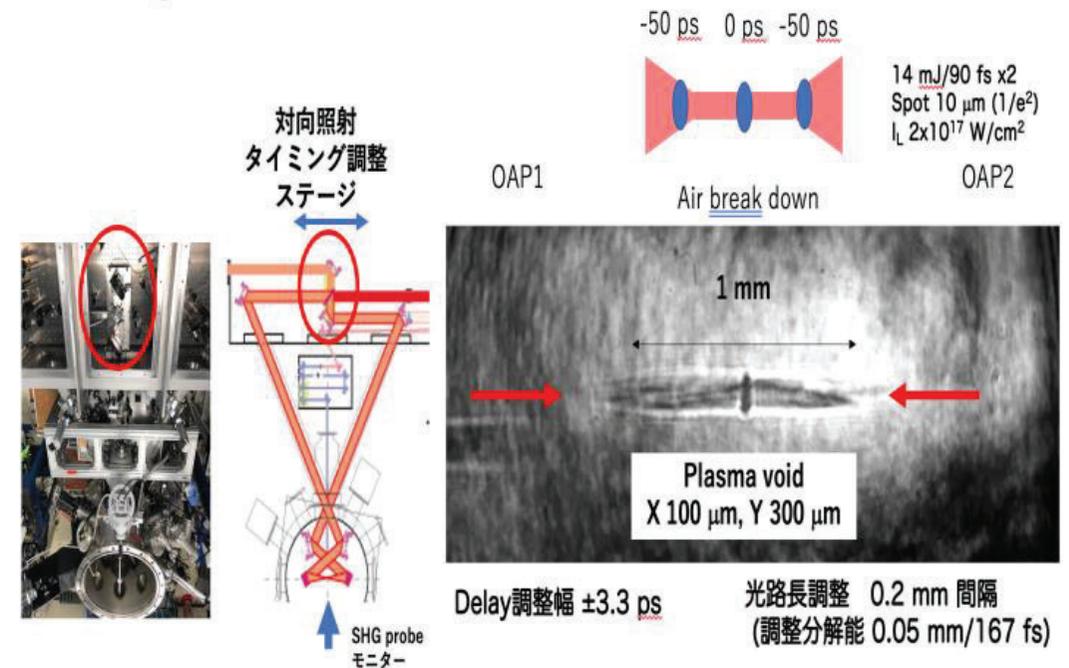


FIG. プラズマボイドを指標とした対向照射アライメント：(左)パルス圧縮器及びレーザー照射容器、(中央)レーザー照射レイアウト、(右)プラズマボイドのSHGプローブ像

Two-dimensional and two-directional parameter measurements with laser Thomson scattering

T. Morita¹, S. Matsuo¹, T. Kojima¹, R. Yamazaki², S. Matsukiyo¹, N. Yamamoto¹, Y. Sakawa³

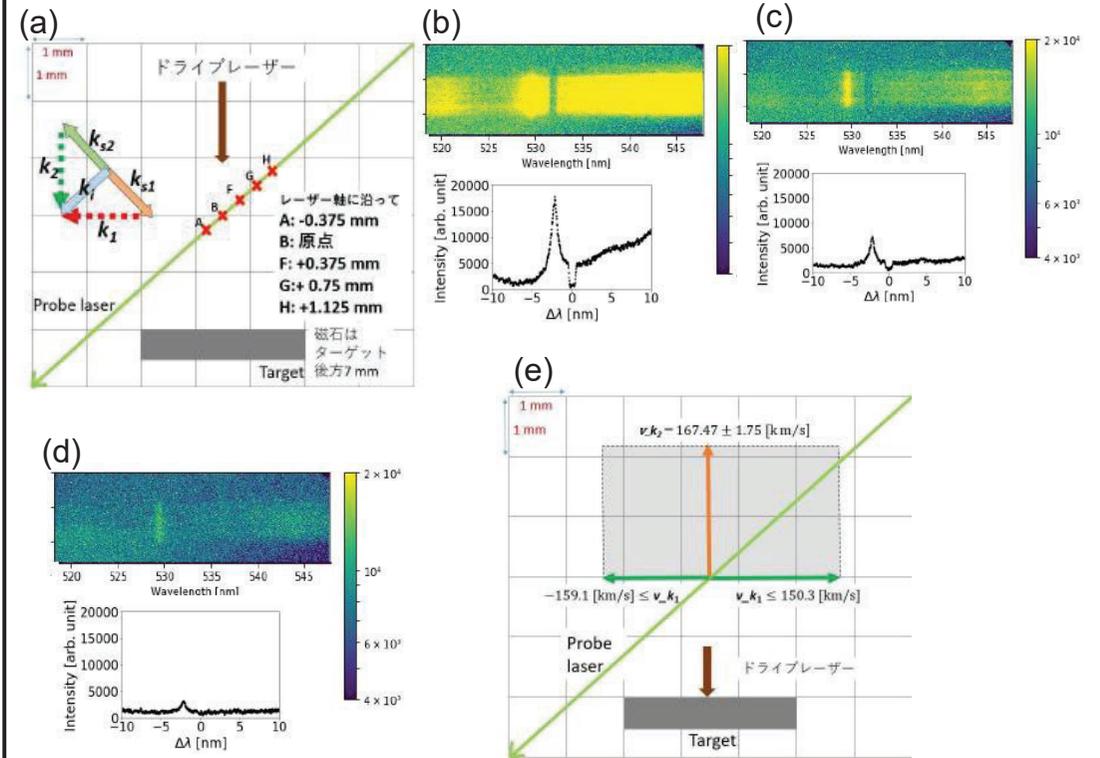
Kyushu University, Japan, 2) Aoyama gakuin University, Japan, 3) Osaka University, Japan

SUMMARY

これまで申請者のグループではレーザー生成プラズマを用いて、レーザー宇宙プラズマ研究、将来の大型宇宙推進システムの原理実証研究等を行ってきた。しかしプラズマが時間・空間的に非定常かつ微小なため局所計測が難しく、現在用いているレーザートムソン散乱法はレーザーを集光した空間の一次元・一方向計測に限られる。

本研究では(1)シート状に集光したレーザーからのトムソン散乱光を分光計測することで二次元空間のプラズマパラメータを計測すること、(2)二方向からトムソン散乱を計測することでパラメータの方向依存性を検証できるデータを取得することである。今年度は上記(1)については検証できておらず、(2)二方向計測からプラズマ速度ベクトルの計測を試みた。

分光計測の例を図に示した。波長分解能が不足していたため、二方向の速度の絶対値は出せていないが、分光器を改良することで二方向の計測が可能であることがわかる。



(a) レーザーアブレーションプラズマに対して45度の角度でプローブレーザーを入射し(k_i)、異なる2方向(k_{s1} , k_{s2})から散乱光を分光計測する。点(b) F, (c) G, (d) Hで k_{s1} 方向から得られた散乱光の波長分布と、(e)それらから計算した速度ベクトルの見積りを示す。波長分解能が不足していたため、垂直方向は上限または下限値のみ示した。

Compressible Richtmyer-Meshkov instability in a density gradient

T. Sano¹, K. Ishigure¹ and F. Cobos-Campos²

1) Institute of Laser Engineering, Osaka University, Suita, Osaka 565-0871, Japan, 2) ETSI Industriales, Instituto de Investigaciones Energéticas and CYTEMA, Universidad de Castilla-La Mancha, 13071 Ciudad Real, Spain.

SUMMARY

We have investigated the effects of a smooth transition layer at the contact discontinuity on the growth of the Richtmyer-Meshkov instability (RMI) by hydrodynamic numerical simulations, and we derived an empirical condition for the suppression of the instability. The transition layer has little influence on the RMI when the thickness L is narrower than the wavelength of an interface modulation λ . However, if the transition layer becomes broader than λ , the perturbed velocity associated with the RMI is reduced considerably. The suppression condition is interpreted as the cases in which the shock transit time through the transition layer is longer than the sound crossing time of the modulation wavelength. The fluctuation kinetic energy decreases as L^{-p} with $p = 2.5$, which indicates that the growth velocity of the RMI decreases in proportion to $L^{-p/2}$ by the presence of the transition layer. This feature is found to be quite universal and appeared in a wide range of shock-interface interactions.

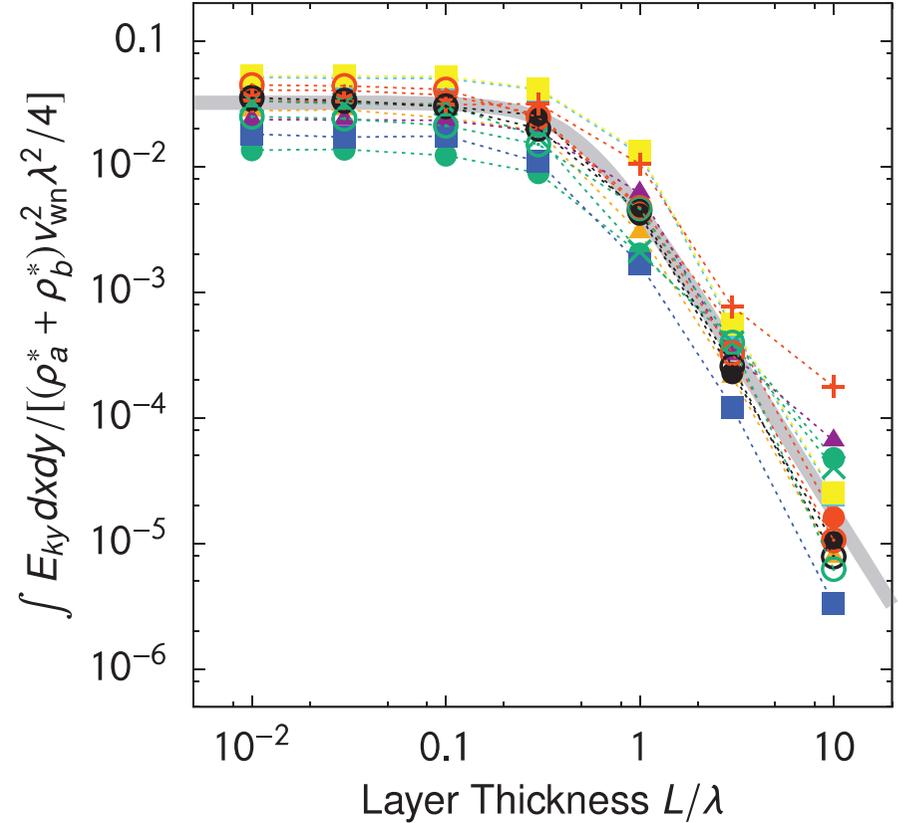


FIG. Dependence of the integrated kinetic energy measured at the nonlinear regime on the thickness of the transition layer L . Various parameter runs are plotted with different marks. The gray thick curve is the fitted function of all the data, which are proportional to $[1 + (qL/\lambda)p]^{-1}$ with $q = 2.11$ and $p = 2.46$.

XFEL(SACLA)を活用したレーザー等積加熱物理の解明

千徳靖彦¹, 佐野孝之¹, 澤田寛², 岩田夏弥¹, 東直樹¹

1) 大阪大学レーザー科学研究所, 2) University of Nevada, Reno, USA

SUMMARY

高強度レーザーは物質を固体密度を維持したまま、keV温度の高温まで一気に加熱することができる。この加熱過程は等積加熱と呼ばれる。等積加熱では、高温領域はおよそ光の速さで物質中を拡散する。SACLA(XFEL)を用いた高速時間分解能計測を行い、高強度極短パルスレーザーにより加熱された銅薄膜中の加熱領域の広がりを計測した。SACLAの光子エネルギーを、銅原子のK殻吸収端エネルギー8.9keVの前後に振った計測により、加熱による電離の進行の様子を捉えることができた。本共同研究では、2次元プラズマ粒子コードPICLSを用いて、実験条件と同じシミュレーションを行い、加熱領域の広がり(電子温度>10eV)の領域の進行の様子が、実験で計測されたXFELイメージングの結果と良い一致を見た。固体金属中での加熱領域の広がりの物理の解明を進めることで、等積加熱の理解が一層進むと期待される。

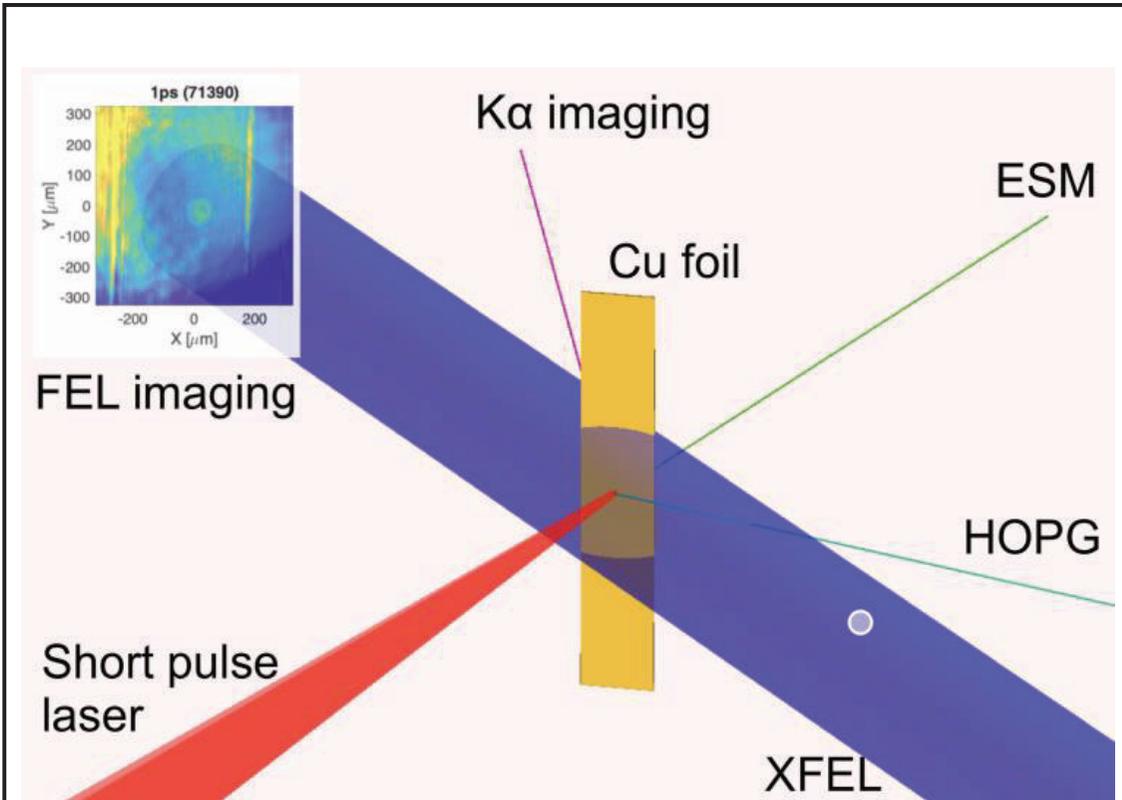


FIG. 高強度レーザーによる銅薄膜の等積加熱の様子をSACLA XFELにより、フェムト秒の時間分解能で透過光計測を行った実験の配位。

Developing a photon scattering model in non-thermal high energy density plasmas in PICLS code

Y. Sentoku¹, T. Sano¹, E. d'Humieres²

1) Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan, 2) University of Bordeaux, France

SUMMARY

In this research, we developed new physical models and simulation techniques to expand the scope of application of a laser-plasma simulation code, PICLS, and improved the accuracy of the simulation. This year we had the monthly Zoom meeting (Japan 6pm – France 9am) to discuss about the model equation of the Compton scattering for relativistic electrons. Check the characteristic of the differential cross-section of the Compton scattering and also develop a Monte Carlo model to integrate the cross-section.

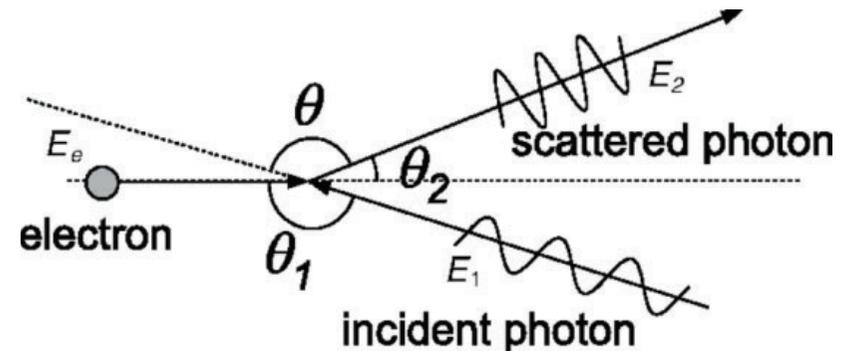


FIG. A schematic view of Compton scattering. A high energy electron collides with an incident photon and up-shifts the photon energy via the scattering.

レーザー核融合実験におけるイオン・中性子計測のための高感度EOポリマーの開発 山田俊毅¹, 大友明¹, 有川安信², ...

1) 情報通信研究機構, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

次世代超高速荷電粒子計測として着目されているElectro-Optic(EO)ポリマー材料を、LFEXレーザーにおける実験に導入するための開発を行った。LFEXレーザー装置付属プローブ装置の波長1040nmに吸収端をもつEOポリマー材料を選定し、シリコン基盤にのせたEOポリマーを1mmx1mmにレーザー加工した。レーザー科学研究所において光ファイバー先端に接合することに成功した。LFEXによる電子発生実験に置いて時間分解能が極めて高い(5ps程度)の実験データが得られた。引き続きポリマー材料の最適化と、ファイバーアセンブリの最適化研究を行う。

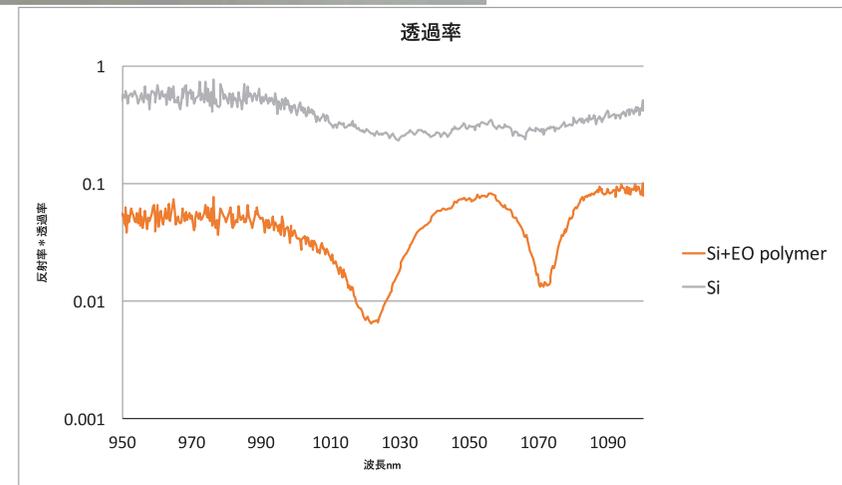
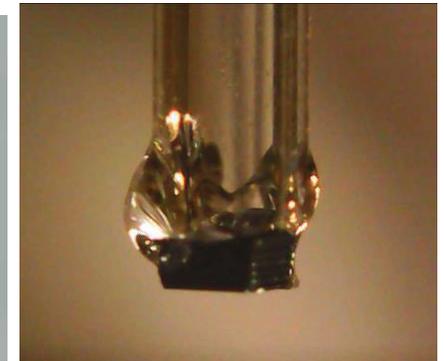
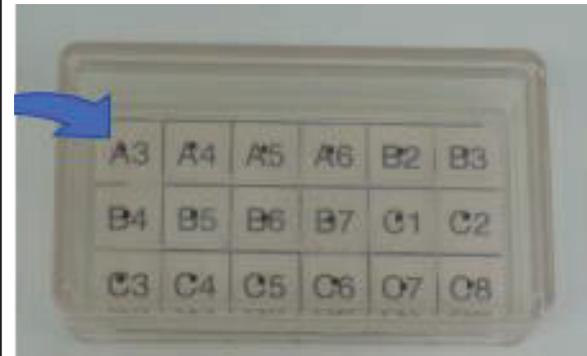


FIG.1 (左上)EOポリマーチップ写真(1mmx1mmに加工品)、及び(右上)ファイバー先端取り付け写真、(下グラフ)吸収スペクトル

超高強度レーザーと高密度プラズマの相互作用

田口 俊弘

日本原子力研究開発機構 敦賀総合研究開発センター

SUMMARY

2020年度は後期から共同研究に参加させていただき、長友先生と学生の松尾氏の研究に関してお手伝いさせていただきました。

これはレーザー爆縮プラズマに高強度レーザーを照射した際に起こる誘導ラマン散乱に起因して高速電子のスペクトルが高エネルギー側にシフトする現象の解析である。

まだあまり決定的なことは言えないが、ラマン散乱に伴ってプラズマ中にキャビティ的な密度変調ができ、それが原因になって高エネルギー電子が発生するようである。現在この高エネルギー化のメカニズムについて議論を続けている。

この現象は、強い衝撃波を発生させるメカニズムになり得ることから衝撃波点火核融合への応用が期待されていて、レーザー核融合研究へのインパクトは大きいと考えている。

プラズマ密度 n/n_{cr}

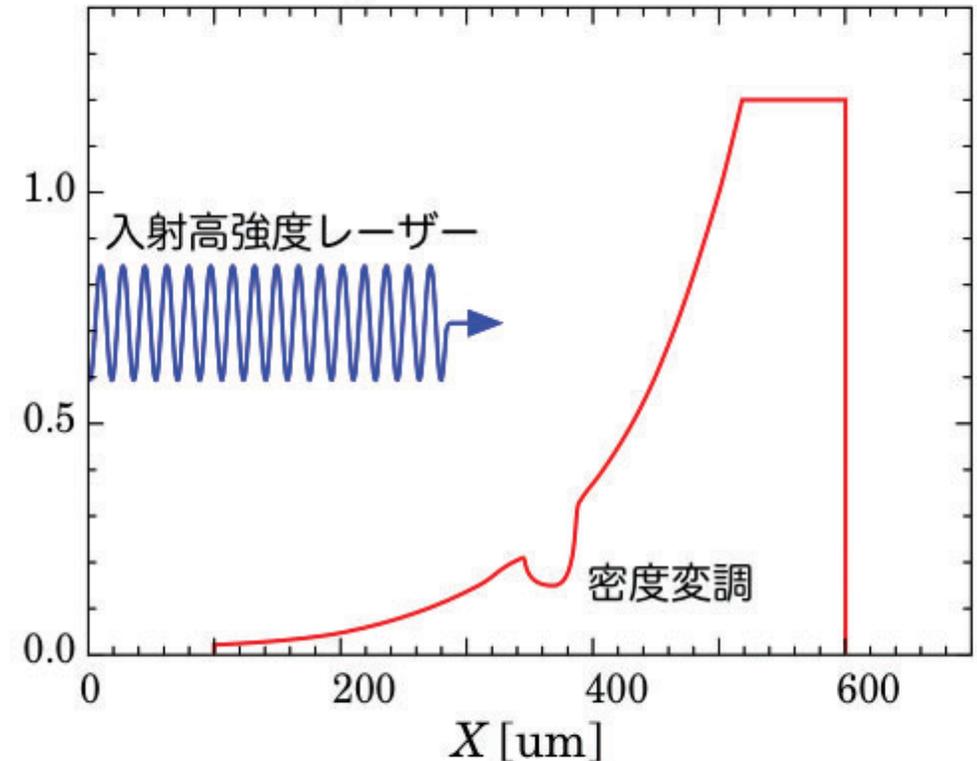


Figure 1: シミュレーションで用いた爆縮プラズマの密度分布と高強度レーザー照射に伴う密度変調の概念図

Theoretical study on particle acceleration in high energy density plasmas created by kJ class ultraintense lasers

N. Iwata^{1,2}, A. J. Kemp³, S. C. Wilks³, and Y. Sentoku¹

1) *Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan*, 2) *Institute for Advanced Co-Creation Studies, Osaka University, Japan*, 3) *Lawrence Livermore National Laboratory, USA*

SUMMARY

Kilojoule-class relativistic lasers, having tens of μm spot sizes and over-picosecond pulse durations, realize efficient electron and ion accelerations that exceed the theories for femtosecond short pulse lasers. For such an efficient acceleration, confining laser-accelerated fast electrons in the spot area for a long time is important. We here studied electron motions in a foil plasma irradiated by a kJ laser using 2D particle-in-cell (PIC) simulations. The fast electrons show a random walk laterally in the large spot as Fig. (a). The escaping velocity of fast electrons from the spot then becomes slower, and the electrons accumulate in the spot to about ten-times higher density than the critical density n_c as Fig. (b) which contributes to boost the ion acceleration. The finding is important to understand the mechanism of particle acceleration by kJ lasers, and also to applications using high energy density plasmas, such as energetic ion beam and intense x-ray sources.

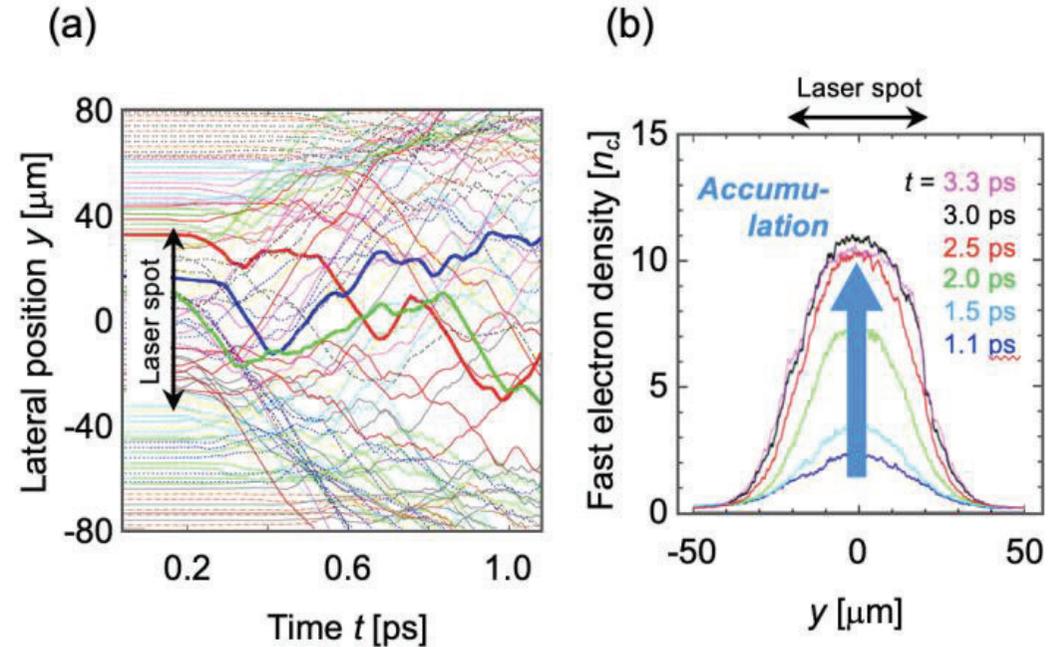


FIG. 2D PIC simulation for the continuous irradiation of a laser with amplitude $a_0 = 1.4$ and spot radius w ((a) $w = 35 \mu\text{m}$, (b) $w = 21 \mu\text{m}$) onto a $5 \mu\text{m}$ -thick, $100 n_c$ foil plasma. (a) Fast electron trajectories exhibiting a random walk in the lateral direction. (b) Fast electron density accumulated in the foil.

高周波かつ広帯域で動作する液晶を用いたテラヘルツ波制御デバイスの開発

伊東良太¹、関谷駿人¹、斗内政吉²

1) 秋田県立大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

本研究では、THz帯で動作するTwisted Nematic (TN) 液晶デバイスの開発を行った。TNデバイスでは、液晶分子がねじれるように配向しており、入射した電磁波の偏向方向を広帯域にわたり回転可能である(FIG.(a))。

我々が発見した吸収異方性を示さない液晶を用いた場合、透過波が完全な直線偏光になるだけでなく、電圧のON/OFFで透過率が変わらない結果が得られた(FIG.(b), (c))。

液晶を用いたTHz波制御デバイスは小型かつ低消費電力であるだけでなく、TNデバイスは原理的に、広帯域で動作可能であるため、分光装置など様々な分野での利用が期待される。

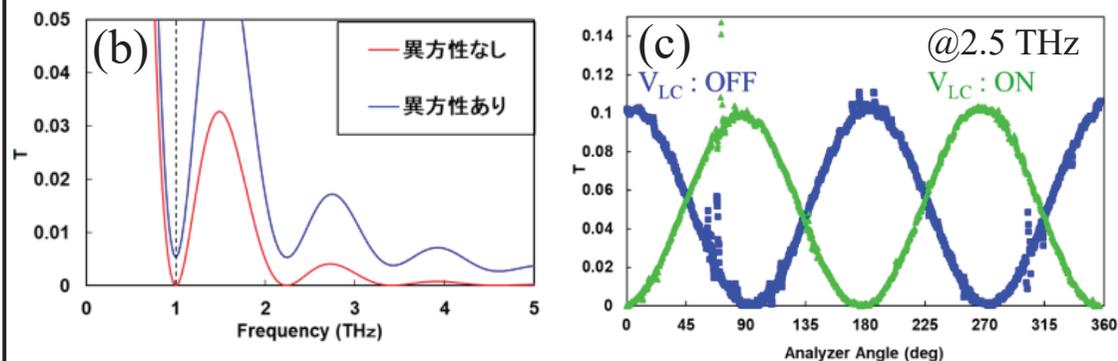
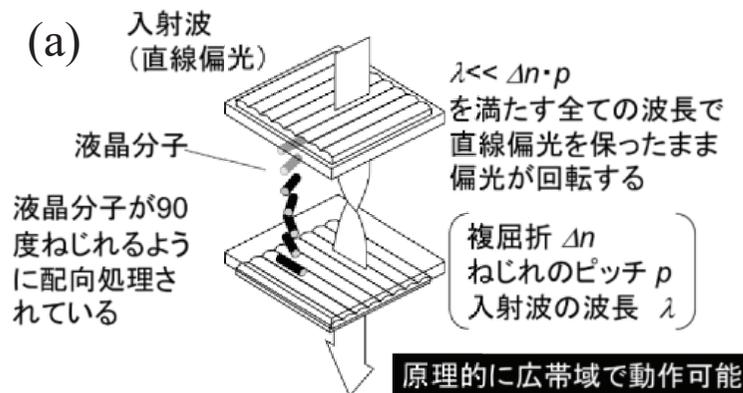


FIG. (a) TNデバイスの動作原理、(b)ジョーンズマトリクス法により計算したTNデバイスの動作特性、(c)2.5THzにおけるTNデバイスの実測結果

メタマテリアルを活用した新たなテラヘルツ波発生素子の開発
(Development of new THz wave emission devices using metamaterial structures)

谷正彦¹, 中嶋誠², 北原英明^{1,2}, 古屋岳¹, ムールデラホセリート¹
1) 福井大学・遠赤外領域開発研究センター, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

本研究は光励起によるスピン流を利用した高効率なテラヘルツ(THz)波発生素子(スピントロニック素子)の開発を目的とする。そのために素子形状にアンテナ構造やメタマテリアル構造を導入することによる放射効率改善を目指す。今年度は円形(直径100 μm), 矩形(40 μm x 100 μm), およびDiabolo型(アンテナ長2mm, 幅約1.2mm)のアンテナ構造を導入した素子を試作[1]し, 評価した。円形<Diabolo型<矩形の順に発生効率が改善され, THz波振幅で最大1.5倍程度改善された。さらにDiabolo型のアンテナ電極部のPt膜厚を2nm から100nmにすることで約2倍の発生効率向上を確認することができた。

[1] NIMS積層スマート材料グループの協力を得て製作

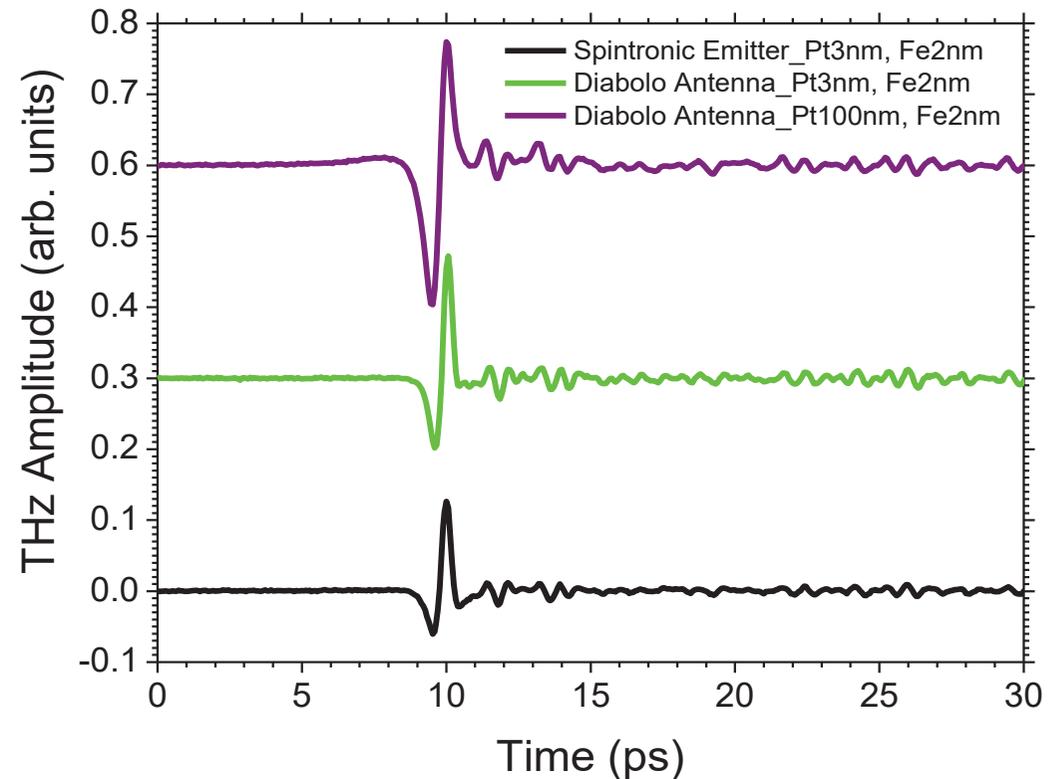


FIG. 1. アンテナ構造無し(膜厚Pt=3nm, Fe=2nm), Diabolo型アンテナ構造(膜厚Pt=3nm, Fe=2nm)およびDiabolo型アンテナ構造(電極部膜厚Pt=100nm, Fe=2nm)を持つスピントロニック素子によるTHz波の時間波形

高強度テラヘルツパルスによるスピン制御の研究

森田 健¹, 志田 博貴¹, 中嶋 誠²

1) 千葉大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

本研究では同一の超短パルスレーザーを光源とした半導体中電子スピンの時空間ダイナミクス計測光学系と高強度テラヘルツパルス発生光学系を組み合わせ、新規光学系を構築した。電子スピンの時空間のダイナミクスを詳細に調べ、電子は存在するがスピンの信号がpsオーダーで緩和・消失する極限スピンダイナミクスを観測した。「点のキャリアが別のバレーに移り、その過程でスピンの超高速消失現象が起きたと考えられる。

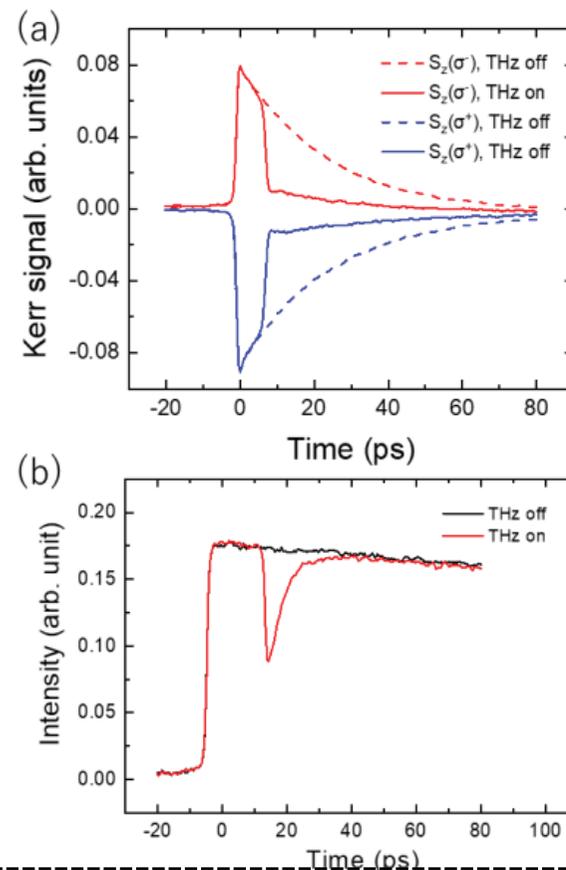


FIG. (a) 高強度テラヘルツパルス照射としたとき（実線）としないとき（点線）のスピンダイナミクス信号。(b) 高強度テラヘルツパルス照射としたとき（赤）としないとき（黒）のキャリア緩和。

テラヘルツ放射を用いたペロブスカイト太陽電池におけるキャリアダイナミクス評価

川山巖^{1,2}, 斗内政吉²

1) 京都大学エネルギー科学研究科, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

ペロブスカイト太陽電池は安価かつ高効率な次世代太陽電池として大きな注目を集めている。しかし、光照射による変換効率の低下や、電流-電圧曲線にヒステリシスが現れ変換効率が安定しないという現象も見られる。実用化に向けて、これらの現象のメカニズムを解明し、耐久性・安定性を向上させることが求められている。本研究において、テラヘルツ放射顕微鏡(LTEM)を用いてペロブスカイト太陽電池からのTHz放射を観測し(図1)、その劣化度合いとLTEM信号と相関相関があることを確認した(図2)本結果はLTEMがペロブスカイト太陽電池の評価手法として有望であることを示唆している。

図1

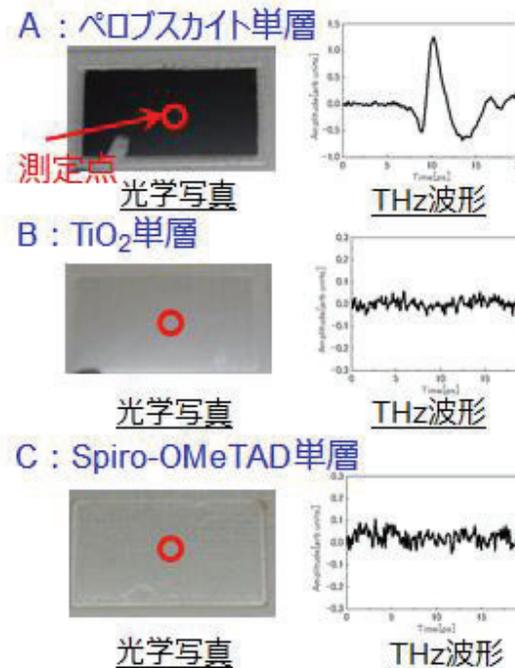


図2

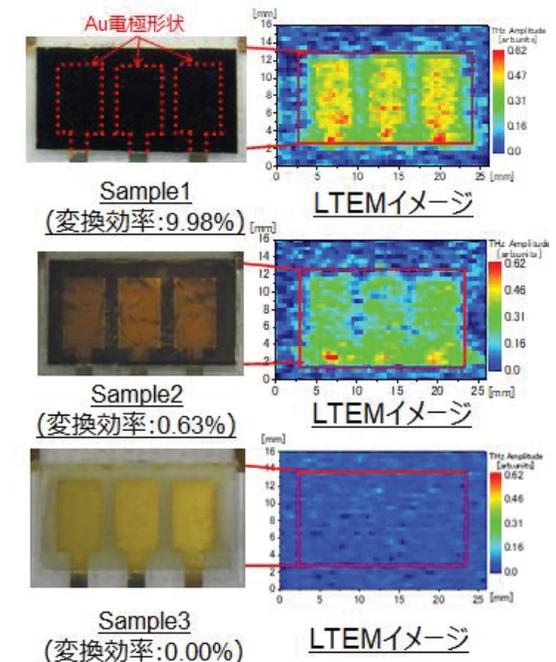


図1 測定試料におけるペロブスカイト層、TiO₂層、Spiro-OMeTAD層からのTHz波形測定結果

図2 変換効率の異なるペロブスカイト太陽電池をLTEMでイメージングした結果

Effects of electron irradiation on the THz emission of GaAs epilayers grown via molecular beam epitaxy

R. Andig¹, C. E. A. Tan¹, E. J. C. Solibet¹, A. Delos Reyes¹, G. Catindig¹, E. Prieto¹, K. C. Gonzales¹, M. J. F. Empizo³, V. Samson², N. Sarukura³ and A. Salvador¹

1) National Institute of Physics, University of the Philippines Diliman, Diliman, Quezon City 1101, Philippines

2) Philippine Nuclear Research Institute, Diliman, Quezon City 1101, Philippines

3) Institute of Laser Engineering, Osaka University, 2-6 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan

SUMMARY

Gallium arsenide (GaAs) is a functional material that can serve as a base for devices in high-energy and high-flux environments. These devices are constantly exposed to reaction by-products and ionizing particles which can lead to altered properties that may result in device deterioration or even sudden failure. In this regard, we investigate the effects of electron radiation on the terahertz (THz) emission properties of GaAs on Si epilayers fabricated via molecular beam epitaxy. Four low-temperature grown GaAs/Si epilayers were irradiated with 100 kGy electron radiation. The THz time-domain spectra show no significant difference in THz intensity and frequency bandwidth before and after irradiation of all samples. Using 100 kGy as a baseline, further investigations using increased dosage will be conducted to determine how electron radiation affects the THz properties of GaAs/Si epilayers.

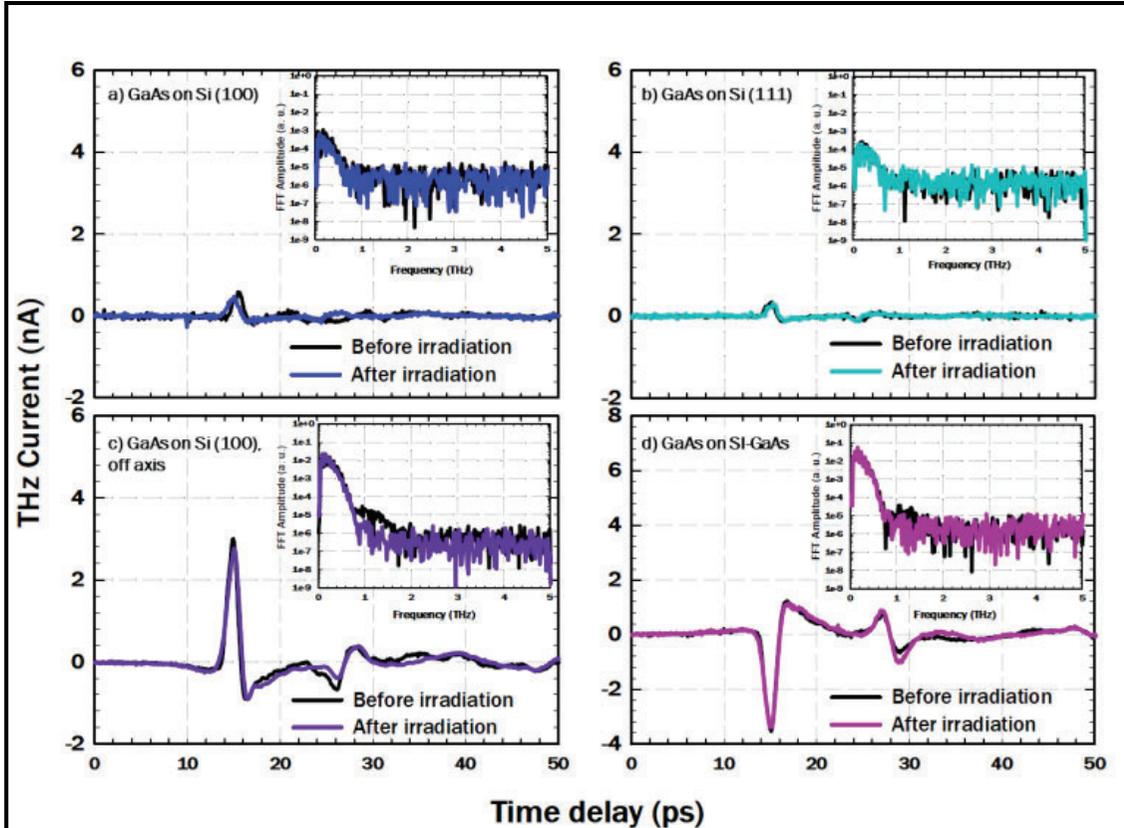


FIG. 1: THz waveforms and THz FFT spectra (inset) of (a) GaAs on Si (100), (b) GaAs on Si (111), (c) GaAs on off-axis Si (100) tilted 4° toward (111) plane during growth, and (d) GaAs on SI-GaAs samples before and after electron irradiation.

有機半導体材料によるテラヘルツ高速スイッチング

松井龍之介¹, 中嶋誠²

1) 三重大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

本研究では、有機電荷移動錯体DBTTF-TCNQ結晶によるテラヘルツの高速スイッチングの可能性を検証している。DBTTF-TCNQとは、ドナー分子DBTTFとアクセプター分子TCNQからなる電荷移動錯体結晶であり、 0.7eV といった比較的狭いバンドギャップを有し半導体的な性質を示す。これまでに、テラヘルツポンプ-テラヘルツプローブ実験において、テラヘルツの高速スイッチングの可能性を示唆する結果を得ており、将来的にはテラヘルツ高速通信技術などへの応用が期待される。

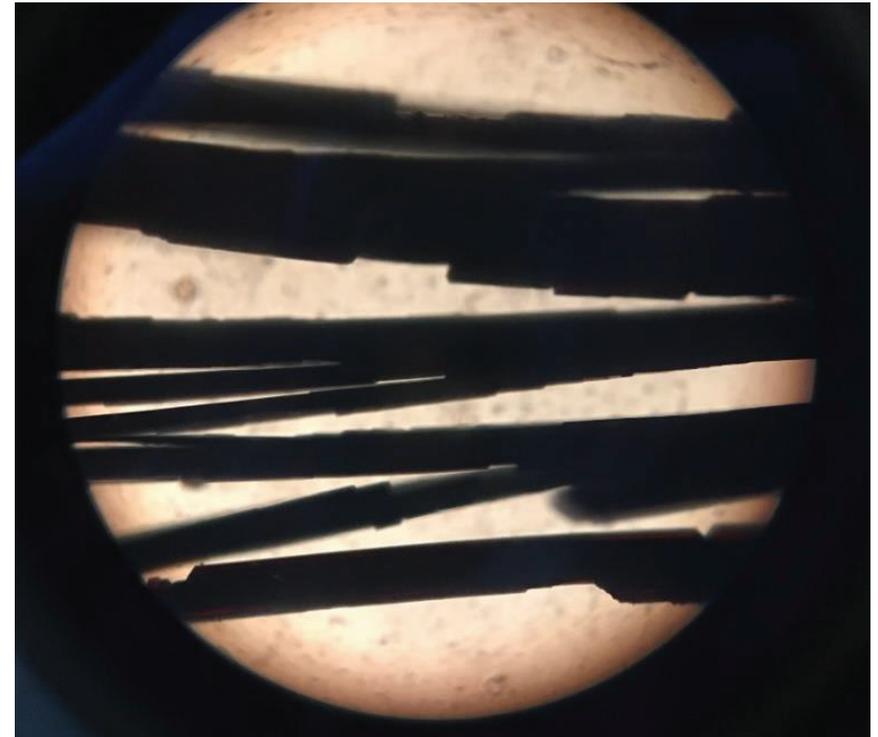


FIG. DBTTF-TCNQ電荷移動錯体結晶の光学顕微鏡像(10倍)

Terahertz emission characteristics of zinc oxide-based photoconductive antenna devices

A. E. De LosReyes¹, V. C. Agulto², M. J. F. Empizo², J. P. Afalla³, V. K. P. Mag-usara², M. Nakajima², M. Yoshimura², M. Tani⁴, N. Sarukura², and E. S. Estacio¹

1) University of the Philippines Diliman, Diliman, Quezon City 1101, Philippines, 2) Osaka University, Suita, Osaka 565-0871, Japan, 3) University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8573, Japan 4) University of Fukui, Fukui, Fukui 910-8507, Japan

SUMMARY

The terahertz (THz) band, which is comprised of the 0.1-10 THz frequencies of the electromagnetic spectrum has found important applications in medical imaging, security, and environmental sensing. However, integration of THz technology has been primarily restricted in the laboratory setting owing to the lack of strong THz radiation sources, among other factors.

Photoconductive antenna (PCA) devices are key components as emitters/detectors of THz time-domain spectroscopy (THz-TDS) setups. Due to its high electric breakdown, zinc oxide (ZnO) is a promising emitter of THz radiation as it permits the application of large bias voltages leading to more intense THz radiation. In this work, the properties of ZnO films were investigated. These information are crucial for parametric studies and design considerations of ZnO PCA devices for THz applications.

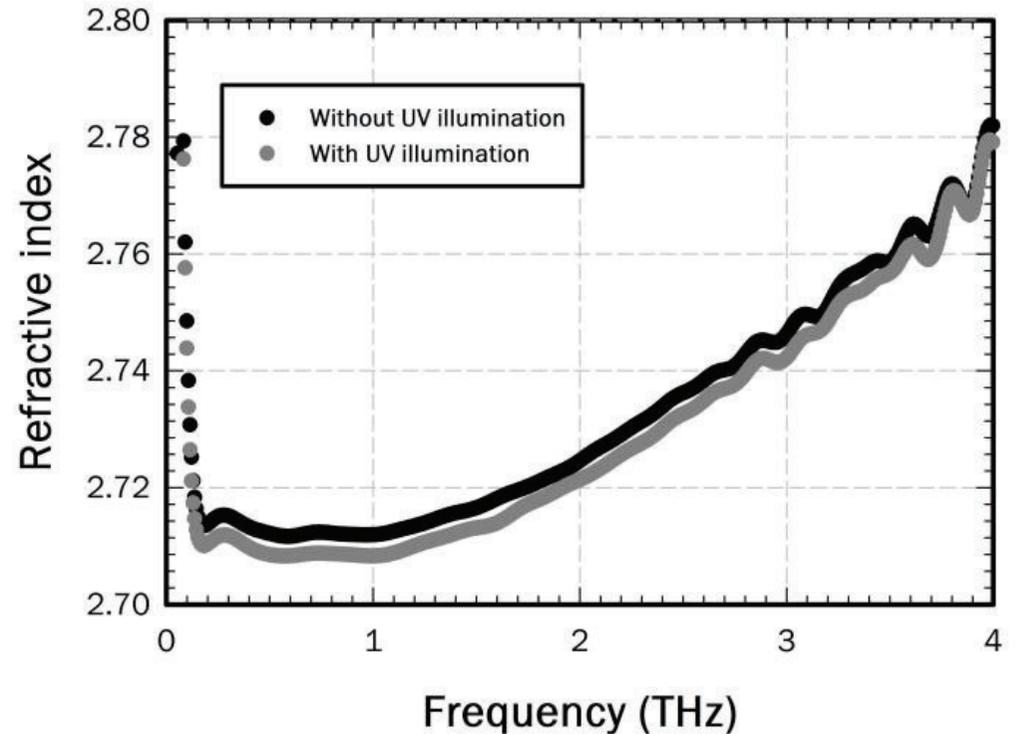


FIG 1. Refractive indices of bulk ZnO single crystal with and without UV illumination at different THz frequencies. The refractive indices were obtained via THz transmission spectroscopy.

テラヘルツ時間領域分光法を用いた乱れた系の複素伝導度解析手法の確立とその応用

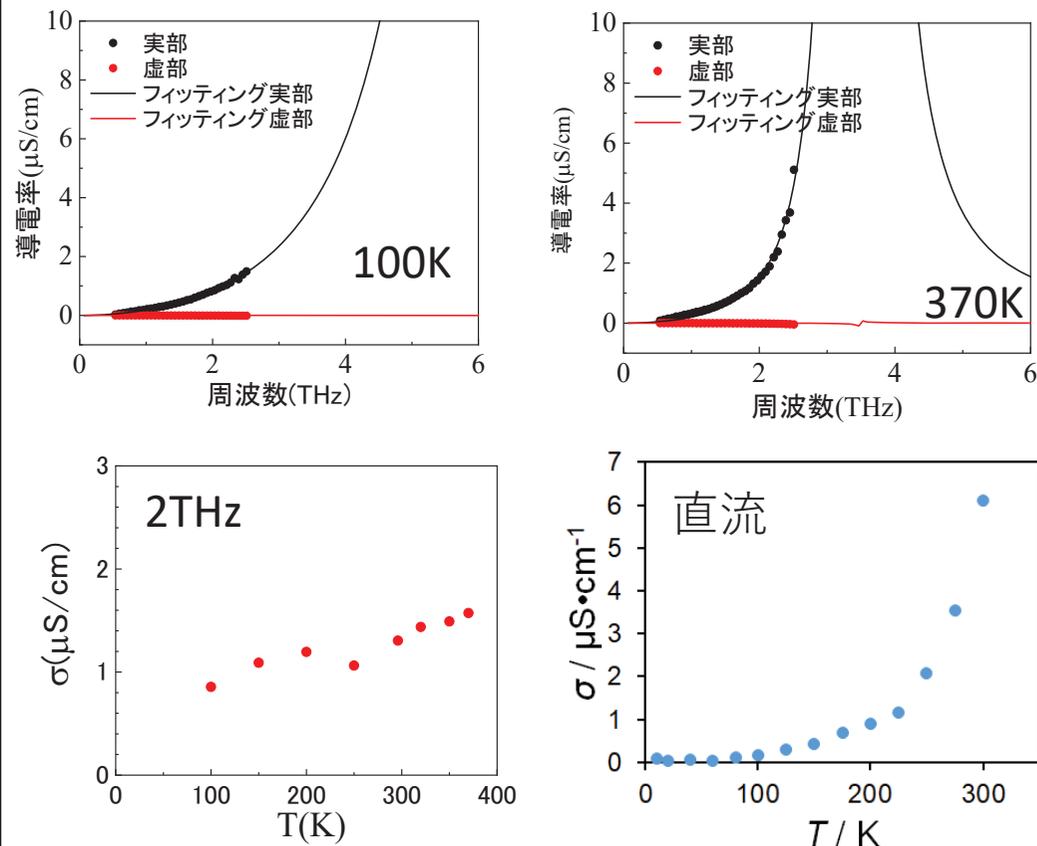
川山巖^{1,2}, 村上博成², 宇佐美雄生³, 松本卓也⁴, 斗内政吉²

- 1) 京都大学エネルギー科学研究科, 2) 大阪大学レーザー科学研究所,
3) 九州工業大学生命体工学研究科, 4) 大阪大学理学研究科

SUMMARY

導電性高分子では多くの電気伝導機構としてバンド伝導、トンネル伝導やホッピング伝導などが複合的に寄与していると考えられている。本研究では、ポリアニリン(PANI)の電気伝導特性の温度変化をテラヘルツ時間領域分光法(THz-TDS)を用いて測定し、電気伝導モデルを検討した。

上段の図より、PANIの複素導電率スペクトルはローレンツ振動子モデルとよく一致している。また、下段の図から直流では伝導度が指数関数的に変化しているが、2THzでは直線的な依存性である。この結果は、直流ではドメイン間のキャリアのホッピング、THz帯ではドメインに閉じ込められ局在したキャリア運動が伝導の主要因であることを示唆している。



上段の図は100Kと370Kで測定したPANIの導電率スペクトルの実部と虚部をローレンツモデルによりフィッティングした結果、下段はTHz-TDSにおける2THzの導電率と直流測定で計測した導電率の温度依存性である。

テラヘルツ分光による尿路結石中の結晶多形同定とイメージング

丸山美帆子¹, 吉村政志², 塚本勝男³, 古川善博士³, 田尻理恵⁴, 岡田淳志⁵, 田中勇太郎⁵, 門馬綱一⁶,
杉浦悠紀⁷, 中嶋誠², 森勇介¹

1)大阪大学 2)大阪大学レーザー科学研究所 3)東北大学 4)田尻薄片製作所
5)名古屋市立大学 6)国立科学博物館 7)産業技術総合研究所

SUMMARY

尿路結石に含有されるシュウ酸カルシウムの一水和物 (COM) と二水和物 (COD) の正確な結晶相同定のために、テラヘルツ領域における反射スペクトルを取得した。合成により作成した COM と COD を加圧してペレットを作成し、これを用いて反射法で測定を行った。340 cm^{-1} 以下の波数領域では、COMの吸収が顕著に大きい。また、197 cm^{-1} と206 cm^{-1} 付近にCOM特有の吸収がある可能性が示唆された。今後、COMとCODの量比を変化させ、定量的な測定につなげられるか検討していく。

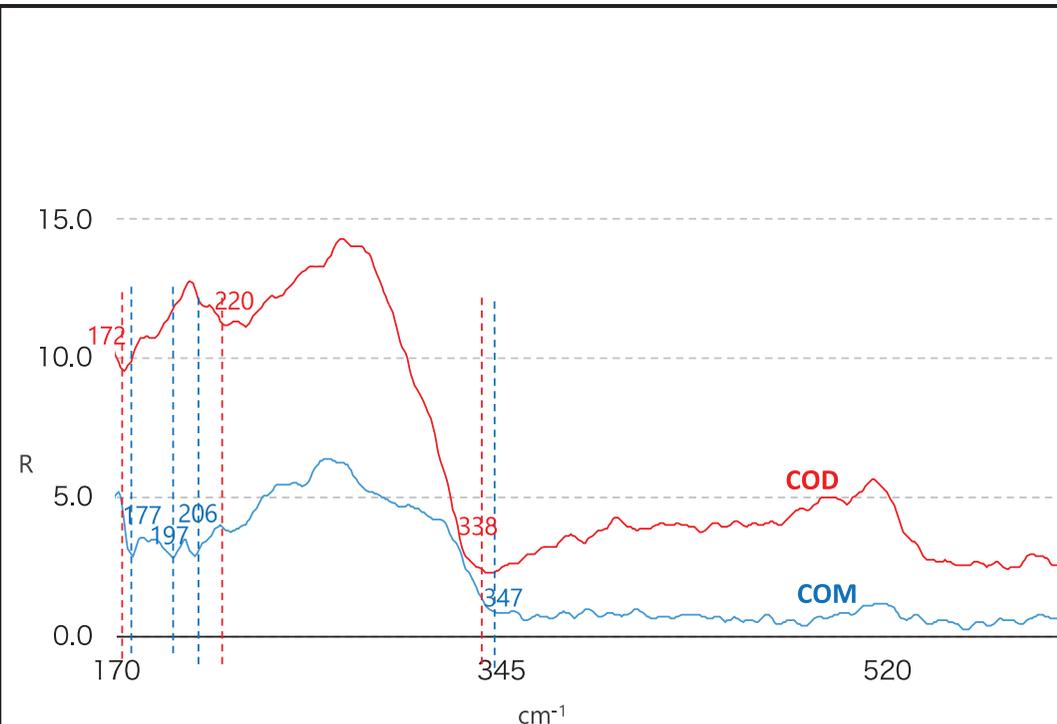


FIG. COM (青) およびCOD (赤) の反射スペクトル。
340197 cm^{-1} 、206 cm^{-1}

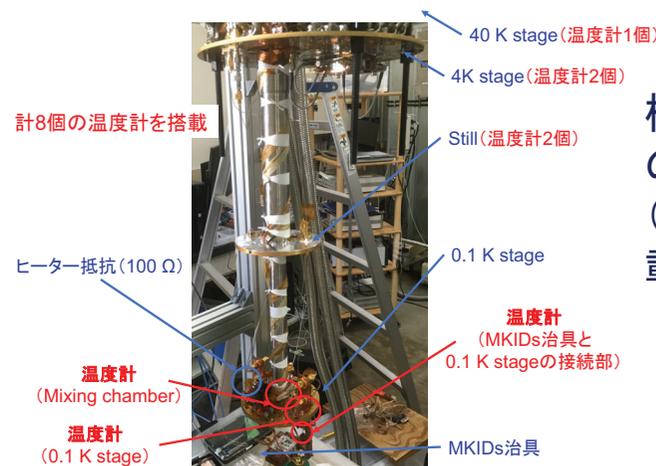
超伝導体の転移温度の人工的制御の実証とマイクロ波力学インダクタンス検出器の研究

大谷 知行^{1,2}, 美馬 覚¹, 田井野 徹^{1,3}, 斗内 政吉⁴

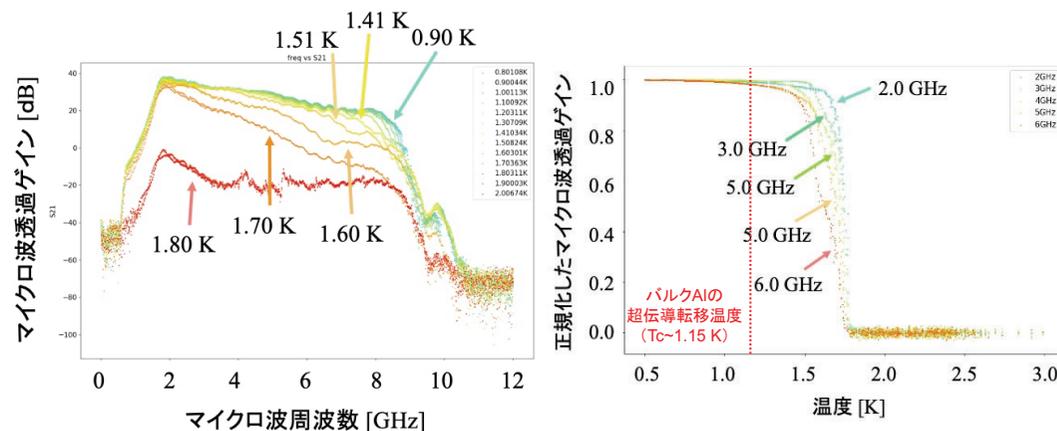
1) 理研・光量子工学研究センター, 2) 東北大・理・物理, 3) 埼玉大・工・電気電子, 4) 阪大・レーザー研

SUMMARY

物質固有の値とされてきた超伝導転移温度 T_c が膜構造で人工的に制御できる可能性が示されたが、その検証や応用可能性は不十分である。そこで本研究では、制御性と再現性の高い超伝導体-絶縁体の積層薄膜を用いてマイクロ波力学インダクタンス検出器 (MKIDs) を作製し、周波数 2-8GHz でのマイクロ波透過ゲイン測定によりその検証を目指した。まず、希釈冷凍機に計 8 個の温度計を搭載して温度較正環境を整えた上で、5層構造 (Al/AIOx/Al/AIOx/Al) の MKIDs を作製して実験を行った。その結果、バルクの T_c が約 1.15K である Al に対して 1.7-1.8K で特性が大きく変化することを確認した。また、低周波数ほど信号透過率変化が急峻となる傾向が見られた。一方、導入配線ロスで低周波ほど印加電力が高い可能性があり、これが薄膜特有の影響か、それとも電力印加による影響であるかについて、今後さらなる検証が必要である。



構築した希釈冷凍機の温度計セットアップ (計8個の温度計を搭載)



5層MKIDsのマイクロ波透過ゲインの温度依存性
マイクロ波透過ゲインの温度依存性の周波数ごとの変化

プラズモン光伝導アンテナを用いたレーザーカオス光におけるモードの同時性の解明

栗島史欣¹, 中嶋誠², 谷正彦³, 原口雅宣⁴, 森川治⁵

1) 福井工業大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所, 3) 福井大学, 4) 徳島大学, 5) 海上保安大学校

SUMMARY

分光器の掃引には分単位の時間がかかるため、レーザーのモードが同時に発生しているかを観測できる分光器はこれまで存在しない。多モードレーザーを用いたTHz波の発生方法では、縦モード間の光ビートを用いており、モードが同時発生していないとTHz波が発生しないため、同時性はTHz波発生に対し必須のものであることを利用し、THz波発生を高速の分光器として用いて、モードを観測し、レーザーカオスでの同時性を明確にする。図1に示すシステムを構築し、レーザーカオス光とCWレーザーの光ビートの安定性を比較したところ、カオス光の場合は、常に光ビートが安定であることが明確になった。この装置は、将来、THz波の高分解能検出器としても利用できる。半導体レーザーはCD-R用のものを利用しており、100円程度である。小型軽量で可搬型の受信機が構築可能である。また、超小型衛星にも搭載可能であり、低電力であるため、宇通開発にも最適なシステムが構築できるようになる。

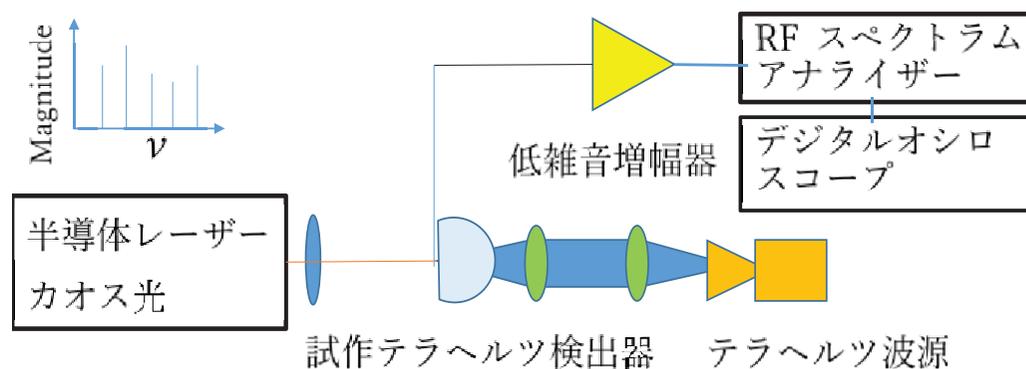


図1 THz局部発振機を用いたモード状況観測の実験系

相変化材料を利用したテラヘルツ波デバイスの開発

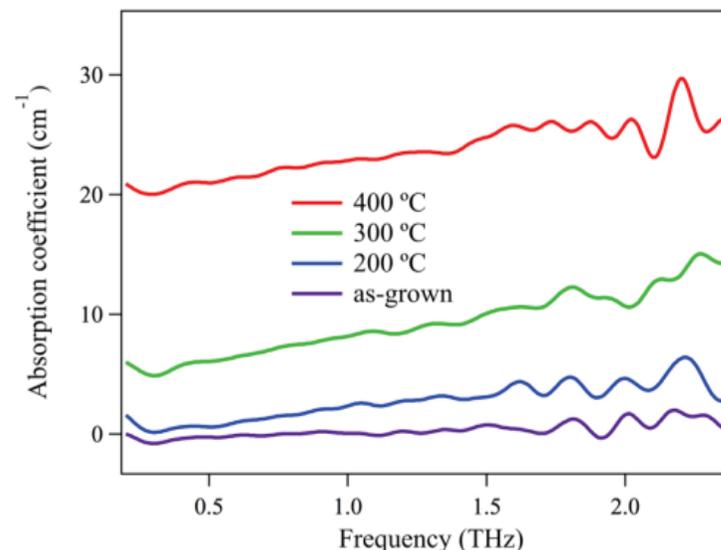
牧野孝太郎¹, Mag-usara ValynnKatrine², 中野隆志¹, 中嶋誠²

1) 産業技術総合研究所 デバイス技術研究部門 2) 大阪大学 レーザー科学研究所

SUMMARY

Ge-Sb-Te相変化材料はアモルファス-結晶相変化に伴って電氣的・光学的性質が大きく変化するため、市販のメモリデバイスに用いられている。我々はテラヘルツ波帯の電磁波に対しても相変化特性が大きな変化をもたらすと見込み、テラヘルツ波工学デバイス応用に向けた研究を行っている。これまで、テラヘルツ波時間領域分光法により結晶性に依存してGe₂Sb₂Te₅ (GST)合金の光学定数が大きく変化する事が明らかとなった。図(a)に示すように、アモルファス相のGSTはおおよそ透明であるのに対して、アニールし結晶化させたものはアニール温度によって吸収を示すようになる事が確かめられた。この性質を応用することで、図(b)に示すようなプログラマブルなテラヘルツ波工学デバイスが実現できると期待できる。より適切な材料を見出すため第一原理計算に基づく材料設計を行っているほか、デバイス応用を見据え、相変化膜の任意の位置の相変化制御を行う方法の開発を行っている。

(a)



(b)

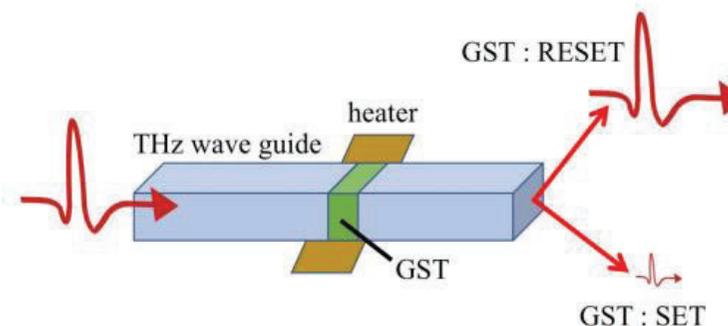


FIG. 室温で測定したGST相変化薄膜の吸収スペクトル(a)と、相変化特性を利用したテラヘルツ波強度変調デバイス応用の一例。結晶性をスイッチすることで光スイッチ動作が実現できると見込まれる。

フレキシブルな基板上での金属有機構造体の成膜

李 相錫¹, 馬場 達也¹, 松永 忠雄¹, 中嶋 誠²

1) 鳥取大学工学部, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

様々な金属イオンとそれらを連結する架橋性の有機配位子を組み合わせることで骨格間に無数のナノメートルサイズの細孔が存在する結晶性の高分子である金属有機構造体(Metal Organic Frameworks ; MOF)は、センサなどへの応用が期待されている。本研究では、MOF薄膜をフレキシブルな基板上に得るための成膜方法と条件の確立を行った。その結果、フレキシブルなCu薄膜付きポリイミド基板上に厚さ3 μ mのMOF薄膜の成長ができた。フレキシブルな基板上でのMOF薄膜形成は報告例がなく、今後のセンサなどのデバイスへの応用に大きく寄与できると考える。

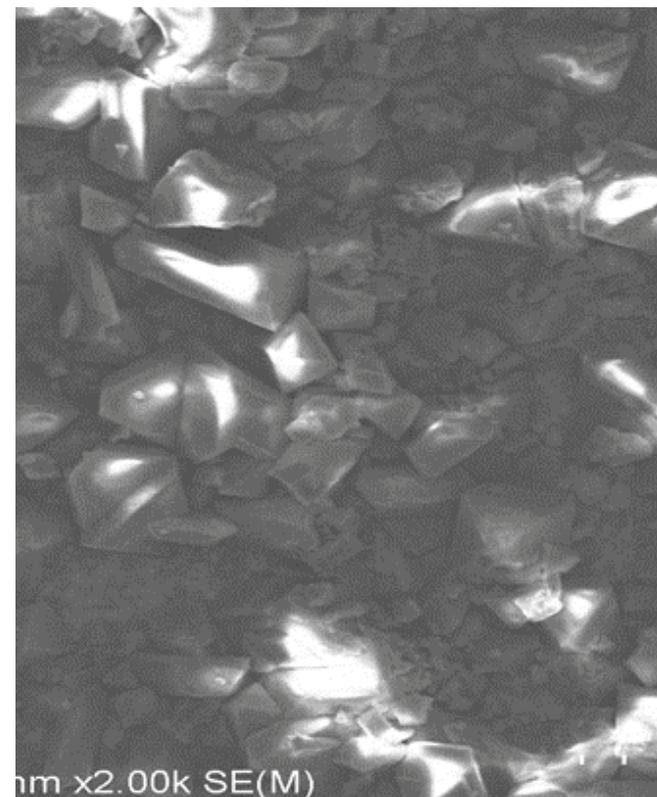


FIG. フレキシブルなCu薄膜付きポリイミド基板上に成長された金属有機構造体 (Metal Organic Frameworks; MOF)のSEM像。

ピコ秒電子バンチから放射されるTHz帯スミス・パーセル放射光源の開発

浅川 誠¹, 鐵川 憧英¹, 中嶋 誠²

1) 関西大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

本年度はピコ秒電子バンチを生成する光電子銃およびデータ収集システムの高度化を進めた。光電子励起レーザーパワーと電子の加速電圧の調整、およびそれに伴う電子バンチ電気量と電子バンチ電流密度分布の変化をシステム開発ソフトウェアLabVIEWによって統合的に行うようにした。

これに加え、光電子励起レーザーのアライメントのために、Googleが開発し一般配布しているAIライブラリであるTensorflow2を用いて光軸調整を行うシステムを開発した。このシステムの制御系は全てPython言語で書かれており、今後LabVIEWと統合される予定である。

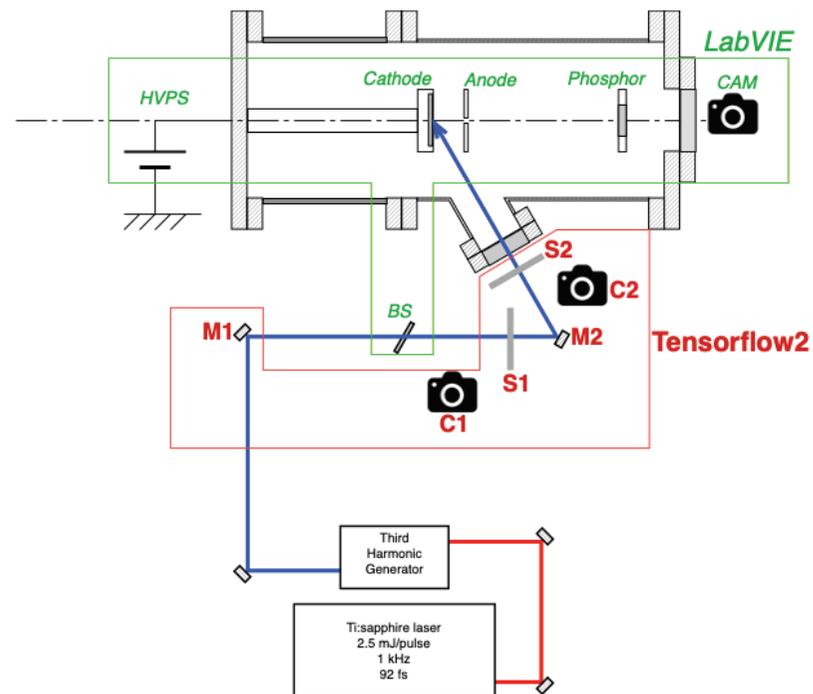


FIG. ps電子バンチを発生する光電子銃. *BS*の角度によって光電子励起レーザーパワーを、*HVPS*によって加速電圧を調整する。*Cathode*、*Anode*、*Phosphor*に到達する電気量および*Phosphor*の発光像の変化を測定する。調整と測定はLabVIEWによって行う。*S1*、*S2*でのレーザースポットの位置を*C1*、*C2*で撮影し、その座標データから*M1*、*M2*の角度をTensorflow2によって決める。

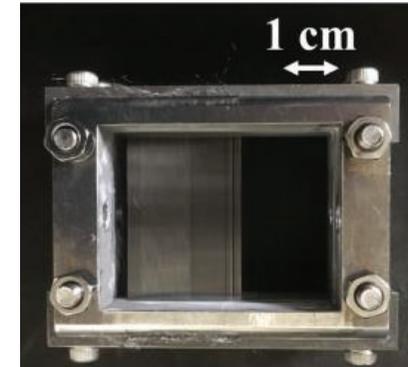
サブ10 μm 径ワイヤーによる広帯域ワイヤーグリッド偏光子の作製

菜嶋茂喜¹

1) 大阪市立大学

まとめ

8 μm 径ワイヤーを用いた広帯域ワイヤーグリッド (WG) を作製した。フェムト秒レーザー加工機を用いて、フレームに谷構造を施した事により、接着剤を用いたワイヤーの固定化の際における毛細管現象の影響を抑制することに成功した。是に伴い、ワイヤー間隔は設計値 (16 μm) $\pm 20\%$ の範囲に約70%が分布する精度を得た。また、2つのWGを二重化の効果を得られる距離まで近接させることにも成功した。作製したWGの消光性能は、10%台の透過損失に抑えた上で、2 THzまでにおいて 10^{-7} 台の消光比を示し、 10^{-4} 以下の消光比の帯域は8 THzに達することが電磁界計算よりわかった。この成果は、他の競合研究と比べて1桁以上の消光性能の違いを示す結果である。



ワイヤーグリッド	ワイヤー径/間隔 a/d	1 THzにおける		2 THzにおける	
		消光比	損失	消光比	損失
本研究室で作製した 二重WG	20/40 μm	2.8×10^{-7}	22%	1.6×10^{-6}	18%
本研究で作製した 二重WG	8/16 μm	9.6×10^{-8}	6.5%	5.4×10^{-7}	16%
金属スリットを アレー状に配列 ^[2]	20/70 μm 厚み 2 mm	4.8×10^{-6}	15.6%	6.9×10^{-6}	22.1%
ポリイミド基板内に Alグリッドを積層 ^[3]	7 μm /10 μm $l = 8 \mu\text{m}$	3.2×10^{-7}	18%	1.6×10^{-6}	40%

[2] T. Suzuki, et al., Opt Lett 41, 2 (2016). [3] H. mao, et al., IEEE JPHOT 8, 1 (2016).

図. 8 μm 径ワイヤーを用いて作製したWGの光学写真。
表. 作製した8 μm 径ワイヤーのWGの消光比と透過損失、および、競合研究との比較結果。

火山灰の低コスト高安定CW-THz波による分光

栗島史欣¹, 中嶋誠², 川上由紀³, 谷正彦⁴, 原口雅宣⁵, 森川治⁶, 栗原一嘉⁴

1) 福井工業大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所, 3) 福井工業高専, 4) 福井大学, 5) 徳島大学, 6) 海上保安大学校

SUMMARY

これまで、THz波分光装置は、フェムト秒レーザーによるTHzパルスや、高安定な2台の単一モードレーザーによるCW分光が主流である。いずれもレーザー装置そのもので、数100万円以上と高価である。我々は、これまで、市販の半導体レーザー（数百円）を用いたTHz波の発生および検出、カオス光における光ビートの安定性の実証を行ってきた。今回、THz時間領域分光法の実験系を構築し、本手法を用いたTHz分光を行う。対象としては火山灰を用いた。その結果空気よりも透過率の高い周波数が見いだせた。安価で、小型軽量なTHz分光装置による分光の可能となれば、これまでTHz分光の普及を妨げていた価格の問題が、解決され、THz分光が普及する。多くのTHz分光が行われ、データベースも構築され、スペクトルから物質の同定も可能となる。1 THz 以下は散乱が少ないことから錆の内部の検査も可能となる。また、分光を通して、カオス光によるTHz波の安定性も実証できる。

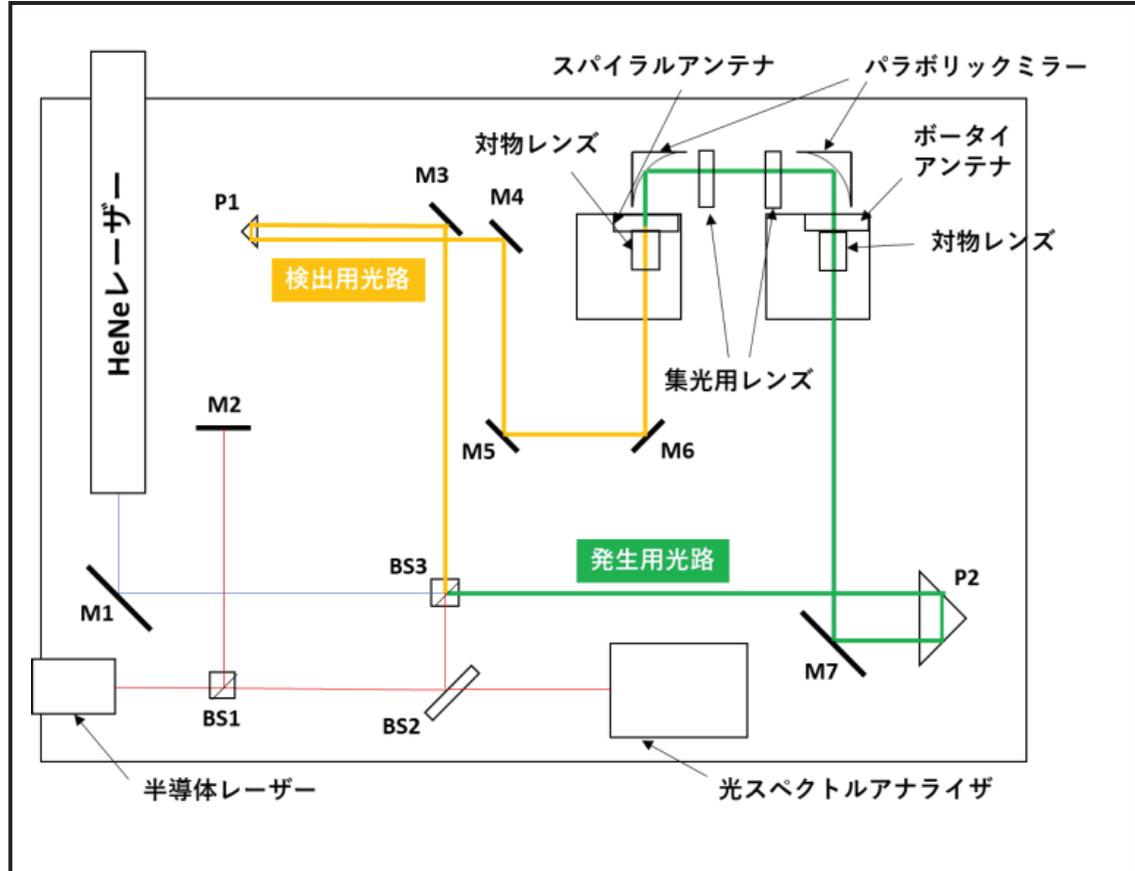


図1 レーザーカオス光を用いた低コストTHz-TDSの実験系

Ca同位体分離のための狭線幅・高出力青紫色半導体レーザーシステムの開発

吉田実¹, 河仲準二², 時田茂樹², 奥田弘礼¹

1)近畿大学 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

レーザー同位体分離により⁴⁸Caを濃縮するレーザーシステムとして、注入同期された多ビーム半導体レーザーアレイが有望だと考えられる。そのシステムの波長安定化と高出力化を目指して、青紫色半導体レーザーの注入同期およびPound-Drever-Hall法による安定化を試みた。得られたレーザー光のスペクトルを図に示す。注入同期が成功するとレーザーの波長が安定し、スペクトル密度の向上が確認できた。Pound-Drever-Hall法を用いるとエラー信号が正の時、負の時は同期せずにスペクトルが不安定であることを確認した。今後は長波長あるいは短波長側のずれに対応するエラー信号をフィードバックすることで波長の安定化を試みる。

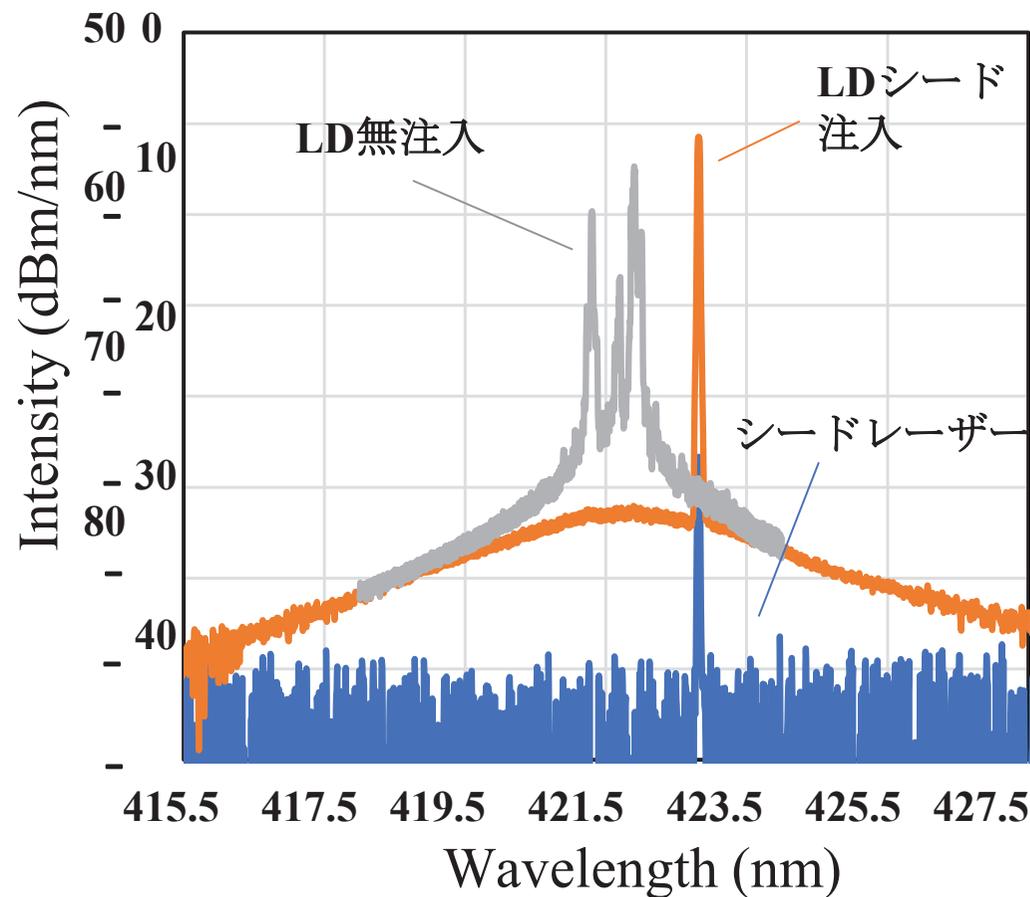


FIG. 青紫色半導体レーザーの注入同期特性

LFEXレーザーシステムの高性能化 —増幅システムの動特性解析に関する研究—

金邊 忠¹, 河仲 準二²

1) 福井大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

大出力ガラスレーザーは非線形屈折率が無視できず、非線形光学効果(B係数)により光学ノイズが成長してしまう。非線形光学効果を考慮したシミュレーションコードの開発と解析を行った。実際の光学媒質の光学ノイズ源を模擬するために、Cleanness Factor F を定義した。光学ノイズ源の配置と大きさを乱数によって決定し模擬を行った。Cleanness Factorを用いてSpatial filterの光学ノイズと非線形光学効果に対するノイズ除去の解析を行った。ピンホール径、B係数、 F によるレーザー波面に対する影響を解析した。本研究では動特性計算を含んだシミュレーションコードの開発により、核融合炉用レーザーの動特性解析を行った。

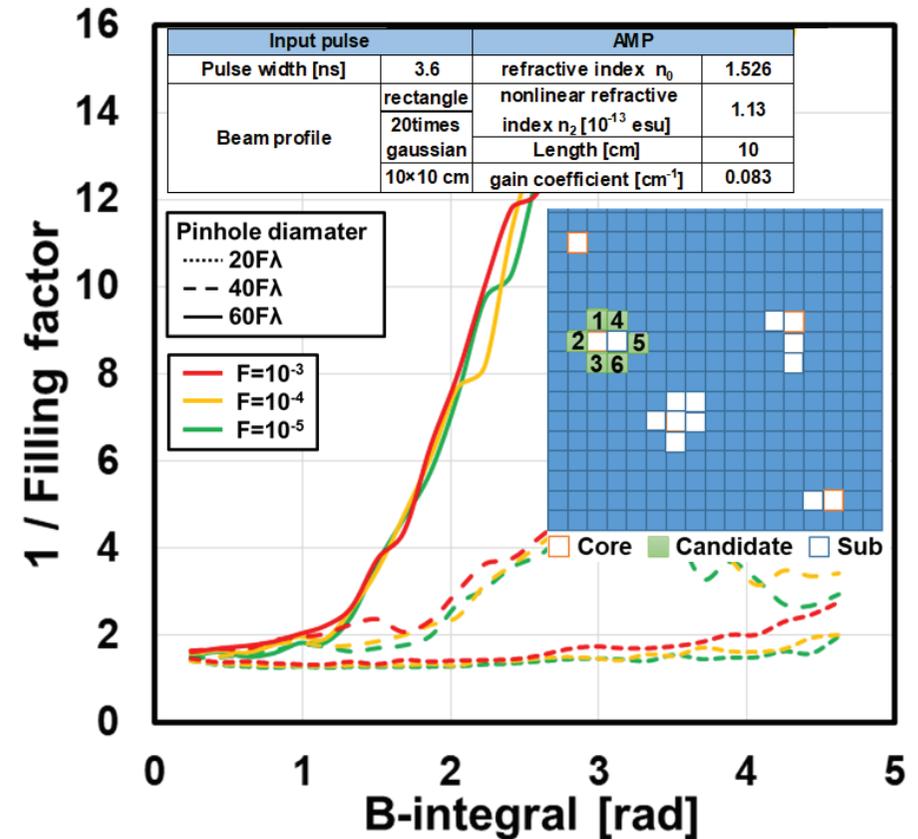


FIG. 光学ノイズ源模擬プログラムCleanness FactorとSpatial filterによる光学系のノイズ除去性能

DPSS可視光パルスレーザー装置の開発

井上 峻介¹、有川安信²

¹京都大学化学研究所、²大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

固体レーザーによる発生が難しかった可視光黄色波長589 nmのレーザー開発を行なっている。これまでパルス幅100 μ sでパルスエネルギー1mJ、繰り返し50Hzのレーザーが実現していた。2020年度はパルス幅を短くしピークパワーを上げるための研究を行った。FIG1に実験装置写真を示す。非常に小型の装置で589nm波長のレーザーが発生できるようになっている。Nd:YAG結晶に、ダイオードレーザー808nmレーザーを用いて励起している。Nd:YAGから1064nmと1332nmをダブル発振させ、KTP結晶により和周波をとって589nmを発生させている。FIG2に示すように励起パルスを2段構造にして、第一パルスはパルス幅500 μ sとし、発振閾値以下のパルスにすることでNd:YAGにエネルギーを蓄積し、急峻な第二パルスにより急激に発振させている。パルス幅が短くピークパワーを高めることができる。今後さらに励起レーザーを大強度にアップグレードしパルスパワーを高める。その際に電源と半導体スイッチの強化も必要となる。2021年度も研究を継続する。

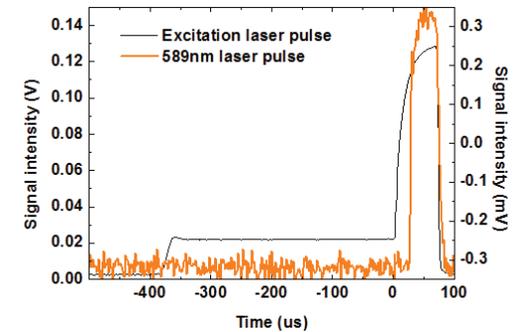
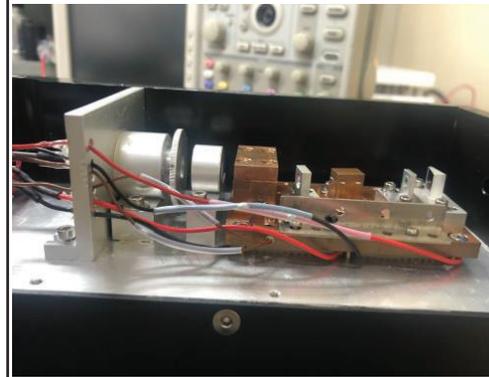


FIG1(左). 波長589 nmのDPSSレーザー装置の写真。589nm（黄色）のレーザー発振に成功した。FIG2（右）パルス幅を短くしピークパワーを上げるために、励起パルスを2段形状にし、第一パルスは589nmの発振閾値以下にし、レーザー媒質にエネルギー蓄積をし、第二パルスで急激に発振させて短いパルス幅で強度の高いレーザー発振を実現している。黒線は励起パルスの形状で、オレンジ色が589nmのパルス波形を示している。この手法でパルス幅4 μ sまで縮めることに成功し目標に到達した。エネルギーはまだ1/10であるため引き続き研究を継続する。

正常分散モード同期レーザーの高利得化及び共振器内部の高非線形材料を用いた出力の安定化

芦澤浩¹, 前田隼哉¹, 青柳祐宇¹, 柴田真志¹, HAN QIYAO¹, 川嶋俊輝¹, 川戸栄², 河仲準二³

1) 福井大学工学研究科, 2) 福井大学学術研究院工学系部門, 3) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

高利得化と高非線形材料を用いた正常分散モード同期レーザーに関して、高速可飽和吸収体のパラメータがパルスの安定性にどのような影響を与えるかを明らかにした。解析により、可飽和損失 s_0 と飽和パワー P_{SA} の条件によって収束する二次分散の傾向が異なることが分かった。

s_0 が大きく、 P_{SA} が小さい条件では0分散から一定の正常分散まで安定していたことから、実験を行う際に、分散がない状態で安定するパラメータを発見してから徐々に分散を増やしていくことが可能となる。これにより、正常分散モード同期レーザーの設計が容易となる。

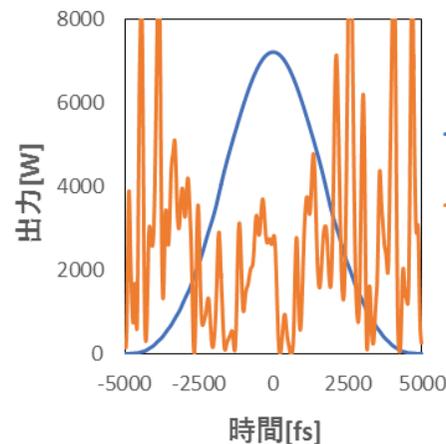


図1. $s_0 = 1$ 、 $P_{SA} = 1\text{kW}$ でのパルス波形

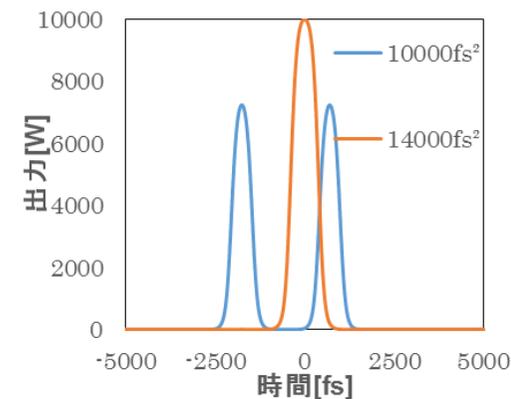


図2. $s_0 = 0.5$ 、 $P_{SA} = 10\text{kW}$ でのパルス波形

図1から s_0 を大きくすると、二次分散がある値よりも小さいときに収束し、大きいときに発散することがわかった。分散が0の条件でも波形が収束した。

図2から P_{SA} を大きくすると、二次分散がある値よりも大きいときに収束し、小さいときに発散することがわかった。

青色励起が連続波チタンサファイアレーザーの効率に及ぼす影響の定量化

川嶋 俊輝¹、柴田真志¹ 前田隼哉¹、青柳祐宇¹、HAN QIYAO¹、芦澤 浩¹、
川戸 栄²、河仲 準二³

1) 福井大学工学研究科 2) 福井大学学術研究院工学系部門 3) レーザー科学研究所

SUMMARY

チタンサファイアレーザーでは緑色励起に比べて青色励起の効率は約半分であることが分かっている。青色励起の効率低下原因としてこれまで励起誘起損失やResidual absorptionなどが指摘されているがまだ明らかにされておらず、これらの影響を取り入れた解析はされていない。そこで本研究では青色励起がチタンサファイアレーザーの効率に及ぼす影響を取り入れ定量的に理論解析を行った。解析の結果、Residual absorptionにより光光変換効率が大きく低下することが分かる。表1の条件を最適化し入出力を取った結果が図1で、最大励起での効率は8.18%だった。最高効率である11.1%を超えることはできなかった。この原因としては励起波長による影響が大きいからだと考えられる。今後は青色半導体レーザー励起連続波チタンサファイアレーザーの高効率化を行っていきたい。

	光-光変換効率 (Residual absorption あり)	光-光変換効率(Residual absorption なし)
Li=4%	6.1%	14.5%
Li=5%	5.2%	12.3%
Li=6%	4.1%	10.6%

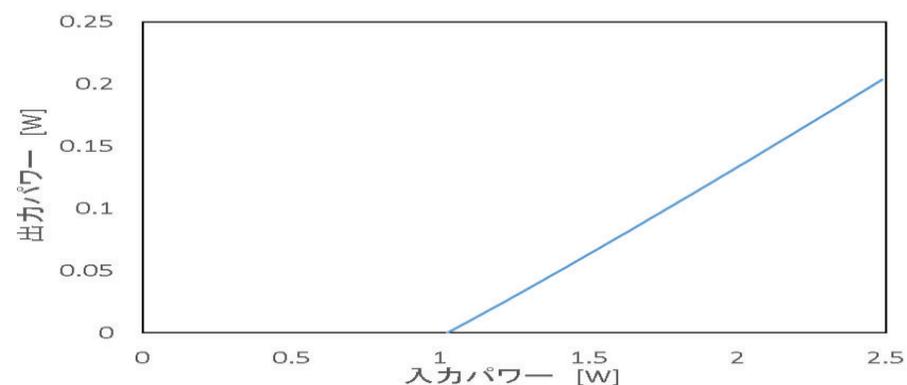


表1 2018年の励起条件での光光変換効率

図1 入出力特性(Li=4%)

中性子線ガラスシンチレータの特性改良に関する開発研究

村田 貴広

熊本大学 大学院先端科学研究部

SUMMARY

本共同研究では Pr^{3+} をドープする新規なマトリクスガラスを独自の組成設計指針に基づいて開発し、高速応答と高輝度を兼ね備えた高性能中性子線計測用ガラスシンチレータ材料の開発を目的としている。本年度は、新たに開発した $\text{LCG}:\text{Pr}^{3+}$ ガラスについて、PL特性に及ぼす励起波長依存性について調査を行なった。その結果、 LCG ガラスのマトリクス効果により Pr^{3+} の $4f^15d^1$ 準位を制御することで200 nmの短波長で励起してもほぼ $4f^15d^1$ 準位からの蛍光のみとすることに成功した。今後、 $\text{LCG}:\text{Pr}^{3+}$ ガラスについてシンチレーション特性評価を中心に共同研究を継続して取り組む計画である。本研究で開発する高性能中性子線ガラスシンチレータは、核融合研究にとどまらず、国内外を問わず極めてニーズが高い分野において安全・安心な社会を支える基盤技術となるとともに、利用分野も広範囲に渡るので高い経済波及効果も期待できる。

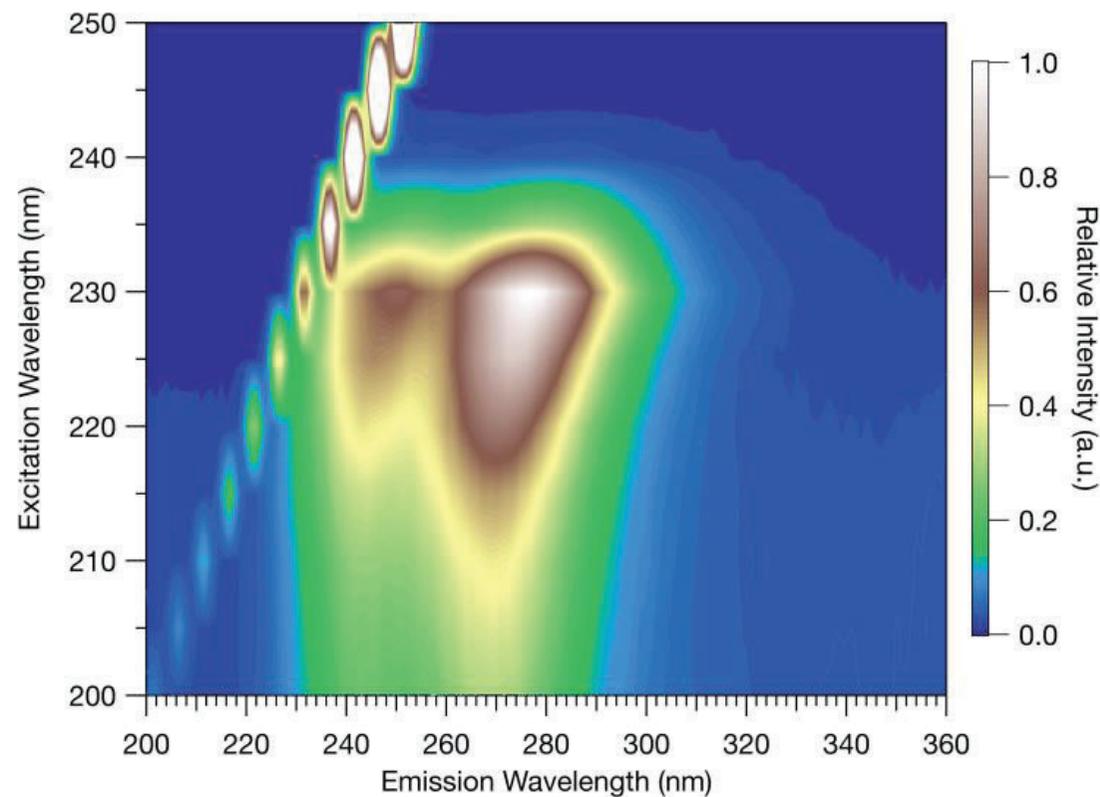


FIG. Photoluminescence excitation-emission matrix of $\text{LCG}:\text{Pr}^{3+}$ glass.

Optimizing Praseodymium and Cerium co-doping in APLF glasses for improved neutron scintillator applications

M. Cadatal-Raduban^{1,2}, M. J. F. Empizo², N. Sarukura² and K. Yamanoi²

1) Massey University, New Zealand, 2) Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan

SUMMARY

The optical properties of 20Al(PO₃)₃-80LiF (APLF80) glass co-doped with praseodymium (Pr³⁺) and cerium (Ce³⁺) ions were evaluated by photoluminescence spectroscopies. By co-doping the APLF80 glass host with Pr³⁺ and Ce³⁺ ions (APLF80+PrCe), the luminescence decay time of the 263-nm allowed electric dipole 5d→4f transition of singly-doped APLF80+Pr under optical excitation is improved. Experimental results suggest that APLF80+PrCe has an interesting emission process with radiative and non-radiative energy transfers. Non-radiative energy transfer leads to Pr³⁺ luminescence quenching, resulting to faster decay times, especially at high Ce³⁺-doping concentrations. Our results present exciting prospects for improved down-scattered-neutron detection in fast-ignition laser fusion as the scintillation decay times from both Pr³⁺- and Ce³⁺-doped APLF glasses are significantly faster than conventional glass scintillators.

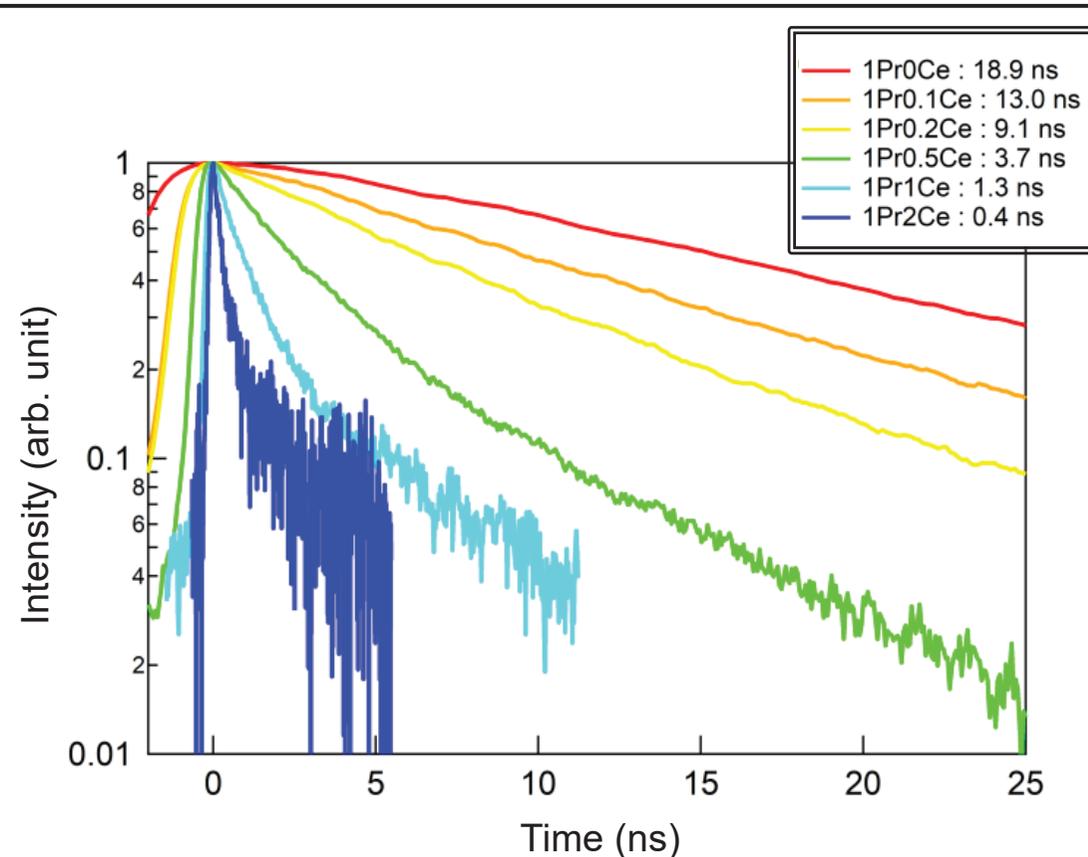


FIG. Co-doped APLF80+PrCe has a fast luminescence decay time for its 263-nm Pr³⁺ emission due to non-radiative energy transfer from Pr³⁺ to Ce³⁺ and luminescence quenching especially at high Ce³⁺ concentrations.

Femtosecond pulsed laser deposition and characterization of CeO₂ thin films

J. De Mesa¹, A. Rillera¹, M. J. Empizo², R. Sarmago¹, N. Sarukura², and W. Garcia¹

1) *National Institute of Physics, University of Philippines Diliman, Diliman, Quezon City 1101, Philippines*

2) *Institute of Laser Engineering, Osaka University, 2-6 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan*

SUMMARY

We have successfully deposited cerium (IV) oxide (CeO₂) films on silicon (Si) substrates using our femtosecond pulsed laser deposition (fs-PLD) setup. This setup was equipped with a Ti:sapphire laser system with a pulse energy of 8 nJ and repetition rate of 80 MHz. Depositing with oxygen (O₂) background gas results in a stoichiometric film with an amorphous structure. Post-heat treatment in a static air environment improves the film crystallinity but can likewise alter the film stoichiometry. Further investigations on the effects of different deposition parameters on the film properties are then expected in the future toward the design and development of photocatalytic converters based on fs-PLD-grown CeO₂ thin films.

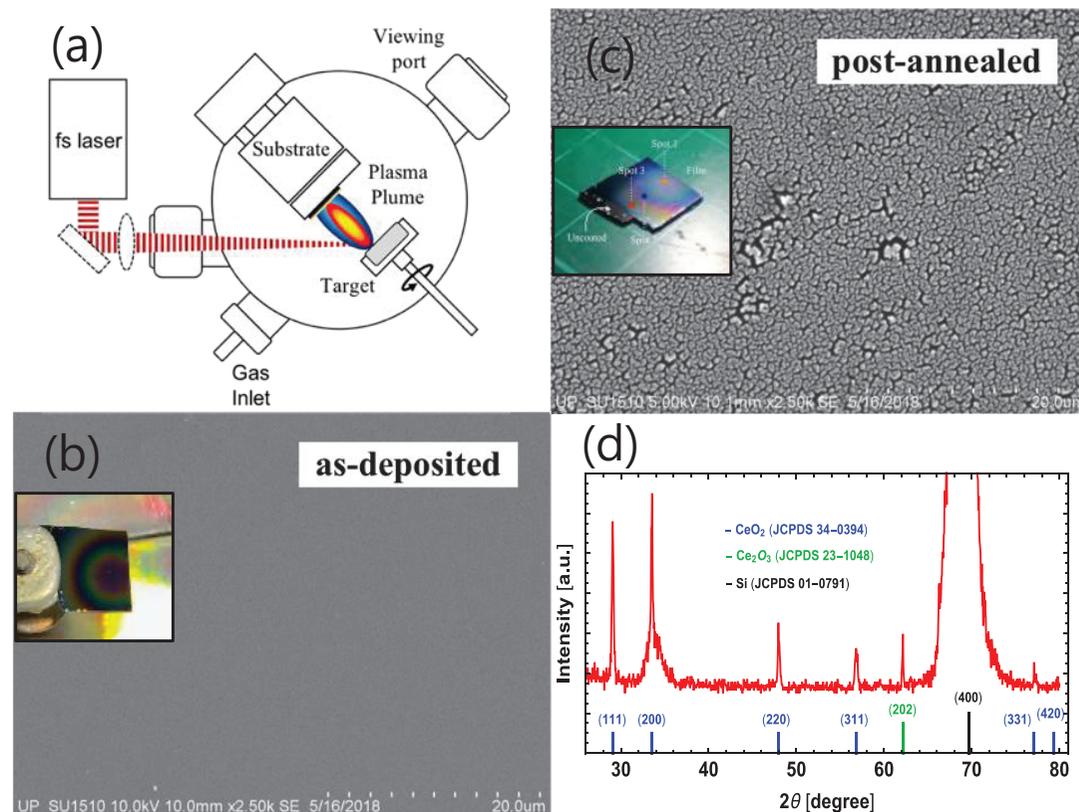


FIG 1. (a) Schematic diagram of the fs-PLD setup used to deposit the (b) CeO₂ thin film. After post-annealing in air, the (c) CeO₂ thin film exhibits an (d) XRD spectra with peaks corresponding to cubic fluorite CeO₂.

Vertically aligned zinc oxide-polymer composites as optical materials with improved UV luminescence

R.V. Sarmago^{1,2}, N. Sarukura¹, M.J.F. Empizo¹, V.C. Agulto¹, K.A. Salazar²

1) Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan, 2) National Institute of Physics, University of the Philippines Diliman, Philippines

SUMMARY

We developed metal oxide-polymer nanocomposites consisting of vertically aligned zinc oxide (ZnO) nanorods and different polymer films. The photoluminescence properties of the nanocomposites were investigated under different excitation power densities. We observed the amplification of the ultraviolet (UV) emission of the ZnO nanorods after incorporating a polymer layer on top. The results suggest that the excitation threshold for amplified spontaneous emission is reduced by the presence of the polymer film, which can be explained by an enhanced optical confinement. As a result, the ZnO-polymer nanocomposites exhibit sharp and intense UV emission. In this regard, the ZnO-polymer nanocomposites could be developed as low-threshold UV light sources that can be used in different applications, e.g., biomedical imaging, displays, and optical data storage.

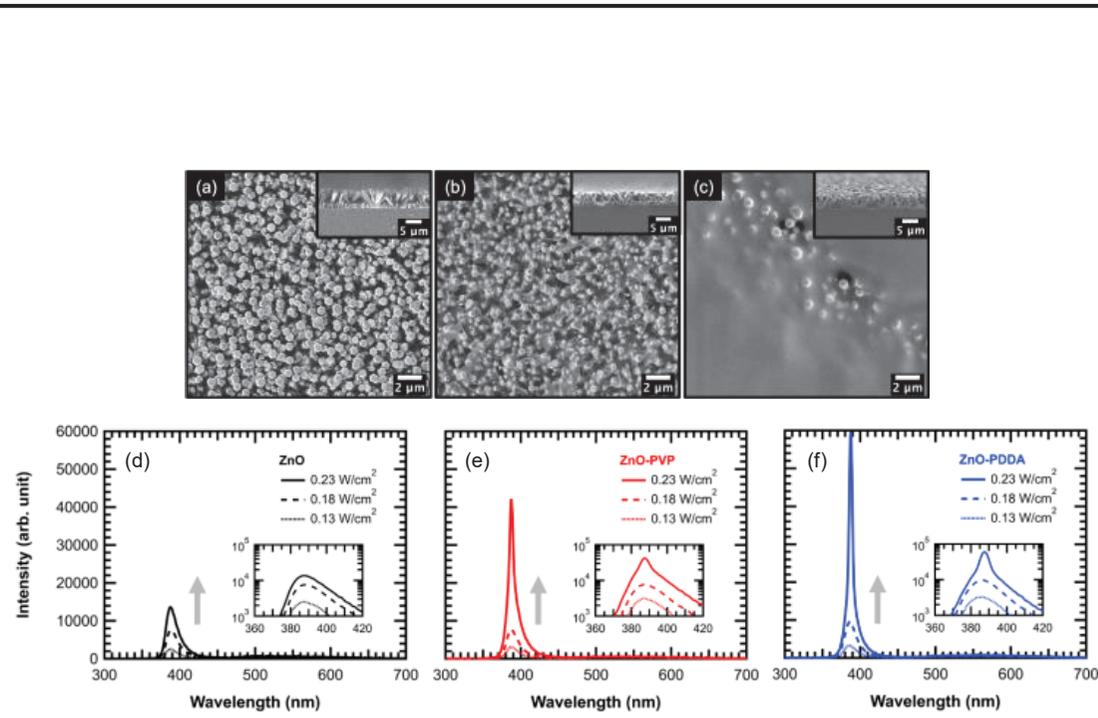


FIG. Scanning electron micrographs (a, b, c) and photoluminescence spectra (d, e, f) of ZnO nanorods without polymer, with polyvinylpyrrolidone (PVP), and with polydiallyldimethylammonium chloride (PDDA), respectively.

Investigations of hydrogen adsorption on gallium nitride surfaces: A density functional theory study

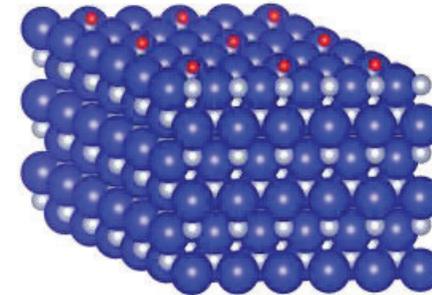
MJF Empizo¹, JS Gueriba¹, N Sarukura¹, DB Putungan² and AB Santos-Putungan²

¹) *Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan*

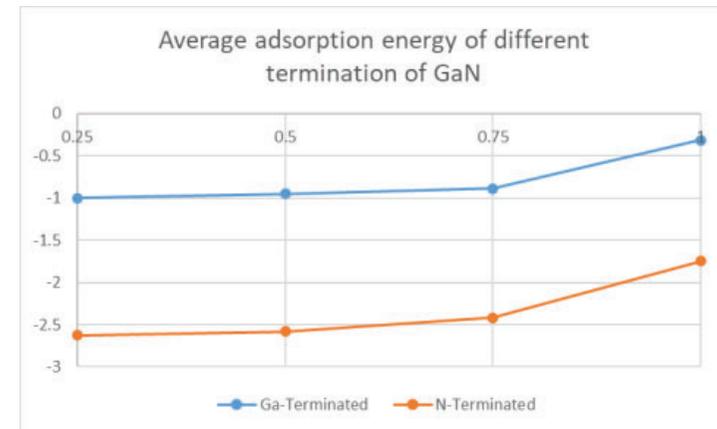
²) *Institute of Mathematical Sciences and Physics, University of the Philippines Los Baños, Philippines*

SUMMARY

GaN (001) polar surfaces with N and Ga terminations were studied using first principles calculations. For both terminations, less average H adsorption energy was observed as the H coverage increases with 1 ML having the least average adsorption energy. It was also found that the N-terminated GaN (100) surface is the more stable compared to the Ga-terminated surface. H adsorption was found to be stronger at 0.25 ML coverage for the N-terminated surface, and the N-terminated surface appears to interact strongly with hydrogen with stable adsorption energy even at full H coverage. The changes in the average adsorption energy is more dramatic implying that the N-terminated surface is more sensitive to H adsorption and that it is more interesting in the investigations of H and GaN (001) interactions.



(a)



(b)

FIG. 1 (a) Optimized configuration of the N-terminated GaN (100) surface with 0.25 ML adsorbed H and (b) average adsorption energies of adsorbed H at different coverages on both Ga- and N-terminated GaN (001) surfaces.

Radiation-assisted ZnO nanostructure fabrication and its optical properties

Girly Eunice P. Lopez¹, Vallerie Ann Samson¹, Cheri Dingle¹, Jordan F. Madrid¹ and Neil Raymund D. Guillermo¹,
Keito Shinohara², Melvin John Empizo², and Nobuhiko Sarukura²

1) *Philippine Nuclear Research Institute, Commonwealth Avenue, Diliman, Quezon City, Philippines*

2) *Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan*

SUMMARY

Zinc oxide (ZnO) is a rather interesting material for radiation dosimetry and detection. Its luminescent property is due to its electronic and crystalline structure which is known to be strongly influenced by the preparation method and the presence of impurities. Among all the techniques available, the radiation method is not widely studied. The motivation for the use of radiation to prepare nanostructures of ZnO is because it is a low-cost and environmentally friendly technique for the synthesis of metal or semiconductor nanostructures and the synthesis can be conducted at ambient pressure and temperature.

Following entirely the procedure of Hu et al., (2005) did not produce a white powder nor a colloidal solution after gamma irradiation, contrary to their observations, which signifies the absence of ZnO. The difference in the result might be related to the metal precursor used in the experiment. Experiments to improve the procedure are currently being explored and performed.

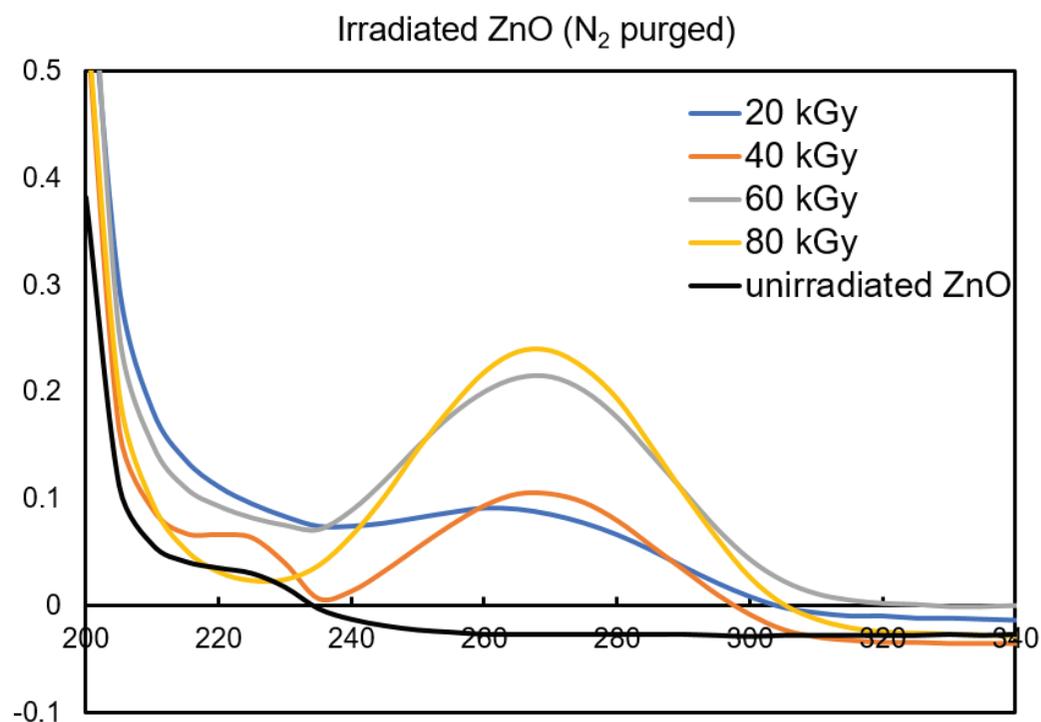


FIG 1. In the present result, the UV-Vis absorbance distinct from the presence of ZnO around 340-370 nm is absent from all samples. The peak at ~270 nm may be due to other zinc complex formed in the solution upon reaction with the radiolytic species present after irradiation.

次世代高機能光ファイバデバイスの開発とその応用

藤本 靖

千葉工業大学

SUMMARY

We constructed a CW fiber laser using a 40-mm-long Nd^{3+} heavily doped silica glass single-mode fiber (Nd-SMF). Its core glass was fabricated by the zeolite method, and its Nd_2O_3 doped density was measured as 1.25 wt.%. Nd-SMF also demonstrated laser oscillation. The laser power reached 19.7 mW and its slope efficiency and laser threshold were 14.6% and 22.0 mW, respectively. Such a short single-mode fiber will help us easily make a high repetition rate over GHz and a compact oscillator with adequate saturable absorbers. An Nd-SMF laser has the potential to achieve laser miniaturization and high repetitive pulsed oscillation.

Work:

“Short-length CW laser of Nd^{3+} heavily doped single-mode silica glass fiber fabricated by zeolite method”, Y. Yamasakia, T. Hiraishi Y. Kagebayashia, K. Fujioka, Y. Fujimoto
Optics Communications, vol. 475 (2020) 126270.

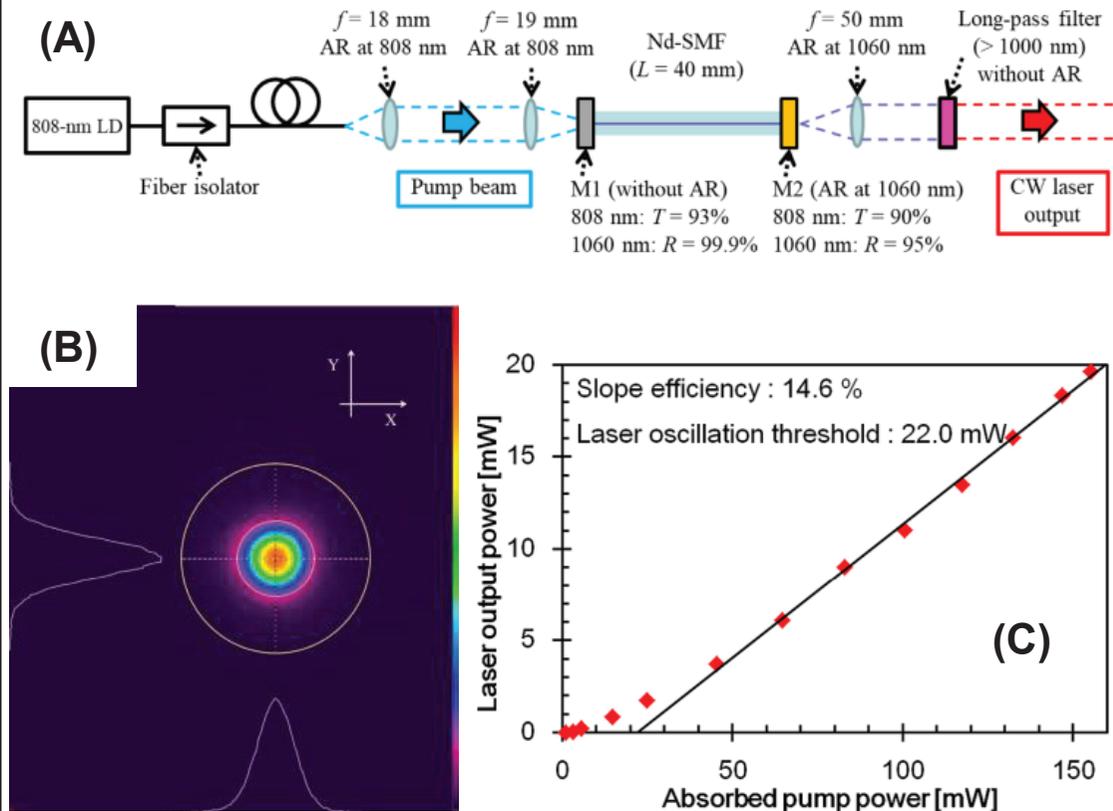


FIG. ((A) Experimental setup of Nd-SMF laser oscillation, (B) Fluorescent beam profile image of Nd-SMF output, the beam quality factor is $M^2=1.0$, (C) Input-output characteristics of Nd-SMF laser)

Lateral displacement effects on the optical transmission properties of stacked metallic sub-wavelength slit-array systems

Y. Tokuda^{1,2}, K. Sakaguchi¹, S. Watanabe¹, M. Nakajima²

1) Okayama Prefectural University, Japan, 2) Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan

SUMMARY

Metallic slit-array slabs act like dielectrics when the incident wavelength is longer than the slit interval. However, their stacked structures do not always exhibit optical properties equivalent to conventional dielectric multilayers. This work investigated the lateral displacement dependence on the characteristics of the Fabry–Perot-like waveguide resonance modes of two-tier systems. Simulation studies clarified the behavior of the resonance modes and the physical mechanism underpinning the transmission disappearance by the lateral displacement. Furthermore, we determined that the critical frequency, f_c , above which the even-order modes exhibit blue-shifts with increases in the air-gap spacing, can be predicted using an equation including the lateral displacement. The geometrically-tunable optical characteristics are expected to promote the future applications of artificial dielectrics operating in low-frequency optical regions.

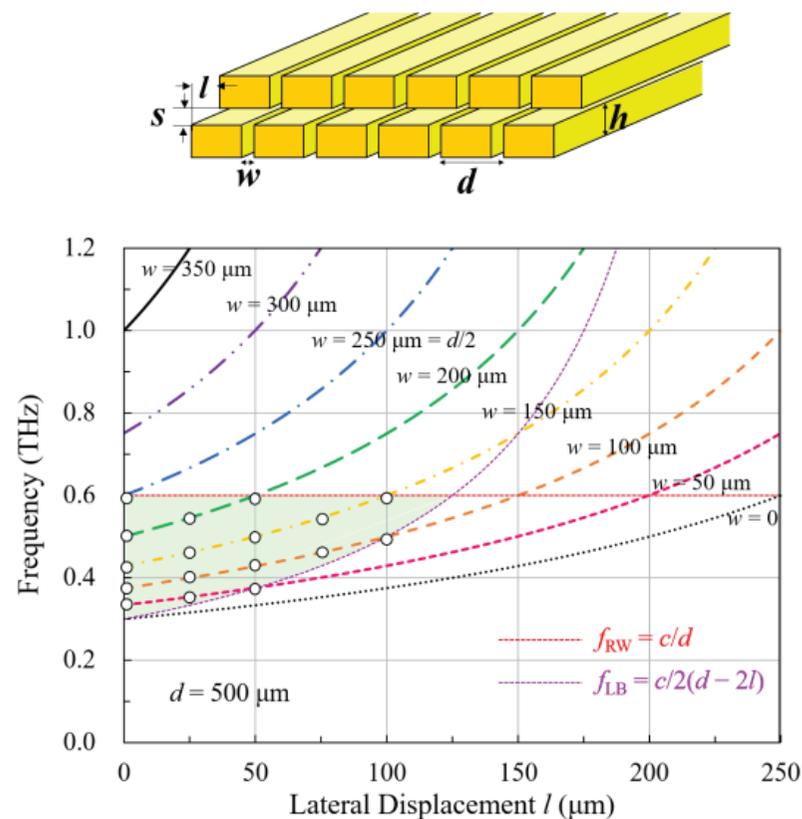


FIG. A schematic illustration of the two-tier metallic slit-array structure and the critical frequencies, f_c , shown for various slit widths, w , as functions of the lateral displacement, l . The f_c can actually be found only in the region colored yellow-green.

Tunable dual wavelength and narrow linewidth laser using a single solid-state gain medium in a double Littman resonator

Pham Hong Minh^{1,2}, K. Yamanoi² and N. Sarukura²

1) *Institute of Physics, VAST*, 2) *Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan*

SUMMARY

A scheme for generating two tunable narrow linewidth laser emissions simultaneously using a double Littman resonator configuration with a single laser gain medium and minimal optical components was proposed. The scheme was tested in the UV region using a Ce:LiCAF crystal as laser gain medium by solving the rate equations extended to multiple wavelengths of a system of two homogeneously broadened singlet states. Our results show that a wide tuning range of about 37 nm, from 278 to 315 nm with a peak emission at around 288.500 nm, is possible. By using a grating inside the resonator, a very narrow linewidth of about 2 pm for both emission wavelengths could be achieved. The tuning range of the Ce:LiCAF laser in combination with the very narrow linewidth fits perfectly the requirements for measuring the concentration of pollutant O₃ and SO₂ gases in the atmosphere using DIAL, where no other existing laser system could achieve.

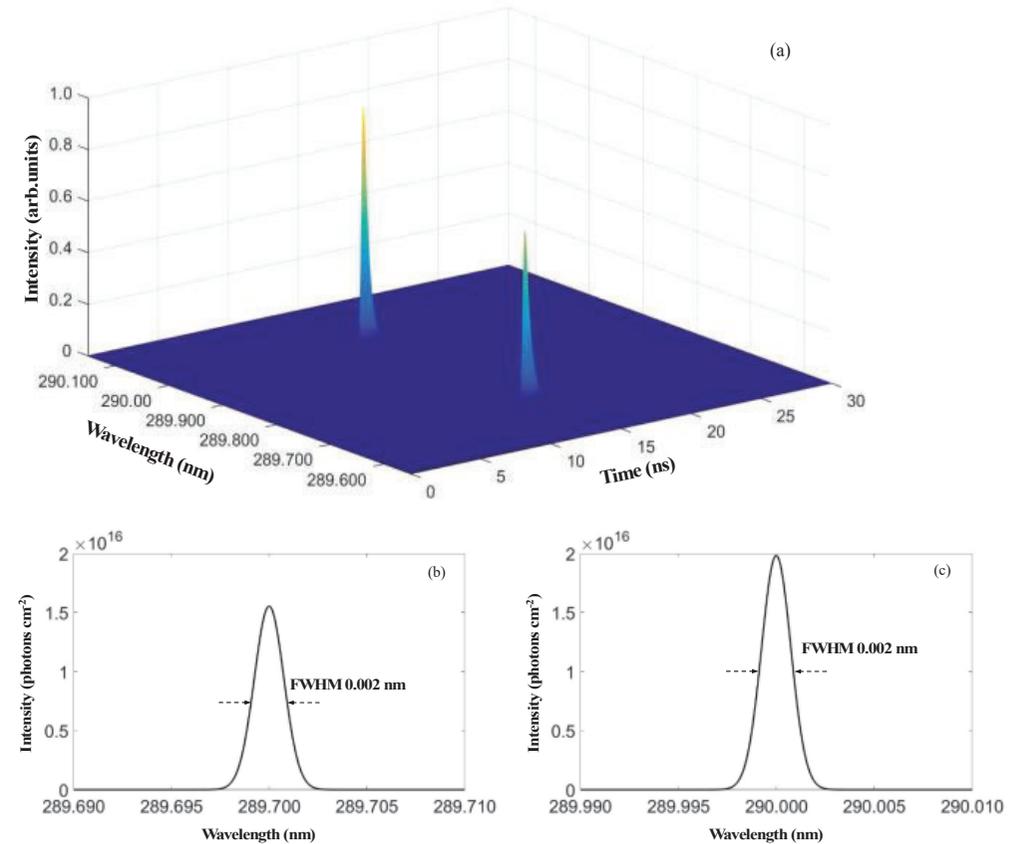


FIG. Three-dimensional spectral and temporal profiles of the two emission wavelengths from a double Littman resonator. Spectral profile of the two emission wavelengths. The linewidth of both emissions is 2 pm.

高強度レーザーを用いた高機能性有機結晶創成法の開発

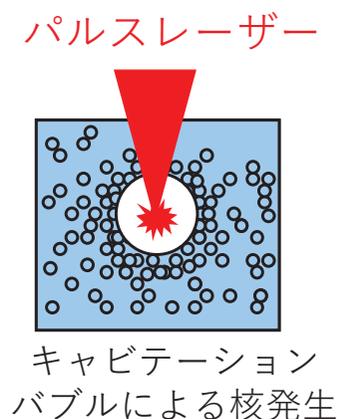
吉川 洋史^{1,2,3}

1) 埼玉大学大学院理工学研究科 2) 大阪大学レーザー科学研究所 3) 大阪大学大学院理工学研究科

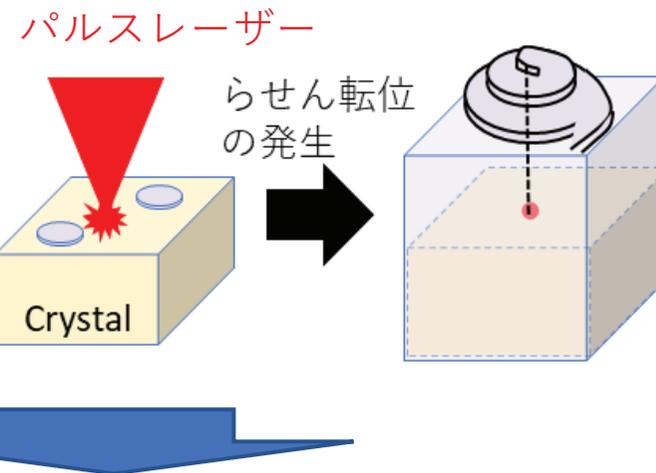
SUMMARY

本研究の目的は、高強度レーザーによる結晶化制御法を用いて、高機能を有する医薬品や電気光学素子の結晶を創製することにある。本年度は、レーザーアブレーション技術を用いて様々な有機材料の結晶核発生や結晶成長を制御する研究を進めた。その結果、レーザーのパルス時間幅によって結晶核発生の確率が大きく変化すること、レーザーアブレーションにより渦巻き成長を発生させることで有機電気光学結晶の成長を促進できることなどを見出した。一部成果は既に論文として投稿し、現在査読中である。

①核発生制御



②結晶成長制御



自発的に得られない形状・サイズを有する機能性結晶（電気光学結晶など）の創製

FIG. パルスレーザーによる結晶化（核発生・結晶成長）の制御法の原理

新奇層状複合アニオン化合物を母材とした新規蛍光体の開発

岩佐祐希¹⁾、山ノ井航平²⁾、荻野拓¹⁾

1) 産業技術総合研究所, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

複数のアニオンを含んだ無機化合物である、複合アニオン化合物を母材とした新規蛍光体開発を行った。特異な配位環境を持つ新物質である $\text{Ba}_3\text{Y}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$ に対し、Euを添加したサンプルの蛍光特性の評価を行った。右図のように紫外線励起により赤色発光を示した。このサンプルでは Eu^{3+} の磁気双極子遷移と電気双極子遷移が同時に観測された。これは、対照的な酸素配位を持ちながら、塩素の非対称的な配位の特徴を反映していることが分かった。この蛍光体は70%を超える高い量子収率を示し、赤色蛍光体としての活用が期待される。

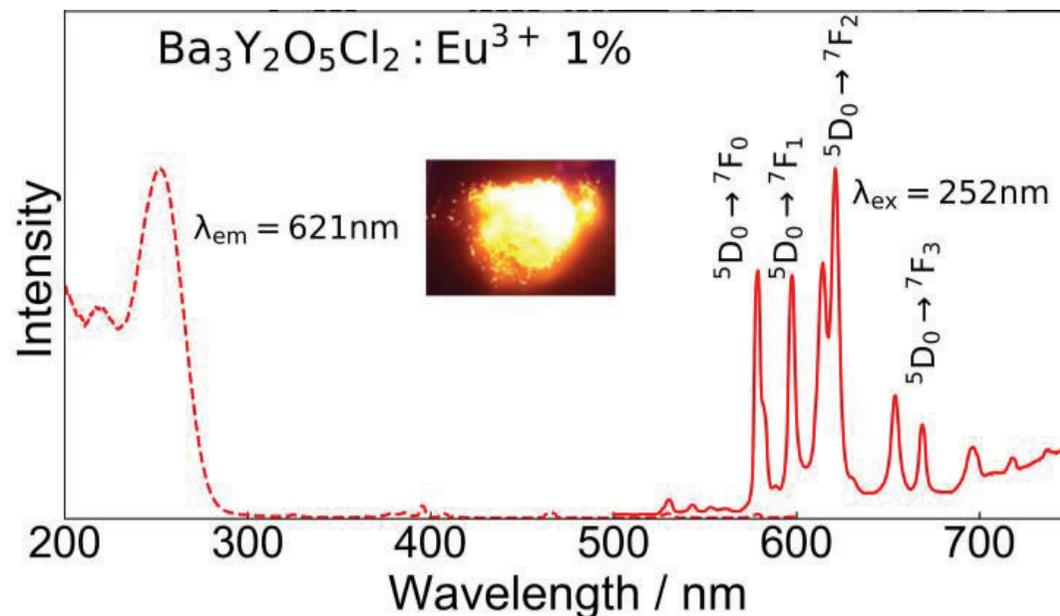


FIG. $\text{Ba}_3\text{Y}_2\text{O}_5\text{Cl}_2:\text{Eu}$ の励起・発光スペクトル

複合アニオン化合物を用いた励起子発光材料の開発

荻野 拓¹, 岩佐祐希¹, 本郷研太², 前園涼², 山ノ井航平³, 清水俊彦³, 猿倉信彦³

1) 産業技術総合研究所, 2) 北陸先端科学技術大学院大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

アニオン種が同一化合物中に複数含まれる「複合アニオン化合物」は、特異な配位構造や結晶構造を持ち、新材料を生み出すプラットフォームとして注目を集めている。一方、これらは一般に多元系であり、複数の相が生成しうる場合、いずれの相が生成するかは自明ではない。

今回我々は、特に近い構造を持つ $\text{Sr}_3\text{Sc}_2\text{Ag}_2\text{Se}_2\text{O}_5$ 及び $\text{Sr}_2\text{Sc}_2\text{AgSeO}_3$ について、DFT計算による安定相の予測を試みた。右図のように、組成を合わせた上で生成エンタルピーを比較したところ、 $\text{Sr}_2\text{Sc}_2\text{AgSeO}_3$ が最安定相との結果が得られた。この結果は、計算科学により複合アニオン化合物の生成相を予測可能なことを意味しており、今後実験的に検証していく予定である。

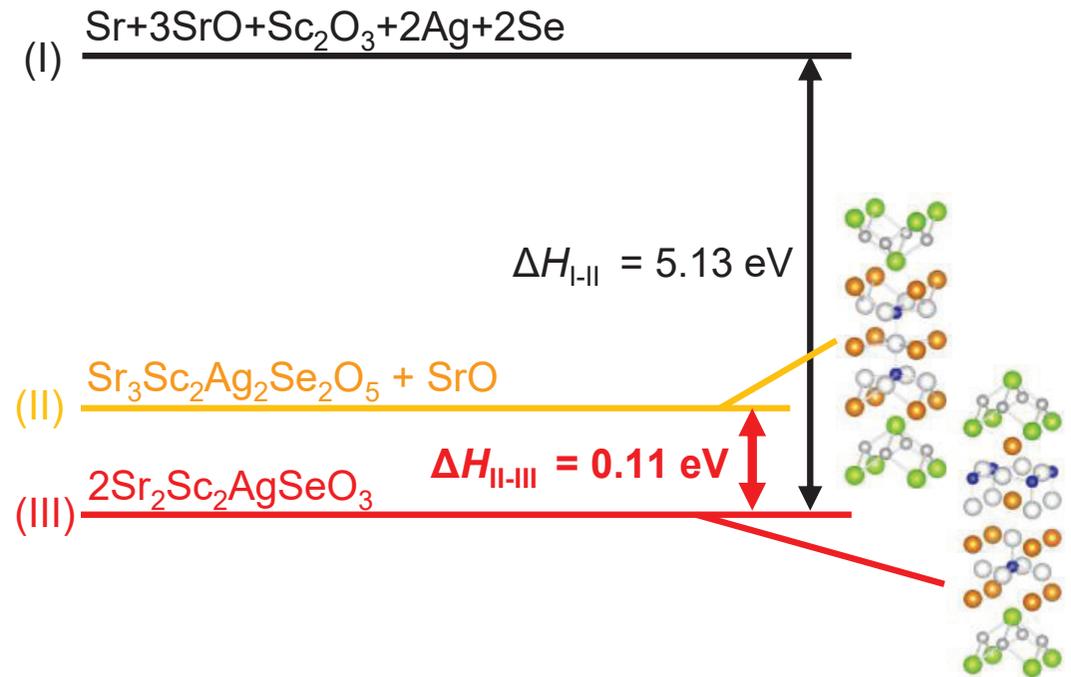


Fig. 出発原料、 $\text{Sr}_3\text{Sc}_2\text{Ag}_2\text{Se}_2\text{O}_5$ 及び $\text{Sr}_2\text{Sc}_2\text{AgSeO}_3$ それぞれの生成エネルギー計算値。組成を合わせるため適宜 SrO等の生成エンタルピー等を加えている。

混晶化したNd:CaF₂透明セラミックス材料の開発

中野人志¹, 藤岡加奈²

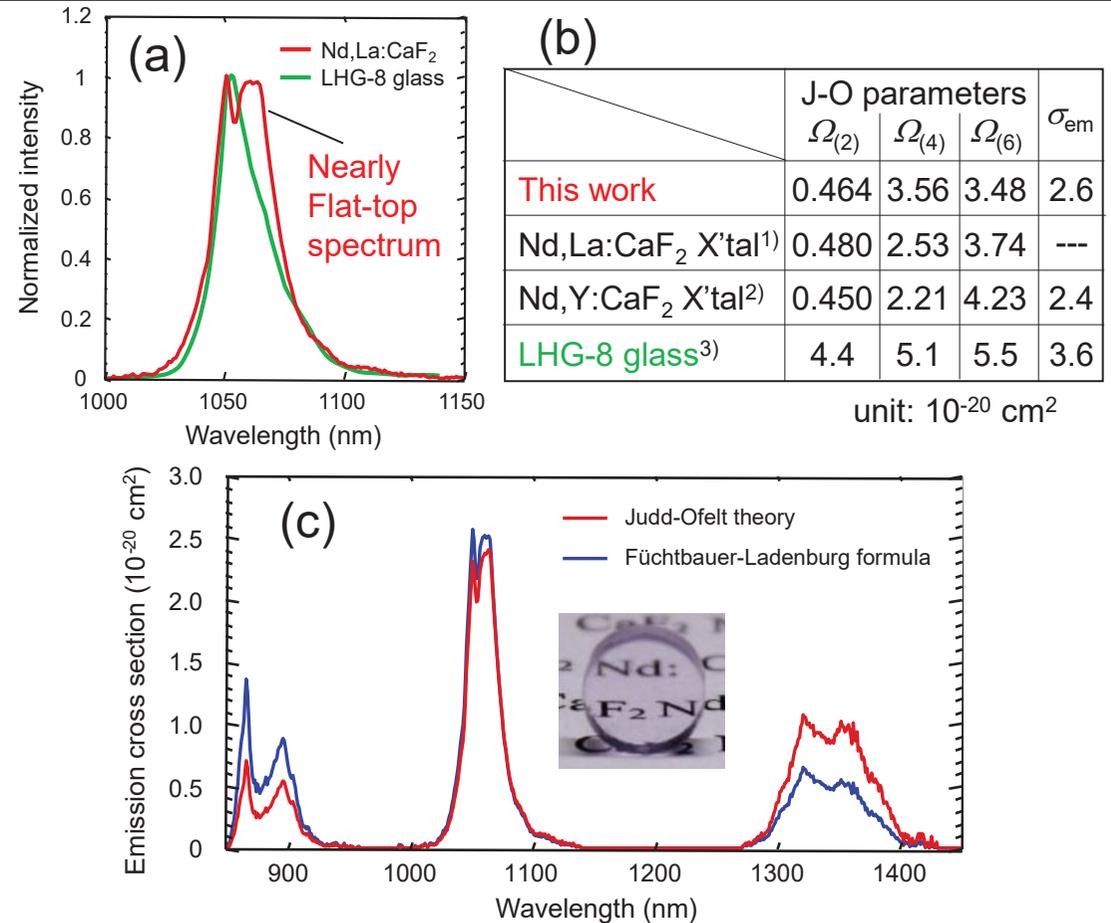
¹近畿大学工学部, ²大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

Nd,La:CaF₂透明セラミックスは、広帯域・高繰り返しレーザー媒質として期待されており、阪大レーザー研では、一括合成したNd_xLa_yCa_{1-x-y}F_{2+x+y}粉体を用いることで、焼結セラミックスの透明化に成功している。本研究では、このセラミックスの吸収・蛍光スペクトルから誘導放出断面積スペクトルを評価し、CaF₂結晶及びリン酸ガラス母材(LHG-8)に関する文献(1~3)と比較するとともに、Nd,La:CaF₂透明セラミックスがLD励起超高強度レーザーに適した材料であることを明らかにした。

データ比較した文献

- 1) S. A. Payne, *et al.*, J. Opt. Soc. Am. B, **8**, 726 (1991).
- 2) D. Jiang, *et al.*, Cryst. Eng. Comm., **17**, 7398 (2015).
- 3) P. R. Ehrmann and J. H. Campbell, J. Am. Ceram. Soc. **85**, 1061 (2002).



Figure/Table (a) LHG-8との蛍光スペクトル比較, (b) Judd-Ofelt 強度パラメータ及びピーク誘導放出断面積 (σ_{em}) の文献値との比較, (c) 誘導放出断面積スペクトル。

ホウ酸系非線形光学結晶の高品質・大型化

森勇介¹, 吉村政志²

1) 大阪大学大学院工学研究科, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

非線形光学結晶CsLiB₆O₁₀ (CLBO) の大型化を進め、重量1.5kgの超大型結晶を実現した。深紫外光波長変換特性として、大阪大学、スペクトロニクス(株)と三菱電機(株)との共同研究によって波長266nm、平均出力10Wのピコ秒パルス深紫外光を発生し、5000時間以上の連続動作に世界で初めて成功した[Opt. Lett. Vol.45, 2351 (2020)]。また、大型結晶からは、緑色光用第2高調波発生素子としてCLBO結晶では世界最大の70mm角断面の超大型素子を作製した。

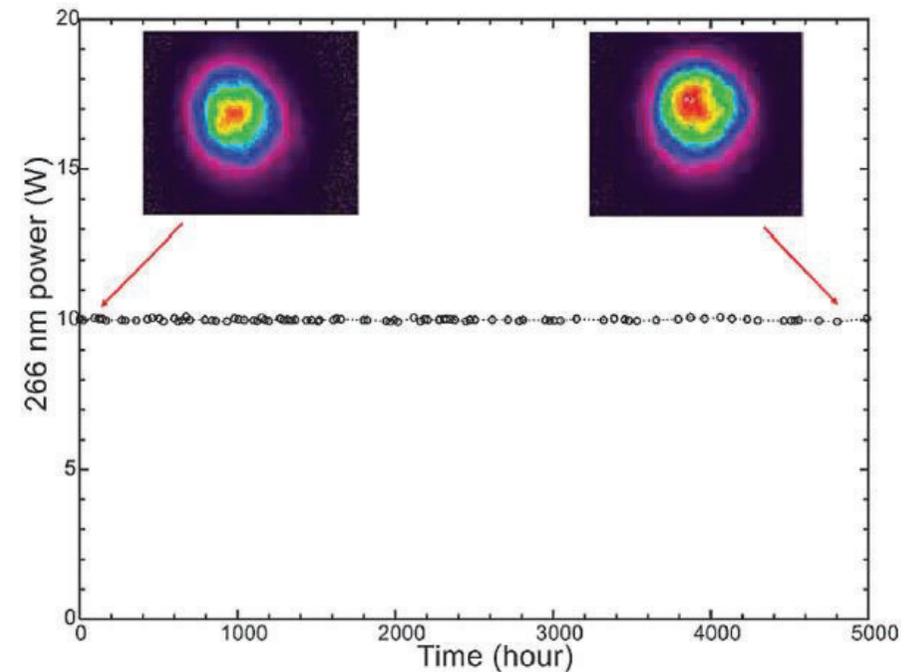


FIG. 波長266nm、平均出力10Wの5000時間連続運転結果。挿入図は試験開始時と終了時の空間ビームパターンを示す。Opt. Lett. Vol.45, 2351 (2020)より引用。

透光性セラミックスシンチレータの創製

黒澤俊介¹, 藤岡加奈²

1) 東北大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

放射線検出素子であるシンチレータやレーザー素子といった発光体には長らく単結晶が利用されてきた。しかし、単結晶材料では必然的に生じる発光賦活剤などの添加材の偏析に伴う結晶不均一性が、発光特性に影響を及ぼす点が指摘されてきた。そこでわれわれは、透光性セラミックスに注目した。特にHfを含む酸化物は原子番号が大きいために、高いガンマ線の検出効率が期待できるが、その融点が高いため、単結晶合成は簡単ではなく、セラミックス合成が有利である。われわれは、セラミックス合成とその評価を、大阪大学・東北大学共同で行った。その結果、FIGのように、直線透過率で数%程度の透明度を持つHf酸化物（Ce添加SrHfO₃）の合成に成功し、当該方法・材料として最高の透過率を達成した。また、目標となる発光量も達成できた。

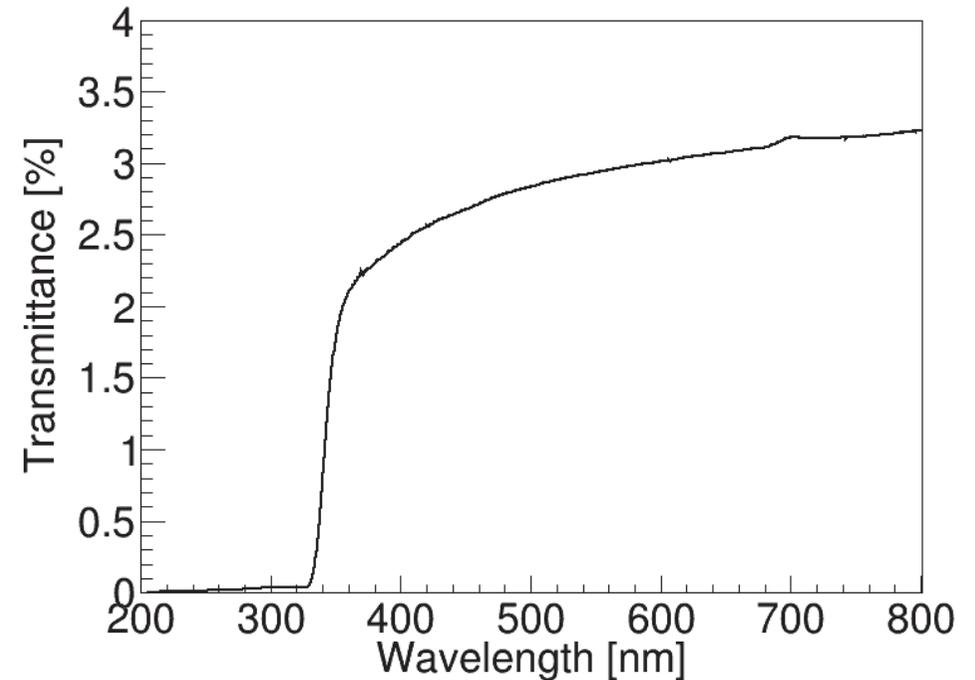


FIG. 大阪大学で合成したCe添加SrHfO₃の直線透過率スペクトル

高輝度高速赤色・近赤外発光体の探索

山路晃広¹, 小玉翔平¹, 倉嶋佑太郎¹, 黒澤俊介¹, 藤岡加奈²

1) 東北大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

放射線の入射による電離現象で発光するシンチレータは、元来、紫外線～緑色発光の材料が主であり、その発光量は頭打ちの状態であった。無機物シンチレータではバンド構造が形成され、バンドギャップエネルギーと発光量は反比例関係にある。われわれは、発光量の増大を目指して、よりバンドギャップエネルギーが小さくても消光しない（伝導帯と発光中心の励起準位が被らない）よう、赤色発光の全く新しい材料の開発を共同で進めている。今年度は、そのパイロットタイプとなる材料について、マイクロ引き下げ法と呼ばれる結晶育成方法で探索した（FIG）。そして、透明な単結晶部分を得ることができ、600 nm以上の長波長発光体の合成に成功した。

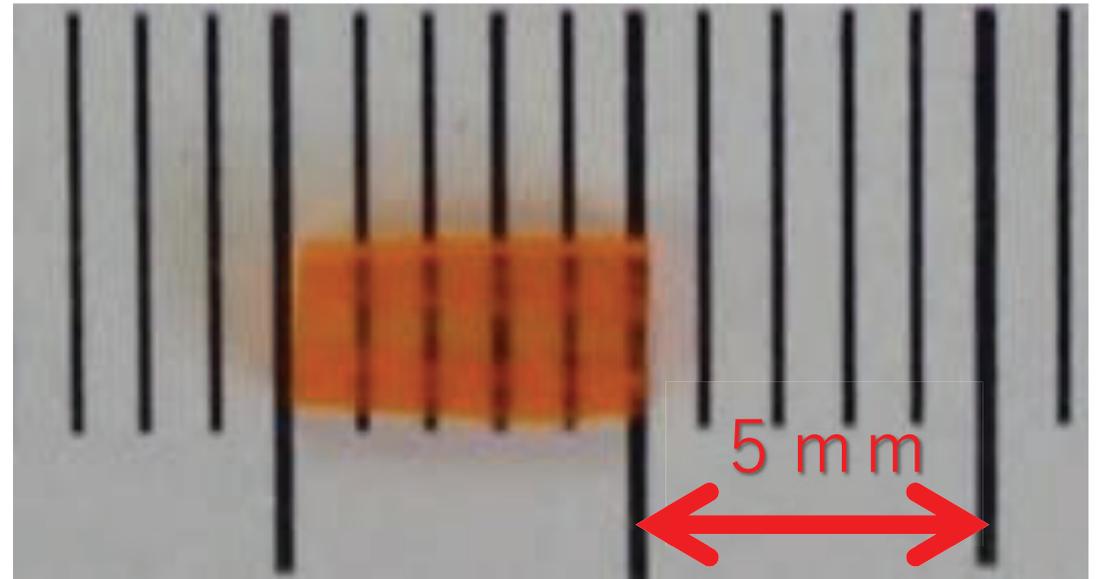


FIG. 開発中の赤色発光シンチレータの写真

高エネルギー密度科学のシミュレーションとデータビリティに関する研究会

開催日時：2021年3月18日（木）9：50～17：00、開催場所：オンライン（zoom使用）

研究会代表：長友英夫（大阪大学レーザー科学研究所）

研究会概要： レーザーを用いた高エネルギー密度科学に関するシミュレーション研究者が一堂に会し、情報交換が行える場を設けることによって、シミュレーション、およびデータ研究の活性化を図ることを目的とした。特に、関連研究者との情報共有、シミュレーションコード共同開発、コード共用、データビリティに関する幅広い課題に対し、様々な可能性を議論する場を設ける。共同研究への発展も視野に入れ、将来的な研究成果に結びつけることを目指した。

具体的には、比較的長い時間のレーザープラズマ相互作用の物理機構の解明、TNSAによるイオン加速の予測の定量化の試み、高密度中の電子熱拡散による加熱プロセス、強磁場中の加熱効率の向上など、高エネルギー密度領域の数値解析研究に関する報告が多くなされた。一方で、比較的低温領域でもプラズマ化のプロセスのシミュレーションの難しさも議論された。さらに、レーザープラズマ実験とシミュレーションのデータ同化については、計測が介在するため原子過程物理も重要な要素になってくる。今後はこれに情報科学を介した取り組みが必要になると予想される。

岩田夏弥	大阪大学	長時間相対論的レーザープラズマ相互作用とイオン加速
高木悠司*	大阪大学	重回帰分析を用いたTNSAによるイオン加速エネルギー予測式の導出
古河裕之	レーザー総研	超短パルスレーザーと金属の相互作用の理論的研究
東直樹**	大阪大学	相対論的ピコ秒レーザーによる固体プラズマの熱拡散的加熱
城崎知至	広島大学	高密度・強磁場中の高速電子輸送
松川敏徳*	大阪大学	簡易フォッカープランク方程式M1モデルによる高速電子熱流束解法
杉本 馨**	大阪大学	高強度レーザーを用いた重金属薄膜加熱における硬X線輻射の影響
佐々木明	量研機構関西	スズから重元素の多価イオンのEUVスペクトルの起源
瀬戸慧大	ELI-NP	非線形コンプトン散乱の偏光依存性
畑昌育	大阪大学	強磁場中のホイッスラー波伝播におけるパルス長制限
長友英夫	大阪大学	シミュレーションと実験のデータ同化

表：研究会発表氏名・題目一覧 このうち、大学院生は4名（*前期課程2名、**後期課程2名）であった。その他、聴講者9名（広島大3名、大阪大2名、核融合研、岡山大学、産総研、原研敦賀各1名）、計20名であった。

超短パルスレーザー加工の統合シミュレーションコードの開発

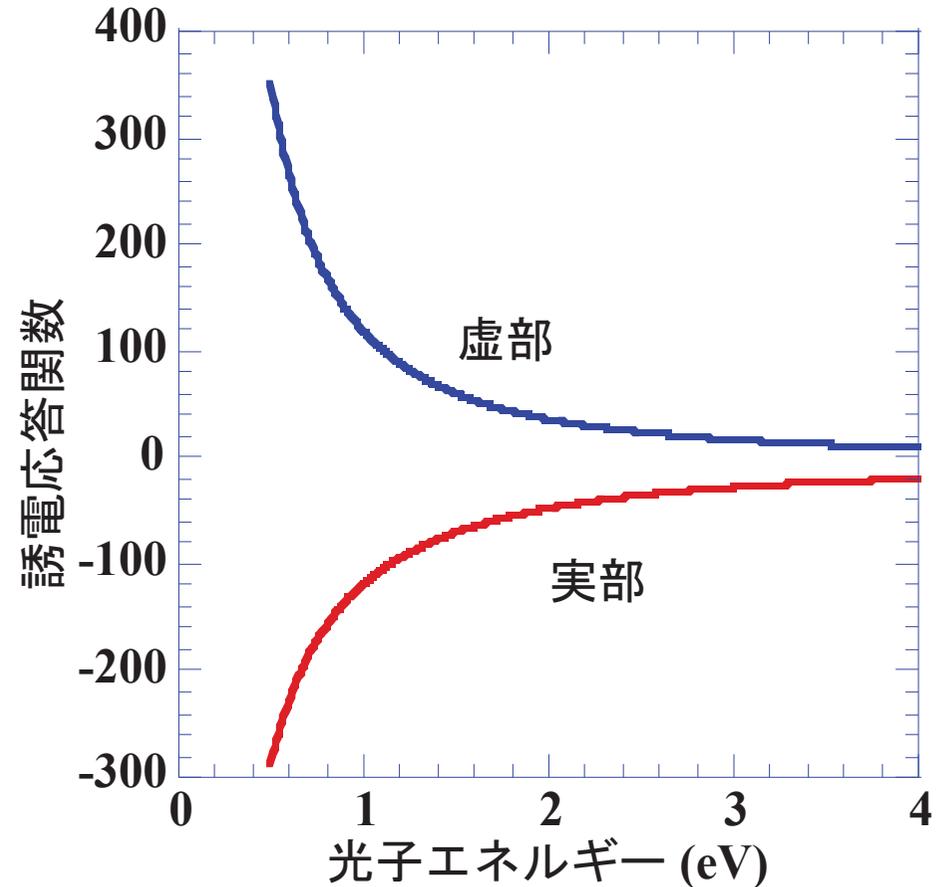
古河裕之¹, 長友英夫², 三間罔興², 矢花一浩³

1) レーザー技術総合研究所, 2) 大阪大学レーザー科学研究所, 3) 筑波大学計算科学研究センター

SUMMARY

本年度は、超短パルスレーザー加工において非常に重要である「初期のレーザーと固体の相互作用」の解明に注視した。固体結晶中の電子の波動関数は、ブロッホの定理で表される関数形を持ち、バンド構造を形成する。

本年度は、レーザー場と相互作用する電子状態を記述する簡易モデルであるクローニッヒ・ペニーモデルを用いて、バンド構造及び波動関数を求め、久保公式より複素誘電関数を求め、レーザーの吸収長等を評価した。今後、TDDFTシミュレーションで求めたレーザーの吸収長との比較・検討などを行う。



クローニッヒ・ペニーモデルで得られた、バンド構造及び波動関数を用いて、久保公式より求めたアルミニウムの複素誘電関数。

オパシティテーブルを計算する公開コードの開発

廣瀬重信¹, 佐野孝好²

1) 国立研究開発法人海洋研究開発機構, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

局所熱平衡を仮定した輻射流体力学計算では、温度・圧力の関数としてテーブル化オパシティを用いることが多い。そのためのパブリックなテーブルが存在するが、温度・圧力域が必ずしも研究目的と一致するとは限らないし、ブラックボックス化している点も問題である。そこで、本研究では、ユーザが用意する化学種分圧のデータからオパシティテーブルを計算する公開コードを開発した。オパシティソースは全てパブリックのものを用いており、また、ユーザが研究目的に応じて自由にオパシティソースを修正・変更・追加することを前提に開発を行った。

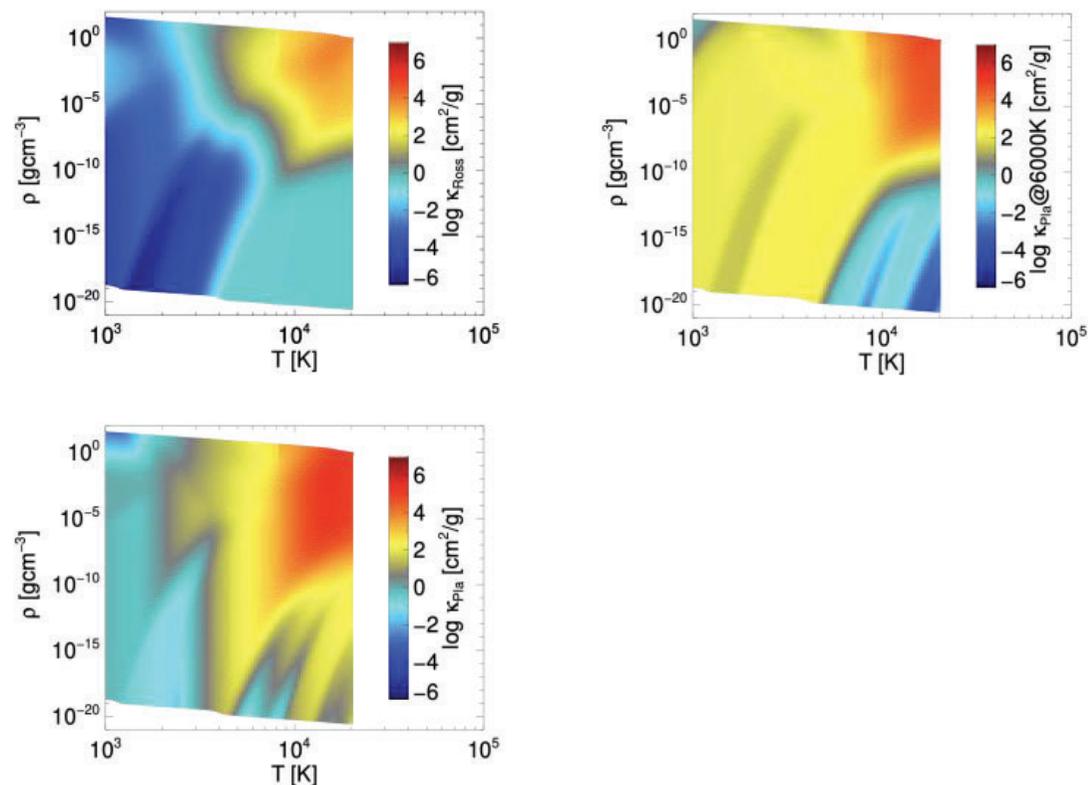


FIG. オパシティテーブルの出力例。ロスランド平均 (左上)、プランク平均 (左下)、2温度プランク平均 (右上：輻射温度は6000K)

リヒトマイヤー・メシュコフ不安定性における界面とバルク渦の非線形相互作用に関する研究

松岡千博

大阪市立大学大学院工学研究科

SUMMARY

リヒトマイヤー・メシュコフ不安定性 (RMI) における、界面（渦層）とバルク渦との非線形相互作用を渦法と呼ばれる解析方法を用いて理論的に調べた。初期値に圧縮性を考慮した解析解（線形厳密解）を入れて数値計算した結果、バルク渦の存在により、線形段階（初期段階）においてはRMIが抑制されることがわかった。この抑制の度合いは入射衝撃波が強いほど大きい。また、非線形段階では、渦層-バルク渦相互作用により界面のスパイクがより成長することも示された。これらの結果は、プラズマ中におけるRMIのような流体不安定性の制御・抑制に役立つものと考えられる。

[C. Matsuoka, K. Nishihara and F. Cobos-Campos, PoP, 27, 112301 (2020)]

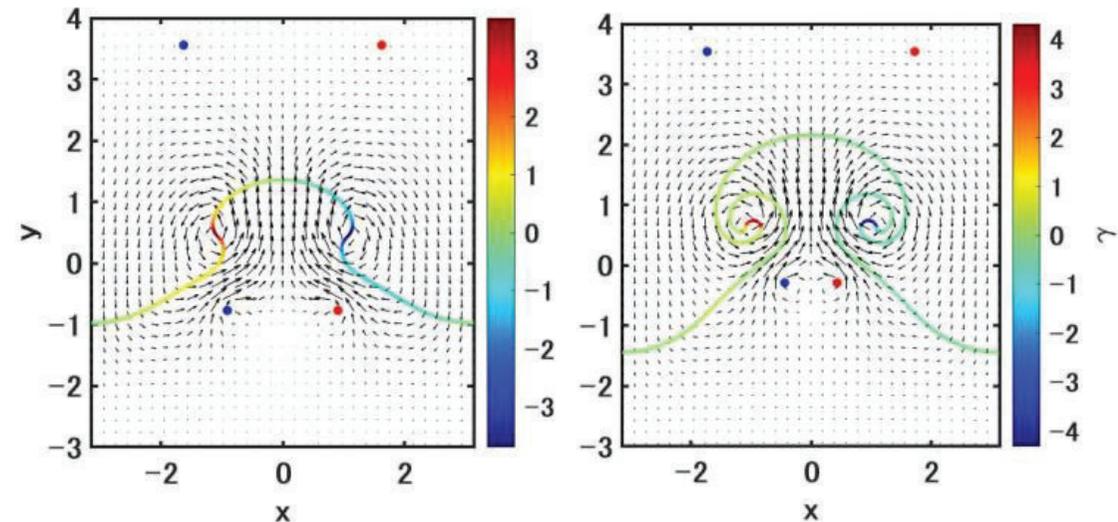


FIG. バルク渦を伴ったRMIにおける界面の時間発展。
（左） $t = 2$ 、（右） $t = 4$. カラーバーは渦強さ（赤が反時計回り、青が時計回り）、矢印は速度場を表す。界面に近いバルク渦はさらに界面に近づき界面形状に大きな影響を及ぼすが、界面から遠くにあるバルク渦（界面上部）は初期位置からほとんど動かない。界面の初期形状は $y = 0$ (flat, $t = 0$)である。

Numerical modeling of plasma facing materials

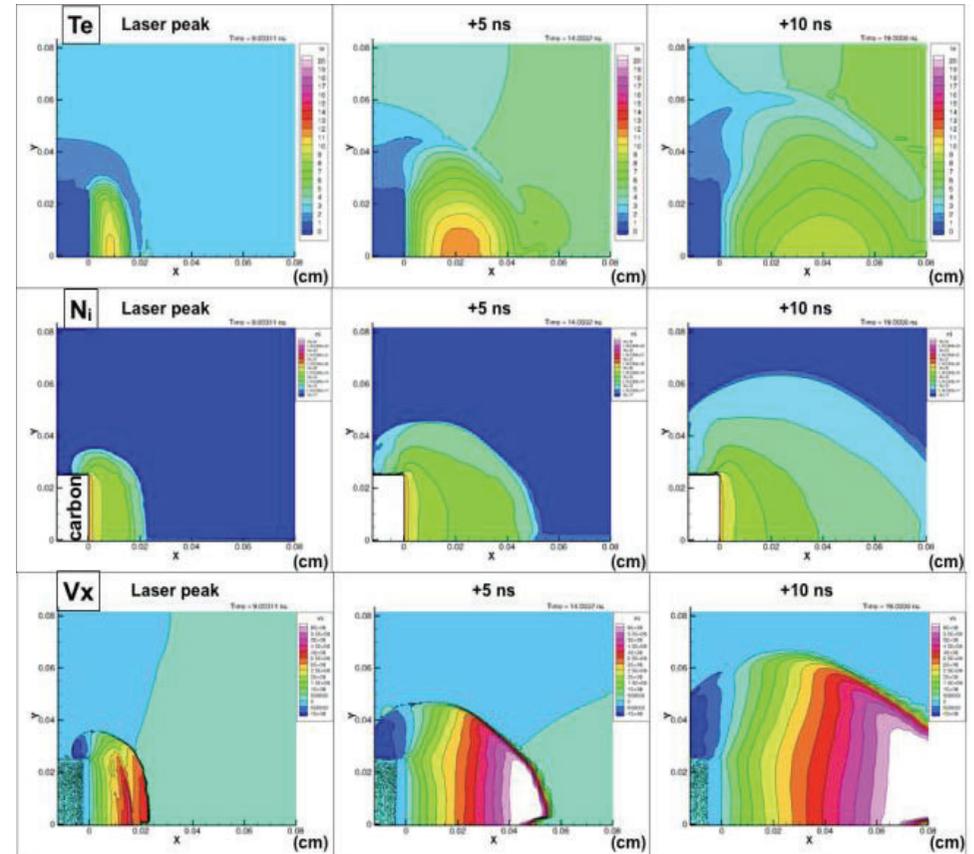
砂原 淳¹, 城崎知至², 西原功修³, 東口武史⁴, 大西直文⁵, 山本直嗣⁶, 森田太智⁷, 長友英夫⁸

1) パヂュー大学, 2) 広島大学, 3) 大阪大学, 4) 宇都宮大学, 5) 東北大学, 6) 九州大学

SUMMARY

第一壁の諸過程を統一的に扱う数値シミュレーションの開発は現象の複雑さに起因して、未だ実用コードの整備、現象の定量的理解は十分でない。

我々はレーザー生成プラズマ、EUVプラズマ、壁研究等の共同研究を通じ、第一壁を含む系をマクロに取り扱うために一次元及び二次元の輻射流体シミュレーションコードを開発してきた。また、アルファ粒子に入射に伴う壁内部の点欠陥生成という、ミクロ現象については分子動力学コードを開発してモデリングを進めてきた。これらマクロ、ミクロ両面からのモデリングを統合する前に、各モデルの有効性、妥当性を十分に確認する必要がある。2020年度は開発した二次元輻射流体コードを様々な実験条件に適用し、現象の解析を進めることで、コードの有効性、妥当性の確認を行った。特に比較的強度 10^8 - 10^{10} W/cm²のレーザー強度域で実状態方程式を含むマクロモデルの有効性を確認するとともに、実験値と計算値の差について素過程レベルで検討を行った。



図：カーボンターゲットにレーザーを照射し、レーザーピークタイミング、+5ns、+10nsの電子温度、イオン密度、x(右方向)速度の計算プロファイル。これをトムソン散乱などの実験結果と詳細に比較した。

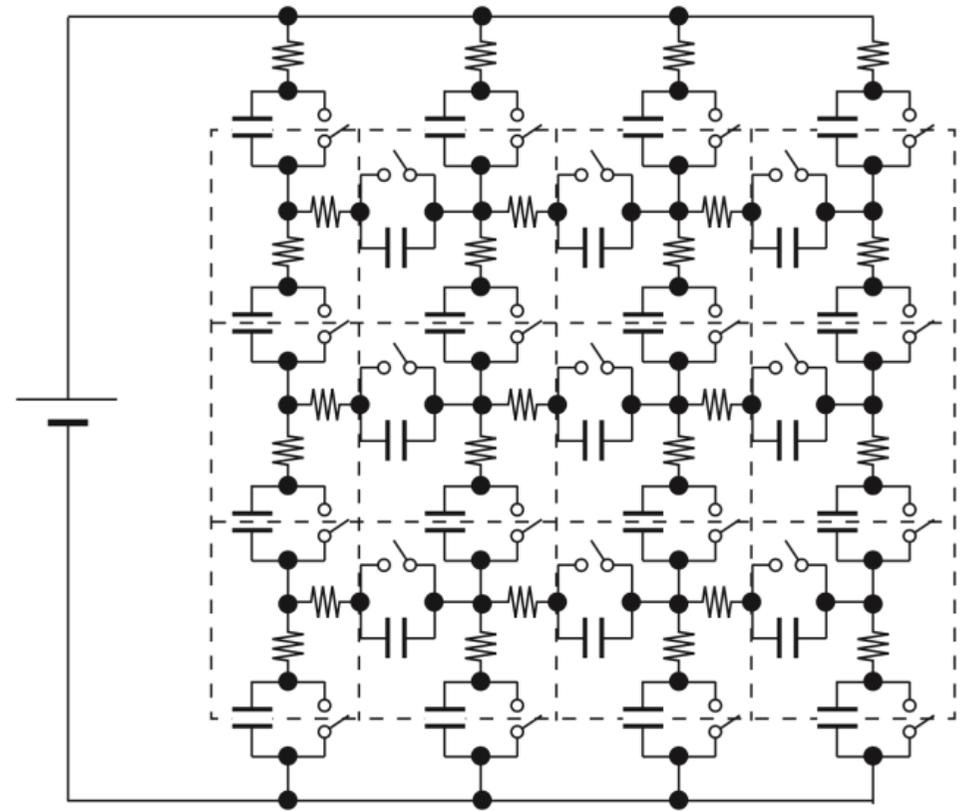
光学材料、光学薄膜の損傷機構のパーコレーションモデルによる解析

佐々木 明

量子科学技術研究開発機構・関西光科学研究所

SUMMARY

本共同研究では、レーザー、量子ビーム技術の中で重要な光学損傷、それを含む放電現象の複雑な振る舞いを対象として、パーコレーションモデルによるシミュレーション研究を行った。昨年まで考えていた、放電媒質を抵抗ネットワークで表したモデルを、より現実に近づけるために、図のように抵抗と静電容量のネットワークで表したモデルに変えることを考え、媒質の物性、各抵抗、静電容量の値、レーザー光の照射や外部からの電圧が印加された時に、どのように電荷が蓄積され、あるいはどのように絶縁破壊が起こるか、ある場所で起こった絶縁破壊が、周囲にどのように広がるかなどについて理論的に検討し、それを元にモデルを構築した。また、コロナ禍において共同研究を円滑に進められるよう、Java言語によるプログラム開発、Python言語による可視化、クラウドを用いた情報共有、SNSやテレビ会議によるコミュニケーションの方法についても実際に使うことを通じて利用環境の整備を行った。



(図) 放電現象をパーコレーションとして扱うモデルの等価回路。媒質をセルで表し、各セルは直列に接続された抵抗と静電容量からなり、絶縁破壊の発生をスイッチで表す(A.Sasaki, et al. Jpn. J. Appl. Phys. 55, 026101 (2016))。

レーザー造形法によるシリカガラス構造形成

本越伸二¹, 村松功希², 吉田実², 藤岡加奈³, 坂本高保¹

1) (公財) レーザー技術総合研究所, 2) 近畿大学理工学部, 3) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

ガラス表面に構造を持つ回折光学素子は、様々な応用分野で利用されている。この表面構造はインプリントや、研削・除去加工で形成されているため、その精度、自由度には限界があり光学素子設計を制限する要因となっている。

本研究では、シリコン油に紫外レーザー光を照射することにより微細ガラス構造の形成を目的に行っている。2020年度はレーザー照射後のガラス層厚さに影響を及ぼすシリコン油の厚さの再現性について評価した。右図はスピナー回転数に対するシリコン油の膜厚と屈折率を示している。この誤差の原因は基板表面状態によることが分かった。

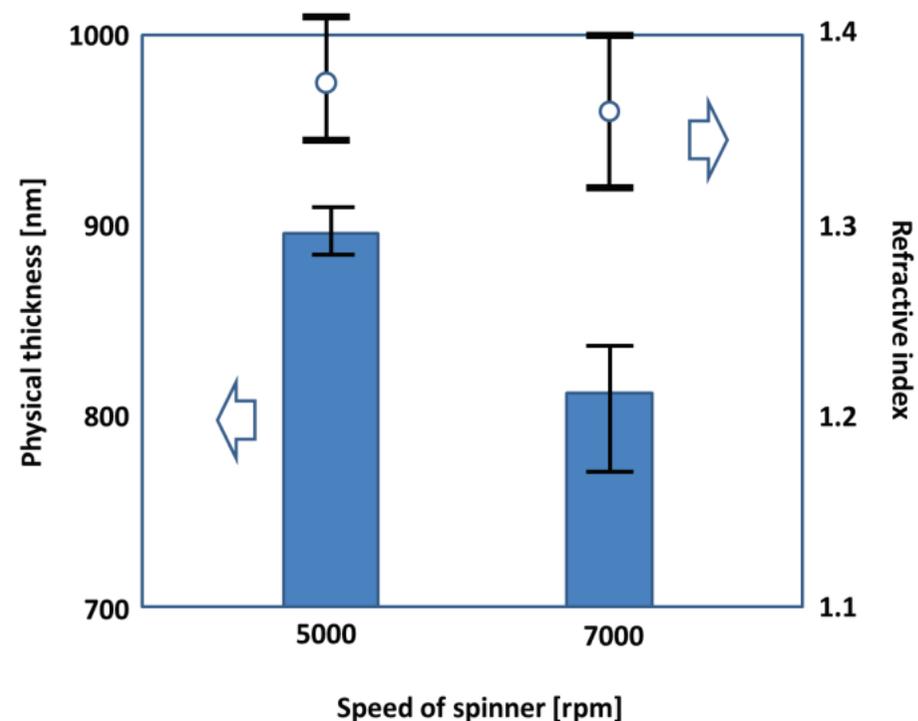


FIG. スピナー回転数に対してシリコン基板の上に塗布されたシリコン油の膜厚と屈折率

高効率極低温冷凍機の実現に向けた組成の異なる希土類窒化物の球状材料の開発

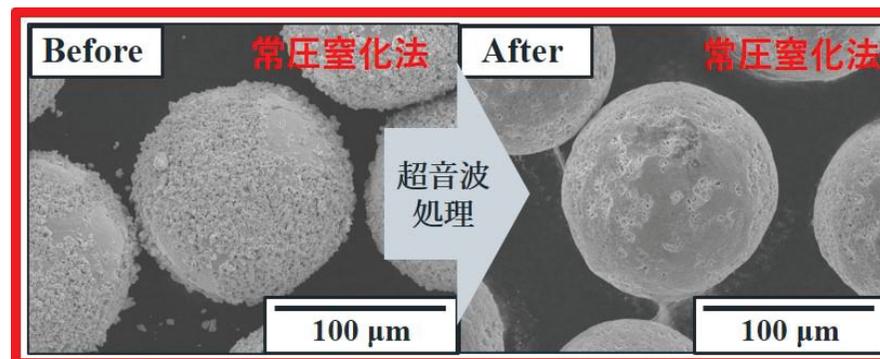
山本孝夫¹、有田祥太郎¹、高橋慧多¹、藤枝俊¹、清野智史¹、中川貴¹、藤岡加奈²

1) 大阪大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

高出力レーザー発信器の安定動作などに必要な液体ヘリウムを高効率に得るためには、優れた蓄冷効果を示す磁性材料の開発が不可欠である。本研究では希土類窒化物である $\text{Er}_x\text{Ho}_{1-x}\text{N}$ の新規磁性蓄冷材への応用を目指している。我々は、本化合物が極低温の磁気転移温度近傍において従来材料よりも大きな磁気比熱を示すことを見出している。さらに、従来は表面の凹凸が少ない球状材料を得るにはHIP法により高温・高圧・長時間の窒素雰囲気化熱処理が必要と考えられてきたが、本研究で条件を検討した結果、常圧・短時間でも表面状態が良好な希土類窒化物の球状材料の作製に成功した。

(a) $\text{Er}_{0.75}\text{Ho}_{0.25}\text{N}$ $\Phi = \sim 125 \mu\text{m}$



(b) ErN $\Phi = 150\sim 180 \mu\text{m}$

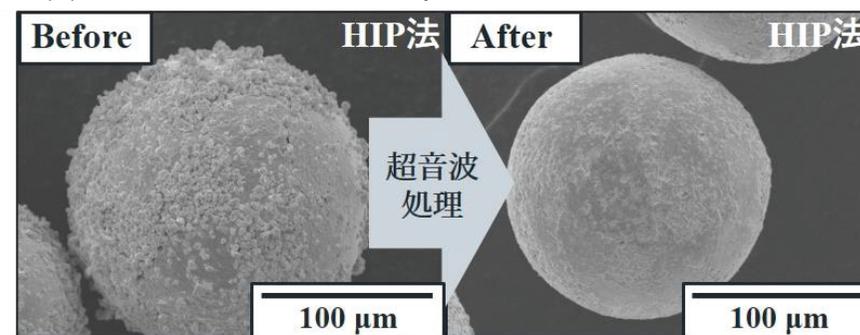


FIG. 希土類窒化物の球状材料の超音波処理前後におけるSEM像。(a) 常圧・短時間で作製した球状試料。(b)従来のHIP法で作製した球状試料。

繰返しパルス照射による光学材料のレーザー損傷しきい値

本越伸二¹, 船井遼太郎², 吉田実², 吉村政志³, 藤岡加奈³, 實野孝久³

1) (公財) レーザー技術総合研究所, 2) 近畿大学理工学部, 3) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

これまでに、繰返しパルス照射時のレーザー損傷しきい値の低下と、透過率の低下には、強い相関があり、その要因はレーザー誘起欠陥と再結合で説明できることが分かった。

2020年度は、繰返し照射時のガラスからの発光の様子および分光スペクトルを評価し、生成される欠陥種類について評価した。右図の繰返しレーザー照射後の赤色発光は、波長650nmにピークをもつ、非架橋酸素欠乏または過酸化ラジカルの欠陥準位からの遷移と考えられる。今後、これらの欠陥を抑制する添加材等を検討し、高耐力・長寿命化の光学素子設計に繋がる。

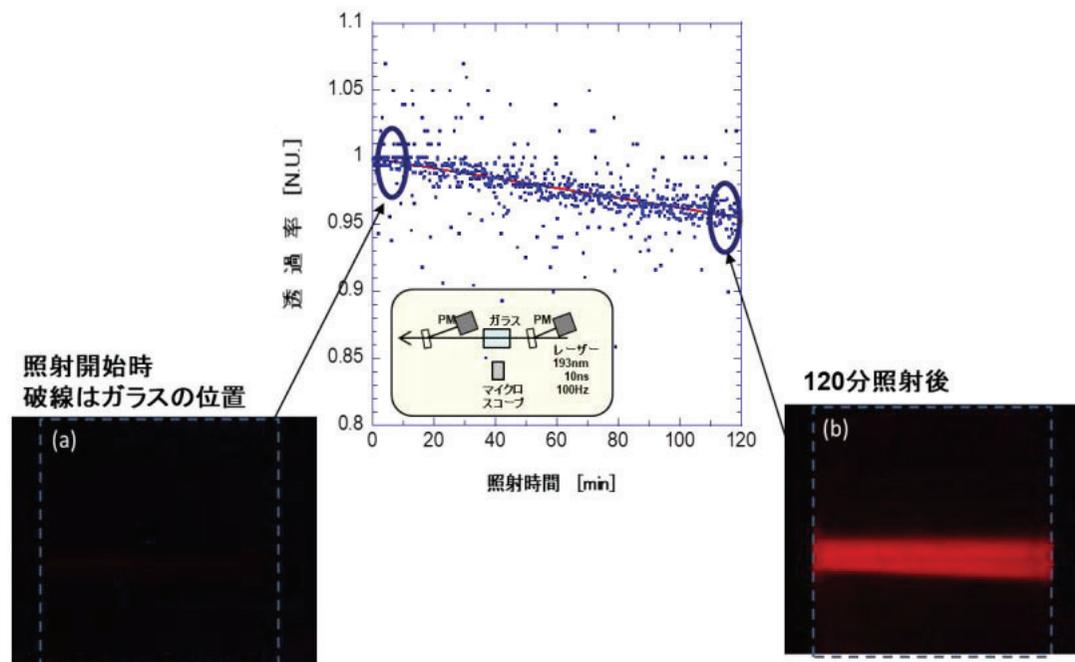


FIG. 波長193nmレーザーパルスを繰返し照射したときの合成石英ガラスの透過率変化と、発光の様子。

カーボンナノチューブフォレストメタマテリアルのテラヘルツ放射吸収特性

古田 寛¹, 沢田 侑斗¹, 西森 秀人¹, 中嶋 誠²

1) 高知工科大学システム工学群, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

カーボンナノチューブ (CNT) はテラヘルツ電磁場に対してメタルナノロッドアンテナとして振る舞い、軸方向からの入射光に対する低反射率や、軸方向偏光のテラヘルツ波放射などユニークな異方性光学特性を持つ材料である。高密度 CNT フォレスト内部構造の密度と配向性を縦・横方向に制御することで実効的な屈折率を変調して形成し、テラヘルツ領域の電磁波の吸収を最大化することを目標とする。ナノチューブフォレストの光学応答について、本年度は評価試料作製条件の探索を行なった。合成時間依存性では触媒のアニール時間を**4.0min**で固定して合成時間を1秒から20秒に変えた実験を行った。合成時間が1秒と短くなると触媒の凝集が要因で不均一なCNTフォレストが成長した。アニール時間をFIG(b4)4.0minから(b2)3.0~(b3)3.5minに短縮することで、触媒微粒子の凝集を抑制でき均一なCNTフォレストが得られた。今後テラヘルツ放射吸収特性を評価する。

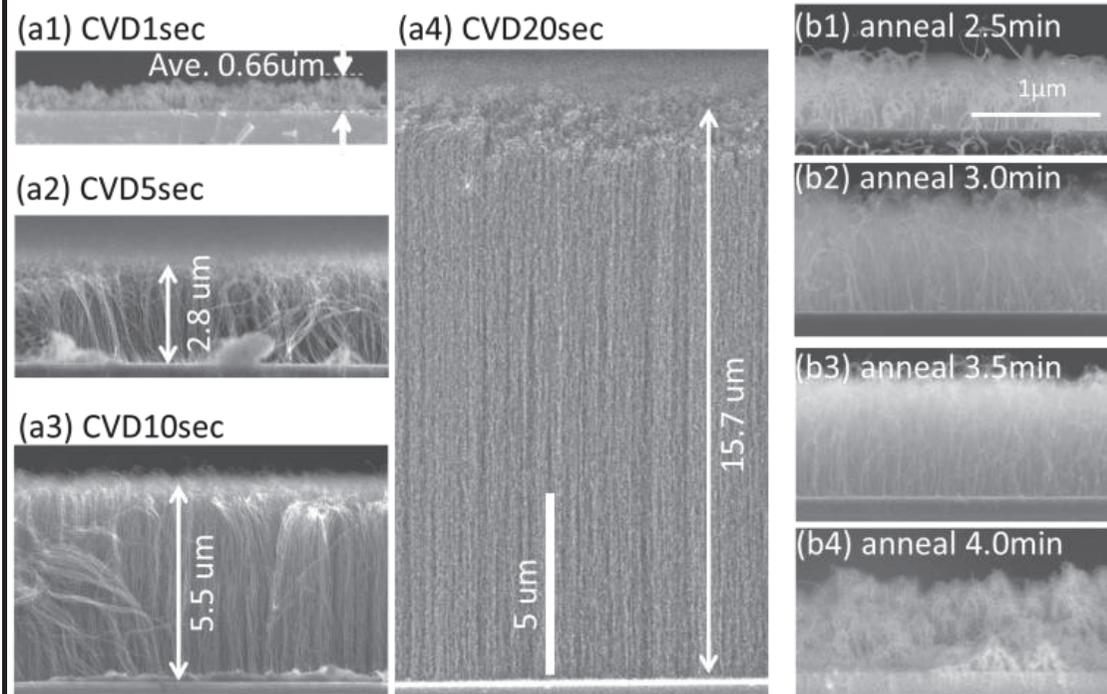


FIG. Cross-sectional SEM images of CNT forest (a1 - a4) with various CVD growth time for 1 to 20 sec with constant catalyst annealing period of 4.0min, and (b1 - b4) with the constant CVD time of 1sec with various catalyst annealing period of 2.5 to 4.0 min.

レーザー駆動中性子源を用いた中性子共鳴透過分析技術に適用可能な測定システムの開発
伊藤史哲¹, 李在洪¹, 小泉光生¹, 高橋時音¹, 鈴木敏¹, 弘中浩太¹, 余語覚文², 有川安信², 安部勇輝²

1) 日本原子力研究開発機構 核不拡散・核セキュリティ総合支援センター, 2) 大阪大学レーザー科学研究所・光量子ビーム科学研究部門

SUMMARY

中性子共鳴透過分析 (NRTA) を広く原子力の平和利用保障措置に用いるためには、コンパクトで精度の高いTOF測定を行うことが望ましい。レーザー駆動中性子源 (LDNS) は、短い中性子パルス幅と点線源という特徴を有することから、短い飛行距離でのTOF測定に有用と考えられる。核物質の分析にNRTAに適用するためには、LDNSで発生した高速中性子を、短いパルス幅を維持しつつ、中性子を100eV以下に減速する必要がある。そこで、シミュレーションを用い、中性子を減速するモデレータの形状や素材の検討を進めた。右の図はモデレータの入射部の材質を変えたときの結果で、入射中性子のエネルギーにより適当な材質を選択する必要があることが分かった。

また、時間依存のガンマ線背景事象がモデレータから放出され、短い飛行距離でのTOF測定では、その影響を受けることが分かった。その影響を抑制するため、ガンマ線感度の低い中性子検出器の開発を進めた。

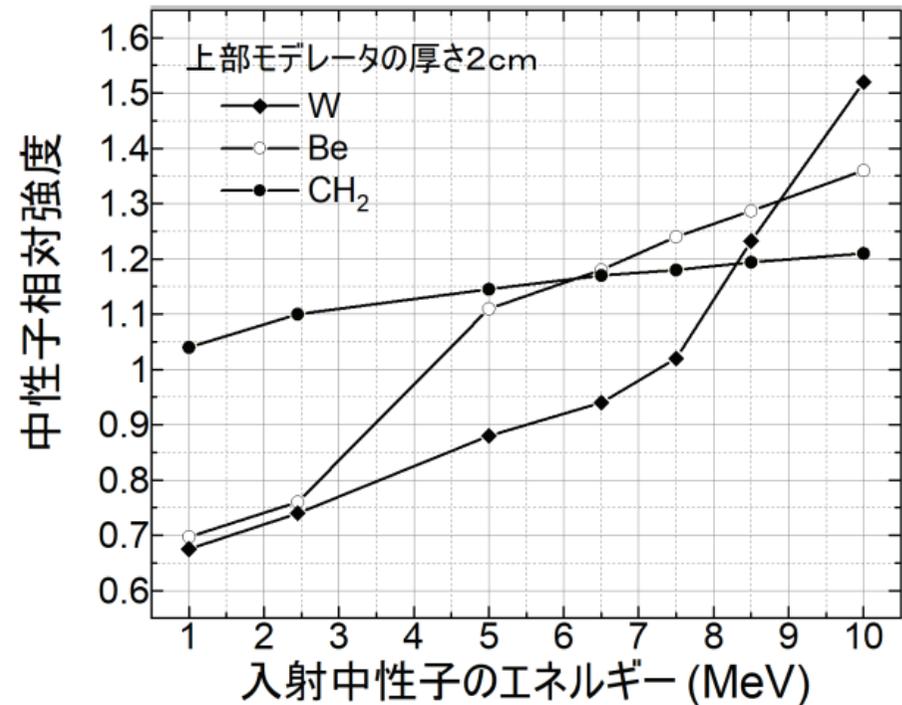


FIG. 中性子源とポリエチレンモデレータとの間にW、Be及びポリエチレンを入れた時の中性子相対強度を調べたもの。入射中性子のエネルギーが高くなると、WやBeとの(n, 2n)反応によりWやBeが有効となる。

ハイパワーレーザーのための広帯域な誘電体多層膜ミラーの基本設計への機械学習の適用

大久保 友雅¹, 松永 栄一¹, 河仲 準二², 實野 孝久², 本越 伸二³, 吉田 國雄^{2,4}

1) 東京工科大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所, 3) レーザー技術総合研究所, 4) 岡本光学加工所

SUMMARY

超ハイパワーレーザー用の誘電体多層膜ミラーの設計において、従来の単純な非線形最適化では要求性能を満たすことが出来ない。そこで、AIを導入した独自の薄膜設計プログラムを製作するために、まずは薄膜データの学習に適切なAIの構造を見出ことを目的とする。

10層の誘電体多層膜ミラーについて、屈折率及び膜厚分布と、その800nmから900nmの平均反射率との関係を機械学習し、誘電体多層膜ミラーに有効なニューラルネットワークを模索した。先行研究により、再帰的ニューラルネットワーク(RNN)が有効であることが確認されたため、今年度はその機能を強化した、LSTMとGRUについて検討を行った。

その結果、LSTM、GRU共に、エポック数や隠れ層の数を増やしても二乗平均平方誤差はRNNと比較してほぼ変わらない事が明らかとなった。逆に、全てを0と予測する不適切な学習をする可能性がLSTM、GRUはRNNより高くなった。忘却層の有無が特にRMSEの差に関係すると考えられる。

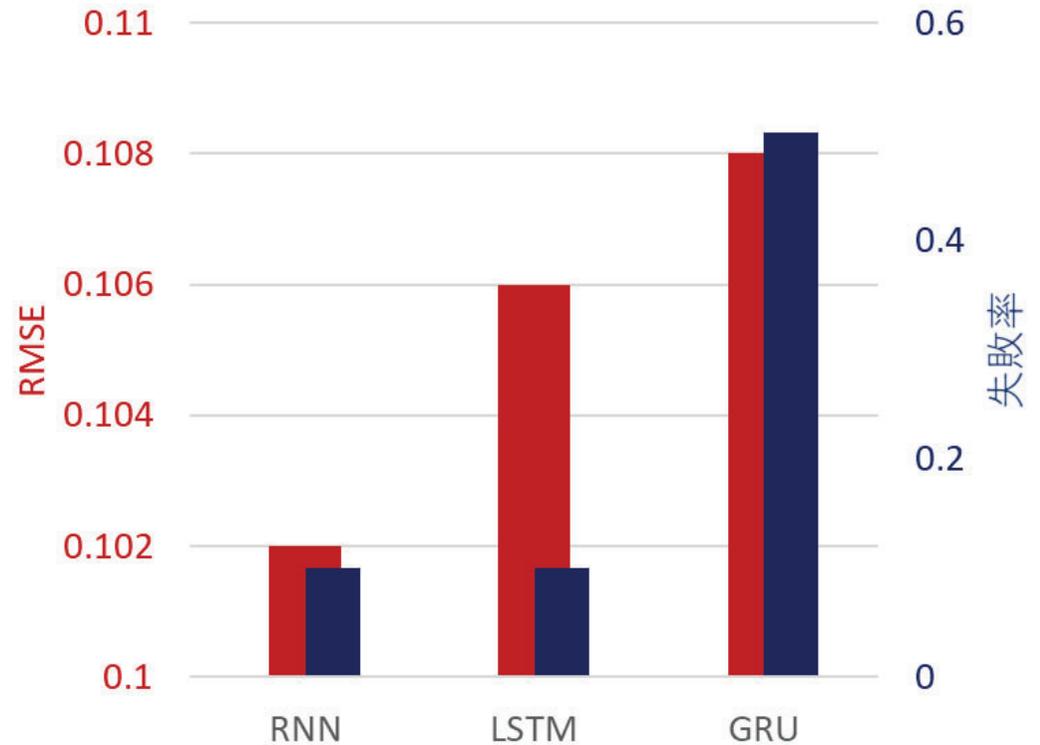


FIG. RNN, LSTM, GRU の RMSE と成功率の比較。RMSEはRNNが最も低いが大きくは変わらず、失敗率はGRUのみが高い。

月の模擬砂を用いた建設材料の作製

藤田雅之^{1,2}, 真木隆太郎², 田島孝敏³, 新村亮³, 兒玉了祐²

1) レーザー技術総合研究所, 2) 大阪大学レーザー科学研究所, 3) 大林組

SUMMARY

惑星探査や火星移住など宇宙での人類活動に際して、基地建設を含むインフラ整備が必要となる。地球からの物資の運搬は高いコストや輸送能力の限界があり、建設材料を月面で調達する事が求められる。我々は、3Dプリンターの原理を応用して月面表土（レゴリス）の模擬砂を用いた立体物製造の実験を行った。レーザー加熱による焼成物を積層することで、FIG.1に示す数 cm オーダーの立体物の製造に成功した。JISれんが2種相当の圧縮強度を持つ立体物を作製できることが明らかになり、地球の1/6程度の重量の月面で使用できる可能性が示された。

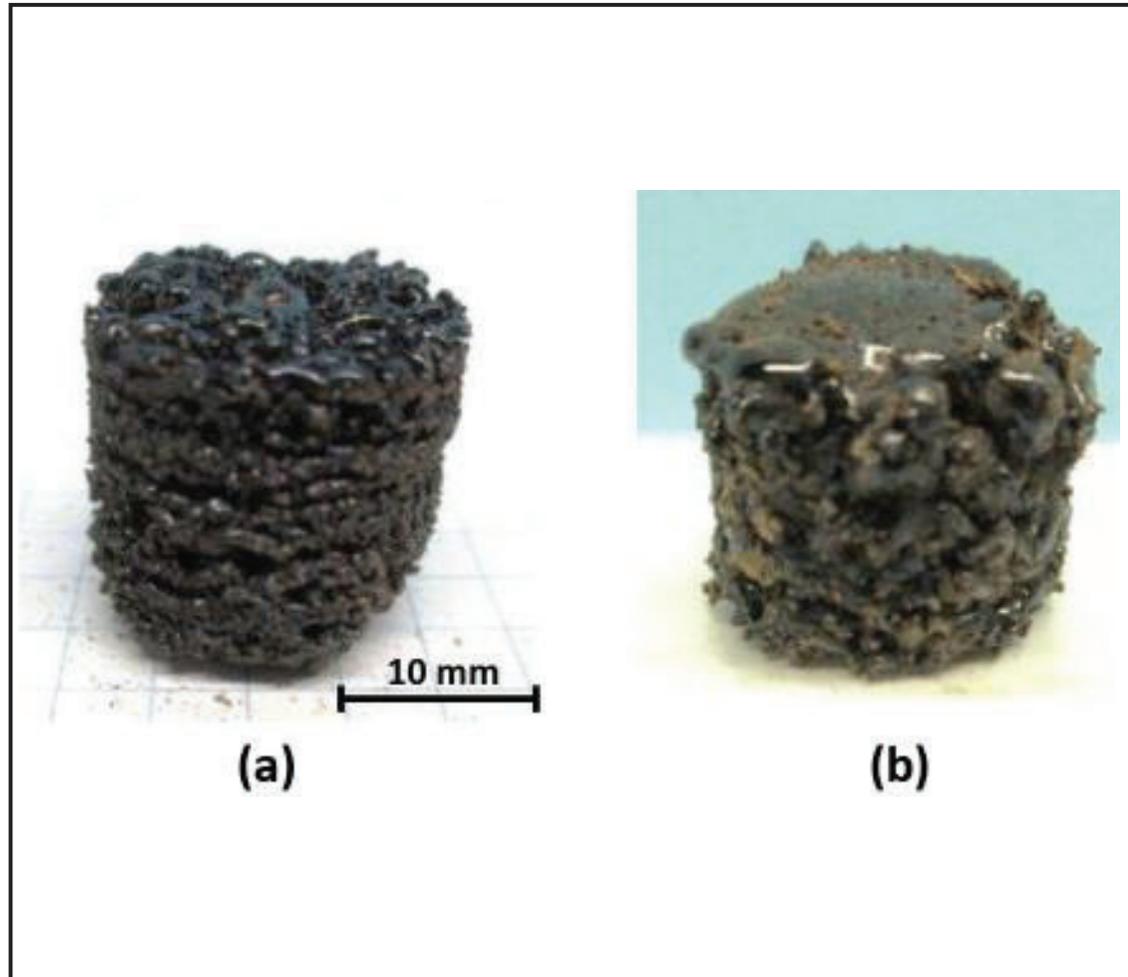


FIG.1 レーザーパワー (a) 50 W、(b) 190 Wで作製した直径2 cm、高さ1.8 cm程度の円柱状固形物。

NMR spectroscopy on the HD probe in the temperature region of 1~10 K and development of a solid HD thin layer target (Final report)

M.Utsuro¹, M. Nakai², H. Kohri¹, T. Ohta³, T. Konno⁴, A. Igashira⁵, and M. Fujiwara¹

1) *Research Center for Nuclear Phys., Osaka Univ., Japan*, 2) *Institute of Laser Eng., Osaka Univ., Japan*,
3) *Univ. of Tokyo Hospital, Japan*, 4) *Grad. School of Sci., Osaka Univ., Japan*, 5) *Fac. Law, Meiji Gakuin Univ., Japan*

SUMMARY

It has been theorized that the parallel polarization of D and T would facilitate full participation in the process and significantly alter the reaction rate in the fusion process, instead of the process by only 2/3 of all possible spin alignments that occur during the collision of the D and T nuclei. A test experiment for developing a polarized DT laser fusion concept was proposed in which a ferromagnetic complex with a high internal magnetic field was used to polarize tritium nuclei on physisorbed DT molecules with an internal β -decay heat load in a DT target. Similar heteronucleic hydrogen deuteride (HD) was used to test the proposed concept instead of typical DT-based experiments. The Prussian blue ferromagnetic analogue $\text{Ni}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$ ($T_C=24.9$ K) with a high internal magnetic field of 270 kOe at 4.2 K was used in the experiments. The stepwise NMR analysis of the ferromagnetic complex-mediated adsorption of HD onto activated carbon pellets at 10 K was conducted using a multilocular probe cell and the simplified single-tube probe cell. The resulting ^1H NMR spectra compared with the ^{19}F NMR spectra for reference on the KelF probe cell wall indicated that our preparations for the present approach were completed and the way we worked will lead us to a higher polarization at the target temperature mentioned above.

Experiments to develop a thin solid hydrogen target were also carried out.

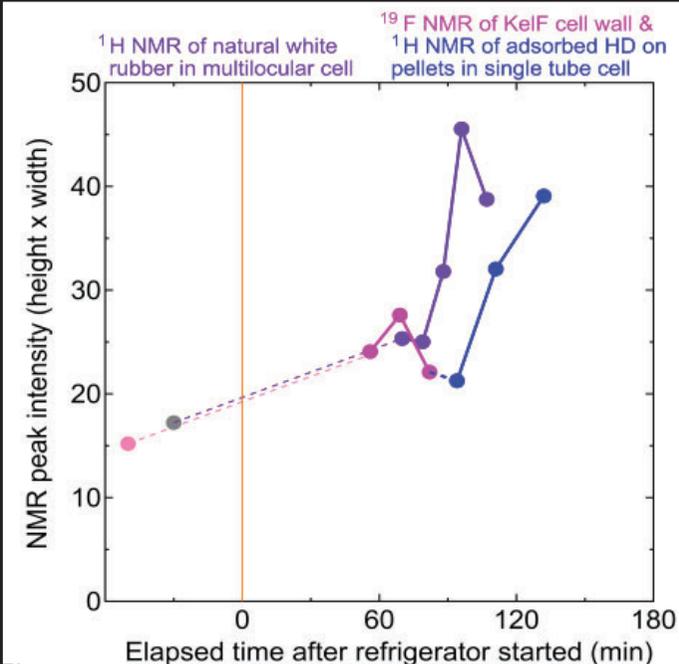


FIG. NMR peak intensities of the HD probe (blue points) compared to the references (purple and pink ones) show the effect of the complex. Left ends are at room temp.. Midway drops at about 90 min show effects of the influx of room-temp HD gas.

太陽内部熱対流の非局所性とその輸送ダイナミクスへの影響

政田洋平¹, 佐野孝好²

1) 愛知教育大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

天体プラズマにおける乱流輸送現象の多くは非局所的なプロセスで駆動されると考えられている。非局所的な乱流輸送の観測可能な実験場の一つが太陽の対流層である。本研究では、太陽対流層における非局所的輸送現象をモデル化する方法について調べた。図(a)と(b)は本研究の解析対象とした太陽内部を模擬した熱対流の数値モデルの水平面・垂直面分布である。この熱対流は表面の冷却が駆動しており、内部で生じる輸送現象は非局所的なものである。図(c)と(d)の黒線が数値モデルから評価した乱流質量流束であり、従来の勾配拡散型モデル（図cの緑線）では記述できない。一方、横井氏（東大生産研）が提案する「プルームの移流効果」に基づく補正項（図bの下のような輸送係数：Yokoi 2021）を加えると、そのプロファイルが定性的に一致することを明らかにした。非局所的な輸送は、プラズマ乱流中で普遍的に見られる現象であり、本研究の結果は、その理論的なモデリング方法の確立へ向けての端緒となると期待される。

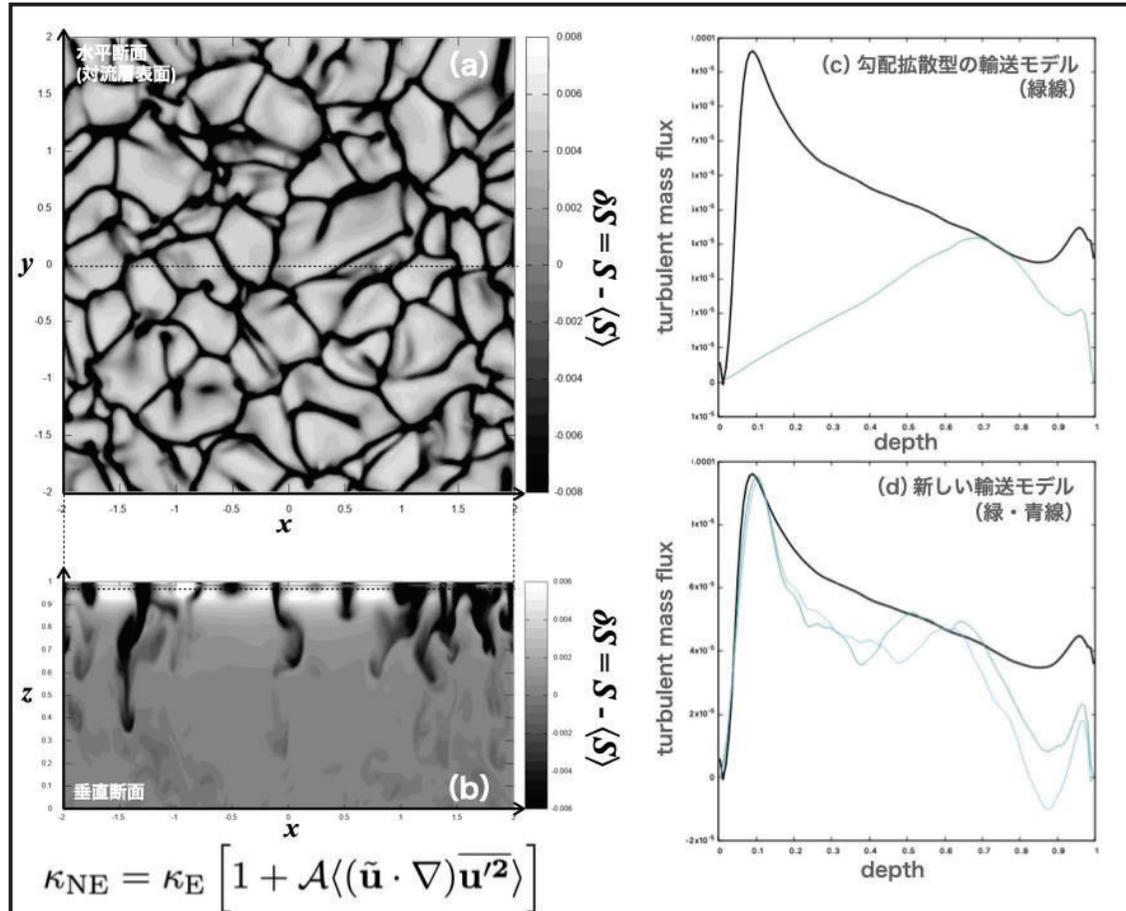


FIG. 熱対流シミュレーションと乱流輸送解析の結果 (a)と(b)は対流層表面表面と垂直断面における対流プロファイル (黒が下降流域, 灰色・白が上昇流域に対応). (c)と(d)は乱流質量流束のモデリング結果 (上が勾配拡散型, 下が新しいモデル)

Development of Sub-Terahertz TDS Polarimetry for Cosmic microwave Background Observation system

大田泉¹, 李佳俊², Valynn Mag-usara², 中嶋誠²

1) 甲南大学, 理工学部 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

宇宙マイクロ波背景放射観測系の開発に向けて、500GHz以下の領域において、利用される光学素子の評価やそのためシステムの開発が急務となっている。本研究では、1本の安価なマルチモードレーザーダイオードを励起光源として、それをテラヘルツ波に変換することで上記の分光用システムの開発を行った。新たに入射CWレーザーの一部を逆流させレーザー共振器に戻すことで、カオス光を発生させることで、光テラヘルツ変換効率が大きく改善した。

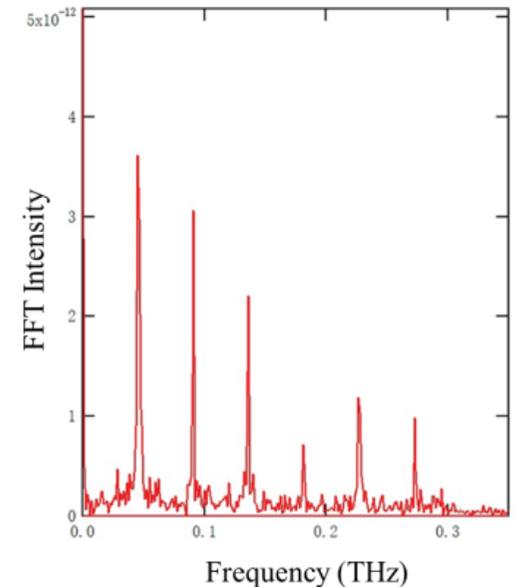
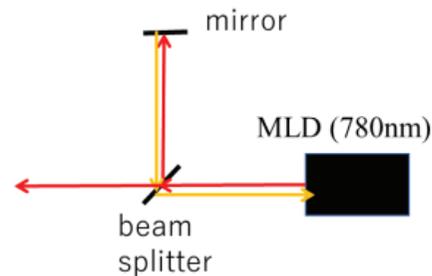


FIG. MLDレーザー出射部分で一部をMLDまでフィードバックしカオス状態にし、それによって高効率に光テラヘルツ変換を実施することに成功した。観測された楕状のテラヘルツスペクトル(右図)。

中赤外レーザーによる軽元素同位体分析機器開発

山中 千博¹⁾ 時田茂樹²⁾ 染川智弘³⁾ 橋爪光⁴⁾ 村山純平¹⁾

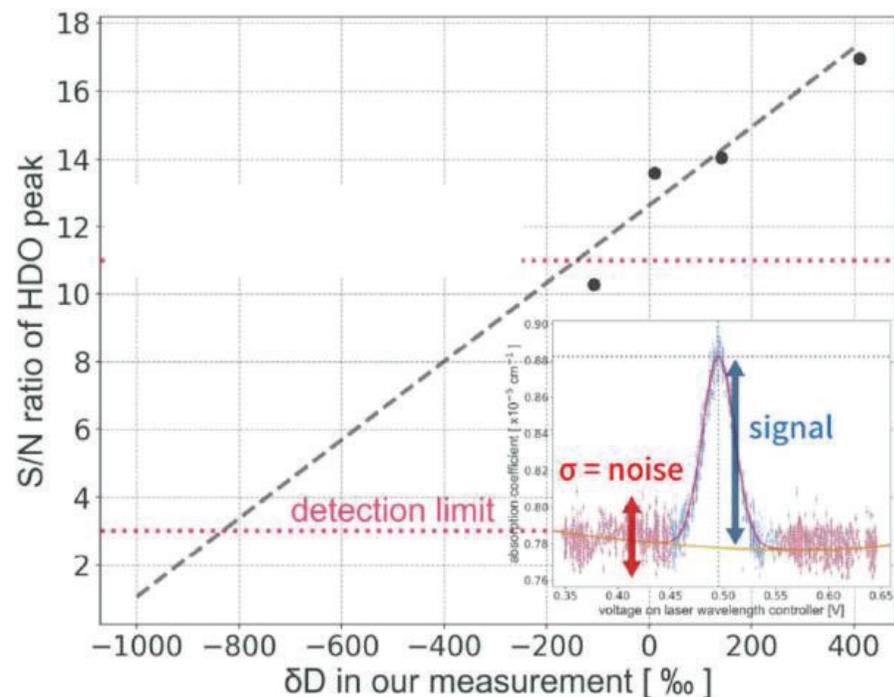
1) 大阪大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所, 3) レーザー総研, 4) 茨城大

SUMMARY

近年、月極域における水の存在が強く注目されており、我々は、水同位体のその場分析を行うため、高感度、高精度で分析可能なCRDS法を用いた小型の水同位体分析装置を開発している。水素同位体比既知の水試料4種類を用いて吸収スペクトル測定を行った。

すべての試料について、波長1392.758nmのDHO吸収線周囲に3つのHHOスペクトルを確認でき、また、各スペクトルをvoigt関数を用いてフィッティングし、算出された δD （地球水の同位体との偏差を表す指標）と既知試料の値を比較した検量線を作成した結果、直線関係が確認できた。

なお、 δD が小さいほど既知 δD に対する測定結果 δD の比が大きくなる傾向が見られた。これは δD の大きい試料を先に測定したことと、投入した試料の量の関係で前試料が残留していわゆるメモリー効果が起きていると考えられる。これらは月面で排気を30分以上継続すると解消できる。



同位体濃度既知の標準試料水を用いた
DHO/HHO同位体測定結果

レーザー走査によるセンシング技術の高度化に関する研究

錦野 将元¹ 北村 俊幸¹ 石野 正人² 大橋 朋幸² 山本和久²
 1)量研機構 関西光科学研究所, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

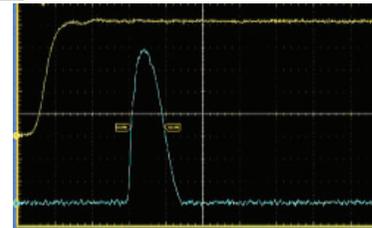
SUMMARY

RGB可視光半導体レーザーを使用したカラーLiDARは、自動運転およびロボットの自動歩行用の超小型センサーとして有望となる。これは、カメラや追加の照明なしで距離測定と色識別を同時に実行でき、さらに同一光源や光学系を使用して照明やディスプレイと一体化できるため、超コンパクトで高機能のレーザー機器の実現が可能であるからである。我々はこれまでLiDAR技術の高度化の一環としてRGB-LDを用いたカラーLiDARを提案し、実現性を実証してきた。今回は、改善点として、LD短パルス化と受信系の感度向上およびシングルモードLDを使用し、低光出力動作とともに、その測距特性・受信強度特性の向上を、実現した。

Table 1

		Prototype	Advanced type
Types of LD		Multi-mode (MM)	Single-mode (SM)
Optical pulse	Average power	500 μ W	33 μ W
	Pulse width	17 ns	4 ns
APD	Received Area Diameter	0.2 mm	0.5 mm

原型



改善型

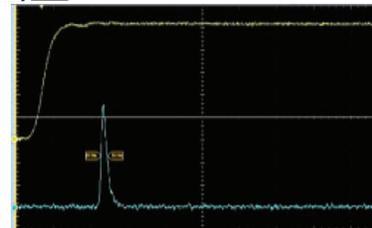


FIG.1

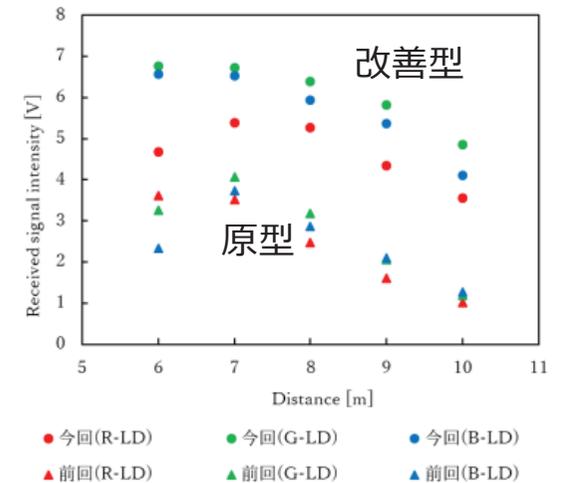


FIG.2

Table 1 原型タイプと改善タイプの条件比較

FIG.1 光パルス形状の比較

FIG.2 受信強度の距離特性の比較 (光源: RGB LD)

透光性セラミックスの開発

古瀬裕章¹, 川原宏樹¹, 藤岡加奈²

1) 北見工業大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

透光性セラミックス開発を行う上で、初期粉体の合成技術確立は極めて重要である。また、得られた蛍光微粉体は、焼結によって透明バルク体として利用する以外にも、白色照明や医療分野等へのアプリケーションとしても有用である。

本共同研究では、透光性YAGセラミックスの開発過程で得られた知見を基に、YAP (YAlO₃) の合成に着手し、その手法確立を試みた。

YAPは酸化物の中では比較的低いフォノンエネルギーを有しており、可視アップコンバージョン蛍光体や中赤外蛍光体として期待できるが、YAP微粉体の液相合成に関する先行研究は少ない。活性元素にErを選択し、可視蛍光の添加濃度依存性を評価した。その結果、1, 5, 10 at.%で単相YAP粉体を得ることができ、また可視蛍光を観測した [1].

[1] H. Kawahara, K. Fujioka, and H. Furuse, Jpn. J. Appl. Phys. 59, 112004 (2020).

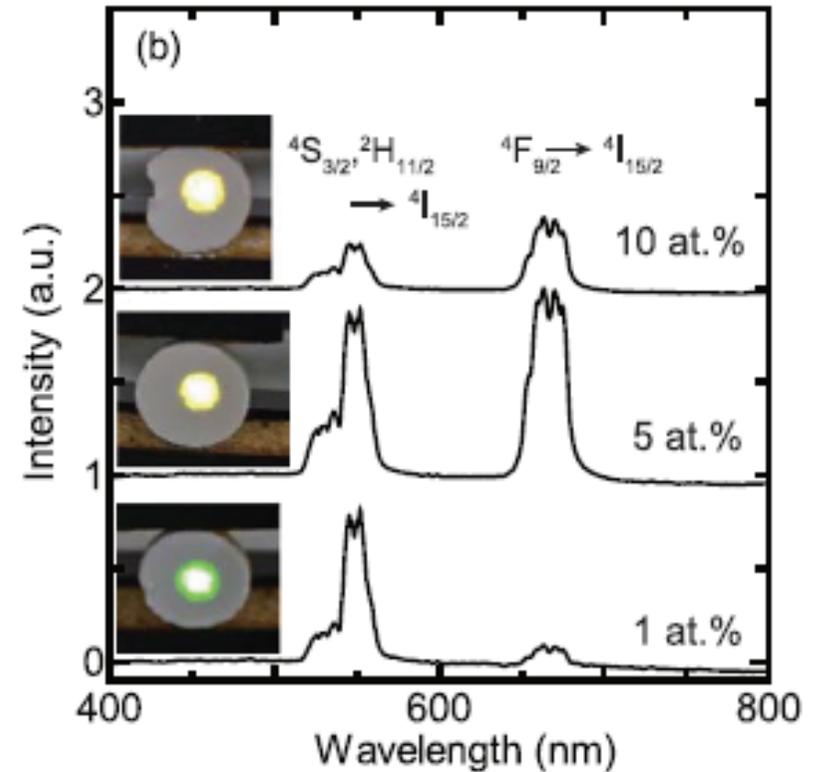


FIG. 添加濃度1, 5, 10 at.% Er:YAP微粉体の可視アップコンバージョン蛍光スペクトル [1].

赤・緑・青色レーザー光源におけるスペックルの評価と抑制技術の開発

田辺稔¹, 越智圭三², 山本和久²

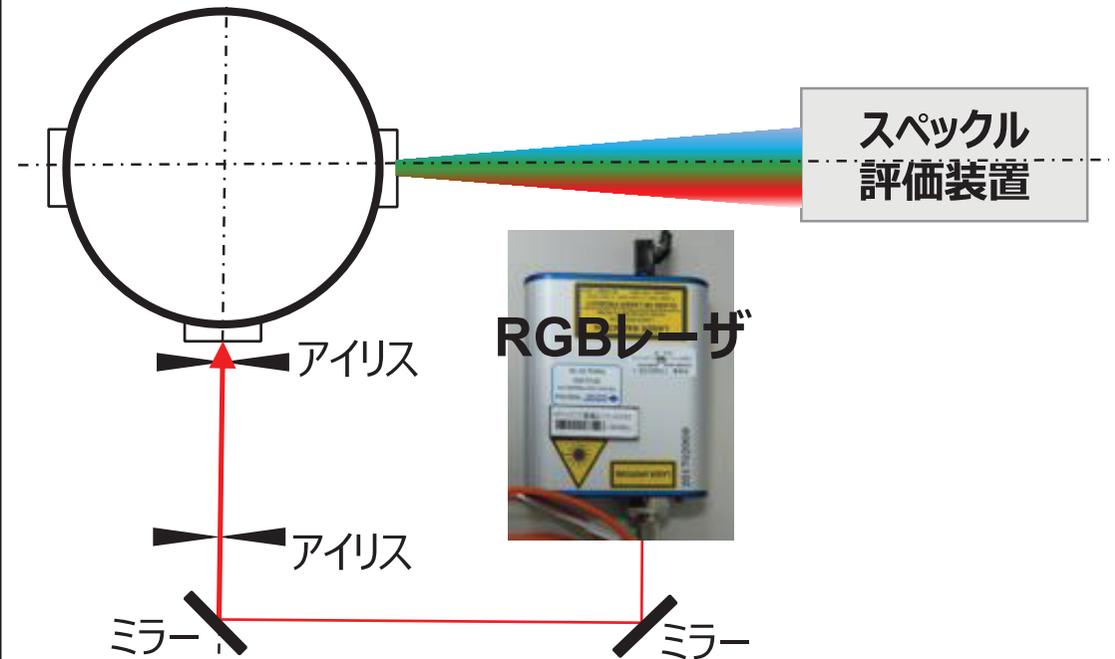
1) 産業技術総合研究所, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

半導体レーザーをディスプレイや照明に使用した場合、狭帯域を有する光源であるため、スペックルノイズが発生する。本研究では、その様な光源の発光色や放射量を精密に評価するため、スペックルノイズの精密評価や、その低減技術の確立を目的とする。

右図のような積分球と半導体レーザーを組み合わせた光源からの放射光を評価するシステムの構築を行った。また、この光源からの放射光を、スペックル測定器を用いて定量的に評価を行った。これらの評価結果を解析することでスペックルの抑制でき、半導体レーザーを用いたディスプレイや照明機器の発光色や放射量の精密測定器の評価を実施することにより、その光源の信頼性や安全性の向上に貢献できると考えられる。

積分球を用いた
均一光源



半導体レーザー光源と積分球を組み合わせたスペックル評価装置。一つの積分球のポートからレーザーを照射し、もう一つの積分球のポートからの放射光からスペックルを評価。

GaN中の点欠陥が光学物性に与える影響の解明

河村貴宏¹, 大畑智嗣¹, 場崎航平¹, 森勇介², 吉村政志³

1) 三重大学大学院工学研究科, 2) 大阪大学大学院工学研究科, 3) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

GaN結晶中の点欠陥や複合欠陥は電子物性や光学物性に影響するため、どのような欠陥が存在しているか、またどのように物性に影響しているかを明らかにすることは重要である。本研究では第一原理計算を用いてGaN中の点欠陥が光学物性に与える影響を調べた。

図1にGaN空孔(V_{Ga})およびGaN空孔とO欠陥からなる複合欠陥($V_{\text{Ga}}\text{-O}_{\text{N}}$)を含むGaNの状態密度解析の結果を示す。上記の欠陥によって状態密度が変化していることから、光学物性に影響することが分かった。引き続きGaNの光学物性に影響を与える欠陥や不純物を特定、さらに物性の劣化を補完する添加物の探索を進めており、それらの成果はGaNの高品質結晶成長技術と不純物制御技術の開発に貢献するものと考えられる。

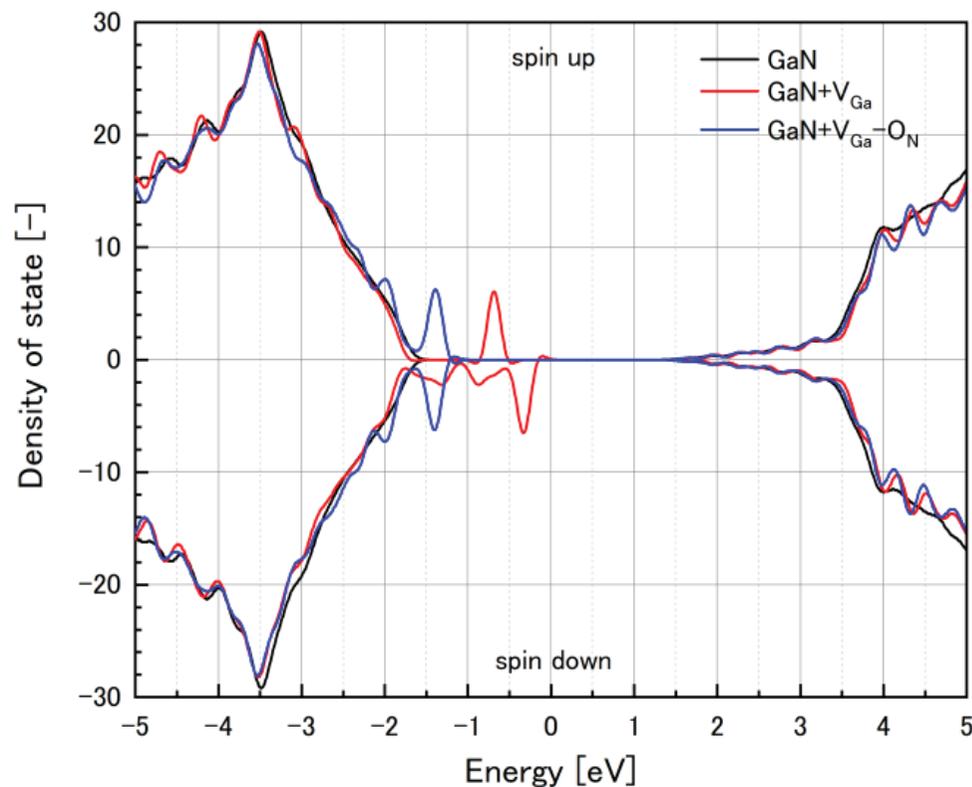


FIG. 1 Ga空孔(V_{Ga})およびGa空孔とO原子の複合欠陥($V_{\text{Ga}}\text{-O}_{\text{N}}$)を含むGaNの状態密度 (density of states)。比較のためGaN完全結晶の値を黒線で示す。

高繰り返しレーザー駆動量子ビーム源のための連続供給重水ターゲットの開発

東口 武史¹, 安部 勇輝², 藤岡 慎介²

1) 宇都宮大学工学部

2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

半導体リソグラフィ用露光用極端紫外 (EUV) 光源やセキュリティー分野で注目されている中性子源は基礎研究にとどまらず産業応用として展開する重要な応用であるが、高いスループットのため、高い繰り返し動作を要する。レーザー生成プラズマでは、レーザーには高繰り返し動作、ターゲットの高速連続供給技術が必要である。そこで、高繰り返しで動作できる連続供給ターゲットとしての重水ターゲットを開発する。

2020年度は、液体ターゲットを開発するための設計を進めた。具体的には、大阪大学レーザー科学研究所に設置できるようなサイズにし、射出部と回収部をどのようにするかについて検討した。

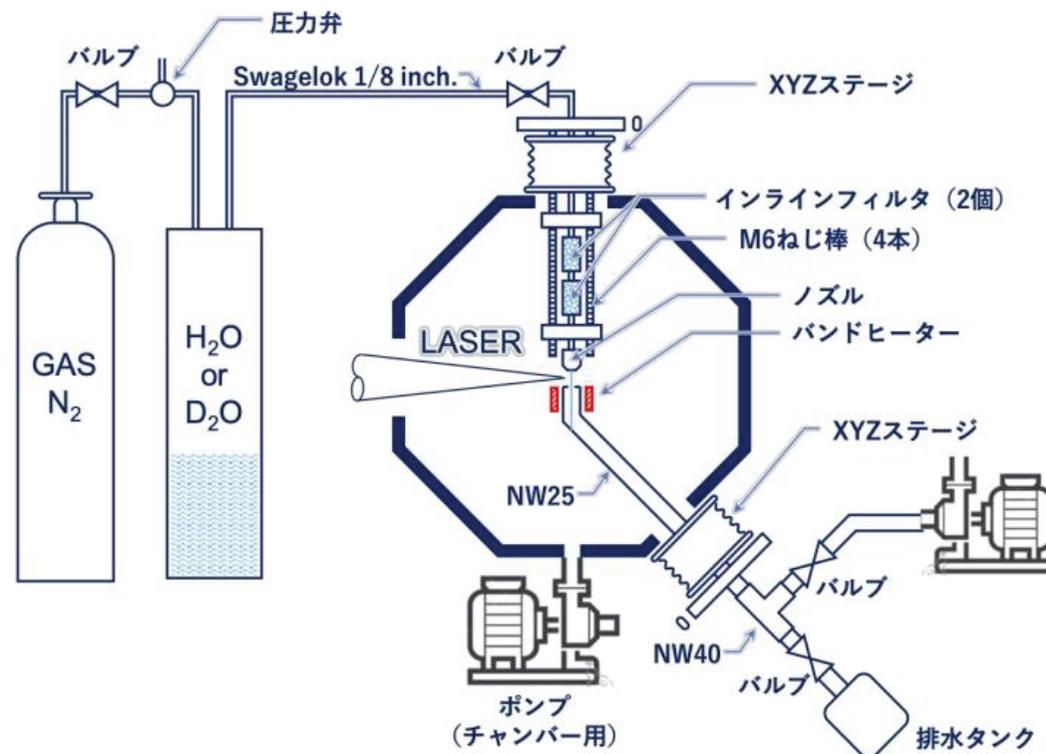


FIG. Experimental apparatus for liquid jet/droplet targets in vacuum chamber.

フェムト秒X線分光計測による高強度レーザー生成プラズマの過渡的特性の解明

犬伏雄一¹, 藪内俊毅¹, 千徳靖彦²

1) 高輝度光科学研究センター, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

フェムト秒のパルス幅をもつ高強度レーザーを利用することで、物質を急激にイオン化・加熱し、強い非平衡状態の高密度プラズマが生成できる。この過程はフェムト秒領域であり、これまで実験的に研究することは困難であった。しかし、近年、10フェムト秒以下のパルス幅を持つX線自由電子レーザー(XFEL)が開発され、この過渡的な状態を調べることが可能となった。本研究では、X線自由電子レーザー施設SACLAにおいて、高強度レーザー生成プラズマのX線吸収分光計測を実施した。

実験では、FIG.1に示すように、CuのK吸収端近傍の透過率が1ピコ秒程度の時間を要し大きく変化する様子が観測された。その後の数十ピコ秒では変化は無く、ほぼ一定であることもわかった。更に、FIG.2に示すように、大阪大学レーザー科学研究所において開発された、原子過程を組み込んだプラズマ粒子シミュレーションコードPICLSを用いた解析を実施した。今後は共同研究を継続し、高強度レーザーによる物質の加熱物理を解明していく。

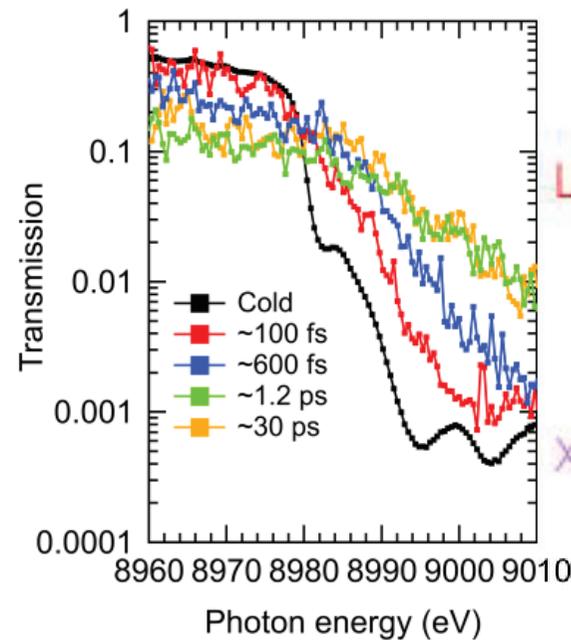


FIG.1

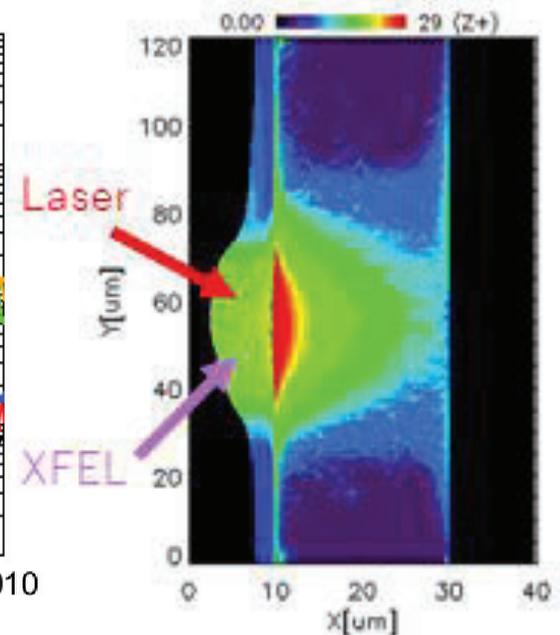


FIG.2

FIG.1. XFELを用いて計測された、高強度レーザーを照射されたCu薄膜 (厚さ20 μm) のK吸収端近傍の透過率の時間変化。 FIG.2. PICLSにより計算されたレーザー照射の500 fs後の電離度分布。

繰り返しレーザー応用実験のためのリアルタイム制御システムの開発

小田 靖久¹

1) 摂南大学

SUMMARY

10～100Hzで繰り返し動作する高出力レーザーの開発が進む中、これを応用した研究が検討されている。高繰り返し動作での実験では、ショット間のms程度の時間スケールで、計測信号処理とフィードバックを行うリアルタイム制御システムが実験の精度を上げるうえで必要となる。本研究ではこのような制御システム開発に向けた準備として、PLC(Programmable Logic Controller)上に信号の閾値検出と制御信号出力を行うプログラムを開発した。そして、図1に示す落下する水滴がレーザー光を遮る様子を模擬した実験系でこの制御プログラムの動作検証を行った。その結果、水滴がレーザー光を遮ったことをPLCが検出し、所定の制御信号が出力されることを確認するとともに、数Hz程度の繰り返し条件でも動作することを確認した。本研究の成果により、100Hzでの繰り返しに対応した高速制御機材を用いた制御システム開発に必要な知見を得ることができた。

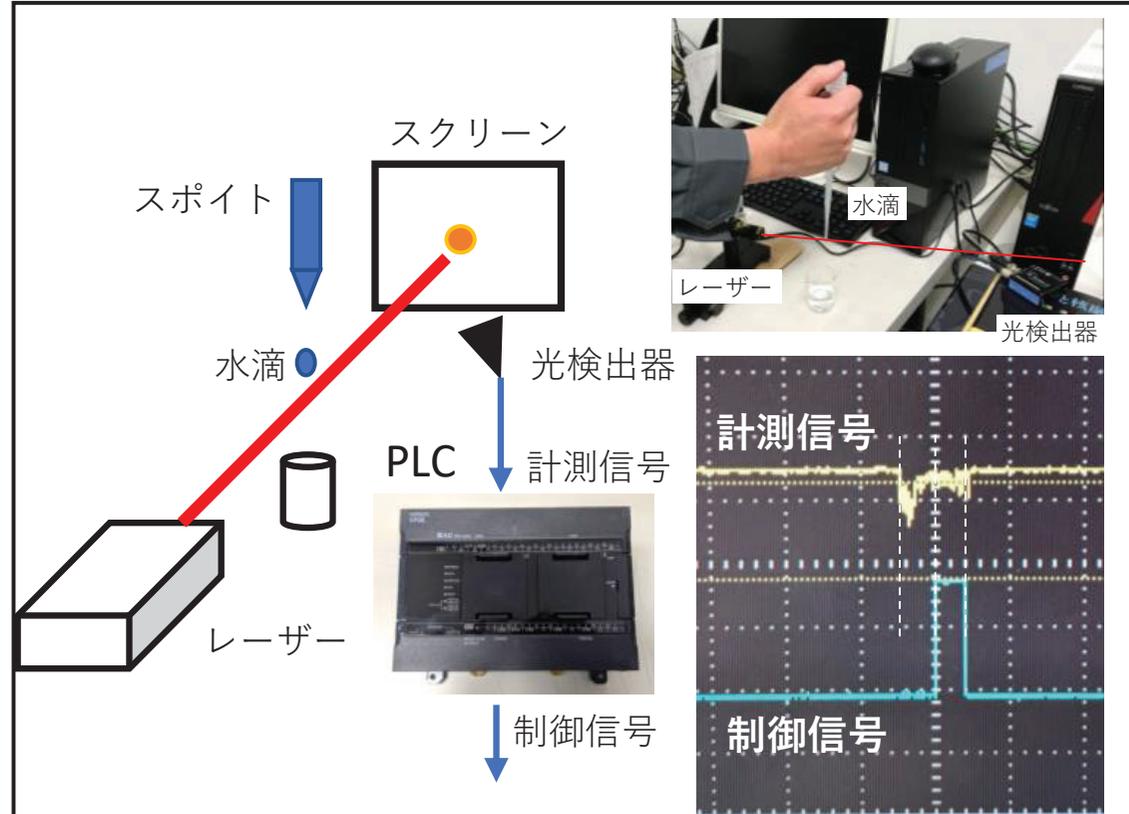


図1 水滴がレーザー光を遮ることで光検出器からの計測信号の変化を検出し制御信号を出力する検証の様子。右下は信号変化の検出してから100ms後に、制御信号を模擬した100ms幅信号を出力した時のシーケンス波形。

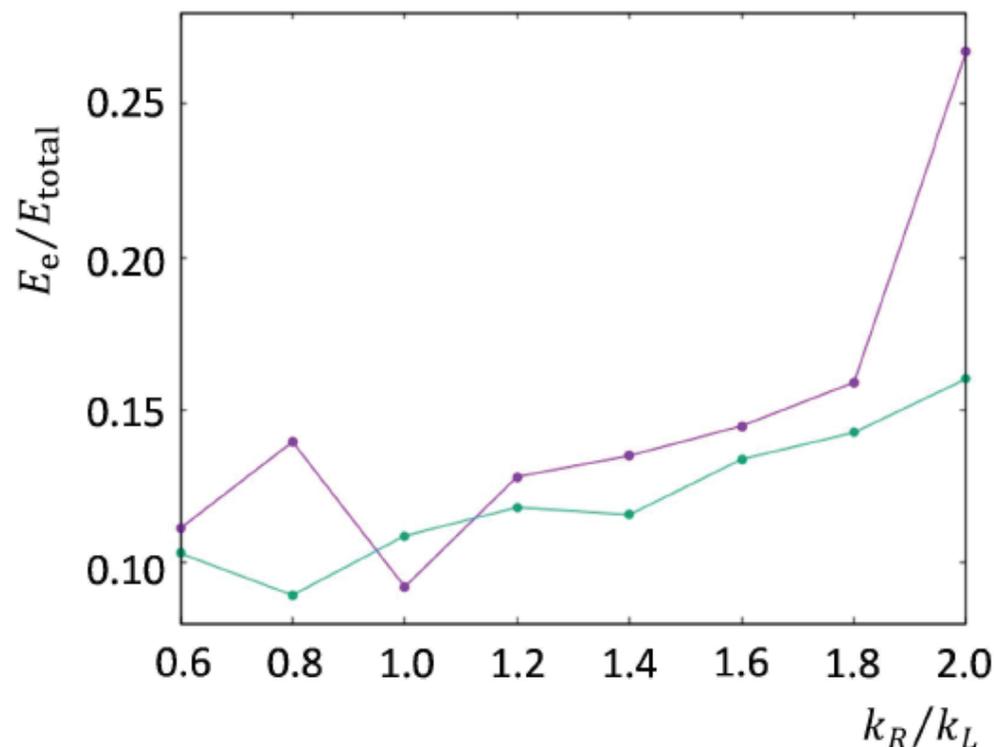
Decay instabilities of whistler waves in solar wind plasmas

T. Sano, Y. Tatsumi, M. Hata, Y. Sentoku

Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan

SUMMARY

近年の人工衛星による太陽風観測により太陽風プラズマ中のホイッスラー波の存在と、そのホイッスラー波の周波数分布などが明らかになってきた。このようなホイッスラー波がどのように励起され、またどの程度プラズマ加熱に寄与しているのかは、非常に興味深い問題である。そこで本研究では、太陽風プラズマのような環境下、すなわち異なる周波数を持つホイッスラー波が衝突するとき、どのようなプラズマ加熱機構が働きうるのかを、一次元PICシミュレーションを用いて詳しく調べた。その結果、イオンと電子が吸収するエネルギー量が、二つの波の周波数差に強く依存することがわかった。物理的な解釈としては、ホイッスラー波の定在波の性質と誘導ブリルアン散乱の成長が、相互作用の進化を決定していると言える。



単一のホイッスラー波による電子加熱率(緑)と対向する二つのホイッスラー波で加熱した場合の電子加熱率(紫)の比較。周波数に依存してプラズマへのエネルギー変換効率が変化していることが見てとれる。

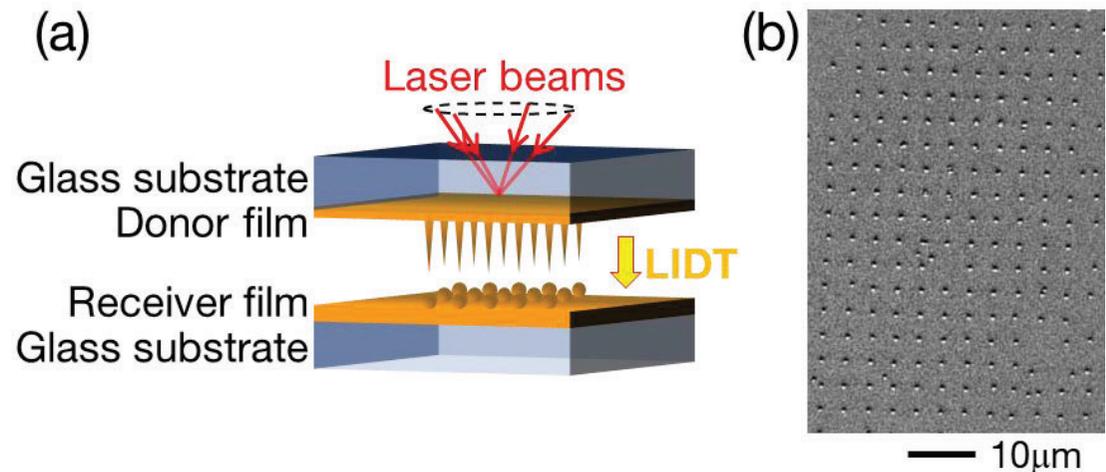
Basic technology research of nano-processing data acquisition toward CPS laser processing

A. Narazaki¹

1) *National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)*

SUMMARY

In the CPS for laser processing, it is assumed that a large amount of data in the physical space will be learned using machine learning. In this case, the acquisition of a large amount of experimental data in the physical space is a prerequisite. In the past, data acquisition has been attempted using a single-beam processing system capable of parameter sweeping. On the other hand, by using parameter-swept single-shot processing scheme, high accuracy and high speed of machine learning can be achieved. In this study, we introduced interference pattern processing equipment into the laser-induced transfer (LIDT) method, and succeeded in the simultaneous deposition of periodically arranged nanodots. This enabled us to perform a single-shot parameter sweep in combination with a filter whose optical properties change in the plane.



(a) Scheme of LIDT with interference pattern, (b) SEM images of Au nanodots deposited by LIDT with interference pattern[1].

[1] Y. Nakata et al., *Int. J. Extrem. Manuf.* **2** (2020) 025101.

レーザー駆動中性子源を用いた中性子共鳴透過分析技術開発研究会

伊藤史哲¹, 李在洪¹, 小泉光生¹, 高橋時音¹, 鈴木敏¹, 弘中浩太¹, 余語覚文², 有川安信², 安部勇輝²

1) 日本原子力研究開発機構 核不拡散・核セキュリティ総合支援センター, 2) 大阪大学レーザー科学研究所・光量子ビーム科学研究部門

SUMMARY

大阪大学のLFEXにおいて、レーザー駆動中性子源 (LDNS) を用いた中性子共鳴透過分析 (NRTA) の可能性を確認する実験を進めるため、打ち合わせ、議論、情報交換などを行った。主な内容は、(1) シミュレーション研究をベースにした、モデレータによるNRTAに必要な熱外中性子の効率的な取り出し、共鳴を観測するために必要な中性子数、また背景事象の影響等 (2) ガンマ線の感度を低くした中性子検出器の開発 (3) 得られた中性子信号のデータ処理手法である。

議論を基に、LFEXを用いたNRTA実験を行った。実験では、中性子発生源とそこから約3.7m離れた位置に検出器を設置し、レーザーパルスと同期させて中性子を計数した。右図はその結果で、検出器の手前に板状の試料 (In (0.2mm^t) とAg (0.8mm^t)) を置いて測定を行った結果である。中性子共鳴反応による計数の減少が確認でき、LDNSがNRTA測定に適用可能であることを示すことができた。今後、検出器等の改良を進め、小型NRTAシステムの提案につなげていきたい。

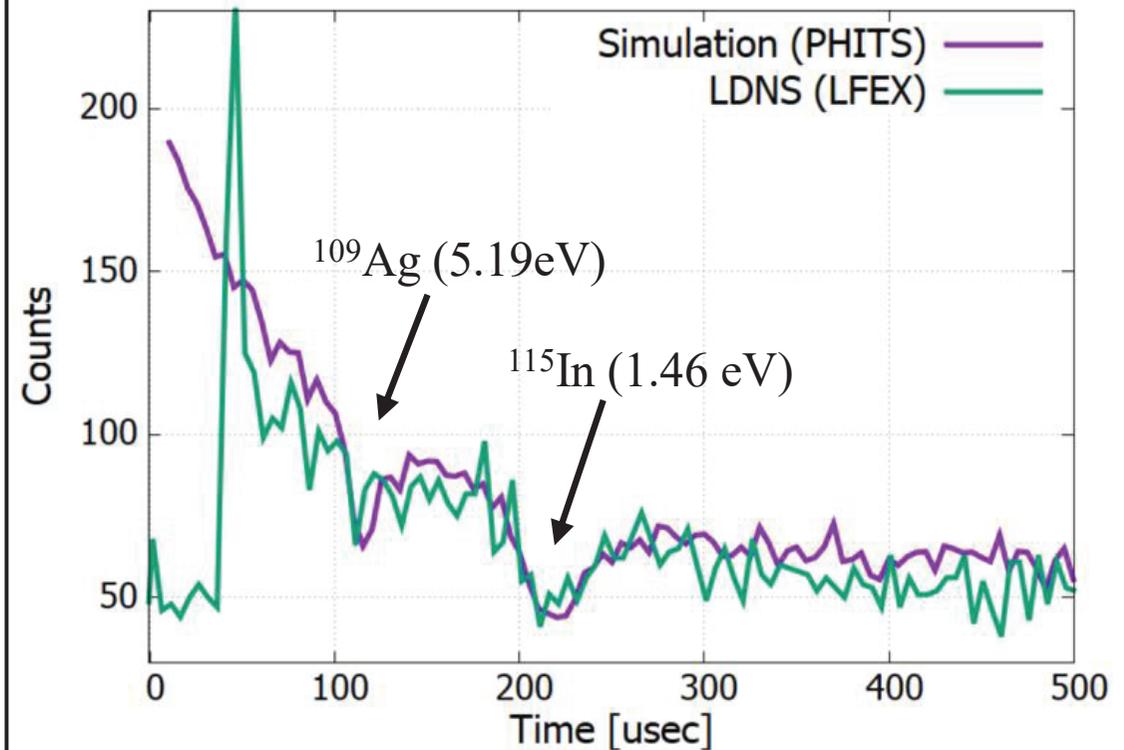


FIG. レーザー駆動中性子源を用いた中性子TOFスペクトル。(緑：実験。紫：シミュレーション) In, Ag試料による共鳴が、計数の減衰 (へこみ) として観測されている。