



レーザー科学研究所
令和5年度（2023年度）

共同利用・共同研究成果報告書

（令和5年4月-令和6年3月）

ILE Annual Report of Collaborative Research
April 2023 - March 2024

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、汎用性の高い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、学術の開拓と革新的技術の創生に努めています。最先端レーザー技術をベースとした基礎及び応用に関する研究・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きました。皆様のご理解とご協力のもと、令和4年度より、当研究所は新たに「高エネルギー密度科学先端研究拠点」として共同利用・共同研究の拠点到認定されました。学際的な高エネルギー密度科学の探求を通して世界を先導する国際的な研究拠点としてデジタルトランスフォーメーションを推進し、新たな共創による知の創出を加速させ、イノベーション創出を実現する価値創造システムを構築することを目標としています。当拠点活動として、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ています。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5年度は、「高エネルギー密度科学先端研究拠点」として拠点事業を行うとともに、当研究所の強みを活かし更なる飛躍と新たな人材育成を目標に組織整備をさらに推進致しました。国際競争力ある独自のレーザー技術と設備を基盤とし、多様なステークホルダーとの協働により、一層高度な“知”と付加価値を生み出す国際的な拠点を目指して、附属マトリクス共創推進センターを中心に当研究所の強みである学際連携・国際連携・施設連携・産学連携の一体的な運営を行いました。例えば、産学連携においては、産業界との共同研究部門が、今期目標である10部門を達成し産業界との連携による新たな共創が生まれています。また、国際連携においては、海外連携オフィス設置4機関（米国リバモア国立研究所、フランスエコールポリテクニク、ドイツヘルムホルツ機構ドレスデン・ロッセンドルフ研究所、ルーマニア極限レーザー核物理研究所）と連携した「パワーレーザーの国際連衡による超域プラズマ科学の国際研究拠点（2023-2027年度）」が、日本学術振興会（JSPS）研究拠点形成事業として採択されました。さらに、「パワーレーザー極限状態の固体とプラズマにおける物質と場の構造変化に関する学理探究」が科研費国際共同研究加速基金（国際先導研究）に採択されるなど、世界の地域ネットワークと我が国のネットワークが面と面で連携する国際グランドアライアンス構想が実現されつつあります。さらに、国内施設連携と学際連携により、「世界を先導できる大型パワーレーザー施設による国際中核拠点の構築」構想を国内8機関と連携し取りまとめ、日本学術会議提言「未来の学術振興構想（2023年版）」（2023年9月25日公表）に掲載されました。さらに国内8機関が連携した「多様な知が活躍できるパワーレーザー国際共創プラットフォーム：J-EPoCH計画」を本拠点が実施責任機関となり文科省「学術研究の大型プロジェクトの推進に関する基本構想（ロードマップ2023）」（2023年12月22日公表）に提案し採択されました。

令和6年度においても、「高エネルギー密度科学先端研究拠点」としての拠点事業とともに、附属マトリクス共創推進センターの活動をさらに強化し、学内から国内外に展開し新たな共創と人材育成に貢献する予定です。また、多様なステークホルダーからの利用が期待されている高繰り返しパワーレーザーシステムの利用の開始を予定しています。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まいります。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6年6月
大阪大学レーザー科学研究所長 児玉 了祐

目次 INDEX

レーザー宇宙物理学 Laser Astrophysics

2023A1-006MATSUKIYO	Space plasma shock experiment using light gas plasma	Shuichi Matsukiyo	九州大学・大学院総合理工学研究院	P.9
2023A1-012MORITA	Laser astrophysics experiment for the investigation of energy conversion in a magnetic reconnection	Taichi Morita	九州大学・大学院総合理工学研究院	P.10
2023A1-017FUJIOKA	Opacities for astrophysical applications	Shinsuke FUJIOKA	Institute of Laser Engineering	P.11
2023A1-021SAKAWA	Time evolution measurement of magnetic reconnection current using coil target	Youichi Sakawa	Institute of Laser Engineering, Osaka University	P.12
2023A1-026BOLOUKI	Experimental investigation on the magnetic reconnections driven by electron dynamics	Nima Bolouki	Department of Physical Electronics, Faculty of Science, Masaryk University, Brno, Czech Republic	P.13
2023B2-020YAMAZAKI	Data analysis and theoretical interpretation of magnetized collisionless shock experiments	Ryo Yamazaki	青山学院大学・理工学部	P.14
2023B2-030OHIRA	Investigation of plasma instabilities in the collisionless shock foot region	Yutaka Ohira	Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo	P.15
2023B2-031ISAYAMA	Particle acceleration by counter propagating waves in magnetized plasma	Shogo Isayama	Kyushu University	P.16
2023B2-038SANO	Decay instabilities of whistler waves in solar wind plasmas	Takayoshi Sano	Institute of Laser Engineering	P.17
2023B2-044FUKUDA	Ion acceleration using collisionless shocks produced in nonequilibrium plasmas	Yuji Fukuda	Kansai Photon Science Institute (KPSI), National Institutes for Quantum Science and Technology	P.18
2023B2-046MIZUTA	Study of laboratory experiments of hydrodynaimc instabilities in astrophysical jet propagation by ultra-intense lasers	Akira Mizuta	理化学研究所・開拓研究本部長瀧天体ビッグバン研究室	P.19
2023B2-049TANAKA	Preparation to laser experiments of induced Compton Scattering	Shuta Tanaka	青山学院大学・理工学部	P.20
2023B2-071SUMING	Nonlinear interaction between ultra-intense laser and relativistic plasma	Weng Suming	上海交通大学・理学部	P.21

超高圧物性・惑星物理学 High Pressure/Laser Earth & Planetary Science

2023A1-009KATAGIRI	Shock response of strong yet ductile dual-phase nanolamellar high-entropy alloy	Kento Katagiri	Stanford University・Materials Science and Engineering	P.22
2023A1-013EINAGA	LASER DAC Hybrid Compression Experiment on High Temperature Superconducting Hydrogen Sulfide	Mari EINAGA	大阪大学基礎工学研究科附属極限科学センター	P.23
2023A1-022OZAKI	Grain size effects on material properties under nanosecond shock compression	Norimasa OZAKI	大阪大学・大学院工学研究科	P.24
2023B2-053YANO	Fundamental Development of Microparticle Capture System through Hypervelocity Impact Simulations and Experiments at >10 km/s	Hajime Yano	国立研究開発法人・宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所	P.25
2023B2-081SAKAIYA	Study of differentiation process between metal and silicate induced from impact events	Tatsuhiro Sakaiya	大阪大学・大学院理学研究科	P.26

超高強度磁場科学 High Magnetic Field Science

2023A1-027MORITA	Megatesla ultra-high magnetic field generation driven by high-intensity laser implosion	Hiroki Morita	Faculty of Engineering, Utsunomiya University	P.27
2023B2-045KOJIMA	Ultrafast dynamics of critical density surfaces due to relativistic radiation pressure sustained for multi-picoseconds	Sadaoki KOJIMA	量研機構 関西光科学研究所	P.28
2023B2-067FERNANDO	Generation of megatesla magnetic fields by microtube implosion	Rubio Garcia Fernando	Laboratory for Laser Energetics (LLE), Rochester University	P.29

量子ビーム科学 Quantum Beam Science

2023A1-003HAYAKAWA	The study of stellar nucleosynthesis using laser-driven neutrons	Takehito Hayakawa	量子科学技術研究開発機構 東海量子ビーム応用研究センター	P.30
2023A1-004WEI	A novel acceleration mechanism for quasi-mono energetic deuterons driven by laser accelerated protons and its application as a D-D neutron source	Tianyun WEI	大阪大学レーザー科学研究所	P.31
2023A1-014IWAMOTO	Pure proton beam acceleration by a cryogenic cooling solid hydrogen target	Akifumi Iwamoto	核融合科学研究所	P.32
2023A1-016ARIKAWA	Measurement of laser driven magnetic field by means of neutron diffractometry	Yasunobu Arikawa	大阪大学レーザー科学研究所	P.33
2023A1-024ABE	Development of short-pulsed point neutron sources using ultra-high intensity lasers	Yuki Abe	大阪大学大学院工学研究科	P.34
2023A1-2022014ARIKAWA	Laser driven polarized neutron generation and proof of principle of high magnetic field measurement	Yasunobu Arikawa	大阪大学レーザー科学研究所	P.35
2023A1-2022019IWAMOTO	Pure proton/deuteron beam acceleration by a cryogenic cooling solid hydrogen target	Akifumi Iwamoto	核融合科学研究所	P.36
2023B2-005HIGASHIGUCHI	Development of regenerative liquid target for high-repetition rate laser-driven quantum beam sources	Takeshi Higashiguchi	Utsunomiya University	P.37
2023B2-008MIYAMOTO	Online reading of a gamma-ray spectroscopy system with photostimulable phosphors	Shuji Miyamoto	大阪大学・レーザー科学研究所	P.38
2023B2-032TOKUMOTO	Development of New Soil Moisture Detection System by Neutrons	Ieyasu Tokumoto	Saga University	P.39
2023B2-035HATA	Ionization physics and its control on ultrahigh intense laser ion acceleration	Masayasu Hata	量子科学技術研究開発機構・関西光科学研究所	P.40
2023B2-041NISHIUCHI	Investigation of the formation of high intensity laser produced highly charged heavy ion plasmas	Mamiko Nishiuchi	QST 量子ビーム応用研究部門	P.41
2023B2-050ABE	Study on laser-driven repetitive ion acceleration using liquid jet targets	Yuki Abe	大阪大学大学院工学研究科	P.42
2023B2-051IWAMOTO	Development of a solid deuterium foil target system for laser ion acceleration	Akifumi Iwamoto	NIFS 核融合科学研究所	P.43
2023B2-059JEONG	Development of gamma-ray polarimeter for high field science	Tae Moon Jeong	ELI Beamlines	P.44
2023B2-060HONRUBIA	Proton-beam-driven impact ignition	Javier Honrubia	ETSI, UPM	P.45

2023B2-064GUSKOV	Generation of ultra-high fields by nano-structured targets	Sergey Yurevich Gus'kov	ロシア科学アカデミー・レベデフ研究所	P.46
2023B2-066SERGEY	Ultrahigh electric field by micro-bubble implosion	Bulanov Vladimirovich Sergey	欧州高強度レーザー実験施設(ELI)・高強度場研究部門	P.47
2023B2-069HAYAKAWA	The study of stellar nucleosynthesis using laser-driven neutrons	早川 岳人	量子科学技術研究開発機構 東海量子ビーム応用研究センター (関西光科学研究所駐在)	P.48
2023B2-072RAMAKRISHNA	Theoretical and Experimental Study on Laser-Driven Ion Acceleration	Bhuvanesh Ramakrishna	ハイデラバード工科大学 (理工学部)	P.49

プラズマ科学 Plasma Science

2023A1-001WEBER	Efficient neutron generation from a deuterated foam target irradiated by a PW laser	Stefan Weber	ELI-Beamlines	P.50
2023A1-002SHIGEMORI	Revisit of the ablation scaling with high power laser irradiation	Keisuke Shigemori	Institute of Laser Engineering, Osaka University	P.51
2023A1-007NAGATOMO	Temperature measurement of highly compressed plasma for validation of hydrodynamic simulation code	Hideo Nagatomo	大阪大学・レーザー科学研究所	P.52
2023A1-020BATANI	Investigation of advanced laser-driven proton sources produced in interaction of relativistic laser pulse with low density foams and application to the study of proton-boron fusion	Dimitri Batani	Uniuersity of Bordeaux	P.53
2023B2-011SAWADA	Characterization of LFEX laser-generated fast electrons via modeling angular-dependent bremsstrahlung measurements	Hiroshi Sawada	University of Nevada Reno	P.54
2023B2-012SAWADA	Development of dual x-ray and proton radiography for a direct drive fast ignition cone-sphere target	Hiroshi Sawada	University of Nevada Reno	P.55
2023B2-013CAMPOS	Dependence of Richtmyer-Meshkov Instability growth on gas compressibility	Francisco Cobos Campos	University of Castilla-La Mancha, Spain.	P.56
2023B2-017JI	Magnetic reconnection driven by capacitor coils at low plasma beta	Hantao Ji	Princeton University	P.57
2023B2-018SAWADA	Development of an XFEL platform for high-power laser-irradiated nanowire arrays	Hiroshi Sawada	University of Nevada Reno	P.58
2023B2-022INUBUSHI	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	P.59
2023B2-023HIGASHI	Generation of superponderomotive electrons using multipicosecond relativistic-intensity laser	Naoki HIGASHI	Faculty of Engineering, Hokkaido University / 北海道大学 大学院工学研究院	P.60
2023B2-033TAGUCHI	Interaction between ultra-intense laser and plasmas	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.61
2023B2-039SENTOKU	Study of intense laser driven isochoric heating by utilizing XFEL	Yasuhiko Sentoku	Institute of Laser Engineering	P.62
2023B2-040IWATA	Theoretical study on particle acceleration in high energy density plasmas created by kJ class ultraintense lasers	Natsumi Iwata	大阪大学・高等共創研究院	P.63
2023B2-042SENTOKU	Developing a photon scattering model in non-thermal high energy density plasmas in PICLS code	Yasuhiko Sentoku	Institute of Laser Engineering	P.64
2023B2-078SUGIMOTO	Theoretical and simulation research for efficient generation of intense laser-driven high-energy photon and positron beams	Kaoru SUGIMOTO	Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University	P.65

テラヘルツ光科学 Terahertz Science

2023B1-001MATSUI	Terahertz fast switching utilizing organic semiconductors	Tatsunosuke Matsui	三重大学大学院工学研究科電気電子工学専攻	P.66
2023B1-004ONO	Development of broadband antireflection structure in THz region	Shingo ONO	名古屋工業大学	P.67
2023B1-007TANI	Study on high-efficiency terahertz wave generation by metallic spintronic devices	Masahiko Tani	福井大学・遠赤外領域開発研究センター	P.68
2023B1-011MARUYAMA	Crystal phase identification and imaging of biominerals by terahertz spectroscopy	Mihoko Maruyama	大阪大学大学院工学研究科	P.69
2023B1-012NASHIMA	Enhanced terahertz radiation from spintronic emitter using an optical resonator	Shigeki Nashima	Osaka Metropolitan University	P.70
2023B1-013MINAMI	Characterization of Photocarriers using Terahertz Time-Domain Ellipsometer	Yasuo Minami	Tokushima University	P.71
2023B2-015ASAKAWA	Smith Purcell radiation from a ps sheet electron bunch.	Makoto Asakawa	関西大学 システム理工学部 物理・応用物理学科	P.72
2023B2-019KUWASHIMA	Simultaneity of laser modes in laser chaos through plasmon antenna	Fumiyoshi Kuwashima	Department of Electrical and Electronic Engineering, Fukui University of Technology	P.73
2023B2-026MAKINO	Development of terahertz material characterization toward 6G telecommunication technology	Kotaro Makino	産業技術総合研究所	P.74
2023B2-027KOBAYASHI	Selective Decontamination of Tritium in Radioactive Water Using Terahertz and Ultraviolet Light	Kaori Kobayashi	University of Toyama Department of Physics	P.75
2023B2-070NASHIMA	Fabrication of metal hole with sharp transmission spectra in terahertz region	Shigeki Nashima	Osaka Metropolitan University	P.76
2023B2-073MORITA	Novel Higher-Order Spin States with Focused Higher-Order Photons	Ken Morita	Chiba University	P.77
2023B2-075KUWASHIMA	Low cost and stable CW-THz spectroscopy for volcanic ash	Fumiyoshi Kuwashima	福井工業大学工学部	P.78

パワーレーザー科学 Power Laser Science

2023B2-034FUJITA	Research on development, control, applications of quantum beam sources	Masayuki Fujita	公益財団法人レーザー技術総合研究所	P.79
2023B2-047MOTOKOSHI	Additive manufacturing of silica glass structure by laser writing	SHINJI MOTOKOSHI	Institute for Laser Technology	P.80
2023B2-062MIYANAGA	Research of Pr-doped visible fiber laser	Noriaki Miyanaga	Institute for Laser Technology	P.81
2023B2-063MIYANAGA	Evaluation of the effect of wavefront distortion on the multi-stage coherent beam combining	Noriaki Miyanaga	Institute for Laser Technology	P.82
2023B2-068TOKITA	Development of Faraday Rotor for Next-Generation High-Power Lasers	Shigeki Tokita	京都大学・化学研究所	P.83

光学材料 Laser&Optical Material

2023B1-002MURATA	Improvement on characteristics of Pr3+-doped glass scintillator for neutron detector	Takahiro Murata	熊本大学 大学院先端科学研究部	P.84
2023B1-003RADUBAN	Investigating cross luminescence in wide band gap barium fluoride crystals	Marilou Cadatal RADUBAN	School of Natural Sciences, Massey University	P.85
2023B1-006TAMURA	Research on the Efficacy of an Infrared Microscope for Utilization to Cultural Objects	Tomomi Tamura	独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所・都城発掘調査部（埋蔵文化財センター兼任）	P.86
2023B1-009PUTUNGAN	Effect of cobalt and nickel-doped on bulk zinc oxide: A density functional theory investigation	Alexandra Santos- Putungan	Institute of Mathematical Science and Physics	P.87
2023B2-001FUJIMOTO	Development on advanced functional optical fiber devices and its application	Yasushi Fujimoto	Chiba Institute of Technology	P.88
2023B2-029IWASA	Long-term stability of optics for UV irradiation	Yuki Iwasa	産業技術総合研究所計量標準総合センター	P.89
2023B2-037MORI	Development of high-quality optical borate crystals	Yusuke Mori	大阪大学・大学院工学研究科	P.90
2023B2-048YOSHIKAWA	Production of Organic Functional Crystals by Using Intensive Lasers	Hiroshi Yoshikawa	Department of Applied Physics, Graduate School of Engineering, Osaka University	P.91
2023B2-054UMEMURA	Measurements for refractive indices of optical materials in the vacuum UV	Nobuhiro Umemura	公立千歳科学技術大学 理工学部 応用化学生物学科	P.92
2023B2-055NAKAMURA	Development on the optical image transfer by using a multimode fiber	Tomoya Nakamura	大阪大学産業科学研究所	P.93
2023B2-057KUROSAWA	Development of Transparent Ceramics for Optical Materials with High-Effective-Atomic Numbers and Their Energy Transfer	Shusnuke Kurosawa	Tohoku University, New Industry Creation Hatchery Center	P.94
2023B2-061MIYANAGA	Judd-Ofelt analysis of Nd,La:CaF2 ceramics	Noriaki Miyanaga	Institute for Laser Technology	P.95
2023B2-065OHASHI	Evaluation of crystal defects of piezoelectric single crystals for high frequency elastic wave filters	Yuji Ohashi	New Industry Creation Hatchery Center, Tohoku University	P.96

物理インフォマティクス Physics Informatics

2023B2-043FUJIOKA	Optimization of laser-driven implosion by combining simulation post-processing and machine learning	Shinsuke Fujioka	大阪大学・レーザー科学研究所	P.97
2023B2-076SETO	Studies for construction method of distribution functions from quantum fields in nonlinear QED	Seto Keita	Tsuruga Comprehensive R&D Center, Sector of Fast Reactor and Advanced Reactor R&D, Japan Atomic	P.98
2023B2-080KISHIMOTO	Plasmoid generation by the interaction between a high-intensity laser and structured target	Yasuaki Kishimoto	京都大学大学院エネルギー科学研究科	P.99

一般共同研究 General Subjects

2023B1-008HABARA	Measurement of intense magnetic field created with resistivity gradient in dense plasma	Hideaki Habara	Graduate School of Engineering, Osaka University	P.100
2023B2-002MATSUOKA	Nonlinear evolution of vortex sheets with density stratification in fluids and plasmas	Chihiro Matsuoka	大阪公立大学大学院・工学研究科	P.101

2023B2-003KAN	Ultrafast detection of terahertz electric field induced by quantum beam	Koichi Kan	大阪大学・産業科学研究所	P.102
2023B2-006SASAKI	Statistical simulation of optical material and itsw application	Akira Sasaki	量子化学研究開発機構・関西光科学研究所	P.103
2023B2-007LEE	Measurement of Japanese Traditional Pattern (Seigaiha Pattern) as a THz-SRR Pattern	SANG-SEOK LEE	鳥取大学工学部電気情報系学科	P.104
2023B2-009TANABE	Speckle evaluation for semiconductor laser light source and its suppression	Minoru Tanabe	国立研究開発法人産業技術総合研究所・計量標準総合センター	P.105
2023B2-010IWAMOTO	Development of a solid ball target filled with liquid hydrogen for realization of high-density implosion	Akifumi Iwamoto	National Institute for Fusion Science, National Institutes of Natural Sciences	P.106
2023B2-014YOKOTA	Growth and evaluations of optical properties of novel oxide single crystals with high melting point	Yuui Yokota	東北大学・金属材料研究所	P.107
2023B2-016MORI	Space propulsion by EUV ablation and its application to the space debris trajectory tranfer	Koichi Mori	Osaka Metropolitan University, School of Engineering	P.108
2023B2-021ODA	Development of real-time target 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.109
2023B2-024KAWAMURA	Influence of point defects on thermal conductivity of GaN crystal	Takahiro Kawamura	Graduate School of Engineering, Mie University	P.110
2023B2-025OTANI	Development of MKID for High-efficiency phonon detection with ultra-high resonant quality factor	Chiko Otani	国立研究開発法人理化学研究所・光量子工学研究センター	P.111
2023B2-028FURUTA	THz radiation and absorption properties of CNT films	Hiroshi Furuta	高知工科大学・システム工学群	P.112
2023B2-036SUNAHARA	Numerical modeling of plasma facing materials	Atsushi Sunahara	Center for materials under extreme environments (CMUXE), School of Nuclear Engineering, Purdue	P.113
2023B2-052OGINO	Development of novel excitonic luminescence materials by layered mixed-anion compounds	Hiraku Ogino	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)	P.114
2023B2-056TSUBOI	Deposition of noble metal nanodots matrix	Yasuyuki Tsuboi	大阪公立大学	P.115
2023B2-058MASADA	Development of Sub-grid scale Model of Stellar Thermal Convection with New Turbulence Theory and Deep Learning	Youhei Masada	福岡大学・理学部物理科学科	P.116
2023B2-074WADA	Pulsed laser deposition of tin on silicon substrates using nanosecond laser	Motoi Wada	Doshisha University	P.117
2023B2-077NAKAI	Development of separation technology for radio-active substances in soil using laser ablation in liquid	Mitsuo Nakai	Fukui University of Technology・Electric, Electronic and Computer Engineering	P.118
2023B2-079TSUBOI	Batch deposition of precious metal nanodot arrays	Yasuyuki Tsuboi	大阪公立大学	P.119

Space plasma shock experiment using light gas plasma

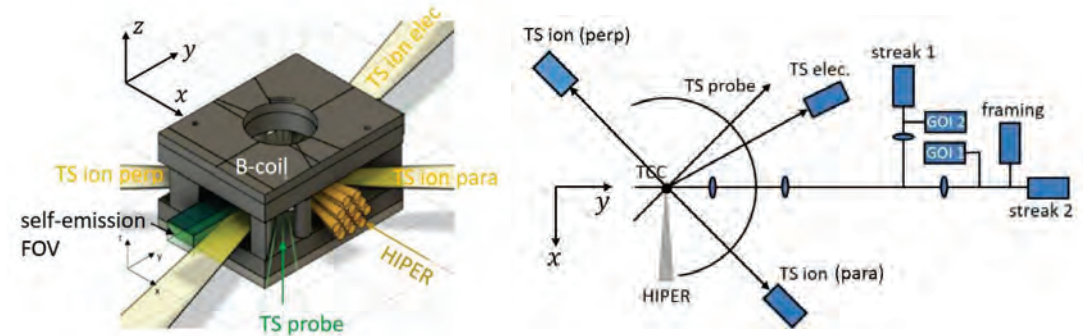
S. Matsukiyo¹, S. Isayama¹, T. Morita¹, T. Takezaki², R. Yamazaki³, S. J. Tanaka³, Y. Kuramitsu⁴, K. Tomita⁵, T. Sano⁶, K. Oshida¹, G. Nakayama¹, Y. Sato¹, K. Takahashi¹, K. Yoshida¹, Y. Maenosono¹, Y. Muramoto¹, K. Kanesada¹, T. Matsuzawa², J. Shiota³, K. Obayashi³, Y. Okada³, S. Yakura³, H. Kondo³, A. Morita³, R. Ishikawa³, Y. Sudo³, T. Minami⁴, K. Sakai⁷, P. Yiming⁵, Y. Suzuki⁶, M. Hanano⁶, Y. Sakawa⁶

1) *Kyushu University*, 2) *University of Toyama*, 3) *Aoyama Gakuin University*, 4) *Osaka University*,
5) *Hokkaido University*, 6) *Institute of Laser Engineering, Osaka University*, 7) *National Institute for Fusion Science*

SUMMARY

We have conducted long-term measurements of collisionless shock propagating in a gas plasma. A solid target placed in a chamber filled with gas at a pressure of a few Torr is irradiated with a laser to generate a shock in the gas plasma. To track the propagation of a shock over an even longer effective period than previous experiments using nitrogen gas, experiments using lighter gases were conducted. Various combinations of gases such as H_2 and He, and solid targets such as C, CF_2 , and Si_3N_4 were explored to find the optimal combination. With the combination of He gas and C, the formation of a shock in the gas plasma was observed. Thomson scattering measurements confirmed that the gas was fully ionized into He^{2+} . The gyro-radius of the gas ions calculated from the propagation speed of the shock and the external magnetic field strength is shorter than the mean free path of ion-ion collisions, meeting the conditions for a collisionless shock. We could track system evolution of over 10 inverse ion gyro frequency.

Experimental setup



Thomson scattering measurement for He gas shock

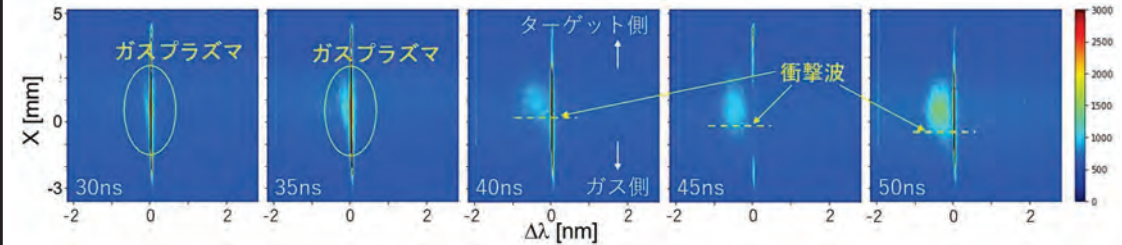


FIG. The upper panels show experimental setup. The lower panels denote Thomson scattering measurement of ion feature at various times, indicating the evolution of a shock in a helium gas (He^{2+}) plasma.

Laser astrophysics experiment for the investigation of energy conversion in a magnetic reconnection

T. Morita¹, Y. Muramoto¹, Y. Maenosono¹, Y. Kanesada¹, T. Ogawa¹, S. Matsukiyo¹, S. Isayama¹, K. Oshida¹, G. Nakayama¹, Y. Sato¹, K. Takahashi¹, R. Yamazaki², S. J. Tanaka², J. Shiota², S. Yakura², H. Kondo², N. Shimoda², A. Morita², K. Okada², Y. Sudo², R. Ishikawa², Y. Suzuki³, M. Hanano³, Y. Kuramitsu³, K. Tomita⁴, Y. Pan⁴, T. Takezaki⁵, T. Matsuzawa⁵, F. Ishizaki⁵, M. Edamoto⁶, K. Sakai⁷, Y. Sakawa³

1) Kyushu University, Japan, 2) Aoyama gakuin University, Japan, 3) Osaka University, Japan, 4) Hokkaido University, Japan, 5) Toyama University, Japan, 6) Seikei University, Japan, 7) National Institute for Fusion Science, Japan

SUMMARY

2ビームの激光を2枚の炭素薄膜に照射してアブレーションプラズマと自己生成磁場を生成し、相互作用させることで磁気リコネクションを検証した。磁場はB-dotプローブで確認し、反平行磁場のリコネクションによって加速・加熱されたプラズマはレーザートムソン散乱法で確認した。スポット間隔が狭いほど高温・高密度プラズマの衝突が確認でき、排出(リコネクション加速)されるプラズマの速度、温度も高いことが明らかになった。詳細に解析することで、スポット間隔を変更しても、磁場の繋がり替わる速さ(リコネクション率)に大きな違いは無いことが確認された。さらにリコネクション平面に垂直方向に高温な電子の排出が確認され、方向依存性、スポット間隔の違いにも依存することがわかった。この原因は、今後、さらに実験検証と理論解析を進める予定である。

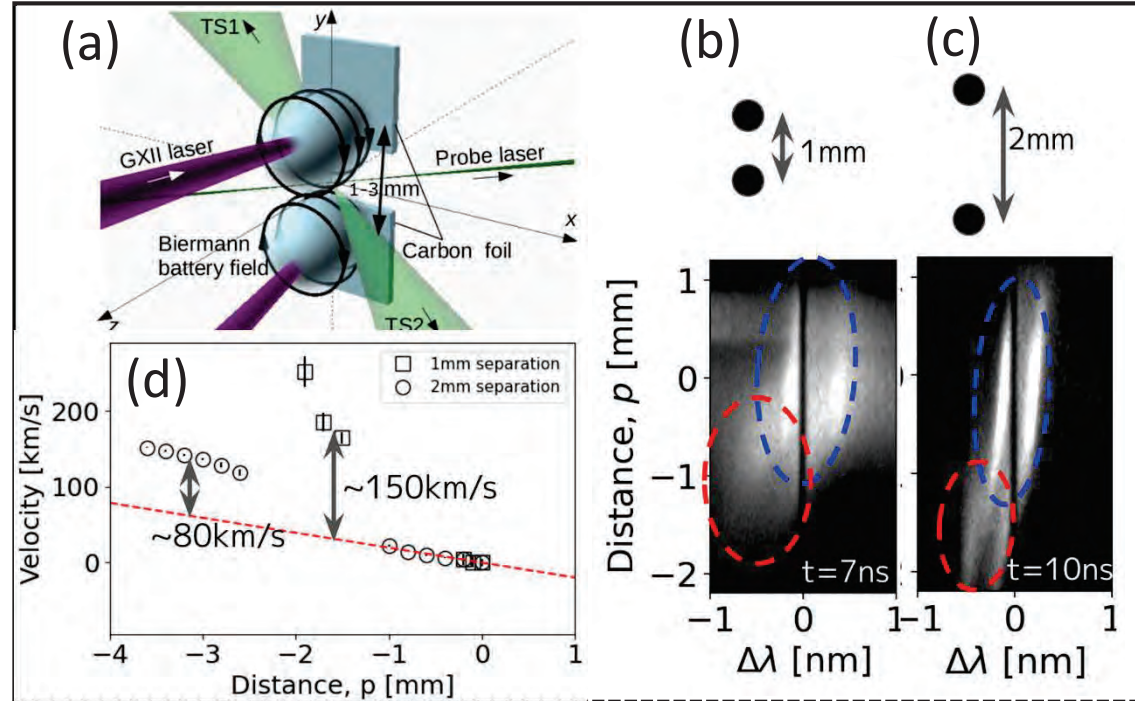


FIG. (a) 2枚の炭素薄膜に激光を2ビーム照射し、中間面に反平行な自己生成磁場が生成される。スポット間隔が (b) 1 mm、(c) 2mmの場合で、(d) リコネクションによって異なる加速を示すドップラーシフトが得られた。

Opacity for Astrophysical Applications

研究代表者: 藤岡 慎介 受入教員: 佐野孝好
大阪大学レーザー科学

SUMMARY

プラズマのX線不透明度（オパシティー）は、恒星の内部構造とエネルギー輸送のプロセスにおいて決定的な役割を果たす。本研究では、新型のドッグボーン形状のキャビティを開発し、熱X線でサンプルを均一に加熱することで、温度・密度分布が一様なサンプルプラズマを生成した。このキャビティは10本の激光XII号ビームで照射され、オパシティーサンプルを高温度にまで加熱した。実験サンプルとしては、プラスチックフィルムで挟んだ薄膜チタンを使用した。オパシティーの測定には、LFEXレーザーを使って生成されたX線が用い、フラッシュX線バックライト技術を採用した。斜入射型の回折格子分光器とイメージングプレートにより、スペクトルを検出した。このデータからチタンプラズマのオパシティーが算出され、今後はPrism-SPECTコードとFLASHコードを使用したデータ解析を通じて、チタンイオンの電子構造がオパシティー計算の精度にどのように影響するかを調査する。

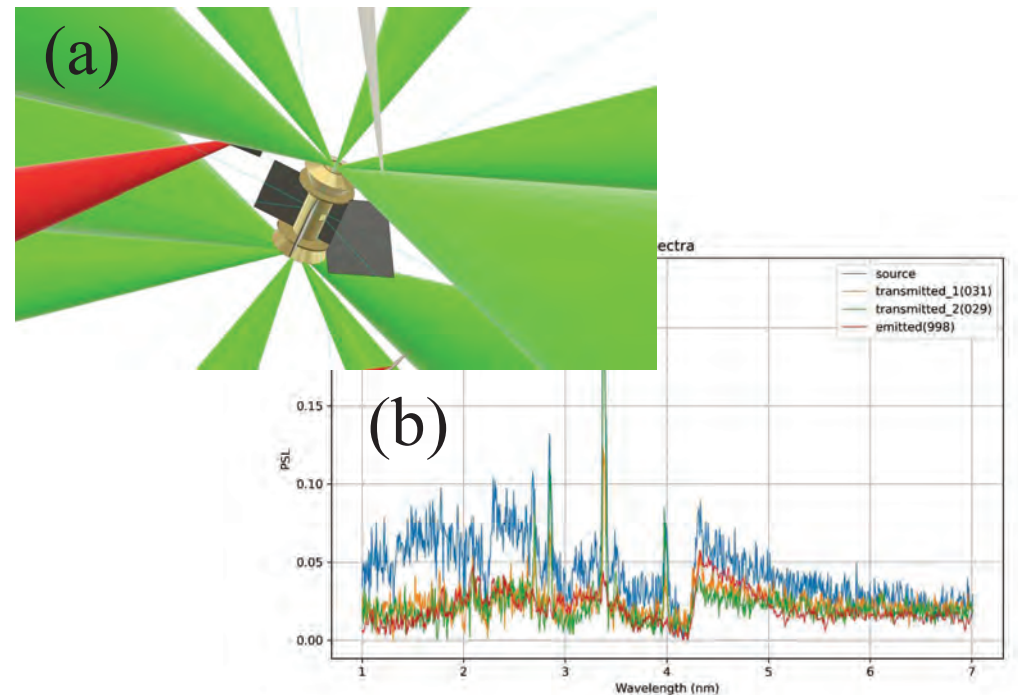


FIG. 1(a)2023年度に設計したドッグボーンとレーザー照射配置。(b) 実験で取得したチタンプラズマに対するX線の透過率分布。実験ではバックライトX線、透過X線、及びサンプルからのX線のスペクトルを3つのショットで計測し、統合的に処理することで、オパシティーを算出した。

Time evolution measurement of magnetic reconnection current using coil target

坂和洋一^A, 江頭俊輔^B, 鈴木悠斗^B, 花野正浩^B, Adam Dearling^C, Nigel Woolsey^C, 村本裕耶^D, 忍田昂太郎^D, 中山学^D, 高橋佳夏^D, 矢倉彰真^E, 近藤颯^E, 森田愛子^E, 下田仁菜^E, 竹崎太智^F, 佐野孝好^A, 藤岡慎介^A, 森高外征雄^G, 松清修一^D, 山崎了^E, 森田太智^D

A) 大阪大学 レーザー科学研究所, B) 大阪大学 大学院理学研究科, C) University of York, UK,

D) 九州大学 総合理工学研究院, E) 青山学院大学 理工学研究科, F) 富山大学 工学部, G) 核融合科学研究所

SUMMARY

磁気リコネクションは磁場から粒子へのエネルギー移動を伴う現象で、宇宙線加速機構の候補にも挙げられる。その加速機構解明のために、LFEXおよびGXIIを用いた実験を行った。

上下に配置した2つのコイルターゲットにGXIIを照射することで磁場を生成した (図a)。磁場の配置は、磁気リコネクションの前提となる反平行配位 (AP配位) と、比較のための平行配置 (P配位) の2種類を用意した。磁場計測のために、Al平板にLFEXを照射して生成されるTNSAプロトンを利用したプロトンバックライト (PBL) 計測を行った (図b)。得られたプロトン像から見積もられた磁場強度は約18 Tとなった。また、プローブレーザーを用いて非協働Thomson散乱 (TS) イオン項計測によるプラズマパラメータの導出を行った。AP配位でのアウトフロー方向のイオン速度は、P配位と理論値に比べて大きくなっており、磁気リコネクションによる加速を示唆している (図c)。

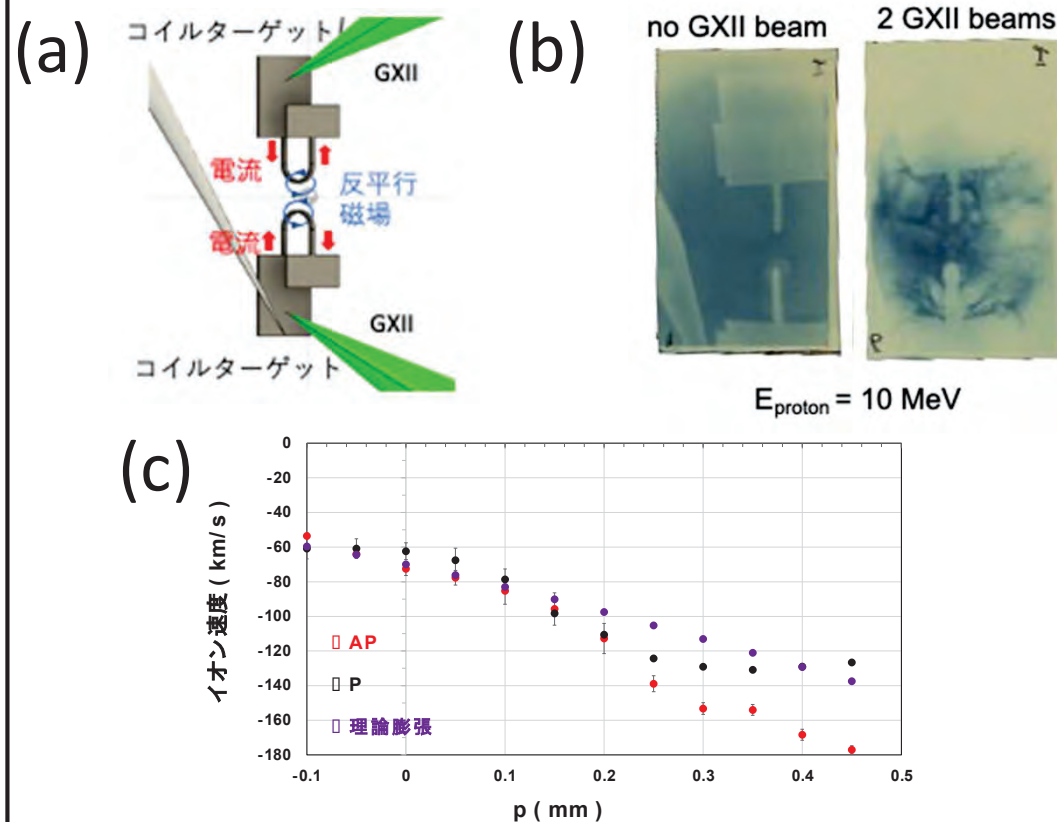


FIG. (a) AP配位コイルターゲットとGXIIの照射配位. (b) 実験で得られたPBL像、左:磁場あり 右:磁場なし. (c) TS計測で得られたイオン速度の空間 (p) 分布.

Experimental investigation on the magnetic reconnections driven by electron dynamics

N. Bolouki¹, T. Minami², Y. Abe², F. Nikaido², S. Kurochi², K. Kuramoto², N. Tamaki², R. Matsuura², Y. Ueyama², F. Fouquet², T. Yasui², R. Kitamura², K. Iwasa², T. Tajitsu², T. Pikuz², N. Ozaki², Y. Sakawa², A. Morace², W. Y. Woon³, C. M. Chu³, C. S. Jao⁴, Y. L. Liu⁴, Y. Fukuda⁵, T. Hayakawa⁵, M. Kanasaki⁶, A. Mizuta⁷, J. Zhong⁸, Y. Zhang⁸, Z. Liu⁸, J. Yao⁸, Z. Ma⁸, K. Sakai¹⁰, R. Yasuhara¹⁰, R. T. Ishikawa¹⁰, and Y. Kuramitsu²

1) Masaryk University, Czech Republic, 2) Osaka University, Japan, 3) National Central University, Taiwan, 4) National Cheng Kung University, Taiwan, 5) KPSI QST, Japan, 6) Kobe University, Japan, 7) RIKEN, Japan, 8) Beijing Normal University, China, 9) Tohoku University, Japan, 10) NIFS, Japan

SUMMARY

We have been experimentally investigating the magnetic reconnections driven by electron dynamics. So far, we have reported formation of cusp and plasmoid, which propagates at the Alfvén velocity defined by electron mass with global imaging of plasma structures. Using local diagnostics, we also clarified the pure electron outflows, magnetic field inversion, and whistler waves. The final piece to complete the experimental investigation of the magnetic reconnection in electron scale is the imaging of the global magnetic structure. The objective of this research is to establish magnetic field reconstruction using ion radiography using large-area suspended graphene (LSG), solid-state nuclear track detectors (SSNTD), and artificial intelligence. We focus on a simple two stream geometry to establish this by reconstructing waves and turbulent fields in the laser-produced plasma.

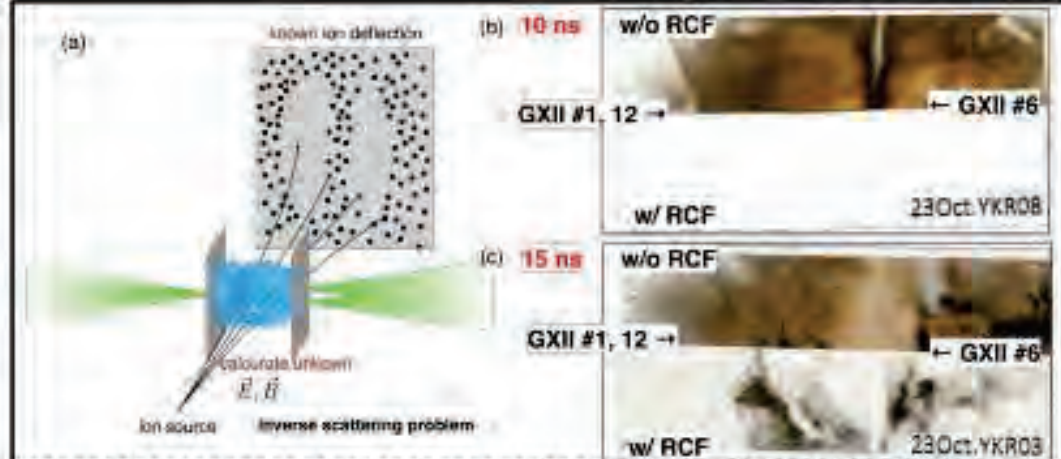


FIG. (a) Experimental setup. 1 and 2 GXII beams irradiate the Al double parallel planer targets to produce an asymmetric counterstreaming plasmas. LFEX laser (not shown) irradiates an LSG target with defocused intensity. The accelerated ions are detected with SSNTD. (b) Ion radiograph at 10 ns from GXII laser irradiation shows wave-like structures. (c) the same as (b) except 15 ns from the GXII laser irradiation. Ion radiograph shows complicated structures.

Magnetized collisionless shock生成実験結果のデータ解析と理論的解釈

山崎了^{1,2}, 田中周太¹, 塩田珠里¹, 矢倉彰真¹, 近藤颯¹, 下田仁菜¹, 佐野孝好², 蔵満康浩³, 松清修一⁴, 諫山翔伍⁴, 森田太智⁴, 前之園凱夫⁴, 竹崎太智⁵, 富田健太郎⁶, 大西直文⁷, 梅田隆行⁶, 星野真弘⁸, 大平豊⁸, 石井彩子⁹, 坂和洋一²

1) 青山学院大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所, 3) 大阪大学工学研究科, 4) 九州大学, 5) 富山大学, 6) 北海道大学, 7) 東北大学, 8) 東京大学, 9) 山形大学

SUMMARY

2022年度に行った磁化無衝突衝撃波の生成実験(ショット前に窒素ガス 1 Torrを封入し、外部磁場 3.9 Tをかけ、アルミ・ターゲットに激光XII号 HIPERレーザーを照射)で得られた、プラズマ自発光、トムソン散乱、B-dot計測などの実験データの解析を行った。外部磁場なしの場合や外部磁場の向きの違いによる計測結果の違いを認めた。特に、レーザートムソン散乱計測で得られた、ショット後 28.5 nsの TCC ($x = y = z = 0$) でのイオン項のスペクトル解析では、440 km/s程度で動く高速成分(右図下の青点線)と上流のほぼ静止した窒素プラズマ(同、赤破線)が二流体系をなしていることを確認できた。これは、粒子シミュレーション等で予想されていた衝撃波遷移層のfoot~overshootの構造と一致する。

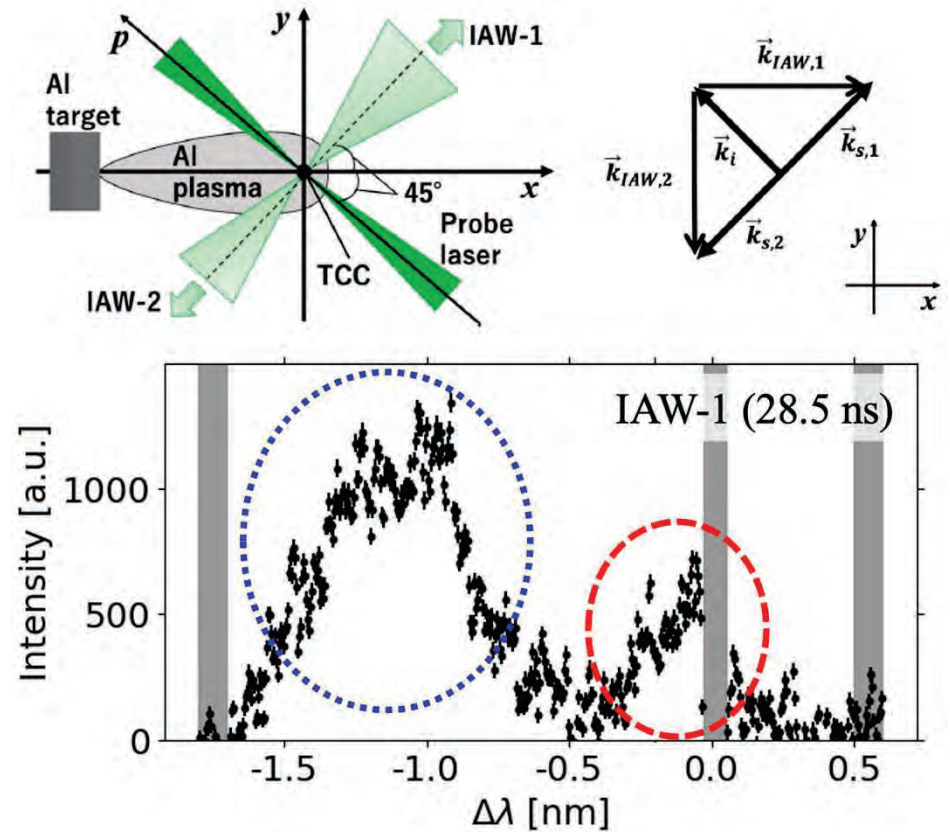


FIG. 外部磁場 3.9 T (y方向：左上)を印加したショット後 28.5 nsでのトムソン散乱計測結果 (TCC)。青点線でfitされる高速で移動する成分と、赤破線に示す上流窒素成分の2成分が共存した状態にあることがわかった。

Investigation of plasma instabilities in the collisionless shock foot region

Y. Ohira¹, K.F.F. Law², S. Fujioka²

1) University of Tokyo, Japan, 2) Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan

SUMMARY

In this study, we investigated electron and ion heating mechanisms in the foot region of high Mach number, unmagnetized perpendicular shocks using two-dimensional particle-in-cell (PIC) simulations. We explored scenarios with multiple ion populations to understand the effects of reflected and gyrating ions on plasma instability evolution. Our findings reveal early electron heating due to Buneman instability, followed by ion two-stream instability, and potential ion acoustic instability in a singular ion population setup. Notably, the absence of return protons leads to significantly higher temperatures of reflected ions, surpassing electron temperatures, which provide insights into the “new overheating problem” in young supernova remnants. This research highlights the intricate dynamics governing plasma heating in shock foot regions, offering insights into particle acceleration processes in astrophysical environments.

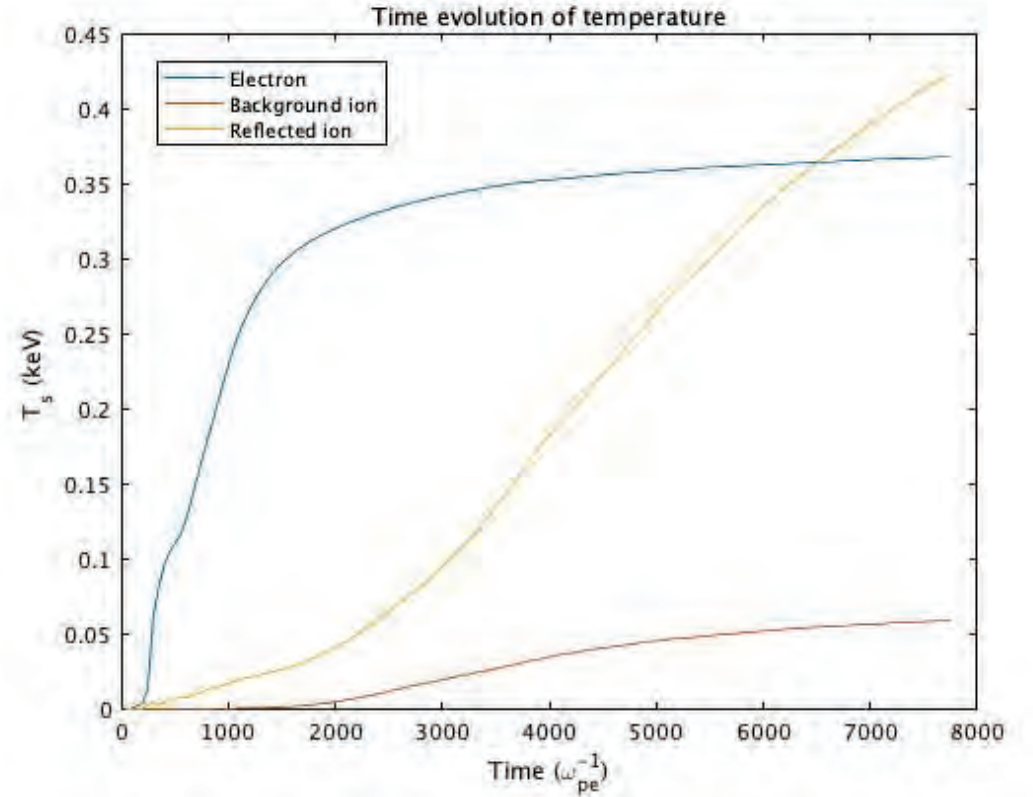


FIG. Time development of temperature of different particle species in the simulation without return protons. In the second stage of heating, dominated by ion heating, a significant rise in temperature in the reflected component was observed.

磁化プラズマ中における対向波を利用した粒子加速に関する研究

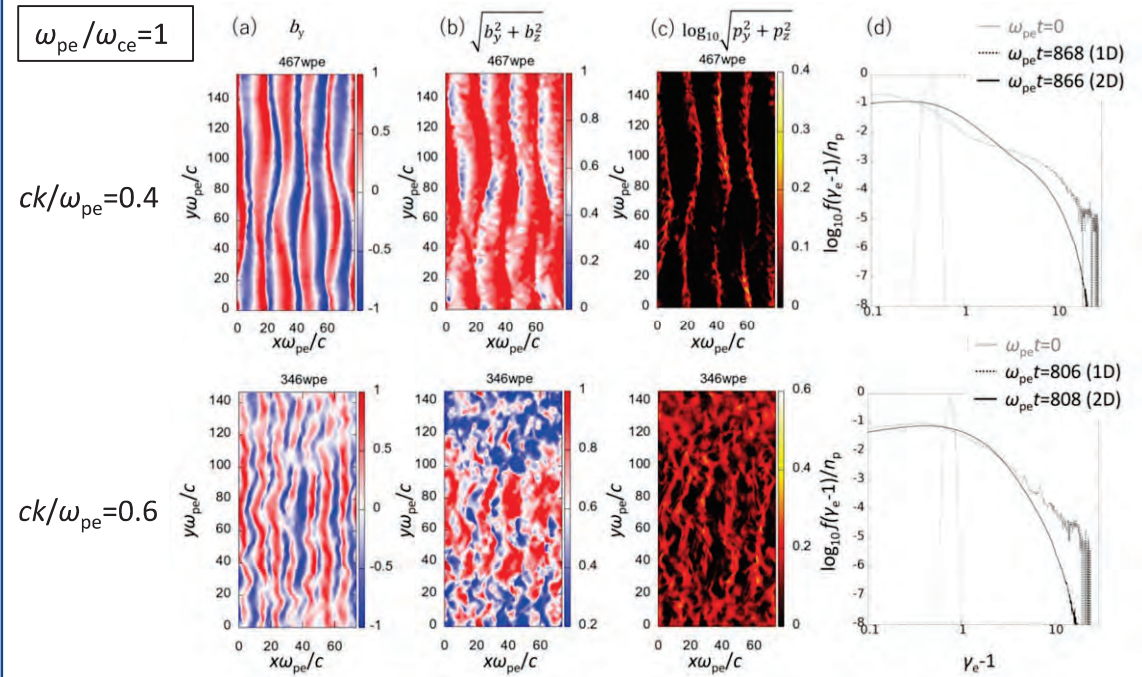
諫山 翔伍¹, 松清 修一¹, 佐野 孝好²

1. 九州大学総合理工学研究院, 2. 大阪大学レーザー科学研究所

まとめ

本研究の目的は高エネルギー宇宙線の加速メカニズムの解明である。我々は磁化プラズマ中を対向伝搬する2つの大振幅波動による粒子加速を、新しい高効率な宇宙線加速機構の候補として提案している。本年度は計算モデルを2次元化し、多次元効果を調査した。

右図は、単一の一次元的な親波アルフベン波($k_y=0$)と、それが崩壊する過程で励起される子波とが作る対向波中での電子加速を示している。ここでは親波の波数 k_x をいくつか変えている。(a)いずれの波数の場合でも、初期に与えた一次元的な親波が $k_y \neq 0$ の斜め方向に伝搬する波へと崩壊し、初期の k_x が大きいほどその効果は顕著となる。それに伴い、1次元の場合と比べて早く親波の崩壊が進行することがわかった。(b), (c) 電子は、斜めに伝搬する波の包絡線における磁場の谷で高効率に加速されており、2次元においても対向伝搬中の高効率な粒子加速機構が有意に働くことを確認した。(d) 最大到達エネルギーと加速された非熱的粒子の割合は1次元の場合と比べて若干減少することを確認した。今後は、 ω_{pe}/ω_{ce} の値を変え、詳細な解析を進める予定である。



粒子計算結果. (a) 磁場 b_y の空間分布 (初期は右回りの波を与え、電子加速を見ている). (b) 磁場の包絡線の空間分布. (c) 背景磁場に垂直方向の電子運動量平均の空間分布 (d) 初期 ($t=0$, グレー実線) と加速後 (1D黒点線、2D黒実線) の電子のエネルギー分布. 上 (下) 図 $ck/\omega_{pe}=0.4(0.6)$ の場合.

Decay instabilities of whistler waves in solar wind plasmas

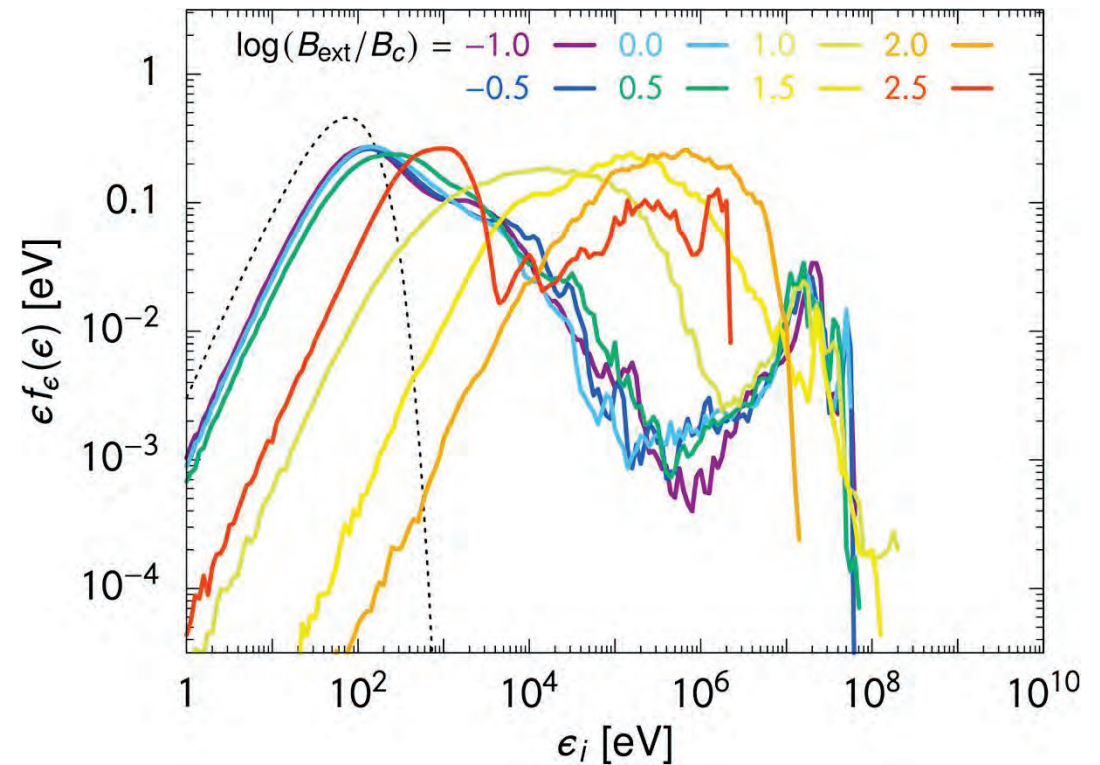
T. Sano¹, Y. Sentoku¹

1) Institute of Laser Engineering, Osaka University

SUMMARY

強磁場下でのレーザープラズマの相互作用は、プラズマ加熱や粒子加速の点で魅力的な特性を持っている。近年、定在ホイッスラー波中の電子が効率的に相対論的速度まで加速されることが理論的に明らかになってきた。対向で伝播する円偏光波の作る定在波の磁場の節に相当する場所で、非相対論的速度から相対論的速度にまで、電子はその場で瞬時に加速される。その結果、固体中の電子をすべてMeV 以上の高速電子に加速することも可能となる。

我々は極限プラズマ下での波動粒子相互作用をPIC シミュレーションを用いて解析している。特に、強磁場中の大振幅ホイッスラー波の伝播特性に着目している。我々は、電子-陽電子プラズマ中で、磁力線に沿って伝播する円偏光電磁波の伝播特性を詳しく解析した結果、透過や反射、またはプラズマを押しつけて侵入など、波の振幅に依存して様々な振る舞いが存在することが明らかになった。



高密度プラズマ(密度は臨界密度の100倍)に照射された円偏光電磁波が、プラズマ中をどのように伝播するかを調べたPICシミュレーションの結果。伝播特性は背景磁場の強度(臨界磁場強度で規格化した無次元量)と電磁波の振幅(規格化ベクトルポテンシャル)に依存して、「安定伝播」「誘導ブリルアン散乱による反射」「輻射圧によるプラズマ圧縮」の3つのパターンに分類されることが明らかになった。この図は最終的な電子のエネルギースペクトルを示している。

Ion acceleration using collisionless shocks produced in nonequilibrium plasmas

Y. Fukuda^{1,2} and Y. Sakawa²

1) *Kansai Institute for Photon Science (KPSI), National Institutes for Quantum Science and Technology (QST), Japan,*
2) *Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan*

SUMMARY

An experimental investigation of collisionless shock ion acceleration (CSA) is conducted using a multi-component plasma and a high-intensity picosecond duration laser pulse [1]. Protons are the only accelerated ions when a near-critical density plasma is driven by a laser with a modest normalized vector potential $a_0 \sim 2$, and agree with particle-in-cell (PIC) simulations. In a near-critical density multi-component proton and C^{6+} -ion plasma, it might be possible to control accelerated ions actively (proton-only or proton and C^{6+} -ion acceleration) by changing the drive-laser intensity in CSA. The observation provides evidence of collisionless shock ion acceleration, which can be an important tool for understanding the physics of inaccessible collisionless shocks in space and astrophysical plasma.

[1] Y. Sakawa et al., submitted (2023).

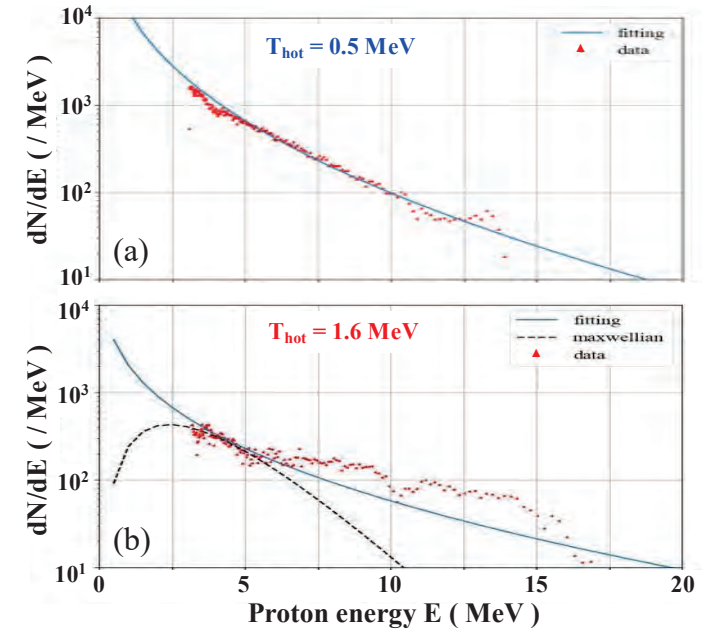


FIG. Energy spectra measured using a Thomson parabola spectrometer (a) without and (b) with the ablation laser at $a_0 \sim 2$. Theoretical energy spectra of protons accelerated by the TNSA mechanism (solid lines) are shown in (a) and (b) for the measured hot-electron temperatures of $T_{\text{hot}} = 0.5$ and 1.6 MeV , respectively. The dashed line in (b) is a fit to the Maxwellian proton distribution.

Study of laboratory experiments of hydrodynamic instabilities in astrophysical jet propagation by ultra-intense lasers

Akira Mizuta¹ and Shutaro Kurochi², Yasuhiro Kuramitsu, Youichi Sakawa³

1) *RIKEN JAPAN*, 2) *Graduate School of Engineering, Osaka University*, 3) *Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan*

SUMMARY

We have demonstrated experimental work at Gekko XII associated with collisionless shock experiment by 2D axis symmetric radiation hydrodynamic simulations and following very high resolution hydrodynamic simulations. We assume two flat targets are irradiated by intense laser to generate supersonic flows from the rear side of both targets. The counter flows collide and shocks are generated between two targets. Since we assume different conditions of two incident lasers, the contact surface which appear after collision of two supersonic flows has a curvature which also drives shear velocity along the contact surface. We observe growth of Kelvin Helmholtz instability. We are trying to reproduce the image obtained by proton back light technique.

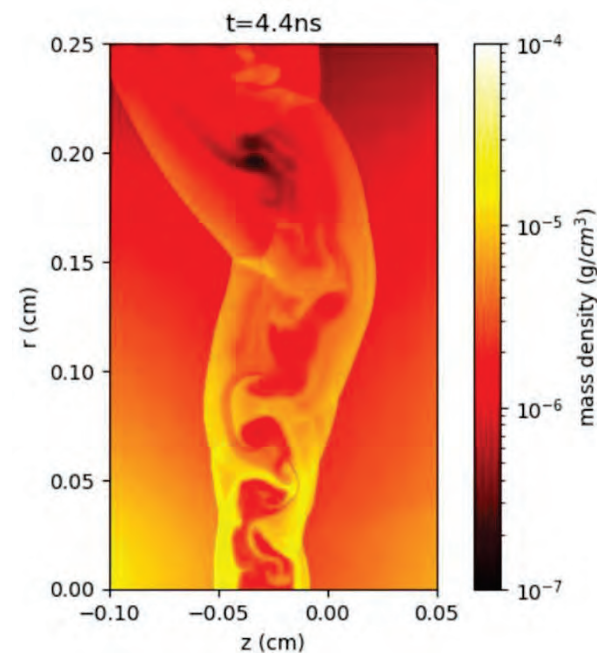


FIG. Mass density contour of high resolution hydrodynamic simulations at $t=4.4$ ns. After collision of supersonic counterstream, two reflection shocks are generated. Between two shocks, Kelvin Helmholtz instability grows up because of the curvature at the contact discontinuity imprinted by asymmetry of counter flows and shear velocity along the r direction.

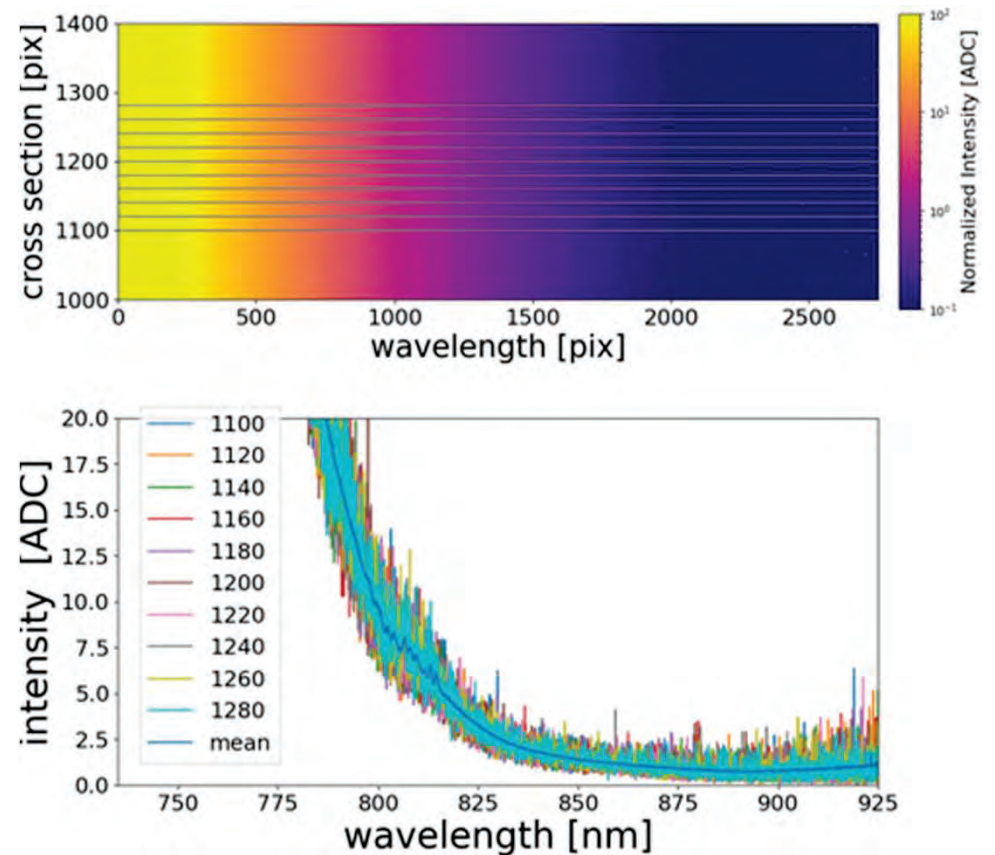
誘導コンプトン散乱のレーザー実験に向けての研究

田中周太^{1,2}, 山崎了^{1,3}, 蔵満康浩², 福田祐仁⁴, 坂和洋一³

1) 青山学院大学理工学部, 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, 4) 関西光科学研究所

SUMMARY

本研究は「誘導コンプトン散乱(induced CS)」というレーザー・プラズマ非線形相互作用の研究である． Induced CSの理論的研究とそのレーザー実験での実証を目指す． 右図が昨年度(2022年11月)に行われたJ-KAREN-Pレーザーを用いた実験で得られた空間分解分光データの波長および強度校正用のデータである． 波長校正は波長校正光源を用いて行ったが，強度の校正はスペクトルが正確にわかった光源を持たないために，透過レーザーのスペクトルからの相対スペクトル強度を求めることにした． 計測器の応答や背景光の他に使用したODフィルタなどの光学系全体の分光特性を調べた． 右の図は，相対スペクトル強度の校正で得られたデータである． 右で得られたデータに加えてもう一つ分光特性のわかっていないODフィルタの影響を分光光度計で求めると相対スペクトル強度を得ることができる． 結果の論文化を進めている． 次の実験での強度校正についての議論も行った．



2022年11月に関西光科学研究所にあるJ-KAREN-Pを用いて行なった誘導コンプトン散乱の原理検証実験の強度校正用のデータ． 下図は上図の灰横線上のスライスを図示したもの． 下図の縦軸は減光率になっている．

超高強度レーザーと相対論プラズマの非線形相互作用に関する研究

Su-Ming Weng¹, 村上匡且²

1) 上海交通大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

超高強度レーザーの照射によりプラズマ中の電子温度が急速に相対論領域にまで上昇すると、たとえ非相対論領域においてレーザーが完全反射されるほどの高密度のプラズマでも、レーザー光はプラズマの奥深く浸透することが可能となり、この特性は「相対論的透明性」と呼ばれる。本研究では、相対論的透明性が顕著に見られる2つの集団現象にスポットを当てることにより、レーザーと物質との相互作用において同特性が演じる重要な役割を解明した。右図に示すように、空間的に分断されたレーザーパルス列に対して、電場のx成分とy成分が、各々、時計回り、反時計回りになるように構成できることがわかった。

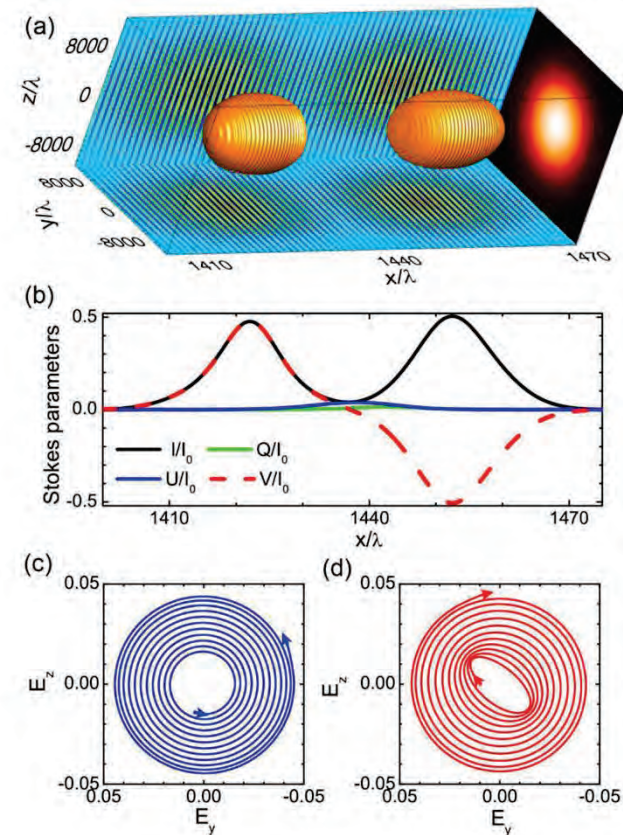


FIG. 空間的に分断されたレーザーパルス列に対して、電場のx成分とy成分が、各々、時計回り、反時計回りになるように構成できることがわかった。

高強度かつ高延性な二相ナノラメラ高エントロピー合金の衝撃圧縮特性計測

片桐健登¹, L. E. Dresselhaus-Marais¹, S. Irvine¹, W. Chen², J. Ren², Y. K. Vohra³, 尾崎典雅⁴, 佐野孝好⁵

1) Stanford University, USA, 2) University of Massachusetts Amherst, USA,

3) University of Alabama at Birmingham, USA, 4) 大阪大学大学院工学研究科, 5) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

金属3Dプリンターでプリントされた二相ナノラメラ構造を持つ高エントロピー合金 $\text{AlCoCrFeNi}_{2.1}$ の衝撃圧縮特性に関する研究結果を報告する。

本材料は、極めて高い強度と延性を両立できることが明らかになっている。この材料が衝撃圧縮下でどのような強度変化と延性を示すかを定量的に評価することは、今後さらに高い機械的特性を示す高エントロピー合金をデザインする上で重要な知見を与える。

本実験では、激光XII号を用いて試料を衝撃圧縮し、速度干渉計測システムVISARによるユゴニオ計測を行った。その結果、本材料の衝撃圧縮特性計測を500 GPaまで計測することに成功した。このユゴニオデータは、X線自由電子レーザーを用いたその場X線計測における圧力推定に応用される。

。本研究成果は、K. Katagiri, *et al.*, *J. Appl. Phys.* **135**, 095902 (2024) に発表された。

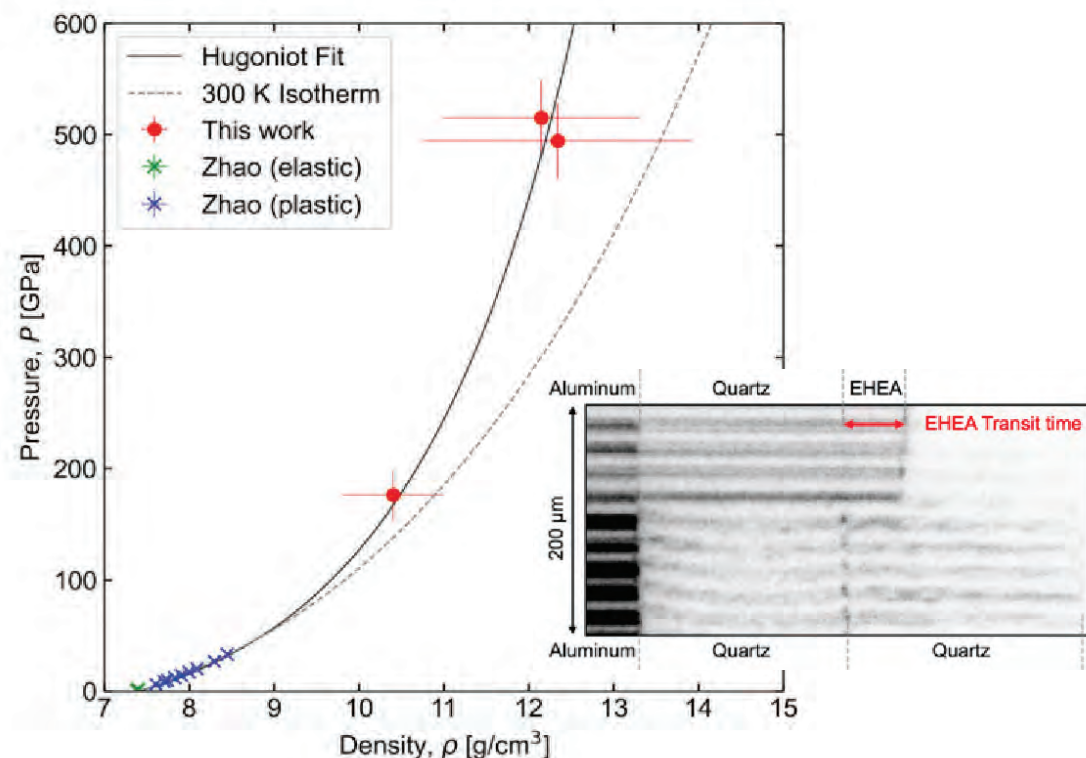


FIG. 計測された $\text{AlCoCrFeNi}_{2.1}$ のユゴニオと、典型的なVISAR画像。低圧側の先行研究と整合性が見られる。300 K等温曲線(破線)とユゴニオ曲線(実線)の差は熱圧力によるもの。

高温超伝導物質の硫化水素に関するレーザーDACハイブリッド圧縮実験

榮永茉莉¹, 尾崎典雅^{2,3}, 竹歳加偉², 梅田悠平⁴, 片桐健登⁵, 奥地拓生⁴, 兒玉了祐^{2,3}

1) 大阪大学大学院基礎工学研究科, 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, 4) 京都大学複合原子力研究所

SUMMARY

ダイヤモンドアンビルセル (DAC) による水素化合物合成などにおいてアンモニアボラン(NH_3BH_3)が広く用いられている. ハイパワーレーザーを用いたレーザー衝撃圧縮実験により, 最大圧力365 GPaまでの超高压データを世界で初めて取得した. 特に, 反射衝撃圧縮過程100 GPa超の低エントロピー状態において, ユゴニオ曲線上の振る舞いとは異なり, 反射率の有意な低下を明らかにした. 水素混合系では, 分子乖離ののちに金属水素が生成されると考えられている. この際, 水素が超イオンの比較的自由に振る舞う“不混和状態”が実現されている可能性がある. また衝撃圧力がさらに上昇すると, 全ての元素種間の相関は相対的に均一となり, 系は“混和状態”へと転じる可能性がある. 本研究では, 第一原理分子動力学法を用いて, ミクロなスケールの観点から反射率を計算し, マクロな現象である不混和について理解を進める予定である.

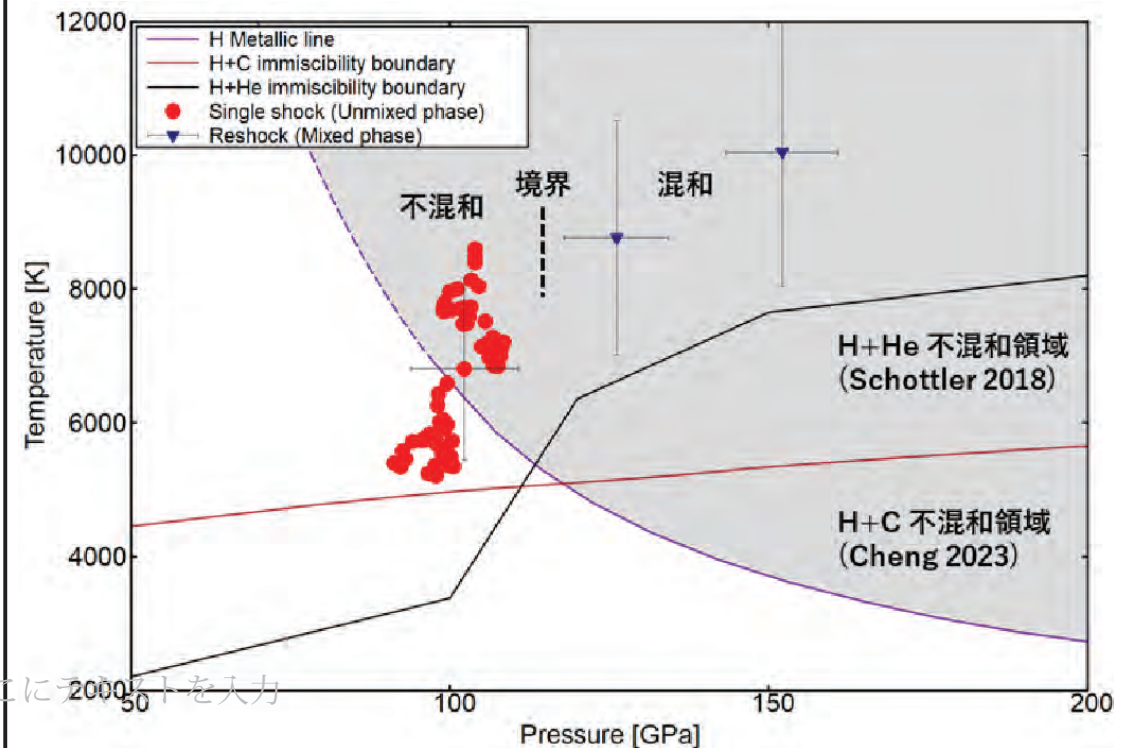


FIG. 水素の相図 (McWilliams 2016) とアンモニアボランのユゴニオ (赤丸) と反射ショック状態 (紺下三角)

ナノ秒衝撃圧縮過程における物性と結晶粒サイズ効果

尾崎典雅^{1,2}, 小寺康博³, 片桐健登⁴, 梅田悠平⁵, 知場一航¹, 中川聖基¹, 政岡豪流¹, 奥地拓生⁵, 入舩徹男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) 龍谷大学先端理工学部,
4) スタンフォード大学, 5) 京都大学複合原子力研究所, 6) 愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター

SUMMARY

超高圧下の物質の圧縮特性が、メゾスケールの物質構造に強く影響を受ける可能性が実験的に明らかされつつある。本研究では、平均結晶粒径が約1 μm の“マイクロ多結晶”サファイア試料を用いたレーザー駆動衝撃圧縮実験により、結晶粒界が衝撃圧縮状態に与える影響を調べた。衝撃融解圧力（~500 GPa）近傍までの実験データを世界で初めて取得し、300 GPa以上の衝撃圧縮データにおいて単結晶と多結晶試料の衝撃圧縮曲線（ユゴニオ）に有意な差がないことがわかった。このことから、この圧力域のサファイアにおいては、炭素（ダイヤモンド）で顕著に見られたような結晶粒界強化効果が小さいことが示唆された。一方、150-250 GPaの圧力領域を狙って実施したX線回折観察の結果からは、サファイア結晶格子に対して約5-12%程度までの圧縮非等方性が確認され、ミクロンサイズの粒径による強化効果が現れる可能性があることがわかった。

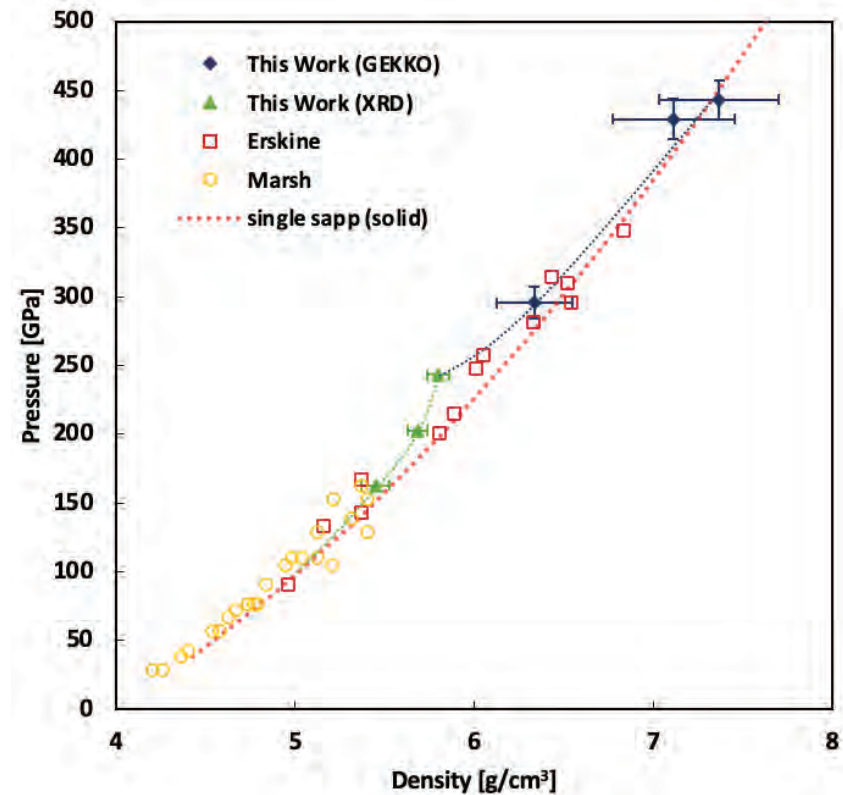


FIG. レーザーショック実験で得られた多結晶サファイアの衝撃圧縮データ（solid）と、過去の単結晶サファイアデータとの比較。第一原理計算の結果（太点線）も同様に示した。

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 (4)

矢野創^{1,6}, 長友英夫², 佐野孝好², 中村浩隆³, 尾崎典雅³, 田端誠⁴, 平井隆之⁵, 中澤淳一郎⁶

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) 大阪大学大学院工学研究科, 4) 千葉大学, 5) 千葉工業大学, 6) 総合研究大学院大学

SUMMARY

海洋天体プルーム等のその場分析や試料採取を目指し、(1) 10km/s以上の超高速の微粒子衝突に相当するエネルギーの実験系の構築と、(2) 衝突生成物から物質情報を得る機構の基礎開発を行っている。

2023年度には、レーザー用数値流体計算コードによる超高速衝突の再現を目指し、惑星科学主体のiSALEコードの計算結果を、Shrine+(2002, Icarus)の実験データと衝突時のピーク圧力の観点から比較した。その結果、粒径が小さいほど熱拡散の影響で衝突面の圧力が下がり、噴出される界面の角度方向にも違いが現れた。

また真空紫外光による有機物ガスの光イオン化実験系の組立を開始した。電極、検出器、UVランプ、高圧電源の調整を完了させ、残留ガスのイオン化信号を検出した。

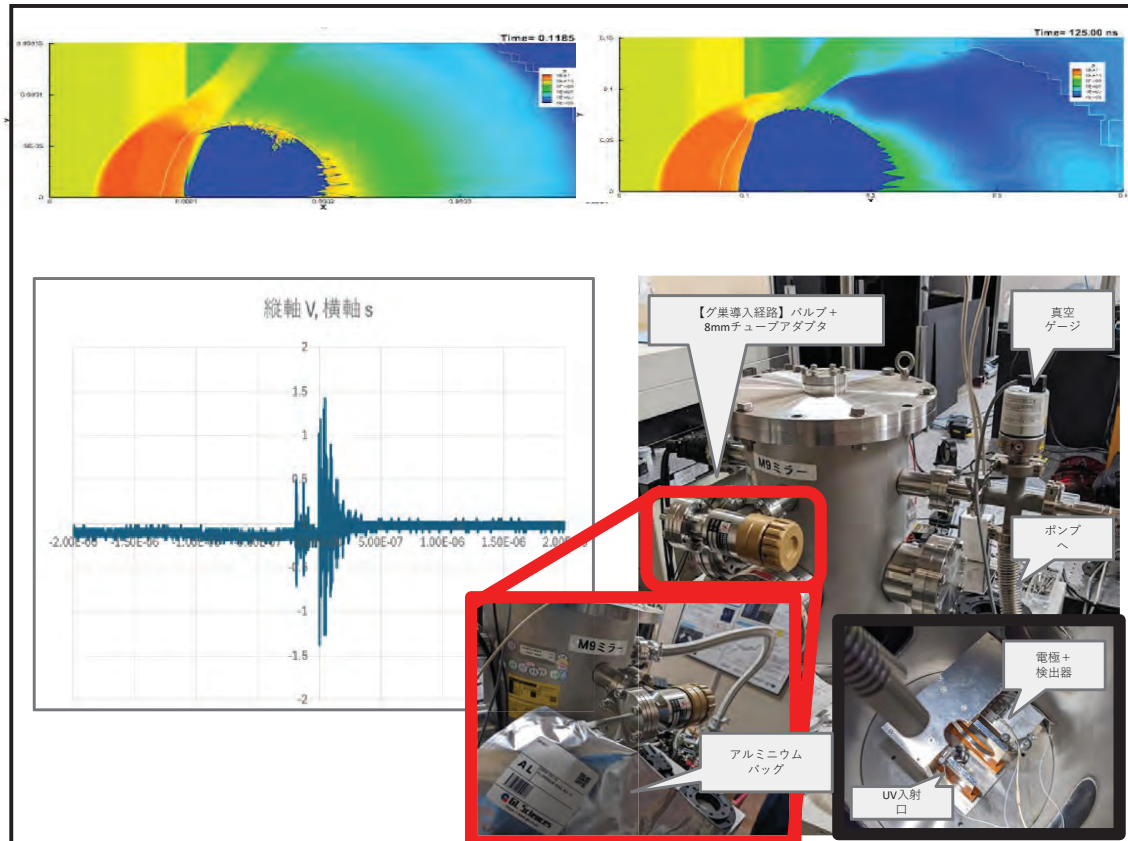


FIG. iSALEによる超高速微粒子の直径とピーク圧力の関係 (上左: 1 μm径、上右: 1 mm径)。有機物ガスの光イオン化実験系のセットアップ (下右) とガス導入前のチャンバー内残留ガスのイオン化時の信号例 (下左)。

天体衝突時における金属/ケイ酸塩分離過程の解明

境家達弘¹, 神垣遼¹, 宮川恵輔¹, 近藤忠¹, 重森啓介²

1) 大阪大学大学院理学研究科, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

激光II号レーザー装置を使用して、レーザー衝撃回収実験を行った。回収試料内部の電子顕微鏡画像から空隙率や粒子数などの解析を行った（図参照）。鉄合金のアスペクト比については、すべての試料で圧密によると思われるFeSの扁平が確認された。比較的発生圧力が高いと考えられる試料上部では、初期温度の上昇に伴って、FeSのアスペクト比も減少するといった結果が見られた。この結果から、隕石母天体の初期温度は、天体衝突時のFeSの変成などに影響を与えるパラメータになりうると考えられる。

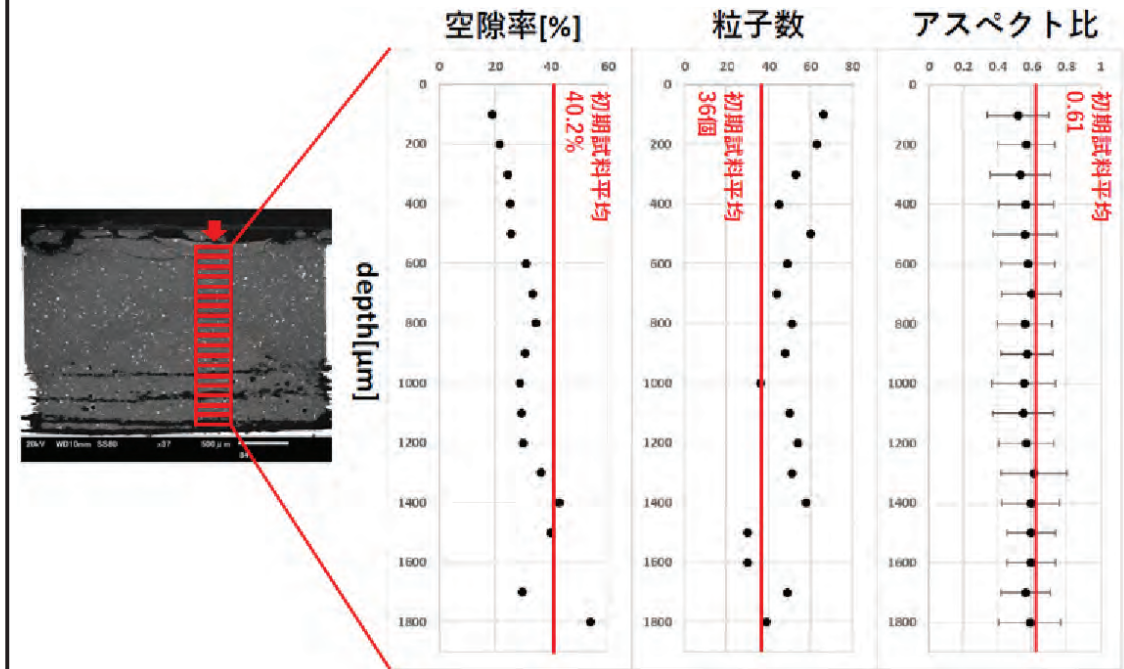


FIG. 初期温度1000Kでのレーザー衝撃回収試料の電子顕微鏡画像(左)と衝撃点直下(レーザー照射部付近)から試料深部方向への試料の空隙率、鉄合金の粒子数、鉄合金粒子の扁平度合(アスペクト比)の変化。

Megatesla ultra-high magnetic field generation driven by high-intensity laser implosion

H. Morita¹, K. F. F. Law², Z. Berkson², I. Kunz², Y. Abe², R. Takizawa², T. Tsuido²,

H. Matsubara², Y. Karaki², D. K. Balsu², M. Murakami², and S. Fujioka²

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

SUMMARY

In this research, we have demonstrated the microtube implosion, which may offer Megatesla a high magnetic field driven by a high-intensity laser. Our measurements show that the magnetic field of 10 kT, which is 50 times higher than the seed magnetic field, was generated by using the LFEX facility. This result is supported by two proton measurements as shown in the right figures: proton radiography and angular distribution measurement of the accelerated protons. The megatesla magnetic field generation will allow us to observe phenomena that cannot be achieved on a laboratory scale such as non-linear Zeeman splitting, Lorentz ionization, and Landau levels. We are sure that our results contribute to the high-energy-density plasma fields in the future.

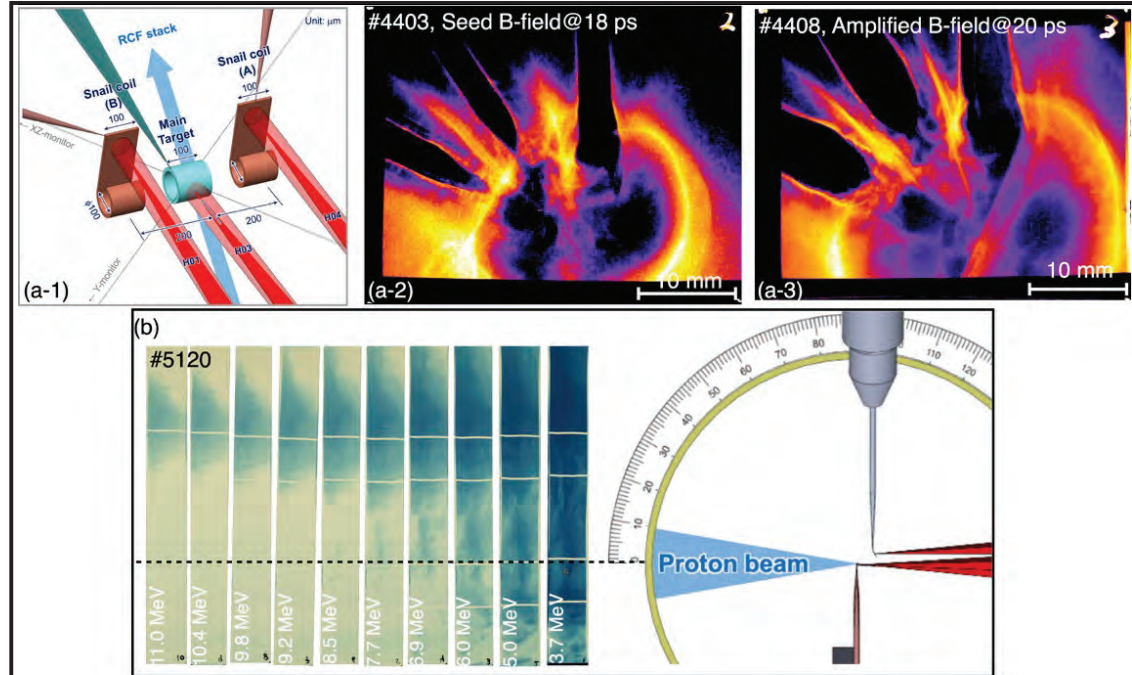


FIG. Two proton measurements: (a-1) proton radiography and (b) angular distribution measurement of the accelerated protons. A comparison between the seed field (a-2) and the amplified field (a-3) shows a clear difference indicating the high magnetic field generation. The angular measurement shows that the accelerated proton was deflected to 90 deg. from the incident laser axis. This result indicates that the generated magnetic field was at least 10 kT.

Ultrafast dynamics of critical density surfaces due to relativistic radiation pressure sustained for multi-picoseconds

Sadaoki Kojima¹ and Shinsuke Fujioka²

1) Kansai Institute for Photon Science, QST, Japan 2) Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan

SUMMARY

In this study, we present a design and demonstration results for a new single-shot FROG system and optical transport system for characterizing the instantaneous intensity and phase at the LFEX laser facility. At LFEX, the laser intensity at the vacuum window is intrinsically high because of two unique properties, namely, the large F-number of the off-axis parabolic mirror and the small radius of the interaction chamber. Consequently, to obtain an accurate FROG trace, attention must be paid to spectrum modulation due to self-phase modulation. The appropriate laser intensity for FROG operation was investigated experimentally, and an optical transport system with an energy attenuator composed of reflective optics was designed to eliminate the concern of spectrum modulation from measurements. A FROG trace recorded at LFEX shot with 161 J energy was reconstructed 100 times using an iterative phase-retrieval algorithm. Despite some differences in structure, the reconstructed spectrum agrees reasonably well with the spectrum obtained by a time-integrated spectrometer.

FIG.1

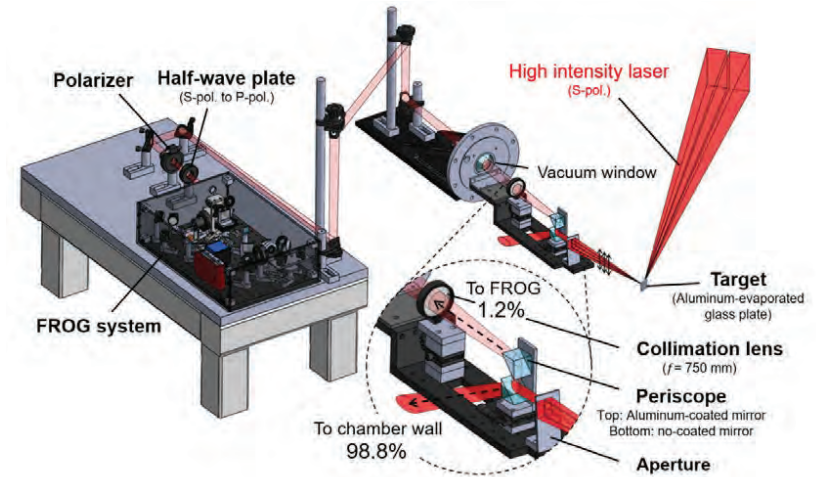


FIG.2

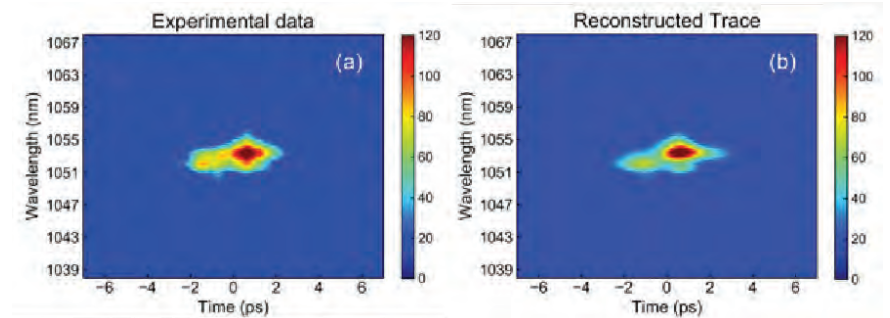


FIG.1 Schematic of optical transport system for characterizing instantaneous intensity and phase of light that is specularly reflected from supra-critical density targets at full-power operation.

FIG.2 (a) Experimental PG-FROG trace (b) FROG traces retrieved using an iterative phase-retrieval algorithm.

マイクロチューブ爆縮によるメガテスラ磁場生成

Fernando Rubio Garcia¹, 村上匡且²

1) ロチェスター大学 (LLE), 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

メガテスラ級の超高磁場がミクロンスケールの極小空間で、しかも数十フェムト秒という超短時間の間に変化すると、ファラデーの法則($\nabla \times \mathbf{E} = -d\mathbf{B}/dt$)に従って、強大な電場を発生させることが可能となる。本研究の目的は、超高強度レーザー照射後にプラズマの爆縮によって中心軸上に生じる極超高磁場環境下において「百ミクロンスケールでGeV（ギガエレクトロンボルト）級」の超コンパクトな粒子加速器を実現するための理論設計を行うことである。右図に示すように、ターゲット内部にタービン様の微細構造を持たせると、一定方向の相対論的エネルギーを持つ電子渦流が中心部に起こり、結果として超高磁場生成プロセスを簡単化できることがわかった。

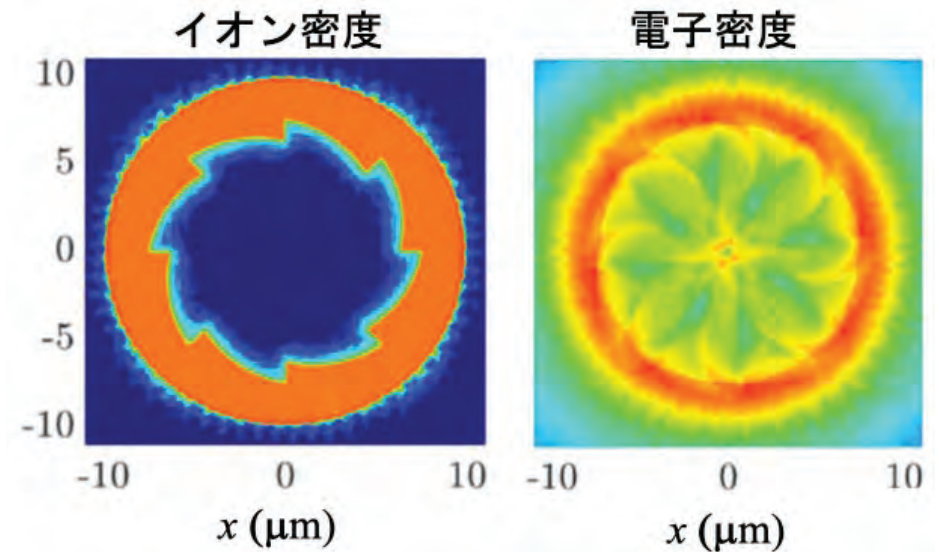


FIG. ターゲット内部にタービン様の微細構造を持たせると、一定方向の相対論的エネルギーを持つ電子渦流が中心部に起こり、結果として超高磁場生成プロセスを簡単化できることがわかった。

レーザー駆動中性子による恒星内元素合成の研究

早川岳人¹, 余語覚文², 有川安信², 巽湧太², Lan Zechen², Wei Tianyun²

1) 量子科学技術研究開発機構, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

^{176}Lu は約 3.7×10^{10} 年の半減期で ^{176}Hf に β 崩壊する宇宙核時計として知られている。隕石研究で、一部の隕石で半減期が短くなる現象が発見され、太陽系形成の初期において未解明の宇宙的現象が発生したと考えられる。我々は高エネルギー宇宙線の2次中性子による加速崩壊を提案している。そこで、LFEXレーザーを試料に集光し中性子を生成し、Lu試料への照射実験を行った。レーザーでは世界最高クラスのレーザー駆動中性子を用いて、 ^{176}Lu に対して基底状態から核異性体への遷移が起きることを実験的に検証した。

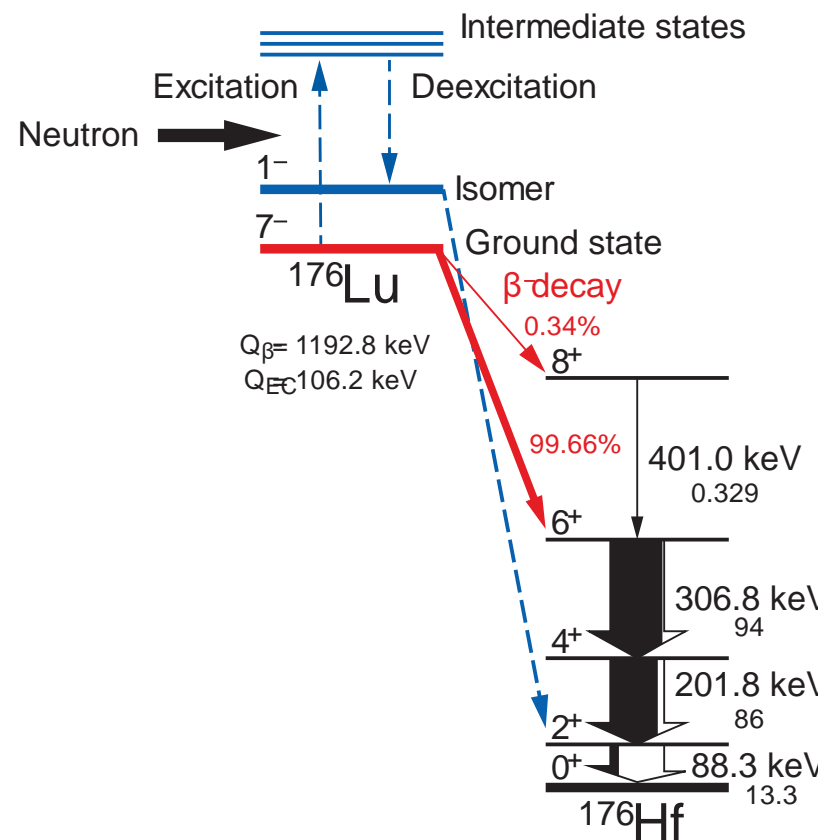


FIG. 高エネルギー宇宙線の核破碎反応等で生成された中性子による宇宙核時計 ^{176}Lu の加速崩壊のメカニズムの概念図。基底状態から中性子の非弾性散乱によってアイソマーに遷移し続けて約3.7時間の半減期で β 崩壊する。

A novel acceleration mechanism for quasi-mono energetic deuterons driven by laser accelerated protons and its application as a D-D neutron source

T.Wei , A. Yogo, et al.

ILE, Osaka Univ.

SUMMARY

We conducted laser quasi-mono energetic deuteron acceleration experiments with heavy water capsules.

By changing the experiment conditions with changing the target set-up and laser parameters, we figured out that deuterons are accelerated from the heavy water leaked into the vacuum.

And then we repeat the experiment several times in different conditions, quasi-mono energetic deuterons are successfully detected under different conditions with different detectors.

Sets of experimental results supporting the acceleration mechanism are obtained successfully.

[1]T. Wei, et al. Nuclear Phonics 2023,oral presentation.

[2]T. Wei, et al. C05-19a-VII-03 The 44th Annual Meeting of LSF.

[3] T. Wei, et al. Paper being submitted

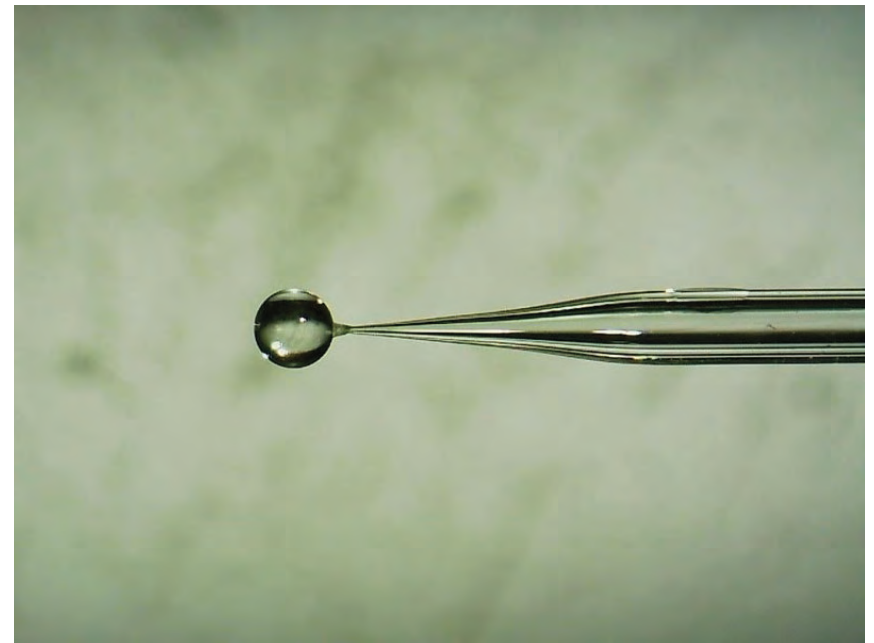


FIG. Picture of heavy water capsule target. Heavy water is confirmed leaked from the capsule into vacuum as deuteron source.

クライオ冷却純粋水素薄膜による高効率イオン加速の実証

研究代表者: 岩本 晃史 受入教員: 余語 覚文*

核融合科学研究所、*大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

今年度は固体水素薄膜生成装置の研究開発とレーザー加速実験を行った。

前年度では、固体水素薄膜生成装置の薄膜形成部を取り囲む気密構造を変更した。気密材料をインジウムシートからインジウムOリングへと変更し、気密構造の複数回の開閉後も気密性を維持することが可能になった。今年度は薄膜の厚さを制御するために、薄膜形成部のオリフィス構造を改造した。数十 μm から数百 μm 厚さの薄膜生成に成功した。

その開発した装置を使用して、レーザー加速実験を行った。レーザー実験では、固化温度が軽水素に比べて高く成膜しやすい重水素を使用した。生成された固体重水素薄膜の厚さの他、レーザーのパラメータを変えてレーザー駆動粒子加速実験を実施しデータを収集した。

[1] T. Wei et al. 21pB2-7 日本物理学会 2024 春季大会

[2] T. Wei et al. 論文投稿中

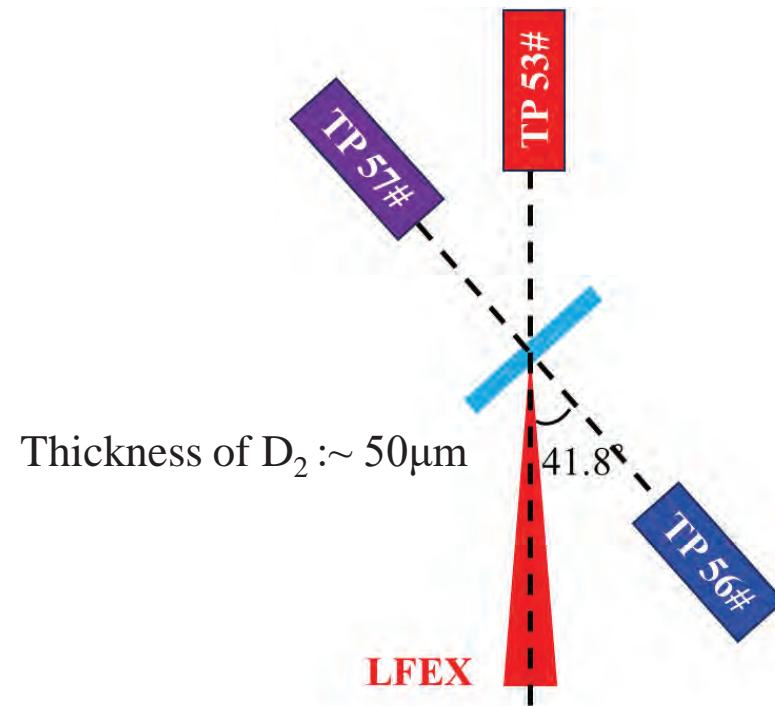


FIG. 1 50 μm 重水素薄膜を用いたLFEXレーザーによる重陽子加速実験のセットアップ。TPIS三台を設置して、加速された重陽子を計測する。

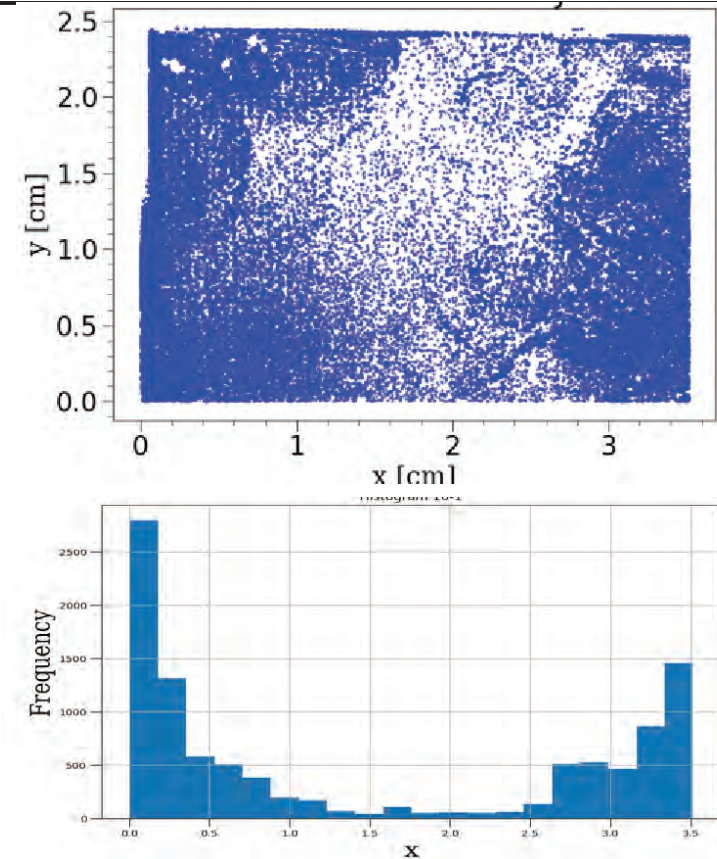
Measurement of laser driven magnetic field by means of neutron diffractometry

有川安信¹、山田龍弥¹、巽勇太¹、Wei Tianyun¹、Lan Zechen¹、Alessio Morace¹、余語覚文¹、
藤岡慎介¹、安部勇輝²、佐藤透³、宮西考一郎⁴、

1) 大阪大学レーザー科学研究所、2) 大阪大学工学研究科、3) 大阪大学核物理研究センター、4) 大阪大学基礎工学研究科

SUMMARY

ハイパワーレーザーを用いたプラズマ生成実験において、高密度プラズマ中にkT級の高強度で、 μm 級の小さい領域の磁場を発生させることが可能となってきた。しかしながら、その磁場を直接計測する手法が存在しなかった。中性子は磁気モーメントを持つため磁場に沿って曲がるため、中性子の偏向角から磁場を計測することができる。しかしながら中性子の磁場による偏向角は小さく、これまで観測するのが困難であった。熱中性子に対して、磁場勾配が $100\text{T}/\mu\text{m}$ で長さ $100\mu\text{m}$ 程度存在する時に 0.002rad の偏向角度で、上下中性子スピンによって中性子ビームは2つに分離される。LFEXと激光XII号を用いた実験が行われた。LFEXでX線を発生させて、そのX線を重水素に当てて $\gamma+d=n+p$ 反応によって中性子を発生、その中性子の中から熱中性子だけを選択して利用した。LFEXの $1\mu\text{s}$ 後、熱中性子が飛んでくる時刻に激光XII号を照射し、磁場を発生させ、磁場中を通過した中性子の曲がり角を計測した。計測にはLi-6薄膜をつけたCR-39を用い、熱中性子を選択的に計測した。図に示すのは中性子ビームパターンとラインプロファイルである。磁場により中性子は画面左右方向に分離するセットアップになっている。予測通り左右に分かれた信号が得られた。異なるタイミングでのショットデータも取得している。これらを解析することで磁場を導出することができる。



上、LFEX+激光XII号実験で得られた中性子の2次元分布。青点それぞれが中性子の信号。Y方向の 1.2cm をX方向にラインプロファイルしたものが下図。ターゲット上を通過する中性子が飛行し、左右方向に分離する。実験結果から明らかな中性子分布の分離が見られた。現在磁場の詳細を解析している。

Development of short-pulsed point neutron sources using ultra-high intensity lasers

Y. Abe^{1,2}, R. Matsuura¹, K. Iwasa¹, T. Minami¹, K. Oda¹, S. Suzuki¹, F. Nikaido¹,

T. Yasui¹, Y. Ueyama¹, H. Habara^{1,2}, S. Fujioka², and Y. Kuramitsu^{1,2},

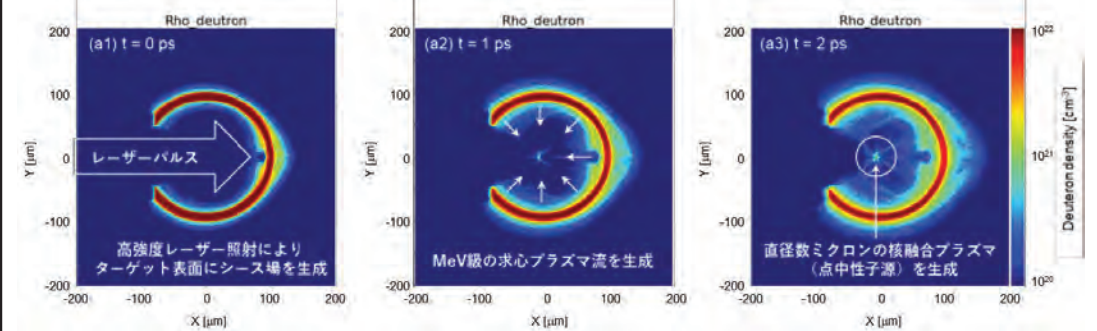
1) Graduate School of Engineering, Osaka University, Japan, 2) Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan

SUMMARY

The "inverted-corona" fusion scheme has been investigated as an alternative approach to ICF with improved robustness to significant laser-drive asymmetry. The scheme is based on the laser irradiation inside a hollow target, that allows to produce extremely hot plasma corona (>10 keV) with a diameter of less than $100\text{ }\mu\text{m}$ even with one-sided laser illumination. Our previous experiments have demonstrated the robustness of this scheme using near-monodirectional nanosecond laser beams, as well as significant neutron yield enhancement using the picosecond laser, LFEX.

This year, we made the first attempt at source size evaluation using neutron imaging. As shown in the right figure, the size of neutron sources could be estimated from the spatial resolution of the edge of the shadow. The measurement was partially successful and showed several issues to be addressed to improve the spatial resolution and signal-to-noise ratio. This will be our main subject next year.

(a) PIC simulation results for the "inverted corona" fusion driven by LFEX



(b) Neutron source size measurement by neutron radiography

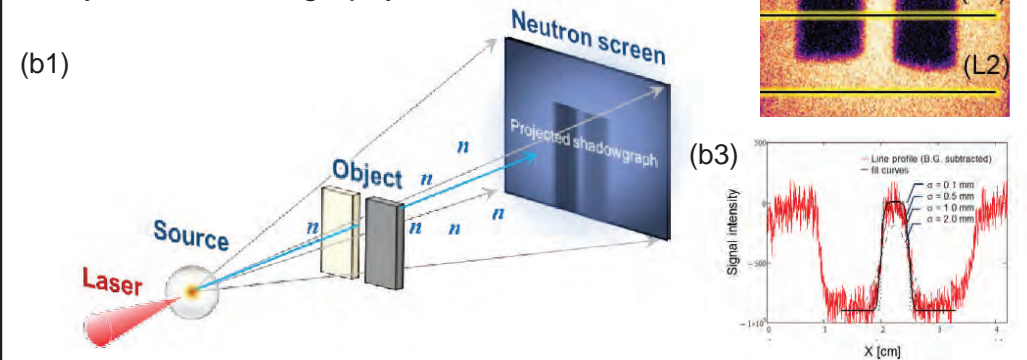


FIG. (a) PIC simulation results for the "inverted corona" fusion driven by LFEX, (b1) setup for neutron radiography for source size measurement, (b2) obtained shadow image of 5-mm thick plastic and irons, (b3) line profile of the shadow.

Laser driven polarized neutron generation and proof of principle of high magnetic field measurement

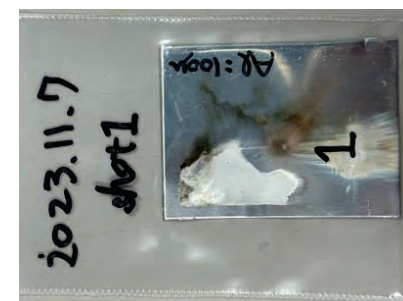
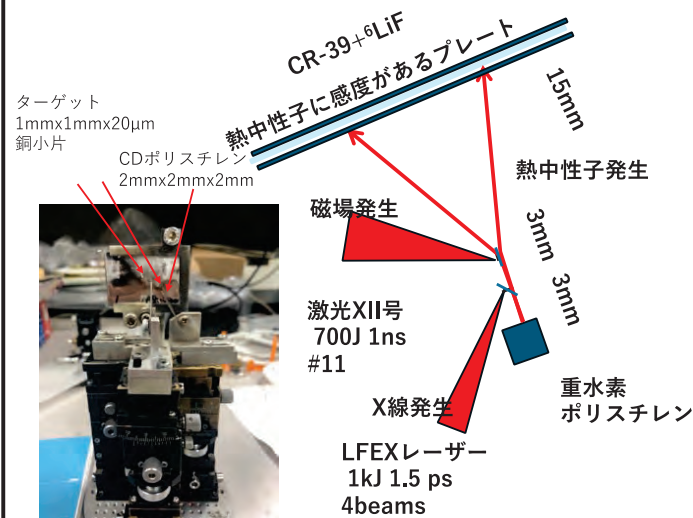
有川安信¹、巽勇太¹、Wei Tianyun¹、Lan Zechen¹、Alessio Morace¹、余語覚文¹、

藤岡慎介¹、安部勇輝²、佐藤透³、郡英輝³、北川勝浩⁴、根来誠⁴、香川晃徳⁴、宮西考一郎⁴、

1) 大阪大学レーザー科学研究所、2) 大阪大学工学研究科、3) 大阪大学核物理研究センター、4) 大阪大学基礎工学研究科

SUMMARY

本課題は2022年度に装置トラブルによりショットができなかったため2023年度に延期して実施されたものである。100%スピン偏極した中性子ビームは中性子応用において非常に重要なツールとなる。従来のスピン偏極中性子は、加速器等で発生させた熱中性子を、³Heスピンフィルターと呼ばれる大掛かりな装置を用いて中性子スピンを2つに分離する操作を行ってきた。中性子は磁場で曲がることが知られており、本研究ではハイパワーレーザーを用いたプラズマ生成磁場を用いて、中性子ビームを直接磁場でスピン分離しようという研究である。磁場に対する中性子の曲がり角度は小さいく、最も曲がりやすい熱中性子を選択する技術が必要である。LFEXでX線を発生させて、そのX線を重水素に当てて $\gamma+d=n+p$ 反応によって中性子を発生、その中性子の中から熱中性子だけを選択して利用した。熱中性子を選択的に観測するためにLi-6薄膜をつけたCR39を用いた。この時、LFEXが銅平板からTNSA加速によって生成されたプロトンがCR39手前の金属プレートに当たって、そこからノイズとなる中性子を発生させてしまうという問題があった。ターゲットの角度を工夫してTNSAプロトンを視野外に外し、またCR39手前のフィルター材質をアルミ・鉛の順番にすることでノイズ中性子信号を許容レベルまで下げることに成功した。



左実験セットアップ写真、中央実験セットアップ配置図、右CR39保護用のアルミフィルターに刻印されたTNSAプロトンによる白色パターン。当初これがフィルター前面に乗っており、CR39はノイズ中性子ばかりで熱中性子の磁場による偏極が観測できなかった。この実験配置の工夫によりノイズを許容レベルまで抑えることに成功した。

クライオ冷却純粋水素・重水素ターゲットによる高効率イオン加速の実証

研究代表者: 岩本 晃史 受入教員: 余語 寛文*

核融合科学研究所、*大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

今年度は固体水素薄膜生成装置の薄膜形成部の構造を変更した。

固体水素薄膜の厚さを制御するために、薄膜形成部のオリフィス構造をサンドイッチ構造に改造した。中央のCuフォイルの厚さを変更することで、数10 μm から数100 μm 厚さの薄膜生成に成功した。また、気密材料をインジウムシートからインジウムOリングへと変更し、レーザーショット後にも気密性を維持することが可能となった。その結果、LFEXレーザーのショットレート（3 shots/day）に合わせて、繰返し成膜することが可能となった。

固化温度が軽水素に比べて高く成膜しやすい重水素を使用し、イオン加速実験を行った。薄膜の厚さをパラメータサーチして最適化を行った。

[1] T. Wei et al. 21pB2-7日本物理学会 2024春季大会

[2] T. Wei et al. 論文投稿中

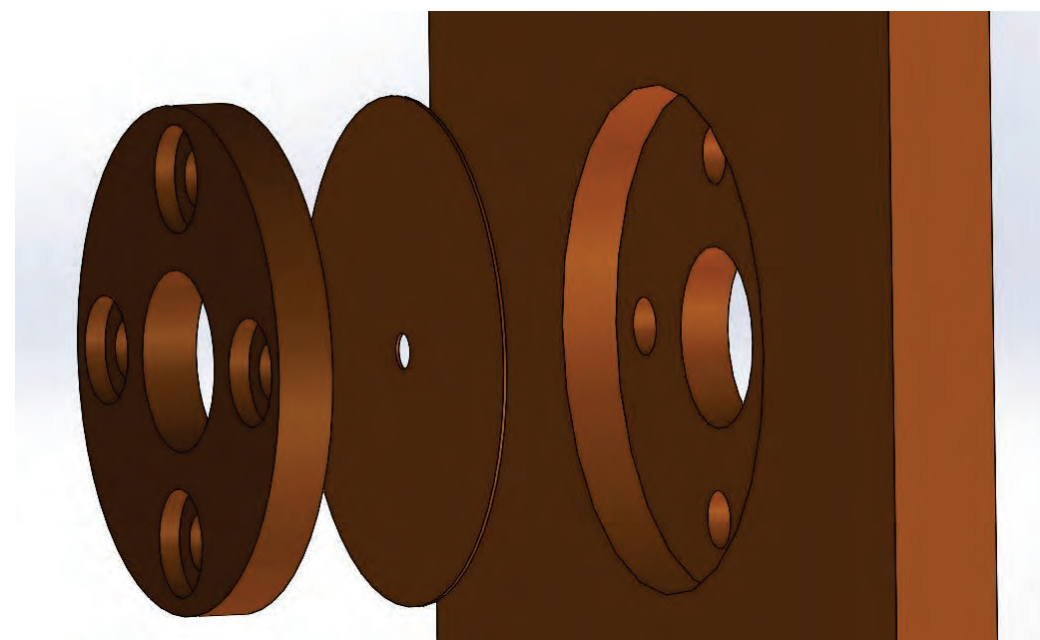


FIG. 1 薄膜生成部の新構造。中央のCuフォイルの厚さを調整することで。薄膜の厚さを制御する。

Development of regenerative liquid target for high-repetition rate laser-driven quantum beam sources

T. Higashiguchi¹, T. Soramoto¹, T. Morita¹, Y. Abe^{2,3}, and S. Fujioka³

1) School of Engineering, Utsunomiya University, 2) Graduate School of Engineering, Osaka University,

3) Institute of Laser Engineering, Osaka University

SUMMARY

We demonstrated a regenerative liquid target for the laser-driven quantum beam sources efficient water-window soft x-ray source. A regenerative liquid target with a diameter of 30 μm was continuously injected into a vacuum. The number of photons was observed to be $\sim 1 \times 10^{13}$ photons/nm/sr/pulse at a peak wavelength of 3.9 and 4.2 nm, which arises from $n = 4 - n = 4$ transitions, and 0.4×10^{13} photons/nm/sr/pulse at a peak wavelength of 2.4 nm, which was attributed to $n = 4 - n = 5$ transitions. The total number of photons emitted in the 2.3 - 4.4 nm range was $\sim 1 \times 10^{13}$ photons/sr/pulse. Energetic ions were also emitted with a maximum energy of 140 keV from the hot, dense plasma.

[1] T. Soramoto *et al.*, (to be submitted).

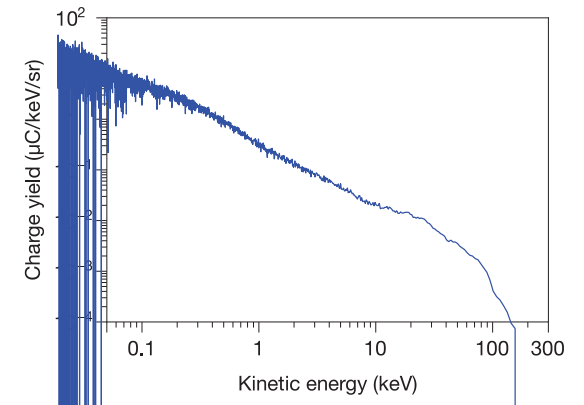
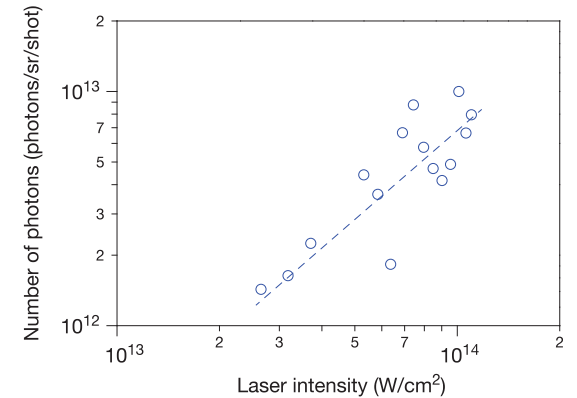
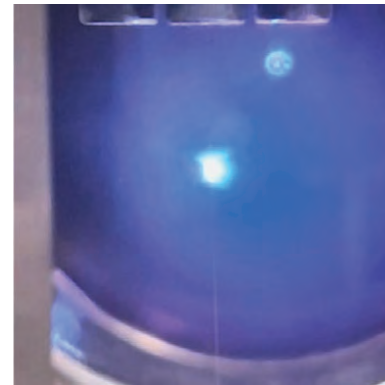


FIG. (a) Photograph of a laser-produced plasma. (b) Laser intensity dependence of the number of photons. (c) Energetic ion spectra.

Study of Online Reading of a Gamma-ray Spectroscopy System with Photostimulable Phosphors

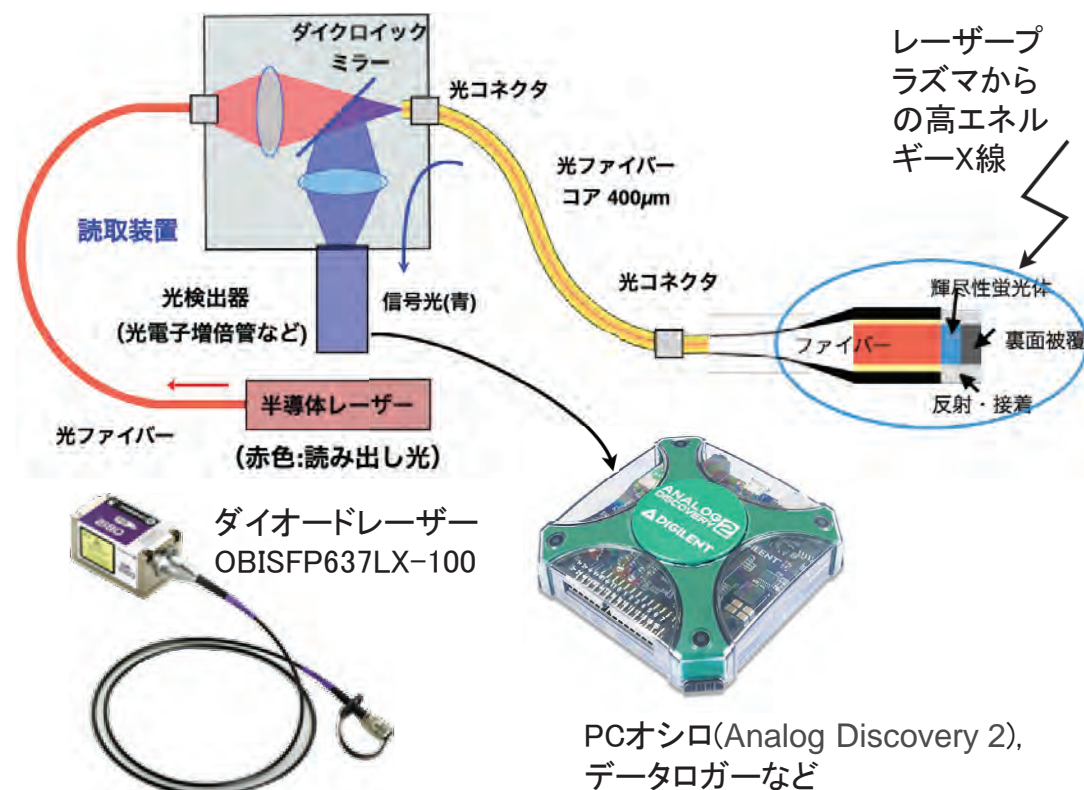
S. Miyamoto, H. Matsubara, N. Tanaka, K.F. Law, J. Hernandez, R. Takizawa, T. Tsuido, X. Han, Y. Karaki, R. Yamada and S. Fujioka

Institute of Laser Engineering, Osaka University

SUMMARY

高エネルギーX線、ガンマ線の計測のため、積分型検出器である輝尽性蛍光体（Photostimulable Phosphors, Imaging Plateとして販売されている）をセンサーとして吸収膜法に用いた、HEXSシステムが使われている。輝尽性蛍光体センサーの利点は5桁に渡る広いダイナミックレンジを持ち、またパワーレーザーショット時の電磁ノイズによる影響が無視できることである。一方、積分型であるため、計測後の取り出し、データの読み出し、消去に時間がかかり（～1時間）早い繰り返しの利用が困難な欠点がある。

この輝尽性蛍光体に光ファイバーを用いたオンライン信号の読み出し、消去システムを接続し数Hz程度の高い繰り返し利用を可能とする1チャンネル・システムの試作とレーザー実験への適用を実証した。



試作した、光ファイバー読み出し輝尽性蛍光体センサシステム。赤色半導体レーザー光をファイバー経由で輝尽性蛍光体に照射し、発生する青色輝尽性蛍光を光電子増倍管で計測する。データはPCオシロで記録。

中性子による新しい土壌水分計測システムの開発

徳本家康¹, 余語覚文², 有川安信²

1) 佐賀大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

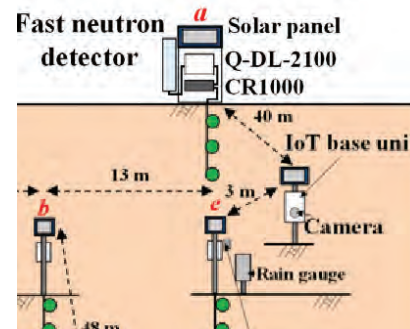
中性子による新しい土壌水分計測システムの開発のため、日本における宇宙線土壌水分観測システム（COSMOS）の計測値を比較した。対象とした圃場試験地は、土性の異なる3地点：重粘土が分布する諫早干拓地、黒ボク土が堆積する南阿蘇夜峯山および鳥取砂丘分布する海岸線である。FIG. aは、観測地の模式図の例であり、FIG. bは鳥取砂丘の観測地の写真である。COSMOSの熱外中性子数カウント（24時間移動平均値）は、干拓地が400程度*、火山灰土と鳥取砂丘（FIG. c）**が800程度で推移した。これは、土壌水分に応じた変動性による差異を示した。この成果は、今後の検出器デバイスの開発において重要な知見である。

今後は、検出器デバイスとの比較検討が考えられる。

*平嶋雄太, 橘基, 徳本家康, 宮本英揮 (2023): 宇宙線中性子を利用した重粘土の表層土壌水分観測, 農業農村工学会論文集 317(91-2):137-147

**平嶋雄太 (2024): 令和5年度鳥取大学乾燥地研究センター共同研究報告書

(a)



(b)



(c)

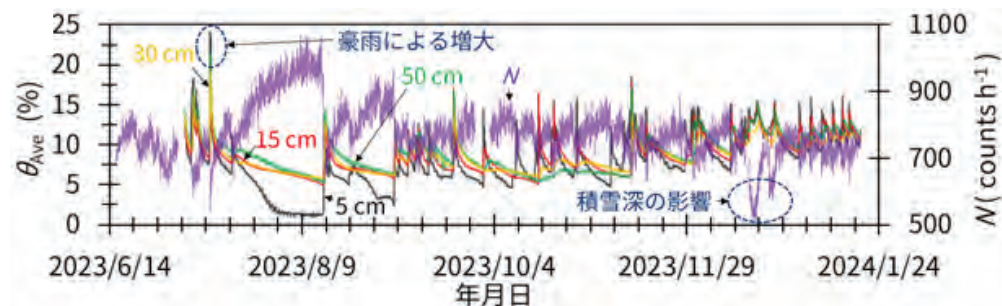


FIG. 圃場における計測例: (a) COSMOSの計測概略図, (b) 研究圃場, (c) COSMOSの計測値の例

超高強度レーザーイオン加速におけるイオン化の物理とその制御

畑昌育¹

1) 量子科学技術研究開発機構光量子科学研究所

SUMMARY

エネルギー2 J, パルス幅33.4 fs (ガウシアン), スポット径3 μm (ガウシアン), 規格化ベクトルポテンシャル $a_0=10$ (波長1 μm で 1.37×10^{20} W/cm²に相当)の超高強度レーザー照射によるイオン加速の三次元シミュレーションを実施した. 計算量削減のため, 標的の最大電子密度を臨界密度の60倍までとして時空間格子サイズを大きくとることで, 比較的空間スケールの大きな三次元計算を実行した. また, 固体密度よりも低密度の標的を扱っていることから, 電離過程としては衝突電離は考慮せず, 電場電離のみを扱うこととした. その結果, 電場電離のみを考慮した場合でも, 数MeV以上の高エネルギーまで加速される炭素イオンは六価が支配的であることがわかった. 次年度はより高密度の標的を扱い, 衝突効果について調べていく予定である.

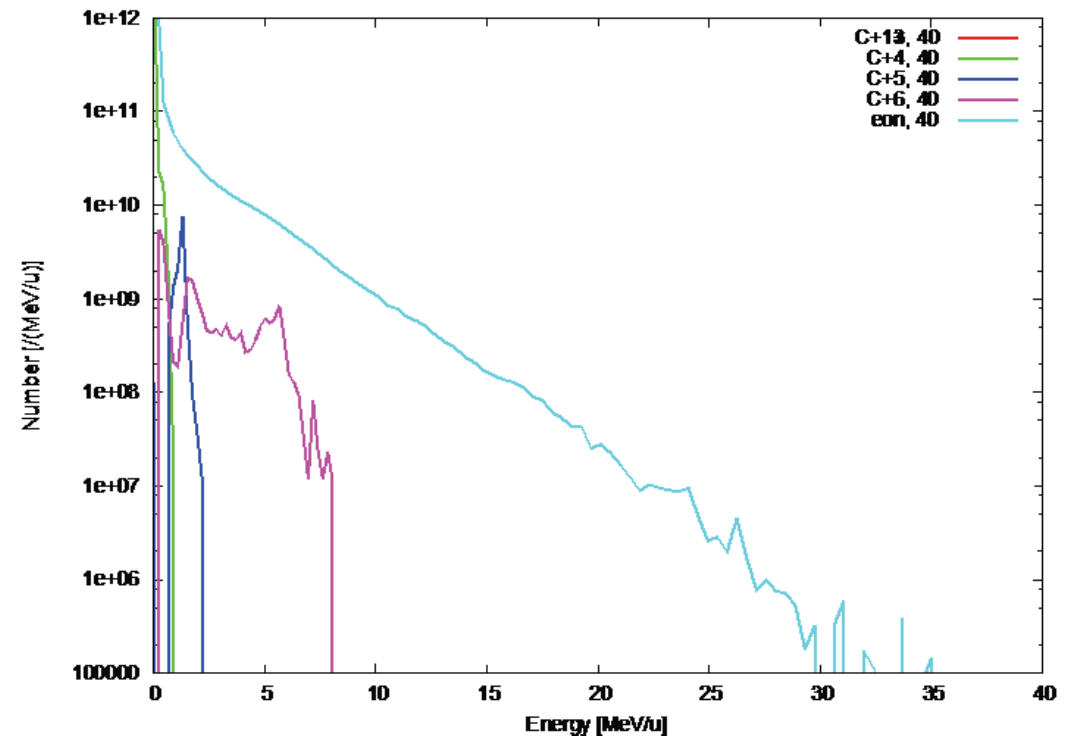


FIG. 電子および炭素イオンのエネルギースペクトル. 赤, 緑, 青, 紫は3~6価炭素イオンを, 水色は電子のスペクトルを示す. 高エネルギーイオンのほとんどが六価まで電離していることがわかる.

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

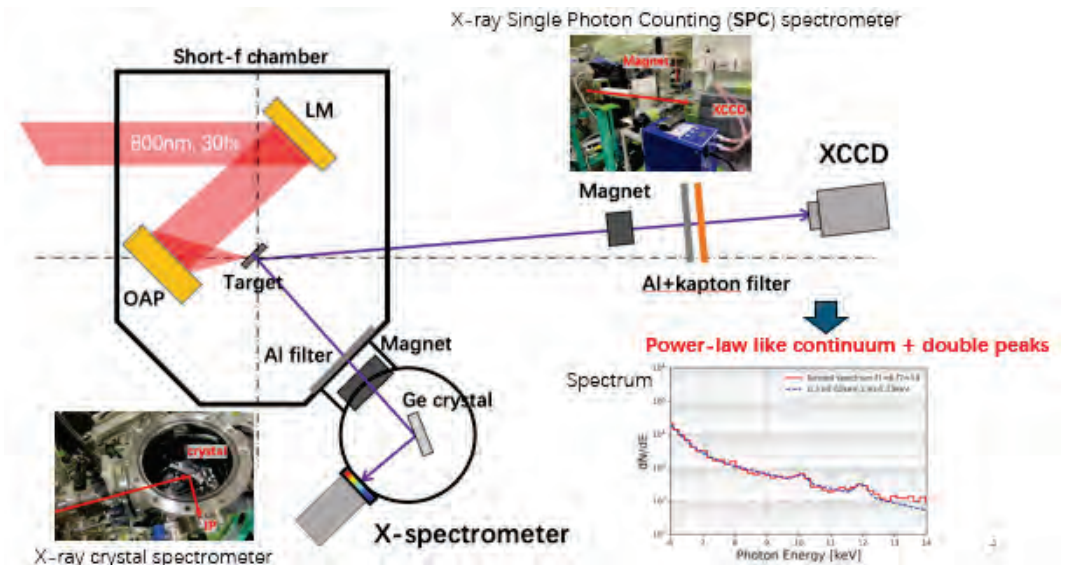
M. Nishiuchi¹, L. Chang¹, N. Dover², K. Kondo¹, K. Kon¹, H. Sasaki¹, J. Koga¹, M. Hata¹, N. Iwata³,
Y. Takagi³, K. Sugimoto⁴, and Y. Sentoku³

1) Kansai Photon Science Institute, QST, 2) Imperial College London, 3) Institute of Laser Engineering, Osaka Univ.,
4) Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto Univ.

SUMMARY

ペタワット級の高強度レーザーを用いれば、フェムト秒からピコ秒という短時間に鉄や銀などの重金属を超高温に加熱でき、内部においては重金属の多価電離が進行すると考えられているが、十分な理解は得られていない。

本研究では、量子科学技術研究開発機構関西光科学研究所のJ-KAREN-Pレーザーを金の薄膜に照射し、生成される高電離高エネルギー密度プラズマの温度をX線CCDをフォトンカウンティングモードにより計測しスペクトルを取得した。計測されたX線のスペクトル（5—12 keVの領域）には、連続成分に加え3d-2p遷移のラインによるピークが計測され、ターゲットの厚みを変えるとピーク位置がシフトする明確なデータを取得した。スペクトルピークのシフトは金のターゲットの電離度によると考えられるため、今後アトミックコード、PICコードを駆使し、高強度レーザーと固体重金属薄膜による加熱のダイナミクス及びイオン化プロセスの包括的な理解を進める。



実験セットアップ。X線のCCDをフォトンカウンティングモードで使用し、スペクトルを取得。金の薄膜によって取得されたX線スペクトルには、連続成分と3d-2p遷移に起因するピークが見えている。

Study on laser-driven repetitive ion acceleration using liquid jet targets

Y. Abe^{1,2}, R. Matsuura¹, K. Iwasa¹, T. Higashiguchi³, T. Morita³, Y. Oda⁴, M. Kume³, T. Niinuma³, S. Hirao³, R. Kurihara³, Y. Koyanagi³, K. Sunaga³, A. Ogiwara³, H. Kobayashi³, T. Sugiura³, T. Soramoto³, N. Tohara³, S. Fujioka², and Y. Kuramitsu^{1,2}

1) Graduate School of Engineering, Osaka University, 2) Institute of Laser Engineering, Osaka University, 3) School of Engineering, Utsunomiya University, 4) Faculty of Science and Engineering, Setsunan University

SUMMARY

Liquid jet targets are a promising approach to high repetition quantum beam generation (x-rays, electrons, neutrons, ions) with high-power lasers. The advantage of liquid jet targets is the ability to supply a variety of target elements in liquid without synchronizing laser shot timing. We have developed a high-speed liquid jet target system that sprays cylindrical water jets with diameters of 30 – 500 μm . This year, we have made progress in pump system, stabilization of the entire system that affects jet vibrations, and development of advanced nozzles producing “C-shaped” jets. The C-shaped jet will be applied for experiments on the “inverted corona fusion” [1], which have been investigated for the development of point neutron sources for radiography driven by cylindrically symmetric ion acceleration [1].

[1] Y. Abe *et al.*, Appl. Phys. Lett. **111**, 233506 (2017)

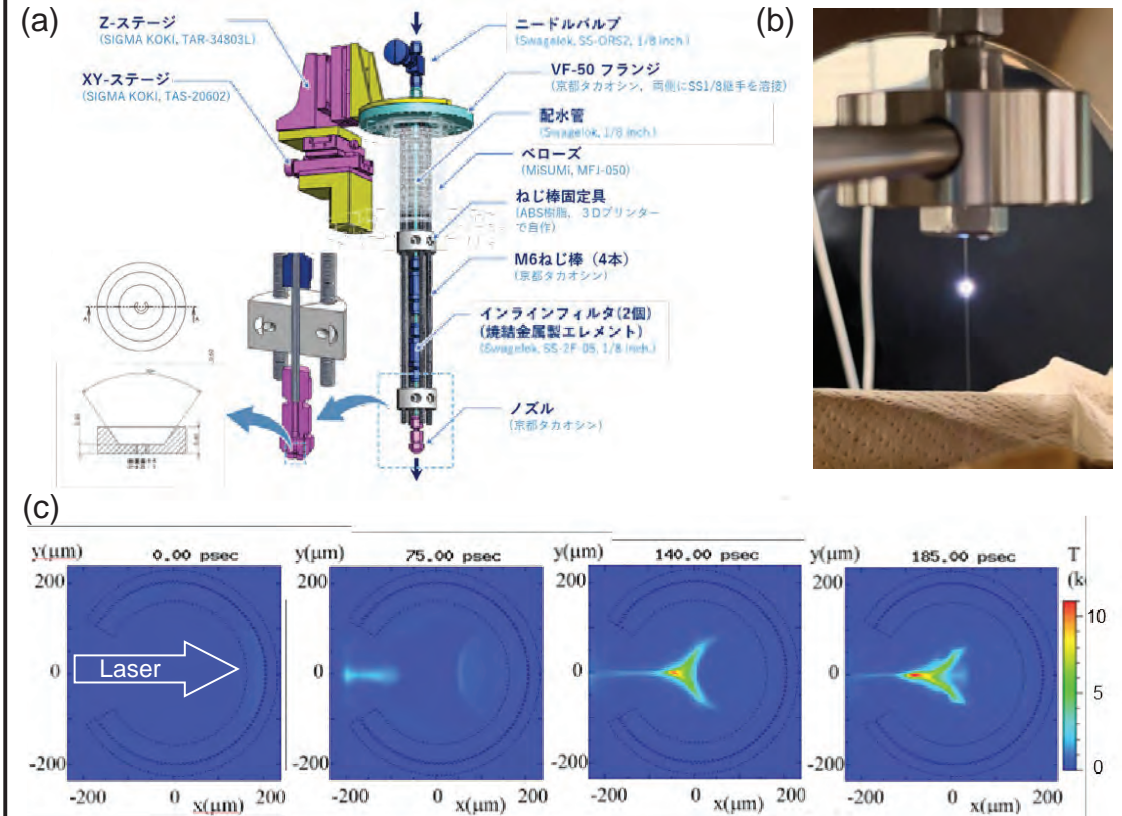


FIG. (a) Schematics of the water jet target system, (b) C-shaped nozzle for “inverted corona fusion” scheme, and (c) expected plasma dynamics inside a C-shaped target.

高効率レーザーイオン加速のためのクライオ冷却純粋固体水素薄膜装置の開発

研究代表者: 岩本 晃史 受入教員: 余語 覚文*

核融合科学研究所、*大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

新しいイオン加速機構を実証するために純粋固体重水素薄膜を生成しレーザー実験へ供給する装置の開発を行う。固体重水素薄膜を実現することで、高効率の重陽子加速の実現を目指す。

昨年度ではインジウムOリングによるシール構造を実現した新構造の薄膜形成小室をもつ装置への更新が終わり、銅基板のオリフィスに厚さを50-500 μm の間で制御した固体重水素薄膜の形成が可能になった。

今年度は一枚の銅基盤に複数個のオリフィスを準備し、そのオリフィスに固体重水素薄膜を確実に生成する条件の決定や一日複数回ショットを可能にするシール部の調整などを実施した。調整後の装置を使用してLFEXレーザーによる重陽子加速実験を実施した。



FIG. 1 装置をターゲットチャンバーへ取り付け固体水素形成後、薄膜部をターゲットセンターへ移動しショット直前の様子。

Development of gamma-ray polarimeter for high field science

Tae. Moon Jeoung¹, Yasunobu. Arikawa², Akifumi Yogo², Yoshiaki Kato²,
1) ELI-Beamline, 2) Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan

SUMMARY

In ultra-high intense laser science, a direct generation of polarized γ -ray from highly relativistic electromagnetic fields is one of the most important topic. For this study, a γ -ray polarimeter is indispensable though not yet developed. In this collaboration research we have been developing a γ -ray polarimeter by using $g+d \rightarrow n+p$ reaction where direction of neutron and proton generation is $\cos\theta$ of polarization of γ -ray. In previous study Dr. Arikawa demonstrated γ -ray polarimetry by putting D_2O attached neutron-bubble detector at polarized γ -ray facility. In FY 2023 our team studied conceptual designing for the ELI-Beamline experiment. The result from the designing calculation showed, more than 10^6 γ -ray/s with polarized with energies from 3 to 100 MeV can be measured which is sufficient sensitivity and detection range for ELI-Beamline.

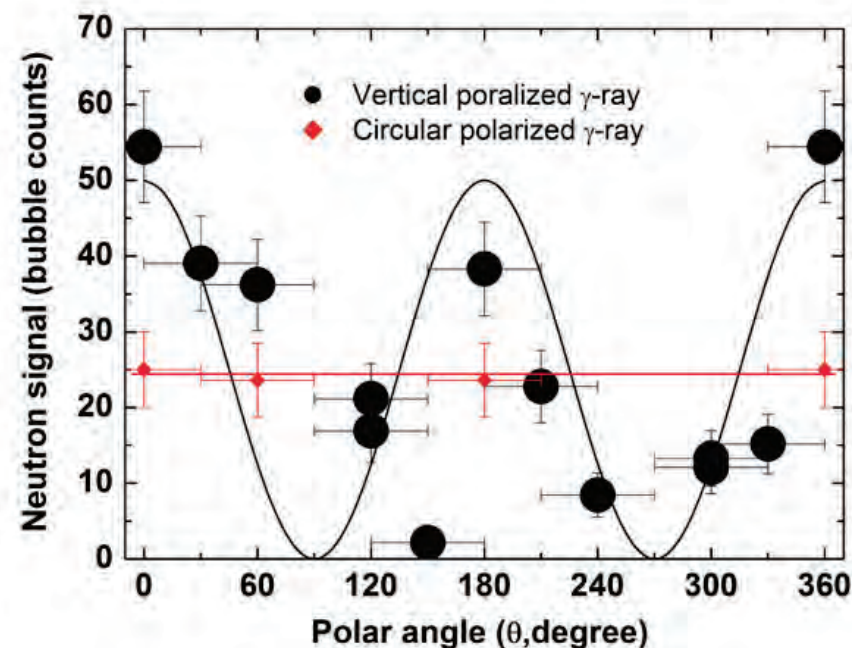


FIG. Experimental demonstration on the γ -ray polarimetry by using neutron-generation-angular distribution via $\gamma+d \rightarrow n+p$. The $\cos\theta$ function fitted with the neutron signal plot indicates the evidence of γ -ray is polarized. The data was taken by Dr Arikawa at NEW SUBARU γ -ray facility.

陽子ビーム駆動衝撃点火の理論シミュレーション研究

Javier Honrubia¹, 村上匡且²

1) マドリッド工科大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

受入代表者が提唱する衝撃点火のオリジナル・シナリオに関する理論設計に対して共同研究を行った。核融合点火はレーザーだけで駆動される設計であったため点火に必要な5千万度という高温を実現する必要がある。今回の国際共同研究では、インパクターと主燃料の衝突速度を1000 km以下とすると共にブースターとしてのプロトンビーム追加熱を加味し、点火達成可能なターゲットとビームの条件を明らかにした。右図に示すようにコーンの左側に設置したシェルを超高強度レーザーで加熱することによって数MeVのエネルギーを持つプロトンビームが高効率で生成されることが明らかになった。

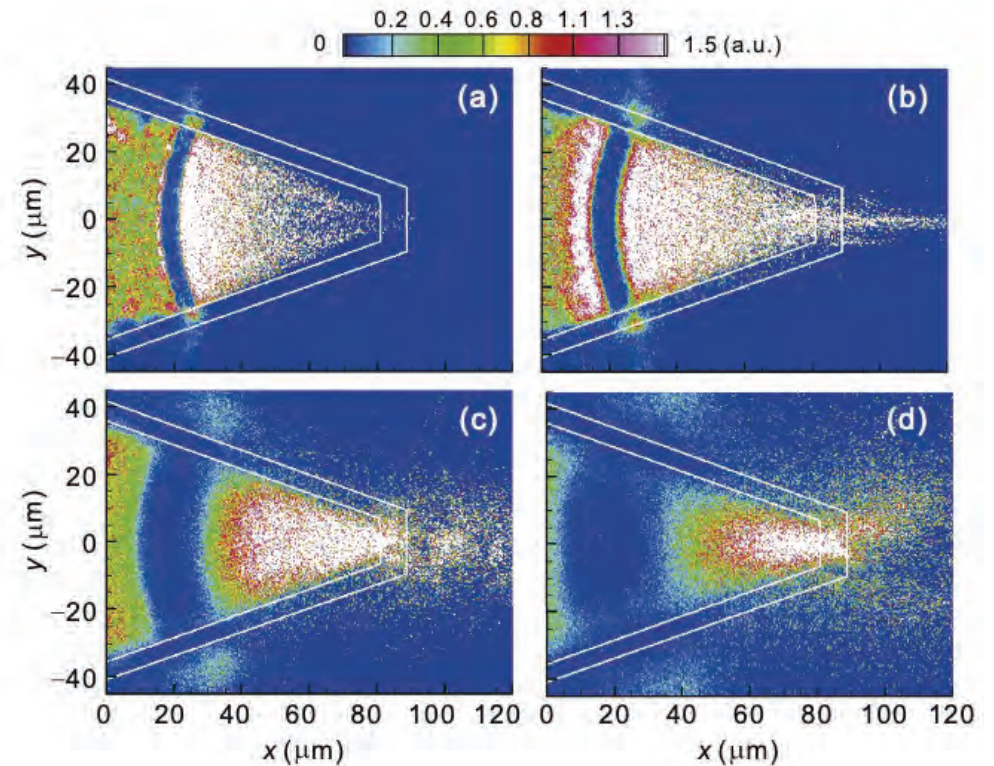


FIG. コーンに設置したシェルを超高強度レーザーで加熱することによって数MeVのエネルギーを持つプロトンビームが高効率で生成されることが明らかになった。

ナノ構造体を使った超高エネルギー場生成の物理研究

Guskov Sergey Yurevich, 村上匡且²

1) ロシア科学アカデミー・レベデフ物理研究所, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

「ナノチューブ加速器」の原理に基づき、ナノチューブ軸方向の静電的加速を誘起することにより、プロトンビームが軸方向に生成・加速される。この加速プロトンの最大値は、ナノチューブの直径に強く依存し、軸方向の長さには殆ど依存しないことがわかっている。本研究では、ナノチューブを含むナノ構造体の詳細な3次元粒子シミュレーションを行ないイオン加速の最適化を行った。右図に示すようにナノチューブ内に充填された水素ターゲットが、プロトンビームとして高い単色性を持って加速・射出されることがシミュレーションから明らかとなった。

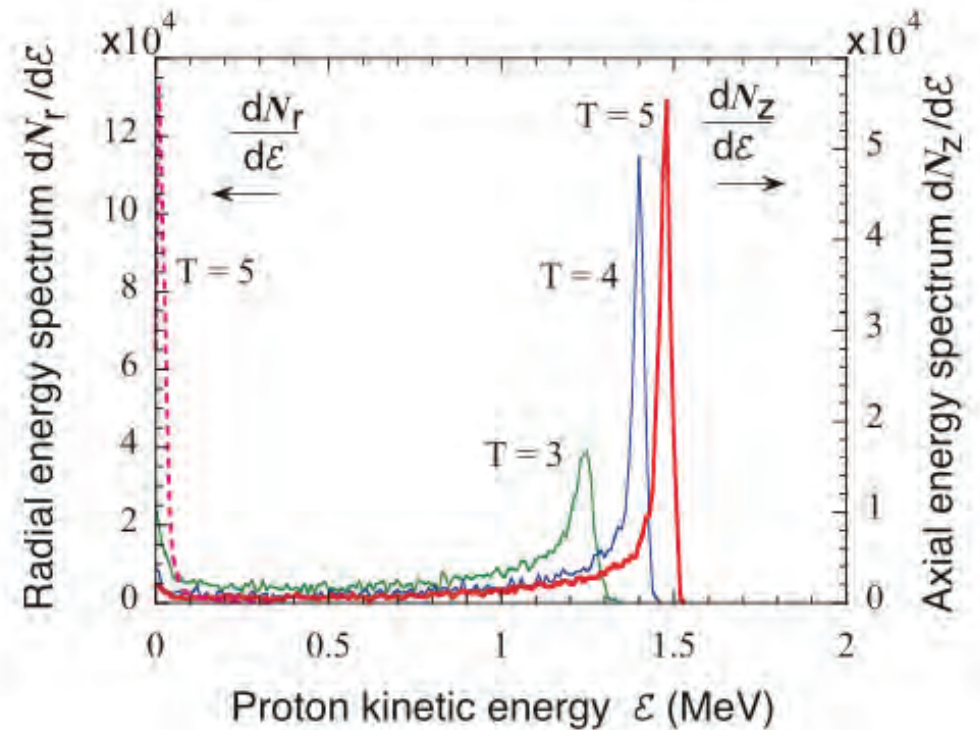


FIG. ナノチューブ内に充填された水素ターゲットが、プロトンビームとして高い単色性を持って加速・射出されることがシミュレーションから明らかとなった。

マイクロバブル爆縮による強相対論領域物理の探索と開拓

Sergey Bulanov¹, 村上匡且²

1) 欧州高強度レーザー実験施設(ELI), 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

ミクロンスケールのマイクロバブル内部に形成される相対論的プラズマの挙動を精査すると共に、超高電場の環境下で「ミクロンスケールでSchwinger極限電場」に匹敵する電場生成を可能とする粒子加速器概念設計の確立とその具体的な理論設計を行った。特に、バブル中の生成電場は爆縮を起こした電場よりも二桁程度強く、中心で圧縮されたイオンの激しい爆発を引き起こし、結果として、爆縮過程で得られるエネルギーより一桁程度高い運動エネルギーを持って飛散することがわかった。右図に示すように、初期に1ミクロンであったバブルの最大圧縮時のサイズはナノメートル程度にまで収縮し、その時のプロトンの密度は固体密度の約30万倍にまで圧縮されることがわかった。

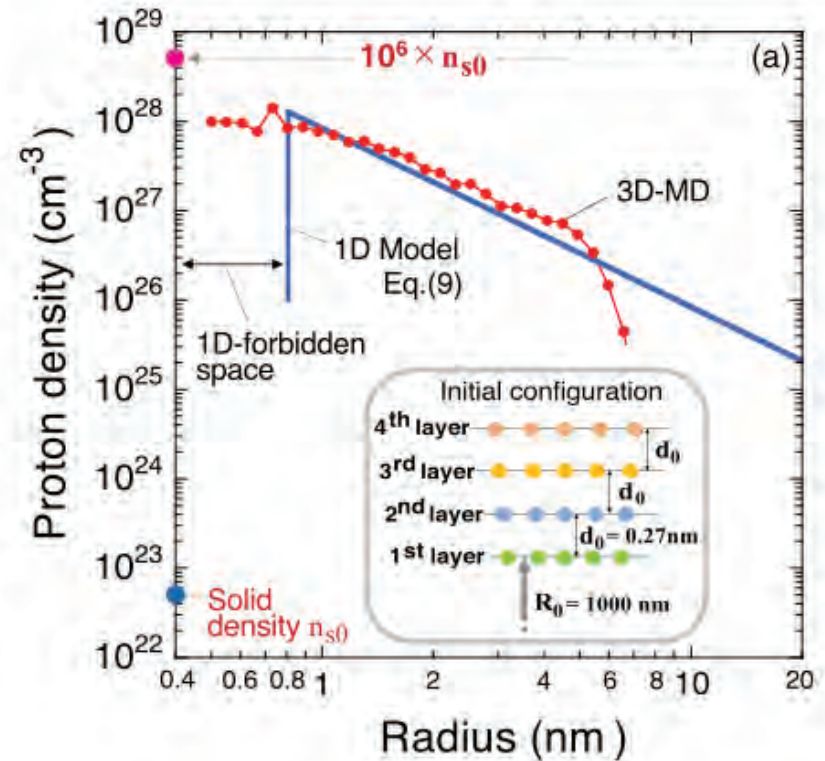


FIG. 初期に1ミクロンであったバブルの最大圧縮時のサイズはナノメートル程度にまで収縮し、その時のプロトンの密度は固体密度の約30万倍にまで圧縮されることがわかった。

レーザー駆動中性子による恒星内元素合成の研究

早川岳人¹, 余語覚文², 有川安信², 巽湧太², Lan Zechen², Wei Tianyun²

1) 量子科学技術研究開発機構, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

^{176}Lu は約 3.7×10^{10} 年の半減期で ^{176}Hf に β 崩壊する宇宙核時計として知られている。隕石研究で、一部の隕石で半減期が短くなる現象が発見され、太陽系形成の初期において未解明の宇宙的現象が発生したと考えられる。我々は高エネルギー宇宙線の2次中性子による加速崩壊を提案している。そこで、このような中性子による核反応がどのような核種に対して、どのような影響を与えるのか理論的に検討した。また、LFEXを用いた実験の可能性について検討した。

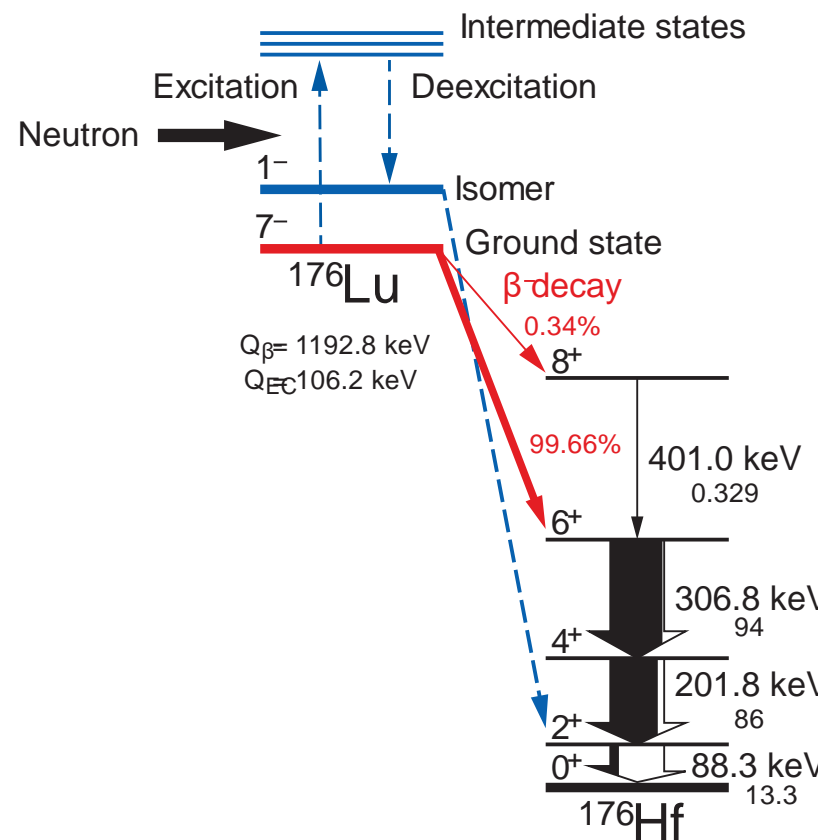


FIG. 高エネルギー宇宙線の核破碎反応等で生成された中性子による宇宙核時計 ^{176}Lu の加速崩壊のメカニズムの概念図。基底状態から中性子の非弾性散乱によってアイソマーに遷移し続けて約3.7時間の半減期で β 崩壊する。

レーザー駆動イオン加速に関する理論・実験的研究

Bhuvanesh Ramakrishna¹, 村上匡且²

1) ハイデラバード工科大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

本共同研究の目的は、これまでにない新規なターゲット構造を提起し、従来型（例えばTNSA）よりも加速パフォーマンスの良い加速機構を理論・実験研究を通じて構築・提唱すると共に、その背景物理を詳細に解明することにある。今回、新たな構造を我々は提唱しマイクロノズル加速(MNA)と名づけた。MNAにおいては、ロケットのノズル様の構造をプロトン球の周辺に配置することで、入射レーザーエネルギーを集約し、従来の加速機構におけるよりも格段に高いエネルギーのプロトンビームを生成することができる。右図に示すように、MNAではTNSAと比べるとレーザー強度依存性において格段に高い加速パフォーマンスを示すことがわかった。

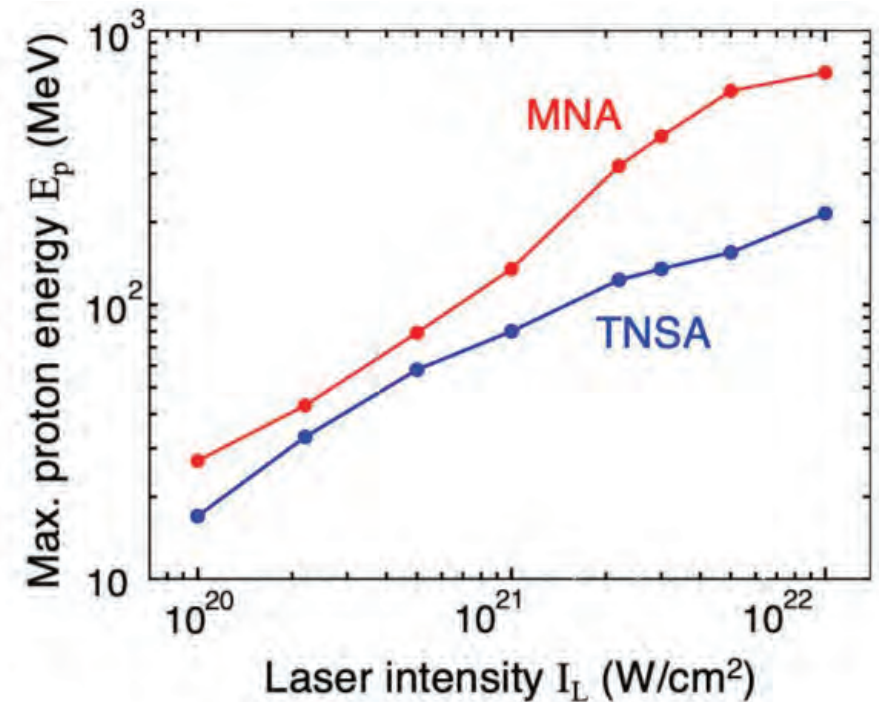


FIG. マイクロノズル加速方式 (MNA) ではTNSAと比べるとレーザー強度依存性において格段に高い加速パフォーマンスを示すことがわかった。

Efficient neutron generation from a deuterated foam target irradiated by a PW laser

T. Lastovicka¹, R. Laxmi Singh¹, V. Tikhonchuk¹, S. Weber¹

1) ELI Beamlines Facility, The Extreme Light Infrastructure ERIC, 25241 Dolní Břežany, Czech Republic

SUMMARY

Based on previous experiments with Gekko, a very narrow peak is expected of fusion neutrons at around 600 ns time in the MANDALA neutron spectrometer at the top of the non-fusion-related background. For the LFEX laser, due to the asymmetry of the setup, the fusion neutron peak should move to values above 600 ns and it should broaden. No such peak is observed in reference shots with deuterated foils nor shots with deuterated nano-wire arrays.

In shots with the novel deuterated aerogel foams produced by General Atomics, there is little sign of a peak in approximately the correct position, see Figure. However, this tiny peak does not consistently appear in all shots and is at the level of random fluctuations. Unfortunately, the aerogel's density was about an order of magnitude lower than requested; hence, a strong fusion signal is not expected to appear.

The neutron diagnostics, which relied on Timepix detectors, experienced freezing during each shot due to the strong electromagnetic pulse (EMP). As a result, no relevant data was collected. Despite being unsuccessful, this setback helped us understand the EMP issue in Timepix electronics and find a solution, albeit this is outside the scope of the experiment conducted at Osaka University.

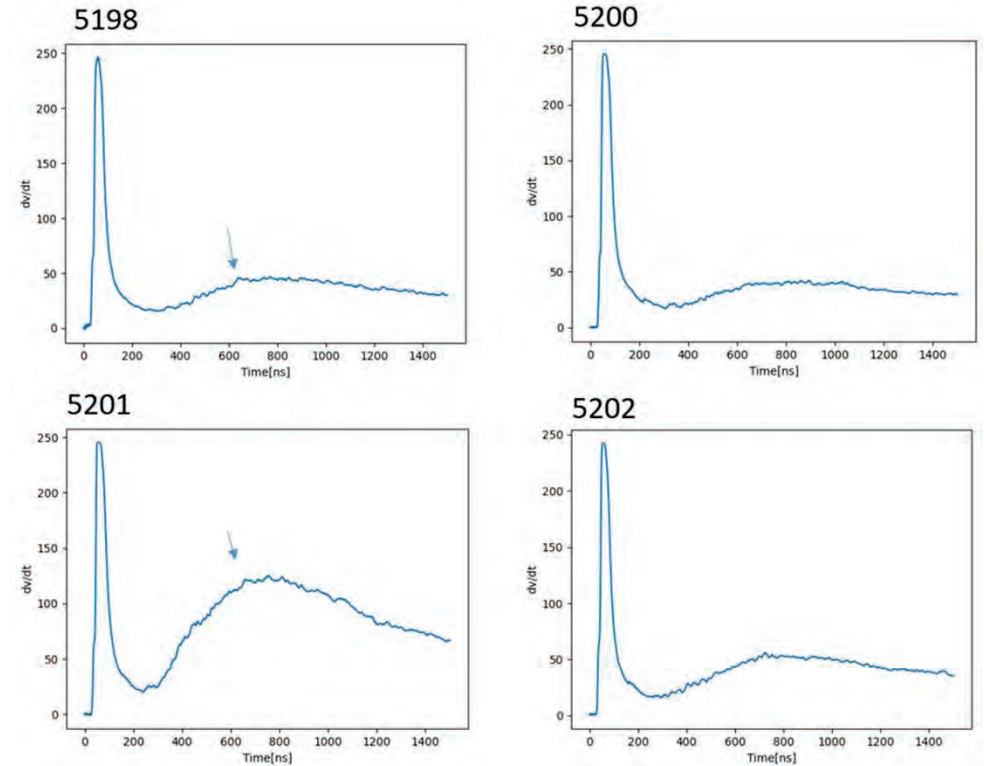


FIG. MANDALA neutron signal spectra for deuterated aerogel targets produced at General Atomics. Arrows mark a small peak that was attributed to a random noise.

Revisit of the ablation scaling with high power laser irradiation

1)重森啓介, 1)井手坂朋幸, 1)川崎昂輝, 1)田中大裕, 1)佐藤匠, 1,2)尾崎典雅, 1,2)兒玉了祐, 1)瀧澤龍之介,
1)藤岡慎介, 1)余語覚文
1) 阪大レーザー研, 2) 阪大院工

SUMMARY

ハイパワーレーザーアブレーションのスケーリングに関しては、電子熱伝導をエネルギー輸送体系とした定常アブレーションモデルが基本となっているが、るレーザープラズマ相互作用による高速電子、高原子番号物質照射条件下によるX線輻射により、このスケーリングが成立しない状況となる。本研究では、アブレーションのパラメータ（圧力・質量噴出率）とこれを司る高速電子や輻射のパラメータの両方を複数の計測器で観測し、その関係性を探る。本年度はX線バックライト法による質量噴出率の時間分解計測に関する実験を主として行い、2台のX線ストリークカメラを用いた計測手法を確立した。得られた結果より、高速電子の効果が顕著でない領域においては定常アブレーションモデルとよく一致する値となった。今後は照射条件を拡張し、高速電子の効果を検証する予定である。

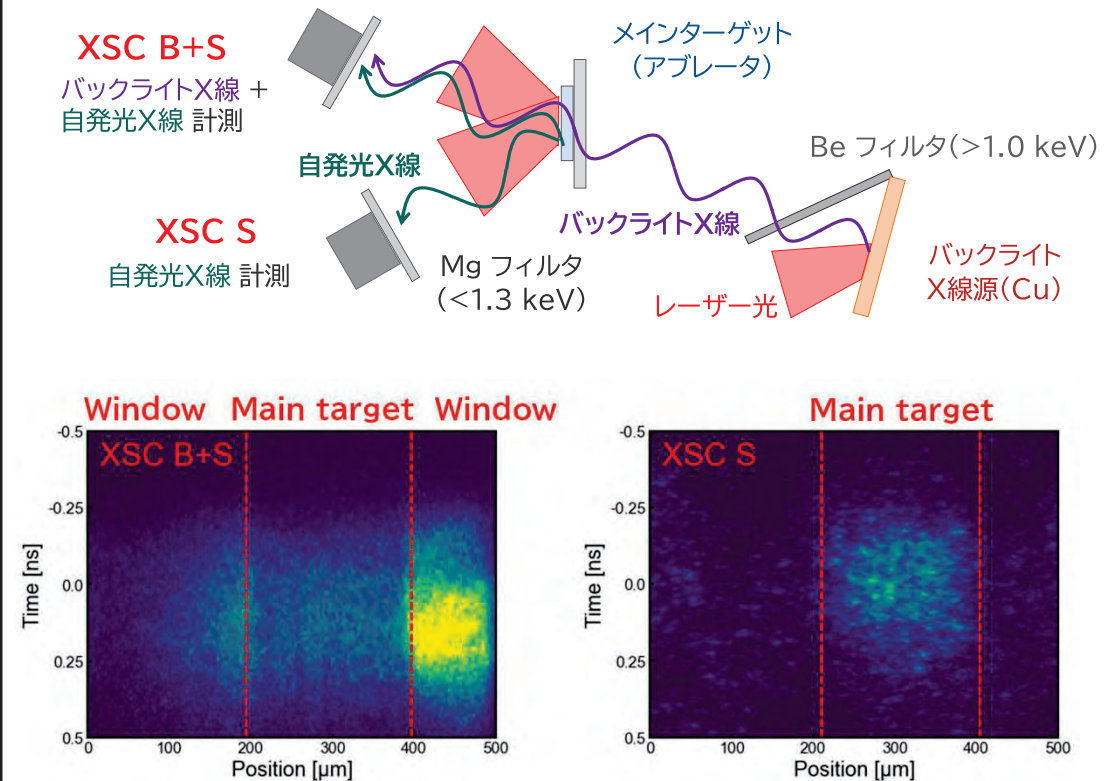


FIG. (上)X線バックライト法による質量噴出率計測の概略図(下)得られた生データの例. 2台のX線ストリークカメラのX線強度より、質量噴出率の時間変化を得た。

Temperature measurement of highly compressed plasma for validation of hydrodynamic simulation code

研究代表者: 長友英夫、受入教員: 藤岡慎介
大阪大学レーザー科学

SUMMARY

レーザー生成プラズマは微小かつ非定常であるため、その全ての特性を実験のみで明らかにするのは困難であり、数値シミュレーションが分野の発展に大きく貢献している。研究代表者である長友が開発している放射流体シミュレーション、PINCOコードはその一つであり、最近ではレーザー加工の解析や設計にも用いられている。実験に基づくPINOCOコードの予測精度の精緻な検証はレーザー生成プラズマの幅広い応用を開拓する上で不可欠である。LFEXレーザーで発生させた単色X線（Cu-K α 線）をプローブに用いた。トムソン散乱された単色X線は電子の熱運動に応じたドップラー広がり又は電子プラズマ波によるシフトを受けるため、その広がりからプラズマの温度及び密度を導出することができる。トムソン散乱断面積は小さいため、高感度の計測器が必要であり、円柱形状（フォン・ハーモス型）に湾曲した高配向性熱分解グラファイトを分散素子に用いた。

散乱X線スペクトル（計算結果）

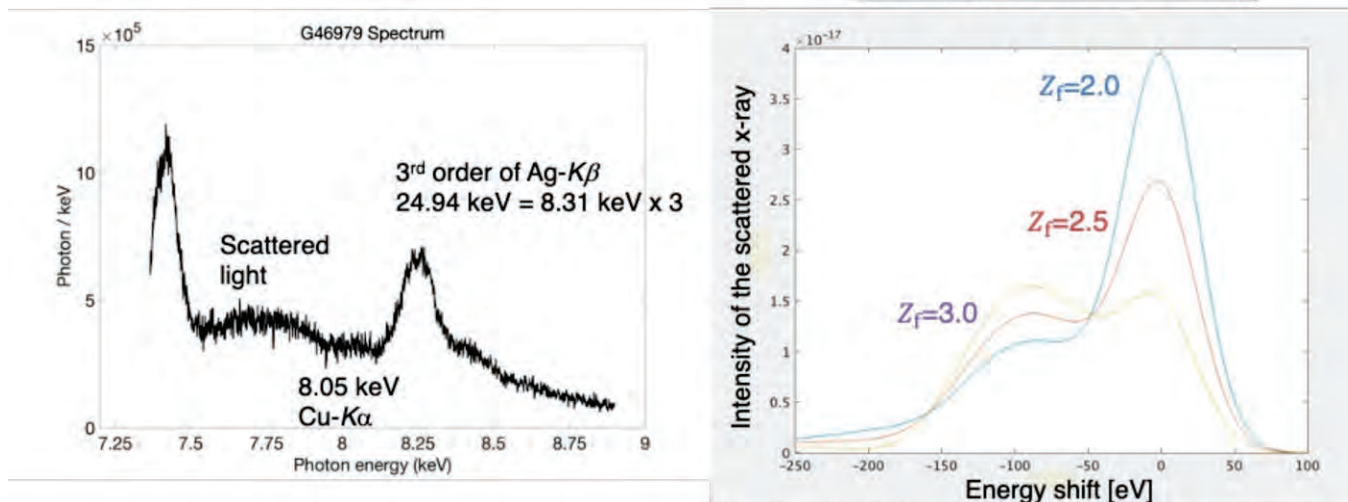


FIG. 1(a) 銅のフォイルをLFEXで照射し、8.05 keVの準単色X線を発生させた。散乱X線の信号が得られた。レイリー散乱信号は非常に弱かった。(b)の計算結果と比較すると、プラズマの平均電離度は3.0程度であることが明らかになった。引き続き、詳細な解析を進めていく。

Investigation of advanced laser-driven proton sources produced in interaction of relativistic laser pulse with low density foams and application to the study of proton-boron fusion

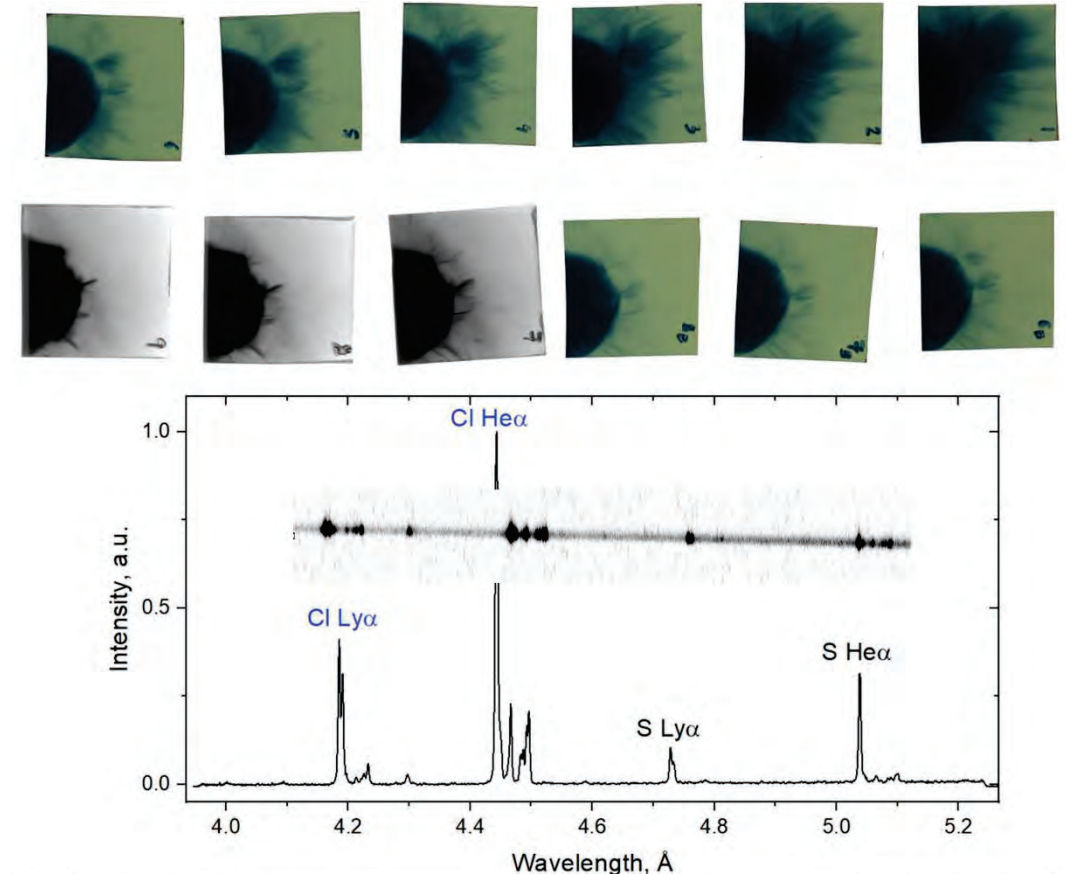
Dimitri BATANI¹, Olga ROSMEJ², Katarzyna BATANI³, Marine HUAULT¹, Howel LARREUR¹, Diluka SINGAPPULI¹, Didier RAFFESTIN¹, Philippe NICOLAI¹, Daniel MOLLOY⁴, Guido GIUNTELLI⁵, Tatiana PIKUZ⁵, Wigen NAZAROV⁶, Natalya BORISENKO⁷, Artem MARTYNENKO², Takehito HAYAKAWA⁸, Akifumi YOGO⁵, Yuji FUKUDA⁸, Zechen LAN⁵, Yasunobu ARIKAWA⁵, Sergey PIKUZ⁶, Alessio MORACE⁵

1) Univ. Bordeaux, France 2) GSI Darmstadt, Germany 3) IPPLM Warsaw, Poland 4) Queen's Univ. Belfast, UK 5) Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan 6) HB11 Energy Australia 7) Lebedev Inst. Moscow, Russia 8) KPSI Kyoto, Japan

SUMMARY

The proposed experiment had two correlated goals:

1) Study proton acceleration in laser-produced plasmas using low density target materials (foams), and 2) Use the *improved* proton source for generating α -particles from hydrogen-boron fusion reactions. We focused the LFEX laser varying the density and composition of foams and the laser energy and measured proton emission with Thomson parabolas and RCF, and α -particle generation with CR39. For comparison we shot on 6 μm plastic foils (used in several samples as support of foams). The experiment has been done in February 2024 hence results are not available yet, in particular concerning α -particle generation because CR39 needs a long time to be fully analyzed. However, we obtained very interesting results on proton emission using the 6 μm foils and undercritical foams. With plastic foils we observed a departure from the typical shape of spectra of protons accelerated by TNSA. With undercritical foams we observed a very strong emission of collimated protons at low energies (which are optimal for α -particle generation from hydrogen-boron fusion reactions)



Up) Radiochromic film stack showing collimated proton emission from an undercritical foam target (3 mg/cm^3)

Down) X-ray spectra from Cl-dopant and S-impurities within the foam obtained with FSSR spectrometer

Characterization of LFEX laser-generated fast electrons via modeling angular-dependent bremsstrahlung measurements

H. Sawada¹, S. Fujioka², T. Maekawa², H. Matsubara²

1) University of Nevada Reno, USA, 2) Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan

SUMMARY

This project aims to characterize the properties of fast electrons generated by the kilo-joule class, high-energy, short-pulse LFEX laser. Understanding the energy spectrum, divergence angle, and conversion efficiency of electrons from laser to electron form is crucial for electron-based fast ignition. Our focus has been on deducing a fast electron energy spectrum by modeling high-energy bremsstrahlung spectra. Specifically, we have employed both a heuristic method and deep learning for the reconstruction of the measured spectrum, even with arbitrary spectral intensities. The spectral results obtained from these methods are consistent with each other. We found that the deep learning approach is faster and more broadly applicable than the heuristic method for analyzing our measured bremsstrahlung signals.

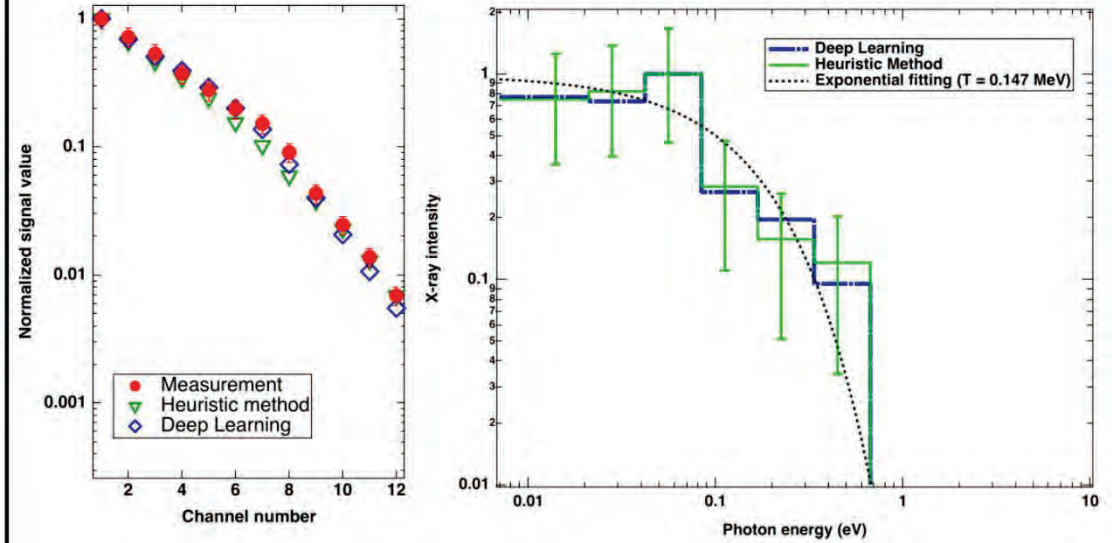


FIG. The X-ray spectra estimated by the heuristic method and deep learning are in good agreement, and the obtained spectra can be approximated with the Maxwell-Boltzmann distribution with 0.147 MeV of slope temperature.

Development of dual x-ray and proton radiography for a direct drive fast ignition cone-sphere target

H. Sawada¹, S. Fujioka², K. Matsuo³, H. Nagatomo²

1) University of Nevada Reno, USA, 2) Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan, 3) Ex-Fusion, Japan

SUMMARY

This project aims to enhance modeling capabilities for dual X-ray and Proton radiography of laser-driven fast-ignition targets. We use the 2D radiation hydrodynamics code PINOCO for simulating target compression. Our method involves calculating electric fields from pressure gradients, then using a Monte Carlo code, PHITS, to simulate proton beam deflection by these fields. This year, we completed the field calculations. We have also tested proton beam deflection using known electric fields, such as those from point and cylindrical surface charges. Next year, we will simulate proton radiography using our calculated fields and compare these simulations with experimental measurements.

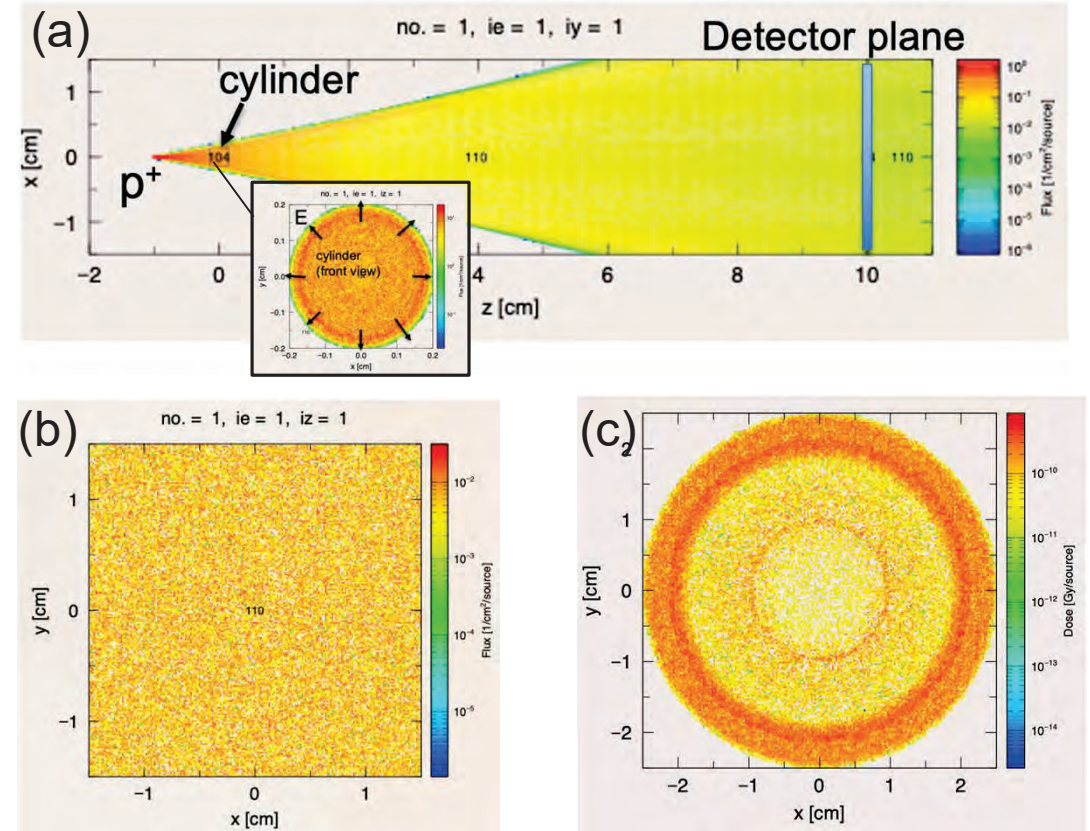


FIG. (a) A PHITS simulation geometry. A beam of 3.0 MeV protons is injected through a cylinder containing electric fields pointing outward. (b) A proton dose at $Z = 10$ cm when no field is applied. (c) A proton dose with the electric fields on.

Dependence of Richtmyer-Meshkov Instability growth on gas compressibility

T. Sano¹, C. Matsuoka², and F. Cobos-Campos³

1) Institute of Laser Engineering, Osaka University, Suita, Osaka 565-0871, Japan, 2) Graduate School of Engineering, Osaka City University, Sugimoto, Sumiyoshi, Osaka 558-8585, Japan, 3) ETSI Industriales, Instituto de Investigaciones Energéticas and CYTEMA, Universidad de Castilla-La Mancha, 13071 Ciudad Real, Spain.

SUMMARY

We continue our study of the characterization of the compressible stage of the instability. We have carried out an exhaustive comparison between compressible linear theory, hydrodynamic simulations, vortex sheet model, and classical RMI experiments, and very good agreement has been obtained in the cases whose initial ripple amplitude is small enough to lead linear growth. It is shown that incompressible non-linear models should consider the compressible effects happened during the linear transient phase to provide accurate predictions in later stages of the instability. An estimation of the duration of this linear transient phase is also given.

[1] F. Cobos Campos, and J. G. Wouchuk, Phys. Rev. E 96, 013102 (2017).

[2] C. Matsuoka and N. Nishihara, Phys. Rev. E 73, 026304 (2006).

[3] T. Sano, S. Inutsuka and S. M. Miyama, ApJL 506, L57 (1998).

[4] G. Dimonte, C. E. Frerking, M. Schneider, and B. Remington, Phys. Plasmas 3, 614 (1996).

[5] R. L. Holmes, G. Dimonte, Bruce Fryxell, M. L. Gittings, J. W. Grove, M. Schneider, D. H. Sharp, A. L. Velikovich, R. P. Weaver, and Q. Zhang, J. Fluid Mech. 389, 55 (1999).

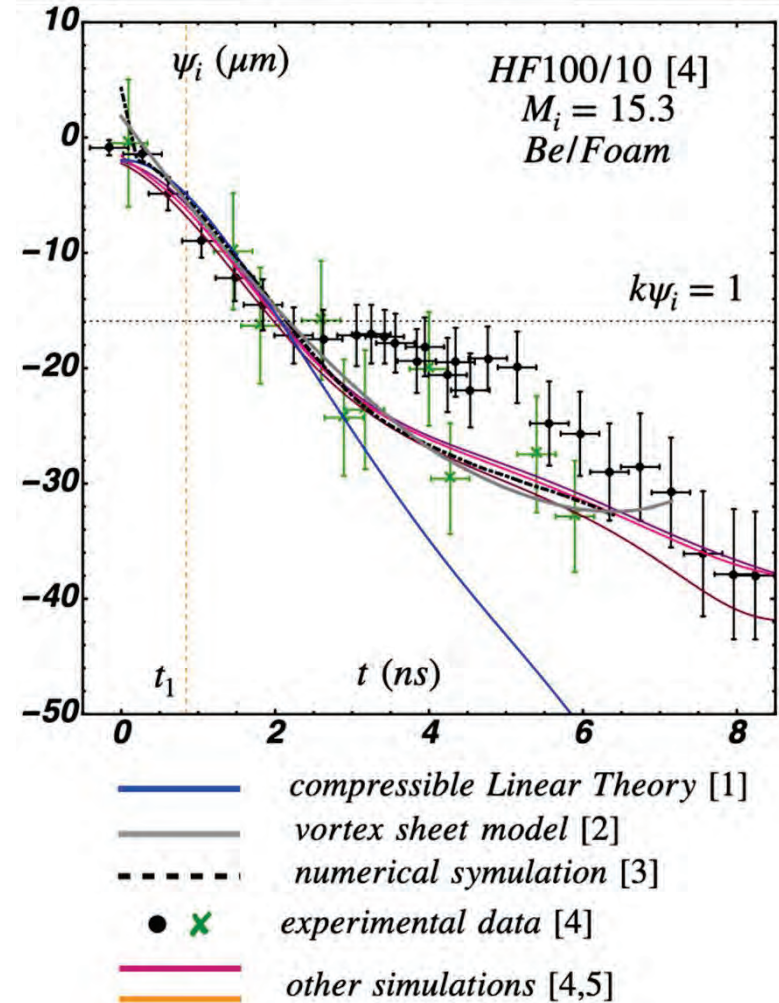


FIG. Contact surface ripple evolution and t_1 estimation.

Magnetic Reconnection Driven by Capacitor Coils at Low Plasma Beta

H. Ji^{1,2}, S. Fujioka³, L. Gao², A. Chien¹, E. Blackman⁴, T. Sano³, Y. Sakawa³, Y. Kuramitsu³, K. Sakai³, T. Morita³, K.F. Law³, J. Hernandez³, R. Takizawa³, J. Dun³, Y. Wang³, T. Tsuido³, X. Han³, Y. Rakai³, H. Matsubara³, R. Yamada³

1) Princeton University, USA, 2) Princeton Plasma Physics Laboratory, USA, 3) Osaka University, Japan, 4) Rochester University, USA

SUMMARY

Magnetic reconnection is ubiquitous in space and astrophysical plasmas, rapidly converting magnetic field energy into plasma particles. As part of this collaborative program, we have had personnel exchanges between two sides during the past year to collaborate on magnetic reconnection experiment using capacitor coils. Dr. Lan Gao visited Osaka University and gave a research seminar with in-depth discussion. In return, Prof. K. Sakai visited Princeton University and participated experiments in-person at Rochester. We collaboratively developed a new experimental campaign proposal titled “Study of Particle Acceleration Mechanisms in Magnetically Driven Reconnection at Low Beta Using Capacitor Coil Targets Powered by Short-Pulse Lasers”, using the short-pulse LFEX laser at ILE to drive reconnection in the extended parameters, and have been accepted for FY2024.

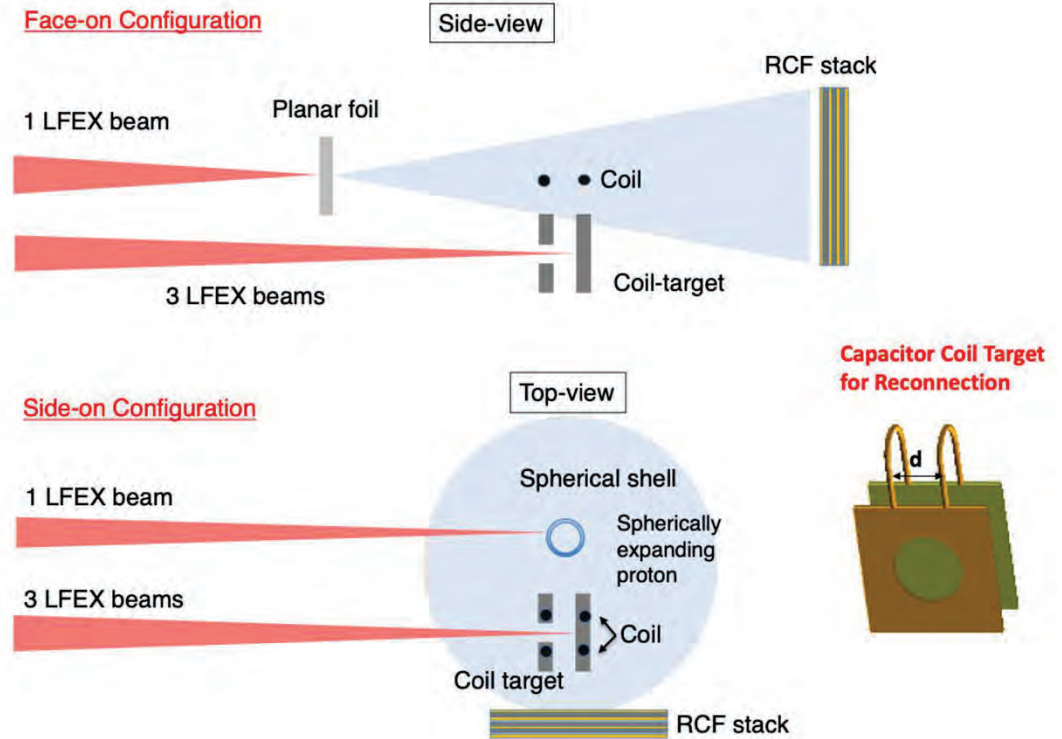


FIG. Proposed experimental platform to drive reconnection using short-pulse LFEX lasers.

Development of an XFEL platform for high-power laser-irradiated nanowire arrays

H. Sawada¹, K. Shigemori², D. Tanaka²

1) University of Nevada Reno, USA, 2) Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan

SUMMARY

This project investigates energy transfer from high-intensity, short-pulse lasers to nanowire targets. We explored how laser irradiation on nanowire arrays, with diameters of a few hundred nanometers and lengths of 2-10 microns, enhances laser absorption, thereby creating an ultra-high-energy density state unachievable by other means. We conducted a pump-probe experiment using the SACLA X-ray Free Electron Laser (XFEL). The laser-target interaction generates fast electrons, which heat and ionize the target. This heating is observed as variations in X-ray transmission using XFEL imaging for different types of nanowire arrays. We measured escaping electrons, characteristic X-rays, and monochromatic images. These measurements provide information on the electron properties essential for interpreting the XFEL images.

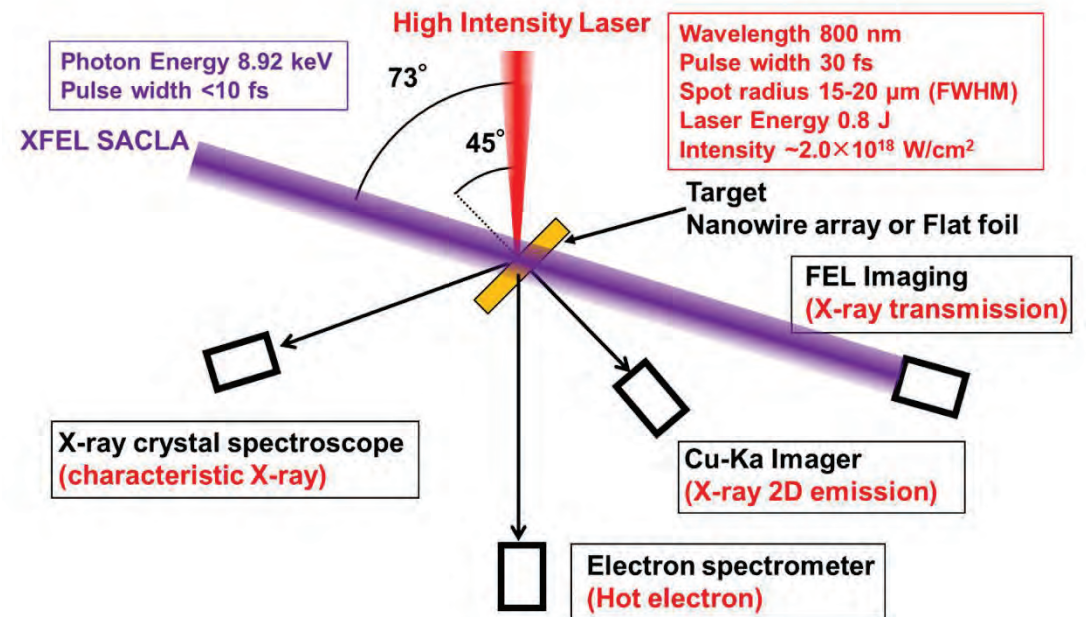


FIG. A schematic of the pump-probe experiment at SACLA. A high-power femtosecond was irradiated onto nanowire arrays with various lengths and wire densities. A collimated X-ray pulse then produced 2D transmission images of the target.

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, 簗内俊毅¹, 千徳靖彦²

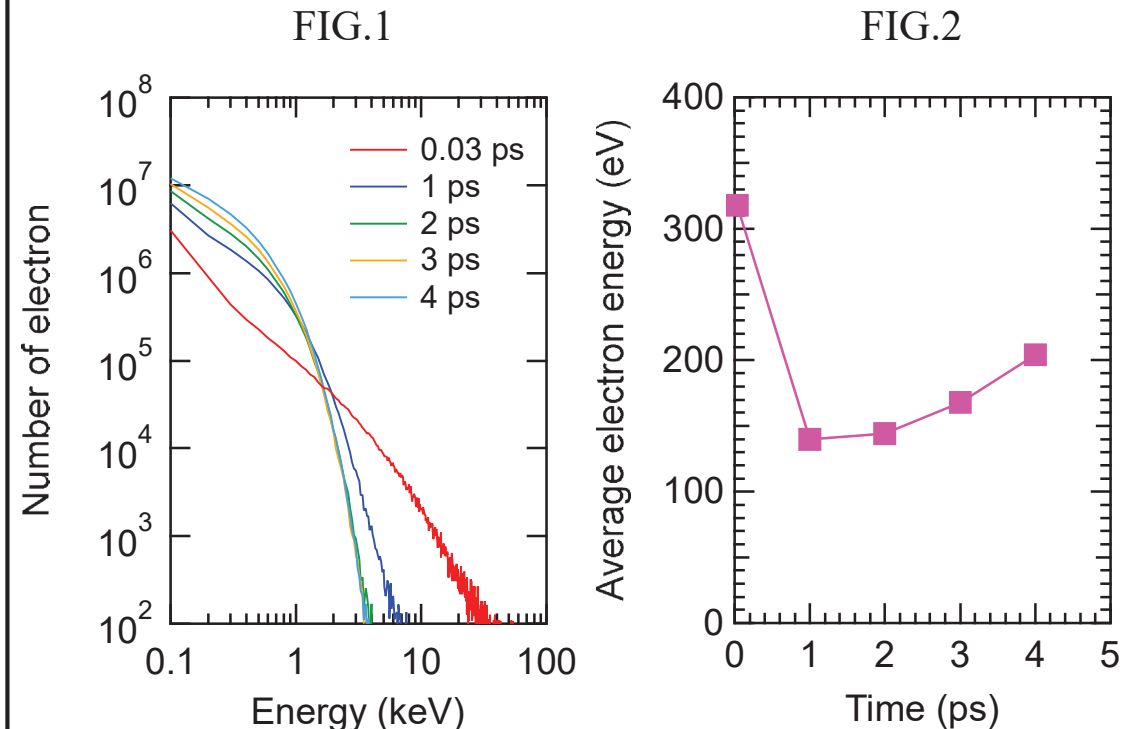
1) 高輝度光科学研究センター, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

超短パルス高強度レーザー照射により生成された強い非平衡状態の高密度プラズマに対し、10フェムト秒以下のパルス幅をもつX線自由電子レーザーを用いたフェムト秒時間分解X線吸収分光計測を実施し、その解析を行っている。

実験では、3つの異なる光子エネルギーにおいてX線吸収分光計測を実施し、各準位の電離エネルギーを考慮することでプラズマ中の自由電子のエネルギー分布の変化の情報が得られた。レーザー照射から数ピコ秒は数keV以上の電子がプラズマ中に多数存在するが、その後はこの成分はほぼ消失する。一方、70 eVから1 keVの電子は数十ピコ秒後まで存在し続ける。FIG.1はプラズマ粒子シミュレーションコードPICLSで得られた電子スペクトルであり、FIG.2は電子の平均エネルギーである。これらのシミュレーション結果は実験で得られた電子エネルギーの変化とよく一致している。

今後も共同研究を継続し、高強度レーザー生成プラズマの、これまで未知であったフェムト秒領域の過渡的特性を解明していく。



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で得られた電子スペクトル(FIG.1)と、プラズマ中の電子の平均エネルギー(FIG.2)。レーザーのパルス幅が40 fsであるため、0.03 psのデータはレーザー照射中を意味している。

マルチピコ秒相対論的レーザーによるポンデロモーティブエネルギーを超える電子の発生機構

東直樹¹, 千徳靖彦²

1) 北海道大学大学院工学研究院, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

ピコ秒以上のプラズマ粒子シミュレーションによって、超ポンデロモーティブエネルギー電子の生成が増加から減少に転じる可能性が示唆されたが、その機構は未だ明らかでない。我々は先行研究のアイデアを組み合わせ、「レーザー照射中、電子の後方噴出が停止するほど急峻な密度勾配が形成される」という仮説を立てた。この仮説をもとに、後方噴出の停止に伴い、超ポンデロモーティブエネルギー電子が減少に転じる条件を示す理論モデルの構築し、一次元プラズマ粒子シミュレーションによってモデルの妥当性を検証した。構築したモデルによる理論的な予測は、電子ビーム加熱の最適化への応用が期待できる。

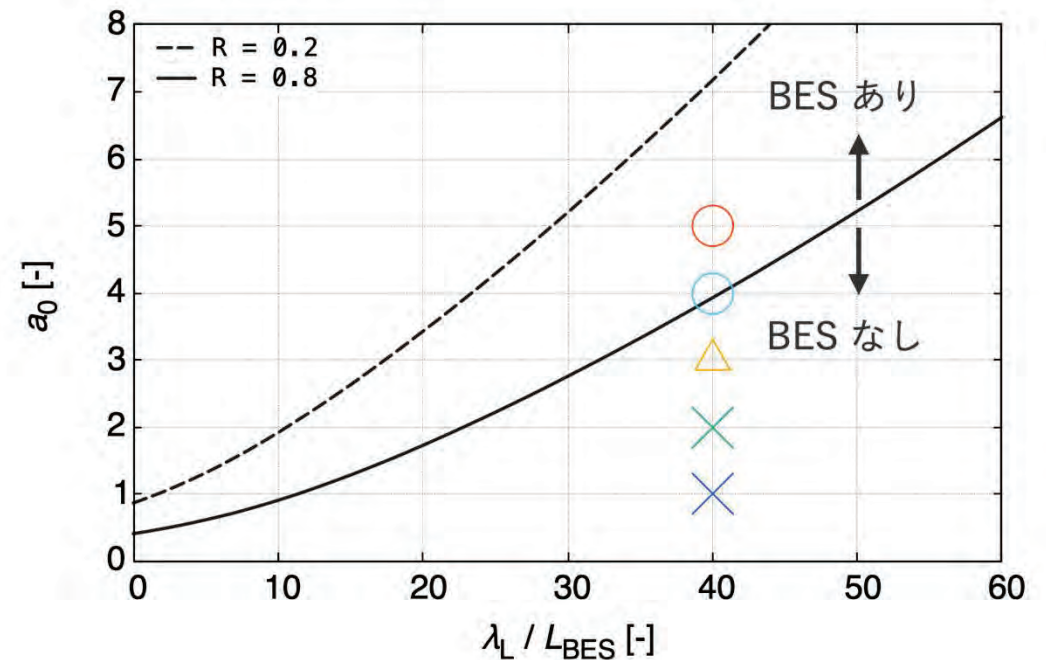


FIG. 後方噴出停止 (Backward Ejection Stopping, BES) の理論モデル (実線と点線、 R は反射率) とシミュレーション結果 (○△×). 横軸はレーザープラズマ相互作用面での電子密度の空間勾配の急峻さ。縦軸は後方噴出が停止する下限のレーザー場の規格化ベクトルポテンシャル。

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

2023年度も諸事情のため誘導ラマン散乱解析の進展はなかったが、三角形メッシュを利用した放電解析用の粒子コードを使ったダストプラズマ解析は、摂南大学でのシース構造測定実験の結果が出てきたので、その解析を行った。図1に1例を示す。この図は放電チャンバーの中に下部の突起付き電極に加えて左のプローブ電極を入れたときの電位分布である。この結果ではどちらも0Vに指定しているが、突起上部のシース構造がプローブの高さによって変化している。このため、ダストを浮遊させたときに浮遊形状が変化することがわかるが、これは実験でも観測されている。また、プローブ電極電圧を変化させることで浮遊形状をコントロールできる可能性があることもわかった。

このコードは放電ダストプラズマ解析用であるが、電極形状の任意性を生かして将来はレーザー加工など高強度レーザーと物質の相互作用の解析において、チャンバーや電極構造などを取り入れた解析に発展させればその方面へのインパクトは大きいと考えている。

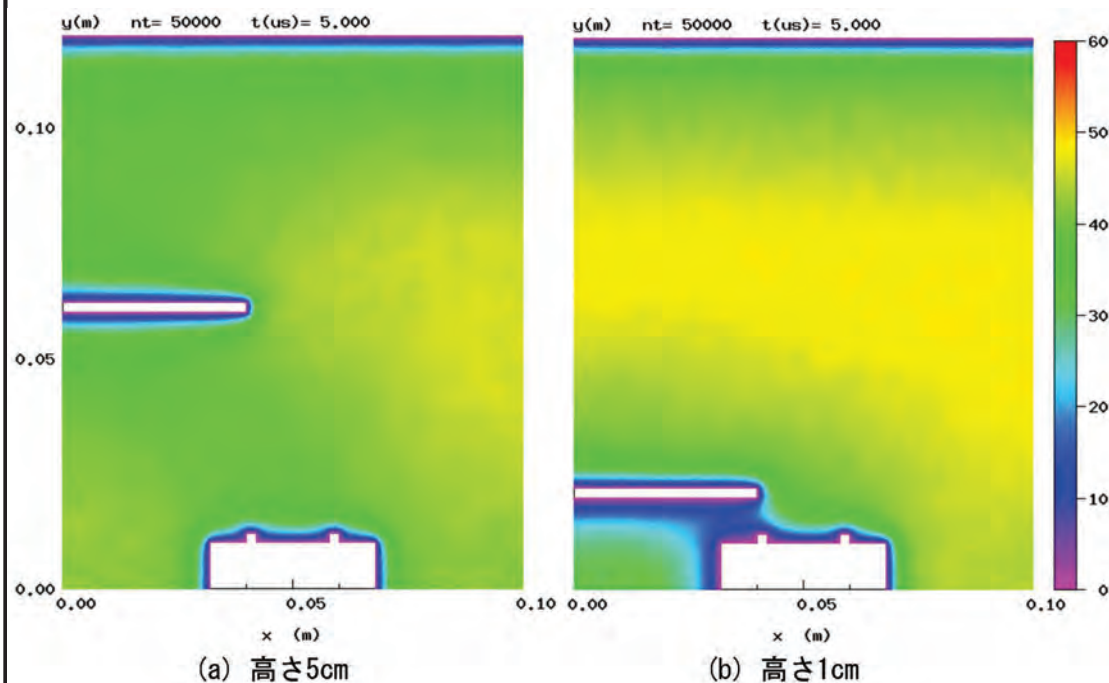


Figure 1: 三角形メッシュ静電粒子コードを用いて解析した、突起付き電極の上に0Vのプローブ電極を配置した場合のシースプラズマ中の電位分布。(a)高さ5cmの場合、(b)高さ1cmの場合（高さは電極上部からの距離）

Study of intense laser driven isochoric heating by utilizing XFEL

Y. Sentoku¹, H. Sawada², N. Iwata¹, and T. Sano¹

1) *Institute of Laser Engineering, Osaka Univ.*, 2) *University of Nevada, Reno*

SUMMARY

We demonstrate femtosecond time-resolved 2D imaging of fast electron transport in a solid copper foil using the SACLA XFEL. An unfocused collimated x-ray beam produced transmission images with sub-micron and ~ 10 fs resolutions. The XFEL beam, tuned to its photon energy slightly above the Cu K-edge, enabled 2D imaging of transmission changes induced by electron isochoric heating. Time-resolved measurements obtained by varying the time delay between the x-ray probe and the optical laser show that the signature of the electron-heated region expands at $\sim 25\%$ of the speed of light in a picosecond duration. Time-integrated Cu K α images support the electron energy and propagation distance observed with the transmission imaging. The x-ray near-edge transmission imaging with a tunable XFEL beam could be broadly applicable for imaging isochorically heated targets by laser-driven relativistic electrons, energetic protons, or an intense x-ray beam.

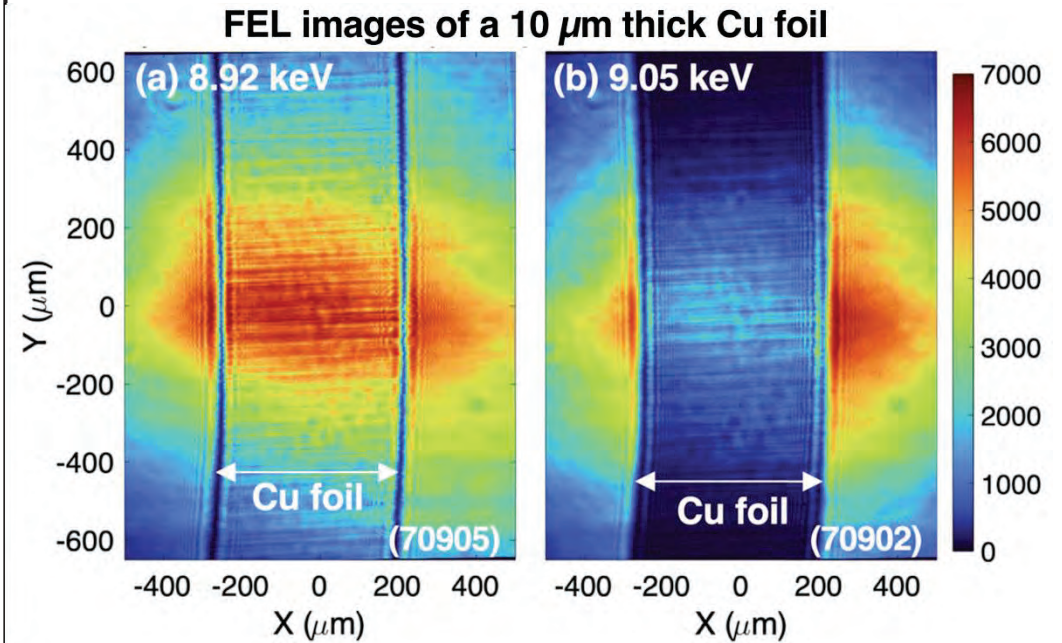


FIG. X-ray images of a 10 μm thick Cu foil, which was heated by a short pulse laser with energy 0.8 J, at (a) 8.92 keV and (b) 9.05 keV.

H. Sawada et al., Rev. Sci. Instrum. 94, 033511 (2023)

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 Univ., 2) Institute for Advanced Co-Creation Studies, Osaka Univ.,
3) Lawrence Livermore National Laboratory, USA

SUMMARY

Kilojoule-class petawatt lasers with relativistic intensities can generate energetic electrons and ions with high efficiencies in multi-picosecond interaction with a thin foil plasma. Ion acceleration by the kJ lasers (Fig. 1 (a)) has been studied for applications such as heating source and diagnostics for dense plasma. We study the physics leading to high efficiency ion acceleration. We have theoretically predicted that the large spot size of the kJ lasers is a key to obtain the high efficiency through a confinement and accumulation of fast electrons in the spot area as Fig. 1 (b) by a stochastic process. We executed a laser experiment using the ARC laser to confirm the theory. We will compare the obtained data with the theory and the corresponding particle-in-cell and hydrodynamic simulations.

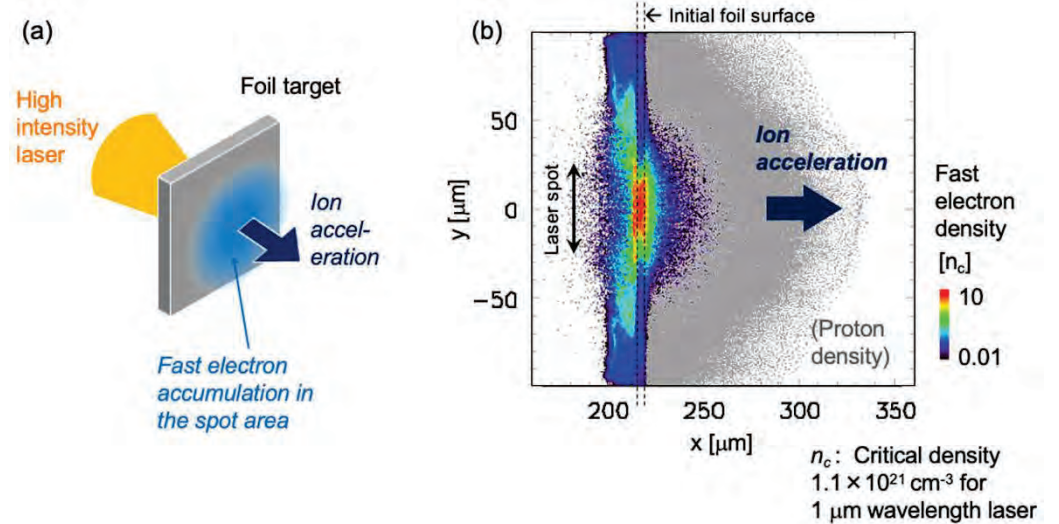


FIG. 1 (a) Laser-driven ion acceleration using a thin foil target. Fast electron accumulation in the spot is predicted for kJ laser irradiation with the laser spot much larger than the foil thickness. (b) 2D particle-in-cell simulation. A 50 μm spot laser with the intensity $3 \times 10^{18} \text{ W/cm}^2$ is irradiated from the left side of the foil. Fast electrons accelerated by the laser light are accumulated to about $10 n_c$ in the spot area.

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

Y. Sentoku¹, N. Iwata¹, E. d'Humières²

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

SUMMARY

The possibility of achieving a pair beaming in the Breit–Wheeler (BW) electron/positron pair creation process is investigated in this paper. We examine the effect of the BW differential cross section on the pair's angular and energy distributions. Although this study is relevant for laser induced intense gamma-ray source collision experiments, we apply this pair beaming effect in an astrophysical context, in particular for active galactic nuclei (AGN).

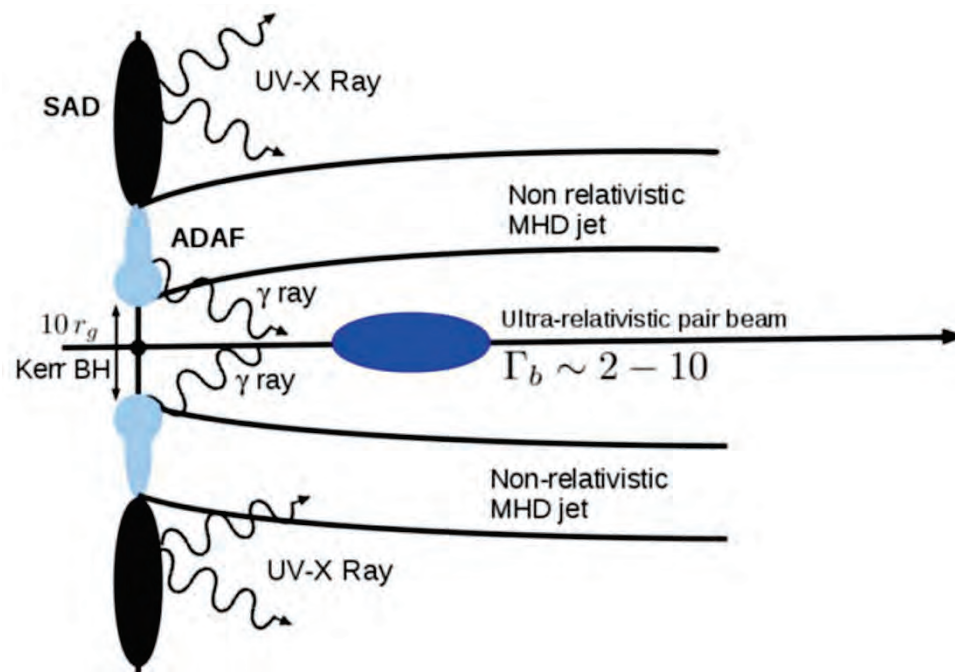


FIG. Schematic picture of the rotating BH accretion disk axis along with the emission from the inner ADAF and outer SAD. The ADAF emits in the gamma-ray range and the SAD in the UV and x-ray range (r_g is the Schwarzschild radius).

Theoretical and simulation research for efficient generation of intense laser-driven high-energy photon and positron beams

杉本馨¹, 千徳靖彦²

1)Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University, Japan, 2) Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan

SUMMARY

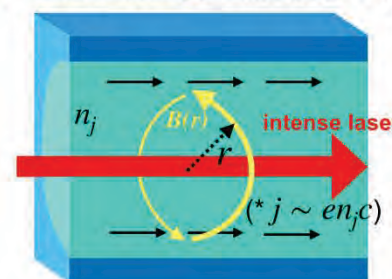
高強度レーザーとアンダーデンスプラズマの相互作用で引き起こされる陽電子生成・加速[1]のパラメータ依存性の解明を目指し、2D-PICシミュレーションを行った。

本研究では、高強度レーザーが駆動する高速電子流由来の自己生成磁場による高エネルギー電子の閉じ込めに必要な条件を解析的に予想しシミュレーションによる検証を行った。簡易的なモデルによる予想にも関わらず、コンシステントな結果が得られた。将来的には広いパラメータレンジによる検証を予定している。

これらの知見は線形Breit-Wheeler過程の検出のための最適な実験パラメータの設定や、宇宙空間における電磁場から電子-陽電子ペアへのエネルギー散逸過程および飛来する光子スペクトルの理解に繋がる。

[1]K. Sugimoto *et al.*, Phys. Rev. Lett. **131**, 065102 (2023)

■ スポット内に電子を閉じ込めるために必要な電子密度



- ・ レーザースポットの端でのラーマ半径 ~ スポット半径

$$r_L = \frac{\gamma m_e v}{eB(r_s)} \sim r_s \left(\gamma = \sqrt{1 + a_0^2/2} \right)$$

- ・ レーザースポットの端での磁場(磁束密度)

$$B(r) = \frac{\mu_0 e n_j c}{2} r$$

電子の閉じ込めに必要な密度

$a_0 = 10, \lambda = 0.8 \mu\text{m}, r_s = 1.5 \mu\text{m}$ の場合

$$n_j = 0.14 n_c$$

■ シミュレーション結果(エネルギー・y座標平面上での電子密度分布)

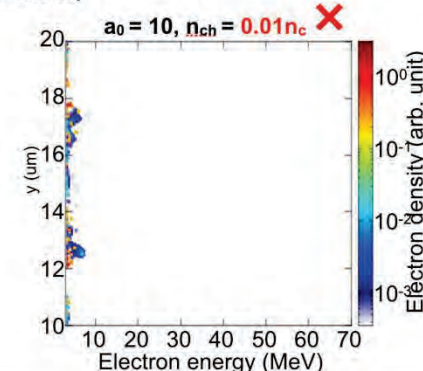
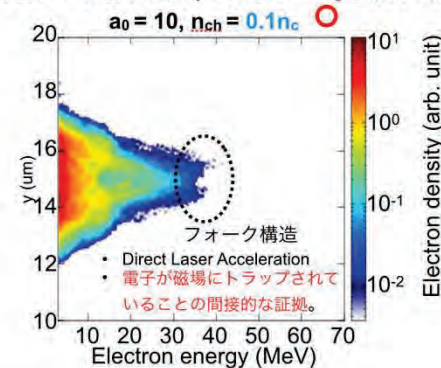


FIG.高エネルギー電子の閉じ込めに必要な粒子密度の見積もり(上)と2D-PICシミュレーションの結果(下)。

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, V.C. Agulto², 加藤康作², 中嶋誠²

1) 三重大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

真空蒸着法により金薄膜を成膜する場合、連続膜を形成できないほどの蒸着開始直後においては金はアイランドを形成し電気伝導を示さない。一方で、有機半導体PCBM薄膜上に金を蒸着すると、パーコレーション閾値に至る前の極微量の蒸着時においても電気伝導度の非線形的な増大が見られる（右図）。本研究では、このような有機半導体と金属ナノ粒子の複合系において見られる特異な電気伝導特性を活用した新規なテラヘルツ高速スイッチング素子の創出を検討している。PCBMを成膜あるいは成膜していない高抵抗シリコン基板に同条件で金を蒸着した試料のテラヘルツ透過率を比較したところ、PCBMを成膜していない試料ではテラヘルツ透過に変化が見られないほどの極微量の蒸着量であっても、PCBMを成膜した試料では顕著なテラヘルツ透過の減少が見られた。複素導電率スペクトルからは二種類の異なった電気伝導モデルに従う電子状態の混在が示唆されている。

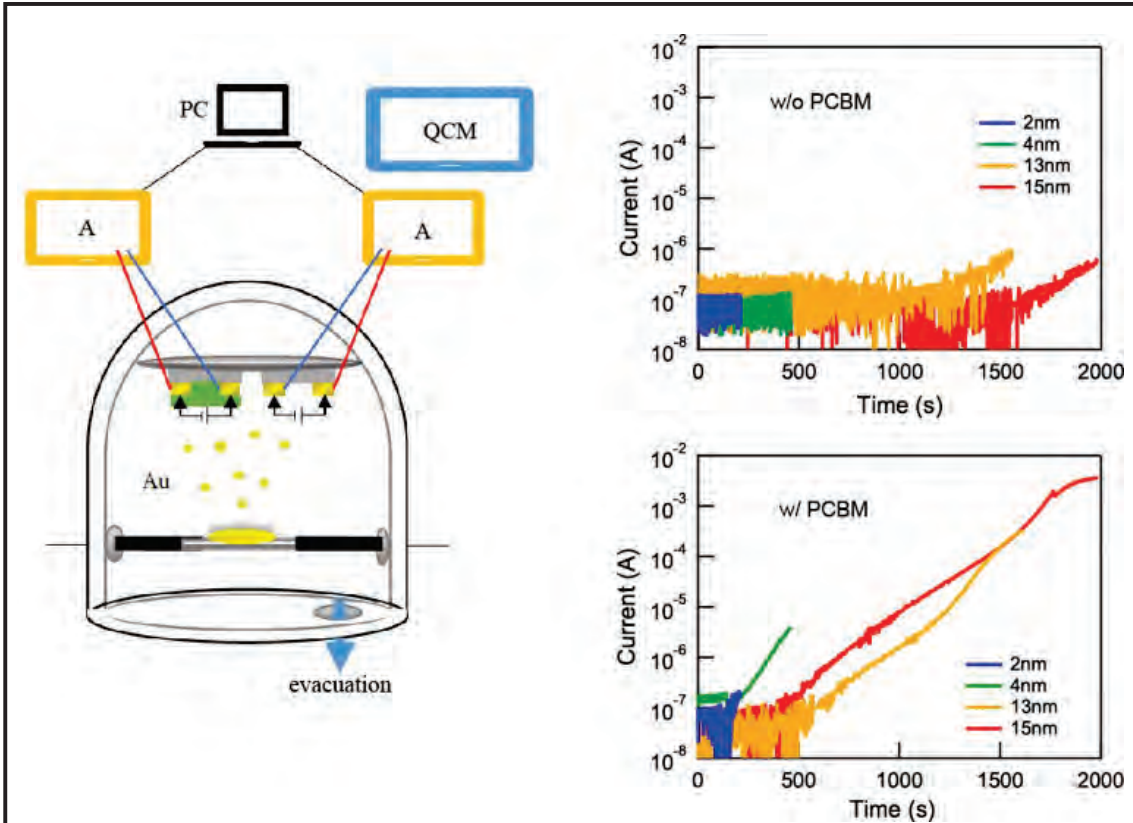


FIG. PCBMを成膜あるいは成膜していない高抵抗シリコン基板への金蒸着および試料のコンダクタンスの経時変化のin situモニタリングの模式図（左）および電流の経時変化の測定結果（右）

Development of broadband antireflection structure in THz region

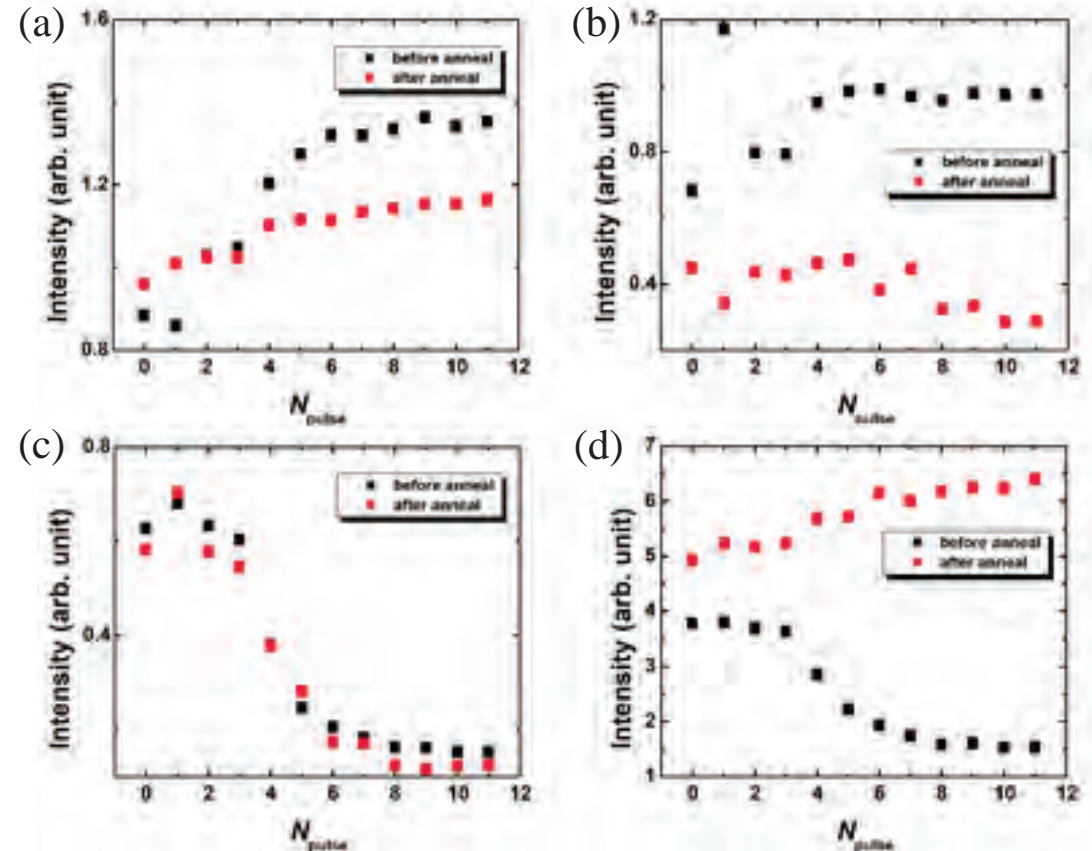
武田有真¹, 三浦悠杜¹, 小野晋吾¹, Verdad C. Agulto², 中島誠²

1) 名古屋工業大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

昨年度までに、超短パルスレーザー加工を施したZnO単結晶上には欠陥が形成され、THz波を吸収することを見出している。今年度はまず電子線励起発光分光によって、この欠陥種別の同定を行った。図は加工表面及びアニール処理面における各種欠陥に関連する発光ピーク面積の照射パルス数依存性であり、格子間亜鉛と格子間酸素はアニール処理によって減少するのに対し、イオン化酸素空孔は増加することが分かる。THz波の欠陥吸収はアニール処理により低減されるため、THz波吸収は格子間原子が関与すると考えられる。このレーザー加工における知見は、半導体加工の応用範囲を拡大するものである。

また、これ以外にも微細加工によって半導体材料の占有率を変えて平均屈折率制御を行い、光学異方性材料を実現している。これを位相板として用いることで偏光制御を実現しており、今後はこのような微細構造を使用したTHz帯における更なる光学素子開発が期待できる。



超短パルスレーザー加工表面及びアニール処理面における (a) 格子間亜鉛, (b) 格子間酸素, (c) 中性酸素空孔, (d) イオン化酸素空孔 (2価) に関連する電子線励起発光スペクトルピーク面積の照射パルス数依存性。

金属スピントロニック素子による高効率テラヘルツ波発生の研究

谷 正彦¹, 中嶋 誠², 北原 英明¹, 古屋 岳¹, タララ・ミゼル¹, マグウサラ・ヴァリン²,
エスカニョ・メアリクレア¹, ブルカリビッチ・ドミトリ³, 渡邊誠³, 郭 其新⁴

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, 3) 物質・材料研究機構,
4) 佐賀大学 シンクロトロン光応用研究センター

SUMMARY

本研究は光励起によるスピン流を利用した高効率な THz波発生素子(Fe/Ptの金属2重層スピントロニック素子)の開発を目的とする。今年度は以下の取り組みを行った。

- 1) 前年度までの研究で, 金属スピントロニックアンテナ素子の電極部の厚みを3nmから100nmにすることで約2倍, 200nmにすることで約6倍, 放射振幅効率が增大することが確認された。さらに電極部を300nmに分厚くしたところ, 放射振幅効率増大は約2.4倍にとどまった。このことからアンテナ電極の最適膜厚は200nm付近にあることが分かった。
- 2) Fe/Ptの金属2重層スピントロニック素子は金属表面の酸化により経時劣化する問題があった。そのため表面をアルミナ(Al_2O_3)で保護膜コートする処理を行った。保護膜による効率低下は放射振幅で約20%であることが分かった。

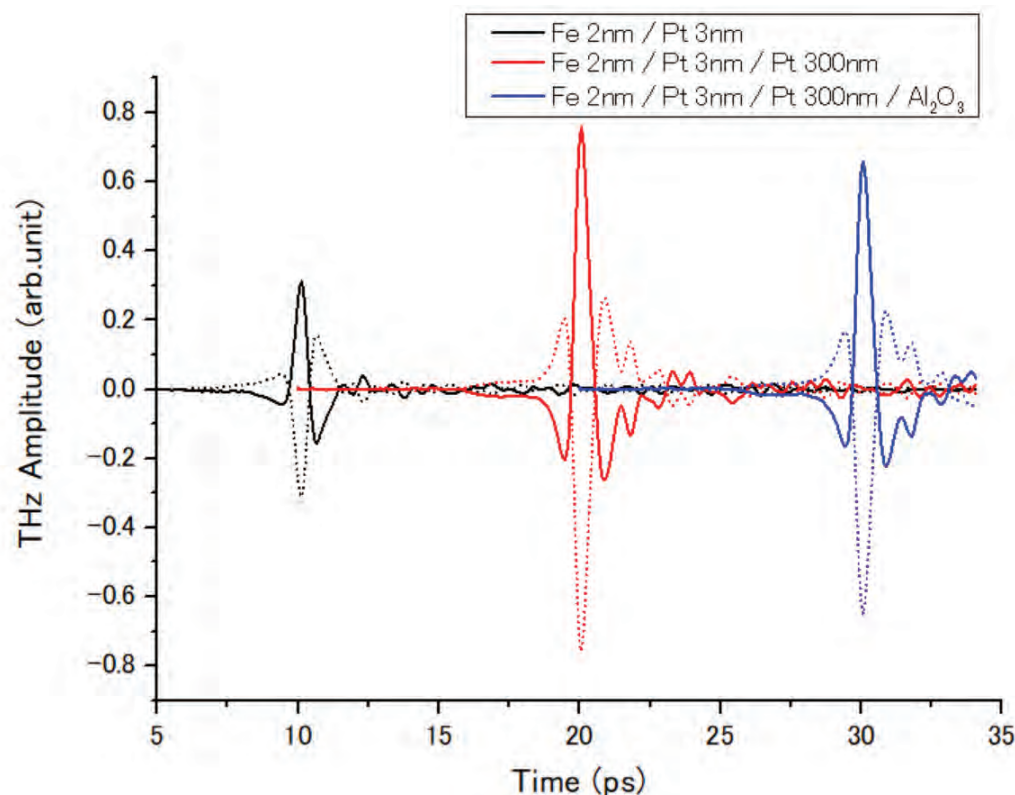


図. Fe/Pt金属2重層スピントロニック素子によるTHz波の時間領域波形。左からアンテナ構造無の素子, アンテナ(矩形)電極Pt膜厚300nmの素子, アンテナ電極(Pt=300nm)にアルミナを保護コートした場合のTHz波形。

Crystal phase identification and imaging of biominerals by terahertz spectroscopy

丸山美帆子¹, 塚本勝男², 古川善博², 田中勇太郎^{1,3}, 中嶋誠⁴, 森勇介¹, 吉村政志⁴

1) 大阪大学大学院工学研究科, 2) 東北大学大学院理学研究科、3) 名古屋市立大学医学部,
4) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

骨や尿路結石に含有されるリン酸カルシウム系結晶の安定相であるアパタイト (HAp) と、準安定相であるリン酸八カルシウム (OCP)、第二リン酸カルシウム (DCPD) の正確な結晶相同定のために、テラヘルツ領域における赤外分光分析反射スペクトルを取得した。DCPDはFigに示す通り、HAp、OCPとスペクトルの特徴が大きく異なる。一方、OCPとHApは、特に11.2 THzにピークの違いがあるため、これを手がかりに相同定が可能である。将来的には、骨関連リン酸カルシウムの遠赤外／テラヘルツ領域の分光学的特性を利用することで、非侵襲に骨試料の詳細な分光学的測定が実現できる可能性がある。

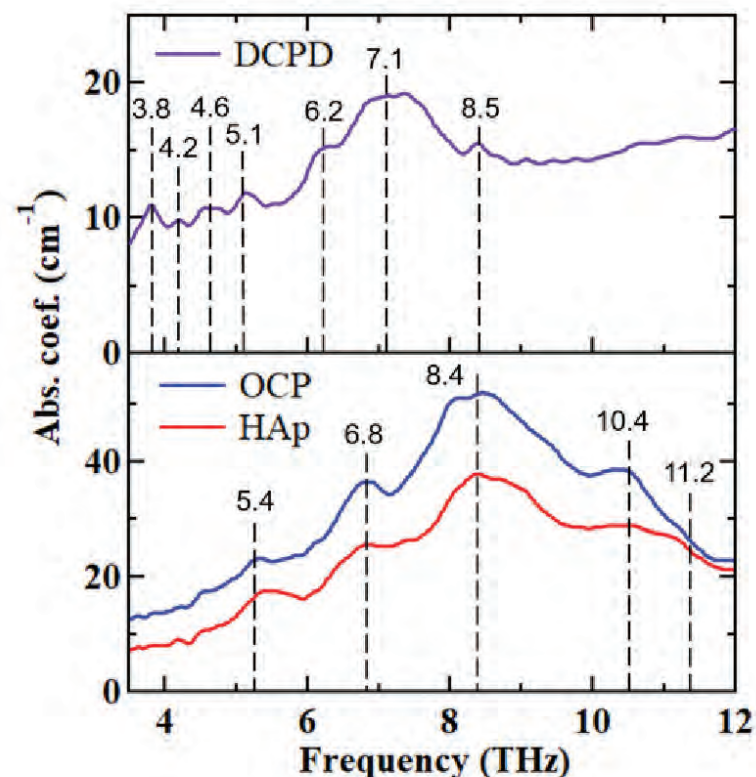


FIG. Absorption coefficient spectra of 3 wt.% DCPD, OCP, HAp. The characteristic absorption peaks have been labeled with black dash lines.

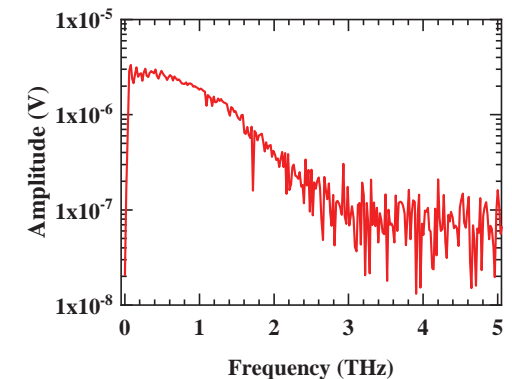
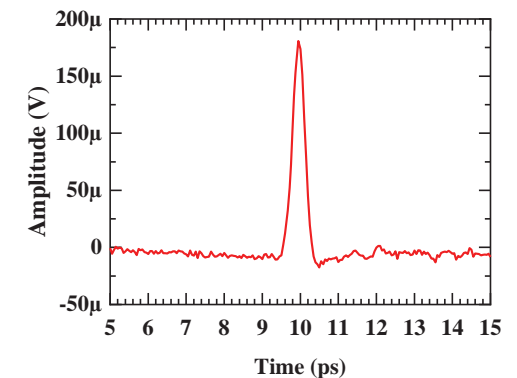
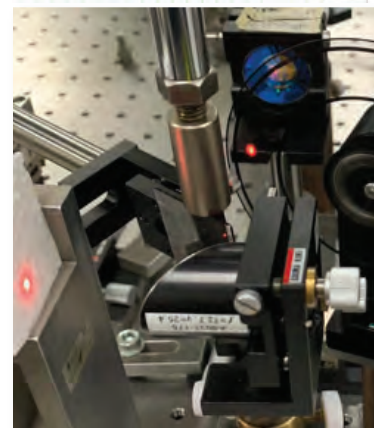
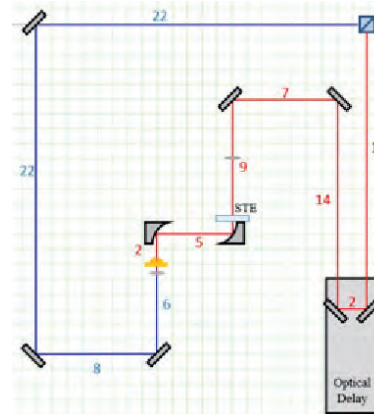
共振器を用いたスピントロニックテラヘルツエミッターから放射されたテラヘルツ波の増強

菜嶋茂喜¹

1) 大阪公立大学

まとめ

共振器技術を用いてスピントロニックなTHz波発生素子（STEと記す．大阪大で作製）の増強を目指し，初年度はSTE単体からのTHz波放射特性を調べる為のテラヘルツ時間領域分光システムを作製した（右図）．STEの特長である超高速応答に伴う広帯域化を期待して，励起レーザーはパルス幅50fsのチタンサファイアレーザー発振器を用い，軸外し放物面鏡とダイポール型の光伝導アンテナ素子を使用している．約300 mTの磁場下でSTEから得られたTHz波波形とフーリエ振幅スペクトルをみると，3 THz付近までのスペクトルが現在得られた．今後は，光伝導アンテナ素子の配置の最適化と励起レーザーの短パルス化，および共振器効果を見越した系への変更を行う予定である．



左図：STE（大阪大で作製）単体からのTHz波放射特性を調べる為のテラヘルツ時間領域分光システム．

右図：STEから放射されたTHz波波形とフーリエ変換振幅スペクトル．

テラヘルツ時間領域エリプソメーターを用いた光励起キャリアの評価

南 康夫¹, 中嶋 誠²

1) 日本大学生産工学部, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

通常のテラヘルツ波による電子物性計測では、電子物性が既知の参照試料のデータを取得して、対象とする試料のデータから電子物性を得る。したがって、参照試料と対象とする試料の測定条件を厳密に揃える必要がある点から、薄膜などの電子物性測定は一般に難しい。テラヘルツ・エリプソメトリーは参照信号無しに試料の電子物性を調べることができるため、上述のような実験的な難しさは緩和される。本研究では、薄膜資料として単層グラフェンの電子物性の測定可能性を探る。図にテラヘルツ・エリプソメトリーによって得られた複素誘電率の実部と虚部を青色の○印と赤色の○印でそれぞれ示す。また、Drudeモデルで表される複素誘電率の理論曲線を測定結果にフィットしたものを実線で示す。ランニングパラメーターから、プラズマ周波数は 3.3×10^{12} rad/s、減衰定数は 7.0×10^{11} rad/sと求められた。

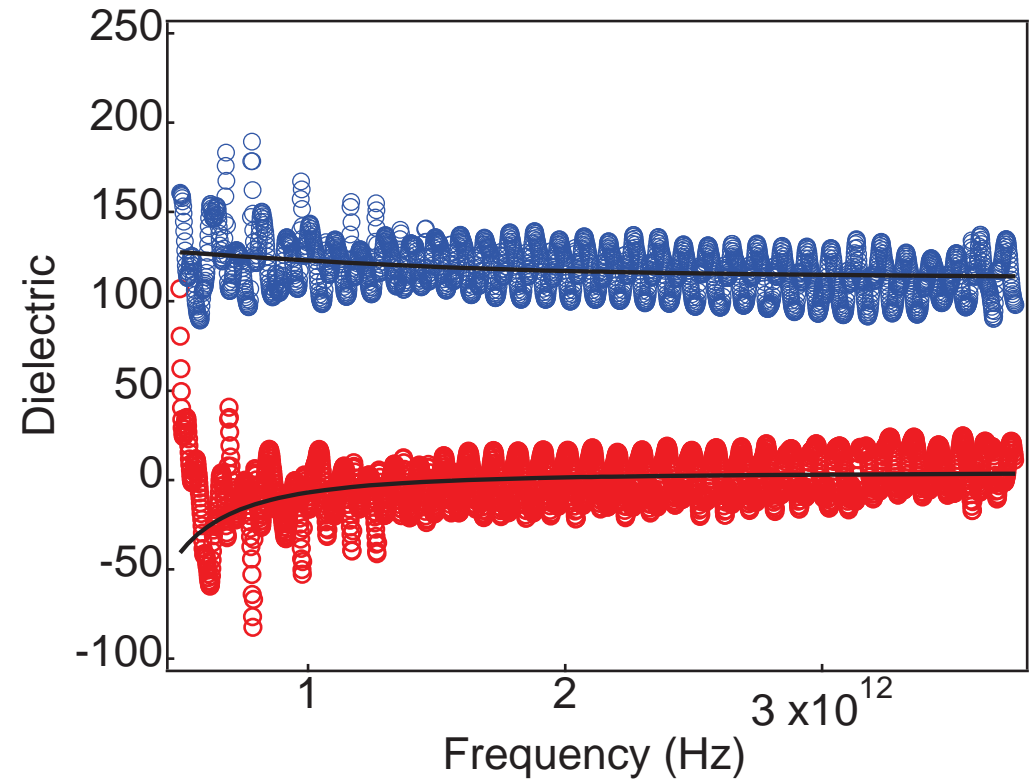


FIG. 複素誘電率の実部（○）と虚部（○）の周波数依存。実線はドルーデモデルによるフィット曲線である。

ピコ秒シート状電子バンチの生成とTHz帯スミス・パーセル放射光源の開発

浅川 誠¹, 中嶋 誠², ...

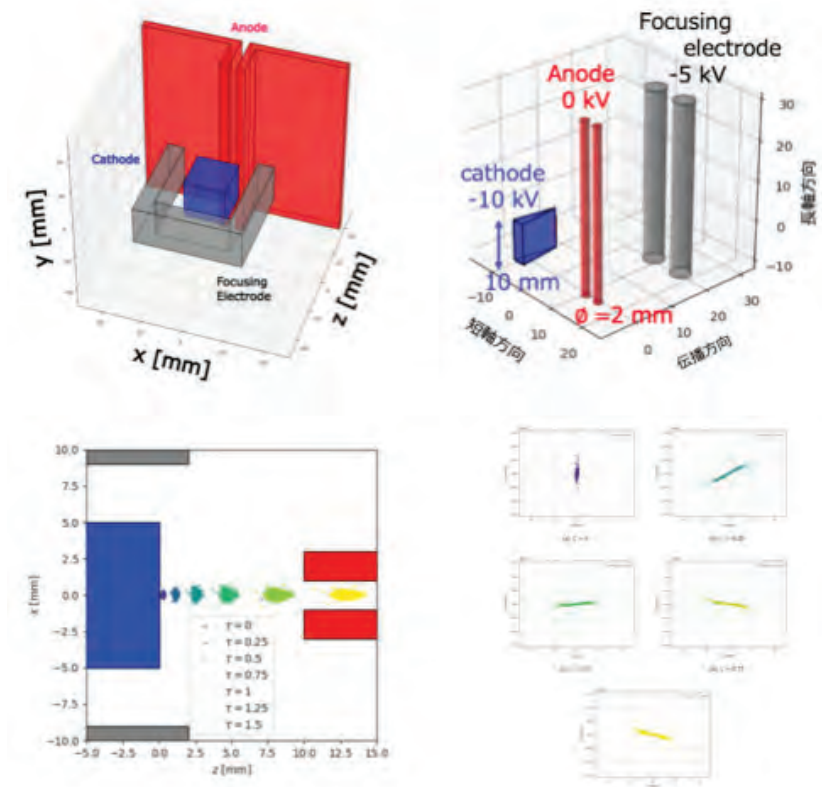
1) 関西大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

Please modify the frame size if necessary.

SUMMARY

前年度の研究により超短パルスシート電子ビームは短軸方向に強く発散することがわかった。本年度は、加速電圧10 kVの①短軸方向の自己発散場を補償する収束電極を有する光電陰極陰極、および②金属尖頭部に生じる強い電場を利用し電子を加速する三角柱光電陰極、を内蔵する2種類の電子銃の数値解析および設計を行なった。収束電極内蔵型電子銃では、飽和電流密度で動作する場合であっても十分な収束力が得られることがわかった。しかしながら高電流密度での動作ではパルス幅が長くなることから、飽和電流密の20%程度の動作が最適であることがわかった。一方で三角柱型陰極の表面には収束電極内蔵型陰極の4倍の加速電場が生じる。その形状のため陰極近傍での発散が懸念されたが、収束電極型陰極と同じ電流密度であれば励起した光電子の90%を陽極から出力できる。また強い加速電場のためパルス幅の伸長が抑制される。

低エネルギー超短パルスシート電子ビームはスミス・パーセル放射のような2次元構造と電子の相互作用により放射を誘発するタイプの光源だけでなく、ultrafast electron microscopyへの応用も期待できる。



図。収束電極型光電陰極及び三角柱光電陰極を有する電子銃。下段は収束電極型電子銃のシミュレーション結果である。電子ビームは放出直後 $\tau = 0.25$ までは発散するが、以降は収束される。パルス幅は $\tau = 0.5$ 以降で急激に伸びる。

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, Mona Jarrahi², Semih Cakmakyapan², 森川 治³, 白尾 拓也¹, 岩尾 憲幸¹, 栗原 一嘉⁴, 北原 英明⁵,
 和田 健司⁶, 中嶋誠⁷, 原口雅宣⁸, 谷 正彦⁵

1) 福井工業大学、2) カリフォルニア大学、3) 海上保安大学校、4) 福井大学教育学部、5) 福井大学遠赤センター、6) 大阪公立大学電子数物系、7) 大阪大学レーザー科学研究所、8) 徳島大学

SUMMARY

これまで、市販の半導体レーザー（数百円）に外部鏡による光学的遅延帰還をかけることでレーザーカオス発振させ、安定、広帯域、低価格なTHzの発生検出ができることを証明してきた。この原因としては、レーザーの縦モードの同時発振性が重要である。図1に示す、外部から逡倍器によるTHz波を加え、縦モード間の光ビート周波数との差を1GHz程度とし、RF領域で観測し、その安定性を評価することで、モードの同時性を評価した。今回は、RF出力がカオス光とすることで10dB程度増強することを示した。また、戻り光を加えた多モードの半導体レーザー方程式を用いて、遅延帰還のみでモードが自律的に同期してゆく領域があることも見出した。今後これらの詳細について調査してゆく。プラズモン光伝導アンテナの制作においても個々の部分についての試作を行ったので全体の制作を行う。これらを通じてカオスでなければなしえない特性（カオス超越性）の実証を行う。

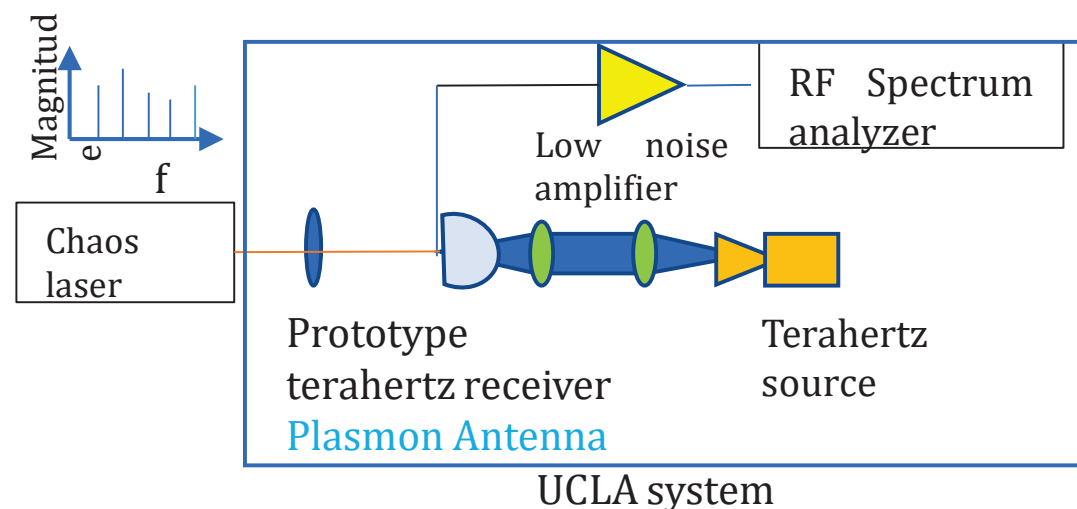


FIG. Rf 領域に下方変換する実験系

ポスト 5 G/6 Gに向けたテラヘルツ波帯材料評価技術の開発とデバイス応用

牧野孝太郎¹, Verdad C. Agulto², 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

2030年代には 6 G通信が商用化されると見込まれており、それに向けた各種のデバイスの開発が急務となっている。デバイス設計には材料の特性を適切に評価し、反映させることが不可欠であるが、特に、測定が難しいため、金属材料のテラヘルツ波帯での特性は十分に評価されているとは言えない。本研究では金属薄膜に対してテラヘルツ波時間領域分光やテラヘルツ波時間領域エリプソメトリー測定を実施した。金属に対する侵入長(数十nm)よりも金属膜が厚い場合、解析において金属層をバルクとみなすことができるため、薄膜の場合より解析が容易になり、高精度に測定が実現できると考えた。しかし、実際に測定を行った結果、侵入長よりも薄い金属膜のほうがDrudeモデルでのフィッティング誤差が少なく、より正確な測定が実施できる可能性を見出した。また、膜厚の違いによるサイズ効果や、異なる種類の金属の相対的な評価を行う上でも薄膜を用いるほうが望ましいという結論を得た。

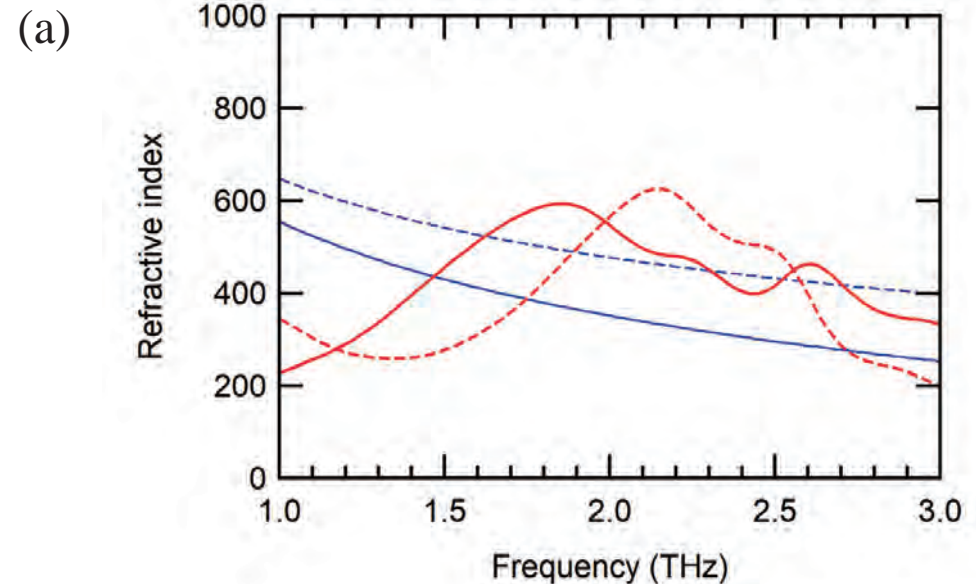


FIG.1 テラヘルツ波の侵入長よりも厚い金薄膜（膜厚 200nm以上）のテラヘルツ波エリプソメトリーの測定結果。赤色実線が複素屈折率の実部（実験値）、赤色破線が複素屈折率の虚部（実験値）。青色実線、破線はそれぞれDrudeモデルに基づく複素屈折率の実部、虚部のフィッティングカーブ。当初の想定とは異なり、Drudeモデルでは実験値のフィッティングがうまくできず、信頼性の高い結果は得られなかった。

放射性汚染水におけるテラヘルツと紫外光を用いたトリチウムの選択的除染の検討

小林かおり¹, 猿倉信彦²

1) 富山大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

放射性汚染水からのトリチウムの除去は重要な課題である。高効率での除去に対し、赤外光と紫外光による多光子イオン化を用いることで実験を予定している。テラヘルツ光は分子量のモニターに用いる。この手法はトリチウムのみの高効率分離して除去となり大きなインパクトがある。

本年度は実証実験として検討されているHDOのイオン化に必要な赤外光の波長について議論を進めた。過去の赤外分光の解析結果から振動数と非調和定数を求め、様々な振動状態の予測値を生成した。先行研究の実験値より高い分解能の実験値による新しい振動数、非調和定数を2通りのデータの組み合わせで摂動は考慮せず求めた。これらと量子化学計算(<https://spectra.iao.ru/home>)の結果を実験値と比較して有効性を検討した。

約7500 cm^{-1} 以下においては、分光解析からの値と実験値のずれは摂動の存在を示唆している。一方で、量子化学計算は全領域で良好であり、今後の波長選択に有効であると確認することができた。

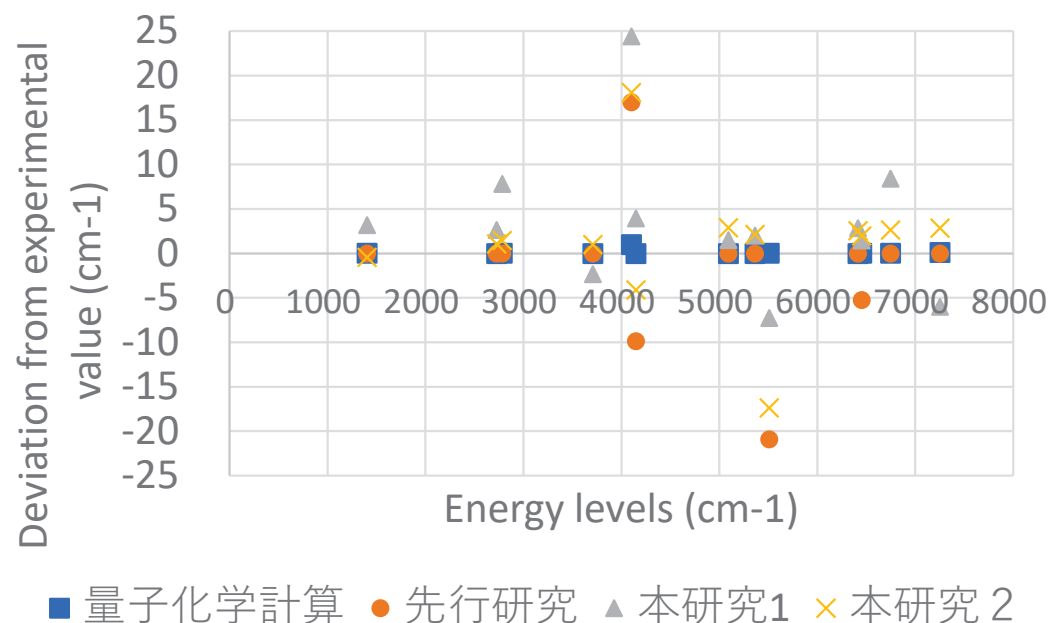


FIG. HDOのエネルギー準位の実験値と、量子化学計算、振動解析（先行研究*、本研究で異なるデータの組み合わせを用いて2通りで求めたもの）の結果からのずれ

* O. Hállová, Czechoslov. J. Phys. 15 (1965) 267.

テラヘルツ帯における鋭峻化された透過スペクトルを有する金属開口の作製

菜嶋茂喜¹

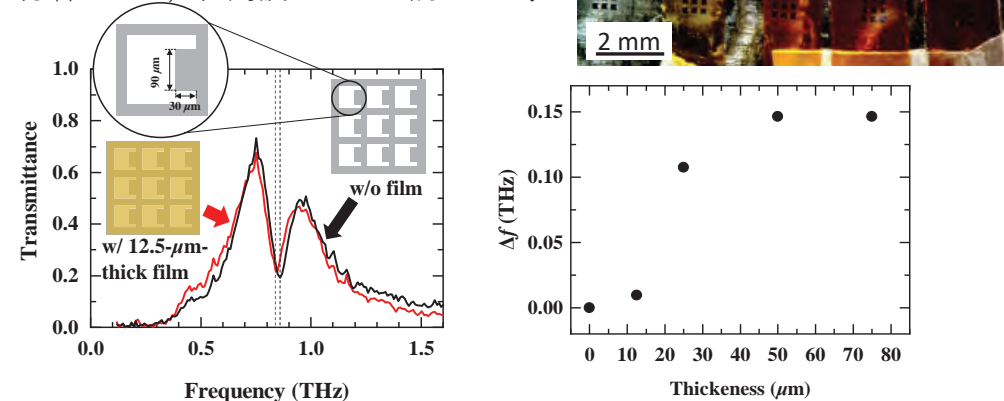
1) 大阪公立大学

まとめ

金属薄板に周期的な開口が施された金属メッシュに見られる透過Dip構造を用いた初のマイクロアレイバイオセンシング化を目指し、開口形状に由来する構造共鳴の局在化に最適な開口形状の調査（大阪公大で実施）と作製方法について検討した（大阪大と大阪公大とで実施）。

今年度はリッジ形型開口に注目し、FDTD電磁界計算で設計した、 3×3 開口群（大きさは 3.6λ に相当）を5つ配列させた金属メッシュをレーザー加工で作製した（右図）。各開口群に 3.6λ 程度の大きさTHz波ビームを同時に照射した結果、試料を付着量に応じた透過ピークの周波数シフトが確認され、透過Dip構造を用いたマイクロアレイセンシングを初めて実証した。

◆ 厚さの違う4種類のポリイミドフィルム ($t=12.5, 25, 50, 75 \mu\text{m}$) をそれぞれの 3×3 開口に付着させて、低周波シフトを調査した。



➡ 12.5 μm 厚の試料（約17.84 μg ，従来の1/100程度）のセンシングに成功

3 \times 3配列のリッジ型開口を用いたMAセンシングが実証できた

図. YAGレーザーで作製 3×3 開口群が5つ配列した金属メッシュの画像（右上）。画像は右側の開口群に厚さの異なるポリイミドフィルム疑似試料を付着させている。

集光高次光子による新規高次スピン状態の実現

森田 健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

本研究の目的は、集光した高次光子が半導体中の電子系へに転写が実現されるのか明らかにするもので、①量子状態の転写と②力学的なトルクがどのように作用するのかについて調べている。24年度では、まずは高次光子のクーロン力とローレンツ力を仮定した電磁力によって半導体中の自由電子がどのような移動するのかについてシミュレーションした (Fig. 1(a))。強度が弱い高次光子では、ポンデロモーティブ力が作用し、強い強度では角運動量に依存する力学的トルクが作用することが分かった (Fig. 1(b))。

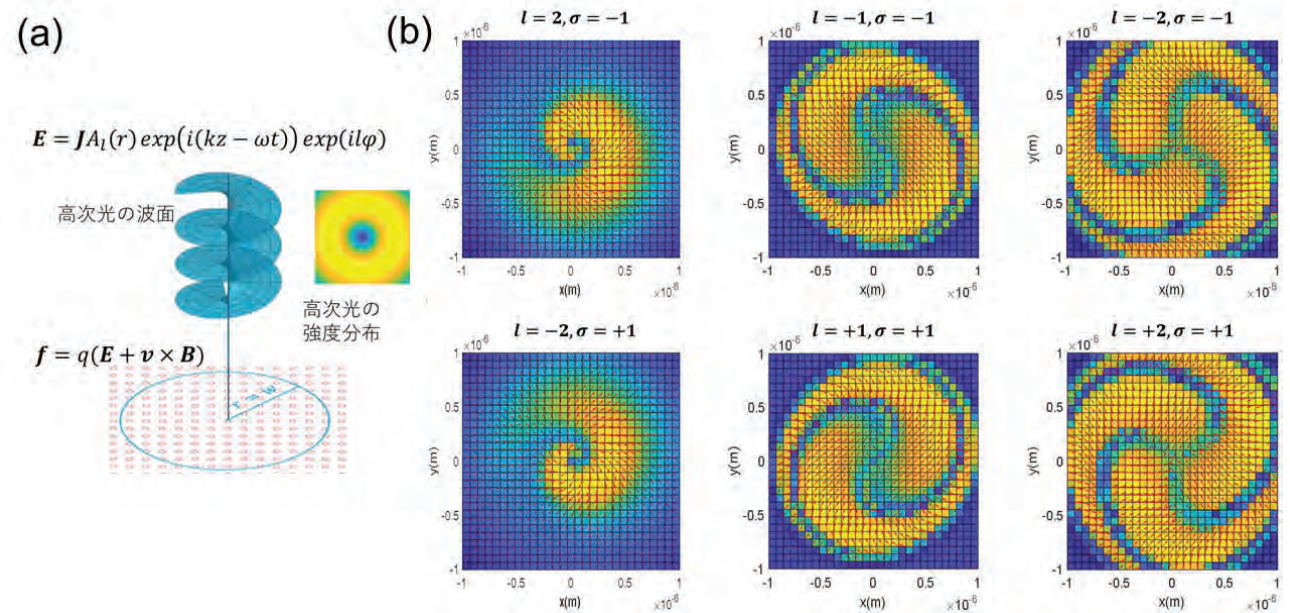


FIG. (a) 高次光子の電磁力による半導体中の電子の変位を調べた。(b) 強度が弱い高次光子では、ポンデロモーティブ力が作用し、強い強度では角運動量に依存する力学的トルクが作用し、電子はらせん状に動く。軌道角運動量とスピン角運動量の符号が一子するとき、内向きに符号が異なるときは外向きに力が作用する。

火山灰の低コスト高安定CW-THz 波による分光

栗島史欣¹, 川上由紀², 中島誠³

1) 福井工業大学, 2) 福井工業高等専門学校, 3) 大阪大学

SUMMARY

自然災害の多い日本においては、被災者の状況を高速かつ、正確に知ることは喫緊の課題である。THz波を用いることで、高速化が望める。最適な透過特性をもつ周波数帯を調べるために、火山灰に対するSub-THz波帯の透過特性の測定系を構築した。今回は、サンプルの不均一性の影響を避けるために、集光せず直径2インチの平衡ビームのTHz波を用いた。数センチの火山灰のサンプルに対して透過の実験が行えた。通常の高モード半導体レーザーを用いた場合は信号が安定せず分散も大きかったが、レーザーカオス光を用いることで、再現良く、ほとんど分散の無い実験結果が得られるようになった。今後より広帯域化を目指す。また、本研究で用いた半導体レーザーは、数百円の市販のものであり、外部鏡による戻り光を加えることでカオス発振させている。低価格な分光装置の実現が可能である。本システムを用いることで、THz分光も大きく普及することが期待される。今後、Georgia Tech. との共同研究も行ってゆく。

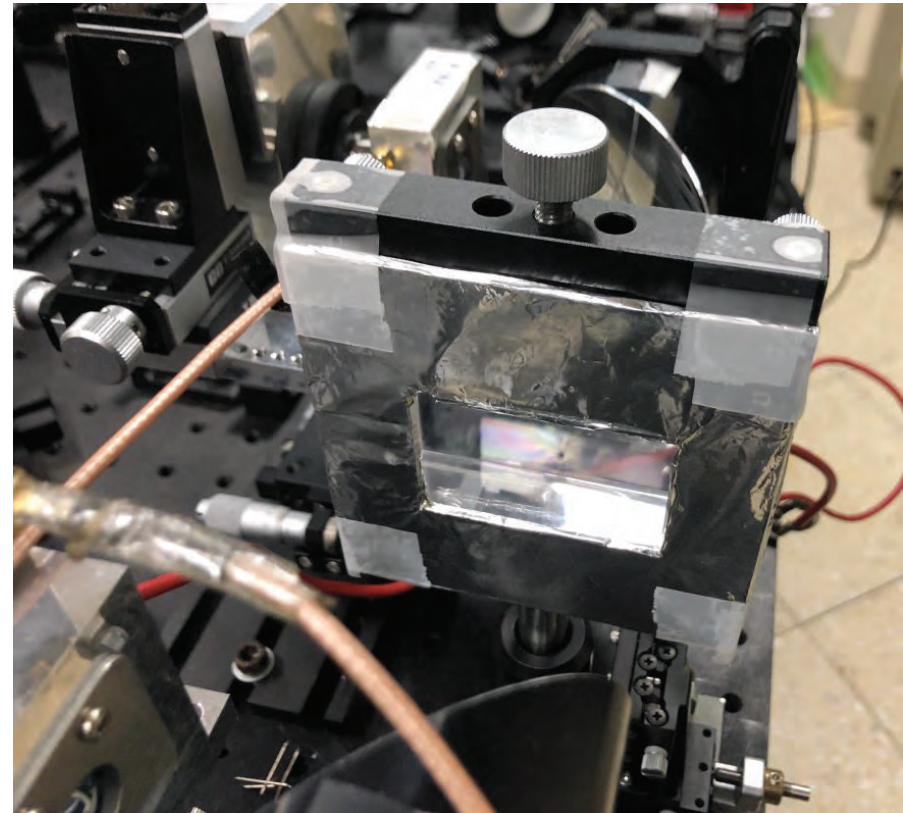


FIG. 1 レーザーカオスによるTHz-TDS のサンプル部分

量子ビーム源の開発、制御ならびにその応用に関する研究

藤田雅之^{1,2}, 本越伸二^{1,2}, 染川智弘^{1,2}, 谷口誠治^{1,2}, ハイク・コスロビアン^{1,2}, 倉橋慎理¹, 松田昌平¹, 兒玉了祐²

1) (公財) 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

SUMMARY

月の模擬砂 (FJS-1) や地上の土質材料 (珪砂8号、桜島火山灰) をレーザーで加熱し3Dプリンティングの手法を利用することで、数cm程度の立体物を作製し、建設材料や各種部材としての性能を評価する研究を行った。

3Dプリンティングの手法のうち、粉末溶融結合 (Powder Bed Fusion : PBF) 法と指向性エネルギー堆積 (Directed Energy Deposition : DED) 法を用いて立体物を作製し、圧縮強度や変形性能を評価した。

PBF法は精密造形に適しており、DED法は大型造形に適していることが確認できた。

DED法で作製した立体物において

圧縮強度 $\sim 60 \text{ N/mm}^2$

を達成した。これは、セメントコンクリートの強度に匹敵する。

本研究はJAXAの支援の下、大林組との共同研究で行った。

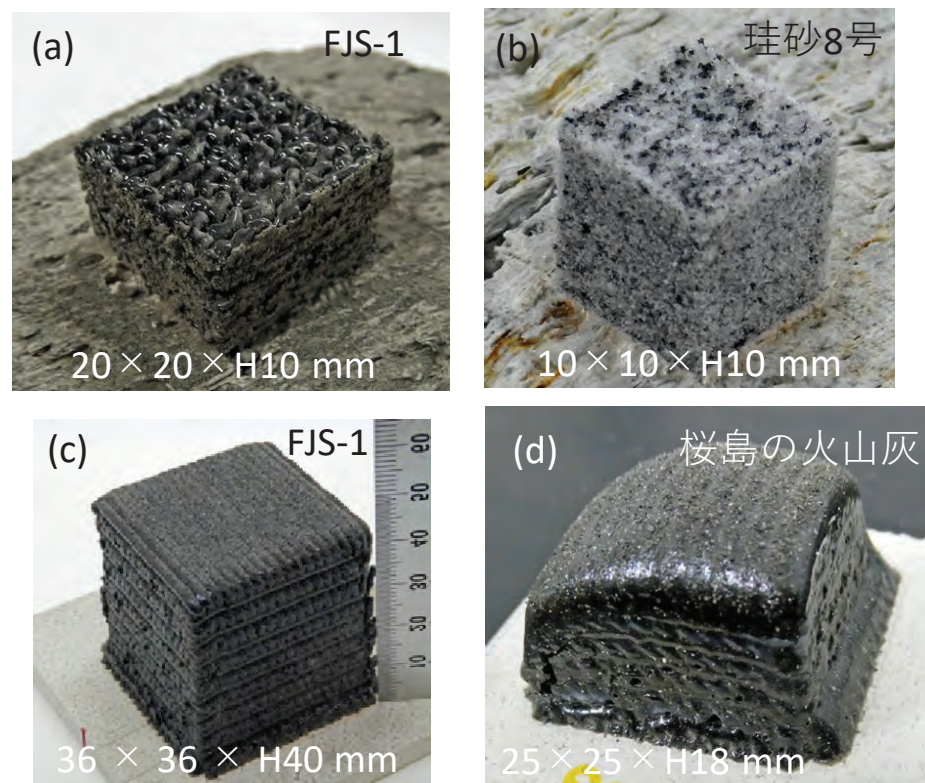


FIG. 各種土質材料を用いてレーザー加熱3Dプリンターで作成した造形物。材料と手法は、(a)月の模擬砂とPBF法、(b)珪砂8号とPBF法、(c)月の模擬砂とDED法、(d)桜島の火山灰とDED法。

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, 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。

2023年度は基板をシリコンウェハから石英ガラスに変更し、シリコン油のガラス化を試みたが、試料からの反射率が大幅に減少したため、レーザー照射による変化が確認できなかった。そのため、膜厚計の反射強度のS/Nを改善し、計測精度の改善を行った。

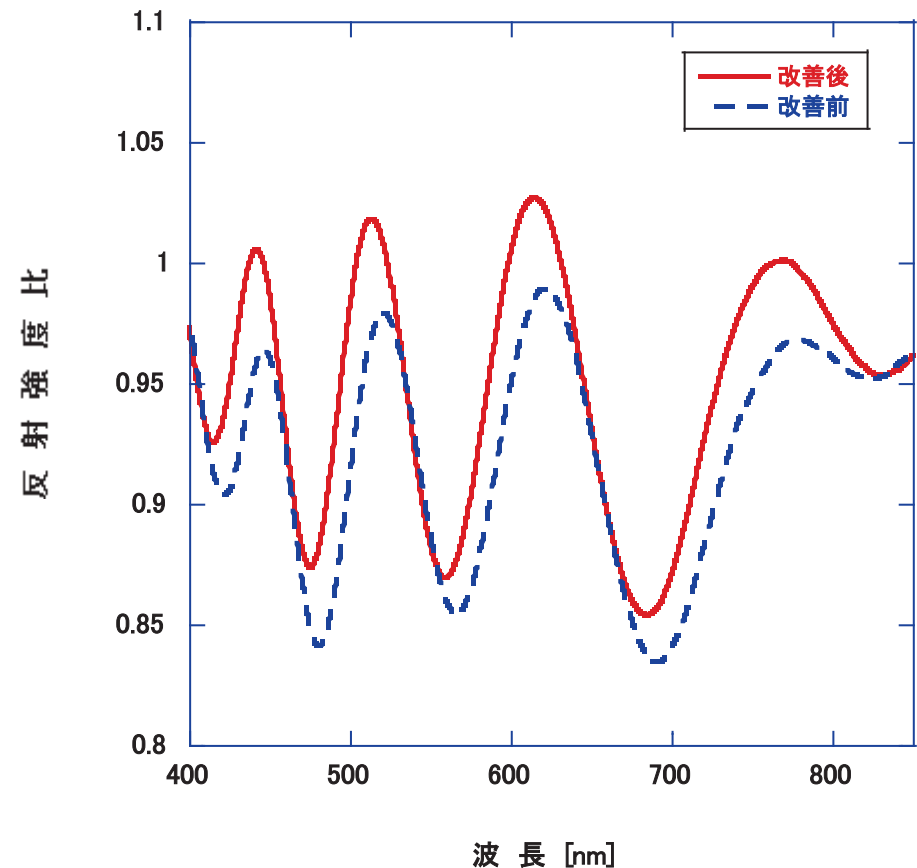


FIG. 石英ガラス基板上シリコン油の分光反射強度 S/N改善により計測強度比が大きくなった

Pr添加可視域ファイバーレーザーの研究

宮永 憲明¹, 椿本 孝治²

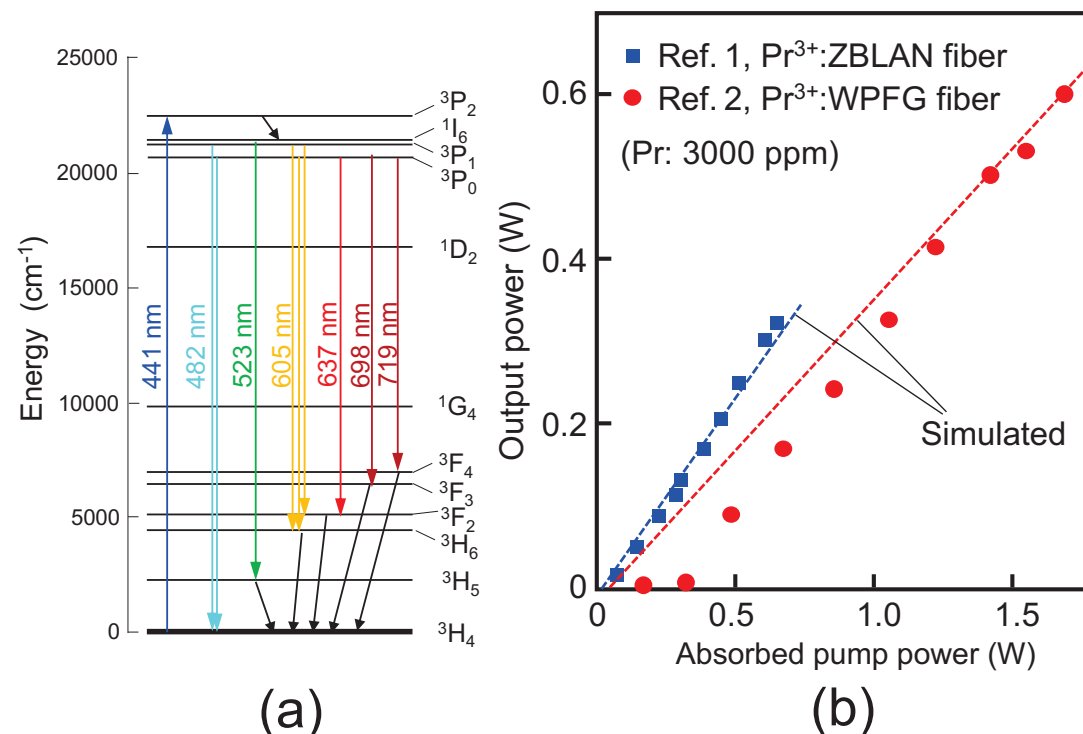
1) (公財) レーザー技術総合研究所, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

Pr³⁺添加フッ化物は青色LD励起が可能であり、励起状態吸収が少ないことや、酸化物母材に比べてフォノンエネルギーが小さいために多重フォンを介した損失を低減できるなどの特長があり、可視域レーザー材料として期待されている。

本研究では、Pr³⁺添加フッ化物ガラスファイバーレーザー発振器の特性を理解するためにシミュレーションを行った。ベンチマーキングデータとしては、Pr:WPFG（住田光学ガラス社製耐候性フッ化物ファイバー）とPr:ZBLANファイバー発振器に関する文献データを用いた。シミュレーションには、RP Fiber Power（RP Photonics社製）を用い、右図(a)に示すエネルギー状態についてA係数、吸収及び誘導放出断面積スペクトル（Gaussian近似）を実装した。

結果として、右図(b)に示すように、波長520nm帯(グリーン光)の入出力特性に関して、文献1)及び2)の実験値をほぼ再現することができた。



1) H. Okamoto, Dissertation, Koto University (2014).

2) J. Nakanishi, et al., Opt. Lett., 36, 1836 (2011).

FIG. (a): Pr³⁺イオンのエネルギー準位と遷移波長。(b): Pr添加ファイバーレーザー発振器における波長520nm帯(グリーン光)の入出力特性に関する文献値とシミュレーション結果の比較。

多段コヒーレント光束結合における波面歪みの影響の評価

宮永 憲明¹, 荻野 純平²

1) (公財) 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

SUMMARY

ILE 次期計画JM-10に向けた多光束コヒーレント光束結合(CBC)技術に関して、本研究では、Filled aperture CBCに着目し、入力光束の波面収差が結合効率、結合光束の強度分布や波面収差に与える影響に関して、以下の結論を得た。

- 1) 多段CBCのそれぞれにおいて90%以上の結合効率を得るには、入力光束の波面収差を $\lambda/15$ rms 程度以下に抑える必要がある。
- 2) 結合光束の波面収差は入力光束と同程度であるが、強度分布は急激に不均一となり、多段結合の効率低下を招く。
- 3) 最終出力部のみならず、多段結合の段間に可変形鏡を導入する必要がある。

FIG. 1. 4 光束 2 段 Filled aperture CBCにおける強度分布と波面収差の変化 (入射光束収差は、Noll指数に基づくZernike多項式の5~28次の係数をランダムに与えてあり、この図では 0.1λ rms)。

FIG. 2. 結合効率、結合光束の強度分布と波面収差の入力光束収差依存性。

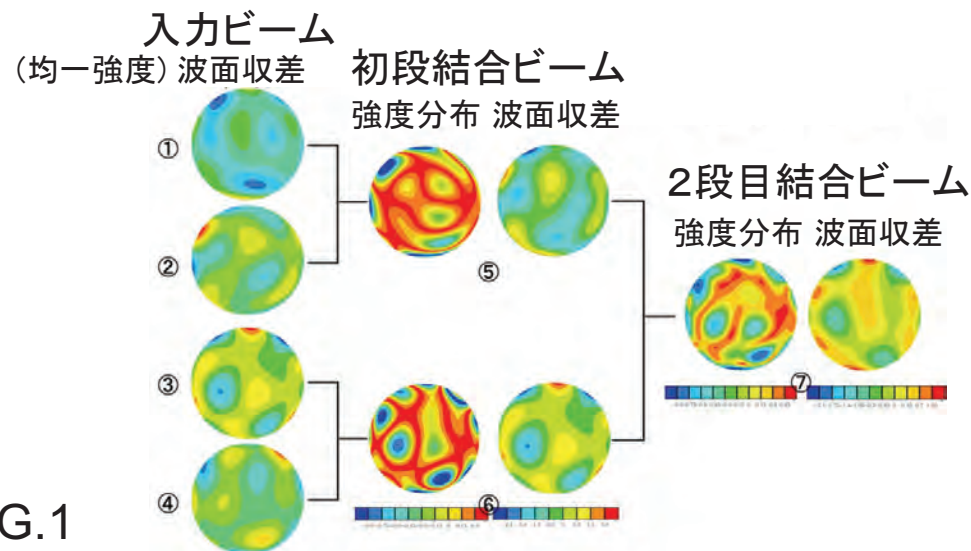


FIG.1

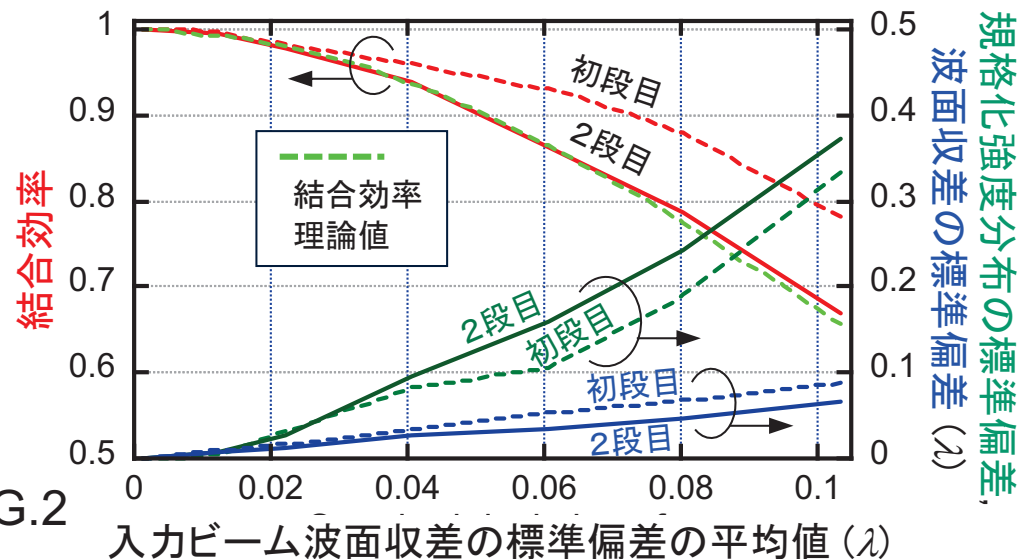


FIG.2

次世代ハイパワーレーザー用ファラデー回転子の開発

時田 茂樹¹, 吉田秀次², 荻野 純平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

次世代のハイパワーレーザーの開発・運用のためのファラデー回転子の開発を行っている。大口径化が容易で、低損失材料であるTb添加ガラスに着目し、素子の光学特性の評価を行い以下の結論を得た。

1. Tb添加ガラス、TGGセラミクスについてそれぞれ散乱測定および吸収係数測定を行った。Tb添加ガラスが一桁程度散乱が少なく、吸収係数は同程度の値を示すことが分かった。十分にkW以上のハイパワーレーザーのファラデー回転子として使用可能なレベルであることを確認した。
2. 永久磁石を用い、低温動作によるファラデー材料の回転角測定を行い、ベルデ定数を求めた (FIG1, 2)。20mm厚のTb添加ガラス (FR5) および比較のために20mm厚のTGGセラミクスを用いた。ファラデーガラスのベルデ定数は、86 rad/Tm、TGGセラミクスは、105 rad/Tm を得た (120K)。TGGセラミクスと同等のベルデ定数を示し、ファラデー回転子として十分利用可能であると考えられる。

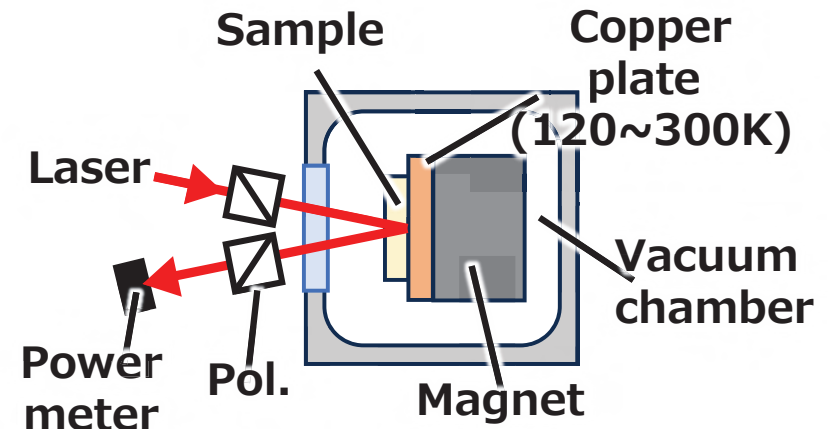


FIG. 1 製作したベルデ定数測定装置

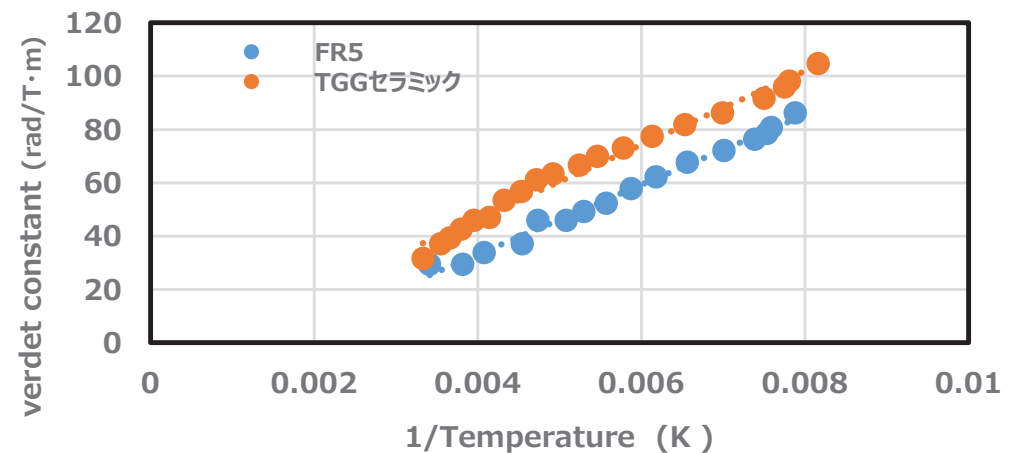


FIG. 2 ベルデ定数の冷却温度依存性

Improvement on characteristics of Pr^{3+} -doped glass scintillator for neutron detector

Takahiro Murata

Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto University, Japan

SUMMARY

The aim of this collaborative research is to develop a glass scintillator material for high performance neutron beam measurements that combines fast response and high light output.

The PLE spectra of Pr^{3+} in SiO_2 -based type (a) and type (b) glasses shifted to a longer wavelength compared with that in APLF80 glass. The PL spectral intensity of Pr^{3+} in SiO_2 -based type (a) and type (b) glasses increased at shorter wavelengths than at longer wavelengths, and the profile changed to a broad band with a shoulder. In the type (a) glass sample, the peaks of both PL and PLE were shifted to the higher energy side, and the FWHM was wider than in the type (b) glass sample. We plan to measure the fluorescence lifetime of Pr^{3+} in SiO_2 -based glasses and evaluate their scintillation properties.

The high-performance neutron glass scintillator to be developed in this collaborative research will be a fundamental technology that will support a safe and secure society.

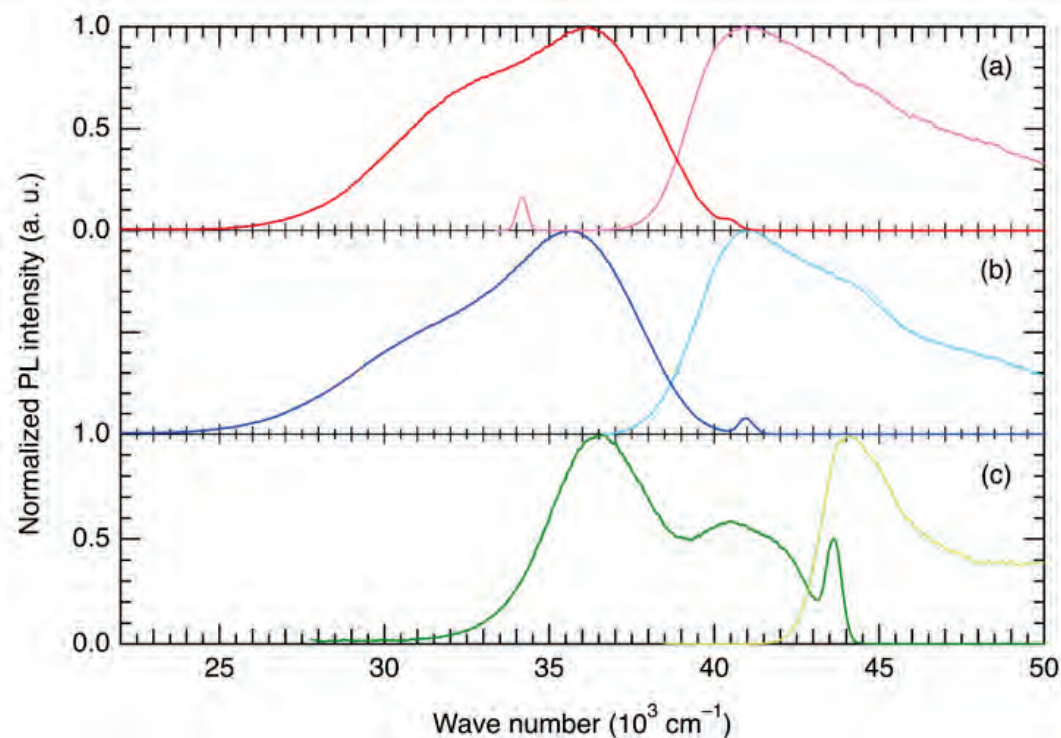


FIG. PL and PLE spectra of Pr^{3+} in SiO_2 -based glasses of type (a) and type (b) compared to (c) APLF80 glass: excited at (a) 245 nm, (b) 242 nm, and (c) 227 nm; monitored at (a) 294 nm, (b) 280 nm, and (c) 273 nm.

Investigating cross luminescence in wide band gap barium fluoride crystals

M. Cadatal-Raduban^{1,2}, L.V. Mui², T. Shimizu², N. Sarukura² and K. Yamanoi²

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

SUMMARY

This proposed project investigated cross-luminescence (CL) from doped barium fluoride (BaF_2) crystals as a fast response scintillator. BaF_2 has a fast luminescence emission at 220nm and decay time of about 600ps due to CL, which is 1/1000 that of the slow component called self-trapped exciton emission (STE). The STE at 350nm with a decay time of 620ns and five times higher light yield co-exists alongside this fast CL emission. The presence of this dominant slow STE luminescence causes pileup that limits the response time. Eliminating it requires filtering that complicates the experimental setup and therefore limits the use of BaF_2 as a fast-response scintillator. This project aimed to investigate the effect of doping on the suppression of the slow STE emission, resulting to enhanced applications of BaF_2 as a fast-response scintillator without the need to filter out its slow emission component. BaF_2 was doped with Yttrium (Y) ions. Figure 1 shows the emission from a Y-doped BaF_2 with reduced STE when excited by $\lambda = 50\text{nm}$ and 56nm .

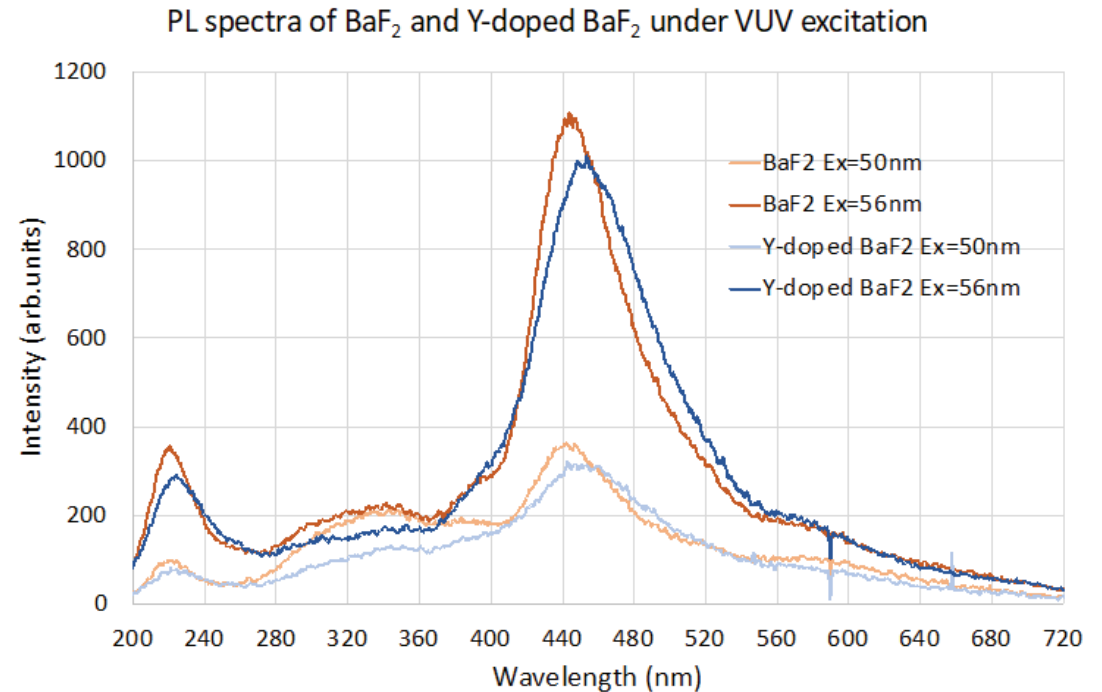


FIG. Luminescence emission from BaF_2 and Y-doped BaF_2 obtained by excitation with $\lambda = 50\text{nm}$ and 56nm vacuum UV. The slow STE emission is slightly reduced, providing exciting prospects for Y-doped BaF_2 as a fast-response scintillator.

赤外線マイクロスコープを用いた文化財調査の有効性に関する研究

田村朋美¹, 清水俊彦², 中田愛乃^{1,3}

1) 奈良文化財研究所, 2) 大阪大学レーザー科学研究所, 3) 大阪大学人文学研究科

SUMMARY

本研究では文化財調査における赤外線顕微鏡による観察の有効性について検討を行った。

彩色文化財の表面状態を再現した模擬資料を作成して観察を行った結果、粒度の粗い群青と瑠璃においてはその写り方に明瞭な差がみられることを観察した。既存の調査手法では同定が困難であった表層にわずかに存在する粒子においても、顔料の識別に有効な情報を得られることを確認した。文化財を非破壊かつ非接触にて分析する手法の一つとして、赤外線マイクロスコープが有効であるといえる。

一方で、粒度の小さい顔料においてはその識別が困難であった。このような対象については新たな手法にて検討の余地があると考えられる。

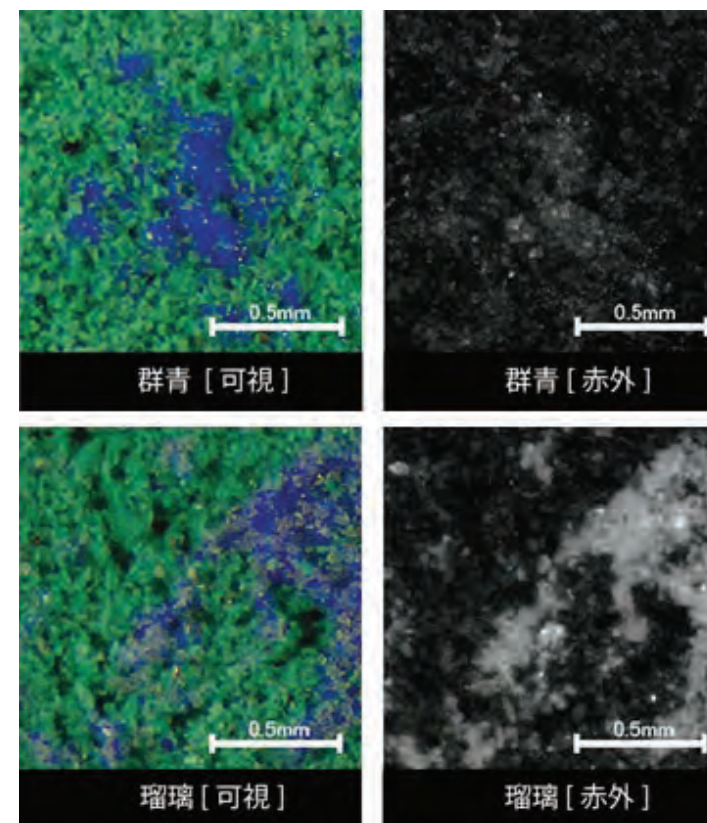


FIG. 粒度の粗い顔料における顕微鏡拡大写真 (92倍)

Electronic properties of Co and Ni co-doping on ZnO: A Density Functional Theory Study

Christian Loer Llemmit^{1,2}, Efraem Larenio², Keito Shinohara³, Melvin John Empizo³, Kohei Yamanoi³, Nobuhiko Sarukura³, Roland Sarmago¹ and Alexandra Santos-Putungan²

¹ National Institute of Physics, University of the Philippines Diliman, Philippines

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

³ Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan

SUMMARY

In this work, we investigated the role of cobalt and nickel doping on the electronic properties of wurtzite ZnO using first principles calculations. We consider single doping and double doping where one and two Zn atoms are replaced. For the double doping, the Co-Co, Ni-Ni, and Co-Ni co-doping configurations were explored at different separation distance and magnetic configuration. Through total energy calculations, the two dopants prefer to be near with each other. It was found out that Co-Co doping assumes a stable ferromagnetic order while Ni-Ni and Co-Ni doping assumes an antiferromagnetic order. These findings are of great importance in designing next-generation spintronic devices.

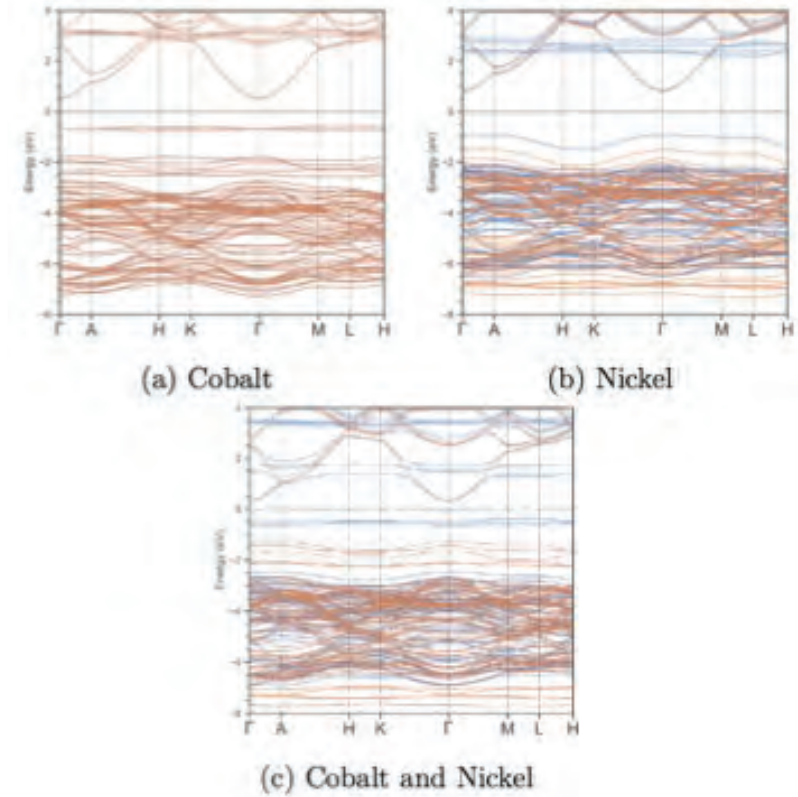


FIG. Band Structure for double-doped ZnO: (a) Co-Co doped, (b) Ni-Ni doped, and (c) Co-Ni doped ZnO. Orange (blue) for spin up (down) bands.

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

Yellow laser systems have been studied extensively for many applications such as acne treatment and scientific research. We present here a demonstration of a yellow fiber laser using a single-mode double-clad structured Dy^{3+} -doped waterproof fluoro-aluminate glass fiber (Dy^{3+} :SM-DC-WPFGF). The experimental setup of Dy^{3+} :SM-DC-WPFGF yellow laser is shown in Fig. 1(a). Figure 1(b) shows the input/output characteristics which depends on transmittance of output coupler. The output coupler with the highest power and efficiency was C, with a maximum output power of 169.2 mW and a slope efficiency of 33.6%. In summary, yellow laser power over 100 mW was obtained using a single-mode, double-clad Dy^{3+} :SM-DC-WPFGF. For the future, the power will be increased by polarization coupling or fiber power combining technology.

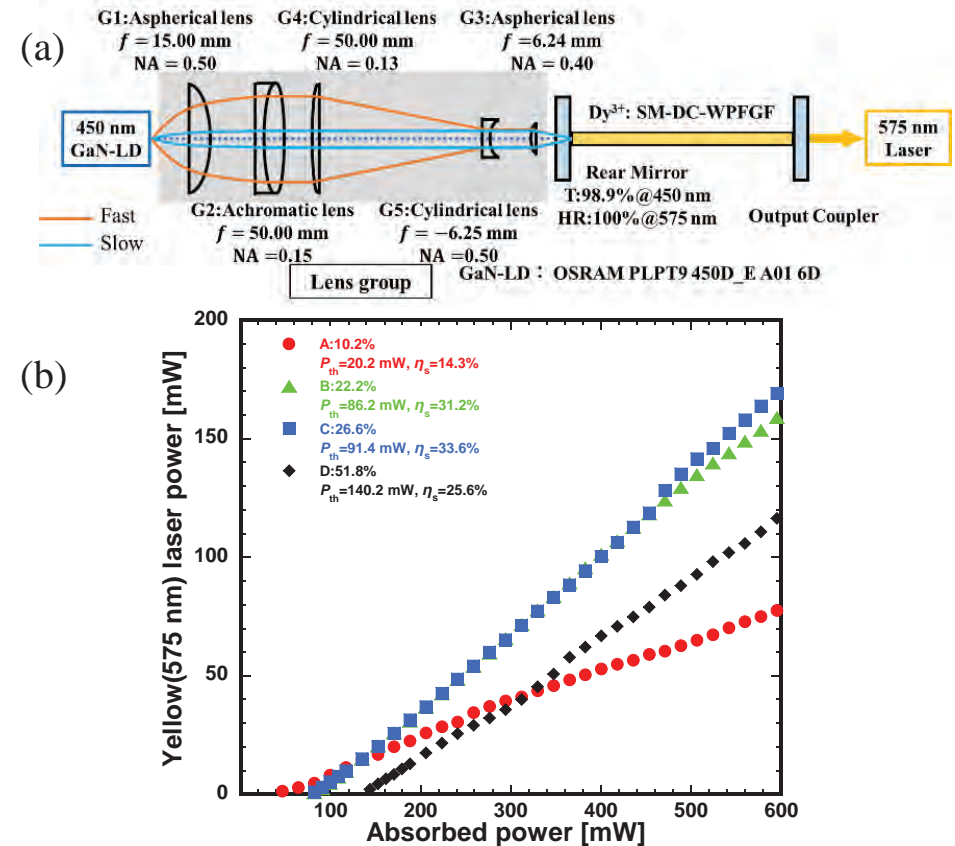


Fig.1 (a) Experimental setup of Dy^{3+} :SM-DC-WPFGF yellow laser. (b) Input/output characteristics which depends on transmittance of output coupler.

紫外放射による光学素子の劣化特性評価

岩佐祐希¹, 山ノ井航平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

従来、測光・放射標準の標準値を維持してきた白熱電球が入手困難になっていることから、検出器を用いた標準値の維持が求められている。このため、検出器を構成する光学素子の劣化特性への理解が必要である。本研究では、テフロン製白色拡散板に様々な波長を照射することで、拡散反射率の変化を調べた。その結果、紫外照射により紫外域の反射率が劣化する傾向がみられた一方で、一部波長では、逆に反射率が回復する傾向がみられた。このような波長依存性は、測定装置の劣化度の管理だけでなく、劣化機構の解明にもつながることが期待できる。

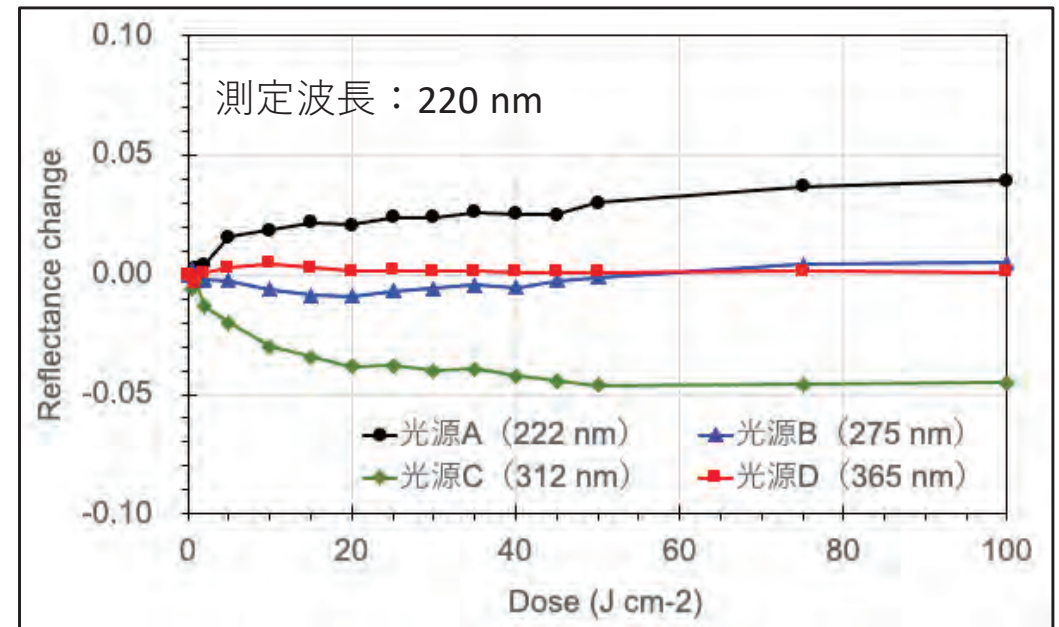


FIG. 各波長の紫外放射を照射した際のテフロン製白色拡散板の220 nmでの反射率変化

ホウ酸系光学結晶の高品質化

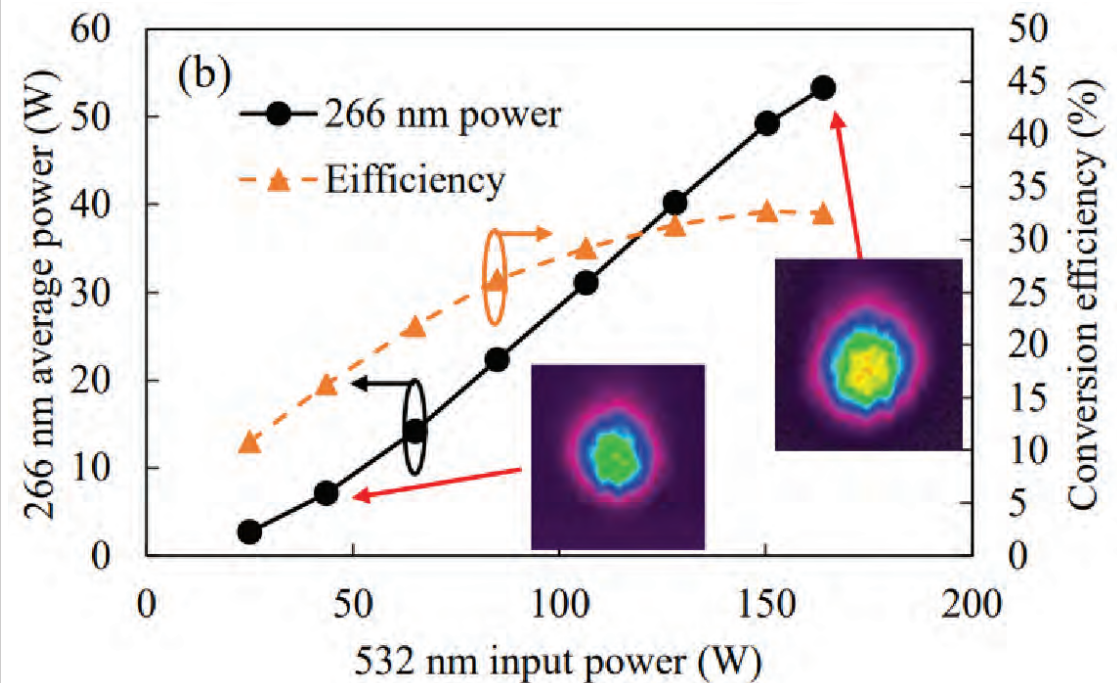
森勇介¹, 吉村政志²

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

著者らが開発した高品質な大型非線形光学結晶 $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ (CLBO) インゴットから波長変換素子を作製し、これまでに報告されている深紫外光 (波長266 nm) では最高出力となる平均出力53Wの発生に成功した[1]。実験には平均出力261W、パルス繰り返し周波数1MHz、パルス幅14psの基本波光源を用い、LBO結晶により波長532nmの緑色光を発生させ、さらにCLBOに入射して深紫外光への変換を行った。本研究は半導体後工程の微細加工応用への実装を加速する成果となる。

[1] Y. Orii et al., Opt. Express 31, 14705 (2023).
(Editors' Pick論文に選出)



CLBO結晶を用いた波長532nm緑色光入力に対する波長266nm深紫外光変換特性。挿入したビームプロファイルは、266nm光出力7 Wと53W発生時のもの。

高強度レーザーを用いた高機能性有機結晶創製法の開発

吉川洋史¹

1) 大阪大学工学研究科

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、高機能を有する結晶を創製することにある。本年度は、特に超短パルスレーザーを用いた結晶核発生、結晶構造相転移、種結晶形成の制御に関する研究に取り組み、それぞれで査読付き国際論文誌に原著論文を発表した。例えば、結晶核発生については、融液系である氷の結晶化をレーザーにより時空間制御することに成功し、その結晶化ダイナミクスをマイクロ秒・マイクロメートルのスケールで解明できることを示した（右図：J Phys Chem Lett, vol 14, pp 4394-4402, 2023）。またレーザーアブレーションにより、アミノ酸結晶のt多形相転移の時空間制御や（J Phys Chem Lett, vol 15, pp 180-186, 2024）、有機非線形光学結晶の単結晶性の種結晶作製（J Phys Chem C, vol 127, pp 14005-14012, 2023）などの手法論を開発した。

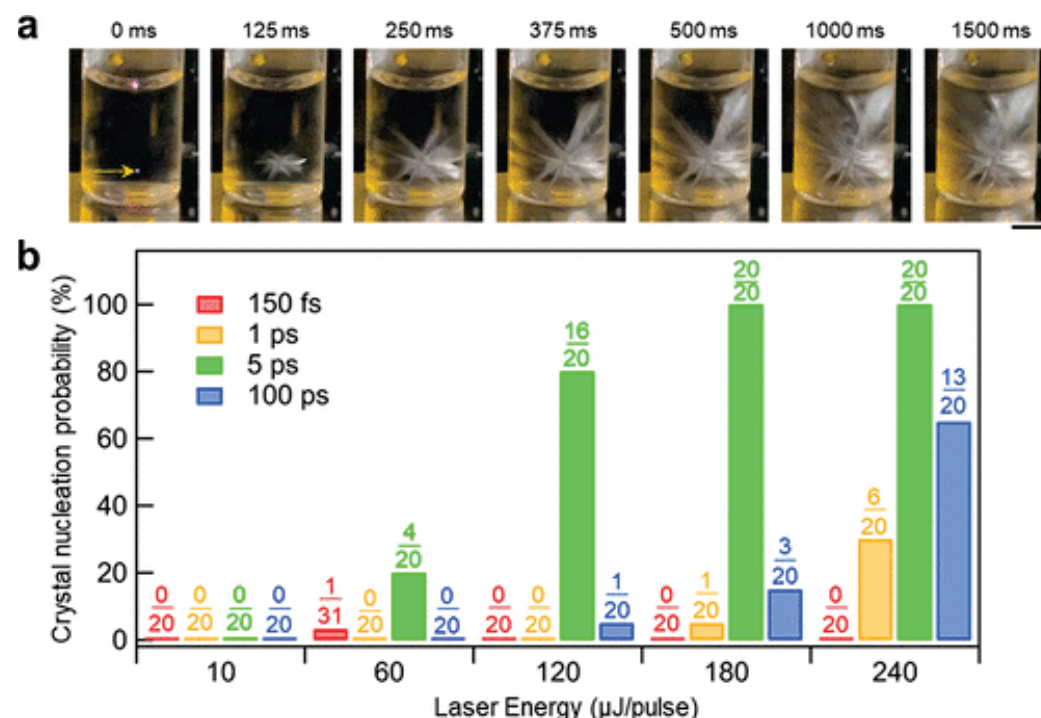


FIG. (a)超短パルスレーザーによる氷の結晶化の様子
(b) 氷の結晶核発生確率のレーザーエネルギーおよびパルス時間幅依存性 H. Takahashi, Y. Hosokawa, H. Y. Yoshikawa et al., J Phys Chem Lett, vol 14, pp 4394-4402, 2023から許可を得て転載

真空紫外領域における光学材料の屈折率測定

梅村 信弘¹, 吉村 政志²

1) 公立千歳科学技術大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

本研究は、次世代半導体製造装置に用いられる光学材料の真空紫外線波長領域における屈折率を測定するものである。

今年度は、波長1064.2 nmのNd:YAGレーザーの基本波及び第5高調波までの屈折率を測定するとともに、第5高調波とNd:YAGレーザー基本波励起KTP光パラメトリック発振器による2124.2 nm 赤外レーザー光との光和周波発生により、ArFエキシマレーザーの発振波長である、193.4 nmの真空紫外レーザー光を発生させた。次に、その真空紫外レーザー光を用いてSBO結晶のプリズムに入射し、その屈折角 δ より屈折率の測定した。

屈折率が 1×10^{-5} まで既知の石英プリズムを用いて同様の実験を行い、紫外線波長領域での測定精度を検証したところ、 2×10^{-4} の精度で一致した。

これらの基本データは、真空紫外線用の光学材料の評価に資することができる。また、より短波長の真空紫外線レーザー光によるデータ取得を行うことで、未知の波長領域における屈折率の値が測定可能となる。

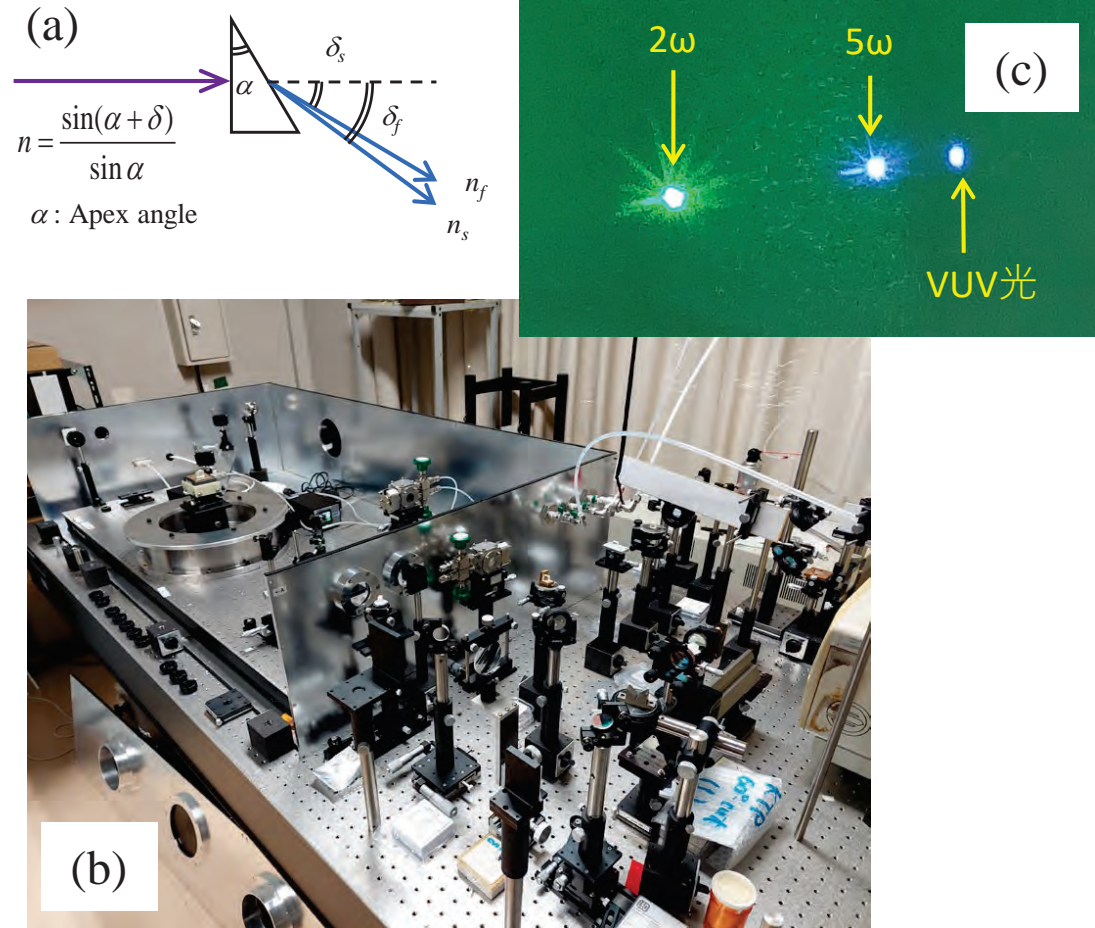


FIG. 1 (a) プリズム分散法による測定の原理
(b) 実験の概要
(c) 真空紫外レーザー光発生の様子

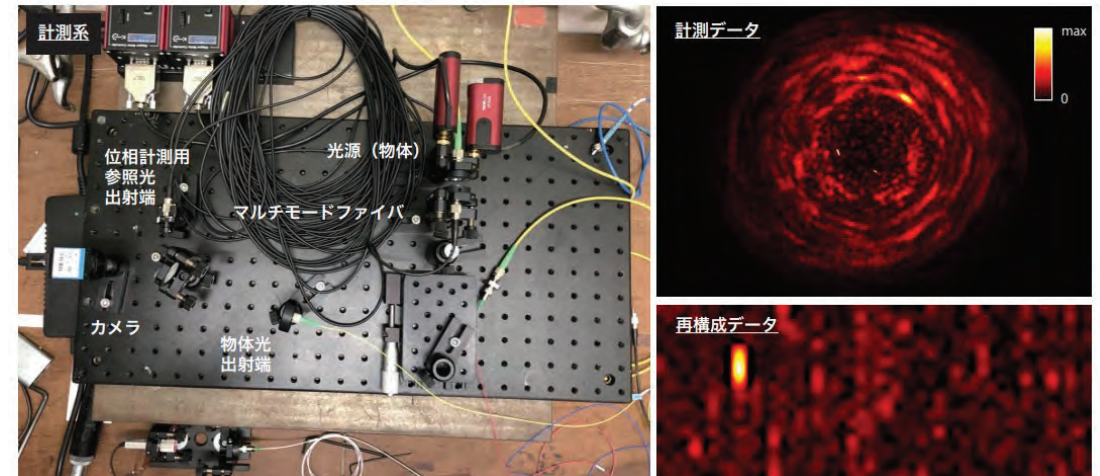
Development on the optical image transfer by using a multimode fiber

Tomoya Nakamura¹, Yasubnou. Arikawa²,

1) SANKEN Osaka university, Japan, 2) Institute of laser engineering Osaka university, JAPAN

SUMMARY

レーザー核融合研究において、レーザー照射ターゲットチャンバーから30m遠方に設置されたレーザー装置から、レーザー照射ターゲットの数mm近傍に向かって、光ファイバーを通してレーザーを照射して、核融合中性子をEOポリマーを通してレーザープローブ計測する装置が開発されている。これまでは核融合中性子の発生数時間変化を計測する目的であったが、さらに核融合プラズマ形状の空間分解画像計測を目的として、1本のマルチモードファイバーを通して画像信号を伝送し、 $1\mu\text{m}$ 級の超高空間分解を実現する。核融合中性子の強度をEOポリマによりレーザー光パルスの強度変調に変換してファイバーに乗せて伝搬させる。マルチモードファイバーを伝播するレーザー光のモード（強度分布パターンと光位相）をあらかじめ計測しておいて、数値配列に変換してマトリクスにして保存しておいて、核融合ショット時にファイバーを通して得られた光信号から核融合プラズマの形状の画像を再生する。レーザー科学研究所の実験室のスペースを借りて原理実証用の装置を構築した。ファイバーレーザーを光源として、マルチモードファイバーによる光画像伝送の原理実証実験を行った。多数の条件で多くのデータが取得されているが、まだ目標とする画像再生には至っていない。次年度も引き続き研究を継続する。



実験セット写真、レーザー科学研究所にて。
右側から黄色いファイバーにより光が入射しており、2分岐して1本は中央上部よりアクチュエーター付きレンズを通してマルチモードファイバーの入り口から入射。点光源としてマルチモードファイバーに入射し、ファイバー出口からカメラに入射している。もう1本はカメラに直接入射している。2つの光がカメラ上で干渉することで、干渉パターンに重畳したマルチモードファイバーパターンが撮影され、ここから強度分布パターンと位相を計測する。点光源からの画像の1例が右上である。同様に、点光源をファイバーの入り口面上で $1\mu\text{m}$ おきに $100 \times 100 = 1$ 万点、位置を変えながら撮影してコンピューターに記憶させる。その後、点光源をファイバーに入れた時の信号画像から下の信号を再生した画像が右紙tであり、点光源らしきものが観測されている。

Development of Transparent Ceramics for Optical Materials with High-Effective-Atomic Numbers and Their Energy Transfer

黒澤俊介^{1,2}, 山路晃広¹, 藤原加奈²

1) 東北大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

Hf含有酸化物は高い有効原子番号を持つために、ガンマ線検出効率の点から非常に有望なシンチレータ材料である。特に、Ce添加SrHfO₃はこれまでに放電焼結プラズマ法（SPS法）などの探索で、Hf酸化物の中で発光効率が高いCe³⁺の5d-4f遷移（許容遷移）由来の発光が見えていた、一方で、合成品は不透明体で、ガンマ線照射による波高値スペクトル上で、光電吸収ピークが見えなかった。

今年度は合成したCe添加SrHfO₃の光学特性、特に70K程度の低温から高温までの発光量や発光波長についての温度依存性に関する調査などを、自然科学研究機構 分子科学研究所の極端紫外光研究施設といった放射光施設や東北大学で実施した。

その結果、当該材料の蛍光寿命が20 ns程度と非常に高速であった。これらの結果は現在核医学（がん診断）等での利用されている材料の蛍光寿命が50 ns程度であることから、早期がんの発見がしやすくなるなど、核医学などの分野への応用につながる結果であり、今後の研究に向けて興味深い材料であることが分かった。



FIG. Ce添加SrHfO₃の評価時の様子

Nd,La:CaF₂セラミックスの Judd-Ofelt 解析

宮永 憲明¹, 藤岡 加奈², 松本 佑紀², 鶴田 知之²

1) (公財) 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

SUMMARY

Nd,La:CaF₂セラミックスの透過スペクトルから10個の吸収バンドにの振動子強度を求め、Judd-Ofeltパラメータ Ω_{λ} ($\lambda=1, 2, 3$)を計算した。次いで、 Ω_{λ} を用いて各蛍光遷移バンドのA係数を計算して蛍光寿命と蛍光分岐比を求め、A係数と蛍光スペクトル形状関数の実験値から誘導放出断面積スペクトルを求めた。なお、準位間遷移に係る簡約行要素は Kaminskii 等による文献値を用いた。

また、蛍光寿命と蛍光スペクトル及び蛍光分岐比の実験値を用いて、Füchtbauer-Ladenburg式に基づいて誘導放出断面積スペクトルを評価した。

得られた誘導放出断面積のピーク値はNdガラス(LHG-8)よりも若干低かった。なお、Judd-Ofelt 解析結果とFüchtbauer-Ladenburg式に基づく評価結果の間の誤差は結晶構造の空間的不均一に起因し、最新のサンプルでは両者が完全に一致している。

FIG.1 Judd-Ofelt 解析の手順。

FIG.2 誘導放出断面積スペクトル。Judd-Ofelt 解析結果(赤線)とFüchtbauer-Ladenburg式に基づく評価結果(青線)の比較。

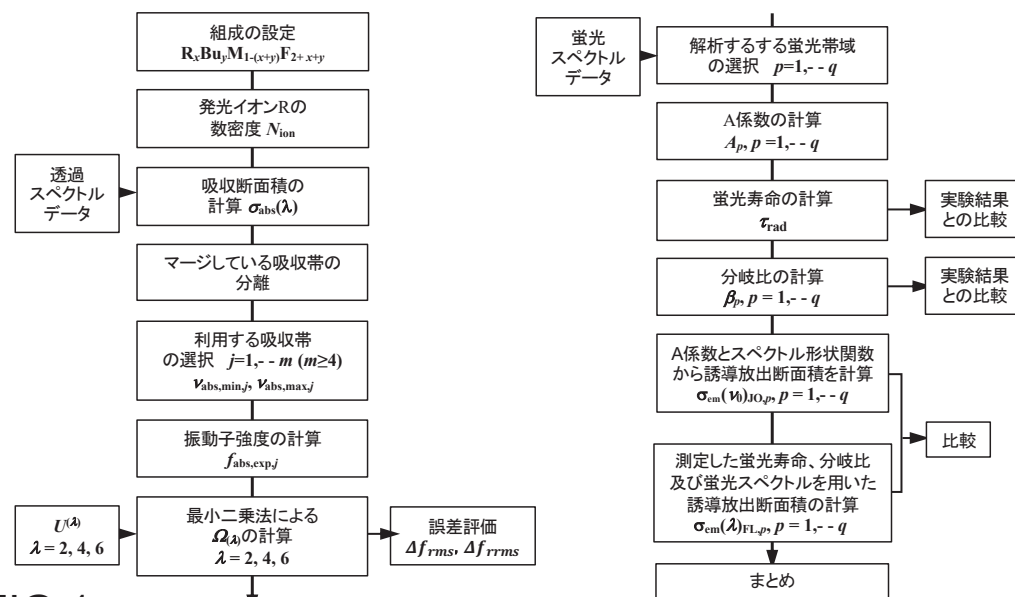


FIG.1

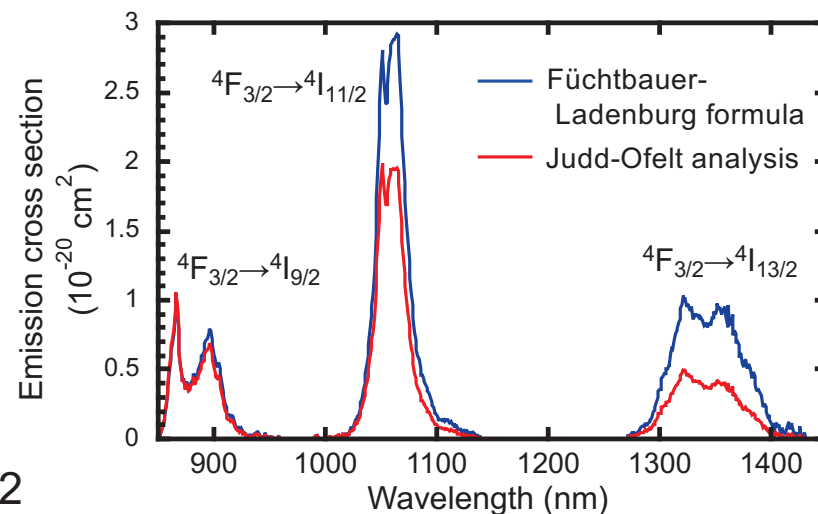


FIG.2

高周波弾性波フィルタ用圧電単結晶の欠陥評価

大橋 雄二¹, 猿倉 信彦²

1) 東北大学未来科学技術共同研究センター, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

次世代通信(6G)における高速大容量低遅延通信の実現に不可欠なSHF帯高周波弾性波フィルタのための異種圧電単結晶接合基板構造が提案されている。この実現に向けて接合基板となる単結晶材料内の吸収減衰の低減が重要課題の一つである。本研究では、圧電単結晶として用いられている LiNbO_3 (LN) と MgO ドープ LiNbO_3 (MgLN)を取り上げ、光学特性と弾性波伝搬特性(速度、減衰)の評価を行った。

光学特性として透過率、吸収係数の測定を行った。320 nm近傍の吸収係数の立ち上がりが見られ、MgドープのLNの方が短波長側へシフトした。一方、弾性波特性として縦波伝搬特性を測定した。縦波速度はMgがドープされることで約112 m/s上昇し、伝搬減衰はわずかに低減することがわかった。コングメント組成のLN単結晶は酸素欠陥等の欠陥があるのに対し、Mgドープによりそれらの欠陥を低減する効果を示唆する結果と考えられる。

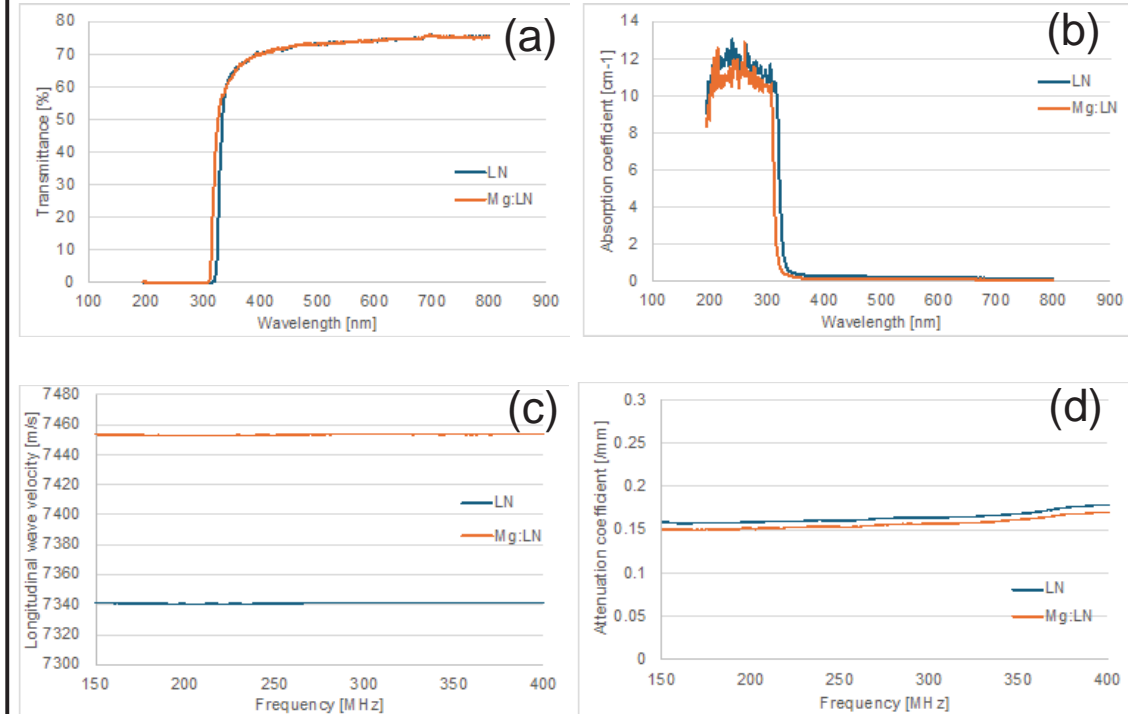


FIG. Optical properties and elastic wave propagation properties for LN and Mg:LN samples.

(a) Transmittance, (b) Optical absorption coefficient, (c) Longitudinal wave velocity, (d) Longitudinal wave attenuation coefficient.

シミュレーションのポストプロセスと機械学習の組み合わせによるレーザー駆動爆縮の最適化

研究代表者: 藤岡慎介、受入教員: 長友英夫
大阪大学レーザー科学

SUMMARY

シミュレーションをベースにした自動最適化は、実験のトライ・アンド・エラーを減らし、研究活動の高速化・効率化に寄与する。しかし、大きな計算コストを要求する多次元シミュレーションを自動最適化に用いることはまだ現実的ではない。本研究では、1次元シミュレーションと物理モデルを組み合わせ、多次元の流体不安定性が本質的な爆縮の自動最適化を試みる。本研究では、1次元放射流体シミュレーション（ILESTA及びHelios）を使って、実験の測定結果と比較することで、実験家が認知していないパラメーターをパラメーターとして明らかにした。3段のレーザーパルスを用いた中実球の圧縮実験において、1段目と2段目はレーザー波形の計測精度が圧縮密度の上昇を妨げている可能性が明らかに、3段目はレーザープラズマ相互作用、Cross Beam Energy Transferなどが圧縮密度の向上を妨げていることが明らかになった。

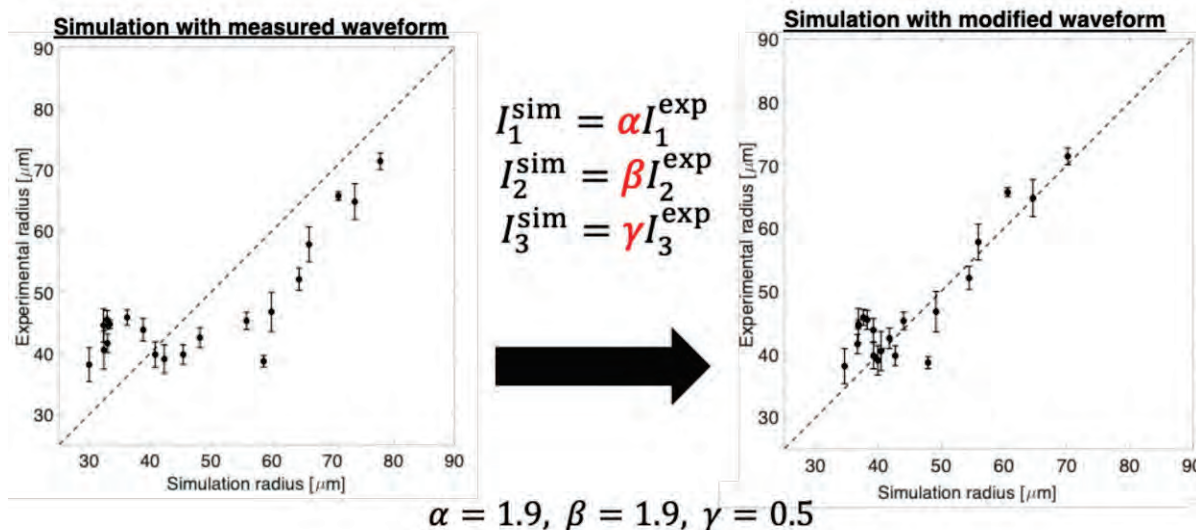


FIG. 1(a) 実験で得られた圧縮プラズマの直径とシミュレーションで得られた圧縮プラズマの直径の比較。実験結果をそのまま用いた場合、両者は一致しないが、機械学習に基づき、ハイパーパラメーターとしてレーザーの強度を人為的に調整することで実験結果を再現することができた。これらハイパーパラメーターの物理的意味の考察を行った。

非線形 QED における量子場から粒子分布関数を構成する手法の検討

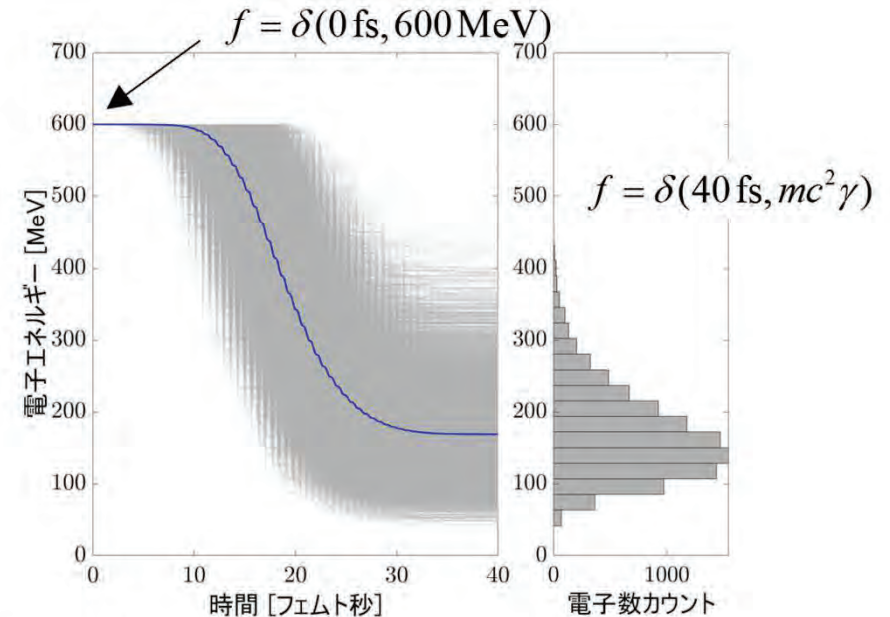
瀬戸慧大¹, 小菅淳¹, 長友英夫²

- 1) 日本原子力研究開発機構, 敦賀総合研究開発センター,
- 2) 大阪大学, レーザー科学研究所.

SUMMARY

高強度レーザー電磁場による非線形量子電磁力学 (QED) のこれまでの研究は, 非線形コンプトン散乱や電子・陽電子対生成など単一過程が中心であった. これらのカスケード現象, すなわち, 電子・陽電子・光子からなるプラズマ状態に興味が集まりつつある. そのようなプラズマを表現する輸送方程式を, 果たして非線形QEDに適合した形式で導出できるだろうか. そもそも量子場から分布関数をどのように定式化すべきか. 右図は単一電子系での非線形コンプトン散乱をモンテカルロ計算したものである. カウント数を分布関数に見立てれば, 輸送方程式に従って分布関数が時間発展していると認識できる. これを多粒子化したい.

そこで、非線形QEDのラグランジアン密度から直接的に多体系の輸送方程式を導くという研究を開始した. 研究開始のタームということで, 先行研究に倣い, 外場のないスカラー場を取り扱い, ウィグナー関数を利用した擬分布関数の構成方法, 相対論的輸送方程式の導出法を追跡した.



$$\frac{p^\mu}{m} \frac{\partial f}{\partial x^\mu} + F^\mu \frac{\partial f}{\partial p^\mu} = (\text{衝突項})$$
 に従って広がっているなら
輸送方程式を非線形QEDから直接的に導けるか?

FIG. 単一電子が非線形コンプトン散乱でエネルギーが広域になる様子をモンテカルロ計算したもの. この広がり分布関数そのもので, 対応する輸送方程式は非線形QEDの第一原理から導かれるべきである.

Plasmoid generation by an interaction between a high-intensity laser and structured medium

岸本泰明^{1,2,3}, 松井隆太郎^{1,2}, 長友英夫⁴

- 1) 京都大学大学院エネルギー科学研究科, 2) 京都大学非線形・非平衡プラズマ科学研究ユニット,
3) 京都大学エネルギー理工学研究所, 4) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

高強度レーザーで生成されるプラズマに“閉じ込め”の概念を導入することで、高エネルギー密度のプラズモイドの対向衝突による磁場乱流の生成や反転磁場配位の形成などが視野に入る。本研究では、阪大レーザー研の輻射流体コードを用いたシミュレーション研究を実施し、構造的媒質（サブ μm の微細構造を付与した物質）に相対論領域の高強度レーザーを照射することで生成するプラズマが、自己組織化過程により慣性時間を越えて保持される機能を検証する。これにより、水素・ホウ素熱核融合のみならず、高強度X線源や中性源を含む多様な学術応用に資する研究への展開が期待できる。

右図は、数 $10\mu\text{m}$ オーダの空洞に高強度レーザーを照射した場合の生成プラズマとそれが作る自己磁場の粒子シミュレーション結果を示すが、本研究では、長友等によって開発された輻射流体コードにより、ナノ秒オーダのダイナミクスを追跡することで、プラズマモイドの生成・噴出の過程の再現を目指す。

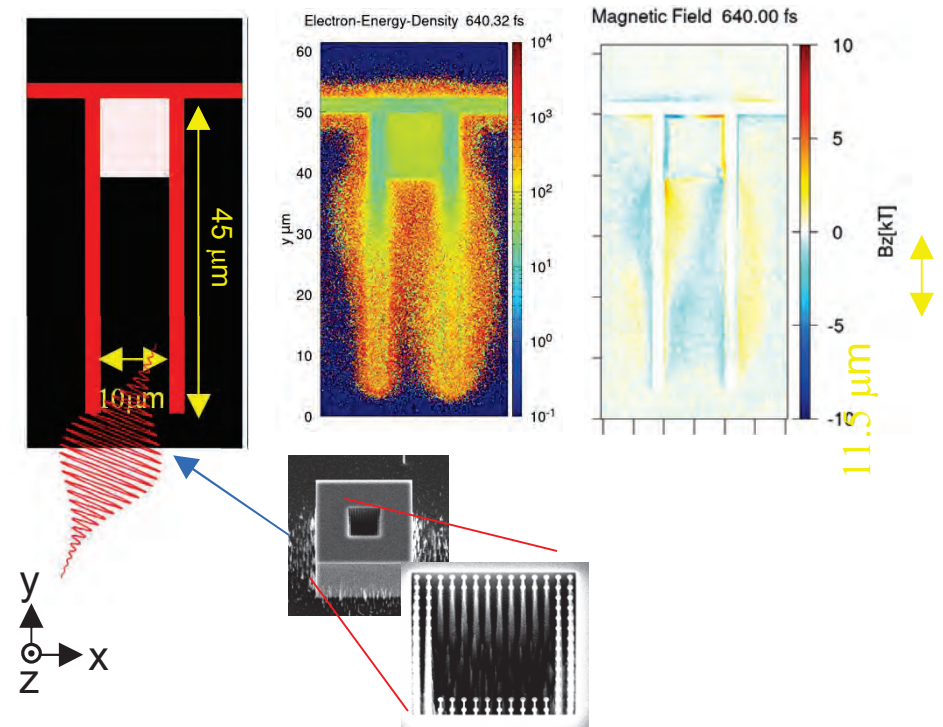


FIG. レーザー照射後 $t = 640\text{ fs}$ における生成高エネルギー電子（左図）と磁場 B_z （右図）の空間分布図。下図は電子線リソグラフィとプラズマエッチング技術で作成したプラズマモイド生成用の空洞とプラズマ燃料に対応するサブ μm 用のロッド集合体。

高密度プラズマ中での抵抗率勾配で生成する強磁場計測のモデリング

羽原英明^{1,2}, 上山慶典¹, 安部勇輝^{1,2}, 城崎知至³, 長友英夫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) 広島大学大学院先進理工系科学研究科

SUMMARY

本研究は、高速点火方式における追加熱レーザーのコアプラズマ加熱効率向上を目的としており、加熱に寄与する高速電子を集束させる手法の一つとして、抵抗率勾配で生成される自己生成磁場の活用を検討している。本年度は、一昨年度に行った実証実験におけるプラズマ分布を流体シミュレーションを用いて再現し、得られた粒子数密度分布を用いて粒子シミュレーションを行い磁場生成を検証した。その結果、電子とイオンの衝突を考慮したシミュレーションのみににおいて電離度が異なるプラズマの境界で磁場が発生することが確認され、抵抗率変化に起因する磁場が実験においても発生し得たことが示された。また、本シミュレーションにおいては最大800T程度の磁場が発生しており、磁場の強度と幅から、3MeVの高速電子であれば入射角 30° までの電子を集束させることが可能であると見積もられた。

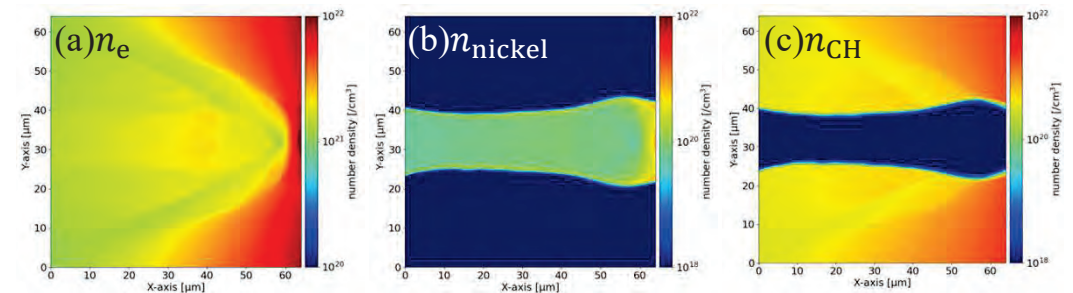


Fig. 1

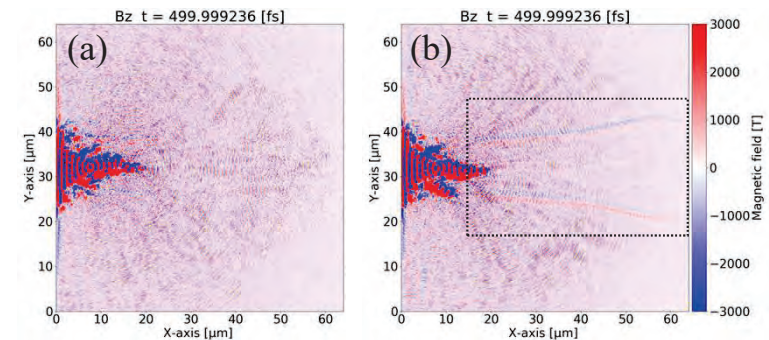


Fig. 2

Fig. 1 粒子シミュレーションの初期密度分布
(a)電子密度、(b)ニッケルイオン密度、(c)CHイオン密度

Fig. 2 追加熱レーザー照射時の磁場分布
(a)衝突を考慮しなかった場合、(b)衝突を考慮した場合

プラズマ、流体中に生じる密度成層を伴った渦層の非線形発展に関する研究

松岡千博^{1,2,3}

1) 大阪公立大学大学院工学研究科, 2) 大阪公立大学南部陽一郎物理学研究所 (NITEP),

3) 大阪公立大学数学研究所 (OCAMI)

SUMMARY

非一様な渦度をもった界面どうしの相互作用として、多層Richtmyer-Meshkov不安定性の非線形発展が調べられた。その結果、多層界面になるとどのような初期渦度分布であっても単一界面の場合に比べて渦度の増幅が大きいこと、特に強い渦度をもった界面が弱い反対符号の渦度をもった界面を追いかける場合は前者の界面上に非常に大きな渦度が誘導されることがわかった[1]。この結果は巨大台風が周辺の小さなサテライト渦によって増幅される機構の解析にも応用できる。

[1] C. Matsuoka and K. Nishihara, Nonlinear interaction of two non-uniform vortex sheets and large vorticity amplification in Richtmyer-Meshkov instability, Phys. Plasmas, 30, 062304 (2023).

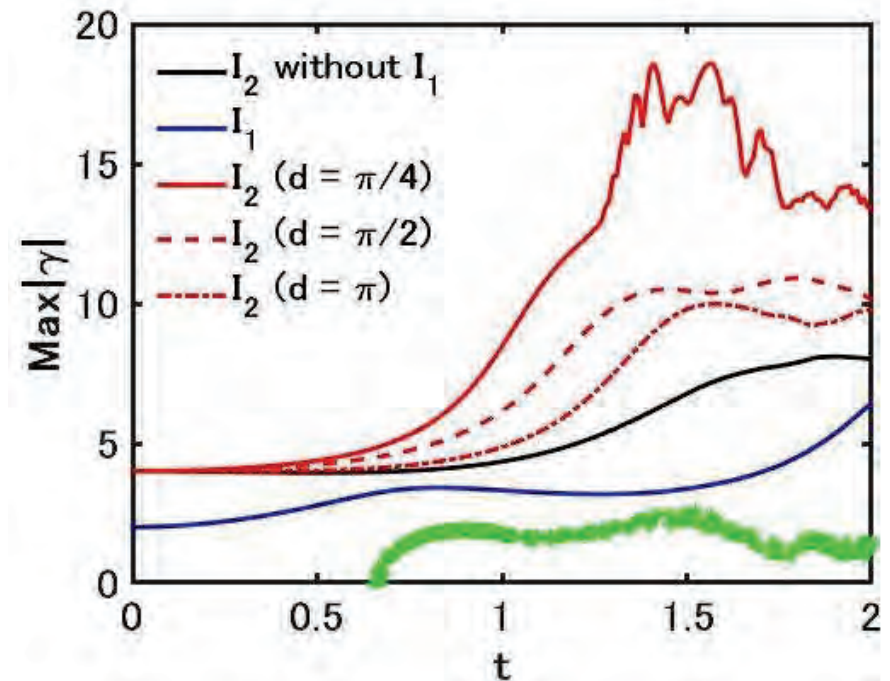


FIG. 界面間相互作用による渦度増幅。縦軸、横軸はそれぞれ界面渦度の絶対値の最大値、時間を表す。強い渦度をもった界面が赤 (I_2)、弱い渦度をもった界面が青 (I_1)で描かれている。赤色の点線、鎖線は界面間距離 d を変えた場合の渦度を示し、途中で現れる緑の点は I_1 によって I_2 上に誘導されるsecondary vorticityを表している。

量子ビームにより誘起されたテラヘルツ電場の超高速検出

菅晃一^{1,2}, 中嶋誠³

1) 大阪大学産業科学研究所, 2) 量子科学技術研究開発機構, 3) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

これまでに、特殊相対性理論で予測される「電磁場の歪み」が直接的に観測されたことはなかった。我々は、その歪みの直接的な実証を行うために、電子線加速器と同期した超短パルスレーザーを用いて、さらに電気光学効果による超高速電場計測を実施した（図1(a)）。実験では、エシェロン式シングルショット計測法による超高速時空間電場分布を得た。これにより、電磁気における特殊相対性理論の基本現象である、電場の収縮や収縮が起きる過程を世界で初めて直接実証することに成功した[1]。また、現在はシングルショット計測法[2]の改良を行っている（図1(b)）。

今後、電子由来の電磁場の放射現象の計測へも応用が可能である。また、電場計測に基づき、光源加速器のビーム診断による物質科学への貢献、重粒子線による放射線治療のビーム診断が期待される。

[1] M. Ota et al., Nature Physics **18**, 1436–1440 (2022).

[2] 菅晃一ら、日本赤外線学会誌、第33 巻 2 号、67-73、(2024)

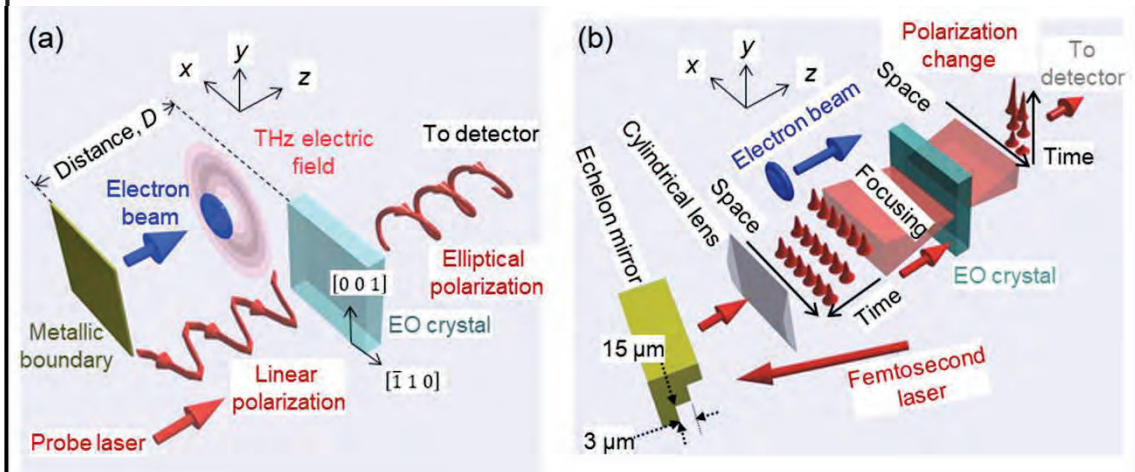


FIG. 1 (a) 電気工学効果による超高速電場計測。 (b) エシェロン式シングルショット計測法。

統計モデルによる光学材料のシミュレーションおよびその物性への応用に関する研究

佐々木 明

量子科学技術研究開発機構・関西光科学研究所

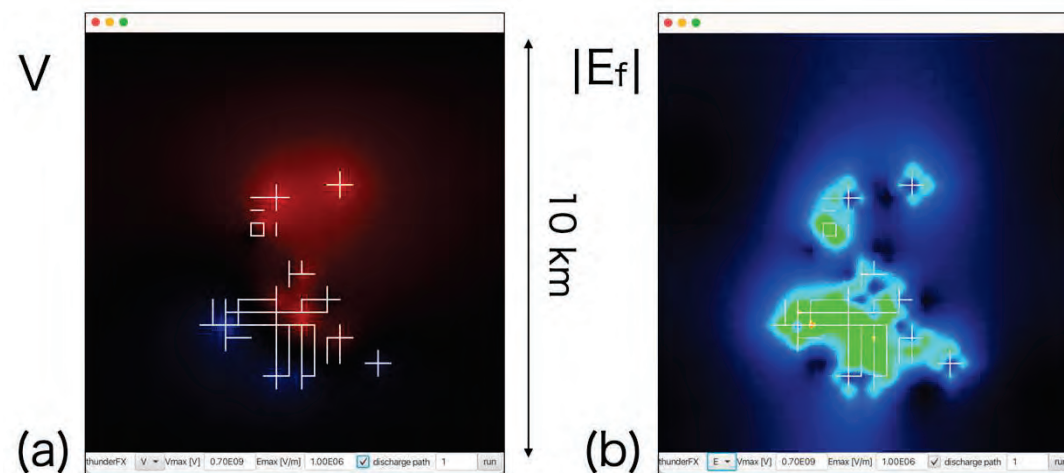
SUMMARY

光学損傷の複雑なメカニズムの解明を目的に、自然界および人工的な多様な絶縁破壊現象の物理モデルとシミュレーションの研究を行っている。

今年度は雷現象の二次元モデルによる解析方法の研究を行った。複雑な現象の計算において、観測量とその挙動を比較することの重要性に注目し、前年度まで雷雲中に流れる電流の方程式を記述していたのに対し、電荷の方程式を記述し、上昇気流中での電荷の分離、降雨による移動、強い電界の生成と絶縁破壊による再結合、消滅という描像に基づくモデルを考えた。

雷雲中の電荷の分布は、気球などを使って観測され、さまざまな構造を持つことが知られている。そこで放電の発生がトリガされるメカニズムと、発生した放電が雲中あるいは地表へと伝播するメカニズムについて検討した。

現象の統計的な性質を利用した効率的な計算手法についても検討した。



(図) 雷現象の二次元モデル。(a)はポテンシャルを、(b)は電界の強度を、図中の線は放電を示す。時間発展のある時刻における結果を示す。空間をメッシュ (33 x 33) に分け、電荷は量子化されメッシュに束縛されるとして計算を効率化した。電荷は確率的に生成し、確率的に移動すると考え、降雨の効果を考慮した。電荷の分布から電界を求め、その値が閾値を超えることで放電が起こると考えた。

日本の伝統模様（青海波）のTHz-SRRパターンの測定

李 相錫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

メタマテリアルの多くはSplit Ring Resonator (SRR)の周期配列で実現される。SRR周期配列で用いるパターンはC字型またはコの字型が主である。本研究では日本の伝統模様（青海波）の一種である青海波パターンをテラヘルツ帯SRRのパターンとして応用し、THz波の透過特性を調べ、THz帯のメタマテリアルデザインにおけるフレキシビリティを高めることが目的である。青海波パターンにおいて線幅、線間間隔、線の本数をパラメータとし、有限要素法シミュレーションによる設計を行った。高抵抗Si基板上にAuを用いてSRRパターンを作製し、THz波の透過特性を調べた。

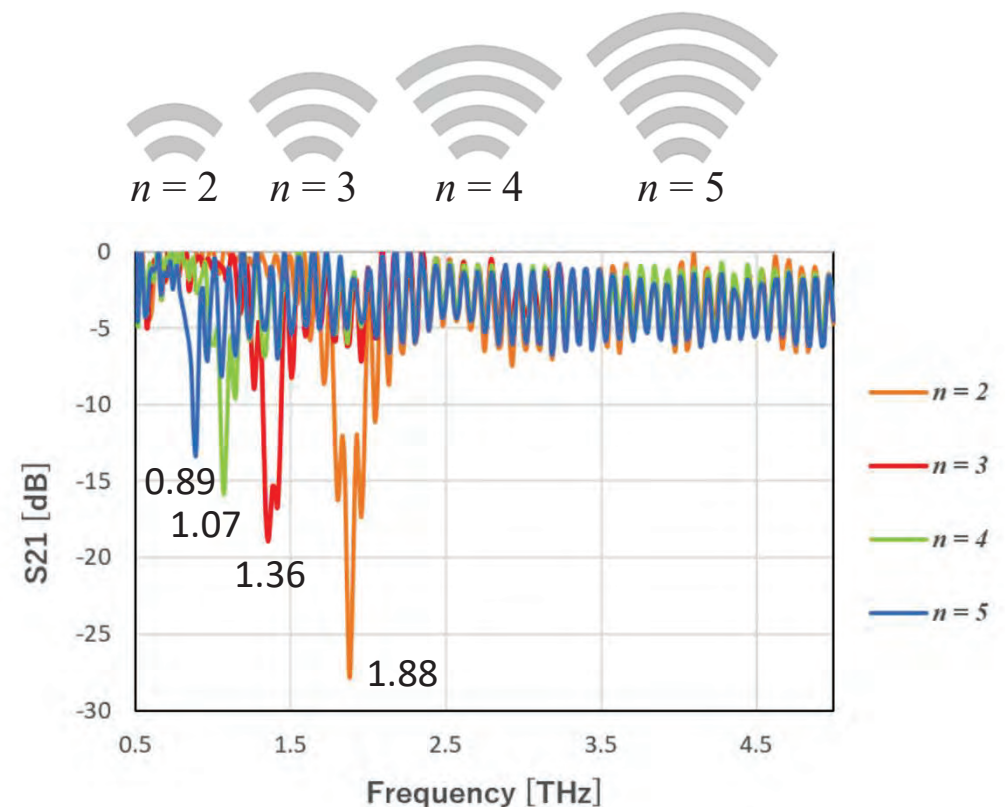


FIG. 本数 ($n=2\sim 5$) を変化したSRRパターン（線幅 $w=4\mu\text{m}$, 線間ギャップ $g=4\mu\text{m}$ ）におけるTHz波の透過特性測定結果を示す。測定による高抵抗Si基板の誘電率を用いたシミュレーション結果とも一致する。

半導体レーザー光源におけるスペックルの評価と抑制

田辺稔¹, 真鍋由雄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

半導体レーザーは狭帯域なスペクトルを有する光源であるため、ディスプレイや照明に応用した場合、スペックルノイズが発生する。本研究では、そのスペックルを定量的に評価し、抑制する手法を提案することを目的とする。

半導体レーザーと積分球を組み合わせた光源から放射されるスペックルコントラスト C_s を、大阪大学が保有する評価装置を用いて定量的に評価を行った。今回、シングルモードとマルチモードの半導体レーザーを使用し、積分球の大きさを6インチと3インチと変更して評価を行った。マルチモードレーザーを使用することにより、スペックルを大幅に抑制できることが分かった。また、積分球内での多重反射が多い、大きな積分球でスペックルを抑制できることも分かった。今後は、これらの結果を応用し、レーザー光源を用いたディスプレイや照明機器の信頼性の向上させる研究に取り組む予定である。

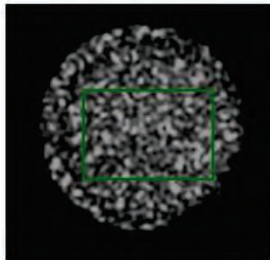
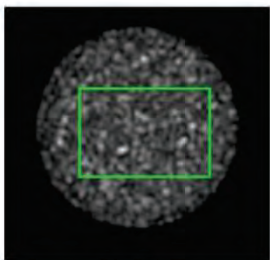
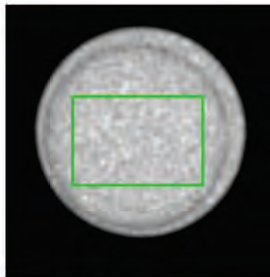
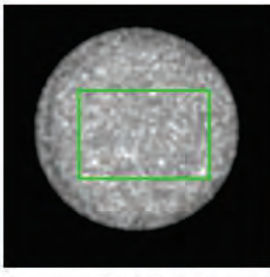
	6 インチ	3 インチ
シングルモード	 0.18	 0.24
マルチモード	 0.05	 0.12

FIG. シングルモードとマルチモードの半導体レーザーと積分球の大きさによるスペックルコントラストの評価結果 (値はスペックルコントラストを表している。)

高密度爆縮の実現に向けた液体水素を充填した中実球ターゲットの開発

研究代表者: 岩本 晃史 受入教員: 藤岡 慎介*

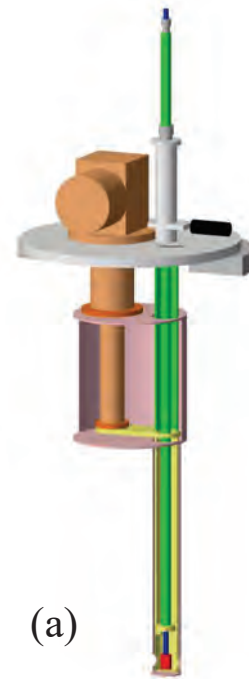
核融合科学研究所、*大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

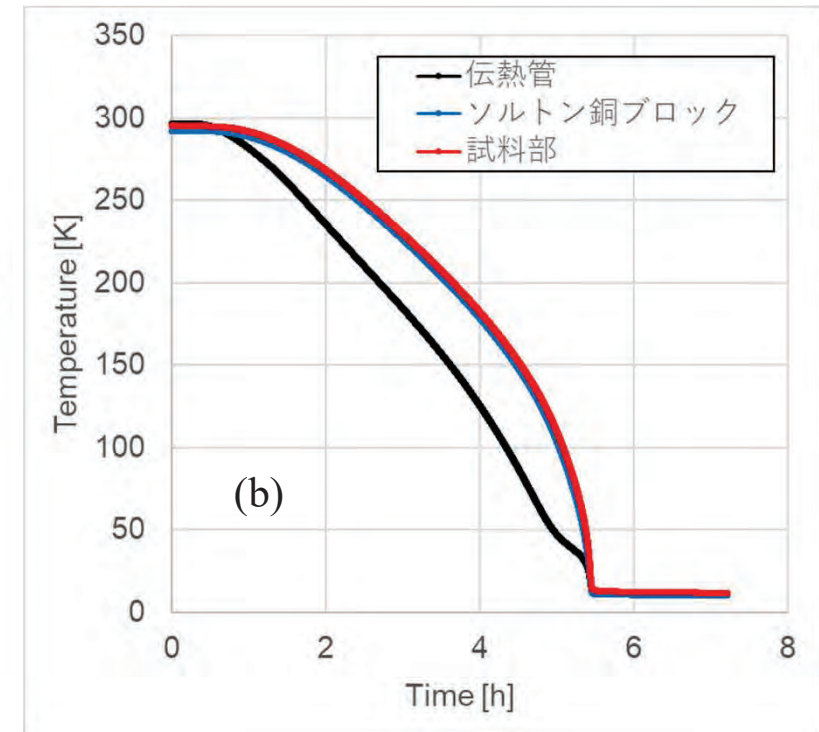
流体力学的不安定性の影響を受けにくい中実球状の液体水素ターゲットの製造が目的である。液体水素を含む試料の製造には極低温が必要であり技術的な困難が伴う。

今年度は液体水素ターゲットを生成するための極低温冷却装置を作成した。ターゲット冷却部は上下駆動が可能な構造になっており、液体水素充填時には熱シールド内に格納され室温からのふく射熱を最小限にできる (FIG.1(a)参照)。また、ターゲット部はそれを支持しているSUS製ロッドと共に引き抜くことが可能で冷却を継続しながらターゲットだけを交換できるようになっている。完成後に行った冷却試験の結果FIG.1(b)に示す。冷却開始から約5時間で~11Kまで到達しており、液体水素を生成できる環境は整った。

来年度はターゲットを取り付けシェル中への液体水素充填実験を実施する予定である。



(a)



(b)

FIG. 1(a)液体水素ターゲット生成用極低温冷却装置。4.2K, 1.5Wの冷却能力を持つ小型GM冷凍機1台を使用して冷却する。(b) 冷却試験結果。伝熱管は冷凍機の2nd Stage近傍、ソルトン端子銅ブロックはターゲット取り外し機構のうち熱接触を確保するソルトン端子につけた銅ブロック、試料部はターゲットを取り付ける部分。

新規高融点酸化物単結晶の育成と光学特性評価

横田 有為^{1,2}, 堀合 毅彦²

1) 東北大学 金属材料研究所, 2) 東北大学 未来科学技術共同研究センター

SUMMARY

これまで材料探索が進んでこなかった2200°C以上の融点を有する機能性単結晶材料に対して、東北大学が新たに開発した高融点酸化物材料の結晶育成技術を用いることで、様々な発光中心元素を添加した高融点単結晶を作製した。

その中でErを添加した $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$ (LHO:Er) 単結晶に対して、X線源を用いた放射線応答特性の評価を行った。その結果、X線ラジオルミネッセンススペクトルにおいて、440 nm近傍のブロードな発光ピークと550 nm近傍のシャープな発光ピークが確認された(右図)。さらに、赤外領域である980 nm近傍においてもわずかな発光ピークが現れた。 Gd_2SiO_5 シンチレータ結晶との比較で、発光量は約1,000 photons/MeVと見積もられるが、当該材料は、従来材料に比べて大きな密度を有しており、高エネルギー放射線向けで赤外にも発光を有する新たなシンチレータ結晶としての応用が期待される。

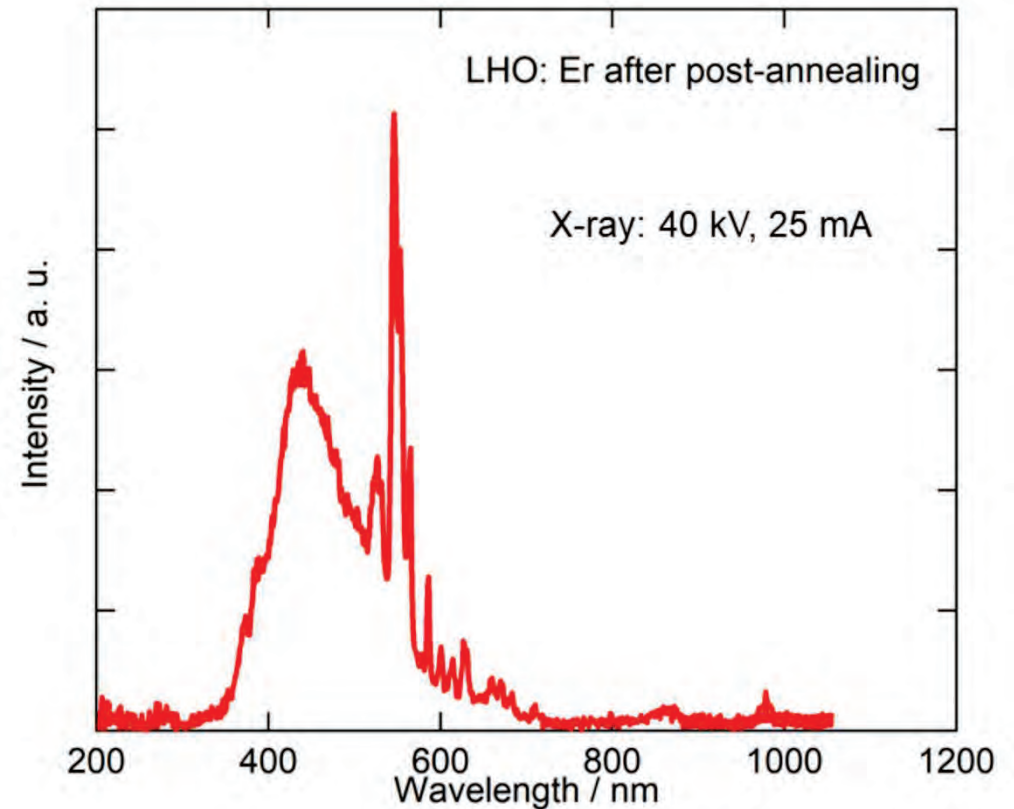


FIG. (Please put the figure caption here.)

Er添加 $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$ 単結晶のX線ラジオルミネッセンススペクトル。

Space propulsion by EUV ablation and its application to the space debris trajectory transfer

K. Mori¹, K. Nakai¹, N. Miyake¹, N. Tanaka², J. E. Hernandez², S. Fujioka^{2,3}

1) Osaka Metropolitan University, Sakai, Osaka 599-8531 Japan, 2) Institute of Laser Engineering, Osaka University, Suita, Osaka 565-0871 Japan, 3) National Institute for Fusion Science, Toki, Gifu, 509-5202 Japan

SUMMARY

This research revealed impulse and momentum coupling coefficients C_m for intense pulsed extreme ultraviolet (EUV) ablation of metal targets; Al, Ti, and SUS304. Experiments were conducted at six energy fluences ranging from 16.1 to 157 mJ/cm² to compare C_m with previous studies. The impulse attained 156 nN · s for Al target and showed similar results for Ti and SUS304. The maximum momentum coupling coefficient of Al target was 1.56×10^{-5} N/W. This may be attributed to the fact that Al has the highest photon absorption among the three materials showing noticeable ablation characteristics of EUV's strong Z dependence. Our results pushed the threshold of $I\lambda/\sqrt{\tau}$, the normalizing parameter, towards lower side compared to previous studies with conventional laser (Fig. 1) suggesting potential feasibility of space propulsion by short-wavelength radiation.

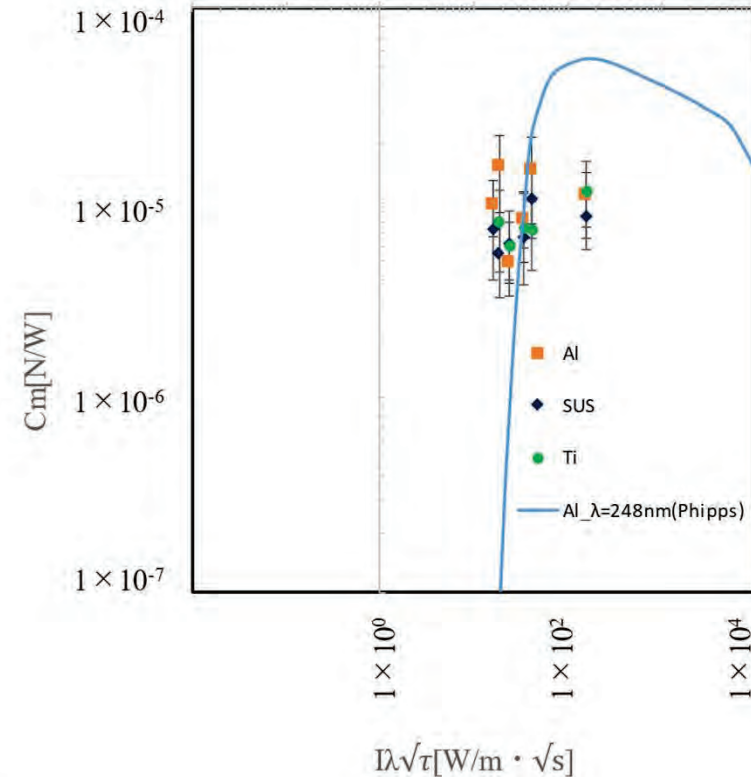


FIG. 1 Momentum coupling coefficients for ultraviolet laser at $\lambda = 248$ nm (C. Phipps et al., J. Appl. Phys., 64, 1083, 1988) and that for extreme ultraviolet radiation at $\lambda = 10 - 20$ nm obtained in this study.

Development of real-time target control system for application of repetitive-pulse high-power laser

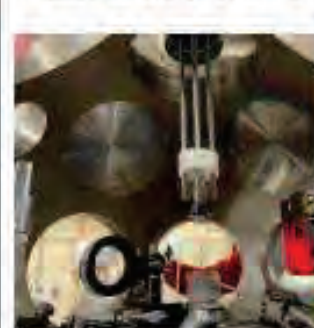
Y. Oda¹, R. Matsuura², K. Iwasa², Y. Abe², S. Fujioka², ...

1) Setsunan university, Japan, 2) Osaka university, Japan

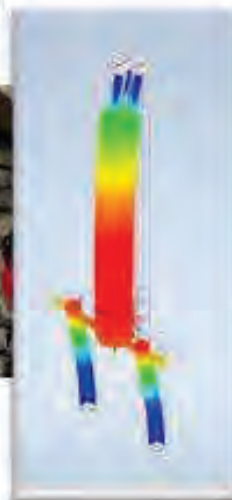
SUMMARY

高頻度繰り返し動作を行う高出力レーザーの開発が進み、これを利用した研究が検討されている。高頻度繰り返し動作においては、各ショットで得られる計測情報をもとにした、自動でのターゲット位置制御システムが必要となり、本共同研究ではその開発を目指している。本研究では、繰り返し動作レーザーに対するターゲットとして液体ジェットの使用にあたって、真空ポンプなどの周辺機器による振動によりノズルが振動し、ターゲット自身が振動する問題を解決するために、ノズルの固定器具を新たに開発し、周辺機器による振動があってもレーザーに対して液体ジェットターゲットの振動を抑えることに成功した。

固定器具なし



固定器具あり



液体ジェットの振動計測の結果

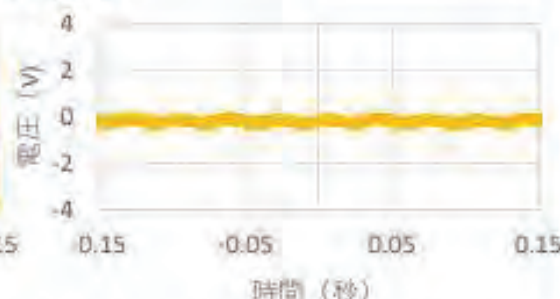
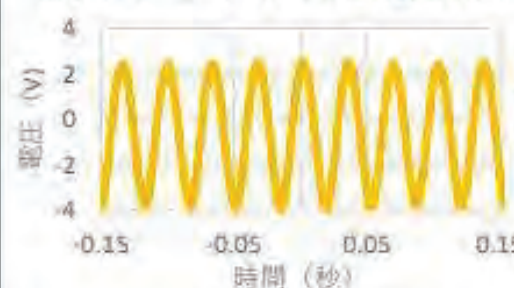


FIG. 1 固定器具の有無によるノズルの振動のシミュレーションと液体ジェットの振動計測の結果。固定器具の取り付けにより機材の剛性が増し、ジェットの振動を抑えることに成功した。

GaNの熱伝導率に点欠陥が与える影響

河村貴宏¹, 西山稜悟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

半導体の特性は不純物添加によって制御されるが、それによってGaN本来の優れた熱物性が劣化してしまうことが問題となる。そこで本研究では点欠陥や不純物を含むGaNの熱伝導率を予測し、さらに熱伝導率に対する欠陥の影響を理解することを目的として第一原理計算による解析を行った。

Ga空孔 (V_{Ga})、O置換型欠陥 (O_{N})、O侵入型欠陥 (O_{int}) を含むGaNの熱伝導率解析を行った結果から、これらの欠陥によって熱伝導率が大きく減少し、その熱伝導率の大きさは、完全結晶 $> O_{\text{N}} > V_{\text{Ga}} > O_{\text{int}}$ の順になることが分かった (Fig. 1a)。熱伝導率は比熱、フォノンの群速度と緩和時間によって決定されるため、それらについても解析を行ったところ、比熱はほとんど影響を受けていないが (Fig. 1b)、群速度と緩和時間は欠陥の影響によって減少した (Fig. 1c, 1d)。それらの値の大小関係が熱伝導率の変化の傾向と一致することから、群速度と緩和時間の変化が熱伝導率の減少に寄与していることが分かった。本研究成果はデバイスの放熱設計に必要な熱物性データの取得に加えて、熱物性への影響の少ない添加物の探索に繋がることが期待される。

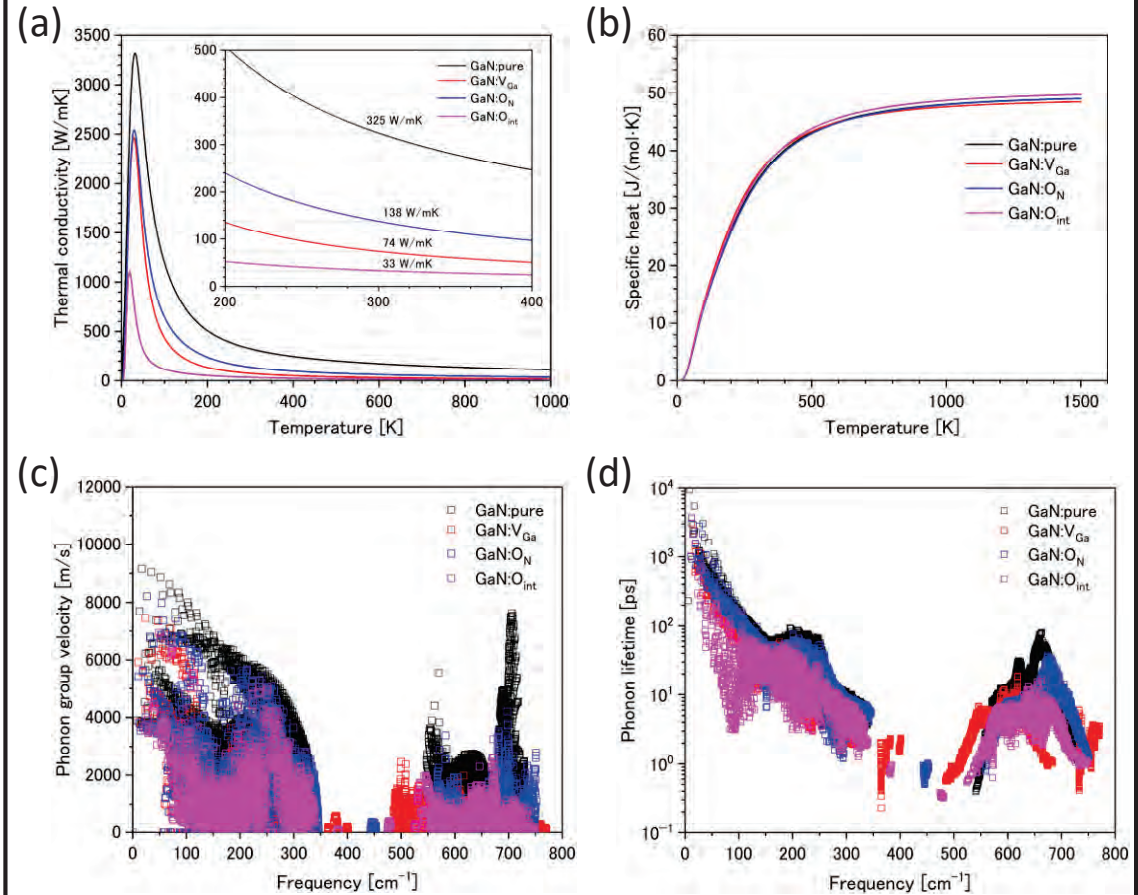


FIG. 1 (a) 熱伝導率の温度依存性、(b) 比熱、(c) フォノンの平均自由行程、(d) フォノンの緩和時間。欠陥密度は約 $1.2 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ に相当する。同位体散乱と寸法効果 (1mm) を考慮した。

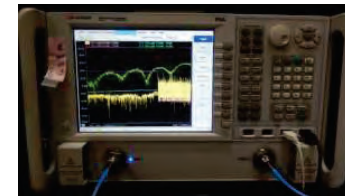
新規伝送線路構造を活用した超高Q値を有する高フォノン収集効率MKID検出器の研究

大谷知行^{1,2}, 伊藤凌太^{1,2}, 亀井雄斗¹, 美馬 寛^{3,1}, 田井野徹^{4,1}

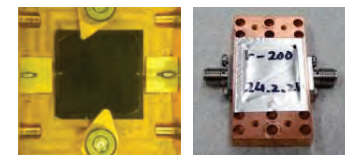
1) 理研・RAP, 2) 東北大理 3) NICT関西, 4) 埼玉大工

SUMMARY

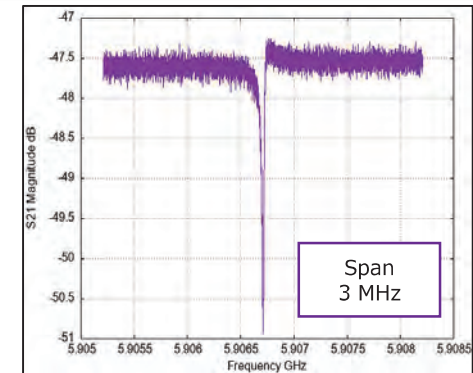
マイクロ波力学インダクタンス検出器(MKID)は、1本の信号線で多ピクセル信号を並列で読み出せるため、近未来の大規模高性能検出器として有望視されている。その感度を決める最も重要な要素の1つが共振器の内部共振値 Q_i である。我々は、共振 Q_i 値を従来の1,000倍以上高くする電極構造を提案し原理検証実験に成功した。一方、これを実際の検出器にアセンブリする技術開発が次なる重要課題である。そこで本研究では、この原理を発展させた具体的な検出器の実現と性能評価を目指し、素粒子実験で要望が強い基板吸収型フォノン検出器として、標準的なサファイヤ基板に代わり、高フォノン異方性を有するLiNbO₃(LN)やLiTaO₃(LT)基板を用いたMKIDデバイスを作製して共振 Q_i 値の評価を行った。その結果、Si基板上に作製した際と同様に共振構造が確認できた。一方、共振 Q_i 値は $(1-8) \times 10^2$ 程度と低く（右図）、基板中に励起されたフォノンポラリトンとの相互作用の影響が考えられる。



ベクトルネットワークアナライザ

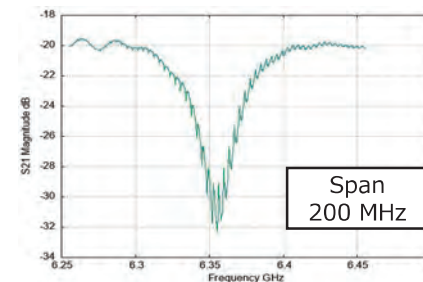


測定サンプルと治具の外観



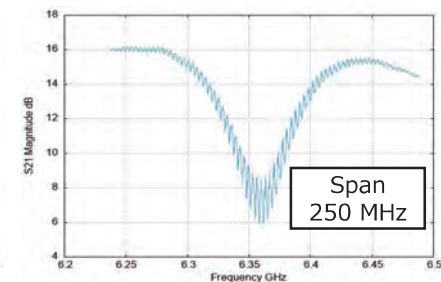
Si基板(141 mK)

共振 Q 値: $2.8 \times 10^4 - 6.9 \times 10^5$



LT基板(4.2 K)

共振 Q 値: $3.3 \times 10^2 - 7.9 \times 10^2$



LN基板(151 mK)

共振 Q 値: $1.0 \times 10^2 - 2.3 \times 10^2$

伊藤凌太, 美馬寛, 田井野徹, 亀井雄斗, 大谷知行, 2023年度RAPシンポジウム, 2024.2.29-3.1.

FIG. 測定実験に用いたVNA、測定用のセットアップ、Si基板上に作製したMKIDの共振構造、LN・LT基板上に作製したMKIDの共振構造

カーボンナノチューブフォレスト横方向電気特性評価

古田 寛¹, 亀岡 伸義¹

1) 高知工科大学 システム工学群

SUMMARY

カーボンナノチューブフォレストの横方向IV特性を評価した。高さ $1\mu\text{m}$ 以下に調整して合成したCNTフォレスト上面にFIGに示すように金電極を蒸着し、CNTフォレストの横方向IV特性を評価した。CNTフォレストの構造は触媒のアニール時間を増加することで 740°C で合成したCNTフォレストの構造評価と導電率の比較を行った。導電率の高い試料はCNT直径が大きく、CNT面密度が低いことが分かった。 715°C で合成したCNTフォレストでは、10時間のIV特性間欠計測を行い、IV特性においてコンダクタンスが上昇していく現象を見出した。電流によるCNT同士のコンタクト形成とメモリ効果の発現が示唆された。

引用 亀岡伸義, 高知工科大学修士論文 (2024.03)

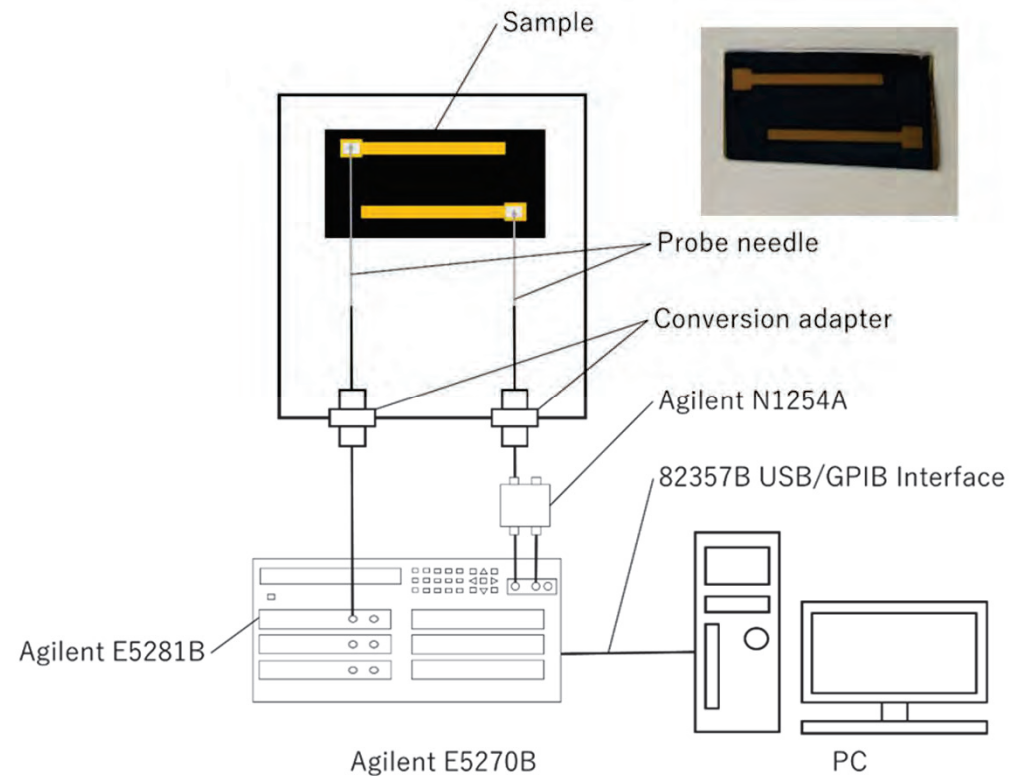


FIG. CNTフォレストの横方向電気特性評価装置構成[1]

プラズマ対向材の数値モデリング

砂原淳¹, 城崎知至², 難波慎一², 西原功修³, 山本直嗣⁴, 森田太智⁴, 東口武史⁵, 富田健太郎⁶, 畑昌育⁷, 長友英夫³

¹⁾ Center for Materials Under Extreme Environments (CMUXE), School of Nuclear Engineering, Purdue University, USA, ²⁾ 広島大学, ³⁾ 大阪大学レーザー科学研究所, ⁴⁾ 九州大学, ⁵⁾ 宇都宮大学, ⁶⁾ 北海道大学⁶⁾ QST関西研

SUMMARY

我々はレーザー核融合プラズマから炉設計に至る解析に使える数値シミュレーションコードの開発を目指している。核融合燃焼プラズマからの入力に対する核融合炉第一壁の応答を中心とした諸過程（粒子-壁、輻射-粒子-壁相互作用、壁のダイナミクス）のミクロ、マクロにわたる応答について定量的な物理モデリング環境構築を目指している。本年度二温度エネルギー保存手法の改良を図った2次元輻射流体シミュレーションコードStar2Dを用い、極端紫外(EUV)光源で使用するスズプラズマのダイナミクス及びEUV発光について包括的な検討を行った。レーザー核融合はもとより、レーザー加工、x線源、レーザー核融合ロケットにおける磁気スラスタ、レーザー加速におけるプリプラズマの時間発展など、多様な条件で計算を行うことにより、Star2Dの計算精度及び有効性、計算精度を確認するとともに、着実なコード改良により数値安定性のさらなる向上を図っていく。

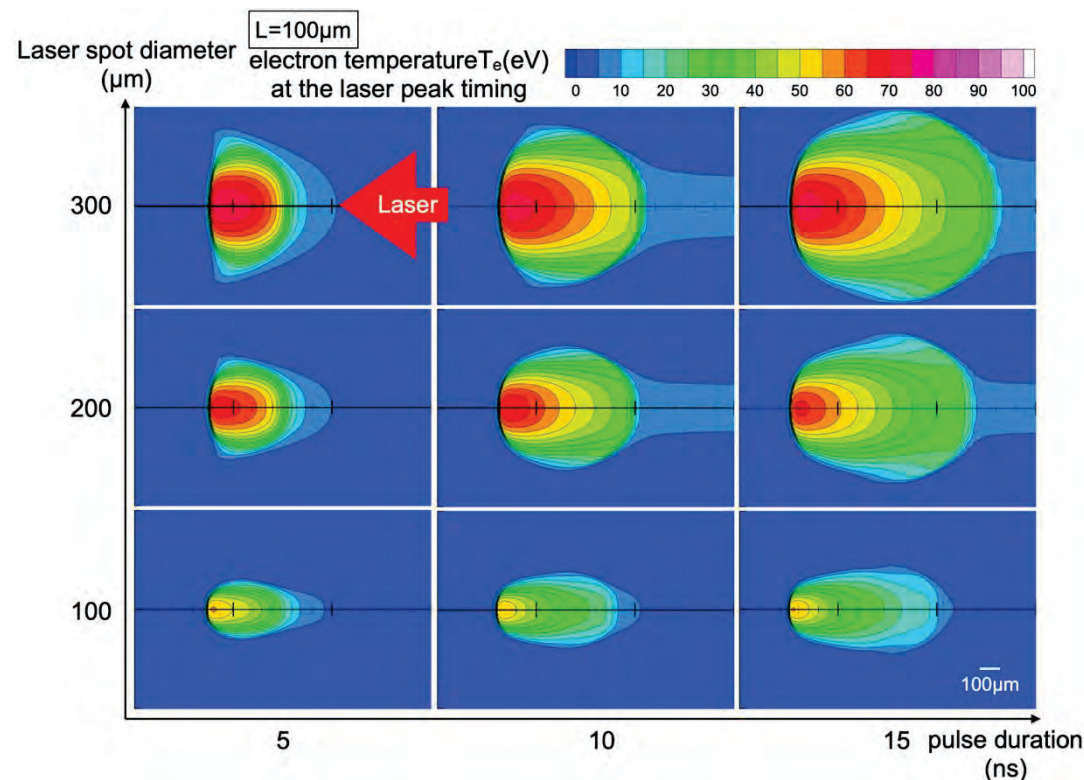


FIG. Star2Dを用いて初期スケール長100 μm のスズプリプラズマに右からCO₂レーザーを照射した時の膨張プラズマの2次元分布。レーザースポット径、パルス幅を変化して計算を実施した。図はレーザーピーク時の電子温度

複合アニオン化合物を用いた新規発光材料の開発

荻野拓¹, 尾島響¹, 岩佐祐希¹, 猿倉信彦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

層状化合物の中には、積層構造が天然の量子井戸として機能することにより、様々な特異物性を発現する化合物が存在する。我々はこれまでに、“複合アニオン化合物”の特徴を活用することで多くの層状化合物を発見し、 $\text{Sr}_3\text{Sc}_2\text{Cu}_2\text{Ch}_2\text{O}_5$, $\text{Sr}_2\text{ScCuChO}_3$ [1,2] など励起子発光を示す物質の合成にも成功してきた。これらの化合物は、半導体であるCuS層と絶縁層のSrScO層で構成されバンドエッジ近傍に鋭い発光線が観測される。今回は、類縁化合物である $\text{Ca}_2\text{AlCuSO}_3$ の合成を試みた。温度などの合成パラメータを変化させたところ、900°Cでの焼成により目的相が生成している兆候が見られた。今後は合成条件を変化させて単相化し、物性評価や光学特性評価を進めていく予定である。

[1] H. Ogino *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* 101 (2012) 191901

[2] Y. Iwasa, H. Ogino *et al.*, *J. Mater. Sci.: Mater. Electron.* **30** (2019) 16827-16832

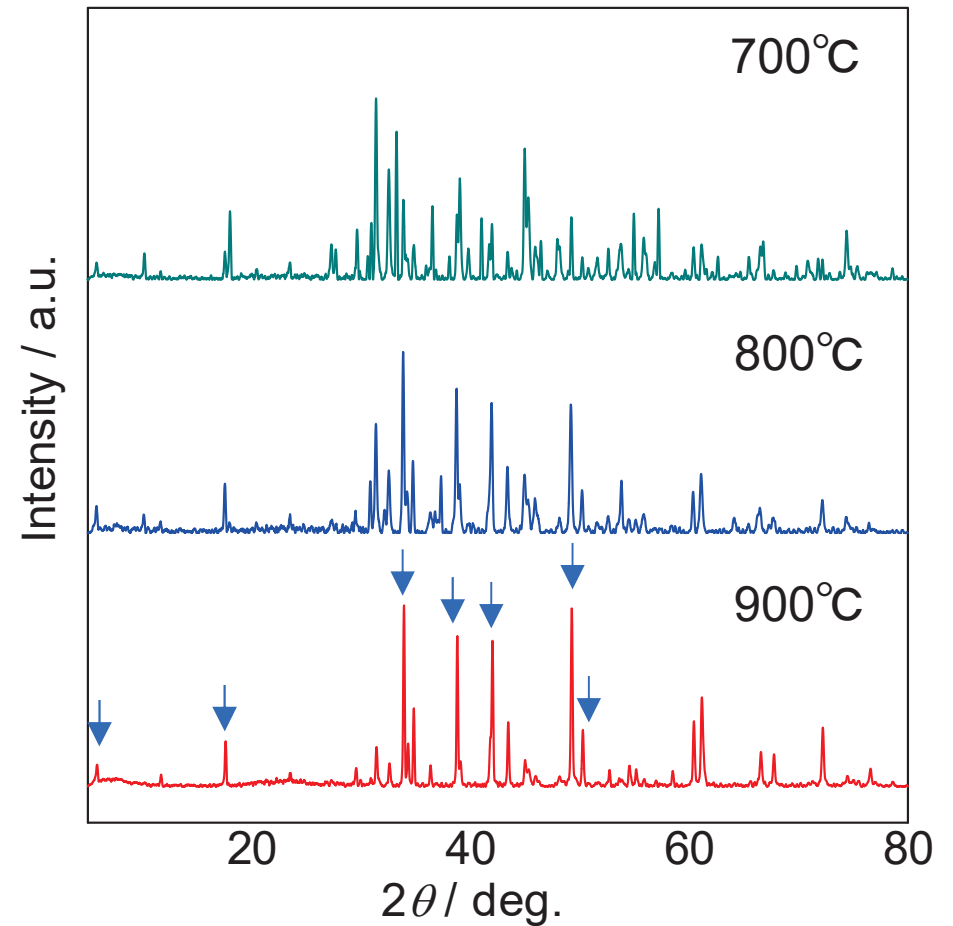


FIG.合成温度を変化させた際の
 $\text{Ca}_2\text{AlCuSO}_3$ のXRDパターン

貴金属ナノドット配列の一括堆積 I

坪井泰之・大阪公立大学 (受入研究者 中田芳樹)

はじめに

金属ナノ構造の応用には表面増強ラマン散乱 (SERS: Surface-Enhanced Raman Scattering) による超高感度分光分析、メタマテリアルや均一・不均一触媒など重要な技術が多く存在し、その設計と製造法が重要な研究テーマとなっている。従来の製造法は、化学還元法などのボトムアップ手法とリソグラフィや量子ビーム加工によるトップダウン手法に大別される。これらは加工時間やコスト、ウェットプロセスによる素材の制約、オンデマンド性の欠如などの問題点がある。一方で、ドナー薄膜の裏面にレーザーを照射しナノサイズの堆積物を形成するLIDT(Laser-Induced Dot Transfer)法はこれらの問題点を持たない。本申請では、干渉パターンLIDT装置を開発し、金属ナノドット配列の作製を目指す。今回は、LIDTプロセスにおける重力の影響を排除するために、倒立したブレッドボードを用いた干渉パターン形成装置を構成する。

実験装置

装置の概略を図1に示す。中心波長785nmのフェムト秒レーザー($\Delta t \sim 240\text{fs}$)のポインティングを数mrad/hで安定化させる。減光フィルター群を透過させたビームは上方に打ち上げられ、倒立ブレッドボードと平行になる(図2)。ビームは4f光学系の一端に配置したDOE(透過型回折格子)で分割し、4本の1次回折光をターゲット上で干渉させる。レンズ群は $f_1 = 300\text{mm}$, $f_2 = 40\text{mm}$ 、干渉角は $\theta = 16.7^\circ$ であり、干渉パターン周期は $\Lambda = 3.6\mu\text{m}$ である。加工部位は真空チャンバー内に配置した($P < 1.3\text{kPa}$)。

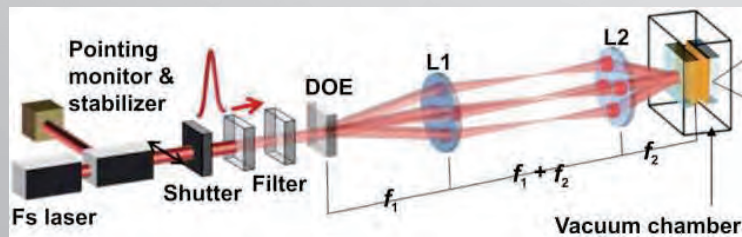


図1 干渉パターン+LIDTの装置概略図

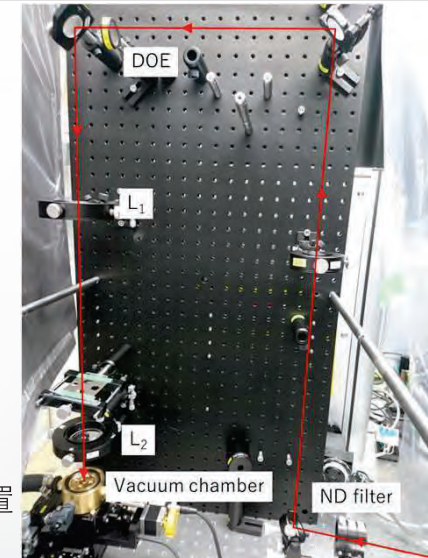


図2 実験装置

発表

- [1] S. Ueda *et al.*, "Parameter study of laser-induced dot transfer technique using interference pattern", LAMOM, LASE conf. SPIE (2023).
- [2] Y. Nakata, "Structural/Shaped Laser Beams for Nanostructuring of Materials (Tutorial)", CLEO conf. (2023).
- [3] Y. Nakata, "Deposition of nanodot array by laser-induced dot transfer technique using interference pattern (invited)", International Workshop on Laser Material Processing and Applications (LMPA) (2023).
- [4] Y. Nakata, "Macro and Micro Beam Shaping and Nanoprocessing (Keynote)", 4th international conference on optics, photonics and lasers (OPL)(2023).
- [5] Kazutaka Akiyoshi, et al., "Size- and Shape-Dependent Separation of Multinary Quantum Dots with Plasmonic Thin-Layer Chromatography", The Journal of Physical Chemistry C, Vol. 128, Issue 2 (2024), 908-918.
- [6] Tatsuya Kameyama et al., "Promoting Oxygen Reduction Reaction by Excitation of Localized Surface Plasmon of Shape- and Facet-Controlled Octahedral Au@Pt Core-Shell Nanocrystals", ChemElectroChem, Vol. 10, Issue 17 (2023), e202300182.
- [7] Tatsuya Nagai et al., "Wavelength-Sensitive Optical Tweezers Using Black-Si Nanospikes for Controlling the Internal Polarity of a Polymer Droplet", ACS Appl. Nano Mater., Vol. 6, Issue 1 (2023), 180-189.

Development of Sub-grid scale Model of Stellar Thermal Convection with New Turbulence Theory and Deep Learning

Summary

令和5年度は、トポロジカルデータ解析の手法で太陽内部の熱対流モデルを検証した。トポロジカルデータ解析:TDAとは、トポロジーの視点(点と点の繋がり方)から空間的な広がりを持つ複雑なデータの特徴を捉えて分類や定量化を行う数学的な解析手法である。今回は、太陽表面の熱対流パターンの観測データと、それを説明するための二種類の数値モデルに対してTDAを行い、その特徴を比較した。図1は本研究のTDAに使った二種類の熱対流モデル(エントロピー勾配駆動型と冷却駆動型)と観測(DKIST望遠鏡)のサンプルデータである。

図2は、TDAの結果得られたパーシステント図(PD図)とその逆解析の結果である。PD図はトポロジー的な「穴」の生成・消滅を特徴づける図であり、まず観測データの解析から、太陽熱対流のPD図には顕著な水平腕構造が存在することがわかった。数値モデルのPD図と比較すると、より太陽の観測データと近いのは、冷却駆動モデルのPD図である。

PD図の利点は、PD図上の特徴的な構造が、実際のデータのどこに対応するか逆解析できることである。PD図の逆解析を行ったところ、観測と冷却駆動モデルで顕著な水平腕構造は、対流の上昇流セルの中に出現する「点状」の下降流構造に対応し、数学的には「トポロジカル欠陥」に対応する構造であることを明らかにした。

政田洋平(福岡大学)

図1:TDAに使ったデータ

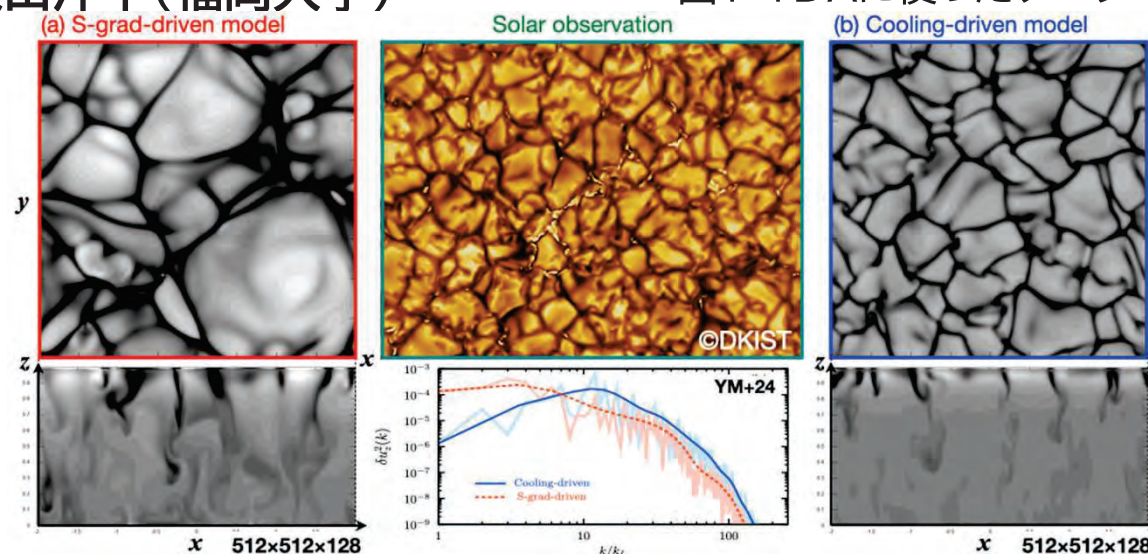
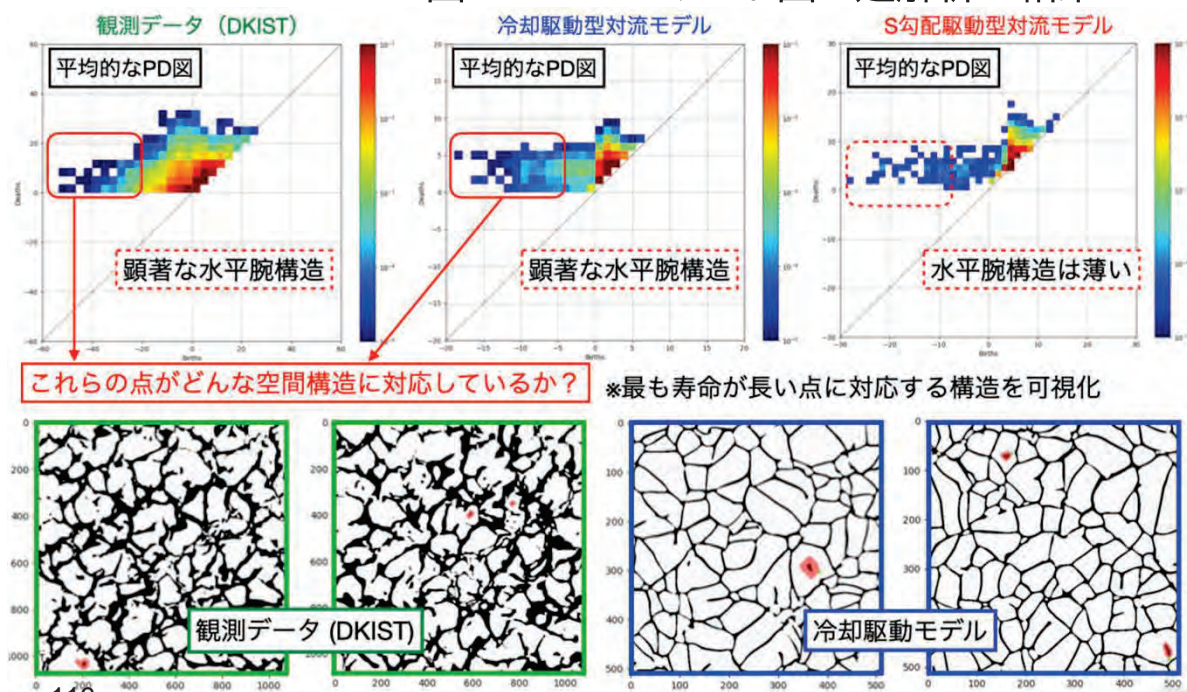


図2:パーシステント図と逆解析の結果



Pulsed laser deposition of tin on silicon substrates using nanosecond laser

M. Wada¹, J.E. Hernandez², N. Tanaka², and S. Fujioka²

1) *Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University, Kyotanabe, Kyoto, 610-0321 Japan,*

2) *Institute of Laser Engineering, 2-6 Yamada-oka, Suita, Osaka, 565-0871, Japan*

SUMMARY

Pulsed laser deposition is used to mimic the phenomenon of tin debris contamination in extreme ultraviolet lithography (EUVL) scanner systems. A nanosecond pulsed laser of 1064 nm wavelength, 5 ns pulse width is used to fabricate tin coated silicon samples using pulsed laser deposition for the future use in evaluating the performance of extreme ultraviolet light-assisted cleaning device in ILE, Osaka University. Experiments are performed in Doshisha University. The laser light is focused on the lens, creating a 1 mm spot diameter on a 10 mm cylindrical tin target corresponding to a 5×10^9 W/cm² laser intensity, as shown in the left side of Fig. 1. The deposition conditions are at 5×10^{-6} Torr at 20000 laser shots at 10 Hz repetition rate. The right side of Fig.1 shows the deposited tin on the silicon samples. The tin coated samples will be analyzed by a scanning electron microscope. Investigation of varying laser shots will be performed in this fiscal year.

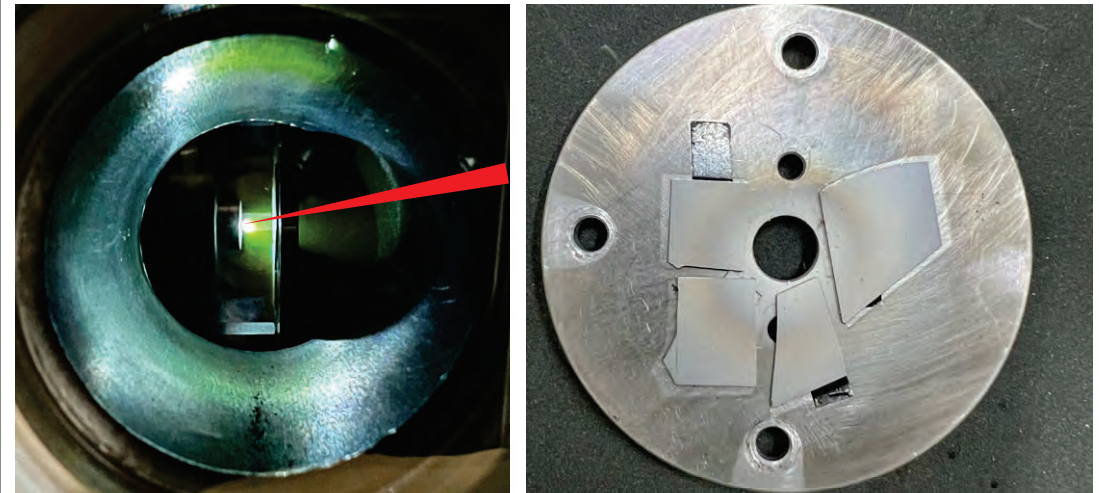


FIG. 1. (Left) Pulsed laser deposition schematic (Right) Deposited tin image on silicon samples mounted on an aluminum disk holder.

レーザー液中アブレーション法を用いた土壤中放射性物質の分離技術 開発

石崎英佑¹， 中井光男¹， 有川安信²

1) 福井工業大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

放射線核種による汚染土壤の除染では、粘土層に吸着した汚染物質の除去が課題となっている。化学的除染法によって除去できない、物理的に固着している（「内包」されている）物質を除去するには、土壤粒子の破砕が必要であると考えられている。本研究では、粘土層の主要成分であるバーミキュライトにレーザー照射することによって土壤粒子を粉砕することによって、粉砕度（粒径分布）とCs回収率を測定する。

本年度は、福井工業大学での炭酸ガスレーザーと大阪大学レーザー科学研究所のYAGレーザーを用い、類似のエネルギー、照射条件でサンプル照射を行い、粘土粒子の粉砕分布を調べた。パルス幅、波長の違いにも関わらず、大きな差異は観測されず、今後、照射系の改善が必要であると考えられる。

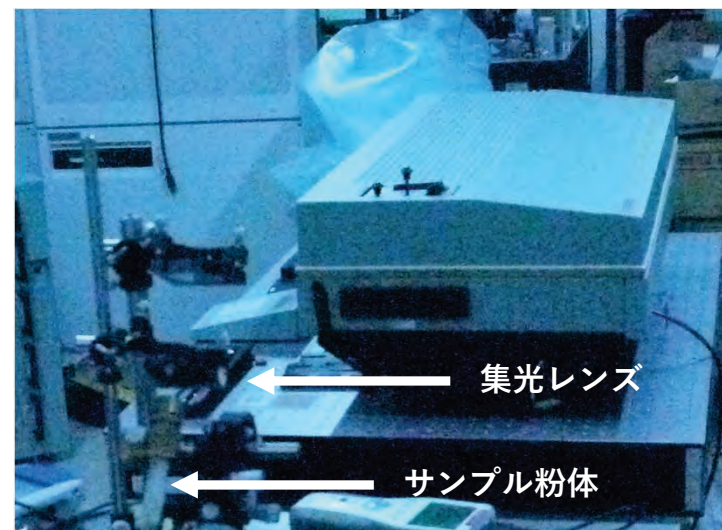


表. YAG レーザーによる破砕

	試料(測定時)	20 μ m 以下	割合(%)
水 117mj	0.47 g	0.02 g	4.26
水 139-150mj	0.48 g	0.02 g	4.17
水 f=5.2cm	0.18 g	0.01 g	5.56
直接 117mj	0.49 g	0.04 g	8.16

FIG. サンプル照射実験系

YAGレーザー（Continuum Model PL6010）の出力を集光レンズ（f/150 or f/52）でサンプル（バーミキュライト粉体 w/ or w/o 水）に照射し、粉砕率を導出した。

貴金属ナノドット配列の一括堆積 II

坪井泰之・大阪公立大学 (受入研究者 中田芳樹)

はじめに

金属ナノ構造の応用には表面増強ラマン散乱 (SERS: Surface-Enhanced Raman Scattering) による超高感度分光分析、メタマテリアルや均一・不均一触媒など重要な技術が多く存在し、その設計と製造法が重要な研究テーマとなっている。従来の製造法は、化学還元法などのボトムアップ手法とリソグラフィや量子ビーム加工によるトップダウン手法に大別される。これらは加工時間やコスト、ウェットプロセスによる素材の制約、オンデマンド性の欠如などの問題点がある。一方で、ドナー薄膜の裏面にレーザーを照射しナノサイズの堆積物を形成するLIDT(Laser-Induced Dot Transfer)法はこれらの問題点を持たない。本申請では、干渉パターンLIDT装置を開発し、金属ナノドット配列の作製を目指す。今回は、AuとPtの薄膜を使用した結果を比較検討する。

実験装置

フェムト秒レーザー($\Delta t \sim 240\text{fs}$)のビームを $4f$ 光学系の一端に配置したDOE(透過型回折格子)で分割し、4本の1次回折光をターゲット上で干渉させる。レンズ群は $f_1 = 300\text{mm}$, $f_2 = 40\text{mm}$ 、干渉角は $\theta = 16.7^\circ$ であり、干渉パターン周期は $\Lambda = 3.6\mu\text{m}$ である。LIDT部は真空チャンバー内に配置した($P < 1.3\text{kPa}$)。加工対象の材料はシリカガラス基板に堆積したAu, Pt薄膜であり、それぞれの膜厚は40nm, 50nmである。

実験結果

堆積したナノドットの電子顕微鏡像を図2に示す。Auでは干渉パターンに従ってナノドットが整然と堆積している。対照的に、Ptではランダムな配列となっており、この傾向は平均フルエンスが $75\text{mJ}/\text{cm}^2$ から $106\text{mJ}/\text{cm}^2$ の範囲で一貫して見られた。この差異は、LIDTプロセスにおける液状金属の中間物質としての特性(粘性、熱伝導率、融点、沸点など)の違いに起因すると推測される。これをさらに探究するため、異なる金属材料の薄膜を用いた実験を検討している。

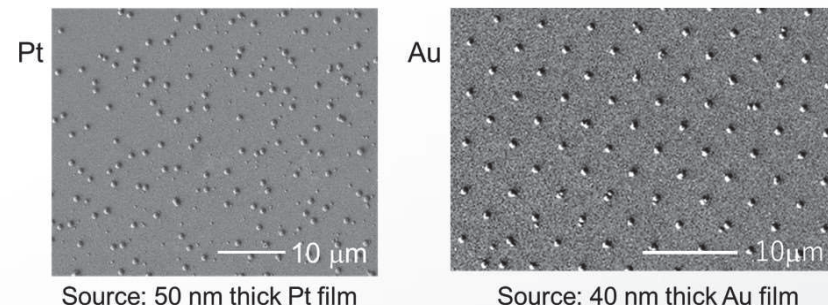


図2 Au及びPt薄膜の干渉パターンLIDT：ナノドットの電子顕微鏡像

発表

- [1] S. Ueda *et al.*, "Parameter study of laser-induced dot transfer technique using interference pattern", LAMOM, LASE conf. SPIE (2023).
- [2] Y. Nakata, "Structural/Shaped Laser Beams for Nanostructuring of Materials (Tutorial)", CLEO conf. (2023).
- [3] Y. Nakata, "Deposition of nanodot array by laser-induced dot transfer technique using interference pattern (invited)", International Workshop on Laser Material Processing and Applications (LMPA) (2023).
- [4] Y. Nakata, "Macro and Micro Beam Shaping and Nanoprocessing (Keynote)", 4th international conference on optics, photonics and lasers (OPL)(2023).
- [5] Kazutaka Akiyoshi, et al., "Size- and Shape-Dependent Separation of Multinary Quantum Dots with Plasmonic Thin-Layer Chromatography", The Journal of Physical Chemistry C, Vol. 128, Issue 2 (2024), 908-918.
- [6] Tatsuya Kameyama et al., "Promoting Oxygen Reduction Reaction by Excitation of Localized Surface Plasmon of Shape- and Facet-Controlled Octahedral Au@Pt Core-Shell Nanocrystals", ChemElectroChem, Vol. 10, Issue 17 (2023), e202300182.
- [7] Tatsuya Nagai et al., "Wavelength-Sensitive Optical Tweezers Using Black-Si Nanospikes for Controlling the Internal Polarity of a Polymer Droplet", ACS Appl. Nano Mater., Vol. 6, Issue 1 (2023), 180-189.