



レーザー科学研究所
令和4年度（2022年度）

共同利用・共同研究成果報告書

（令和4年4月-令和5年3月）

ILE Annual Report of Collaborative Research
April 2022 - March 2023

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4年度は、前述の通り「高エネルギー密度科学先端研究拠点」として新たな拠点事業を開始するとともに、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行いました。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、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可能とするマトリクス共創推進センターを設置しました。これにより、大学の国際競争力と世界の知をよび寄せる求心力を向上させ、世界水準の知識集約型の教育研究拠点としての大学機能を強化いたします。令和4年度、各種連携において大きな成果が得られています。また、複数の連携による共創へ向けた取り組みも開始いたしました。例えば、学際連携+国際連携の推進を目的に、レーザー連携室を大阪大学人文学研究科に設置（令和4年7月1日）し、レーザーによる文化財探索を行うとともに文理連携の人材交流を開始しました。さらに、文理連携をより加速するために、フィリピンのサン・カルロス大学博物館長を客員教授として招へい致しました。加えて、産学連携+国際連携+施設連携として、ルーマニア政府の資金のもとルーマニアに3者連携（阪大レーザー、オカモトオプティクス、ELI-NP）による新たな施設（仮称：高出力光学センター）の設置と先端光学素子の共同研究開発を進める合意が正式に決定されました。なお3者の合意書交換式は、令和4年3月7日、ヨハニス ルーマニア大統領と岸田首相立ち合いのもと首相官邸で行われました。

令和5年度において、前述の通り、「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、新たに設置したマトリクス共創推進センターの活動を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。さらに多様なステークホルダーからの利用が期待されている100J級の繰り返しパワーレーザーシステムの整備・利用が計画されています。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いきたいと考えております。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たいと考えております。今後とも当拠点活動に対する皆様のご理解ご支援のほど、よろしくお願い申し上げます。

令和5年6月
大阪大学レーザー科学研究所長 兒玉 了祐

目次 INDEX

レーザー宇宙物理学 Laser Astrophysics

2022A1-001YAMAZAKI	Experiments of collisionless shocks propagating into magnetized plasma	Ryo Yamazaki	青山学院大学・理工学部	P.9
2022A1-002KOENIG	Radiative shocks as star progenitors	KOENIG	Laboratoire LULI	P.10
2022A1-004MATSUKIYO	Long time evolution of magnetized plasma shock generated by high power laser	Shuichi Matsukiyo	九州大学・大学院 総合理工学研究院	P.11
2022A1-006MORACE	Demonstration of ultra-high intensity LFEX with Hyperbolic Plasma Mirror for generation of Relativistic Electromagnetic Shock and near-relativistic ion beams.	Alessio Morace	Institute of Laser Engineering	P.12
2022A1-012TANAKA	Structure of magnetized bow shock and magnetic reconnection in astrospheres	Shuta Tanaka	青山学院大学 理工学部 物理科学科	P.13
2022A1-015BOLOUKI	Experimental investigation on the magnetic reconnections driven by electron dynamics.	Nima Bolouki	Ming Chi University of Technology	P.14
2022A1-022SAKAWA	Particle acceleration via magnetic reconnection using coil target	Youichi Sakawa	Institute of Laser Engineering, Osaka University	P.15
2022B2-023ISAYAMA	Particle acceleration by counter propagating waves in magnetized plasma	Shogo Isayama	Kyushu University	P.16
2022B2-025TANAKA	Preparation to laser experiments of induced Compton Scattering	Shuta Tanaka	青山学院大学理工学部 物理科学科	P.17
2022B2-030TAKEZAKI	Development of pulsed magnet for magnetized collisionless shock experiment using high power laser	Taichi Takezaki	富山大学・工学部	P.18
2022B2-037MIZUTA	Study of laboratory experiments of hydrodynamic instabilities in astrophysical jet propagation by ultra-intense lasers	Akira Mizuta	理化学研究所・開拓研究本部	P.19
2022B2-038TOKUMOTO	Development of New Soil Moisture Detection System by Neutrons	Ieyasu Tokumoto	佐賀大学・農学部	P.20
2022B2-039FUKUDA	Ion acceleration using collisionless shocks produced in nonequilibrium plasmas	Yuji Fukuda	Kansai Photon Science Institute (KPSI), National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology (QST)	P.21
2022B2-056KISAKA	Theoretical study for experimental verification of coherent radiation and stimulated emission conditions for fast radio bursts	Shota Kisaka	広島大学大学院 先進理工系科学研究科	P.22

2022B2-061OHIRA	Investigation of plasma instabilities in the collisionless shock foot region	Yutaka Ohira	The University of Tokyo	P.23
超高压物性・惑星物理学 High Pressure/Laser Earth & Planetary Science				
2022A1-026OZAKI	Observation of phase transition kinetics using laser-driven decaying shock compression	Norimasa Ozaki	大阪大学・大学院工学研究科	P.24
2022A1-028SATO	Melting behavior of silicate during planetary evolution	Tomoko Sato	Department of Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima Univ.	P.25
2022B2-050YANO	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.26
超高強度磁場科学 High Magnetic Field Science				
2022A1-2021004JOHZAKI	Development of electron beam control scheme using kilo-tesla-class self-generated-resistive magnetic fields	Tomoyuki JOHZAKI	Hiroshima University・Graduate school of advanced science and engineering	P.27
2022B2-032JI	Data analysis of low-beta reconnection driven by laser-powered capacitor coils	Hantao Ji	Princeton University	P.28
2022B2-044NISHIUCHI	Investigation of the formation of high intensity laser produced highly charged heavy ion plasmas	Nishiuchi Mamiko	QST	P.29
2022B2-047TAGUCHI	Interaction between ultra-intense laser and plasmas	Toshihiro Taguchi	日本原子力研究開発機構 敦賀総合研究開発センター	P.30
量子ビーム科学 Quantum Beam Science				
2022A1-014ARIKAWA	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.31
2022A1-020YOGO	"Dynamic Neutron Analysis" enabling single-shot measurements of nuclei	余語覚文(阪大)	大阪大学レーザー科学研究所	P.32
2022A1-2020001MIRFAYZI	Laser-driven Cold/Thermal Neutron: Activation and Radiography Applications	Mirfayzi, Seyed Reza		P.33
2022A1-2020002KRISHNAMURTHY	Bright laser-driven x-rays and neutron source in liquid micro-cluster target via strong shock waves	Krishnamurthy Manchikanti	TIFR	P.34

2022B2-026HIGASHIGUCHI	Regenerative D2O target for high-repetition rate laser-driven quantum beam source	Takeshi Higashiguchi	宇都宮大学・工学部	P.35
2022B2-033ABE	Study on laser-driven repetitive particle acceleration using liquid jet targets	Yuki Abe	大阪大学大学院工学研究科	P.36
2022B2-040HATA	Ionization physics and its control on ultrahigh intense laser ion acceleration	Masayasu Hata	Kansai Photon Science Institute, National Institutes for Quantum Science and Technology	P.37
2022B2-042IWAMOTO	Development of a solid deuterium foil target system for laser neutron generation	Akifumi Iwamoto	核融合科学研究所	P.38
2022B2-057HAYAKAWA	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.39

プラズマ科学 Plasma Science

2022A1-009FUJIOKA	Tailoring of Relativistic Laser-Plasma Interactions in Multi-Pico-Second Time Scale	Shinsuke Fujioka	大阪大学レーザー科学研究所	P.40
2022A1-021SHIGEMORI	Revisit of the ablation scaling with high power laser irradiation	Keisuke Shigemori	Institute of Laser Engineering, Osaka University	P.41
2022B2-011CAMPOS	Dependence of Richtmyer-Meshkov Instability growth on gas compressibility	Francisco Cobos Campos	University of Castilla-La Mancha	P.42
2022B2-016INUBUSHI	Study of transient state of intense-laser-produced plasma using femtosecond X-ray spectroscopy	Yuichi Inubushi	公益財団法人高輝度光科学研究セ ンター XFEL利用研究推進室	P.43
2022B2-018SENTOKU	Study of isochoric heating physics driven by intense laser using XFEL	Yasuhiko Sentoku	Institute of Laser Engineering, Osaka University	P.44
2022B2-019SENTOKU	Developing a photon scattering model in non-thermal high energy density plasmas in PICLES code	Yasuhiko Sentoku	Institute of Laser Engineering, Osaka University	P.45
2022B2-020IWATA	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.46
2022B2-022MORI	Investigation of electromagnetic wave propagation absorption and plasma heating with counter-illuminating intense laser pulse	Yoshitaka MORI	光産業創成大学院大学	P.47
2022B2-059HIGASHI	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.48

テラヘルツ光科学 Terahertz Science

2022B1-001ONO	Development of broadband antireflection structure in THz region	ONO SHINGO	名古屋工業大学・工学研究科	P.49
2022B1-003MATSUI	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.50
2022B1-006ASAKAWA	Smith-Purcell radiation emitted from a femtosecond electron bunch.	Makoto Asakawa	Kansai University Faculty of Engineering Science	P.51
2022B1-007TANI	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.52
2022B1-009MARUYAMA	Terahertz spectroscopy identification and imaging of biomineral crystal polymorphs	Mihoko Maruyama	大阪大学高等共創研究院/大学院 工学研究科	P.53
2022B1-010KAWAYAMA	Development of ultra-fast terahertz wave measurement system and measurement of conductivity with thermodynamic fluctuation	Iwao Kawayama	京都大学大学院エネルギー科学研 究科	P.54
2022B2-005LEE	Application of Japanese Traditional Pattern (Seigaiha Pattern) to THz-SRR Pattern	Sang-Seok Lee	鳥取大学工学部電気情報系学科	P.55
2022B2-006KAN	Ultrafast detection of terahertz electric field induced by quantum beam	Koichi Kan	大阪大学産業科学研究所	P.56
2022B2-015KUWASHIMA	simultaneity of laser modes in laser chaos through plasmon antenna	クワシマ フミヨシ	福井工業大学工学部	P.57
2022B2-027MAKINO	Terahertz characterization of materials for post 5G/6G technologies	Kotaro Makino	産業技術総合研究所・ デバイス技術研究部門	P.58
2022B2-045MORITA	Spin manipulation using high power THz pulse	Ken Morita	Chiba University	P.59
2022B2-046NASHIMA	Fabrication of metal hole with sharp transmission spectra in terahertz region	菜嶋茂喜	大阪市立大学	P.60
2022B2-049SALVADOR	Radiation damage investigations on MBE-grown GaAs/Si epilayers	Arnel A Salvador	National Institute of Physics University of the Philippines- Diliman	P.61
2022B2-053KOBAYASHI	Selective Decontamination of Tritium in Radioactive Water Using Terahertz and Ultraviolet Light	Kaori Kobayashi	富山大学・学術研究部理学系	P.62
2022B2-054KUWASHIMA	Low cost and stable CW-THz spectroscopy for volcanic ash	Fumiyoshi Kuwashima	Fukui Univ. of Tech.	P.63

パワーレーザー科学 Power Laser Science

2022B2-008SASAKI	Statistical simulation of optical material and its application	Akira Sasaki	量子科学技術研究開発機構・ 関西光科学研究所	P.64
2022B2-013FUJITA	Research on development, control, applications of quantum beam sources	Masayuki Fujita	レーザー技術総合研究所	P.65
2022B2-017KANABE	Improvement of LFEX laser system.	KANABE Tadashi	福井大学 学術研究院 工学系部門 電気・電子工学講座	P.66
2022B2-060NAKAMURA	Optical image transfer by using a multimode fiber	Tomoya Nakamura	産業科学研究所	P.67

光学材料 Laser&Optical Material

2022B1-002MURATA	Improvement on characteristics of Pr ³⁺ -doped glass scintillator for neutron detector	Takahiro Murata	Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto University	P.68
2022B1-004RADUBAN	Exploring fast ultraviolet cross-luminescence scintillation from barium fluoride crystal under high pressure	Marilou Cadatal RADUBAN	School of Natural Sciences, Massey University	P.69
2022B2-004FUJIMOTO	Development on advanced functional optical fiber devices and its application	Yasushi FUJIMOTO	Chiba Institute of Technology	P.70
2022B2-012IWASA	Luminescence properties of rare-earth doped mixed-anion compounds	Yuki Iwasa	産業技術総合研究所	P.71
2022B2-034YOSHIKAWA	Production of Organic Functional Crystals by Using Intensive Lasers	Hiroshi Yoshikawa	大阪大学大学院工学研究科物理 学系専攻	P.72
2022B2-036MORI	Development of high-quality optical borate crystals	Yusuke Mori	大阪大学大学院工学研究科電気 電子情報通信工学専攻	P.73
2022B2-048SAMSON	ZnO Synthesis (via Spray Pyrolysis) and Optical Characterization for Radiation Detection	Vallerie Ann Innis Samson	Philippine Nuclear Research Institute	P.74
2022B2-051ASUBAR	PL spectroscopy of ex-situ regrown AlGa _N layers for enhancement mode GaN-based MIS-HEMTs	Joel T. Asubar	University of Fukui	P.75
2022B2-052KUROSAWA	Development of Transparent Ceramics III	Shunsuke Kurosawa	東北大学・未来科学技術共同研究 センター	P.76
2022B2-055YOKOTA	Growth and evaluations of optical properties of novel oxide single crystals with high melting point	Yuui Yokota	Institute for Materials Research, Tohoku University	P.77

2022B2-058UMEMURA	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.78
一般共同研究 General Subjects				
2022B1-005HABARA	Modeling of magnetic field creation via resistivity gradient in the high density plasma	Hideaki HABARA	Graduate School of Engineering, Osaka University	P.79
2022B2-001FURUKAWA	Development of integrated simulation code on laser processing using ultra short pulse lasers.	Hiroyuki Furukawa	公益財団法人レーザー技術総合研 究所 理論・シミュレーションチーム	P.80
2022B2-002TANABE	Evaluation of laser speckles with red, green, and blue colored laser light sources and its suppression	Minoru Tanabe	国立研究開発法人 産業技術総合研究所	P.81
2022B2-003MATSUOKA	Nonlinear interaction in multi-layer fluid interfaces with density stratification	Chihiro Matsuoka	大阪市立大学・大学院工学研究科	P.82
2022B2-007HEYA	Study on optimization of laser peening conditions	Manabu Heya	大阪産業大学工学部 電子情報通信工学科	P.83
2022B2-009HIROSE	Radiation MHD simulations of accretion disks	Shigenobu Hirose	Center for Mathematical Science and Advanced Technology, JAMSTEC	P.84
2022B2-010ODA	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.85
2022B2-014FURUTA	THz radiation and absorption properties of CNT films	Hiroshi Furuta	高知工科大学・システム工学群	P.86
2022B2-021FURUSE	Development of transparent ceramics	Hiroaki Furuse	北見工業大学	P.87
2022B2-024SANO	Decay instabilities of whistler waves in solar wind plasmas	Takayoshi Sano	Institute of Laser Engineering	P.88
2022B2-028KAWAMURA	First principles calculation of optical and thermal properties of GaN	Takahiro Kawamura	三重大学大学院工学研究科 機械工学専攻	P.89
2022B2-029MOTOKOSHI	Additive manufacturing of silica glass structure by laser writing	Shinji Motokoshi	Institute for Laser Technology	P.90
2022B2-031MASADA	Development of a sub-grid scale model for a stellar convective transport	Youhei MASADA	愛知教育大学・理科教育講座	P.91
2022B2-035SUNAHARA	Numerical modeling of plasma facing materials	Atsushi Sunahara	Center for Materials Under Extreme Environments (CMUXE), School of Nuclear Engineering, Purdue University	P.92

2022B2-041OTANI	Research and Development of MKIDs detector using superconducting metamaterial	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・テラヘル ツイメージング研究チーム P.93
2022B2-043OGINO	Development of novel excitonic luminescence materials by layered mixed-anion compounds	Hiaraku Ogino	産業技術総合研究所 エレクトロニ クス・製造領域 電子光基礎技術研 究部門 P.94
2022C-001KOIZUMI	Development of a system for neutron resonance transmission analysis using a laser driven neutron source	Mitsuo KOIZUMI	日本原子力研究開発機構 核不拡 散・核セキュリティ総合支援セン ター 技術開発推進室 P.95

磁化プラズマ中を伝播する無衝突衝撃波の生成実験

山崎了^{1,2}, 田中周太¹, 佐藤雄飛¹, 塩田珠里¹, 大林花織¹, 城所佑奈¹, 鈴木俊輔¹, 矢倉彰真¹, 佐野孝好², 江頭俊輔², 前田亘佑², 鈴木悠斗², 花野正浩², 蔵満康浩³, 南卓海³, 境健太郎³, 松清修一⁴, 諫山翔伍⁴, 森田太智⁴, 高橋健太⁴, 東力也⁴, 忍田昂太郎⁴, 中山学⁴, 前之園凱夫⁴, 村本裕耶⁴, 金定功樹⁴, 竹崎太智⁵, 小口拓哉⁵, 松山隼⁵, 重田宗明⁵, 富田健太郎⁶, Pan Yiming⁶, 大西直文⁷, 梅田隆行⁸, 星野真弘⁹, 大平豊⁹, 石井彩子¹⁰, 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) 名古屋大学, 9) 東京大学, 10) 山形大学

SUMMARY

超新星残骸などに存在する宇宙の低密度媒質中の磁化無衝突衝撃波の生成実験を行った。ショット前に窒素ガス 1 Torr を封入し、外部磁場をかけ、アルミ・ターゲットに激光XII号HIPERレーザーを照射した。外部磁場3.9 Tを印加したショットを16回行うことに成功した。プラズマ自発光、トムソン散乱、B-dot計測などを行い、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、アルミプラズマと窒素プラズマの境界面の不安定性の起こる場所が、磁場の極性を変えることで反対になった(FIG)。このことは、アルミプラズマがビアマン過程により磁化されていることを示唆し、ビアマン過程が衝撃波生成において一役を担っていることを示すものかもしれない。

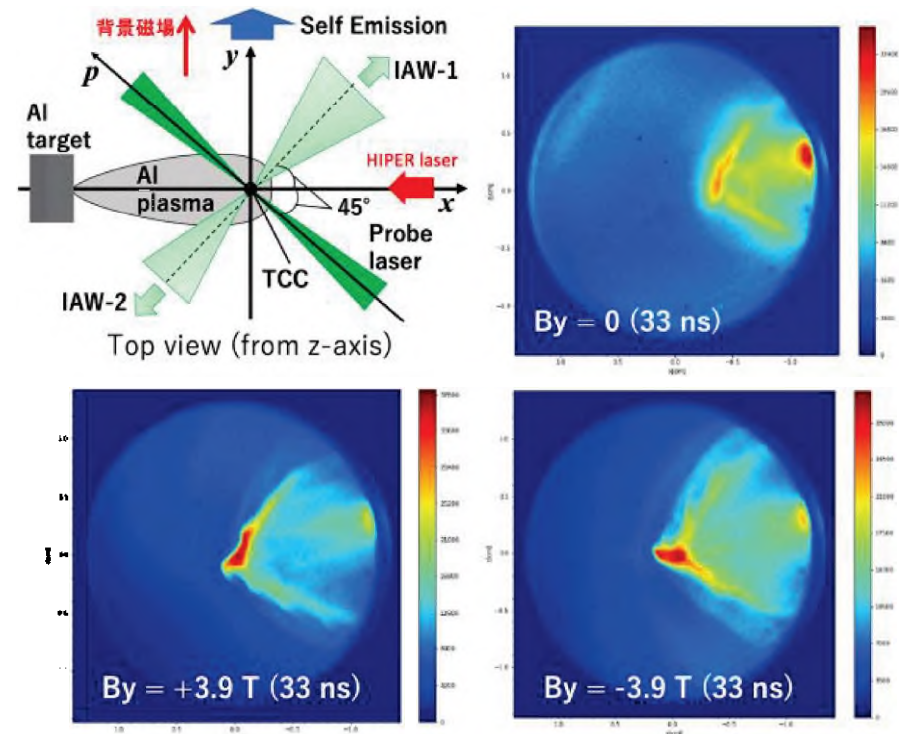


FIG. 自発光計測結果。外部磁場は計測視野(紙面)に垂直にかかっている (y 方向)。右上は背景磁場のない場合の結果。境界面の波打ち構造の位置が、背景磁場を反転すると上下反対になることを発見した。

Radiative shocks as star progenitors

Y. Benkadoum¹, B. Albertazzi¹, G. Rigon¹, Y. Sakawa², A. Dearling², F. Lefevre¹, M. Koenig¹

¹ LULI, CNRS, CEA, Ecole Polytechnique, UPMC, Univ Paris 06: Sorbonne Universités, Institut Polytechnique de Paris, F-91128 Palaiseau cedex, France

² Institute of Laser Engineering, Osaka University, Suita, Osaka 565-0871, Japan

SUMMARY

The interaction of strong RS with structures and inhomogeneities of the ISM is a central problem in astrophysics. We performed a study on the effects of radiation when a RS interacts with an object mimicking a dense clump in the ISM.

The goal of the experiment was to study first the interaction of a radiative shock (RS) as a function of the density ratio between the obstacle and the shock (factor of 1000), second the modification of the RS structure with respect to the initial gas density. In the transverse direction to the propagation of the radiative shock, we implemented a large array of visible diagnostics to measure as much as possible variables. Both studies were successful, as shown in figure 1. For next experiment, we will combine RS and external magnetic field to be closer to the astrophysics conditions.

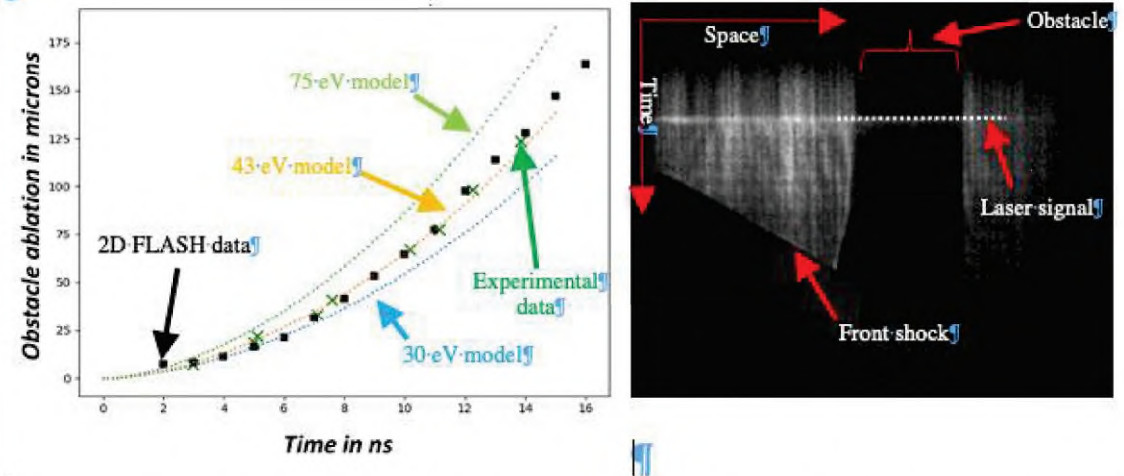


Fig. 1. On the left, an example of a comparison between the obstacle ablation due to radiation of the shock for a 150 mbar of xenon (green crosses), data from a 2D FLASH simulation (black squares) and our theoretical model (dotted colored curves) for different shock temperatures. Right picture is a typical example of result given by the streak camera of the shadowgraphy diagnostic.

Long time evolution of magnetized plasma shock generated by high power laser

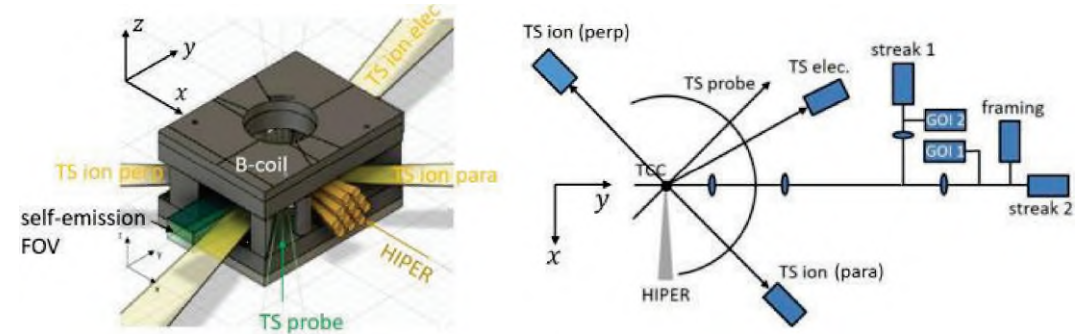
S. Matsukiyo¹, S. Isayama¹, T. Morita¹, T. Takezaki², R. Yamazaki³, S. J. Tanaka³, Y. Kuramitsu⁴, K. Tomita⁵, T. Sano⁶, R. Higashi¹, K. Takahashi¹, K. Oshida¹, G. Nakayama¹, Y. Maezono¹, Y. Muramoto¹, K. Kanesada¹, T. Oguchi², H. Matsuyama², M. Shigeta², Y. Sato³, J. Shiota³, K. Obayashi³, Y. Kidokoro³, S. Suzuki³, S. Yakura³, T. Minami⁴, K. Sakai⁴, P. Yiming⁵, S. Egashira⁶, K. Maeda⁶, 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*

SUMMARY

Long time evolution (> 100 ns) of a collisionless shock propagating in a magnetized nitrogen gas plasma is formed by irradiating an aluminum target plate surrounded by 5 Torr nitrogen gas with Gekko XII laser. We used a number of laser conditions with different pulse duration and laser energy to search preferential conditions for long time driving of a supercritical shock ($M_A > 3$). We could drive a supercritical shock up to ~ 140 ns when a pulse duration is 5.2 ns and laser energy is 5.6 kJ ($3.42E13$ W/cm²). We could also capture shock propagation up to ~ 230 ns by making the size of magnetic coil large so that the field of view of optical measurements is expanded. We further observed that global profile of a shock after $t > 100$ ns varies depending on the laser energy. A collimated clump of the leading edge of the shock is seen for 3 beam shots. A blunt shock is formed for 6 beam shots. Spatial oscillation of shock surface is seen for 12 beam shots.

Experimental setup



Snapshot of self-emission at $t = 110$ ns

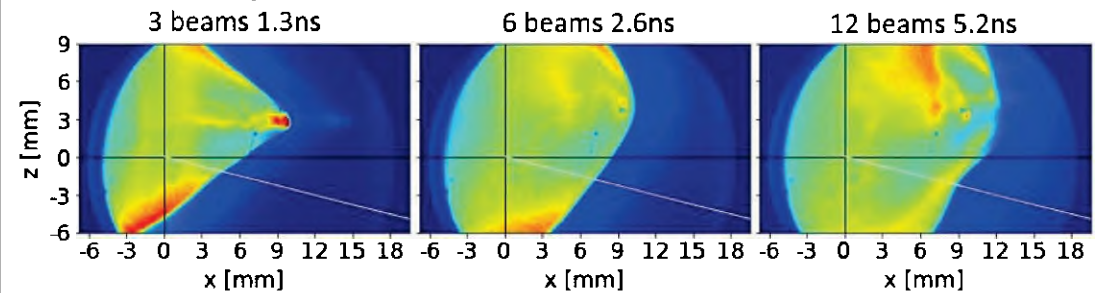


FIG. The upper panels show experimental setup. The lower panels denote GOI images of self-emission at $t = 110$ ns for different laser energy (same intensity): (left) 1.4 kJ, (middle) 2.8 kJ, (right) 5.6 kJ, respectively.

Demonstration of ultra-high intensity LFEX with Hyperbolic Plasma Mirror for generation of Relativistic Electromagnetic Shock and near-relativistic ion beams

Morace¹, Y. Arikawa², Y. Sakawa¹, H. Chen², R. Wilson², P. McKenna², R. Gray³,

1) Institute of Laser Engineering, Japan, 2) Lawrence Livermore National Laboratory, US 3) University of Strathclyde, UK

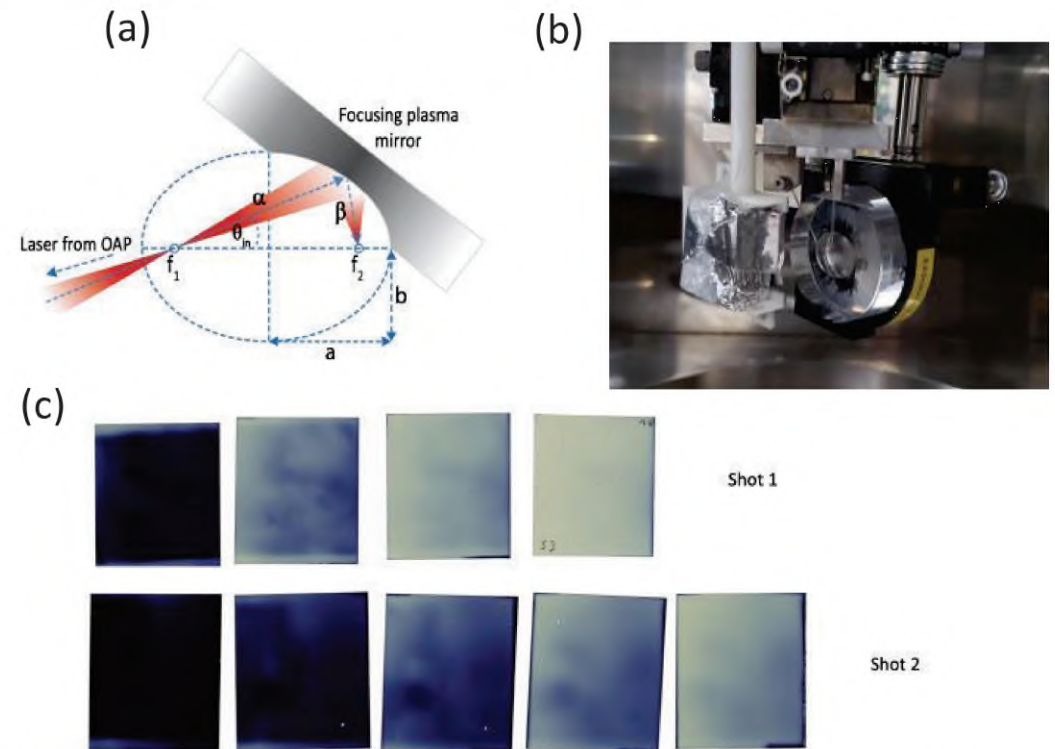
SUMMARY

Achieving extreme laser intensities ($I > 5 \times 10^{20}$ W/cm²) on a kJ-class, picosecond laser system would open a new regime in laser plasma interaction, with applications to experimental astrophysics, ion-based Fast Ignition research and for the development of > 100 MeV/nucleon ion sources.

This experiment represents the first attempt at increasing the LFEX laser intensity using Ellipsoidal Plasma Mirrors provided by co-investigators at the University of Strathclyde.

Experimental results show that high intensity was achieved but no ions were generated due to LFEX uncompressed light irradiating the mirror and target before the main pulse.

We nevertheless generated ultra-relativistic electrons from (expanded) 1 μ m Al foil, indicating that high LFEX intensity was achieved with the Ellipsoidal Plasma Mirror.



(a) Schematic of the Ellipsoidal Plasma Mirror used in the experiment, (b) EPM and RCF stack mounted on the LFEX Laser right after shot (c) Ultra-relativistic electrons obtained in two shots and recorded on the Radio-Chromic Film stack.

天体現象に見られる弓状衝撃波の構造と磁気再結合の模擬実験

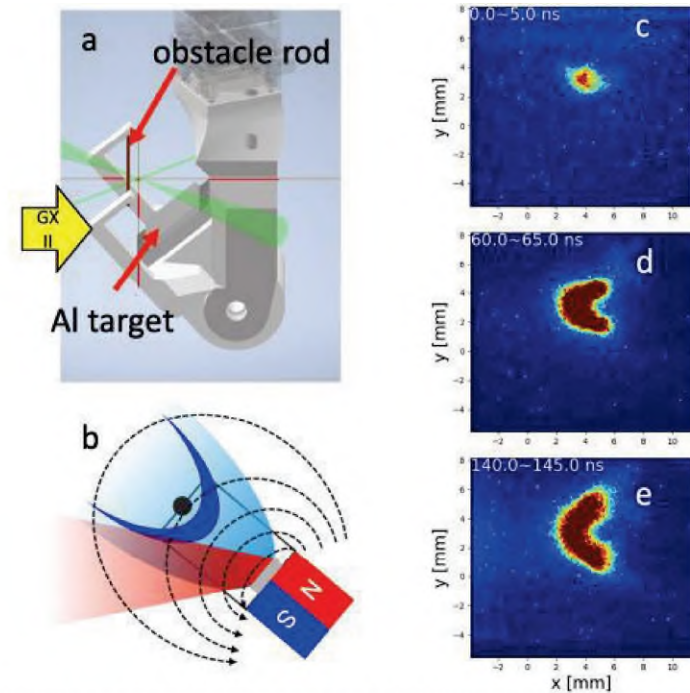
田中周太^{1,2}, 蔵満康浩², 境健太郎², 山崎了^{1,2}, 松清修一³, 森田太智³, 弘中陽一郎², 諫山翔伍³, 安倍勇輝², 当真賢二⁴, 松本仁⁵, 庄田宗人⁶, 佐藤雄飛¹, 塩田珠理¹, 大林花織¹, 城所佑奈¹, 鈴木俊輔¹, 矢倉彰真¹, 佐野孝好², 江頭俊輔², 前田亘佑², 鈴木悠斗², 花野正浩², 南卓海², 倉本恭誓², 高橋健太³, 東力也³, 忍田昂太郎³, 中山学³, 前之園凱夫³, 村本裕耶³, 金定功樹³, 竹崎太智⁷, 小口拓哉⁷, 松山隼⁷, 重田宗明⁷, 富田健太郎⁸,

Pan Yiming⁸, 大西直文⁴, 梅田隆行⁹, 大平豊⁶, 石井彩子¹⁰, 坂和洋一²

- 1) 青山学院大学, 2) 大阪大学, 3) 九州大学, 4) 東北大学, 5) 慶応義塾大学,
6) 東京大学, 7) 富山大学, 8) 北海道大学, 9) 名古屋大学, 9) 山形大学

SUMMARY

図aにAlターゲットに激光GXII号レーザーを照射することで出るアブレーションプラズマの噴き出す先に棒状の障害物を設置し、超音速のプラズマ流が作る弧状衝撃波の形状を観測する。Alターゲットの裏面に磁石があり、Alプラズマ磁化する(図b)。棒を回り込むプラズマ流が作る弧状衝撃波の時間発展の計測結果が図c (0-5 ns), d (60-65 ns), e (140-145 ns)である。図c-eでは左から右に向かってプラズマ流があるように回転している。この他にB-dot計測による周辺の磁場の時間変化も計測している。ターゲット裏面の磁石の配位による衝撃波の形状の違いや、磁場の時間発展の違いが観測された。



a: 実験のセットアップ. Al左からGXIIレーザーを照射し, Alプラズマとロッドの相互作用を計測する. b: 実験模式図. Alターゲットの後面に磁石があり, Alプラズマ磁化する.

Experimental investigation on the magnetic reconnections driven by electron dynamics

N. Bolouki¹, K. Sakai², T. Minami², Y. Abe², F. Nikaido², T. Taguchi², K. Himeno², S. Suzuki², R. Matsuura², K. Kuramoto², T. Yasui², T. Tanaka², Y. Sakai², T. Pikuz², N. Ozaki², Y. Sakawa², M. Hanano², S. Fujioka², Y. Arikawa², A. Morace², W. Y. Woon³, C. M. Chu³, C. S. Jao³, Y. L. Liu⁴, Y. Fukuda⁵, T. Hayakawa⁵, M. Kanasaki⁶, T. Morita⁷, Y. Muramoto⁷, T. Moritaka⁸, H. S. Kumar⁹, N. Ohnishi⁹, Y. Okada¹⁰, G. Gregori¹⁰, 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) Kyushu University, Japan, 8) NIFS, Japan, 9) Tohoku University, Japan, 10) University of Oxford, UK

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 show here the preliminary results demonstrating the waves in the laser-produced plasma.

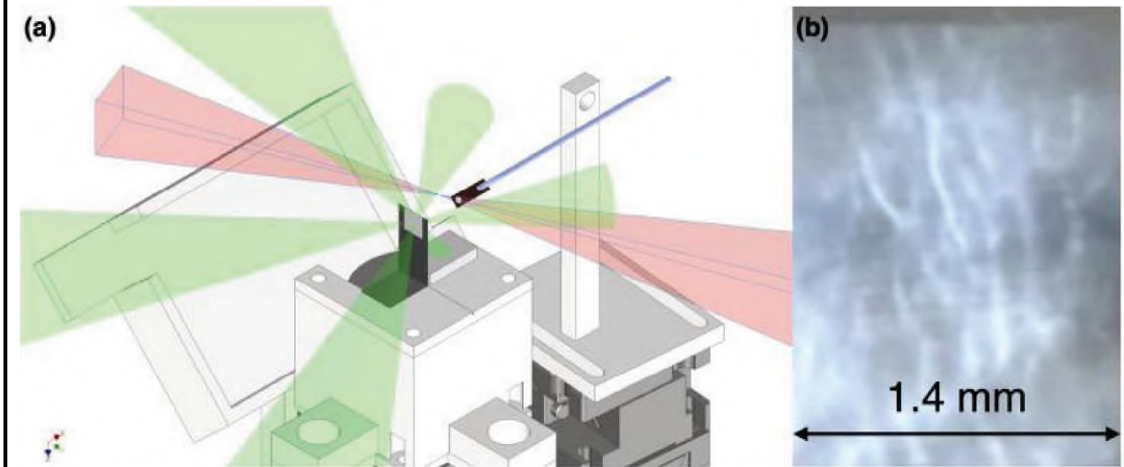


FIG. (a) Mechanical drawing of the experimental setup. Three GXII beams (green) irradiate the Al planar target to produce a fast directional plasma flow, and one GXII beam from the top also irradiates the Al slab target on the bottom to create two-plasma interaction. LFEX laser (red) irradiates an LSG target with defocused intensity. The accelerated ions are detected with SSNTD. (b) Ion radiograph at 10 ns from GXII laser irradiation (partial image) shows wave-like structures.

Particle acceleration via magnetic reconnection using coil target

坂和洋一^A, 江頭俊輔^B, 前田亘佑^B, 鈴木悠斗^B, 花野正浩^B, Adam Dearling^C, Mima Bolouki^D, 前之園凱夫^E, 村本裕耶^E, 森田太智^E, 森高外征雄^F, 佐野孝好^A, 藤岡慎介^A, 蔵満康浩^G, 富田健太郎^H, 松清修一^E, 山崎了^I, Nigel Woolsey^C

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) Masaryk University, Czeck Republic, E) 九州大学 総合理工学研究院, F) 核融合科学研究所, G) 大阪大学 大学院工学研究科, H) 北海道大学 工学研究院, I) 青山学院大学 理工学研究科

SUMMARY

宇宙線の加速機構は未解明であり、磁気リコネクションはその候補の1つとされている。磁気リコネクション現象の全容解明には、巨視的な全体構造の遷移と、リコネクション領域近傍の局所的・微視的な物理過程の理解が不可欠であり、両者の計測が可能なプラズマ実験が有効である。

上下に配置したキャパシタコイルターゲット (CCT) に激光XII号 (1.3 ns, 600 J/b, 100 mm ϕ) を照射し、磁気リコネクションが可能な反平行磁場を生成した。Al平板にLFEX (1.5 ps, < 350 J/b, 30 mm ϕ) を照射することでTNSAによる陽子線を発生させ、ラジオクロミックフィルム (RCF) でコイル磁場とリコネクション電流の同時計測を試みた。2台の電子スペクトロメータ (ESM) を90度異なる電子加速方向に配置してエネルギースペクトルを計測した。YAGレーザーをプローブ光として協同 Thomson 散乱計測を行い、プラズマの速度・温度・数密度の計測を行った。

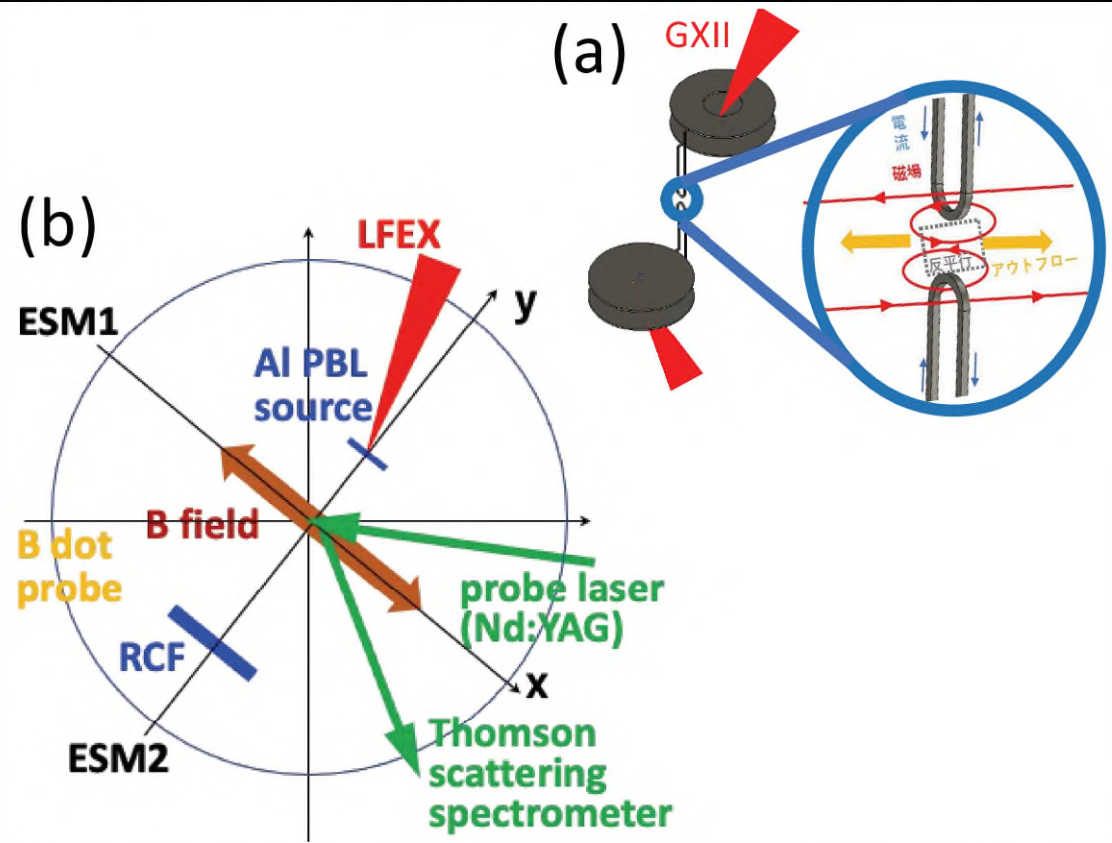


FIG. (a) CCTの配置とGXIIの照射配位、反平行磁場の概略。(b) 生成される磁場方向とLFEXおよび計測器の配置。

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

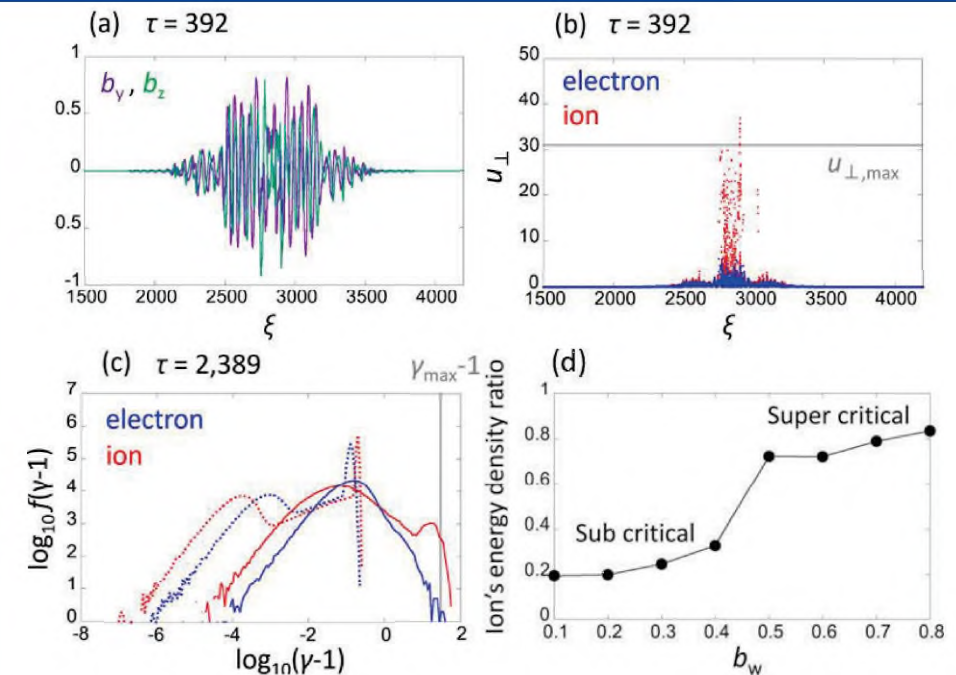
諫山 翔伍¹, 松清 修一¹, 佐野 孝好²

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。本年度は本加速機構で得られる粒子の最大エネルギーと波の振幅の閾値を理論的に導出した。さらに、粒子シミュレーションにより本加速機構が有効に働くことを示し、粒子の最大エネルギーと波の振幅の閾値は理論値と一致することを確認した(右図)。本研究成果はアストロフィジカルジャーナル1に掲載された。

今後はモデルを多次元化し、さらに輻射の効果を取り入れることによって粒子加速と高エネルギー天体で見られる高輝度放射との関係を明らかにする。また、高強度レーザーでの加速機構実証を想定した粒子シミュレーションにより、最適な実験条件を明らかにする。
[P] S. Tsayama, K. Takahashi, S. Matsukiyo and T. Sano, ApJ 964 68 (2023).



粒子計算結果. (a) 波の磁場分布 (初期は左回りの波を与え、イオン加速を想定している). (b) 電子・イオンの磁力線垂直方向運動量分布 (グレーの線は理論的に見積もられる最大運動量). (c) 加速前 (点線) と加速後 (実線) の電子・イオンのエネルギー分布. (d) 加速後の全体に占めるイオンのエネルギー割合.

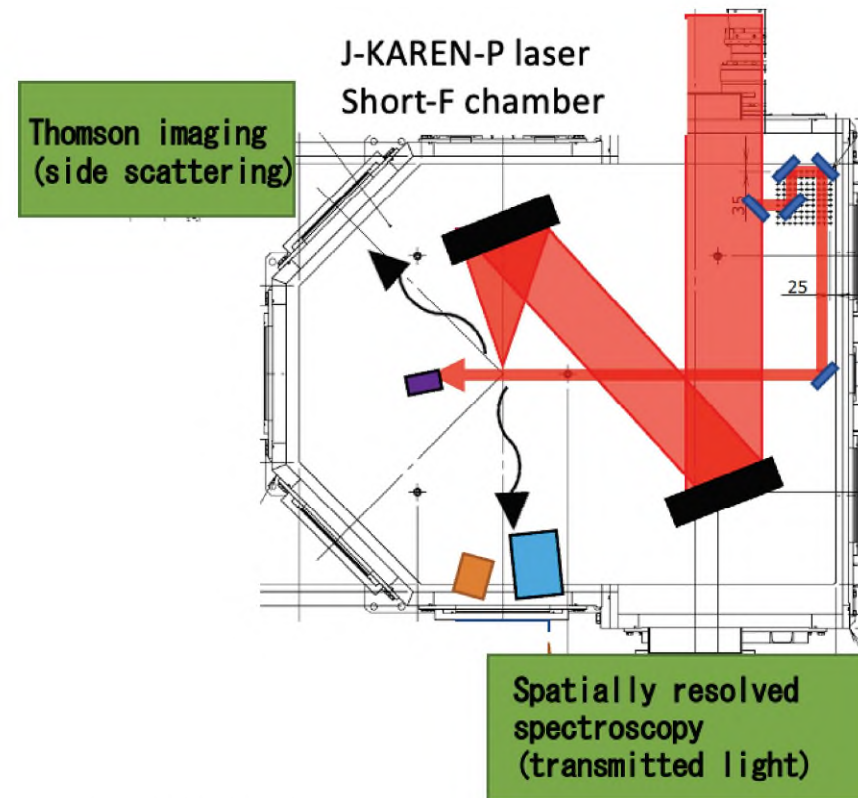
誘導コンプトン散乱のレーザー実験に向けての研究

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(ICS)」というレーザー・プラズマ非線形相互作用の研究である。ICSの理論的研究とそれのレーザー実験での実証を目指す。右図が本年度(2022年11月)に行われたJ-KAREN-Pレーザーを用いた実験のセットアップである。2020年に同じJ-KAREN-Pレーザーを用いた実験からアップデートされたのは主に、(1) J-KAREN-Pレーザーにプラズマミラーが導入されたこと、(2) 空間分解分光器を導入したことの二つである。特に(2)の空間分解分光を導入したことにより、レーザー透過光と背景光を分離してスペクトルの計測ができるようになった。実験データは現在解析中であるが、誘導コンプトン散乱に特徴的なスペクトルを初めて得た。レーザー強度に対する依存性などの誘導コンプトン散乱のより詳細な原理検証実験のために、次年度はルーマニアのExtreme Light Infrastructure - Nuclear Physicsのレーザーを用いた実験を計画している。



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セットアップの概略図。主要な検出器はレーザーのトムソン散乱光計測(左上)と透過光の空間分解分光器(下)。

大型レーザーを用いた磁化無衝突衝撃波実験のためのパルス電磁石装置の開発

竹崎太智¹, 小口拓哉¹, 山崎了², 松清修一³, 森田太智³, 坂和洋一⁴

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

SUMMARY

大型レーザーを用いた磁化無衝突衝撃波実験のためのパルス電磁石装置を開発した (図(a),(b))。衝撃波の長時間発展を観測するため, 従来よりも印加領域の広いコイル負荷を製作した。コイル負荷は絶縁および放電時のローレンツ力による破損を防ぐため, FRP樹脂材で作られた治具で固定される。磁場コイルはヘルムホルツ型とし, コイル間のアルミスペーサーの位置を可変とすることで, プラズマ計測 (自発光, トムソン散乱 (TS)) の視野を提供する。

パルス電源の充電電圧 1.6 kV, 容量 12 mF とした結果, 最大 4 T, 半値幅 1.85 μ s のパルス磁場を出力し (図(c)), 半径 10 mm 以上の領域に均一な磁場を提供した (図(d))。

開発した装置を激光XII号実験に使用し, レーザー実験で 10 shot 以上の繰り返し性を持つことを確認した。また, レーザー生成プラズマに外部磁場を印加したところ, プラズマ挙動の変化を観測した。

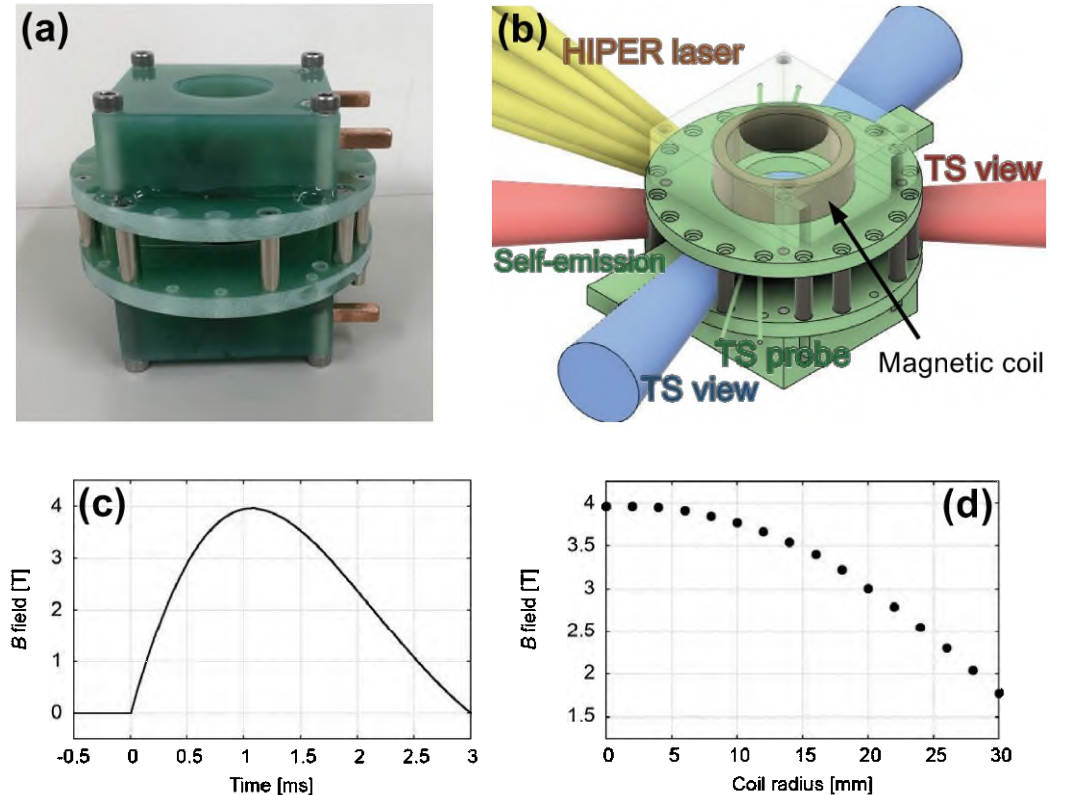


FIG. 開発したパルス電磁石の概要. (a) 製作したコイル負荷, (b) 実験配置図, (c) 磁場の時間発展, (d) 磁場の空間分布.

超高強度レーザープラズマ実験による宇宙ジェット伝搬における 流体不安定性成長の模擬実験の検討

水田晃¹, 蔵満康浩², 西本貴博², 坂和洋一³

1) 理化学研究所, 2) 大阪大学工学研究科, 3) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

宇宙において様々なスケールでジェットが見られる。ジェットは星間物質中などを伝搬していく時にバウ衝撃波を形成し、その内側には高圧のコクーンを形成する。ジェットはこのコクーン圧に支えられ収束を保ちながら長距離にわたって伝搬する。ジェットは伝搬しながら横方向にわずかに膨張、収縮を繰り返す。横方向の振動運動に伴い、ジェット界面に実効的加速度がかかる。そのため条件によってはRTIが成長し、ジェット伝搬のダイナミクスに大きな影響を与えている。

ターゲット形状、入射レーザーの方向などを工夫し、超高強度レーザープラズマによって実験室で宇宙ジェットの伝搬の模擬実験が可能かどうかの検討を行っている。シミュレーションにおいて、ターゲット物質をフレキシブルに変更できるようにFLASHコードからRAICHO(東北大、大西)コードへの移行を行っている。

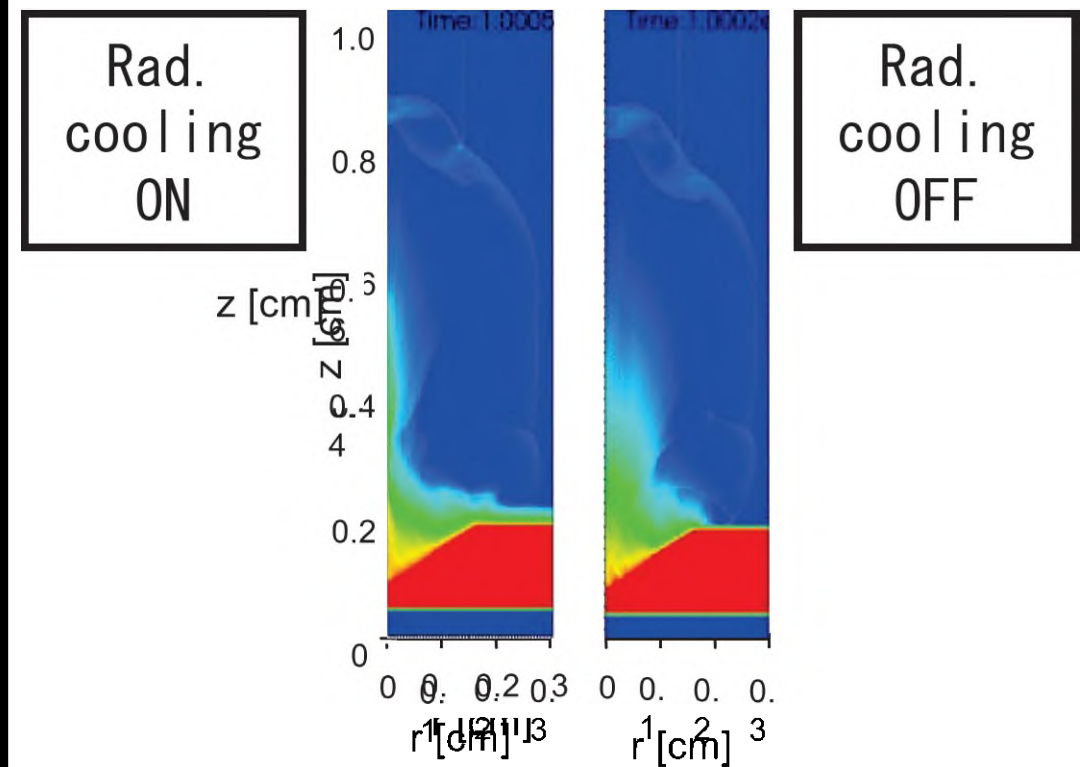


FIG. Dimple (120度)形状のAl ターゲット表面に500J のレーザーを照射する。チャンバーにHe ガスを充填させている。輻射冷却の影響によって、アウトフローが細く絞られることを確認した。輻射冷却の効果が効率よくなるよりhigh-Z ターゲットについてもシミュレーションを行いたい。

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^{1,2}, 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

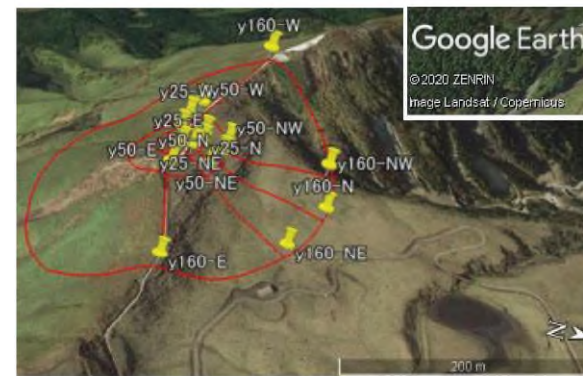
SUMMARY

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、宇宙線土壌水分観測システム (COSMOS) の計測値と中性子バブル検出器 (BDTおよびBDS10、100、600、1000) の比較を行った。圃場試験地 (南阿蘇夜峯山) (FIG.a, b) では、熱外中性子数の経時変化を観測した*。計測領域の中心地で中性子バブル検出器による計測を試みた。中性子バブル検出器ではバブルがほとんど検出されず、BDS1000においてもほとんど不検出であった。これに対して、COSMOSの熱外中性子数カウントは、1時間間隔計測および24時間移動平均値において、およそ850~950で推移した。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。

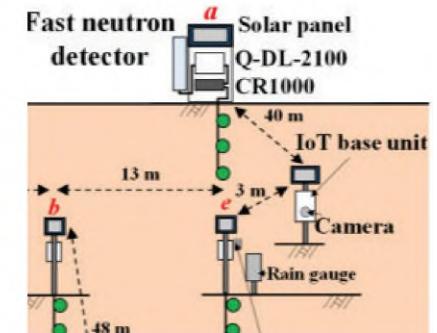
今後は、宇宙から降り注ぐ熱外中性子数に焦点を当てた計測において、より長い観測期間における比較検討が考えられる。

*Tokumoto et al. (2022): Near-surface Soil Moisture Observation on the Hillslope using Cosmic-ray Neutrons: A Case Study of Landslide Warning System, WCSS, Glasgow.

(a)



(b)



(c)

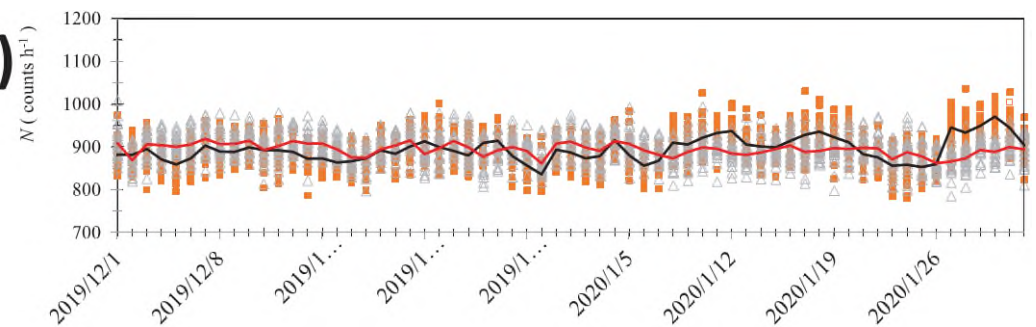


FIG.圃場における計測: (a) 研究圃場, (b) COSMOSの計測概略図, (c) COSMOSの計測値の例

Ion acceleration using collisionless shocks produced in nonequilibrium plasmas

Y. Fukuda¹ and Y. Sakawa²

1) *Kansai Photon Science Institute (KPSI), National Institutes for Quantum Science and Technology (QST), Japan,*

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

SUMMARY

We have investigated collisionless shock ion acceleration (CSA) using a high-intensity ps-pulse laser system with a modest normalized vector potential [1]. In a near-critical density plasma that consists of multi-component ion species C_8H_7Cl , only protons are accelerated, which is clear evidence of CSA and agrees with the prediction by 2D PIC calculations. 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. This work illustrates how laboratory studies of ion acceleration at collisionless shocks can be an important tool to understand some of the collisionless physics associated with space and astrophysical shocks.

[1] Y. Sakawa et al., submitted to Phys. Rev. Lett. (2023).

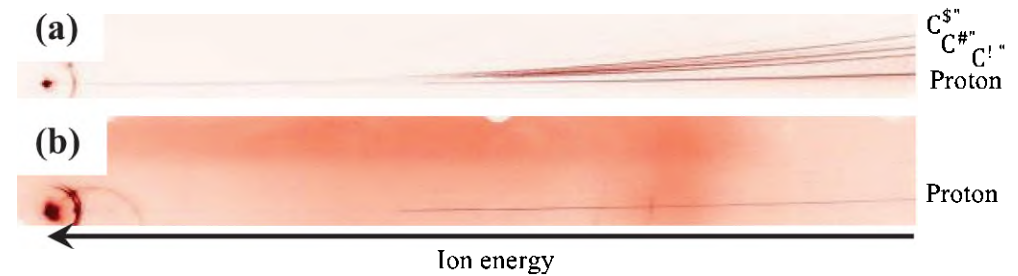


FIG. Raw data of TPS (a) without and (b) with the ablation laser. a_0 is 1.6 and 2.0 for (a) and (b), respectively. The target is a foil of C_8H_7Cl with a thickness of $1 \mu m$. Whereas signals from protons and carbon ions appear when the drive laser alone is used, whilst only a proton signal is detected when the ablation laser is used.

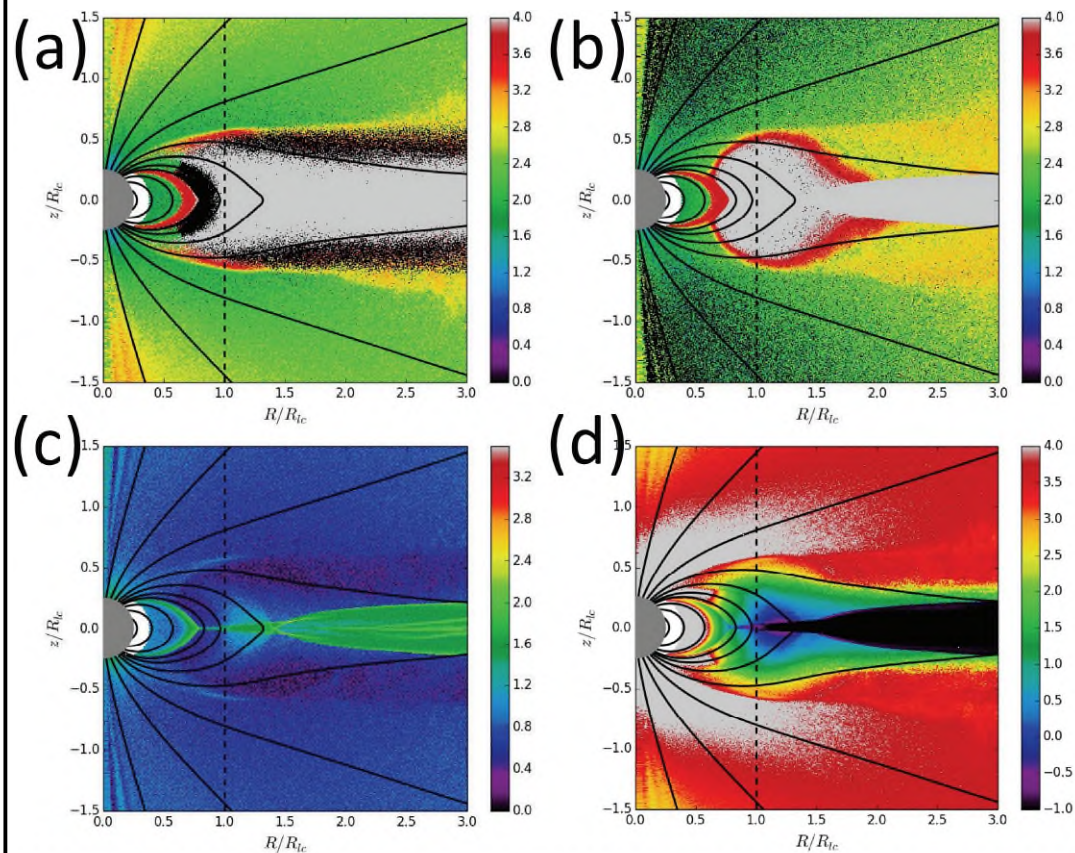
高速電波バースト解明のためのコヒーレント放射条件と誘導放射条件の実験的検証に向けた理論検討

木坂将大¹, 田中周太², 住友洋介³, 坂和洋一⁴

1) 広島大学大学院先進理工系科学研究科, 2) 青山学院大学理工学部, 3) 日本大学量子化学研究所, 4) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

本研究は、「コヒーレント放射」や「誘導放射」の物理機構の理解を目指した、レーザー実験による検証に向けた理論研究である。本年度はコヒーレント放射が実現すると考えられている中性子星磁気圏のプラズマの個数、エネルギー分布、磁化率を図のように明らかにした。この結果をもとに、実験で擬似的に再現可能なセットアップの検討を行った。コヒーレント放射の理解は謎の天体現象である高速電波バーストの機構として有力で、その起源解明や宇宙論などへの応用への寄与も期待できる。



Particle-in-Cell シミュレーションによる電子と陽電子のローレンツ因子(a,b), 個数密度(c), 電磁場と粒子のエネルギー比(d). プラズマビームの生成領域の物理状態が特定できる。

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*

SUMMARY

This research studied the evolution of plasma instabilities in collisionless plasma modeling the foot region in a collisionless shock by performing two-dimensional full PIC simulations. We modified the initial momentum distribution of the protons in a uniform proton-electron plasma to investigate the effect of the return protons from the shock region on the plasma instabilities evolution. As shown in the figure, the electric energy density developed before $500 \omega_{pe}^{-1}$, as the signature of the initial electron heating by Buneman instability. Compared to the simulation case with return protons, in the case without return protons, the plasma instabilities following the Buneman instability take a longer time to grow and have not yet shown saturation within the simulation time. This result showed the change in plasma instability when the impulsive nature of reflected protons from shock region, which is observed by recent space observation, being taken into account.

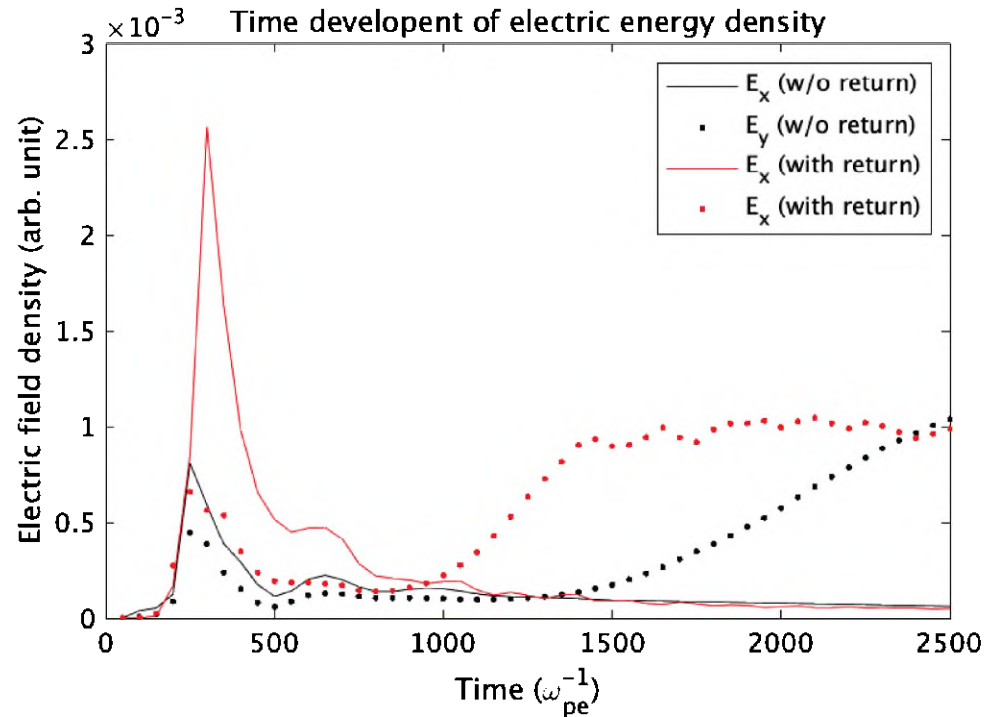


FIG. Time development of electric energy density in PIC simulation. The black color represents the simulation with only reflected protons, and the red color represents the case with both reflected and return protons.

ディケイングショックによる相転移カインेटクスに関する実験的検討

知場一航¹, 尾崎典雅^{1,2}, 片桐健登^{1,3}, 野中敬太¹, 岩本良太¹, 政岡豪流¹, 佐野孝好², 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) スタンフォード大学

SUMMARY

多結晶状態の金属において、結晶粒径が微細化するにつれてその硬度が増すことが一般に知られている。これは塑性変形を担う転位の伝搬が、結晶粒界で阻害されるためと考えられており、粒界強化効果と呼ばれる(1)。高速の動的な圧縮過程において、このようなドメインのサイズによる物性の顕著な変化は、実験的にはほとんど検討されていない(2)。本研究では、平均粒径約 $1\mu\text{m}$ の透光性多結晶サファイア試料を用いて、衝撃圧縮過程における粒サイズと衝撃圧縮特性などとの関係を、単結晶サファイアの結果と直接比較して検討した。その結果、衝撃圧縮特性には結晶粒サイズによる影響は見られず、その一方で衝撃温度では顕著な影響が現れることが初めて明らかとなった。

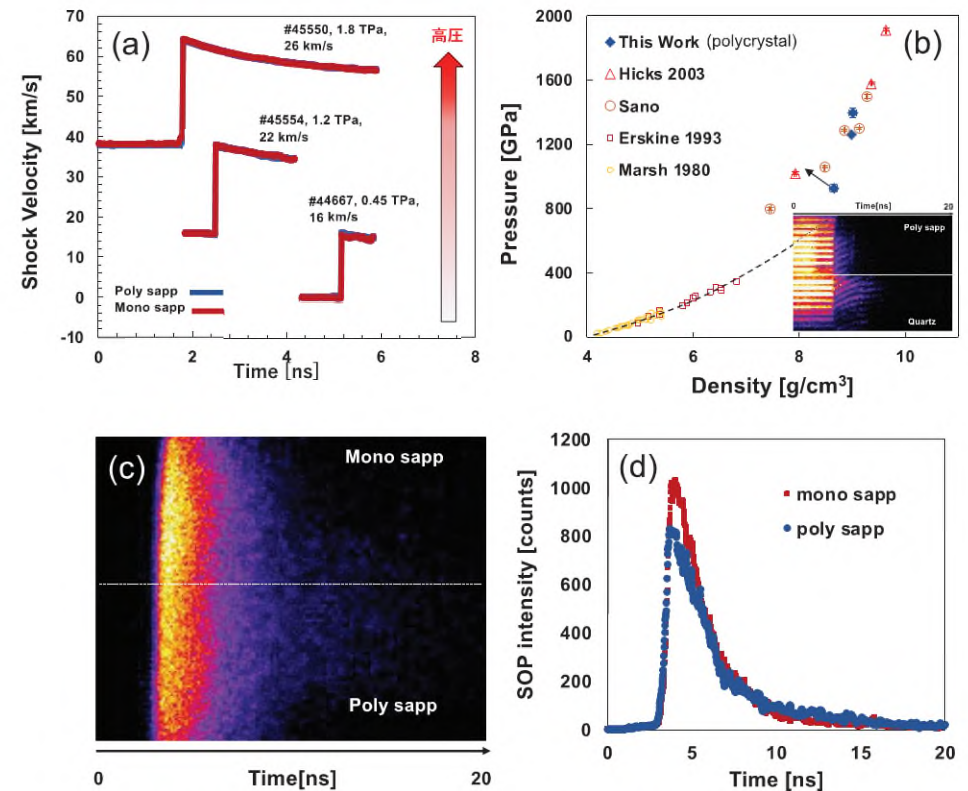


FIG. 実験および解析結果. (a) 異なる圧力域の衝撃波速度プロファイル. (b) 単結晶と比較した衝撃圧縮特性. (c) 自発光計測 (SOP) のストリークカメラ画像. (d) その強度プロファイルの比較.

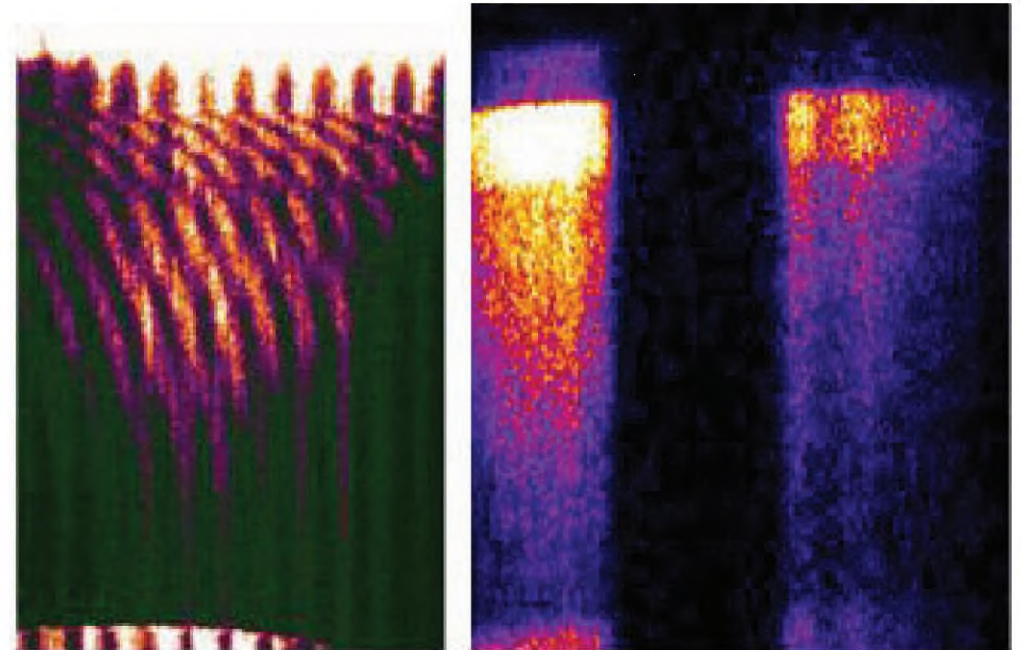
ケイ酸塩の惑星内部における融解挙動の解明

佐藤友子¹, 尾崎典雅², 佐野孝好³, 兒玉了祐^{2,3}

1) 広島大学大学院先進理工系科学研究科, 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

岩石型惑星の主要構成物質であるケイ酸塩の地球・惑星中心部に相当する超高压・高温条件下における状態方程式や電氣的性質を調べるため、 MgSiO_3 組成の高密度相であるブリッジマナイトを試料として減衰衝撃圧縮下におけるVISAR・SOP・分光スペクトル測定を実施した。分光スペクトルに関しては、450nm-750nm範囲の広い波長範囲での輻射スペクトルを測定することに成功し、より正確な温度・放射率および電気伝導度を算出できると期待される。固化するとされる650GPa付近で、SOPには明瞭な変化が観察されなかったが、輻射スペクトルと反射率についてより詳細な解析を試みたい。



VISAR

Spectroscopy

FIG. ブリッジマナイト試料のVISAR・分光スペクトル測定結果

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 (3)

矢野創^{1,5}, 長友英夫², 弘中陽一郎², 佐野孝好², 田端誠³, 平井隆之⁴, 中澤淳一郎⁵

- 1) 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, 2) 大阪大学レーザー科学研究所,
3) 千葉大学, 4) 千葉工業大学, 5) 総合研究大学院大学

SUMMARY

海洋天体プルームや惑星円環試料のその場計測やサンプルリターンを目指し、(1) 10km/s以上の超高速で微粒子が標的へ衝突するエネルギーに相当する実験設備の構築と、(2) 衝突生成物から微粒子の物質情報を抽出する捕集機構の基礎開発を行っている。

2022年度には、微粒子の衝突エネルギーとそれを模擬するレーザー照射の類似点、相違点の調査を開始した。具体的にはハイドロコード計算 (AutodynおよびiSALE) によって氷微粒子が金属標的へ衝突する際に生成する破砕物、昇華ガス、電離物質の発生率と衝突速度の関係を探り、同エネルギー条件でのレーザー照射実験を再現するPINOCOシミュレーション結果と比較した。

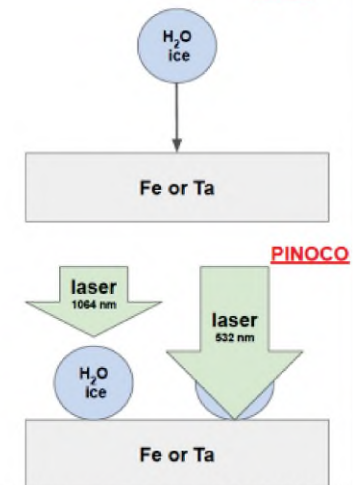
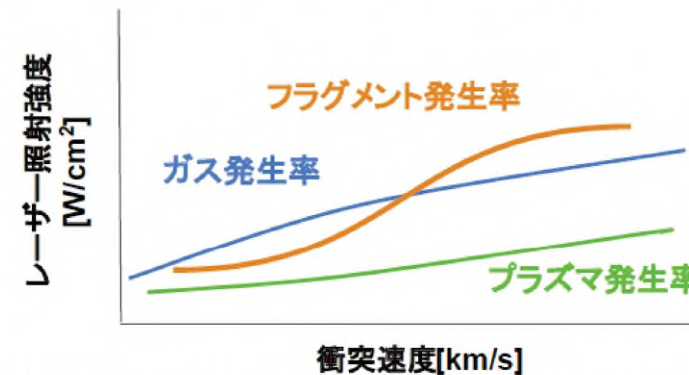
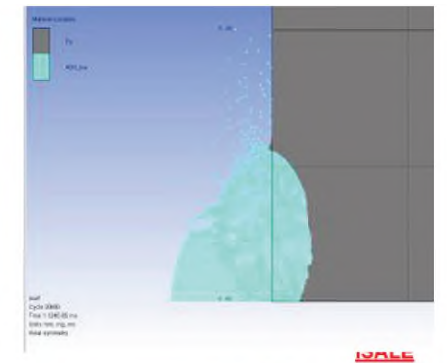
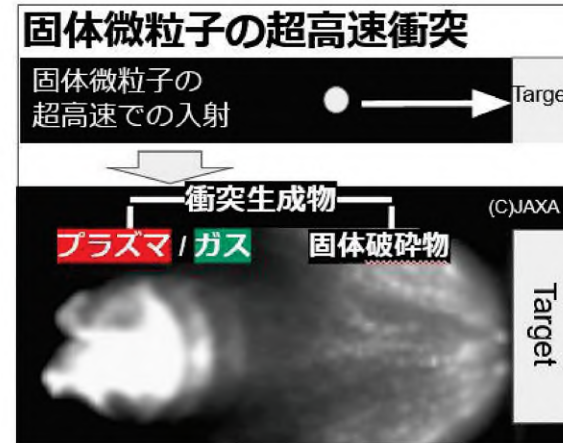


FIG. (左上) 超高速微粒子の衝突生成物、(右上) 氷微粒子のタンタル標的衝突の模擬計算、(左下) 衝突生成物に関するレーザー照射強度と微粒子衝突速度の相関性の概念図、(右下) iSALEとPINOCOコードの計算モデル。

Development of electron beam control scheme using kilo-tesla-class self-generated-resistive magnetic fields

T. Johzaki^{1,2}, S. Fujioka², K. Yoshitake¹, H. Nagatomo², R. Takizawa², J.-Y. Dun², H. Morita^{2,3}, T. Maekawa², T. Tsuido², K. F. F. Law², M. Takemura², S. Guo², B. Zhu²

1) Hiroshima University, Japan, 2) Osaka University, Japan, 3) Utsunomiya University

SUMMARY

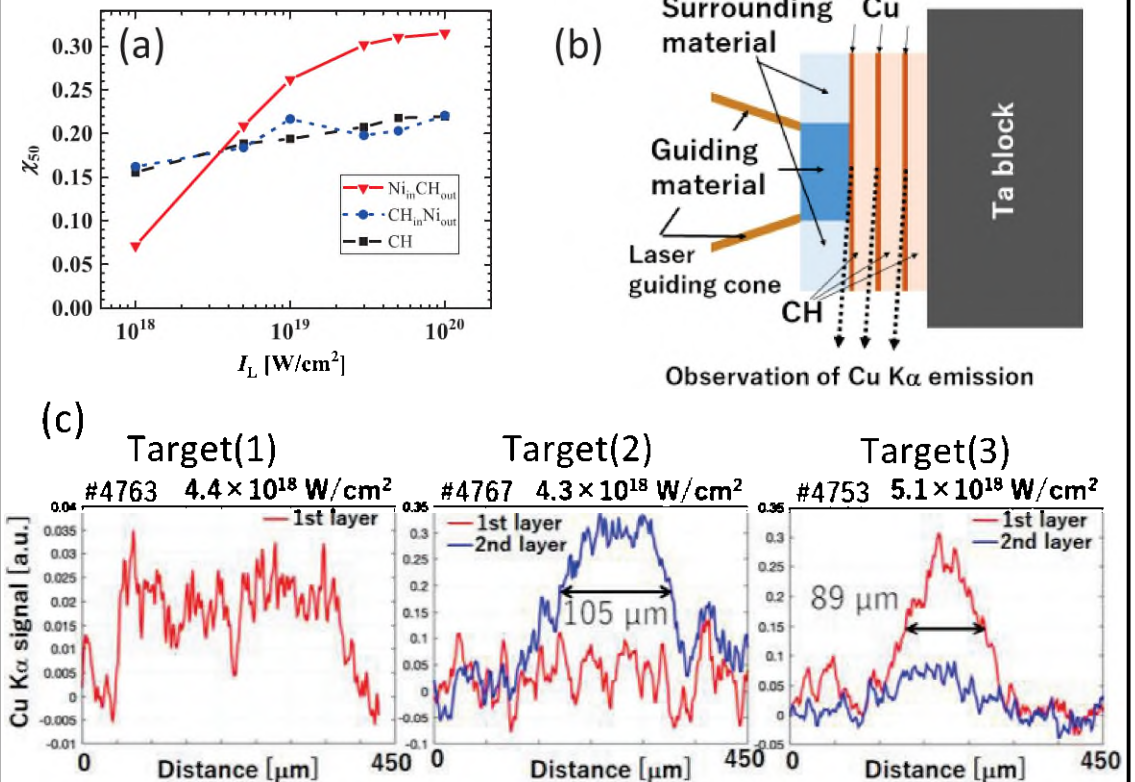
In the present research, taking advantage of kJ-class multi-picoseconds LFEX laser, we aimed to demonstrate the guiding scheme of relativistic electron beam using the resistive magnetic field generated around the material interface by the beam current.

We conducted experiments for 3 types of target;

- (1) guiding material: Ni and surrounding material: CH
- (2) guiding material: CH and surrounding material: Ni
- (3) CH mono-material

In the experiments we used plasma mirrors, which resulted in high contrast ratio but also reduced the laser intensity. As the results, the beam guiding was observed for case (2), which agrees with the guiding performance predicted for the low intensity case in the preceding numerical simulation[1]. In addition, the result indicating laser focusing effect by the guiding cone under the high contrast condition was observed.

[1] T. Johzaki et al., Phys. Plasmas **29**, (2022) 112707.



Summary of resistive guiding experiments: (a) numerically predicted intensity dependence of electron guiding efficiency for three different targets, (b) schematic view of a target and (c) experimentally observed spatial profiles of Cu K α emission.

Data Analysis of Low-Beta Reconnection Driven by Laser-Powered Capacitor Coils

H. Ji^{1,2}, S. Fujioka³, S. Zhang¹, L. Gao², A. Chien¹, R. Takizawa³, Y. Sakawa³, T. Morita⁴

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

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 published results from our previous joint experiments to study particle acceleration by magnetic reconnection at low-beta driven by capacitor coils [A. Chien et al., “*Non-thermal electron acceleration from magnetically drive reconnection in a laboratory plasma*”, *Nature Physics* **19**, 254-262 (2023)]. Reconnection electric field is identified to be responsible to generate the detected energetic electrons. These results are highly relevant to the observations of high-energy electrons throughout the Universe. This work has also established a novel platform to study various proposed mechanisms of particle acceleration by magnetic reconnection, beyond capabilities of the traditional experiments of magnetized plasmas.

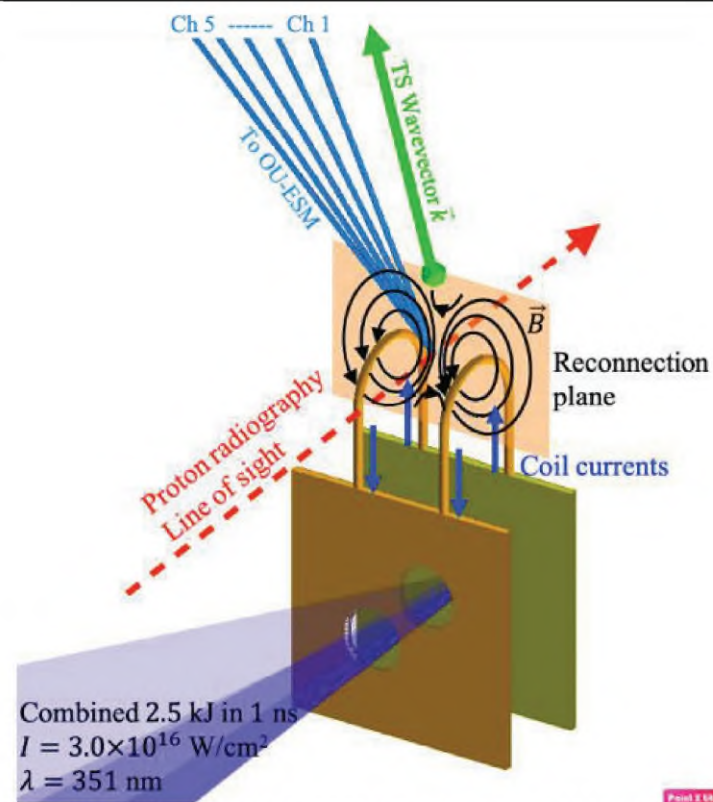


FIG. Experimental platform to detect energetic electrons by reconnection driven magnetically via capacitor coils. Electric current are induced by irradiated by lasers on the back plate relative to the front plate while multiple channels of particle spectrometers detect energized electrons from reconnection.

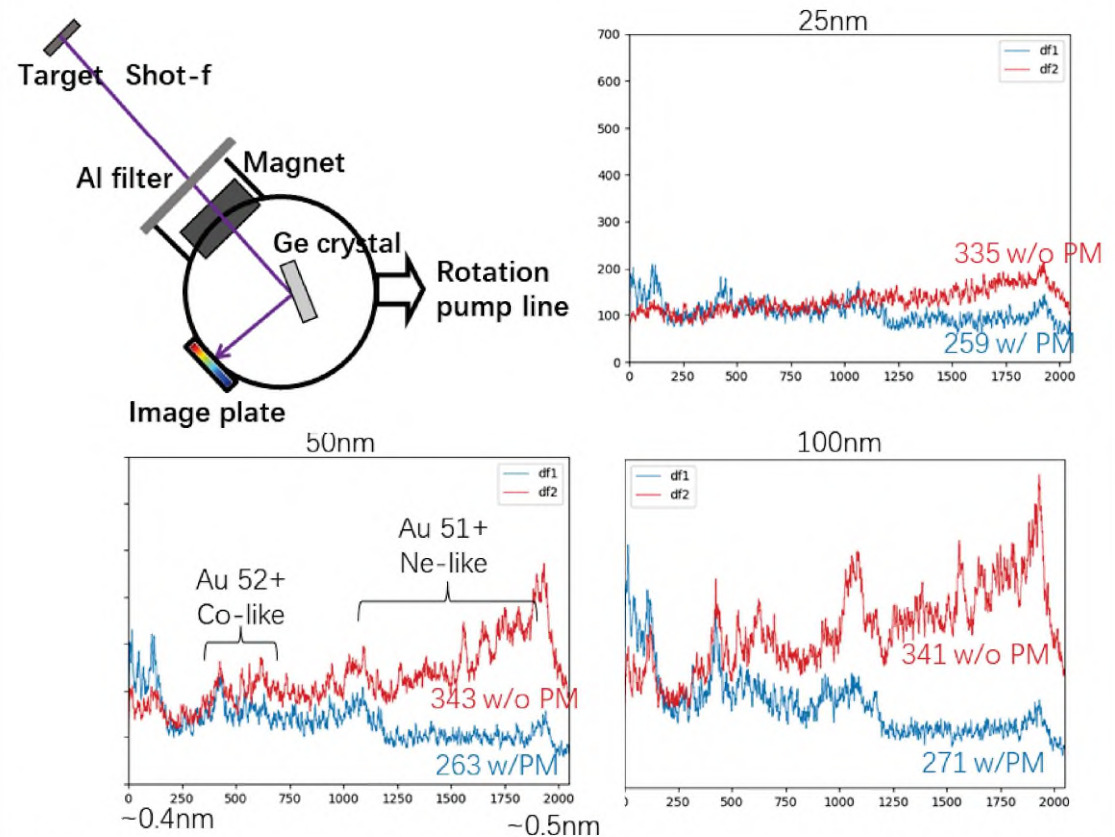
超高強度レーザーによる高電離重金属プラズマの形成過程の解明

M. Nishiuchi¹, L. Chang¹, N. Dover², K. Kondo¹, K. Kon¹, H. Sasaki¹, J. Koga¹, M. Hata¹, N. Iwata³, K. Sugimoto³,
Y. Takagi³, and Y. Sentoku³

1) Kansai Photon Science Institute, QST, 2) Imperial College London, 3) Institute of Laser Engineering, Osaka 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。高強度レーザーによる超高温高電離プラズマ形成は、強い非平衡状態における電離や高輝度X線・ガンマ線放射を伴う複雑過程であり、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密度プラズマの温度をX線計測により計測した。計測されたX線のスペクトル（2～4 keVの領域）には、ターゲット厚み、レーザーのコントラストによる明らかな違いを認めた。今後これらのスペクトルの違いを説明するモデルを構築し、超高強度レーザーによる重金属プラズマの加熱に関する理解を進める。高電離・高密度プラズマの理解は、イオンビーム源への応用や核物理研究、オパシテイなど物性研究への展開が期待できる。



実験セットアップ（左上）。異なる厚みの薄膜によって取得されたX線スペクトル（生データ）。プラズマミラーあり（赤）、プラズマミラーなし（青）でスペクトルに有意な差がみられる。

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

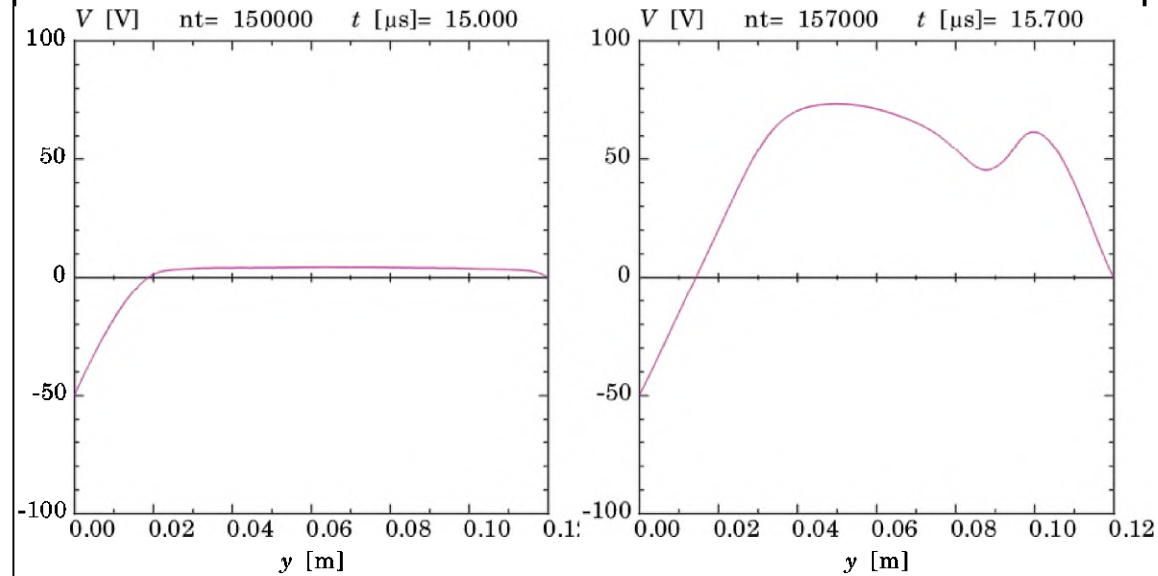
日本原子力研究開発機構 敦賀総合研究開発センター

SUMMARY

2022年度は2021年度同様、諸事情のため2020年度から長友先生と行っている誘導ラマン散乱の解析の続きがあまりできなかった。そこで、以前より行っている三角形メッシュを利用した放電プラズマ解析用の粒子コードを用いて、負バイアスを電極に加えたシースプラズマ中に電子を注入することで、電極とプラズマの電位差を増大させ、注入電子のエネルギーを増加させることが可能か否かを調べた。図1に結果を示す。

この解析は、このコードの主目的であるダストプラズマに対して、電子注入による加熱で浮遊ダストの組成改質が可能かを調べるために行った。

現在このコードはダストプラズマ解析用であるが、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、チャンバー内部の電極構造をリアルに取り入れた解析に発展させることが可能なので、その方面へのインパクトは大きいと考えている。



(a) 電子注入前の電位分布 (b) 注入後の電位分布

Figure 1: 三角形メッシュ静電粒子コードを用いて解析した-50Vの負バイアスを左電極に印加したときの電極間のシース電位分布。(a)は電子注入前の電位、(b)は左電極から電子を注入した後の電位分布。電子注入により中央のプラズマ電位が増大していることがわかる

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

Y. Arikawa¹, A. Morace¹, A. Yogo¹, Z. Lan¹, T. Wei¹, S. Matsumoto¹, K. Miyanishi², T. Sato³, T. Hayakawa⁴

1) Institute of Laser Engineering, Osaka University, 2) Graduate School of Engineering Science, 3) Research Center for Nuclear Physics, Osaka University, 4) National Institutes for Quantum Science and Technology, Kansai Photon Science Institute

Summary

This study is aiming for exploring a new concept of neutron diffractometry by laser driven strong magnetic field. Neutron diffracts by a divergence of magnetic field toward two directions dependent on neutron polarizations. Then neutron beam is split into two polarized neutron beams as described in Fig1. Neutron diffraction angle is dependent on the neutron velocity and $dB/dx \times L$. Since high power laser can generate extremely large dB/dx , neutron diffraction is able to be observable when a well point source and low energy neutron probe is prepared. Unfortunately, 2022's experiment planned at 2022-August was postponed to 2022-Dec, but it was re-postponed to 2023-Sept due to LFEX machine trouble.

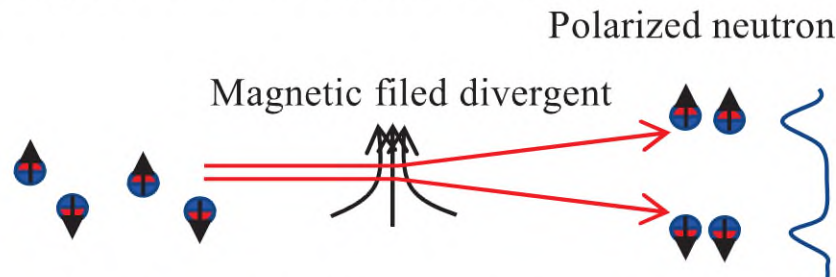


Figure 1 Neutron diffractometry schematics

In spite of the machine trouble, we had developed a low energy neutron beam profiler, which consists of Li-6 glass scintillator thin plate attached to the CCD surface. Since CCD has an issue for EM pulse noise generated by LFEX, the scinti-CCD is powered by a battery and entire system is enclosed in a metal EM pulse shield chamber. The system was tested at ride-along with shot of other LFEX shots and we confirmed it is capable to measure low energy neutrons at LFEX shot. Figure 2 is a photo of the scintillator CCD system.



Li-6 glass scintillator (low energy neutron sensitive),

plastic scintillator (fast neutron sensitive)

Figure 2. A scintillator plates attached CCD camera for measuring neutron diffraction at LFEX. The system was tested at 15-cm away from target at LFEX shot and was demonstrated.

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

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

SUMMARY

本研究では、レーザー駆動中性子源(LDNS)を用いた中性子共鳴透過分析(NRTA)技術開発の一環として、大阪大学の超高強度レーザーLFEXから発生したパルス中性子に適用できる中性子モデレータ、中性子検出器及び飛行時間測定・分析システムの開発を進めており、開発に関する打ち合わせ、議論、情報交換などを行った。

議論などを基に開発したNRTAシステムおよび超高強度レーザーLFEXを用いて中性子透過実験を行い、中性子共鳴吸収スペクトル(右図)を取得した。図の通り、試料による中性子共鳴反応に起因する中性子透過率の減少が確認できた。本結果は、中性子計数法を用いたNRTAシステムにより核種の判別に成功したことを実験的に示すものである。

本実験の分析結果について、大阪大学が主体となって実施した別の実験の結果と比較、照合し、妥当性の検証を行った。本成果は論文へまとめ、令和5年度中に発表する予定である。

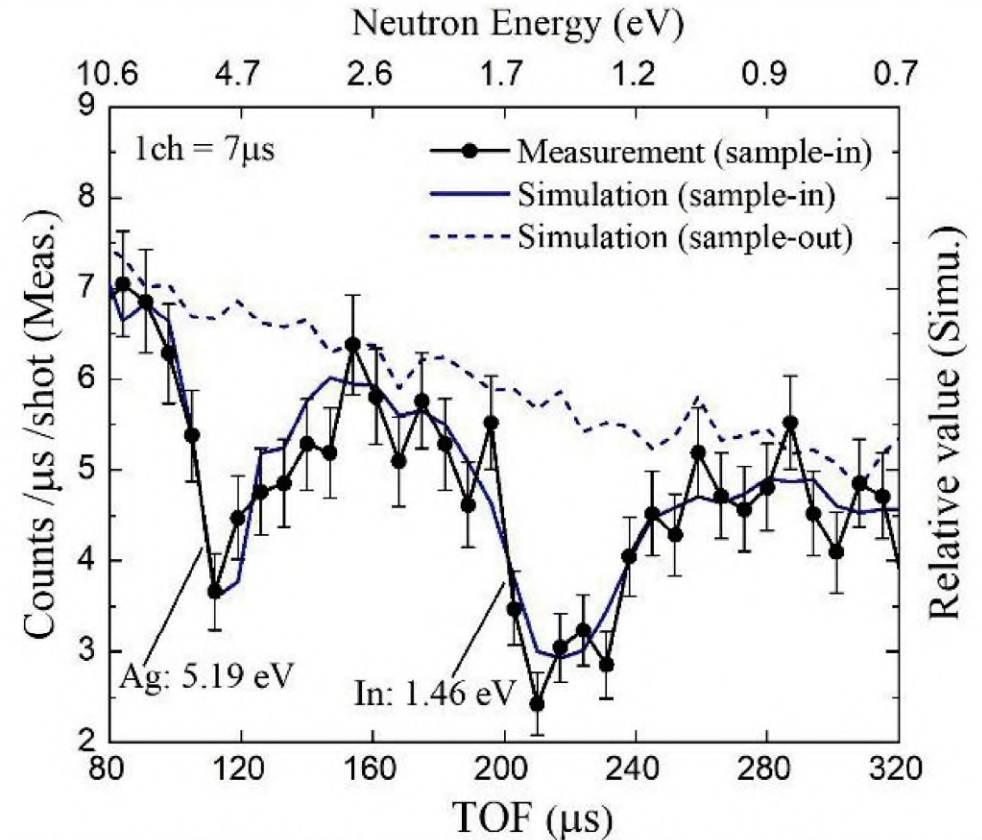


FIG. 中性子透過実験により得られた中性子共鳴吸収スペクトル。インジウムと銀の共鳴エネルギーにおいて、中性子透過率の減少(共鳴ディップ)が観測されている。

Laser-driven Cold/Thermal Neutron: Activation and Radiography Applications

Seyed Reza Mirfayzi,⁴ Tianyun Wei,¹ Takehito Hayakawa,^{1,2} Yasunobu Arikawa,¹ Yuki Abe,^{1,3}

Maiko Nakanishi,¹ Zechen Lan,¹ Takato Mori,¹ Kunioki Mima,¹ Shinsuke Fujioka,¹ Masakatsu Murakami,¹ Mitsuo Nakai,¹

Hiroaki Nishimura,^{1,5} Satyabrata Kar,⁶ and Ryosuke Kodama¹, and Akifumi Yogo,¹

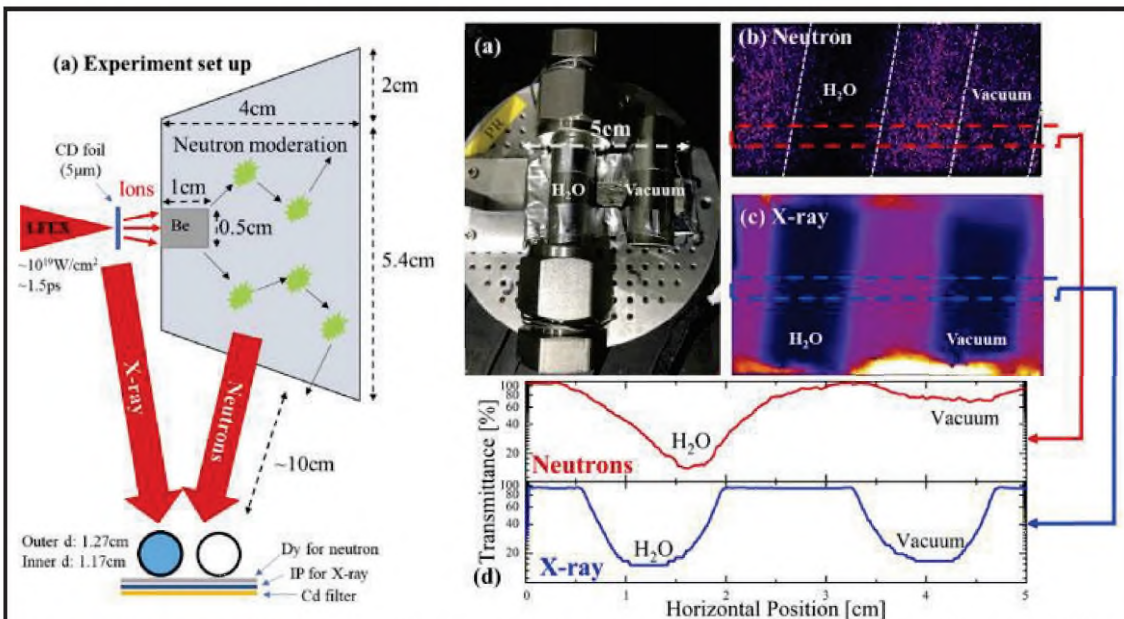
¹ILE, Osaka University, ²QST, ³Graduate School of Engineering, Osaka University, ⁴Tokamak Energy Ltd, UK,

⁵Fukui University of Technology, ⁶Queen's University Belfast, UK,

SUMMARY

The thermal neutrons are powerful probes to inspect water or high-pressure hydrogen gas because of their large scattering cross-sections with protons. Laser-driven neutron source, which is able to simultaneously emit different types of radiations such as x rays, can be used for neutron and x-ray radiography in the same laser shot. In this paper, we report the demonstration of non-destructive inspection for H₂O contained within a stainless steel pipe using a laser-driven thermal neutron source, where water and stainless containers are detected by neutrons and x rays, respectively. The simulation result indicates that this method can also provide the capability to measure the hydrogen density in high-pressure hydrogen gas in metal containers.

T. Wei et al., AIP Advances **12**, 045220 (2022);
doi: 10.1063/5.0088997



(Left) A radiography experimental setup.

(Right) (a) Picture of the radiography samples of the stainless steel pipes, of which one is full with H₂O and the other is opened in a vacuum chamber. The Dy plate and IP are placed under the two pipes. (b) Measured neutron radiograph. (c) X-ray image. (d) Transmittance for neutron (red) and x ray (blue) along the horizontal position obtained from the images of (c) and (d).

Bright laser-driven x-rays and neutron source in liquid micro-cluster target via strong shock waves

Krishnamurthy Manchikanti,¹ Seyed Reza Mirfayzi,² Tianyun Wei,³ Alessio Morace,³ Yasunobu Arikawa,³ Zechen Lan,¹ Kohei Yamanoi,³ Kunioki Mima,³ Ryosuke Kodama,³ and Akifumi Yogo,³

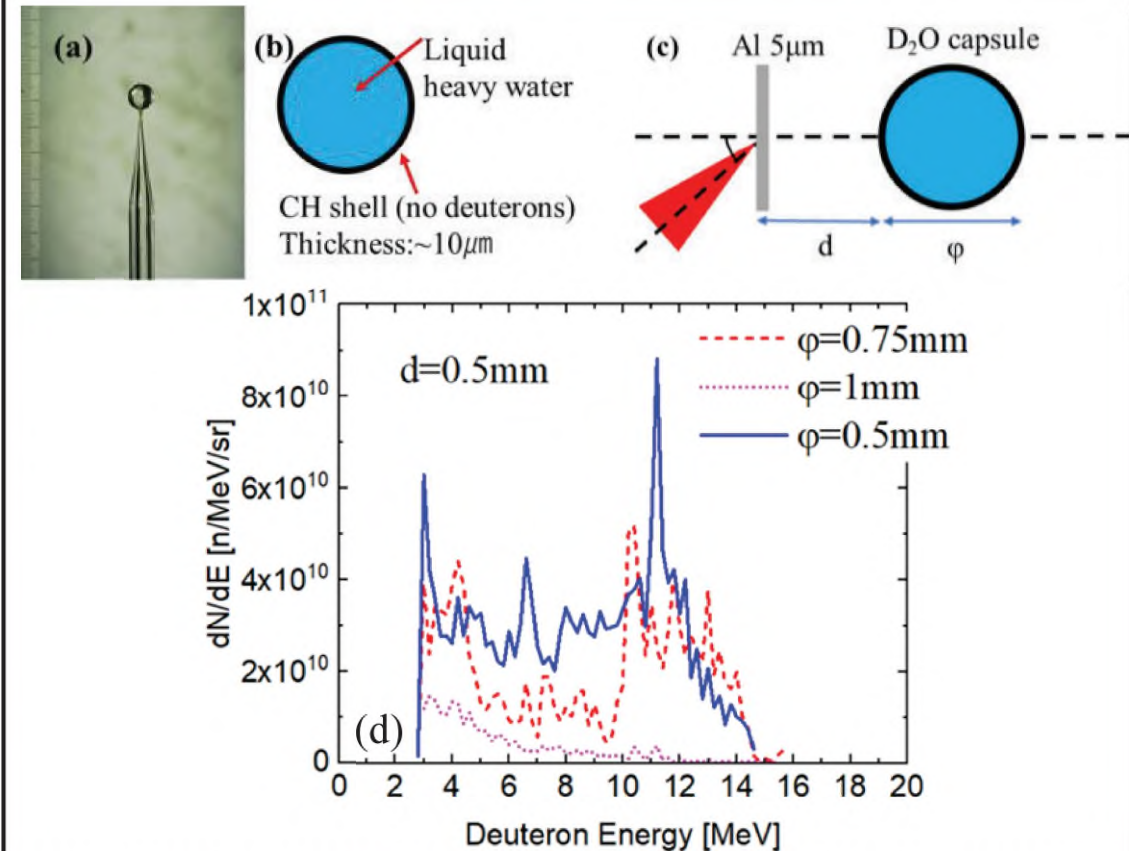
¹Tata Institute of Technology, India, ²Tokamak Energy Ltd, UK, ³ILE, Osaka University

SUMMARY

Here, we report an in-direct method which can obtain quasi-mono energetic deuteron beam easily in experiments. The experiments are conducted at ILE, Osaka University.

A primary target (Al) is focused by LFEX laser, electrons and protons are accelerated from it. A secondary target (heavy water capsule) is set at the normal direction after the primary target.

By optimizing the experiment conditions such as the distance of the 2 targets and the size of the heavy water capsule, deuterons over 10MeV with energy width less than 1MeV can be accelerated from the capsule.



The photo (a) and the picture (b) of a secondary target (heavy water capsule). (c) A setup of indirect laser shot experiment. (d) The energy spectra of mono-energetic deuterons for different diameter of the heavy water capsule.

高繰り返しレーザー駆動量子ビーム源のための連続供給重水ターゲットの開発

東口 武史¹, 空本 龍弥¹, 久米 真樹¹, 中山 勇冬¹, 森田 大樹¹, 安部 勇輝², 藤岡 慎介³

1) 宇都宮大学, 2) 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

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

現在、大気中および真空中での水ジェット噴出試験と安定度を確認している。また、ジェット径をさらに細くしたり、円柱状ジェット以外のターゲットを噴出するノズル製作を進めている。

本研究により、連続供給重水ターゲットによりコンパクトな高繰り返しレーザー駆動中性子源が実現される。また、溶液にすることにより、各種元素由来の量子ビームを発生でき、適用範囲を拡張することができる。

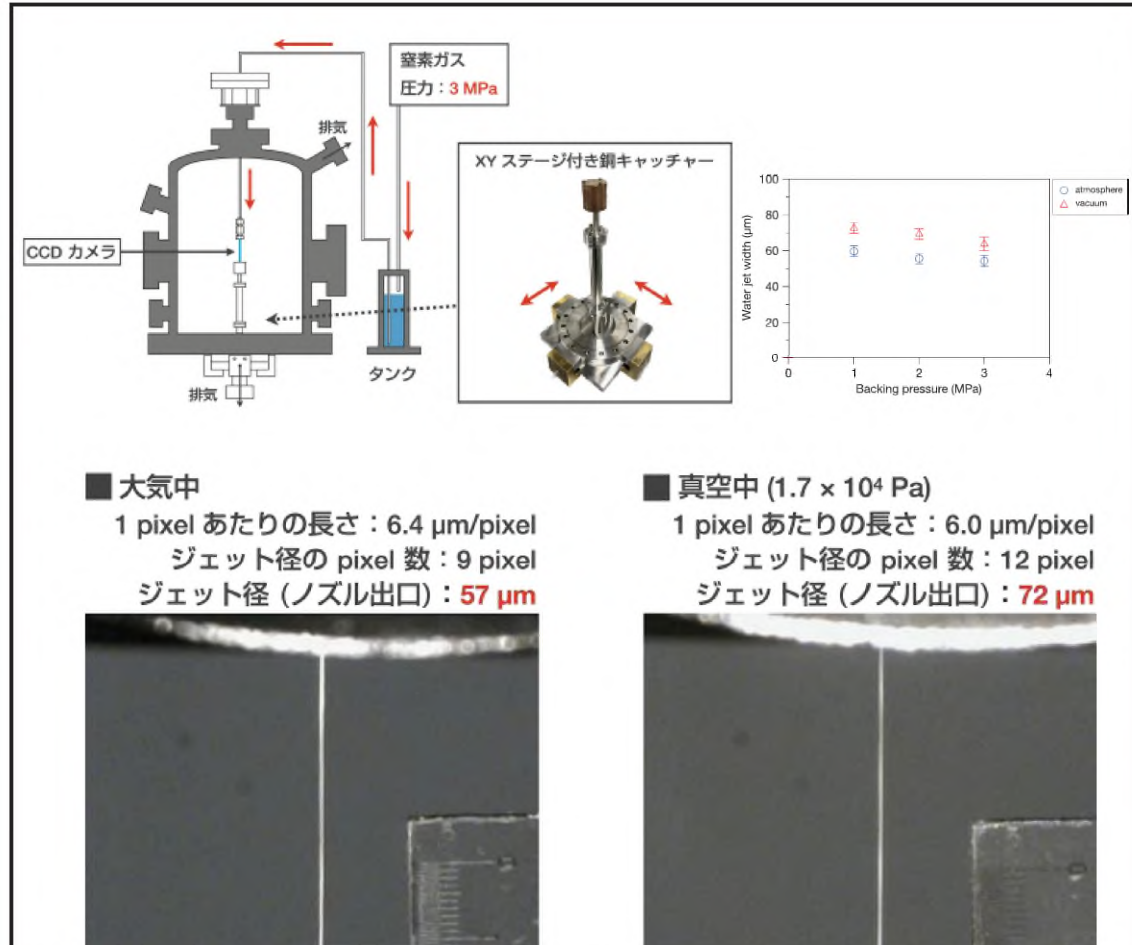


FIG. 大気中と真空中での水ジェット噴出試験の写真とジェット径の背圧依存性

液体ジェットターゲットを用いた高繰り返しレーザー粒子加速に関する研究

安部勇輝^{1,2}, 藤岡慎介², 東口武史³, 蔵満康浩^{1,2}, 羽原英明^{1,2}, 南卓海¹, 松浦亮大¹, 小田和昌¹, 鈴木蒼一郎¹, 小川純里³, 中山勇冬³, 石川直輝³, 久米直樹³, 新沼大登³, 平尾祥太郎³, 栗原諒³, 小柳優奈³

1) 大阪大学工学研究科, 2) 大阪大学レーザー科学研究所, 3) 宇都宮大学工学部

SUMMARY

本研究は高繰り返しレーザーを用いた粒子加速とその応用研究を推進するためのターゲット開発を目的とし、液体薄膜の連続供給技術の開発を行った。昨年度までに液体ジェット供給システムの初号機（図(a)）が完成し、今年度はその動作試験とレーザーとの同期、照射位置調整の方法などの検討を行った（図(b)）。最も単純な円柱形ジェットでは、直径500 μm から30 μm までの水柱の生成に成功した。また、今年度はこれに加えて重水加速に伴う中性子発生 [Y. Abe *et al.*, APL 111, 233506 (2017)] を想定した円筒ジェットの生成にも着手し、ノズルの試作とジェット生成の条件出しを行った。実験と並行して、円柱及び円筒ジェットにおけるレーザー相互作用とプラズマダイナミクスを2次元粒子コード (EPOCH-2D) を用いて計算し、電子及びイオンの加速効率や到達エネルギーの評価を行った（図(c)）。今年度の研究で、液体ジェットを安定供給するための技術的な知見が蓄積され、レーザーを用いた本格的なプラズマ実験に移行するための基礎固めが概ね完了した。

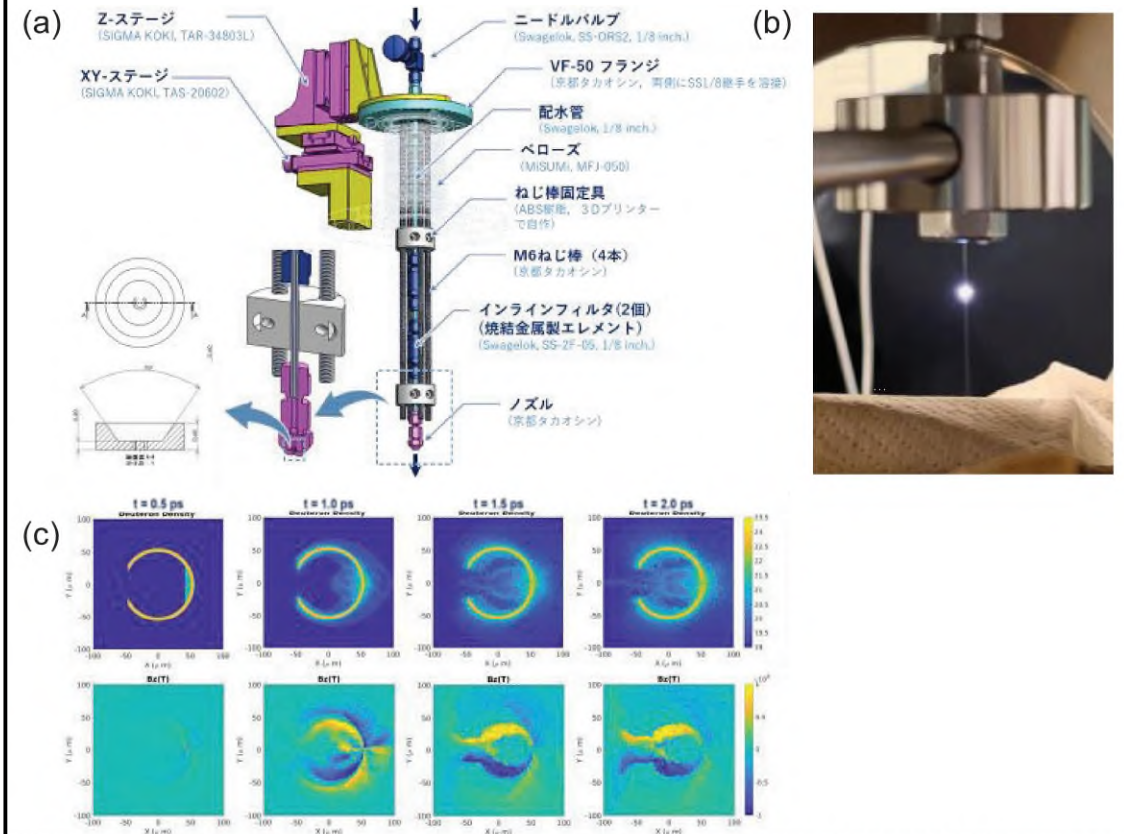


FIG. (a) 液体ジェット装置の構成図, (b) YAGレーザー照射時のプラズマ発光, (c) 円筒ノズル使用時のプラズマダイナミクスの計算結果 (2D-PICシミュレーション, EPOCH-2D)

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, 佐野孝好², 岩田夏弥², 千徳靖彦²

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

グラフェンなど炭素薄膜ターゲットを想定して、超高強度レーザーによる炭素イオン加速のシミュレーションを実施した。シミュレーションには、二体衝突、電場電離、衝突電離を含んだ二次元相対論的電磁粒子コードPICLS2Dを使用した。固体密度の炭素ターゲットを扱い、レーザープラズマ相互作用における電離過程を調べた。レーザー強度に依存して、炭素イオンの到達電離度がどのように変わっていくかを調べた。高価数状態のイオンは電場による加速効率が良くなるため、電離過程を調べることは有用である。今後は、各種レーザーパラメータ・ターゲットパラメータを変えてより詳細に調べていく予定である。

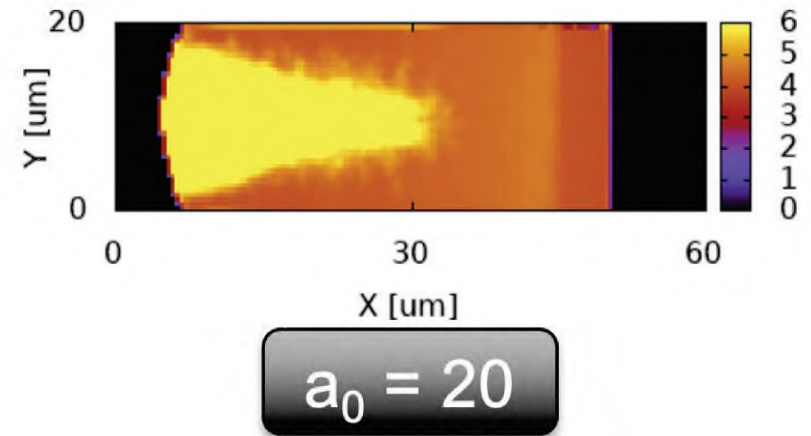


FIG. 超高強度レーザー照射時の炭素ターゲットの平均電離度。規格化レーザー振幅 $a_0 = 20$ のフェムト秒レーザーを左側境界 ($X = 0$) から入射させた。レーザー伝播部分ではほぼ完全電離している。黒色部は真空領域。

高効率中性子発生のための固体重水素薄膜生成手法の開発

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

純粋水素（あるいは重水素）薄膜をクライオ冷却によって実現し、高効率の陽子（重陽子）加速を実証する。2022年度はさらに装置を改良し、固体水素の成膜に成功すると共に、膜厚の制御を可能とした。ターゲットの上下と共にクライオ冷凍機も上下する構造として冷凍機とターゲット間の熱伝達距離を短縮、固体水素が生成できる温度(約 7 K)を定常的に達成した。即ち、水素より融点の高い固体重水素も生成可能であることを意味する。また、薄膜生成部をスリットからオリフィス（ピンホール）に変更、銅基板の厚さと同じ厚さの固体水素を生成できた(図 1)。銅基板の厚さを変える(50-500 μm)ことで膜厚の制御が可能となった。

本テーマの固体水素装置の開発を始めてから3年以上を費やしてきたが、参画する学生の努力によって、これまでで最高傑作といえる装置が完成した。装置を仕上げて、マシンタイムにおいて LFEX 照射実験につなげたいと考える。



FIG. 1 成膜した固体水素薄膜を、真空中に保持している様子。温度が十分に低下したため、1時間以上真空で保持できた。直径1 mmのオリフィス（ピンホール）部分のみに固体水素が成膜された。また、薄膜の厚さは基板厚さ（写真は500 μm ）以下となる。基板は厚さを変えられるように交換可能とした。

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, 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、本研究では過去に測定された実験データのサーベイと統計モデルによる理論計算を行った。その結果、理論値と実験値が大きく違い、実験の必要性が判明した。また、宇宙線による中性子生成をシミュレーション計算した。

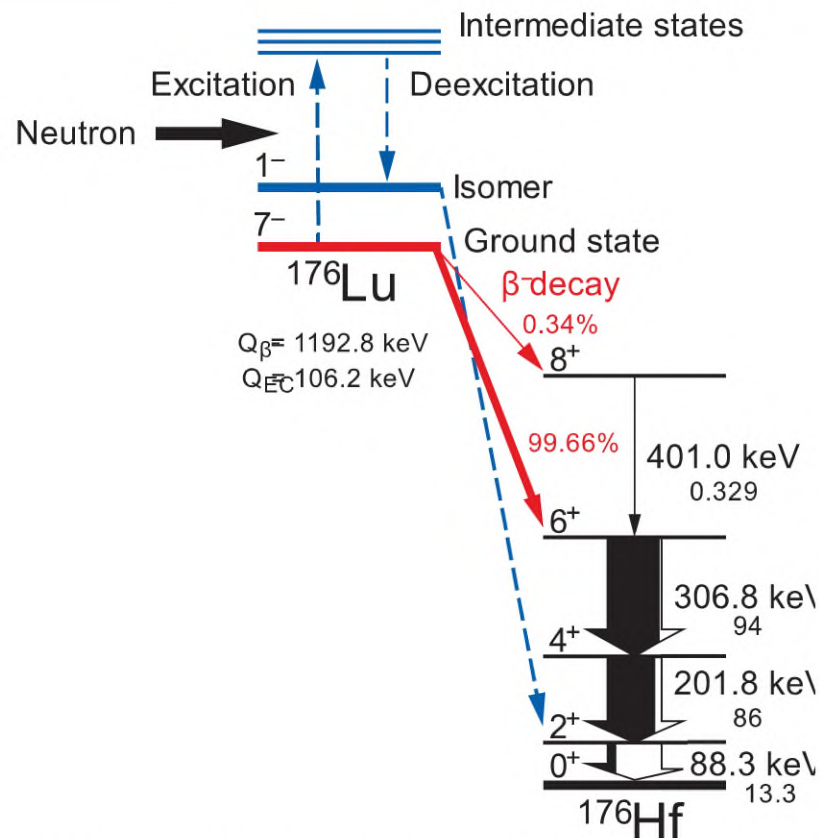


FIG. 高エネルギー宇宙線の核破碎反応等で生成された中性子による宇宙核時計 ^{176}Lu の加速崩壊のメカニズムの概念図。基底状態から中性子の非弾性散乱によってアイソマーに遷移し続けて約3.7時間の半減期で β 崩壊する。

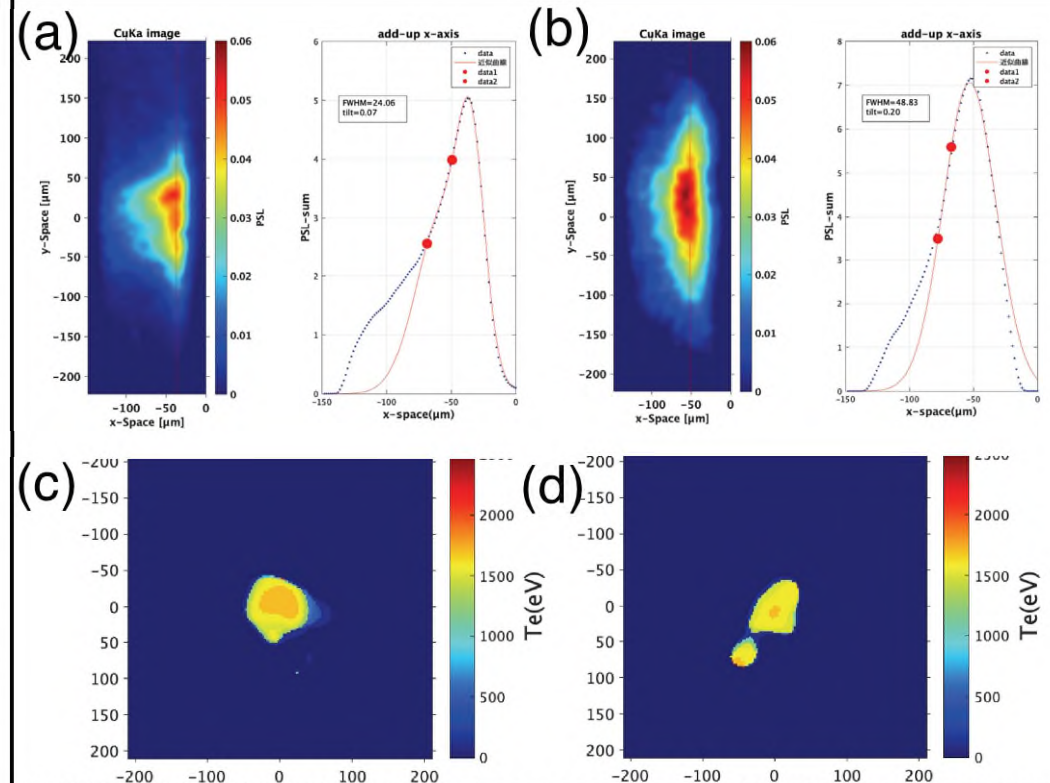
Tailoring of Relativistic Laser-Plasma Interactions in Multi-Pico-Second Time Scale

S. Fujioka¹, T. Tsuido¹, T. Maekawa¹, J. -Y. Dun¹, R. Takizawa¹, K. F. F. Law¹, Y. Sentoku¹, N. Iwata¹, A. Yogo¹, A. Morace¹, Y. Arikawa¹, H. Morita², T. Johzaki³

1) Osaka University, Japan, 2) Utsunomiya University, 3) Hiroshima University, Japan

SUMMARY

Multi-picosecond laser-plasma interactions reveal different characteristics from those of sub-pico-second lasers. This study performed experiments using a high-contrast LFEX laser with a plasma mirror. Measurements were compared between coincidental irradiation of LFEX laser pulses of 1.5 ps full width at half maximum and stacked pulses of 1.5 ps with a 1.5 ps of delay between pulses, namely 6.0 ps (actually 5.2 ps). The energy distribution of fast electrons generated by laser-plasma interaction was measured using an electron spectrometer and a hard X-ray spectrometer. The target material was a flat plate of copper oleate, and the propagation of fast electrons was visualized by imaging Cu-K α emission from its side using a monochrome x-ray camera. Plasma heating due to laser-plasma interaction was detected using a multi-pinhole camera and a Fresnel zone plate. The data are currently being analyzed, but by extending the pulse width while keeping the total energy constant, the average energy of the fast electrons increases, and the divergence angle widens. The temperature at the plasma surface tends to remain unchanged.



Trajectories of fast electrons accelerated by 1.5 ps (a) and 5.2 ps (b) laser pulses. The deeper electron propagation was found in the 1.5ps case. Electron temperature distribution of plasma surface produced with 1.5 ps (c) and 5.2 ps (d) pulses. The difference in the temperature is relatively small.

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)弘中陽一郎, 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, 3) D. Batani , 3) Ph. Nicolai , 4) G. Cristoforetti, 4) P. Koester, 4) L.A. Gizzi
1) 阪大レーザー研, 2) 阪大院工, 3) ボルドー大CELIA, 4) INO-CNR

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、高強度・長波長レーザー照射条件下で起こ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、これらのメカニズムにフォーカスし、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。本年度はレーザープラズマ相互作用による高速電子の効果に着目し、プラスチック系材料の水素含有率依存性によるアブレーション圧力の変化を観測した。実験より、水素含有率が多くなるほどレーザープラズマ不安定性（および高速電子の発生）が顕著となり、これがアブレーション圧力の低減に関係していることが明らかになった。

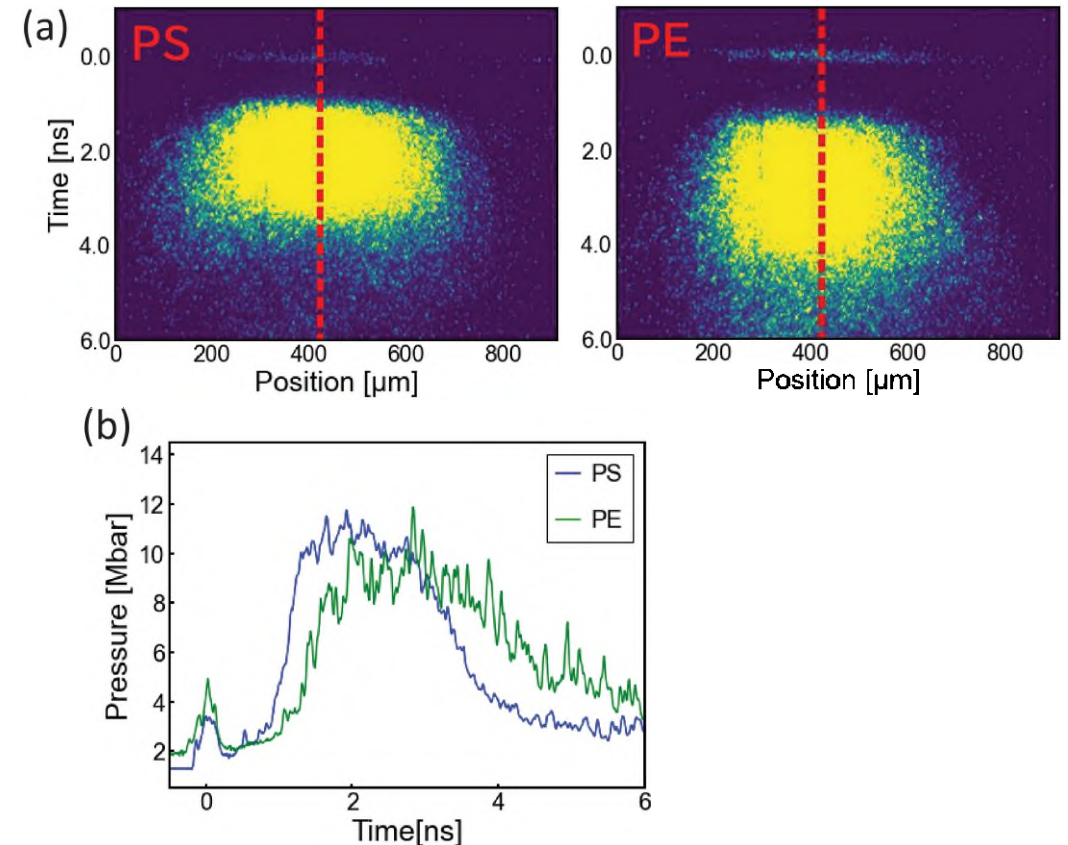


FIG. (a)輝度温度計測によるポリスチレン(PS)およびポリエチレン(PE)の衝撃波面温度計測結果. (b)それぞれの衝撃波面圧力の時間変化

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 have continued the study of the dependence of the growth velocity of Richtmyer-Meshkov Instability (RMI) on the gas compressibility. Since an important change in the behavior of the growth rate as a function the ratio of the specific heats of the gases (we assume ideal gas model) was observed [2021B2-018], we have calculated the physical limits when γ_a or γ_b tend to unity and infinity.

Especially attention requires the case when $\gamma_a = \gamma_b \rightarrow 1$ because it would bring the possibility to characterize new freeze-out, or at least low-growth, regimes for very intense shocks as those used in Inertial Confinement Fusion (ICF) configurations.

[1] J. G. Wouchuk, Phys. Rev. E 63, 056303 (2001).

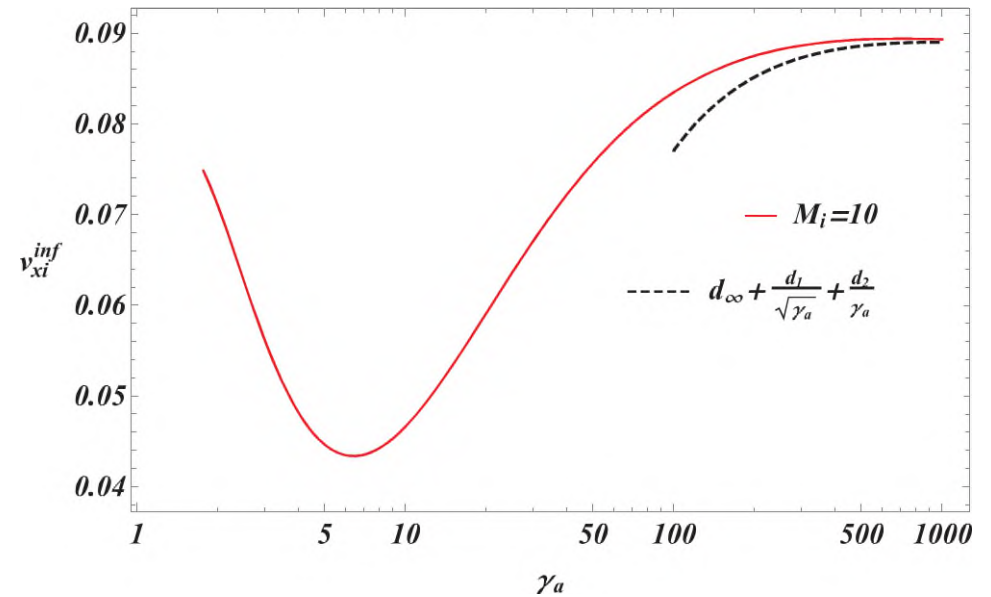


FIG. Dependence of the linear asymptotic growth velocity (v_{xi}^{inf}) as a function of the isentropic exponent of the gas of the transmitted side, γ_a , for an incident shock Mach number $M_i = 10$. The rest of the pre-shock parameters are $\gamma_b = 3$ and a density ratio across the contact surface $R_0 = \rho_1/\rho_2 = 1,5$ (therefore a shock is reflected back). The dashed line correspond to the physical limit when $\gamma_a \gg 1$ and the coefficients d are calculated from Wouchuk-Nishihara model [1].

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の照射により、フェムト秒の時間スケールで物質を急激にイオン化・加熱し、強い非平衡状態の高密度プラズマを生成できる。本研究では、この高強度フェムト秒レーザー生成プラズマに対し、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X線吸収分光計測を実施し、その解析を行っている。

FIG.1に示すように、CuのK吸収端の高エネルギー側の透過率が大きく変化する様子が観測された。9000eVの透過率の時間発展をFIG.2に示す。レーザー照射から1ピコ秒以内に初期の30倍まで透過率が增大し、その後数ピコ秒にわたって維持されている。これはプラズマの急激な電離とその電離状態の継続を意味している。更に、原子過程を組み込んだプラズマ粒子シミュレーションコードPICLSを用いた解析により、この透過率の時間発展を再現することができた(FIG.2)。

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。

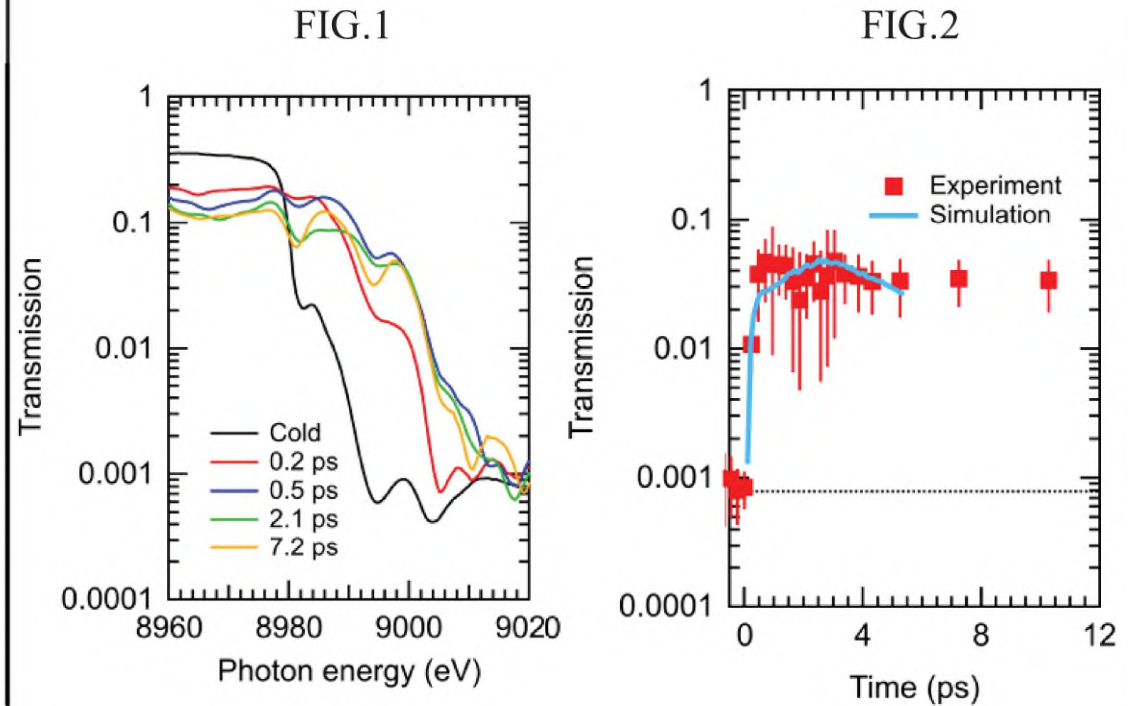


FIG.1. 高強度フェムト秒レーザー照射により生成されたCuプラズマのK吸収端近傍のX線吸収分光計測結果。
FIG.2. X線吸収分光計測で観測された9000eVの透過率の時間発展と、PICLSによるシミュレーションの比較。

Study of isochoric heating physics driven by intense laser using XFEL

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

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

SUMMARY

We show spatiotemporally resolved characterization of a solid copper foil heated by optical laser-driven relativistic electrons by using femtosecond x-ray free electron laser (XFEL) pulses. 2D x-ray transmission imaging enabled visualization of the electron propagation within the solid foil and inference of an electron temperature range from x-ray images obtained by varying XFEL's photon energies near the Cu K-edge. The temporal evolution of the measured electron-impacted area agrees with simulated charge states rather than electron temperatures, suggesting that the propagating relativistic electrons primarily ionize the solid target by electron impact ionization without raising the temperature through collisions. Our results demonstrate the creation of non-equilibrium Fermi degenerate plasmas by ionizing a solid metal foil with laser-driven relativistic electrons.

Result had been published as DOI: 10.1063/5.0130953

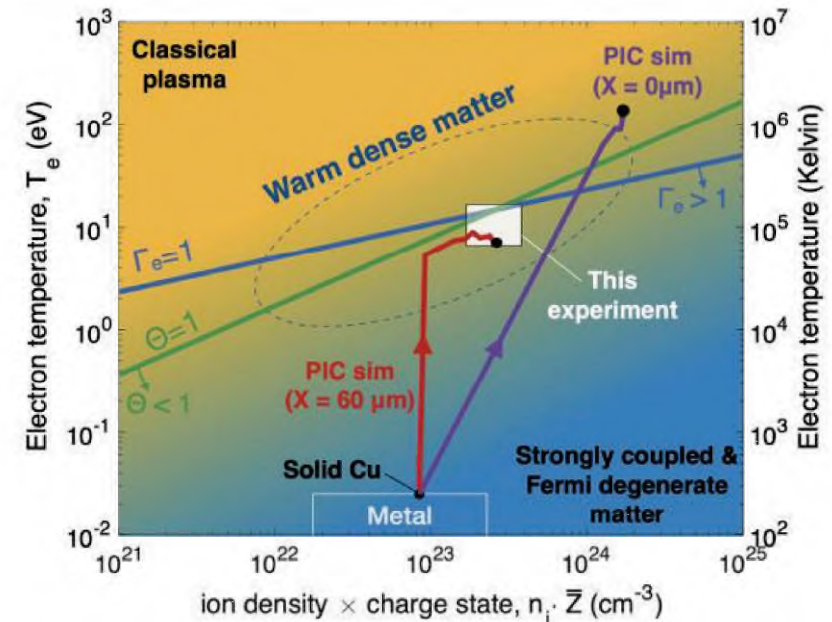


FIG. The electron temperature and density space for isochorically heated non-equilibrium matter (a constant ion density and cold ion temperature). The warm dense matter regime is loosely defined in the range of $\Gamma \sim 1$ and $\Theta \sim 1$. The trajectories in red and purple lines represent the PIC simulations at different radial distances up to ~ 1.4 ps.

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

Y. Sentoku¹, T. Sano¹, E. d'Humieres²

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

SUMMARY

In this research, we developed new physical models and simulation techniques to expand the scope of application of a laser-plasma simulation code, PICLS, and improved the accuracy of the simulation. This year we had the monthly Zoom meeting (Japan 6pm – France 9am) to discuss about the photon emission physics from a relativistic laser light which propagates in near critical density plasmas. Several radiation processes are discussed, e.g., bremsstrahlung, synchrotron, and radiative decay. We identify the dominant process would be the synchrotron emission when the laser intensity exceeds 10^{22} W/cm². Copious gamma-rays could be a source of linear Breit-Wheeler pair productions. We discuss about how to implement the BW model in the radiation transport module.

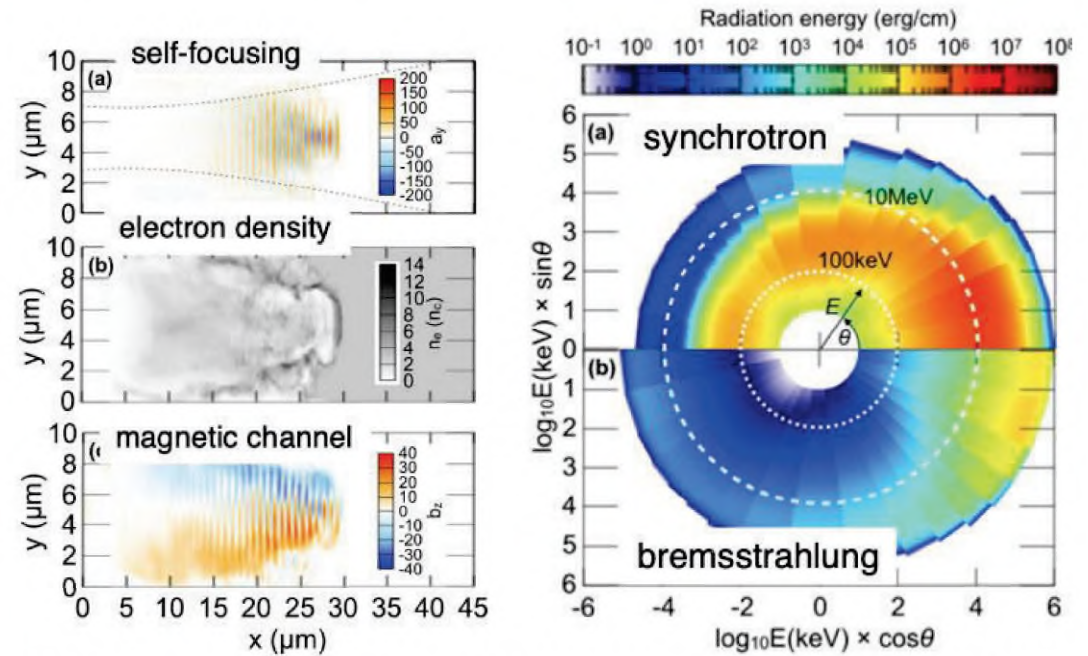


FIG. The electron temperature and density space for isochorically heated non-equilibrium matter (a constant ion density and cold ion temperature). The warm dense matter regime is loosely defined in the range of $\Gamma \sim 1$ and $\Theta \sim 1$. The trajectories in red and purple lines represent the PIC simulations at different radial distances up to ~ 1.4 ps.

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, having relativistic intensities and picosecond (ps) pulse durations, can generate MeV ion beams with a high energy conversion efficiency from laser to ions, typically about several percent. We here study the underlying physics leading to such an efficient ion acceleration from a thin foil plasma theoretically and numerically using particle-in-cell (PIC) simulations. The large spot size of the kJ lasers is a key to confine fast electrons in the spot area by a stochastic process. Due to the confinement effect, both the number and the average energy of fast electrons increase temporally in the expanding foil plasma under a continuous laser light irradiation on a several ps time scale, resulting a highly-efficient ion acceleration. This study can be a basis for kJ laser applications such as high flux ion beam generation for plasma diagnostics, medical applications, and plasma heating for laser fusion.

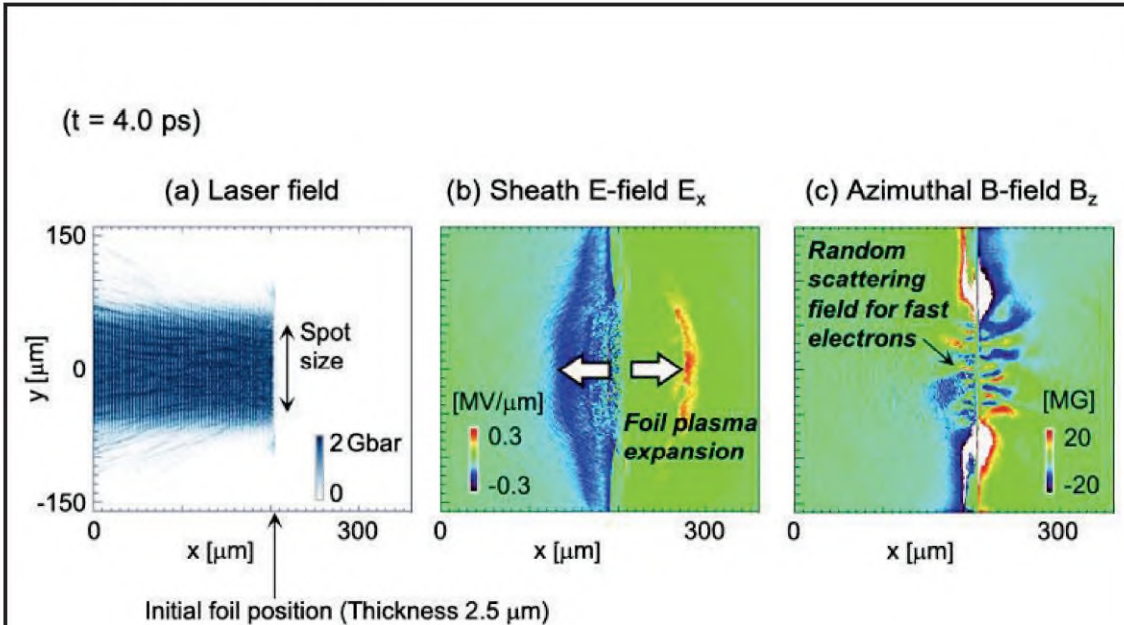


FIG. 1 2D particle-in-cell simulation for a kJ laser-driven target-normal-sheath-acceleration of ions. A $100\ \mu\text{m}$ spot laser with the intensity $3 \times 10^{18}\ \text{W}/\text{cm}^2$ irradiated continuously onto a $2.5\ \mu\text{m}$ -thick solid density foil plasma. (a) Laser field energy density, (b) sheath electric field, and (c) azimuthal magnetic field. In this spatio-temporal scale, stochastic behavior of fast electrons is important in determining the ion dynamics.

対向照射レーザーを用いた電磁場伝搬吸収とプラズマ加熱の検証

森芳孝¹、北川米喜¹、佐野孝好²、千徳靖彦²、岩田夏弥^{2,3}

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

SUMMARY

ピーク出力数TW級超短パルスレーザーの照射配位、偏光、パルス幅を制御し、非相対論から相対論領域における電磁波の伝搬・吸収の検証を行うことを最終目的としている。昨年度までに、梯子型ワイヤターゲットの自動アライメントシステムを整備した。ターゲットは、直径 $50\mu\text{m}$ のチタン線である。自動アライメントシステムは、ターゲット位置を2台のCMOSカメラで監視し、XYステージで、ワイヤ位置をレーザー照射位置へ移動させる機構である。今年度は、制御系のソフトウェアをMatlabに統一し、制御性を高めた。その結果、本システムにより、直径 $50\mu\text{m}$ のワイヤ線を照射位置 $10\mu\text{m}$ 以内に3.5秒以内で連続自動供給することが可能となった。0.3Hzでの動作が可能である。本システムにより実験の効率化が期待される。

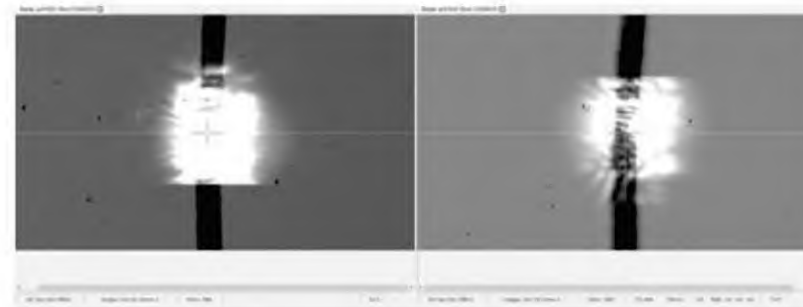
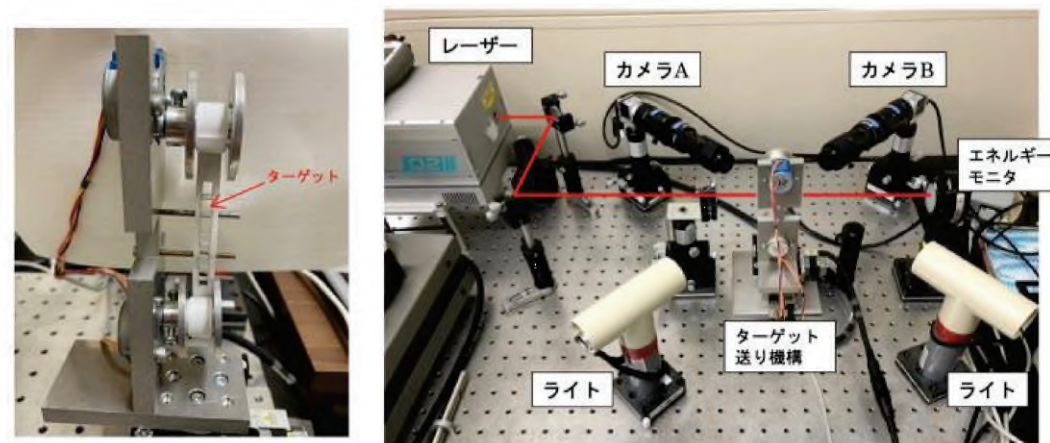


FIG. (上左)連続ワイヤ供給装置 (上右)ターゲットワイヤアライメントシステム (下)レーザー照射の様子
研究協力者：太田、雑賀、梶村 (明石高専)

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

北海道大学大学院工学研究院

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。この仮説のもとに、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を試み、モデルの妥当性をプラズマ粒子シミュレーションによって検証を行っている。構築する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。

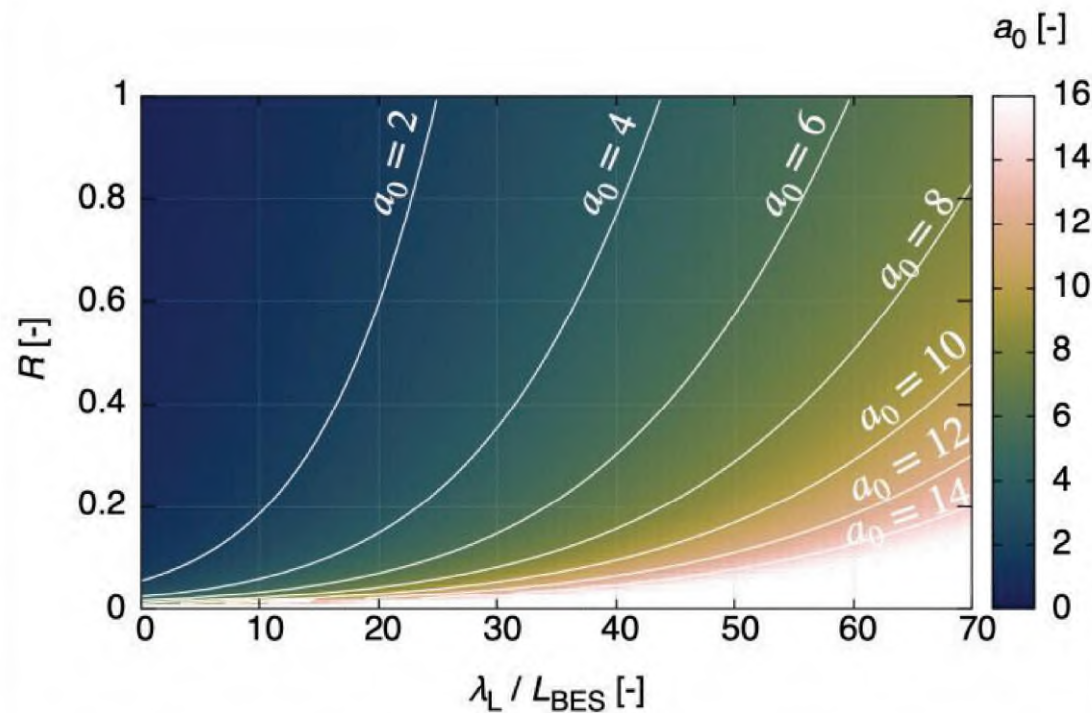


FIG. 後方噴出が停止する条件.

横軸はレーザープラズマ相互作用面における電子密度の空間勾配の急峻さを表し、縦軸はレーザー反射率を表す。色の濃淡は各条件において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を示す。

Development of broadband antireflection structure in THz region

武田有真¹, 長縄裕大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

ZnO単結晶基板の上に超短パルスレーザー加工によって微細周期溝構造（周期:50 μm 、アスペクト比:3）を作製し、さらに大気中でのアニール処理を施したサンプルに対して、テラヘルツ領域における透過および反射率の偏波依存特性を評価した。その結果、反射率低減効果の確認に加え、偏波によって反射率と透過率の制御が可能であることを示した。これにより、波長以下の微細構造による屈折率制御が、モスアイ構造だけでなく、偏光ビームスプリッター、波長板などの光学素子に応用可能であることを実証できた。

また、他のテラヘルツ帯における光学材料でも同様の微細構造を作製するため、GaNに対するレーザー加工特性の調査を進めた。図のように加工痕のSEM及びCL測定から、欠陥・不純物の形成過程を部分的に明らかにすることができた。この結果をもとに、GaN単結晶基板への微小周期溝構造形成を行い、透過、反射特性を進めることで、テラヘルツ帯におけるモスアイ構造を含む光学素子開発が期待できる。

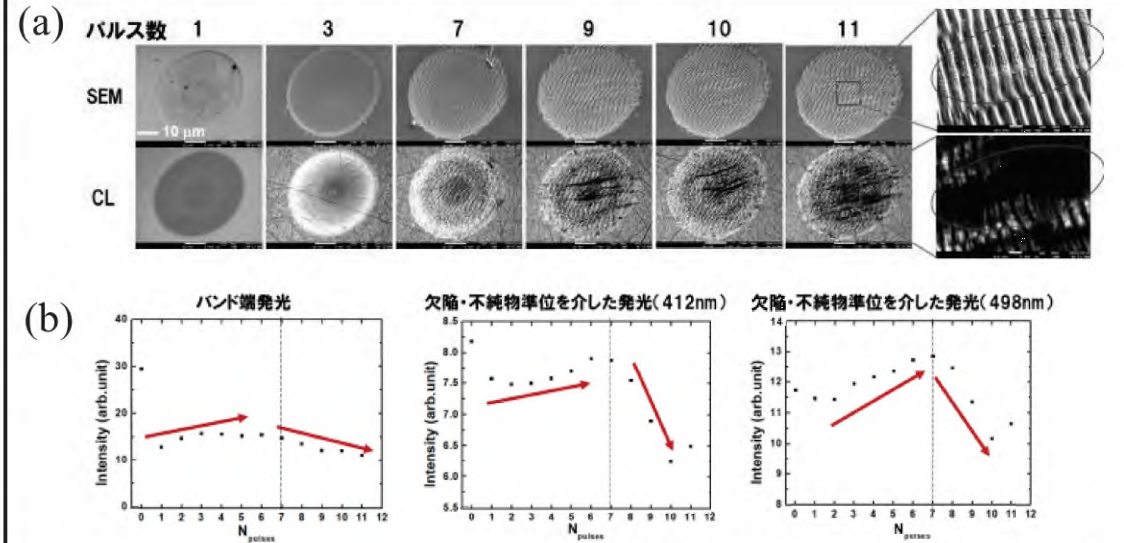


FIG. (a) GaN基板表面にレーザーパルス照射した箇所の電子顕微鏡像（上段）と電子線励起発光（CL）像（下段）。加工痕にはナノ周期溝構造が形成されていく様子が見られるが、照射パルス数を増やすにつれて全体的にCL強度が低下することから結晶構造が崩れて行っていると考えられる。(b)レーザーパルス照射した箇所のCLスペクトルから得られたバンド端発光および欠陥・不純物準位を介した発光強度のパルス数依存特性。結晶構造の変化に加え、 $V_{\text{Ga}}O_{\text{N}}$ の複合欠陥が関連する498nmのCL変化より、酸化が進んでいると考えられる。

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, 梶原隆太¹, V. C. Agulto², 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ことが報告されている。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（右図）。そのような差異は複素導電率の解析結果にも現れており、特異な電子状態の発現を示唆する結果と考える。

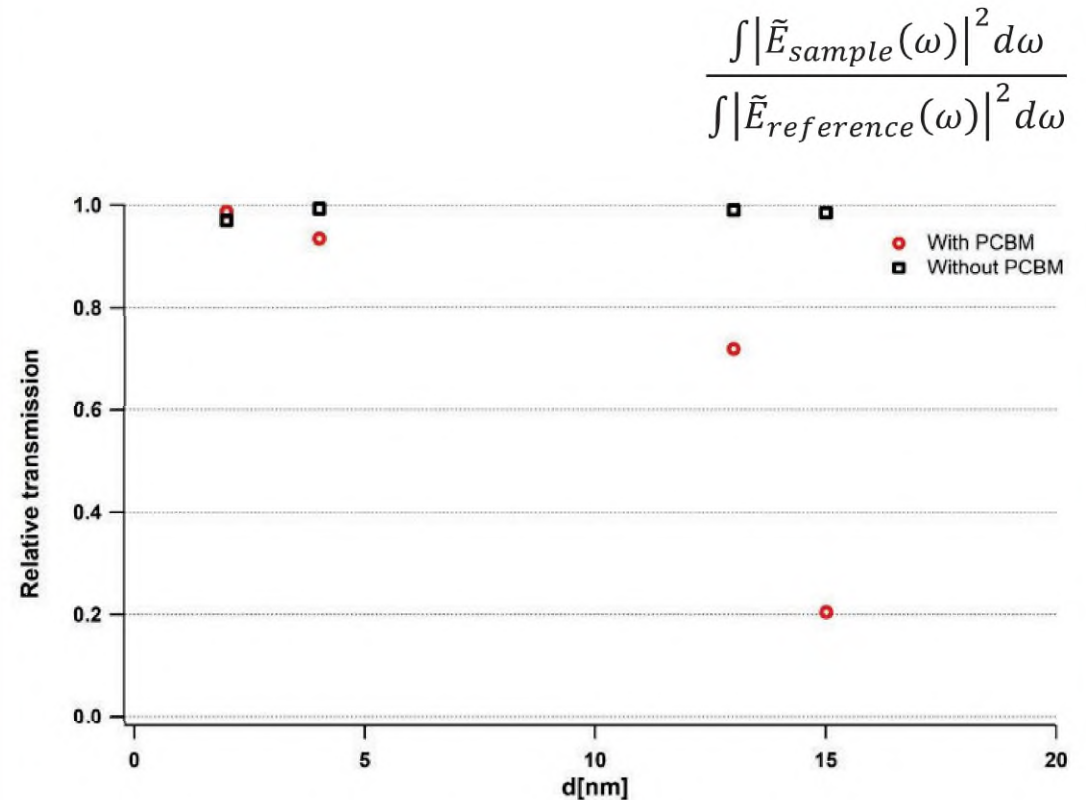


FIG. PCBMを成膜（○）あるいは成膜していない（□）高抵抗シリコン基板に金薄膜を蒸着した試料のテラヘルツ透過率の金蒸着膜厚依存性

Smith-Purcell radiation emitted from a femtosecond electron bunch

浅川誠¹, 中嶋誠²

1) 関西大学大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

金属回折格子と電子バンチの相互作用に基づくスミス・パーセル放射光源の放射効率を向上するためにシート電子バンチの生成を試みた. シート電子バンチは光電陰極に, シリンドリカルレンズを用いて長軸半径6 mm, 短軸半径0.14 mmの楕円に集光した100 fsレーザーを照射することにより生成した. シート電子バンチの中心部はレーザー照射スポットの短軸方向に大きな発散角を持つことがわかった. また, 同じ面積の円形レーザースポットから生成する電子バンチと比べ, シート電子バンチの正味の発散角は小さかった. この実験結果はシート電子バンチのエミッタンスが円形電子バンチと比べ小さいことを示唆している.

またGoogleが公開しているAIであるTensorflowを利用した, 電子バンチプロファイルの評価システムおよびレーザーアライメント強化学習システムを構築した. 今後, 2つのシステムを統合した光電電子銃自動制御システムを開発する

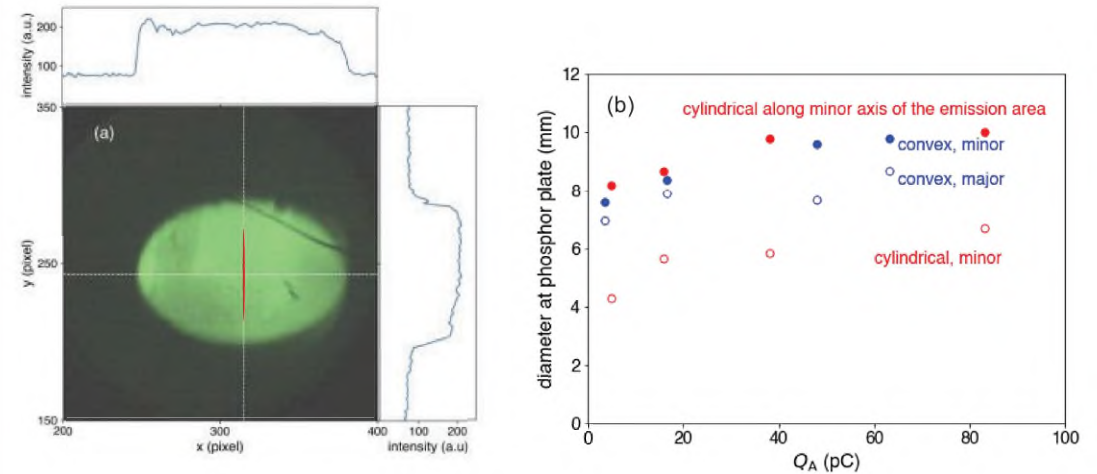


FIG. シート電子バンチ生成実験結果. (a) 陽極アパーチャー通過後の電子バンチプロファイル. 中央部の赤い領域は陰極上でのレーザースポットを表す. レーザースポットの短軸方向に大きく発散する. (b) 同じ面積のレーザースポットから発生したシート電子バンチ (赤) と円形電子バンチ (青) の発散角の比較.

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 ムールデラホセリート¹, 郭其新³

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) 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テラヘルツ(THz)波発生素子(Fe/Pt2重層金属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) アンテナ部のPt膜厚をさ200nmにすることで、時間波形のpeak-to-peak値で、アンテナ構造がない場合に比べて、Diabolo型アンテナ(アンテナ長2mm)の場合で約6.3倍、長方形型アンテナ(40 μm x 200 μm)の場合で約6.6倍増大することが確認された(FIG参照)。
- 2) ロックインアンプによる位相同期信号検出を、従来の励起光の光チョッパー(変調周波数 1 kHz)による変調方式からバイアス磁場の交流変調(± 10 mTの1kHz正弦波変調)にすることで、検出信号を約1.9倍に改善することができた。

これらの改善により、金属スピントロニック素子がTHz時間領域分光法における実用的な広帯域放射素子として利用できることが実証された。

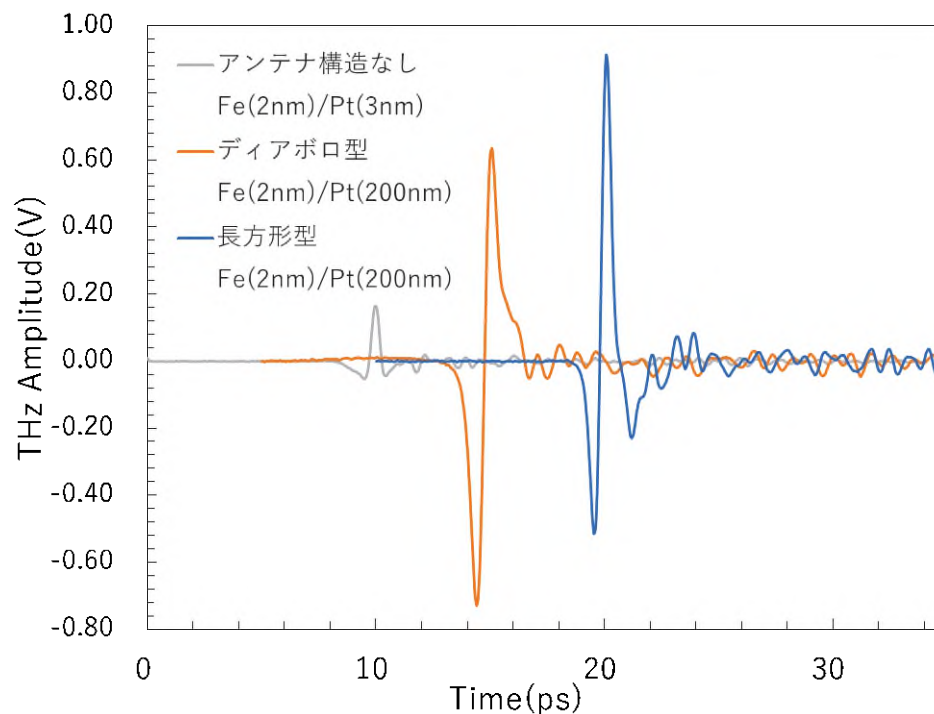


FIG. Fe/Ptスピントロニック素子からのテラヘルツ波放射波形の比較。灰色：アンテナ構造のない場合。オレンジ：Pt200nm厚のDiabolo型アンテナ構造の場合。青：Pt200nm厚の長方形型アンテナ構造の場合。

テラヘルツ分光によるバイオミネラルの結晶多形同定とイメージング

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

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) 田尻薄片製作所, 4) 名古屋市立大学医学部,
5) 国立科学博物館, 6) 産業科学研究所, 7) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

We investigated COM and COD by FTIR spectroscopy in the 3-12 THz frequency region. The characteristic absorption band observed around 8.5 THz is attributed to COD and COM shows weaker absorbance around the 7-10 THz region. For the FTIR reflection spectrum of a real urinary tract stone, COD-rich spots show higher COD intensity in the 6-18 THz range compared to COM-rich spots.

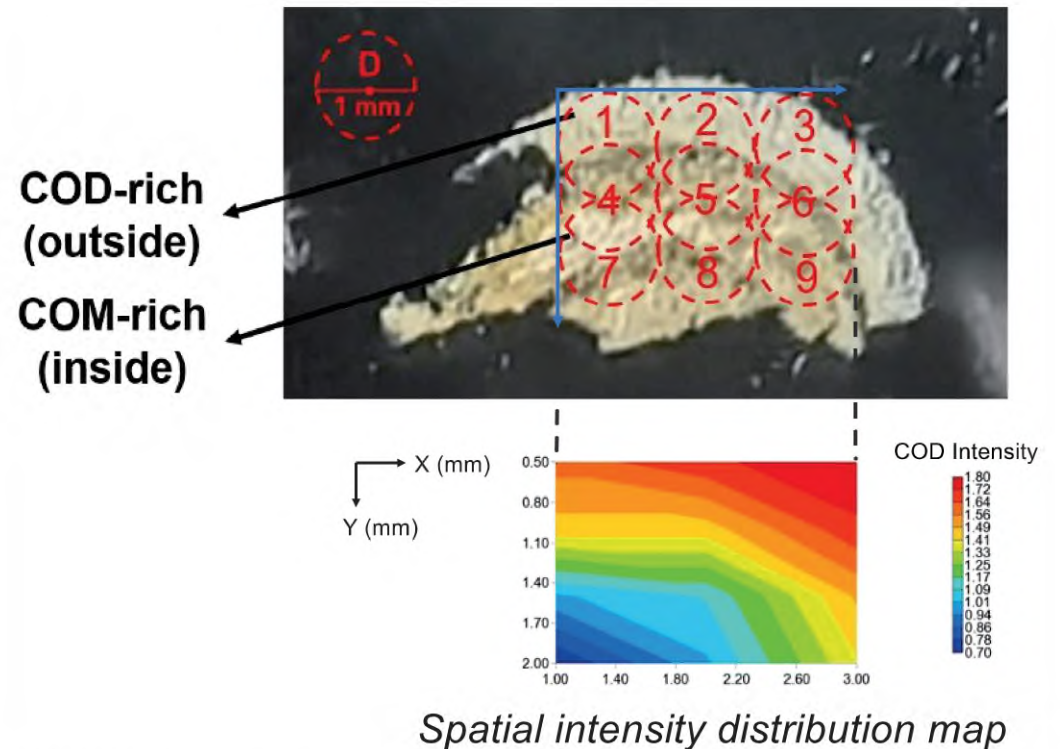


FIG.1 The spatial intensity distribution map was made of the maximum values by subtracting the reflectance curve of each spot from the background component. Spots that contain COD-rich parts show higher COD intensity than spots that contain COM-rich parts.

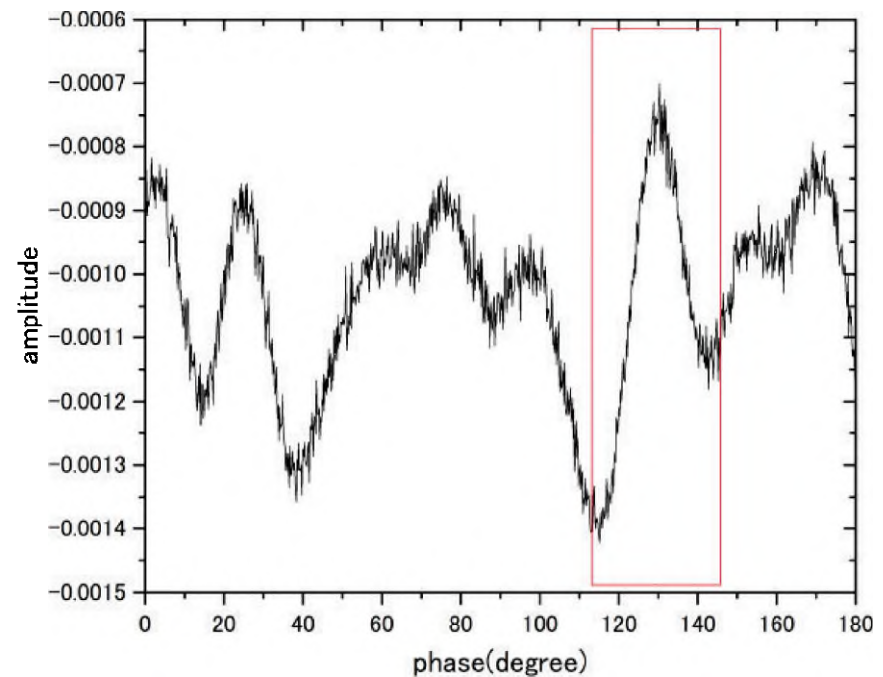
超高速テラヘルツ波計測システムの開発とゆらぎ領域の伝導度計測

川山巖^{1,2}, 村上博成², 斗内政²

1) 京都大学大学院エネルギー科学研究科, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

「ゆらぎ」領域の高速・高感度検出の基盤技術を確認するため、高繰り返し周波数対応THz検出システムの開発を行った。従来は、THz信号を数kHzの変調でロックイン検出していたが、本研究では80MHzのパルス信号をボックスカー積分器で直接検出することを目指した。市販の400MHz電流アンプをテラヘルツ検出部である光伝導アンテナに接続し、出力特性の評価を行なった。その結果、SN比は十分でないものの、光電流波形を検出することに成功した。今後は、光伝導アンテナと電流アンプのインピーダンスマッチング等を考慮した専用回路で接続し、リングング等を除去することにより高速・高感度化を実現する。



くり返し周波数80MHzのTHzパルス信号をボックスカー検出した結果。横軸は参照周波数80MHzに対する相対位相。赤枠で囲った箇所が光電流アンテナの出力信号。

日本の伝統模様（青海波）のTHz-SRRパターンへの応用

李 相錫¹, 松永 忠雄¹, 中嶋 誠²

1) 鳥取大学工学部, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

メタ材料の多くは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帯のメタ材料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い、高抵抗Si基板上にAuを用いてSRRパターンの作製も行った。今後THz波の透過特性を調べる。

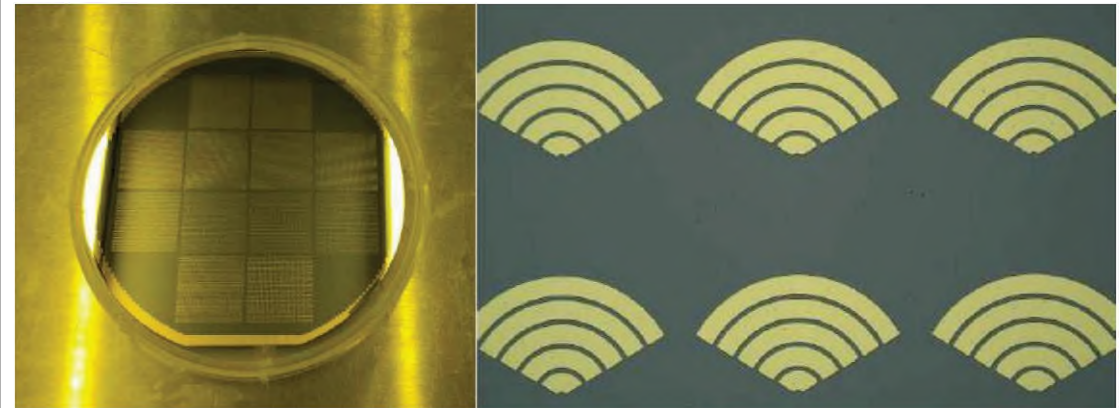


FIG. 高抵抗Si基板上に作製した青海波パターン。左の写真は4インチウェハ全景を示し、線幅、線間間隔、線の数が異なる12種類のパターンが作製されている。右の拡大写真は線の数が5本の青海波パターンを示す。

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, 中嶋誠²

1) 大阪大学産業科学研究所, 2) 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」(図1(a))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。実験では、エシエ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。この測定により、特殊相対性理論で電場分布に歪み・電場収縮が生じている事を実験的に明らかにした(図1(b))。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]。

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).

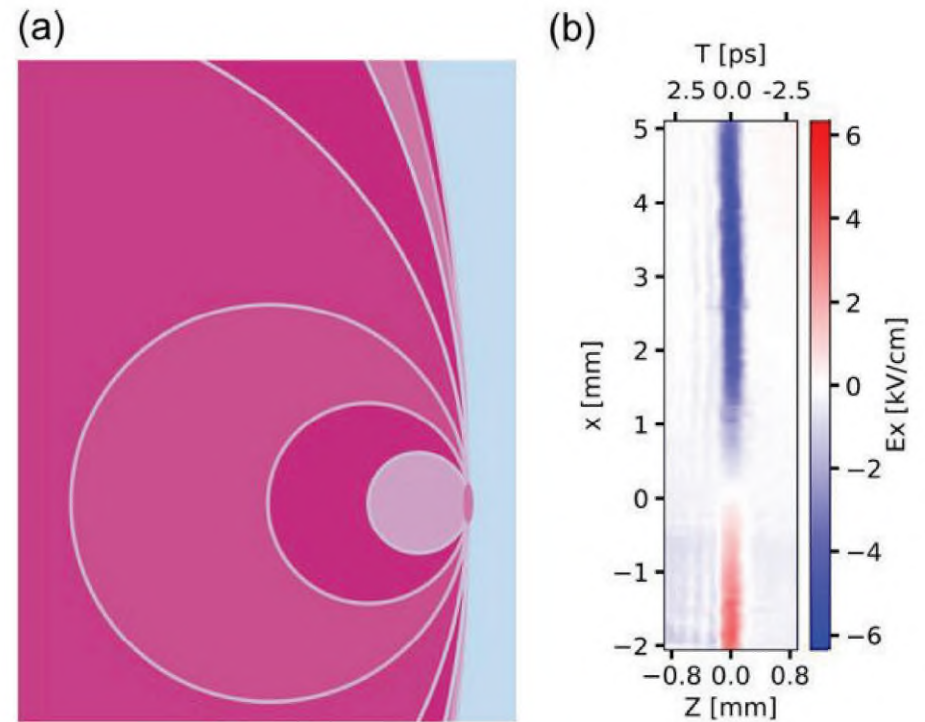


FIG. 1 (a) 相対論的速度で左から右へ運動する電子の周りの等電位面の概念図。(b) 電磁場の歪みの計測結果。進行方向Zに運動する電子ビームのクーロン場が動径方向xに延伸している様子。

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

栞島史欣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) 大阪府立大学電子数物系、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、特にレーザーの閾値付近まで、レーザーカオス光の光ビートが安定していることを示し、カオスの構造安定性を実証した。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。カオスの構造安定性は、自律的な制御につながり、これまでの精密制御を超えたメタ工学の創造につながる。

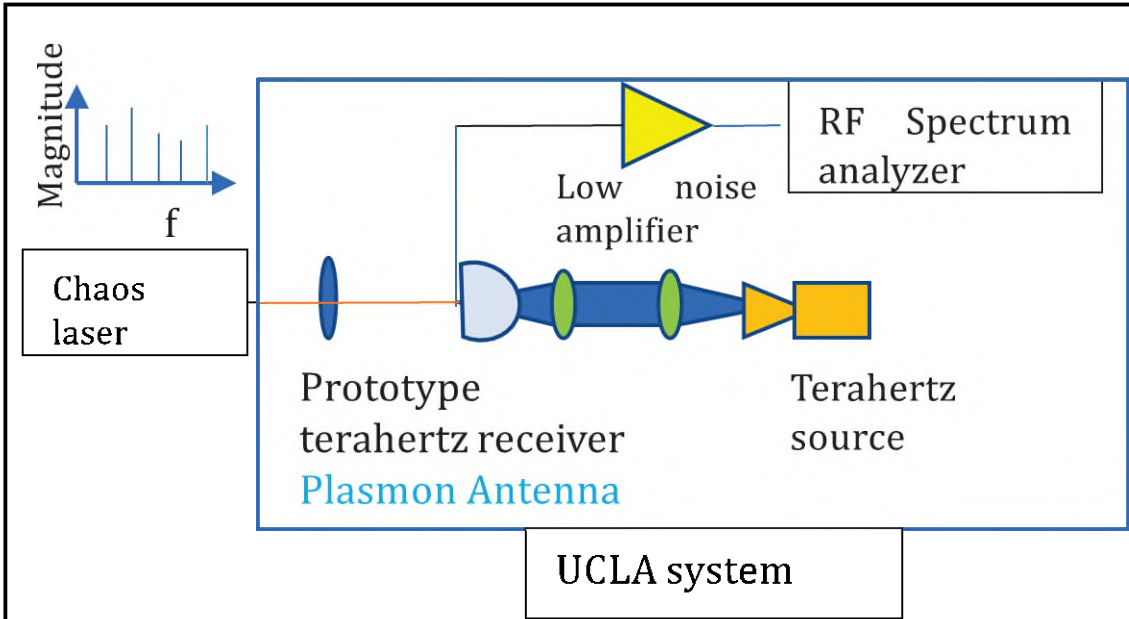


FIG. 1 Rf にダウンコンバートする実験系

ポスト5G/6G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, 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年代には次世代の通信規格である6G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、高精度での評価が可能かどうかを検証し、またRuやCoなどの次世代の配線材料として注目されている金属について、材料違いや成膜方法による差、膜厚の依存性に関する知見を得ることを目的とした。加えて、プログラマブルなテラヘルツ素子を実現させる相変化材料に関しても着目しており、その評価を実施した。その結果、薄膜化することで金属の測定が原理的に可能であるが現時点では測定精度が不十分なことや、高精度な測定を実現させるための装置の改良の必要性が浮かび上がった。

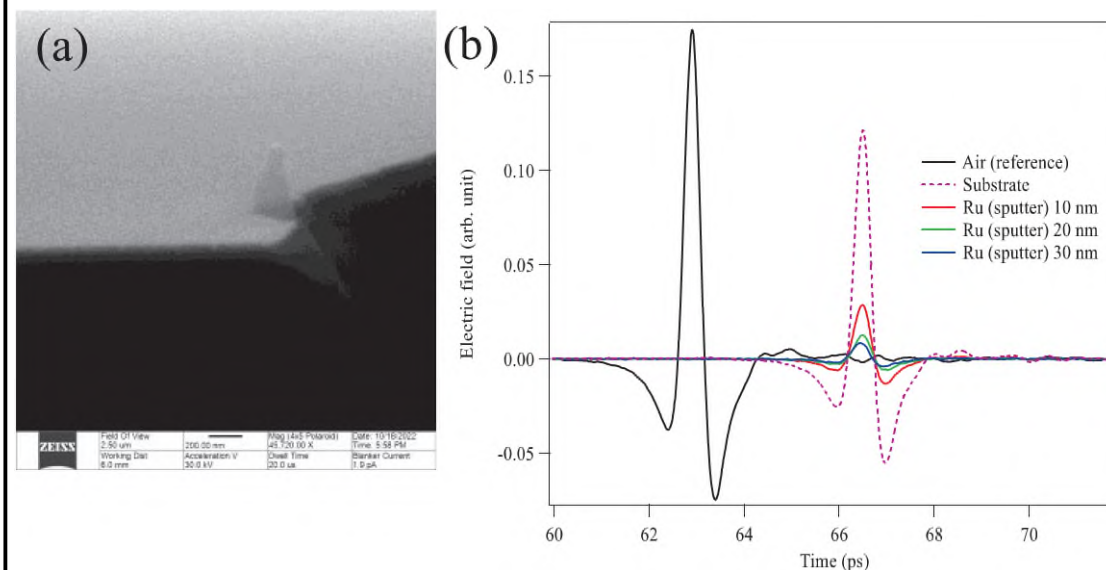


FIG.1 (a) スパッタにより成膜したRu薄膜のヘリウムイオン顕微鏡像（鳥瞰図）。成膜の質や膜厚の確認を行い、平坦な膜が形成されていることが確認された。(b) テラヘルツ波時間領域分光により測定されたRu薄膜の時間領域信号。薄膜化することで金属であっても測定が可能で、また明確な単位厚さあたりの吸収の膜厚依存性が確認された。

高強度テラヘルツパルスによるスピン制御の研究

森田 健¹, 中嶋 誠²

1) 千葉大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

半導体中の電子スピンの高強度THzパルスによってどのように制御できるかについて研究している。本年度は空間分解測定を行い、高強度THzパルスによってスピンの移動するかどうかの観点で実験を行った。最大電場強度が60 kV/cmである正負が反転した2つのTHzパルスを光励起スピンに照射し、方向に一軸の空間分解測定を行った。照射したTHzパルスの電場は正負が反転しているはずなのに、空間移動の差は得られなかった。本実験条件下では、THzパルスを照射してもスピンは移動せず、スピンの信号だけが減衰しているという結果を示している。スピンのTHzパルスを照射することによるスピン制御は上記の実験条件では難しいことが分かり、ただ、スピンの信号には大きな変調が見られることを明らかにした。

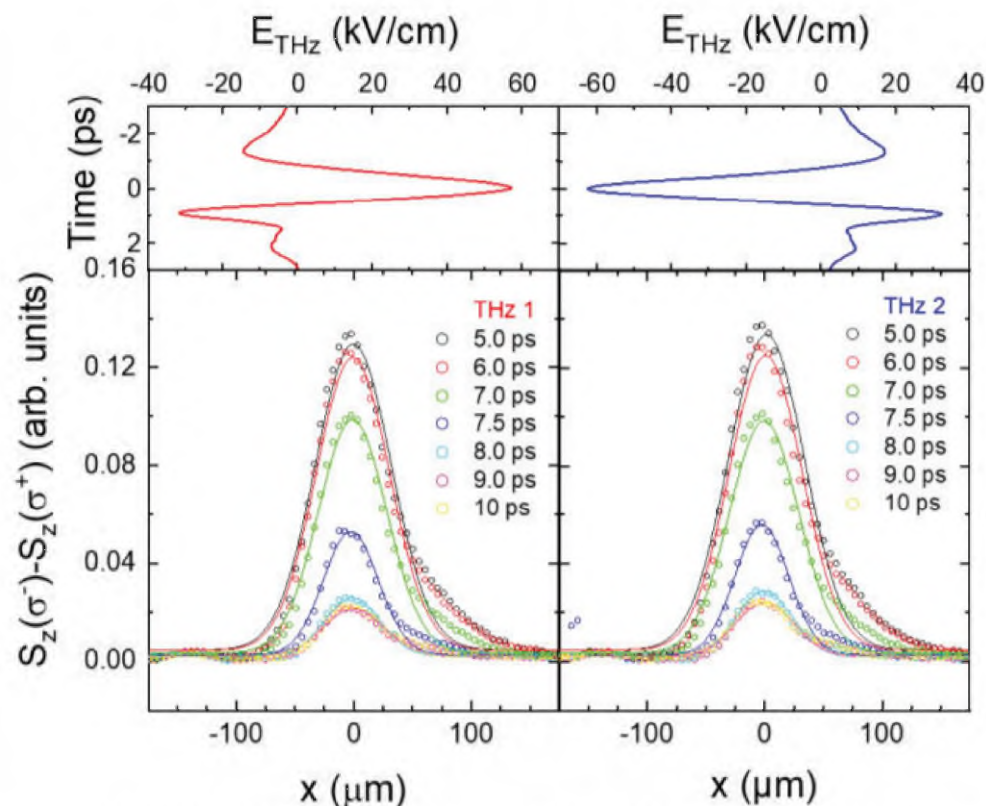


FIG. (a)正と(b)負の方向で対称的な最大電場強度を持つ高強度THzパルス. (c)は(d)はそれらを照射したときの電子スピンの空間分布.

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（大阪市大で実施）と作製方法について検討した（大阪大と大阪市大とで実施）。

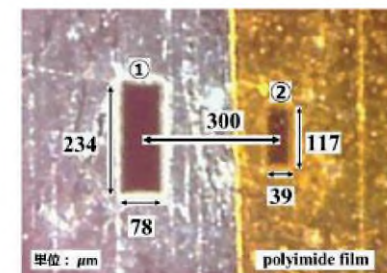
今年度は長方形型開口に注目し、FDTD電磁界計算で設計された、2つの異なる開口サイズからなる金属メッシュをレーザー加工で作製した。その2つの開口部にTHz波ビームを同時に照射した結果、試料を付着した開口の透過ピークだけが低周波数側へシフトし、マイクロアレイセンシングが可能である事を確認できた。

模擬試料を用いたセンシング

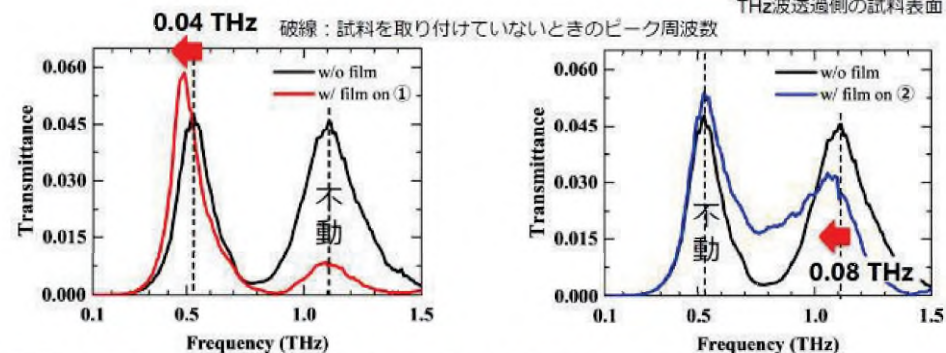
横2つに並べた開口の片方に試料を付着

試料：ポリイミドフィルム

屈折率 1.85 厚さ 25 μm



THz波透過側の試料表面



試料を付着した開口の透過ピークだけが低周波数シフト



開口サイズを変えることで隣接する開口からの応答を分離することが可能

図. YAGレーザーで作製した2つの異なる開口サイズからなる金属メッシュの画像（右上）。画像は右側の開口に試料を付着させた時のもの。その時の透過率が右下図であり、高周波数側の透過ピークだけがシフトしている。

Radiation damage investigations on MBE-grown GaAs/Si epilayers

Roni Andig¹, Craig Egan Allistair D. Tan¹, Gerald Angelo R. Catindig¹, Erick John Carlo D. Solibet¹, Alexander E. de los Reyes¹, Horace Andrew F. Husay¹, Elizabeth Ann P. Prieto², Melvin John F. Empizo³, Karl Cedric P. Gonzales¹, Ivan Cedrick M. Verona¹, Hannah R. Bardaloza¹, Vallerie Ann I. Samson⁴, Giuseppe Filam O. Dean⁴, Nobuhiko Sarukura³, Armando S. Somintac¹, Elmer S. Estacio¹, and Arnel A. Salvador^{1,2}

1) National Institute of Physics, University of the Philippines Diliman, Quezon City 1101, 2) Materials Science and Engineering Program, College of Science, University of the Philippines Diliman, Quezon City 1101, Philippines 3) Institute of Laser Engineering, Osaka University, 2-6 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan, 4) Philippine Nuclear Research Institute, Diliman, Quezon City 1101, Philippines

SUMMARY

Several reports have already examined the radiation effects on GaAs and Si semiconductor materials. However, little is known regarding the effects of radiation on the THz properties as most investigations focus on GaAs' and Si's electrical properties and solar cell applications. In this regard, we performed radiation damage investigations on MBE-grown GaAs/Si epilayers. GaAs epilayers were first grown with varying thicknesses and growth temperatures on Si (100) and (111) wafers. Afterwards, the MBE-grown GaAs/Si epilayers were irradiated with electrons with 100 to 200 kGy absorbed doses. Both non-irradiated and electron-irradiated LT-GaAs/Si epilayers exhibit similar THz peak-to-peak amplitudes, frequency bandwidths, and dynamic ranges regardless of the Si substrate orientation. Our results suggest that MBE-grown LT-GaAs/Si epilayers are robust to electron radiation and can be developed further for radiation-durable applications.

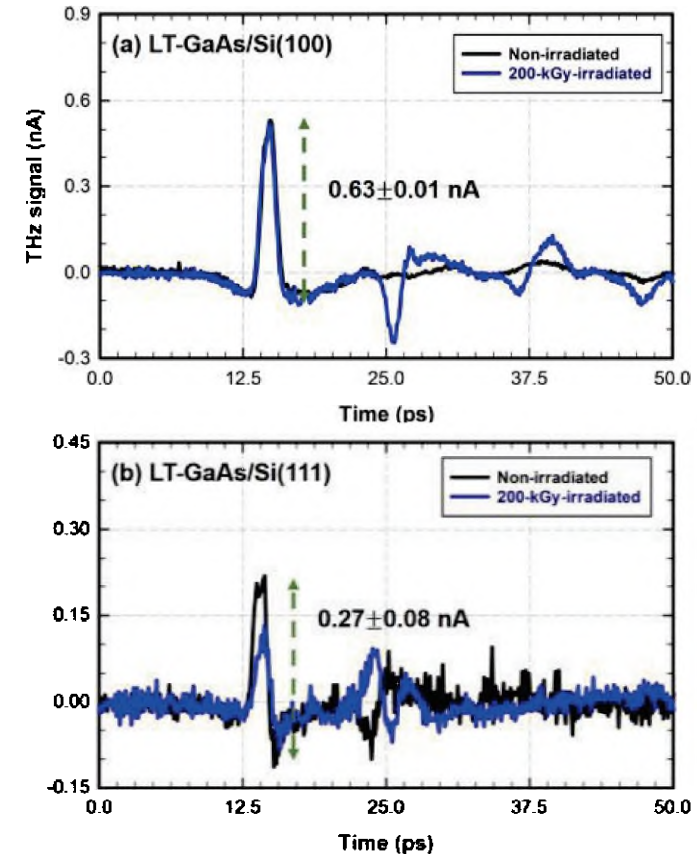


FIG. 1. THz time-domain spectra non-irradiated and electron-irradiated MBE-grown GaAs epilayers grown on (a) Si (100) and (b) Si (111) wafers.

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。この問題ではトリチウムの分量を調べることで分離する2つの課題がある。前者に対してはテラヘルツ光を用いたその場でのモニター、後者に対しては、赤外光と紫外光を用いて分離する手法を検討している。この手法はトリチウムのみ的高效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、分離に関して用いるべき赤外光の波長について議論を進めた。放射性汚染水ではトリチウムは水(HTO)の形態であるため、沸点である100℃でのスペクトル線の形状も考慮して、シミュレートし、軽水と干渉しない振動モードの検討を行った。さらに、これまでの実験データから基準振動の振動数と非調和定数を求め、任意の振動準位について計算できる基礎データを得ることができた。

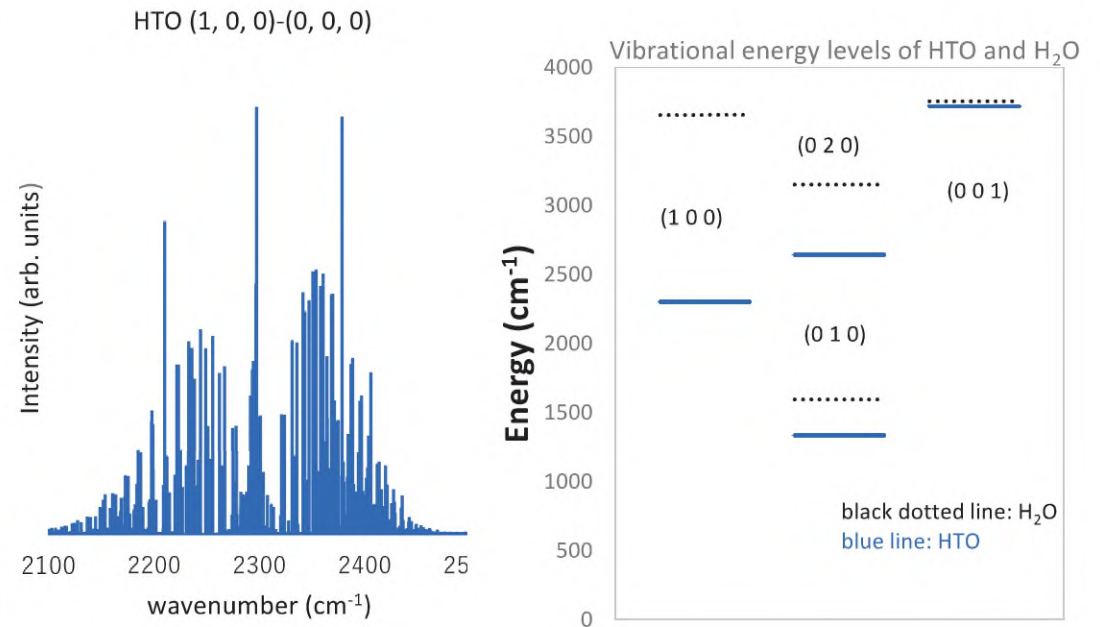


FIG. (左) トリチウム水(HTO)の赤外スペクトルシミュレーション 回転まで分離した ν_1 振動モードの様子 (右) トリチウム水と軽水の振動エネルギー準位

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

1) 福井工業大学, 2) 福井工業高等専門学校

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。通常が多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。この結果は論文にまとめ掲載が決定した。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。

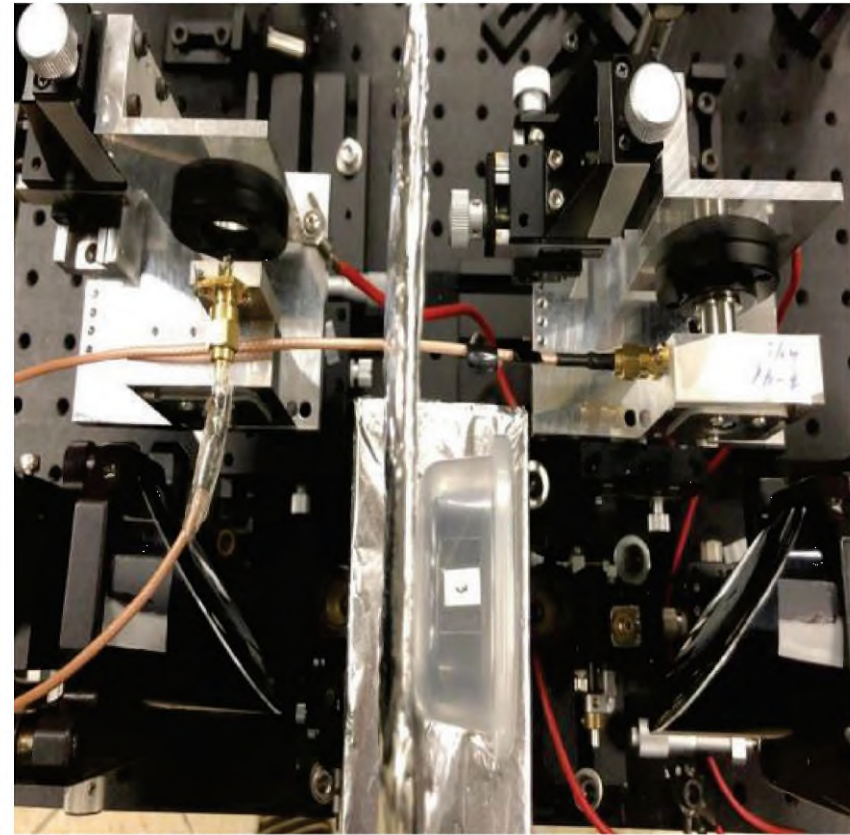


FIG. 1 レーザーカオスによるTHz-TDSのサンプル部分

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

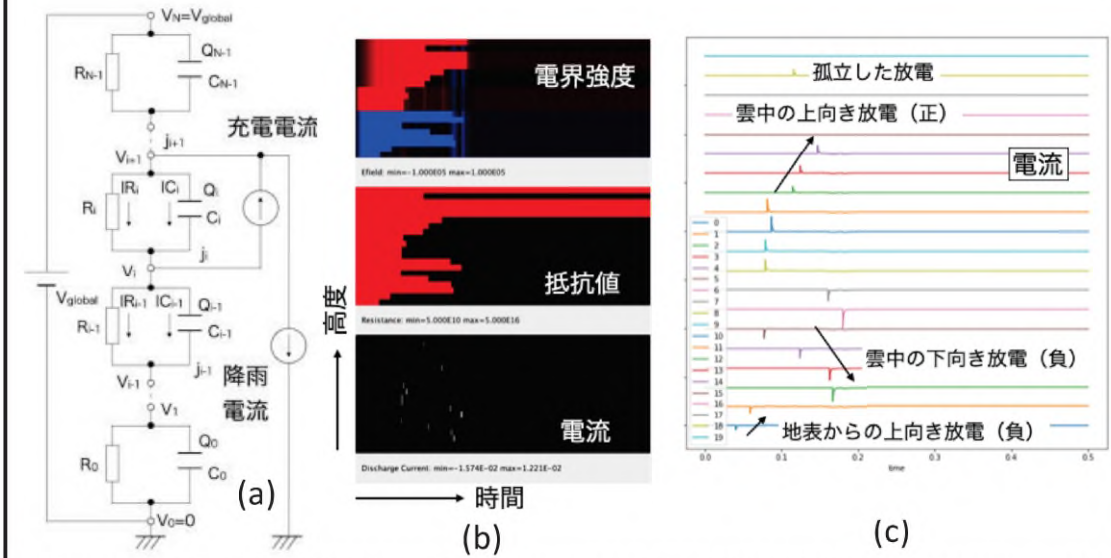
佐々木 明

量子科学技術研究開発機構・関西光科学研究所

SUMMARY

従来の手法では解析が困難な、光学損傷の複雑なメカニズムを解明することを目的に、多様な自然界および人工的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。

今年度は一次元モデルによる雷現象の解析を行った。雷雲中に鉛直方向に一次元の大気の柱を考える。雲の中で氷晶の衝突による電荷分離が起きた後、生成した電荷の一部が雨とともに地表に落下すると考えると、雲の高度や降雨の強さに対して観測されている鉛直方向の電位の分布を再現し、さらに高地の雷、冬季の雷などでの特徴を再現することができる。これに電界の強度の二乗に比例する確率で絶縁破壊が起こるという放電のモデルを適用すると、雷の発生と伝播の特性、例えば対地放電、雲中放電およびスプライトのような上空への放電の発生の確率の評価が行えると考えられる。単純化な一次元モデルは、雷放電の興味ある現象の解析に有用であると考えられる。



(図) (a) 雷雲の一次元の等価回路。大気鉛直方向の柱を抵抗とコンデンサで表しこれとグローバルサーキットとで閉回路を構成する。充電電流と降雨電流で雷雲の Upper positive、 Lower negative、 pocket positive からなる電荷分布が生成する。(b) 電界強度、抵抗値（赤が絶縁破壊が起こった場所を示す）、電流の高度に対する時間発展。(c) 各高度における電流の時間発展。各場所でパルス状に放電が発生し、伝播することを示す。

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，本越伸二¹，染川智弘¹，谷口誠治¹，ハイク・コスロビアン¹，倉橋慎理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

高出力レーザー装置を安定に稼働するためには、使用する光学素子の高レーザー耐力化とともに、その耐性（レーザー損傷しきい値LIDT）を正確に把握することが重要である。

LIDTの評価は、従来顕微鏡による表面観察により行われていたが、より早く、正確に評価するために自動化が進められている。そのために最も重要な課題は、レーザー照射時の損傷を検出することである。

2022年度は損傷時に発生するプラズマ発光に着目し顕微鏡観察と比較を行った。反射防止コートの評価の結果では、約 $20\text{J}/\text{cm}^2$ 以上では顕微鏡観察のLIDTと一致することが確認できた。

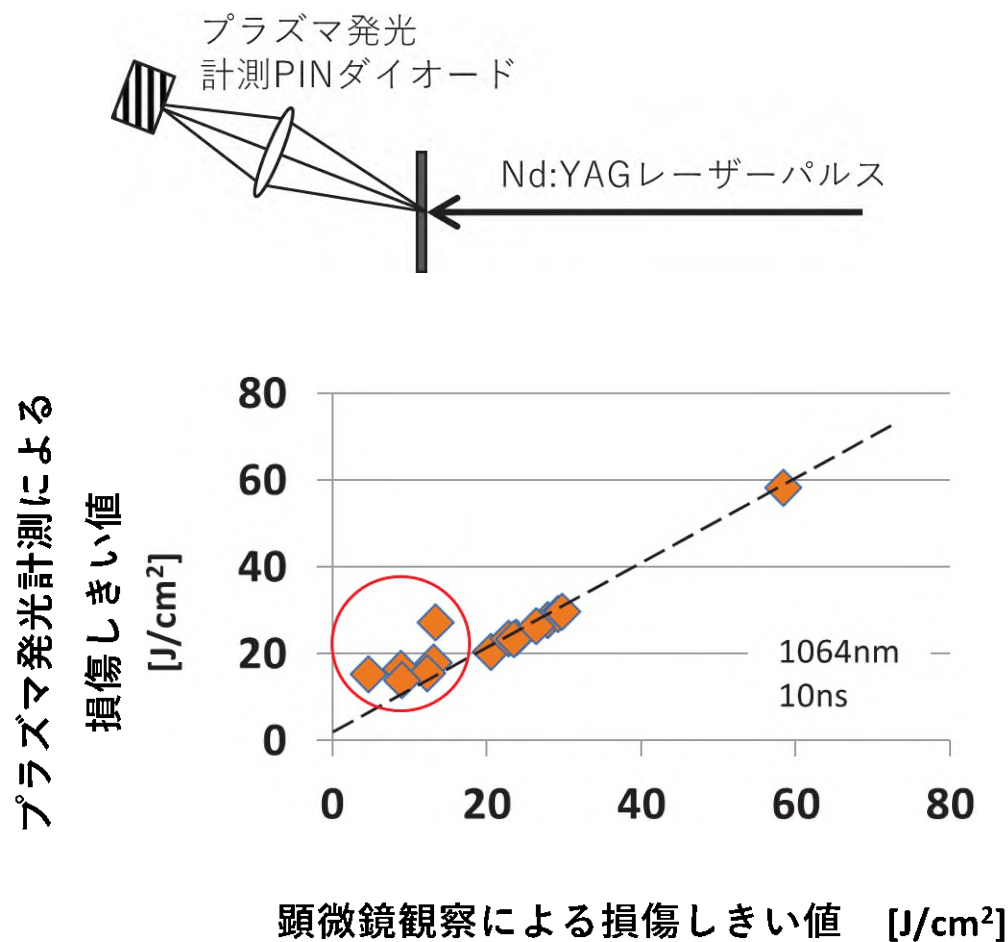


FIG. 顕微鏡観察とプラズマ発光計測による反射防止コートの損傷しきい値の比較

LFEXレーザーシステムの高性能化 —LIFEレーザーシステムの動特性評価—

金邊 忠¹, 河仲 準二², 荻野 純平²

1) 福井大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

高出力レーザーでは非線形屈折率は無視することができず, 非線形光学効果(B係数)により光学ノイズが成長する. 増幅器内部に光学ノイズを注入できる2次元非線形伝播増幅シミュレーションコードを開発し, レーザー動特性評価を行った. 本報告での評価レーザーシステムは米国LLNL研のLIFEシステムを示す. 図より, LIFEシステムの1shot目標出力エネルギー(8125J)時, 想定光学ノイズ量では光学素子の損傷閾値以下である2.74以下をとり設計目標を達成している. しかしながら, クリーン度 $F=10^{-3}$ (かなり汚れた状態) 想定光学ノイズでは, B係数が5以上と大きな値を示している. 概ね, 経年条件でのB係数の低減設計の評価は, 今後の課題である.

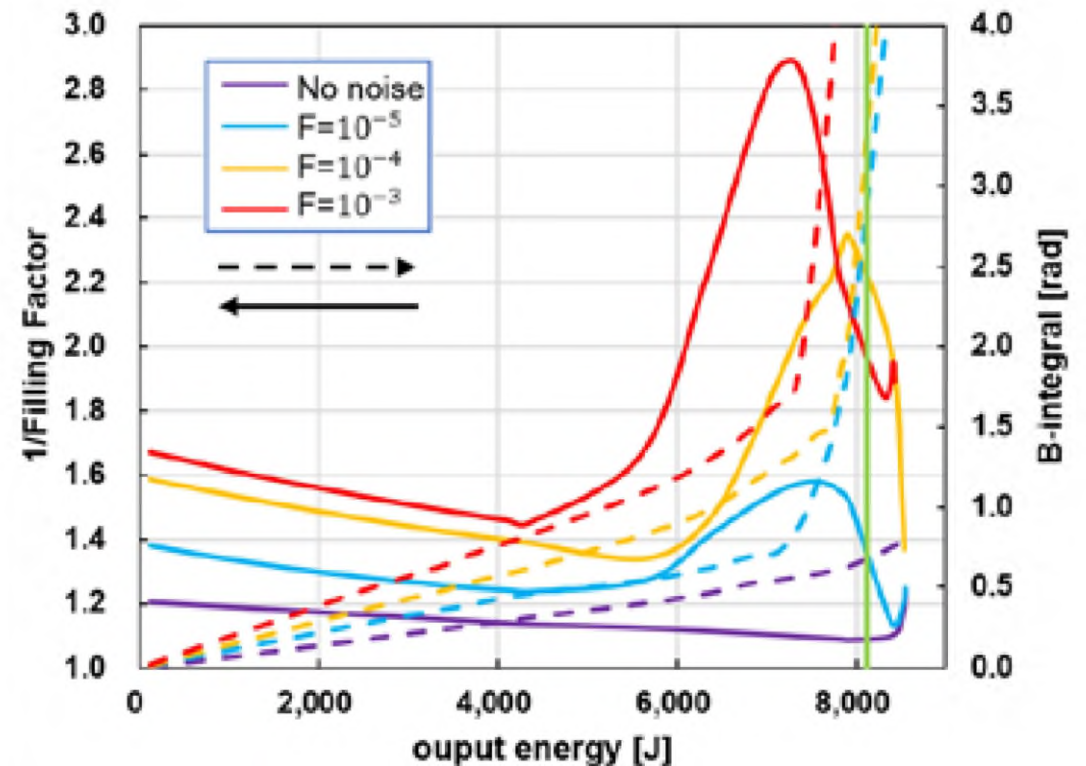


FIG. output energy と 1/Filling Factor と B-integral

Optical image transfer by using a multimode fiber

T. Nakamura¹, Y. Arikawa², T. Hayakawa²

1) SANKEN, Osaka university, 2) Institute of Laser Engineering, Osaka University,

Summary

Multimode fibers are usually used as “non optical imaging” device because a transmitted light profile is speckle pattern like figure 2. (b). In the reality, an image is converted transferred via a lot of modes in the multi mode fiber. The pattern is independent for every input portions of the multi mode fiber. If point spread functions for all points in the input are measured, the optical image can be reconstructed.

If this method would be successful, it can be applied laser fusion plasma experiment such as ultra high resolution imaging detector at very close position from the plasma.

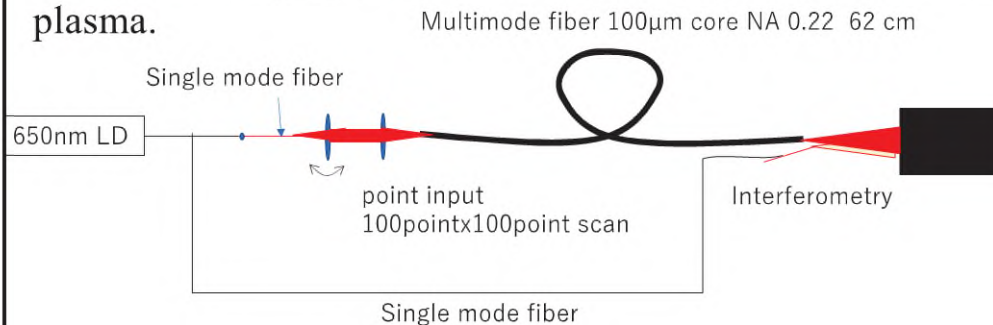
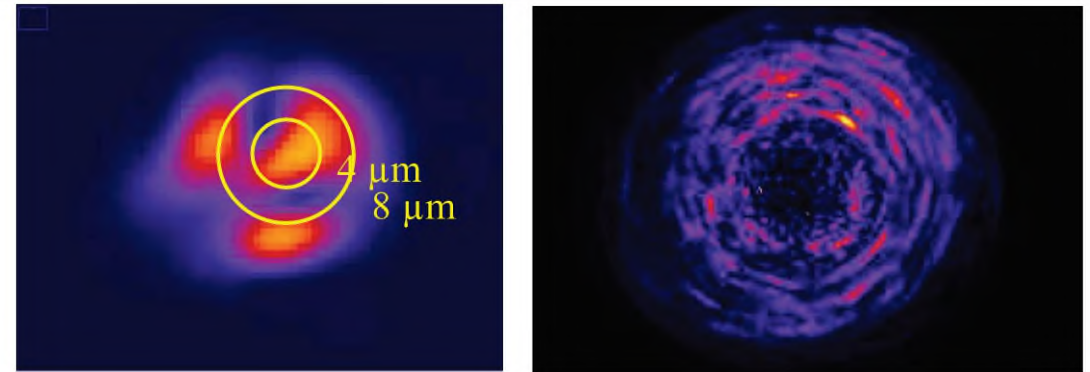
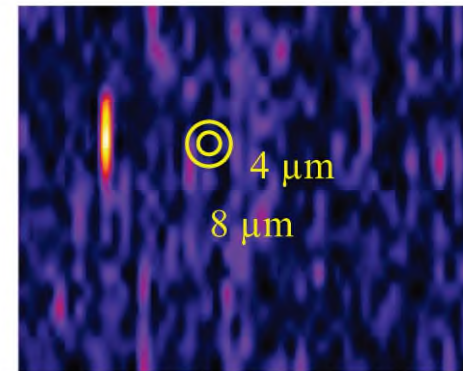


Figure 1 Multimode fiber imaging setup



(a) Test injected pattern image
(TEM 11 mode from a fiber)

(b) Multimode speckle
pattern



(c) Reconstructed image (not
well reconstructed due to issues
in the experimental setup).

Figure 2. First testing results of the multimode fiber imaging (not succeeded yet). (a) is test injection pattern from MM fiber input. (b) is output image from MM fiber by (a). (c) is reconstructed image which is not succeeded but single bright spot is seen.

Improvement on characteristics of Pr³⁺-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.

This year, we developed a high Li ion-containing glass, LCG, as a new host material and investigated the dependence of PL properties on Pr³⁺ concentration in LCG:Pr³⁺ glass samples. The PL intensity increased with increasing PrF₃ concentration up to 1 mol% and then was almost the same at 1 mol% and 2 mol%. This result indicates that the possibility of developing glass scintillators with fast response and high light output by optimizing the concentration of PrF₃ between 1 and 2 mol% in LCG glass. 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.

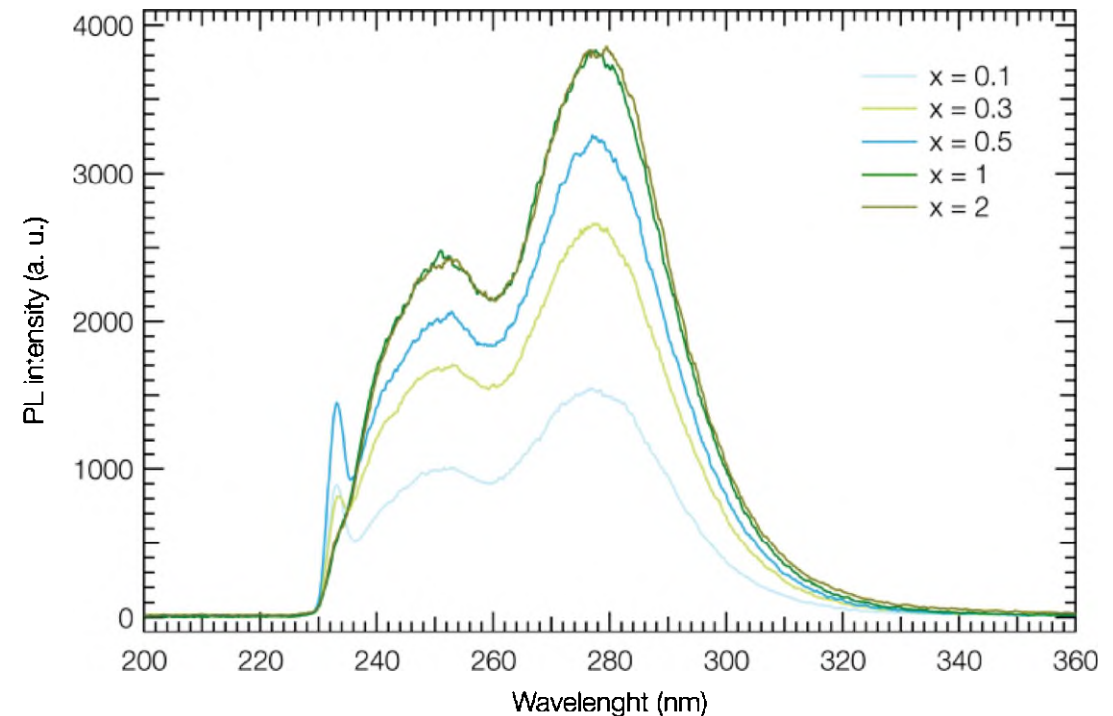


FIG.
PL spectra of LCG: xPrF₃ glass samples excited at 231 nm.

Exploring fast ultraviolet cross-luminescence scintillation from barium fluoride crystal under high pressure

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

The luminescence from BaF₂ contains a very fast and a slow component. The fast component is cross-luminescence (CL). The decay time of CL is 600 ps, which is 1/1000 that of the slow component called self-trapped exciton emission. However, the CL wavelength is in the vacuum ultraviolet region. Numerical calculations predicted that the wavelength of CL can be shifted to longer wavelength by controlling the band gap energies through high pressure application to the crystal [1]. In this research project, we observed experimentally the pressure dependence of the shift in the CL wavelength when pressure is applied to the BaF₂ crystal. The luminescence and x-ray diffraction were measured simultaneously under high pressure in a sapphire anvil. X-rays of 20 keV was used as excitation source. Figure 1 shows the relationship between pressures and lattice constants of BaF₂. The crystal phase was changed at 3 GPa from cubic to orthorhombic and CL was shifted to longer wavelength. [1] M. Cadatal-Raduban et al *J. Chem Phys* 154, 124707 (2021).

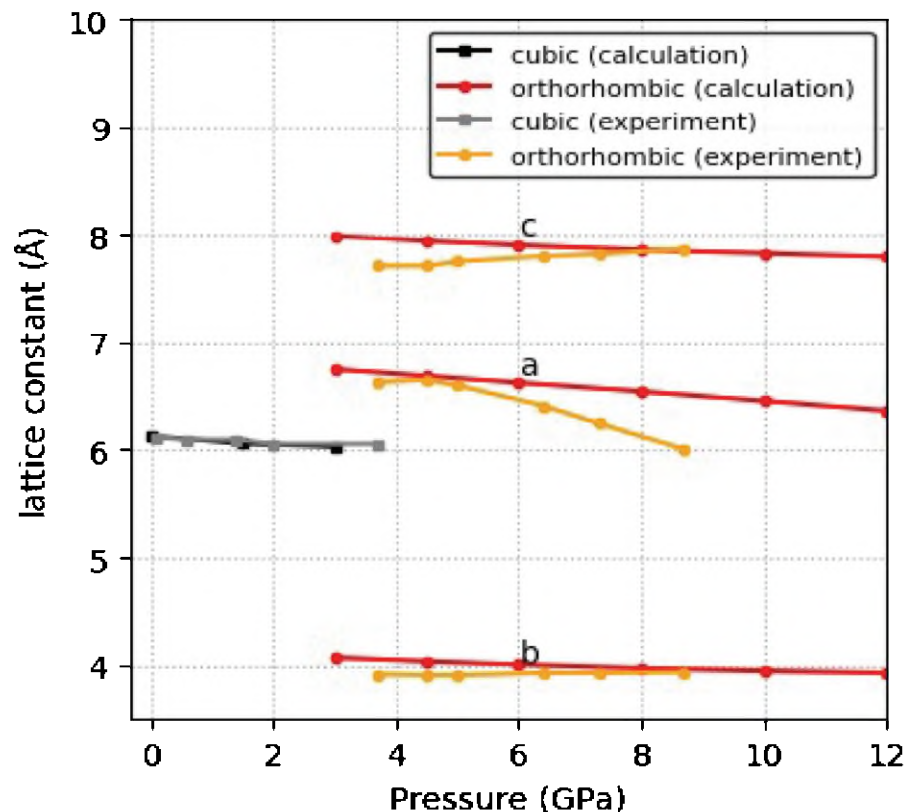


FIG. Change in lattice constant under high pressure. The crystal phase changed from cubic to orthorhombic at 3 GPa pressure. This indicates a change in the electronic structure and consequently a shift in the emission wavelength.

次世代高機能光ファイバデバイスの開発とその応用

藤本 靖

千葉工業大学

SUMMARY

We successfully demonstrated a pulse laser with a fundamental repetition rate of 1 GHz in passively Q-switched mode-locked oscillation by using Yb–Mg-doped silica glass fiber (YbMgSGF). The YbMgSGF core glass, fabricated by the zeolite method, showed a Yb₂O₃ content of 5.46 wt%. To the best of our knowledge, our laser is the first silica-glass-based, Yb-doped fiber laser operating at a fundamental repetition rate of gigahertz. The laser cavity was constructed by a 102-mm-long YbMgSGF as a laser medium and a semiconductor saturable-absorber mirror as a mode-locker. The laser output power reached 5.93 mW, and its slope efficiency and lasing threshold power were 3.6% and 5.3 mW, respectively. The peak wavelength of the oscillation was 1039 nm. We also discuss the conditions to transition from Q-switched mode-locked operation to continuous-wave mode-locked operation. The proposed fiber laser can serve as a seed laser for a master oscillator power amplifier for a high-power, high-efficiency pulsed fiber laser source.

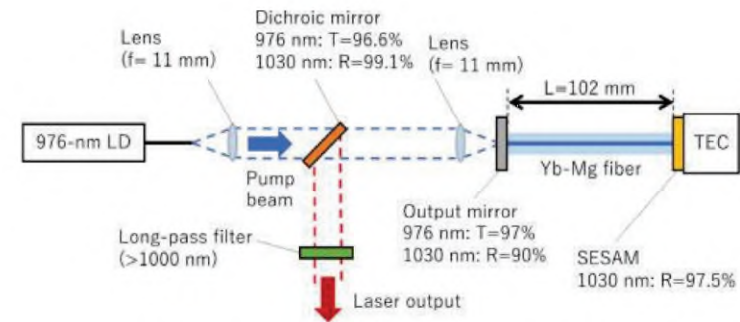


Fig. 2. Schematic diagram of experimental setup. LD, laser diode; SESAM, semiconductor saturable-absorber mirror; TEC, thermoelectric cooler; f, focal length; L, cavity length; T, transmittance; R, reflectance.

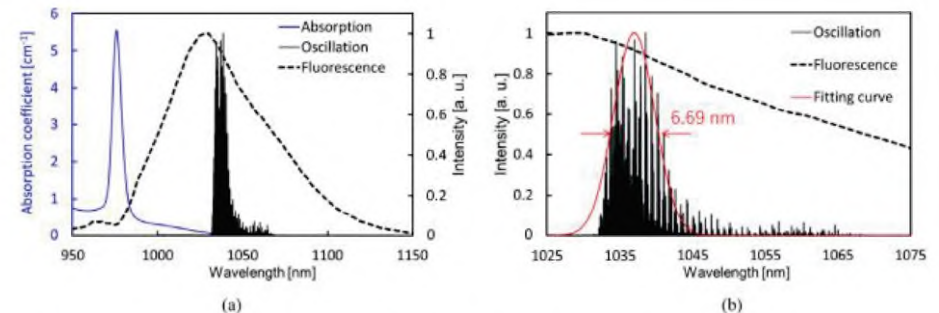


Fig. 3. Absorption (blue) and fluorescence (black, dotted line) spectra of Yb–Mg-doped silica glass and laser oscillation spectrum (black, solid line) and Gaussian fit (red) in Mg-co-doped Yb-doped silica glass fiber when the output power is 5.13 mW: (a) wavelength range between 950 and 1150 nm; (b) wavelength range between 1025 and 1075 nm.

Fig. 2. Schematic diagram of experimental setup.

Fig. 3. Absorption (blue) and fluorescence (black, dotted line) spectra of Yb–Mg-doped silica glass and laser oscillation spectrum (black, solid line) and Gaussian fit (red) in Mg-co-doped Yb-doped silica glass fiber when the output power is 5.13 mW: (a) wavelength range between 950 and 1150 nm; (b) wavelength range between 1025 and 1075 nm.

新奇層状複合アニオン化合物を母材とした新規蛍光体の開発

岩佐祐希¹⁾、山ノ井航平²⁾、荻野拓¹⁾

1) 産業技術総合研究所, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

複数のアニオンを含んだ無機化合物である、複合アニオン化合物を母材とした新規蛍光体開発を行った。今年度はEu³⁺イオンを添加した蛍光体の蛍光特性の評価を行った。電気双極子遷移である⁵D₀→⁷F₂遷移は1.32 msの蛍光寿命を持つことが分かった。この蛍光寿命から推定した内部量子収率は78 %となり、積分球を用いた測定から求めた内部量子収率と良い一致がみられた。このことから、本物質は複数のピークで発光し、高い量子収率を持つことが分かった。

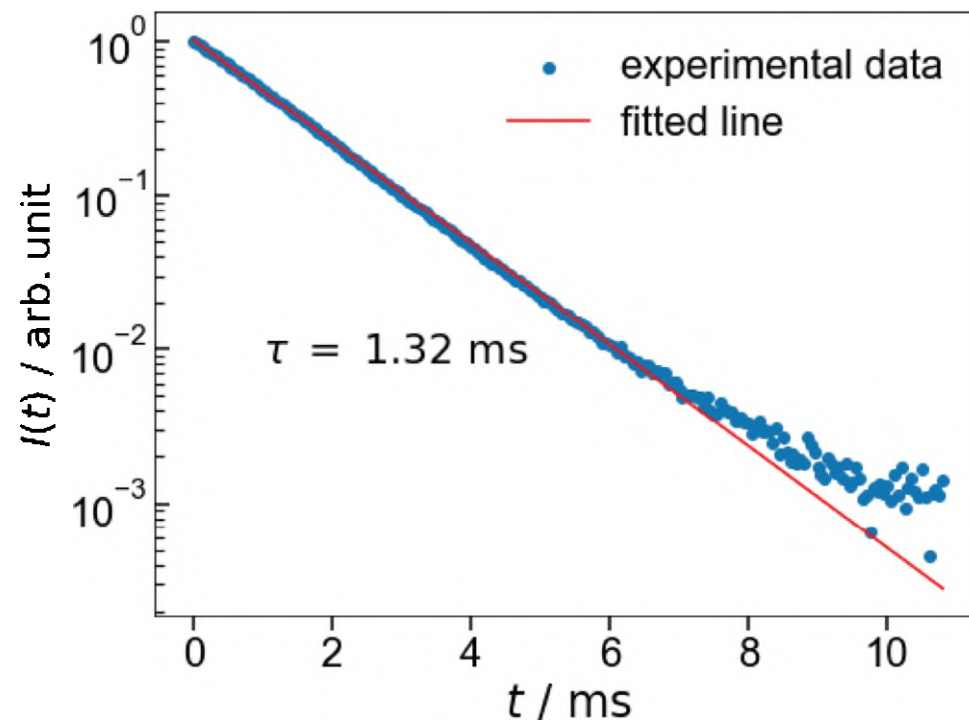


FIG. Ba₃Y₂O₅Cl₂:Eu4 %の⁵D₀→⁷F₂遷移の蛍光寿命(励起 250 nm)

高強度レーザーを用いた高機能性有機結晶創成法の開発

吉川 洋史¹

1) 大阪大学大学院工学研究科

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、特にレーザーアブレーションによる結晶核発生の制御に関する研究に取り組んだ。具体的には、尿素をモデル化合物として結晶核発生のパルス時間幅・エネルギー依存性を系統的に調べた。その結果、尿素の結晶核発生の振る舞いが、キャビテーションバブルの生成による過飽和度の上昇と、温度上昇による過飽和度の減少という2つの要素の競争関係により説明できることを見出した。本論文は、Applied Physics A誌に原著論文として発表している（右図）。

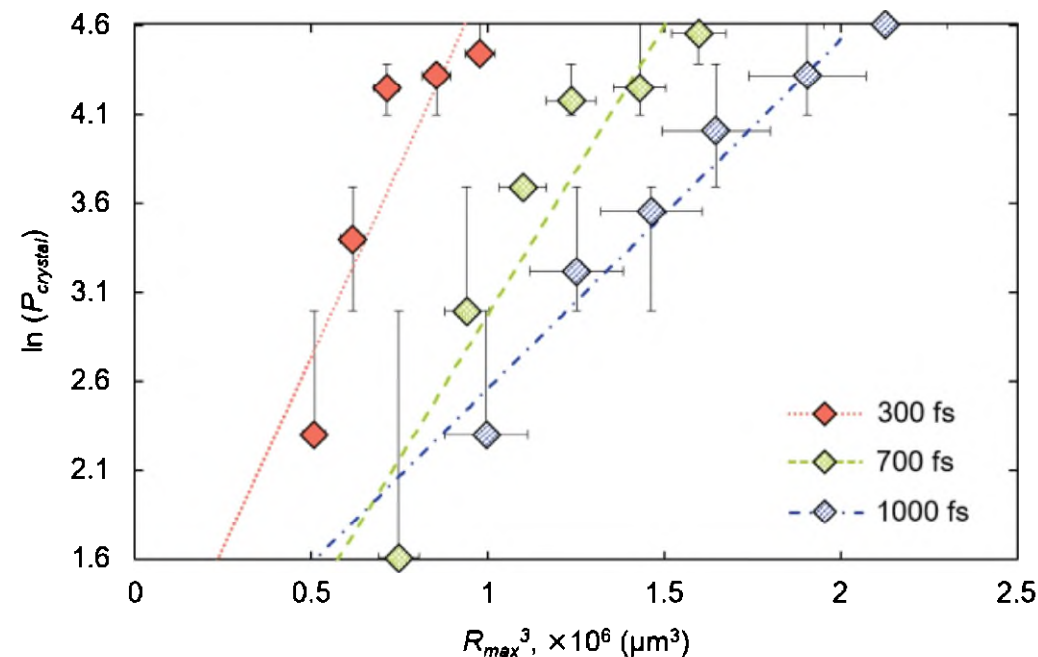


FIG. 尿素結晶化確率のレーザー誘起キャビテーションバブルの最大径依存性。Y. Tsurii, M. Maruyama, H. Y. Yoshikawa et al., Applied Physics A, 128, Article Number: 803 (2022)を許可を得て転載

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

レーザー科学研究所で育成した大型・高品質非線形光学結晶CsLiB₆O₁₀ (CLBO) から大口径波長変換素子を作製し、大阪大学、スペクトロニクス(株)と三菱電機(株)との共同研究によって波長266nmの高平均出力のピコ秒パルス深紫外光を発生させた。右図のビーム径4.2mmの(a)、6.0mmの(b)のように、平均出力として35W級の発生に成功しているが、出力が増えるに連れて結晶の発熱による温度勾配が形成され、出力が最大となる温度の低温シフト現象が顕著となった。ビーム径を8.0mmに拡大することで、(c)のように温度シフトが抑制され、右下の図のように出力の立ち上がり時間特性も良好となること明らかになった [Optics Continuum Vol.1, 2274 (2022)].

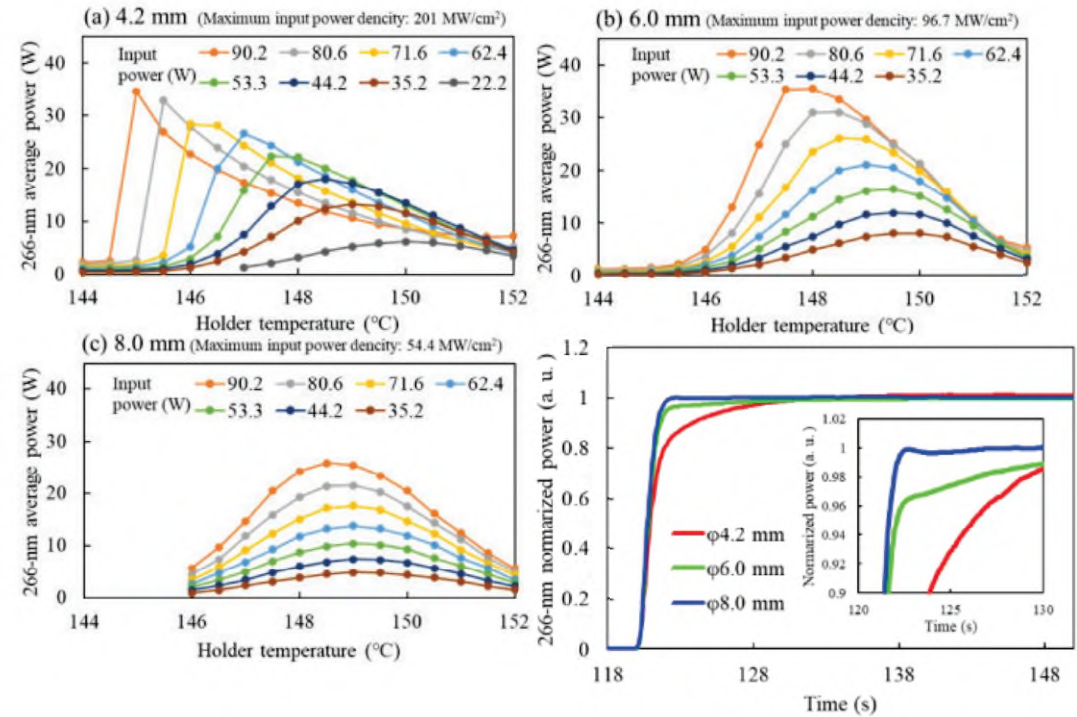


FIG. CLBO素子に入射する532nm平行ビームの直径を変えた時の266nm光波長変換特性。右下の図はビーム径を変えた時の出力の立ち上がり時間特性。いずれもOptics Continuum誌より引用。

ZnO Synthesis (via Spray Pyrolysis) and Optical Characterization for Radiation Detection

V. A. Samson¹, M. J. F. Empizo², N. Sarukura²

1) *Philippine Nuclear Research Institute, Philippine*, 2) *Institute of Laser Engineering, Osaka University, Japan*

SUMMARY

Thin film deposition is crucial in fabricating ZnO based devices such as radiation detectors, photovoltaic solar cells, piezoelectric generators, etc. One efficient and cost-effective way to deposit ZnO thin film is through the spray pyrolysis method. In this study, ZnO thin films were deposited in glass substrates via spray pyrolysis at varying zinc acetate precursor concentrations and substrate temperatures. The structural, optical, and photoluminescence properties of the films were investigated via XRD, SEM, UV/Vis, and photoluminescence spectroscopy.

ZnO with wurtzite structure was successfully deposited in glass substrate via spray pyrolysis method. ZnO crystals have preferential growth in (100) and (110) planes. In spectroscopy, five emission bands were observed in the PL spectra of the samples namely: UV, violet, blue-green, green, and yellow-orange emissions.

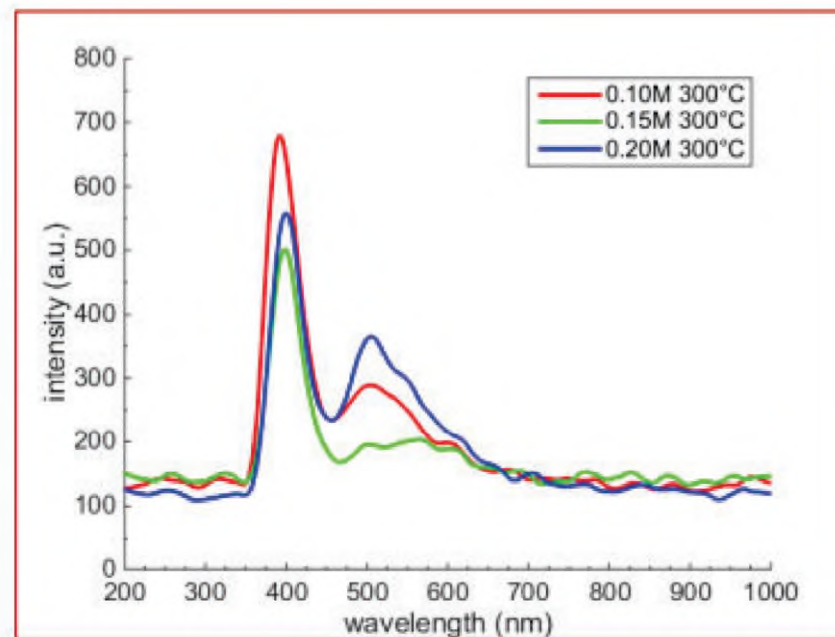


FIG. PL Spectroscopy of ZnO. UV emission is near-band edge emission of ZnO. Green emission (500-nm) is possible surface defects in the nanocrystalline particles of ZnO nanomaterials.

PL spectroscopy of ex-situ regrown AlGa_N layers for enhancement mode GaN-based MIS-HEMTs

Joel T. Asubar¹, Shogo Maeda¹, Ali Baratov¹, Masaki Ishiguro¹, Toi Nezu¹, Takahiro Igarashi¹, Kishi Sekiyama¹,

Keito Shinohara², Melvin John F. Empizo², Akio Yamamoto¹, and Nobuhiko Sarukura²

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

SUMMARY

In this work, we compare the structural, optical and electrical properties of our proposed recessed-gate with regrown barrier GaN-based metal-insulator-semiconductor high-electron-mobility transistor (MIS-HEMTs) (see **Figure 1a**) with those of conventional recessed-gate GaN-based MIS-HEMTs (**Figure 1b**). We have previously reported record combination of drain current and threshold voltage from our proposed device. To shed light on the possible mechanism of this excellent performance, we performed photoluminescence spectroscopy on our regrown AlGa_N/GaN and commercially available AlGa_N/GaN heterostructures. We found highly reduced yellow luminescence (YL) intensity around 2.1 to 2.2 eV in regrown AlGa_N/GaN layers (**Figure 1c**), evidencing the possible reduced point defects, leading to high positive threshold voltage and high current for the corresponding device.

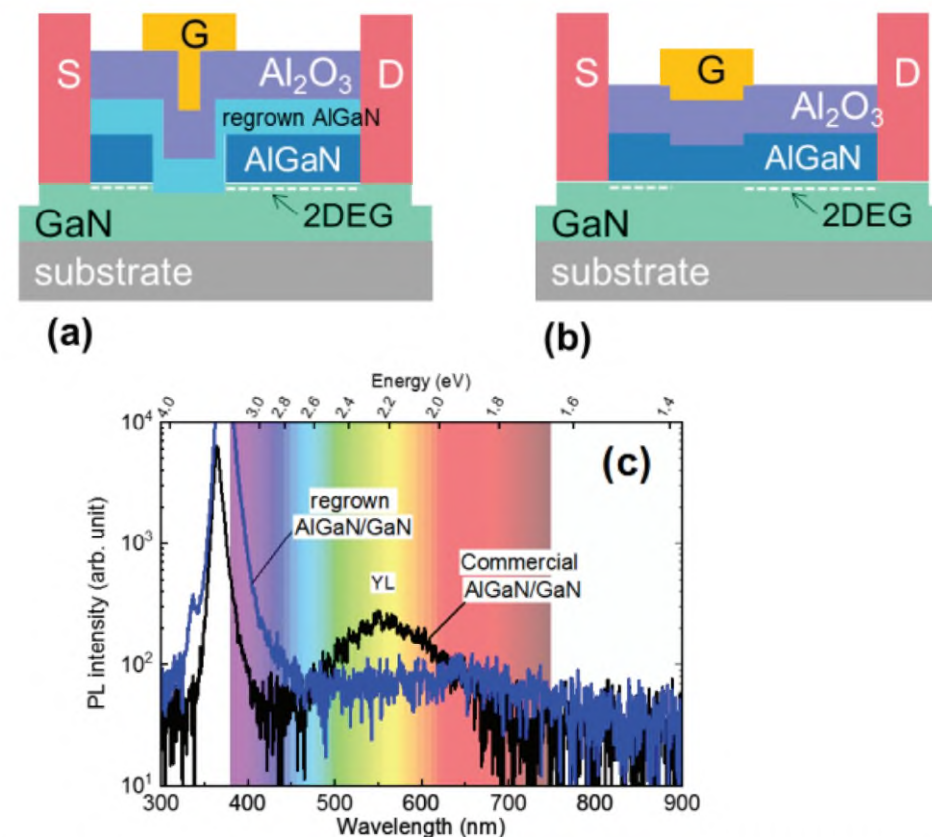


FIG. 1. Schematic illustration of (a) proposed recessed-gate with regrown barrier GaN-based MIS-HEMT and (b) conventional recessed-gate GaN-based MIS-HEMT. (c) PL spectra of regrown AlGa_N/GaN and commercial AlGa_N/GaN.

透光性セラミックスシンチレータの創製 III

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SPS法などの本焼結の前に行う前焼結について最適化や、焼結助剤の探索などを実施した。固相反応法での前焼結では、熱重量・示差熱同時分析なども実施して、最適な前焼結にかける温度を見出した。そして、適切な助剤の探索の後、図のような比較的透明度のある材料の探索に成功した。

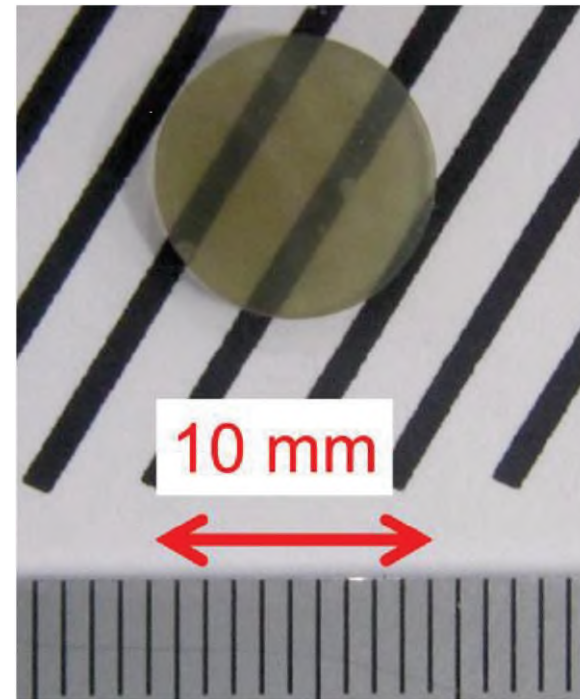


FIG. Ce添加SrHfO₃透光性セラミックスの写真

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 $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$ 単結晶に対して、大阪大学が保有する赤外領域までの測定が可能な蛍光測定装置を用いて赤外発光特性を調べた結果、1000および1500 nm近傍に Er^{3+} イオンに起因する発光が確認された。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の新たなシンチレータ結晶としての応用が期待される。

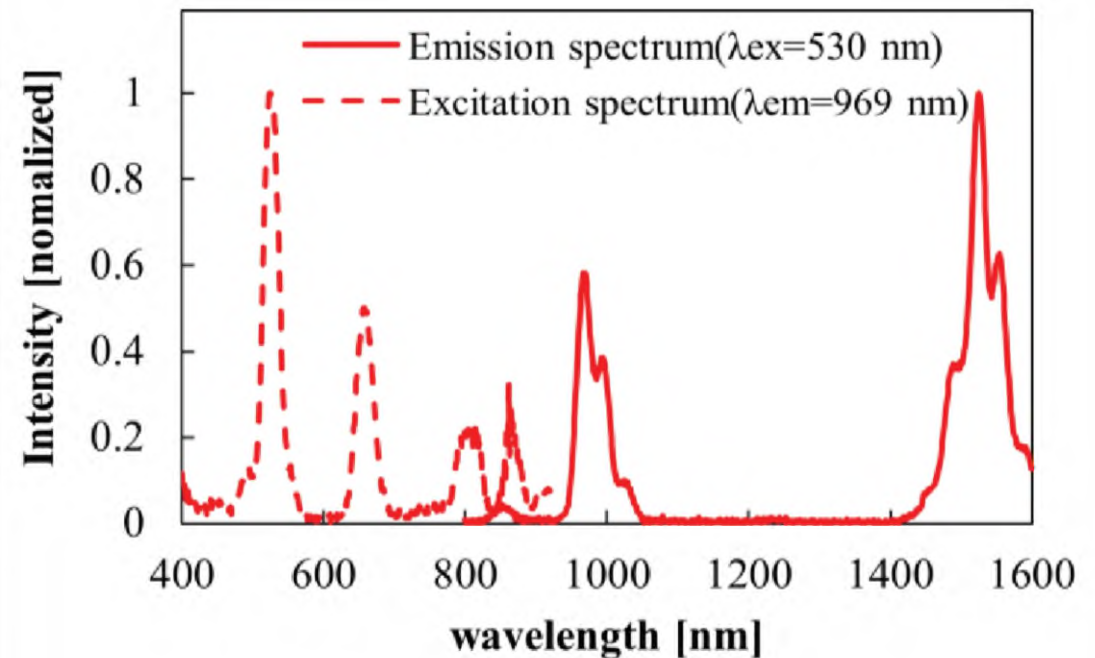


FIG. (Please put the figure caption here.)

Er添加 $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$ 単結晶の赤外領域における励起・発光スペクトル。

真空紫外領域における光学材料の屈折率の測定

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

SUMMARY

真空紫外線波長領域に透過率を有する光学材料の屈折率について、プリズム分散法により精密に測定するための測定系の検討を実施した(Fig.(a))。

具体的には、測定に必要なレーザー光源としてNd:YAGレーザーの第5高調波による深紫外線パルス光(波長212.8 nm)を発生させるとともに、170 nmの真空紫外線発生を検討を実施した。また、回転ステージを調達するとともに窒素チャンバーの設計・作成及び組み立てを行った。

予備実験として、SBO結晶のプリズムを用いて屈折率の測定を行い、波長632.8 nmの屈折率の測定を行った。また、波長266 nmの屈折率温度微分(dn/dT)を測定し、正であることが判明した。

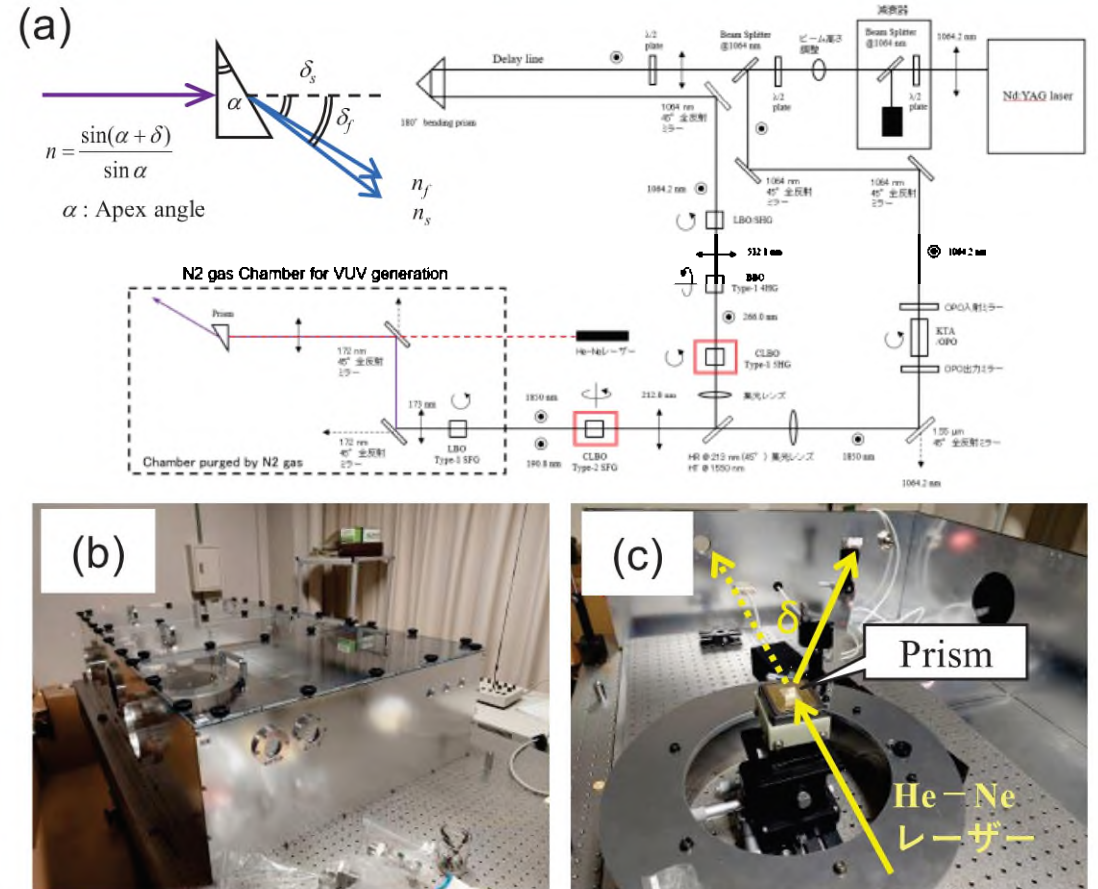


FIG. (a) 測定系の概要。

FIG. (b) 窒素チャンバーの外観

FIG. (c) He-Neレーザー(632.8 nm)による測定の概況

高密度プラズマ中における抵抗率勾配における強磁場生成のモデリング

羽原英明^{1,2}, 藤城淳平¹, 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、高速点火方式において追加熱レーザーとプラズマの相互作用によって生じる高速電子の発散を抑制することを目的としており、その手法の一つとして、抵抗率勾配で生成される自己生成磁場による電子集束を検討している。本年度は、昨年度行った実証実験に対して、流体シミュレーションを用いて求めた抵抗率分布と実験結果との相関について考察を行った。その結果、抵抗率勾配の大きさおよび電子密度から仮定した高速電子生成位置（右図(a)の矢印箇所）での半径の2乗の積をCollimation indexと定義すると実験結果とよく似た傾向を示すことがわかり、抵抗率勾配の大きさだけでなくその分布も重要なパラメータであると推測された。

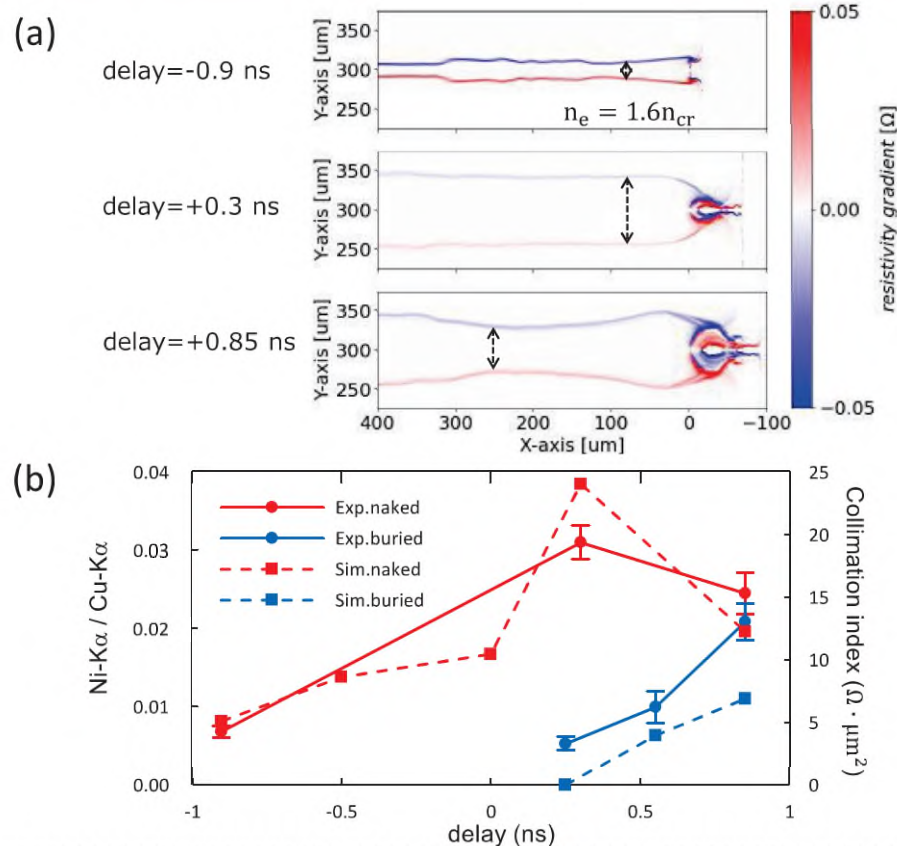


FIG. 1 抵抗率勾配の計算結果および実験結果との相関
(a)流体シミュレーションで求めた実験時の抵抗率勾配分布、(b) Collimation indexと実験結果との相関

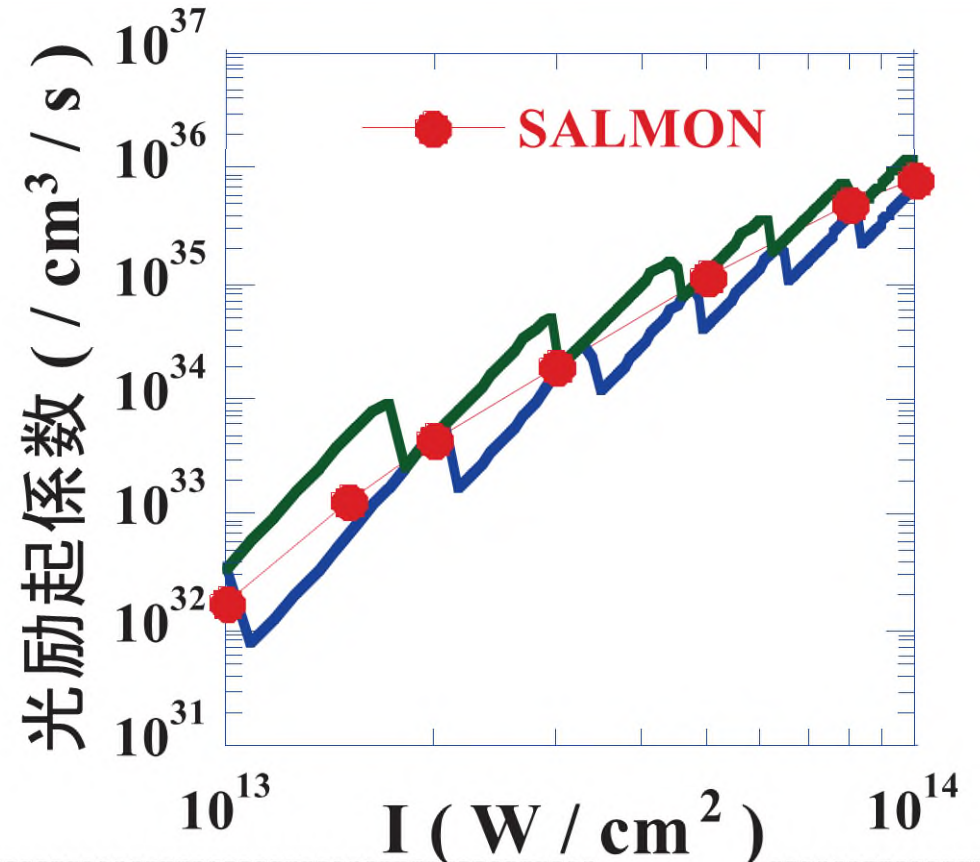
超短パルスレーザー加工の統合シミュレーションコードの開発

古河裕之¹, 矢花一浩², 長友英夫³, 三間罔興³,

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

SUMMARY

本年度は、超短パルスレーザー加工において非常に重要である「固体中の電子励起過程」の解明に注視した。時間依存密度汎関数理論コードである「SALMON (Scalable Ab-initio Light-Matter simulator for Optics and Nanoscience)」を用いて、 SiO_2 結晶に超短パルス高強度レーザーを照射し、光電場による励起エネルギー、及び励起電子数の時間発展を求めた。さらに、SALMONにより、電子の光励起のレート係数のレーザー強度依存性を求めた。



求めた電子の光励起のレート係数のレーザー強度依存性。赤丸は、SALMONで求めた物。青の実線は、Keldyshのモデルで、band gap = 9eV、有効質量 = 0.3 m_e 、緑の実線は、band gap = 8eV、有効質量 = 0.3 m_e 、とした物。

赤・緑・青色レーザー光源におけるスペックルの評価と抑制技術の開発

田辺稔¹, 越智圭三², 山本和久²

1) 産業技術総合研究所, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

半導体レーザーをディスプレイや照明の光源として使用した場合、狭帯域を有する光源であるためスペックルが発生し、精密な放射量や色度の測定に影響を及ぼす。本研究では、この光源からのスペックルの定量的な評価や、その低減技術の確立を目的とする。

右図のような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、専用の測定器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用いて、それぞれの C_s を評価した結果、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。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。

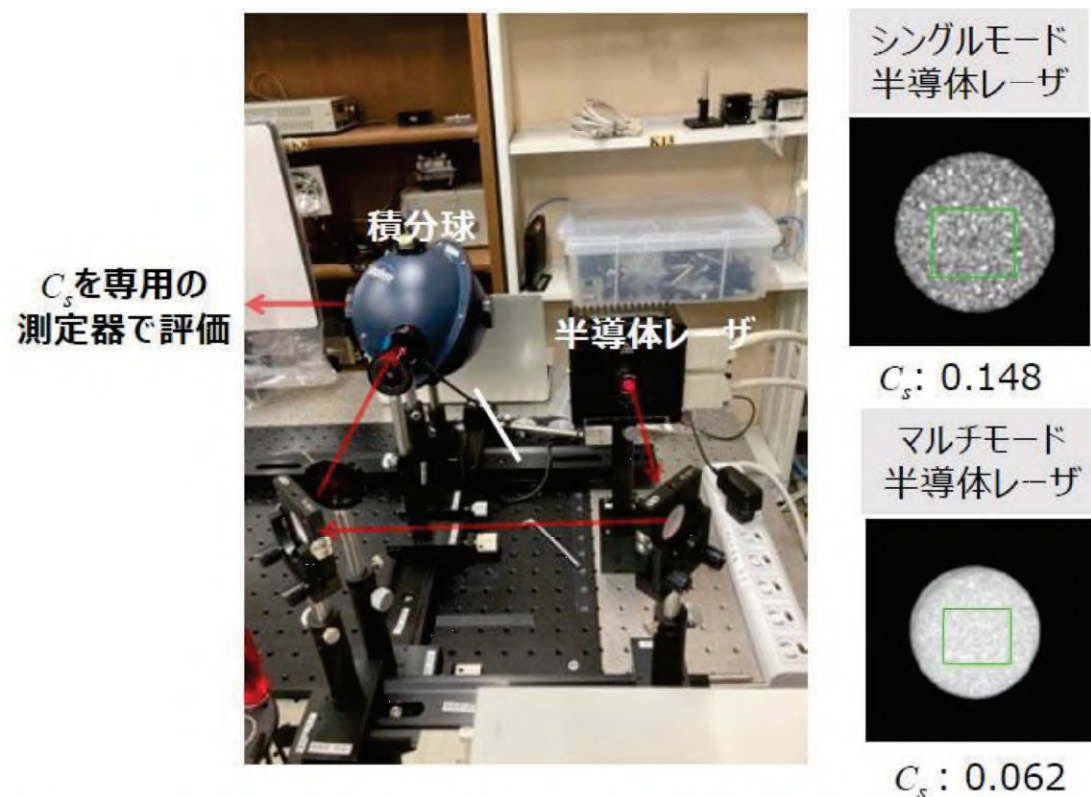


FIG.半導体レーザーと積分球を組み合わせからのスペックル評価システム (左) と半導体レーザーの違いによるスペックルコントラスト値 C_s の結果 (右)

Nonlinear interaction in multi-layer fluid interfaces with density stratification

Chihiro Matsuoka^{1,2,3}

1) Graduate School of Engineering, Osaka Metropolitan University, 2) Nambu Yoichiro Institute of Theoretical and Experimental Physics (NITEP), Osaka Metropolitan University, 3) Osaka Central Advanced Mathematical Institute (OCAMI), Osaka Metropolitan University

SUMMARY

Nonlinear interaction between two interfaces in the incompressible multi-layer Richtmyer-Meshkov instability (RMI) is investigated using the vortex sheet model (VSM) theoretically and numerically. We obtained the following results that

- when a strong vortex sheet approaches a weaker one possessing an opposite sign to the former sheet, a locally peaked vorticity of the opposite sign is induced on the weaker sheet,
- the interaction of the opposite-signed vorticity induced on the weaker sheet with the stronger sheet further amplifies the strength of the stronger sheet.

These results are applicable not only to plasma physics but also to various areas, such as geophysical fluid mechanics and marine engineering.

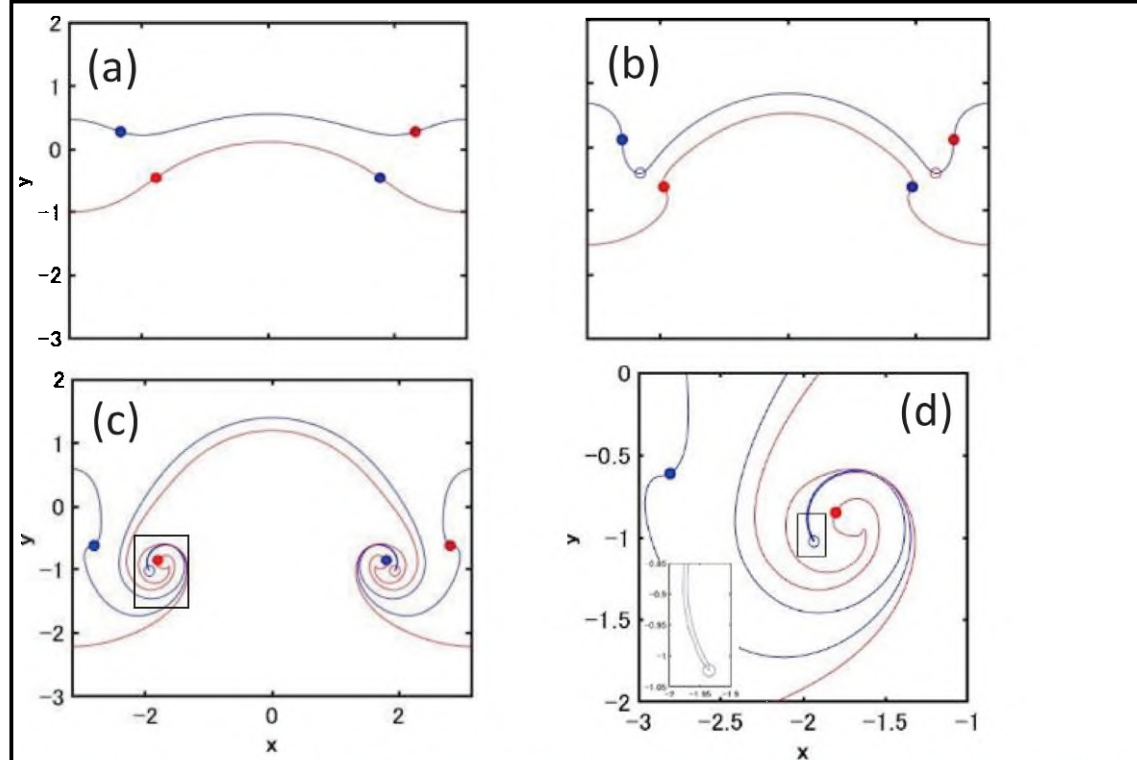


FIG. Temporal evolution of two interfaces in RMI, where time passes from (a) to (c). Panel (d) is the magnification of the boxed area of (c). Blue (red) filled-in circles denote the largest vorticity points with a negative (positive) sign, while open circles denote the second largest vorticity points designated by the same colors.

レーザーピーニングにおける照射条件最適化に関する研究

部谷 学^{1,2}, 糸林恵人¹, 重森啓介³

- 1) 元・大阪産業大学工学部電子情報通信工学科, 2) 近畿大学工学部電子情報工学科,
3) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

従来の直接照射型のレーザーピーニングでは、集光スポット中央近傍の金属表面は溶融し、引張り応力が残留し、その周辺部に圧縮残留応力領域がドーナツ状に形成される。2つの集光スポットを用いれば、スポット間に圧縮残留応力が重なる領域が形成でき、効果的な圧縮残留応力付与が期待できる。本研究では、スポットの間隔およびずらし距離を変更して実験を行った結果、1 mm以上のスポット間隔、250-350 μm 程度のずらし距離において、処理金属表面の圧縮残留応力の増大が観測された。これによって、処理時間の短縮、深部への圧縮残留応力の付与が期待できる。

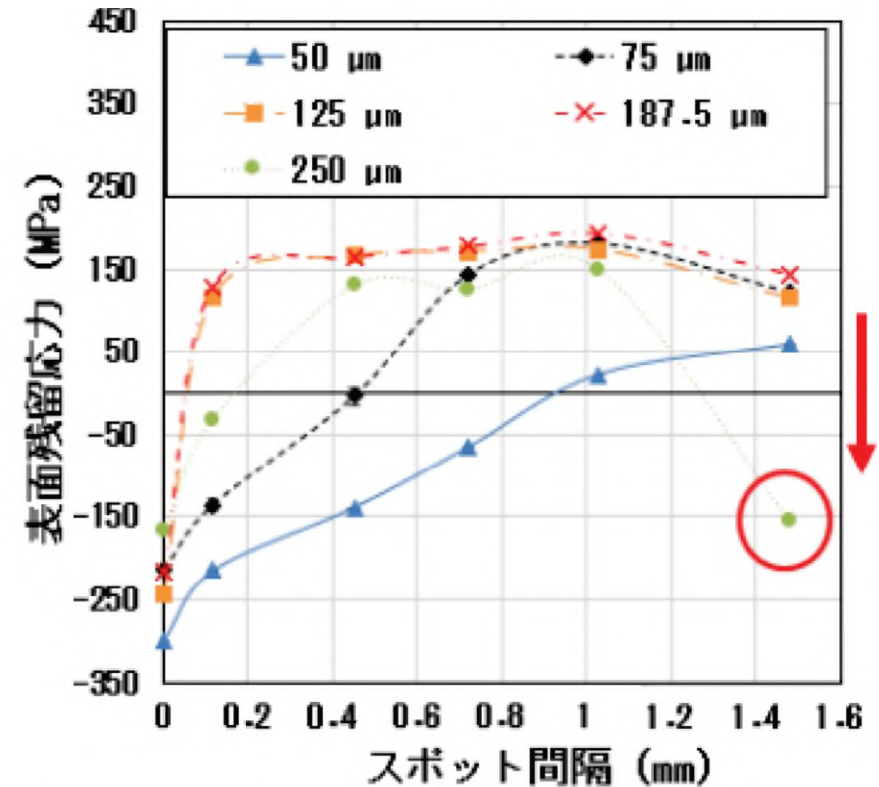


FIG. ダブルスポットピーニング照射後のスポット間隔およびずらし距離を変えたときの表面残留応力の変化。スポット間隔が約1 mm以上、ずらし距離が250-350 μm において、大きな表面圧縮残留応力が得られた。

Radiation MHD simulations of accretion disks (2022B2-009HIROSE)

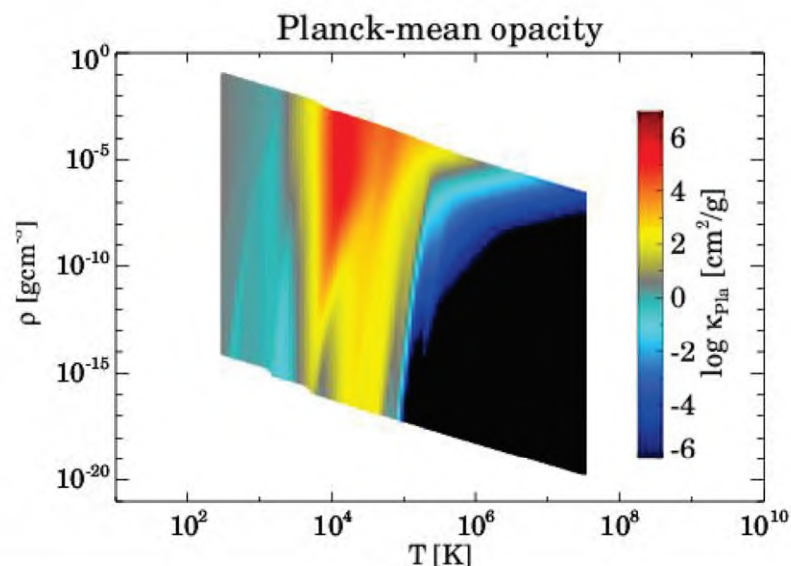
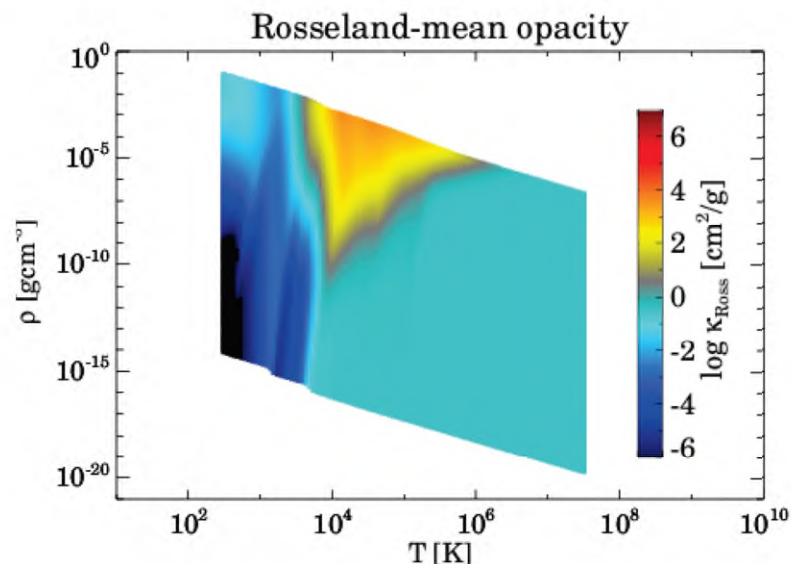
廣瀬重信¹, 佐野孝好²

1) 国立研究開発法人海洋研究開発機構, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

重力天体の周囲に普遍的に形成される降着円盤は、降着ガスの重力エネルギーを効率よく熱・輻射エネルギーに変換し、様々な天体活動現象のエンジンとして機能する。このエネルギー変換は輻射磁気流体力学の非線形過程であり、数値シミュレーションによる研究が必須となる。このシミュレーションの実行に必要な輻射とガスの相互作用=オパシティを計算するパブリックコードOPTABを我々は昨年度完成させた。本年度は、温度が1万ケルビンを超える高温ガスのオパシティも計算できるようOPTABに改良を加えた(図)。その成果は、Githubにて公開している：<https://github.com/nombac/optab>。

図: OPTABの出力例: ロスランド平均オパシティ(上)とプランク平均オパシティ(下)。温度が10万ケルビンを超えると、採用している原子データ(Kurucz database)が十分でないためプランク平均オパシティの値が過小評価されていることに注意。



繰り返しレーザー応用実験のためのリアルタイム制御システムの開発

小田 靖久¹

1) 摂南大学

SUMMARY

10～100Hzで繰り返し動作する高出力レーザーの開発が進む中、これを液滴ターゲットに照射する研究が検討されている。高繰り返し動作での実験では、ショット間のターゲット位置制御を自動化する必要がある。本研究では、ターゲットの位置を直線状に複数の光センサが配置されたフォトダイオードアレイにより検出し、フィードバック制御をするシステムの構築を目指している。このような制御システム開発に向けた準備として、PLC(Programmable Logic Controller)上に光センサ信号の閾値検出と直動ステージの制御指令を行うプログラムを開発している。今年度は、液滴ターゲットに先駆けて液体ジェットターゲットの位置検出と制御を試みた。図1に示す実験系で、液体ジェットをターゲットとして動作検証を行い、液体ジェットノズルの位置を位置に収束させるフィードバック制御ができることを確認した。この成果は、繰り返しレーザーの運用に必要となる自動制御技術の開発につながるものと期待される。

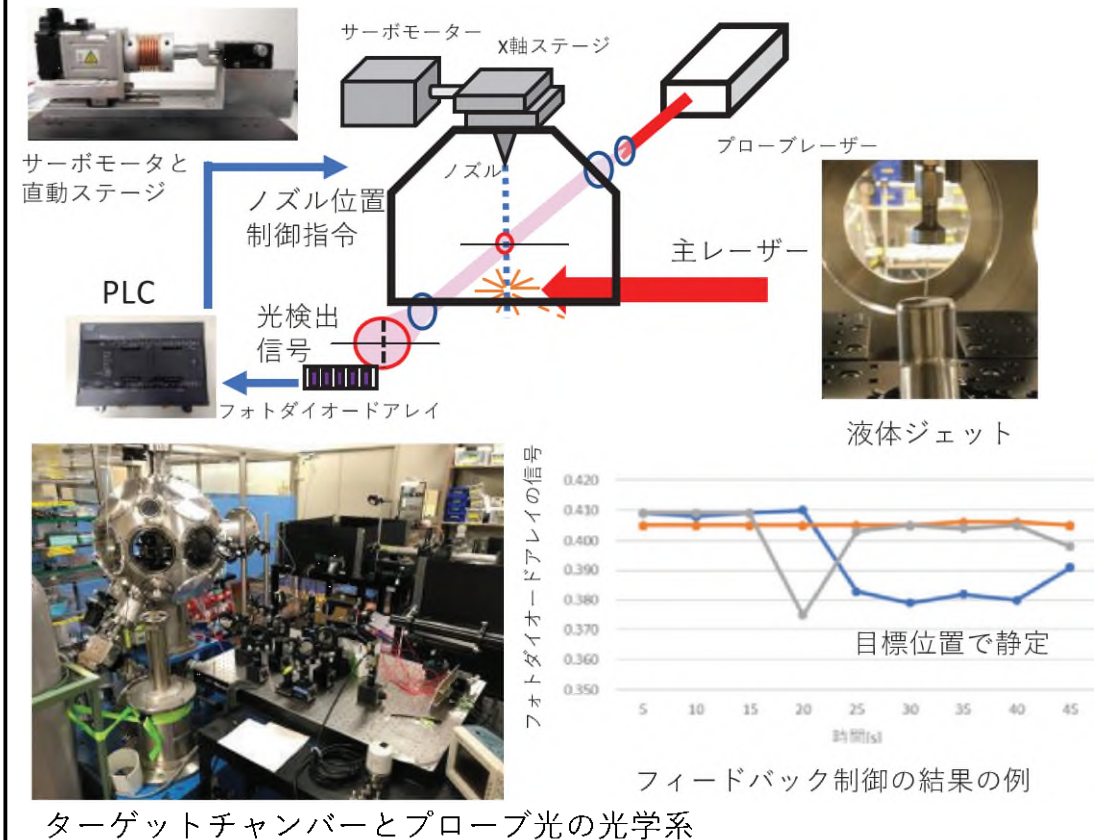


図1 液体ジェットによるターゲット位置のフィードバック制御実験系の概要と、フィードバック制御により目標位置で静定させることができることを確認した。

カーボンナノチューブフォレストメタマテリアルのテラヘルツ放射吸収特性

古田 寛¹

1) 高知工科大学

SUMMARY

異方性電気伝導率を有する単層カーボンナノチューブフォレストはテラヘルツメタマテリアルとして有効であると考えられる。高品質カーボンナノチューブ (CNT) 構造体を形成するには熱的安定な小直径高面積密度の触媒ナノ粒子が必要である。酸化鉄ナノ粒子触媒を用い、自動カソードシャッターを用いた酸化O₂ガス制御による間欠スパッタリング成膜で、C₂H₂ (アセチレン) ガス源を用いた熱CVDによる単層CNT (SWNT) 成長と酸化 Fe ナノ粒子の形成過程について調査した。FIGは、スパッタリング成膜したFe触媒上にC₂H₂ガスを供給し熱CVD法で成長させたCNTのラマンスペクトルである。厚さ0.8 nm の Fe 触媒上に SWNTs を成長させた。JEOL ARM TEMによる観察で直径 4 nm の SWNT の成長を確認した (FIG (b))。また、SWNT 成長時のFe触媒をアニールすると、高密度のFe触媒が形成された[1]。本研究の一部は、科研費基盤 C 20K05093の支援を受けた。

[1] H. Furuta et al., FNTG63 (Aug 31, 2022, Tokyo Metro Univ.)

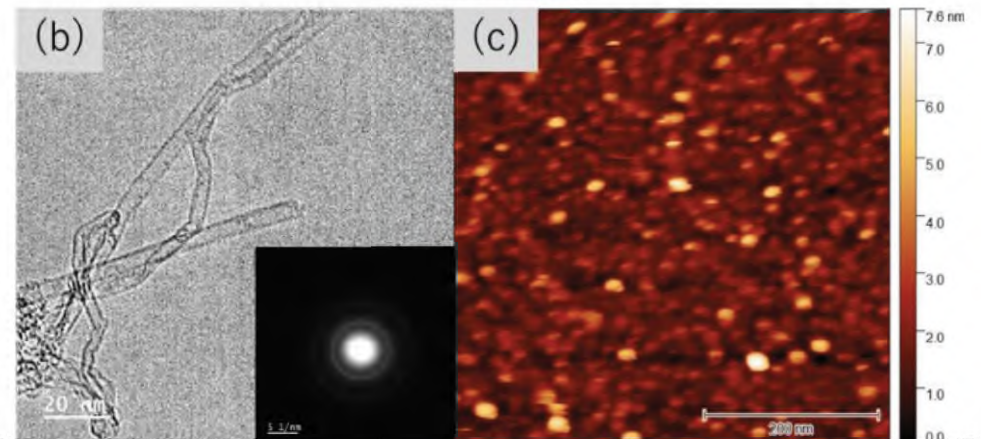
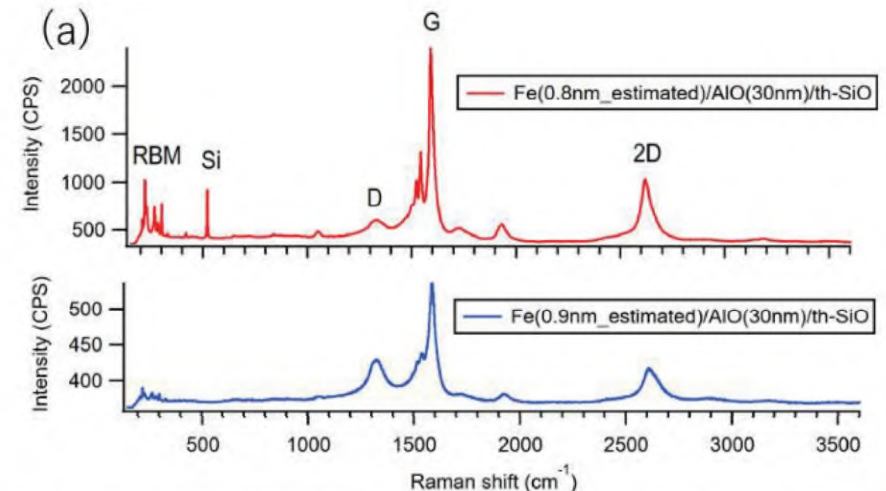


FIG. Raman spectra of SWNT and MWNT grown on shutter sputter Fe catalysts[2], (b) TEM image of the obtained SWNT and (c) AFM image of annealed Fe catalyst film deposited by shutter SPT on AlO(30nm)/th-SiO substrate [1]

透光性セラミックス材料の開発

古瀬裕章¹, 黒沢将平¹, 藤岡加奈²

1) 北見工業大学, 2) 大阪大学レーザー科学研究所

SUMMARY

透光性セラミックスは、レーザー材料以外においても、白色照明用蛍光体やシンチレータ、ファラデー材料など幅広い光学分野へ期待されている。様々な作製法がある中で、北見工大では放電プラズマ焼結法 (Spark Plasma Sintering: SPS) に着目して、新しい機能性セラミックスの開発に取り組んでいる。

本研究では昨年度に続き、SPS法を用いたフッ化物系材料の透明化に取り組んだ。市販の CaF_2 粉体のSPS焼結を行い、透明化への課題抽出を試みた。

様々な条件で焼結を行った結果、 850°C で焼結した際に高い透光性を有する焼結体が得られた。しかし、波長 $1\ \mu\text{m}$ における直線透過率は60%程度であるため、今後は、さらなる高品質化に取り組む予定である。

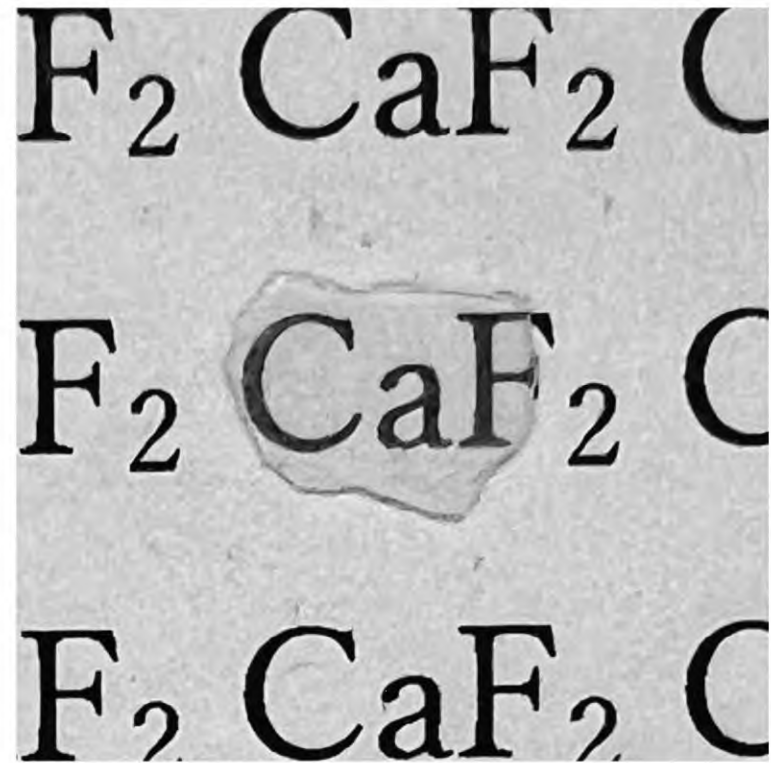


FIG. SPSで焼結した CaF_2 セラミックス.

Decay instabilities of whistler waves in solar wind plasmas

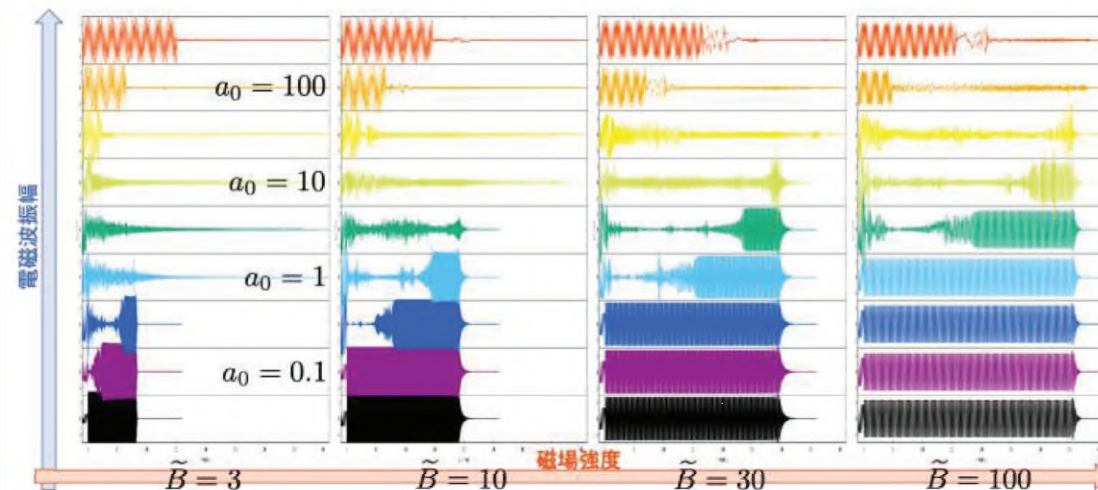
T. Sano¹, Y. Sentoku¹

1) Institute of Laser Engineering, Osaka University

SUMMARY

高速電波バースト(Fast Radio Burst; FRB)と呼ばれる天体現象では、ミリ秒程度の短い持続時間の高輝度電波放射(振動数は1 GHz程度)が観測されている。この電磁波の無次元化された振幅は、 $a_0 = 10^4$ を超える強度に相当する。FRBの放射源及び放射機構については未解明であるが、マグネターと呼ばれる 10^{15} ガウス程度の磁場を持つ中性子星との関連が指摘されている。もし電波源が中性子星のごく近傍にあると仮定すると、この高強度電磁波は中性子星磁気圏を通り抜ける必要がある。

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。図に示すように、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。また、新しい「レーザー宇宙物理」のテーマとして、将来的にレーザー実験で検証可能かどうかについても調べている。



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。

第一原理計算によるGaNの結晶欠陥と光物性および熱物性に関する研究

河村貴宏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

電子機器の小型化、高出力化にともない放熱対策の重要性が増している。GaNは200W/mK以上の高い熱伝導率を有しており、従来のSiデバイスと比較して放熱機構の小型化、簡略化が可能である。デバイス設計においては構成材料の正確な物性値を必要とするが、結晶中には意図するしないに関わらず様々な結晶欠陥が含まれており、各種物性（電子物性、光物性、熱物性など）に対して影響を与えている。本研究では、GaN中の結晶欠陥が熱物性に与える影響を明らかにすることを目的として熱伝導率解析を行った。

300KにおけるGaN完全結晶の計算結果（325W/mK）を基準に考察すると、高純度（ $\sim 10^{21}$ cm⁻³）のO不純物またはGa空孔を含む場合、熱伝導率は約60～80%減少することが分かった。熱伝導率の変化の大きさは欠陥（不純物）の種類によって異なるため、今後は他の代表的な不純物（Si、Mgなど）が含まれる場合についても解析を行う予定である。これらの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はもちろんだが、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。

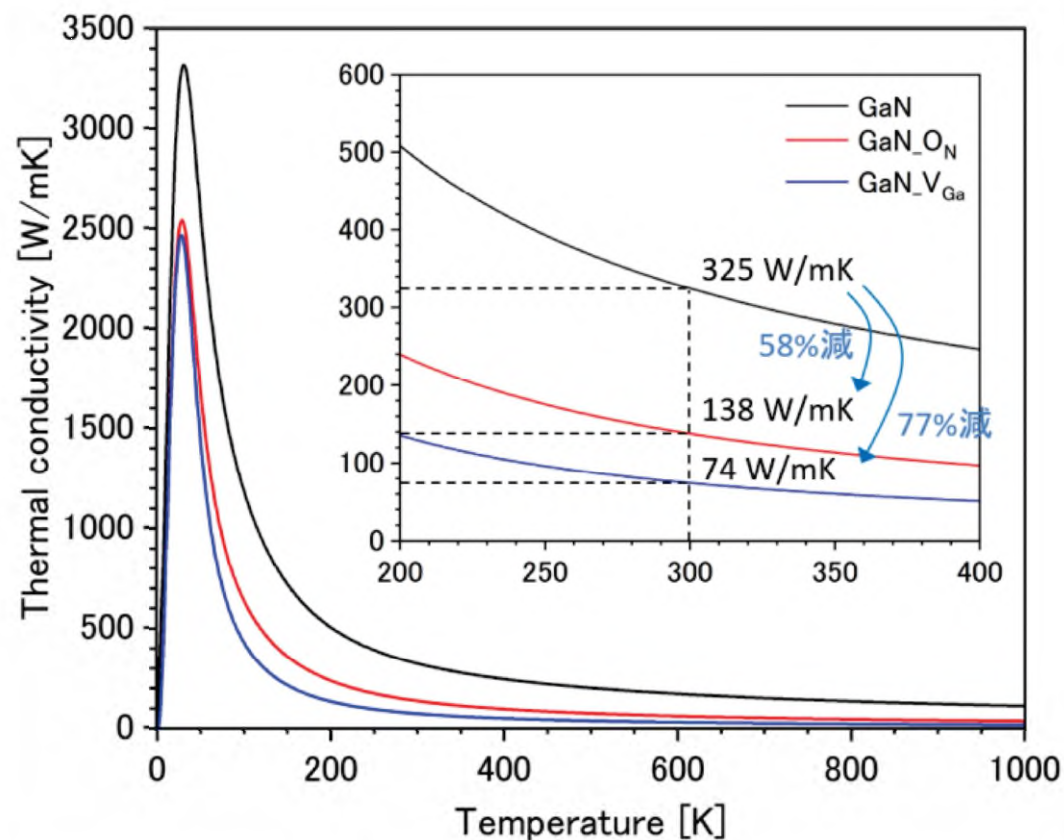


FIG. 1 GaNの熱伝導率の温度依存性。O_NはN原子をO原子に置換したO欠陥モデル、またV_{Ga}はGa空孔モデルである。欠陥濃度は約 1.3×10^{21} cm⁻³に相当する。同位体散乱と寸法効果（1mm）を考慮している。

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。

2022年度はシリコンウェハ上に塗布されたシリコン油（厚さ $1\mu\text{m}$ ）に対して、波長 193nm のArFエキシマレーザー光を20,000パルス照射し、一度洗浄した後塗布、レーザー照射を繰り返す、ガラス化積層が可能であることを実証した。

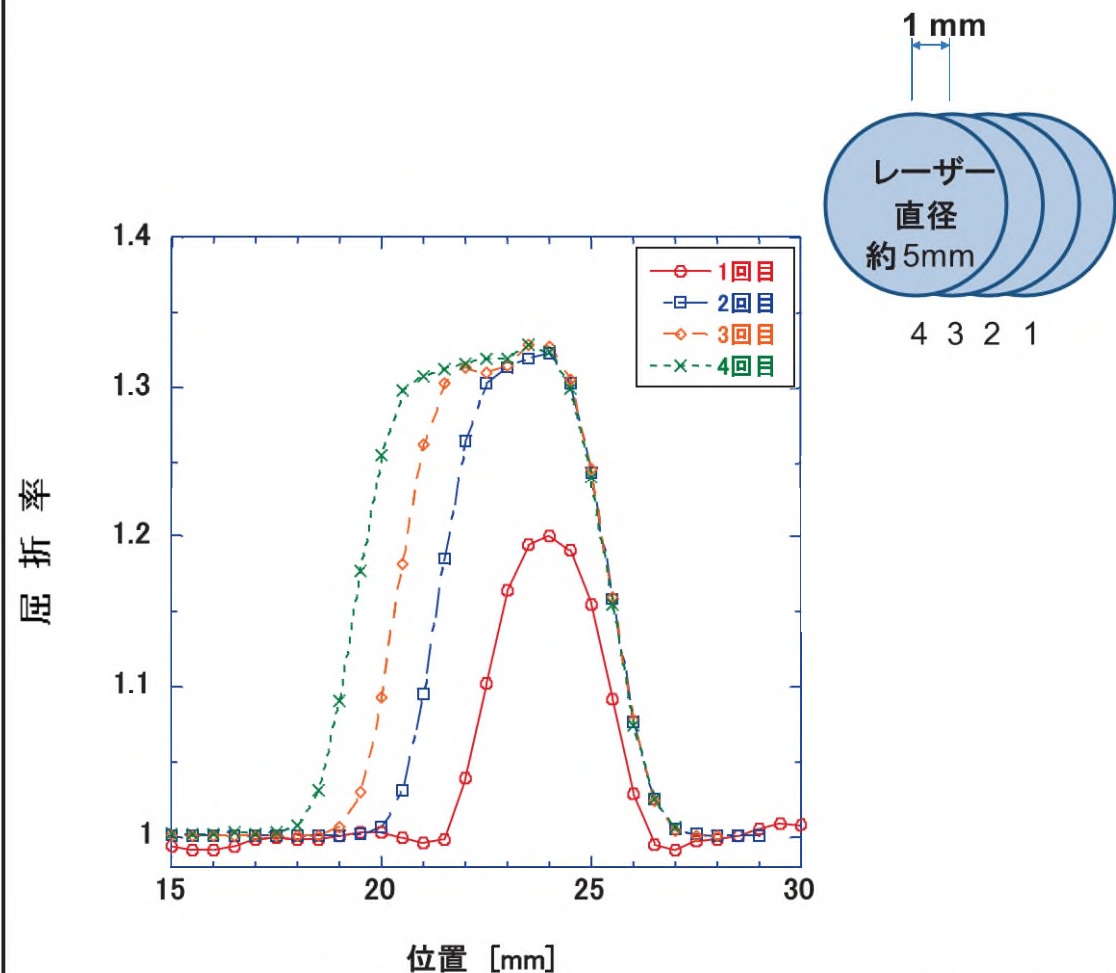


FIG. レーザー造形法によりガラス化積層したシリコン油の屈折率

Development of a sub-grid scale model for a stellar convective transport

政田洋平¹ 佐野孝好²

(1) 福岡大学, (2) 阪大レーザー科学研究所

SUMMARY

天体プラズマの超低散逸性は、方程式の離散化にとりまう数値散逸を避けられない天文シミュレーション研究において顕在的課題になっている。特に、乱流が介在する物理現象の数値的研究においてその傾向は顕著であり、太陽ダイナモの研究はその代表例と言える。信頼できる乱流モデル無しには正しい天体プラズマ研究は不可能だと言える。

本研究は、天体プラズマ乱流現象のプロトタイプモデルとして太陽ダイナモに光を当て、従来とは一線を画した乱流モデルを開発することを目的としている。

今年度は、電磁流体力学/平均場理論の中に現れる乱流輸送係数を、シミュレーションデータからマシンラーニング手法を使って推定・抽出する手法について検討を進めた。特に注目したのは、物理法則に基づく深層学習手法 (Physic-informed Neural Networks : PINNs, e.g., Raissi+17a,b) であり、ニューラルネットワークの検討、乱流データの生成・成形 (解像度の異なるシミュレーションデータ群)、および、それらのデータを使った PINNs機械学習のテストまでを行なった。次年度以降、これらの検討結果にもとづき、プロダクトランを実施予定である。

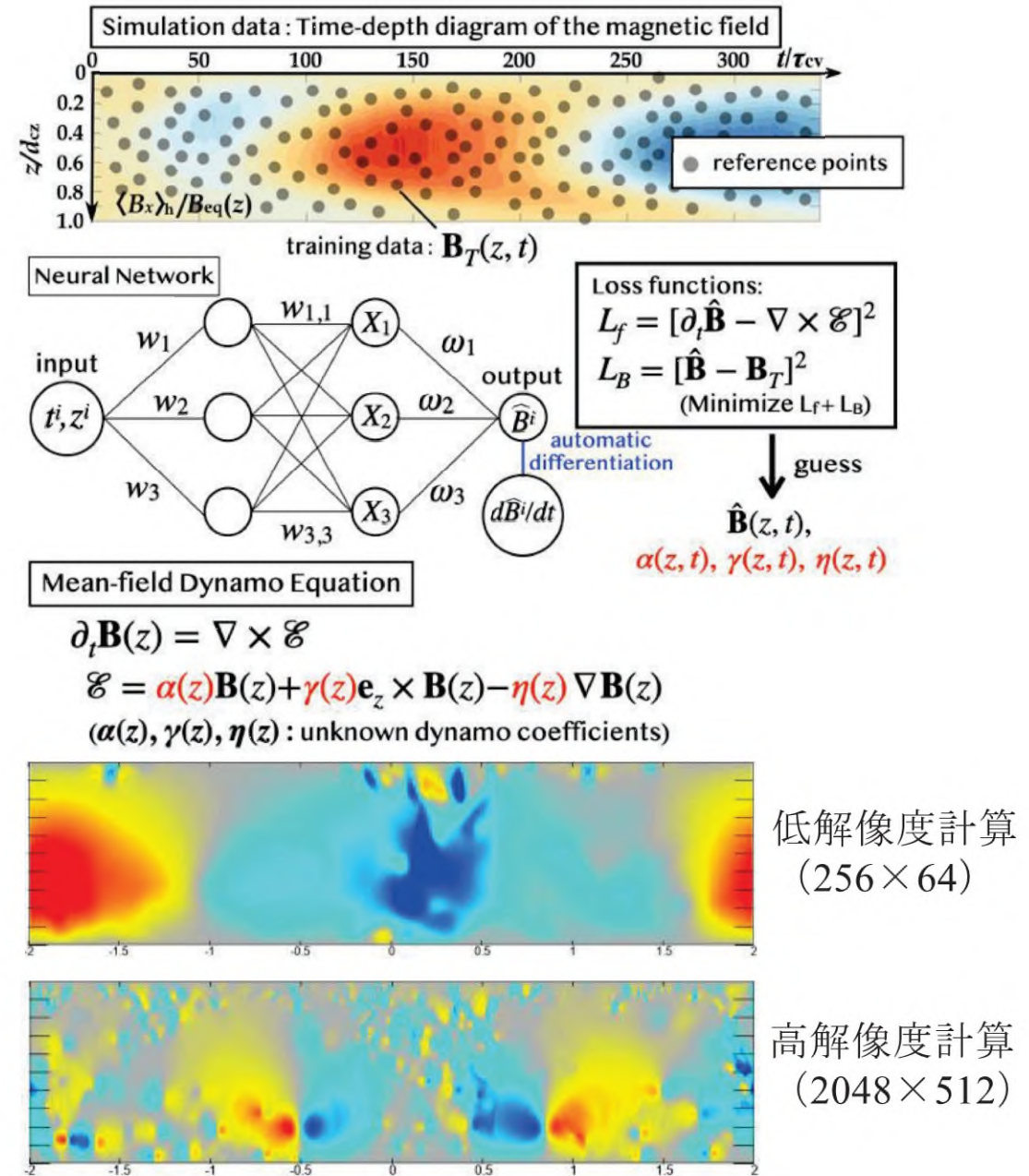


FIG. (上) 構築したネットワーク : PINNs

- 91 (下) 乱流計算のスナップショット (低解像&高解像)

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 ⁷) QST関西研

SUMMARY

我々はレーザー核融合炉の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。これにより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、放射-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を可能とする。本年度2次元放射流体シミュレーションコードStar2Dの空間精度2次化及び二温度計算手法改良により、数値安定化、計算精度の向上を図った。計算結果はトムソン散乱計測と比較し、計算精度検証を行った。また、レーザー加工、x線源、極端紫外(EUV)光源開発、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、多様なプラズマパラメータにおいてStar2Dを用いた計算を行うことにより、計算精度及び有効性、数値を確認した。着実なコード改良により、放射流体シミュレーションの精度はこの数年だけを見ても大きく向上している。

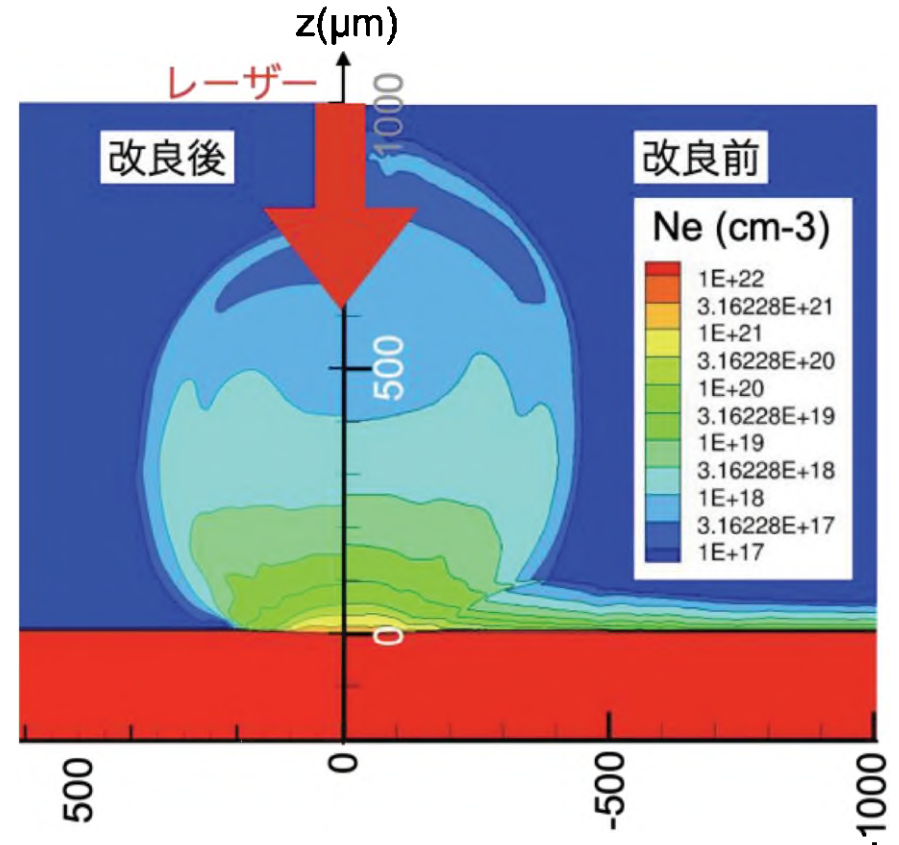


FIG. Star2Dコードで計算した金属(スズ)にレーザーを照射した時の膨張プラズマ (電子密度)の時間発展。改良後は速度の空間精度が向上したことにより、レーザースポット周囲の生成プラズマ密度の分布が大きく変化した。

超伝導メタマテリアルを用いたMKIDs検出器の研究

Research and development of MKIDs detector using superconducting metamaterial

X. Zheng^{1,2}, C. Otani^{1,2},

1) Tohoku University, Japan, 2) RAP, RIKEN, Japan

SUMMARY

超伝導マイクロ波力学インダクタンス検出器 (MKIDs) は、信号線1本で多素子信号を同時に読み出せる検出器である。本研究では、超伝導マイクロ波共振器にメタマテリアル組み込みについて研究を行っている。今年度は、共振器構造に組み込むアナポール型メタマテリアルの設計とシミュレーションを実施した。具体的には、図1のようにNb超伝導体を用いた構造において、リング共振器の外径、太さ、ギャップの幅などの条件を変え、メタマテリアル励起透過 (TIT) を示すような条件の探索を行った。その結果、テラヘルツ帯において良好なTITを示すような条件を同定した。

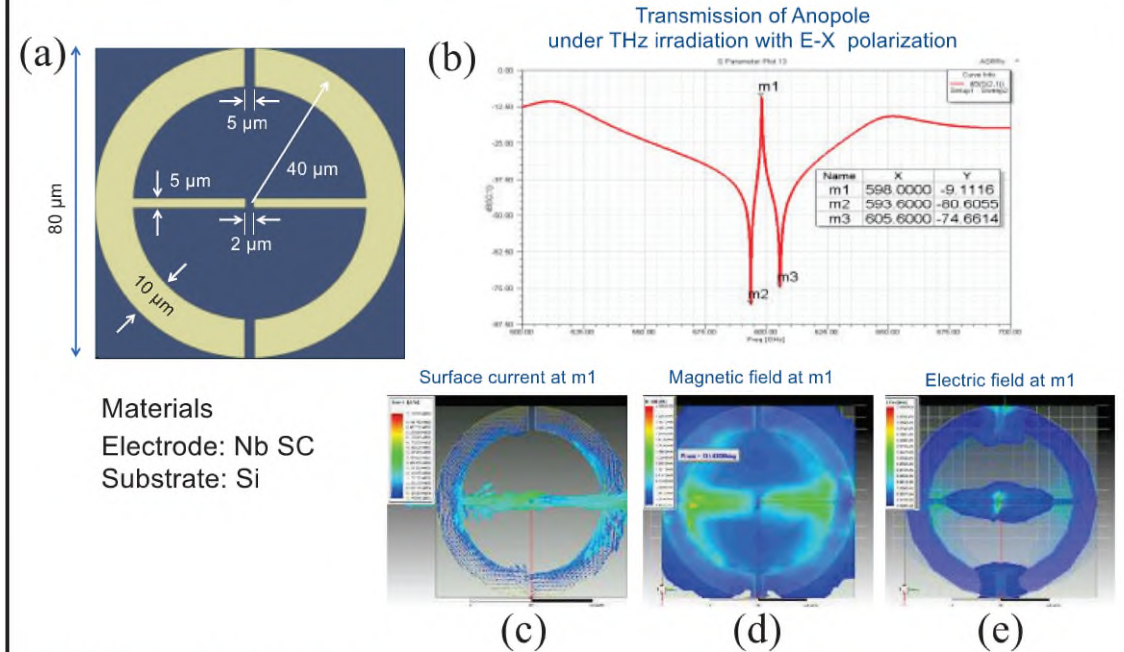


FIG. (a)超伝導体を用いたテラヘルツ帯のアナポール型メタマテリアルの模式図, (b) 透過スペクトルのシミュレーション例, (c) (b)のm1点における表面電流分布, (d) 磁場強度分布, (e) 電場強度の計算結果。

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, 加藤隆寛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。これらの類縁化合物である $\text{Sr}_2\text{ZnCu}_2\text{Se}_2\text{O}_2$ を合成したところ、固相反応のみで比較的大型の結晶粒が生成していることを見出した。そこで昇温速度、保持時間、焼成温度などの合成パラメータを変化させて結晶サイズを確認したところ、高温焼成によりmmスケールの単結晶が生成していることを見出した。この成果を学会発表したほか、今後はこの単結晶の結晶性、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

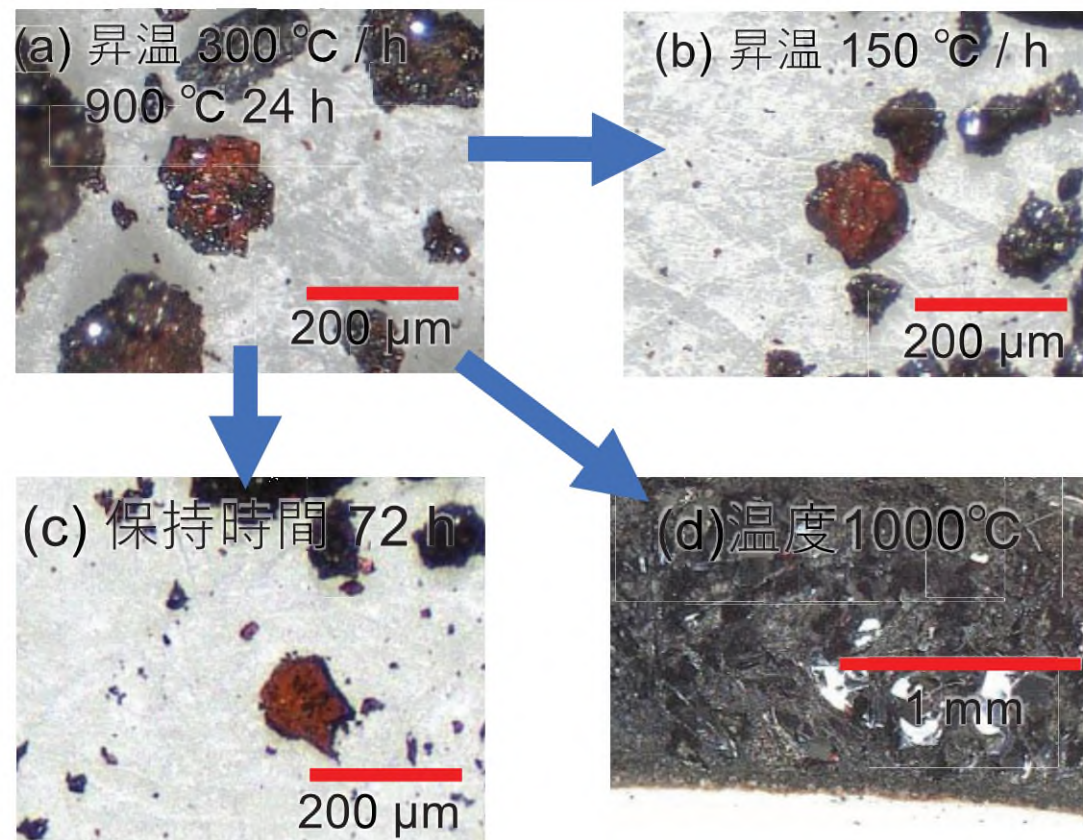


FIG.様々なパラメータによる $\text{Sr}_2\text{ZnCu}_2\text{Se}_2\text{O}_2$ 結晶育成への効果の検証

(a)初期の焼成条件 (b)昇温レートの変更 (c)保持時間の変更 (d)焼成温度の変更

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

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

SUMMARY

本研究では、レーザー駆動中性子源(LDNS)を用いた中性子共鳴透過分析(NRTA)技術開発の一環として、大阪大学の超高強度レーザーLFEXから発生したパルス中性子に適用できる中性子モデレータ、中性子検出器及び飛行時間測定・分析システムの開発を進めており、開発に関する打ち合わせ、議論、情報交換などを行った。

議論などを基に開発したNRTAシステムおよび超高強度レーザーLFEXを用いて中性子透過実験を行い、中性子共鳴吸収スペクトル(右図)を取得した。図の通り、試料による中性子共鳴反応に起因する中性子透過率の減少が確認できた。本結果は、中性子計数法を用いたNRTAシステムにより核種の判別に成功したことを実験的に示すものである。

本実験の分析結果について、大阪大学が主体となって実施した別の実験の結果と比較、照合し、妥当性の検証を行った。本成果は論文へまとめ、令和5年度中に発表する予定である。

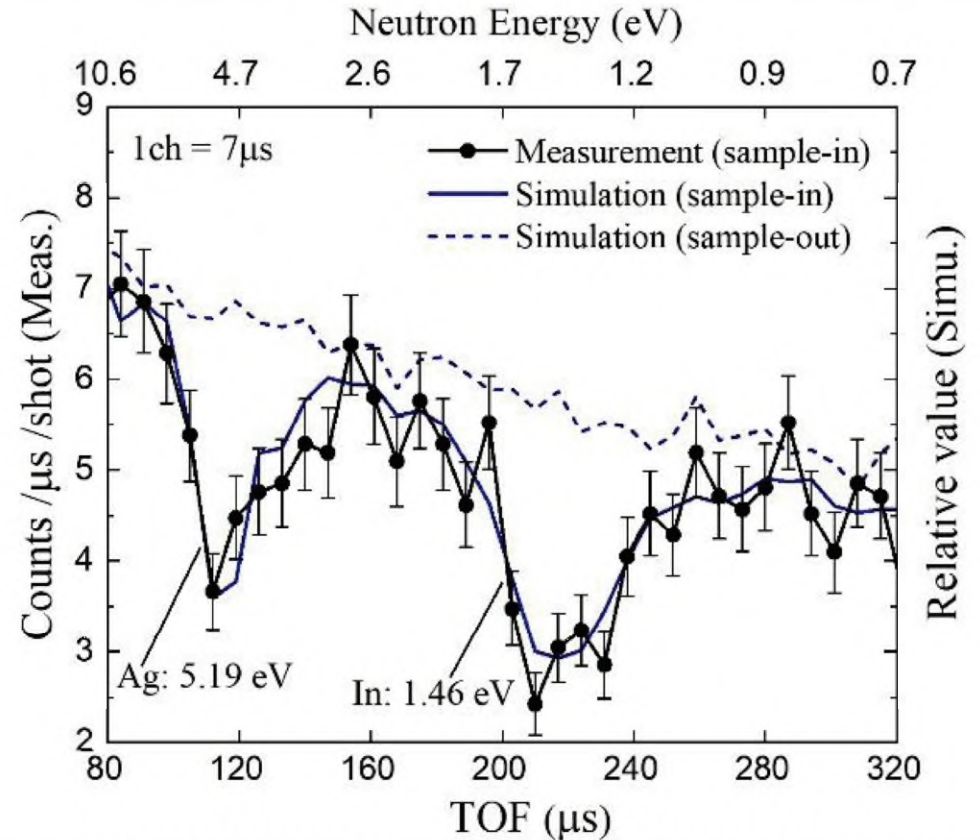


FIG. 中性子透過実験により得られた中性子共鳴吸収スペクトル。インジウムと銀の共鳴エネルギーにおいて、中性子透過率の減少(共鳴ディップ)が観測されている。