

Institute of High Current Electronics SB RAS
Tomsk Scientific Center SB RAS
National Research Tomsk Polytechnic University
Tomsk Region Administration
P.N. Lebedev Physical Institute RAS
National Research Tomsk State University
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics
Tomsk State University of Architecture and Building

**Proceedings
of 8th International Congress
on Energy Fluxes and Radiation Effects**

EFRE–2022 Congress Proceedings

October 2–8, 2022

Tomsk 2022

UDC 539.16.04(063)+537.533.2(063)
BBC 22.383л0+32.85л0
P93

Proceedings of 8th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects /
P93 Edited by Dr. Dmitry Sorokin and Anton Grishkov. – Tomsk : TPU Publishing House, 2022. – 1520 p.

ISBN 978-5-4387-1112-4

This book comprises the proceedings of the reports for of VIII International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE-2022). The Congress consists of four International Conferences regularly hosted in Tomsk: International Symposium on High-Current Electronics, International Conference on Modification of Materials with Particle Beams and Plasma Flows, International Conference on Radiation Physics and Chemistry of Condensed Matter, and International Conference on New Materials and High Technologies. The Congress is a good platform for researchers to discuss a wide range of scientific, engineering, and technical problems in the fields of pulsed power technologies; ion and electron beams; high power microwaves; plasma and particle beam sources; modification of material properties; pulsed power applications in chemistry, biology, and medicine; physical and chemical nonlinear processes excited in inorganic dielectrics by particle and photon beams; physical principles of radiation-related and additive technologies; self-propagating high-temperature synthesis; and combustion waves in heterogeneous systems, synchrotron and neutron research.

Peer review statement

All papers published in Proceedings of 8th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects have been peer reviewed through processes administered by the proceedings Editors. Reviews were conducted by expert referees to the professional.

UDC 539.16.04(063)+537.533.2(063)
BBC 22.383л0+32.85л0

ISBN 978-5-4387-1112-4

© FSAEI HI NR TPU, 2022
© IHCE SB RAS, 2022

Table of contents

22nd International Symposium on High Current Electronics

S1-O-006402	Особенности функционирования и эмиссионные характеристики контрагированного дугового разряда, формирующего эмиссионную плазму в форвакуумном плазменном источнике импульсного электронного пучка <i>А.В. Казаков, Е.М. Окс, Н.А. Панченко</i>	23
S1-O-009601	Device for estimation of current and energy density distribution in the cross section of a pulsed submicrosecond electron beam <i>М.А. Serebrennikov, А.В. Poloskov, I.S. Egorov</i>	29
S1-O-016501	Сильноточная электронная пушка с радиально сходящимся пучком <i>П.П. Кизириди, Г.Е. Озур, В.И. Петров</i>	35
S1-O-024202	Ring structure of electron-ion beams ejected by a picosecond high-current electron accelerator <i>V.I. Baryshnikov, V.L. Paperny, A.B. Chernyh</i>	41
S1-O-042001	Extraction into the atmosphere of a focused beam with an energy of 2.5 MeV <i>E.V. Domarov, D.S. Vorobev, M.G. Golkovsky, Y.I. Golubenko, A.I. Korchagin, N.K. Kuskanov, R.A. Salimov, S.N. Fadeev, V.G. Cherepkov, I.K. Chakin, Zhang Changyou</i>	47
S1-O-051301	Irradiation effect of intense pulsed ion beam on (TiZrNbTaCr)C <i>S.J. Zhang, L. Chen, A.V. Stepanov, O.P. Lapteva, G.E. Kholodnaya, X. Yu, M.F. Xu, Y.J. Wang, G.E. Remnev, X.Y. Le</i>	53
S1-P-016502	Влияние давления и рода рабочего газа на характеристики сильноточной электронной пушки <i>П.П. Кизириди, Г.Е. Озур</i>	59
S1-P-020602	Investigation of the characteristics of an intense ion beam propagated outside the diode <i>A.V. Stepanov, I.N. Pyatkov, Shijian Zhang, E.N. Stepanova</i>	64
S1-P-023601	Propagation of a pulsed electron beam in gas compositions of carbon-containing composite nanomaterial synthesis reagents <i>G. Kholodnaya, D. Ponomarev, R. Sazonov, M. Serebrennikov, O. Lapteva</i>	70
S1-P-025002	Measurement of the energy and mass-charge composition of the ion flux of the vacuum spark on a tungsten cathode coated with fuzz nanostructures <i>I. Muzyukin, S. Barendolts</i>	76
S1-P-029301	Электронный источник с плазменным анодом и выводом электронного пучка через фольговое окно в атмосферу <i>Э.Н. Абдуллин, Г.Ф. Басов</i>	82
S1-P-029604	Testing of the water supplying system for the cathode of a vacuum electron diode <i>I.S. Egorov, M.A. Serebrennikov, A.V. Poloskov</i>	87
S1-P-038101	Development of photoinjector in IAP RAS <i>A.V. Afanasiev, I.V. Bandurkin, A.M. Gorbachev, K.V. Mineev, N.Yu. Peskov, A.V. Savilov, A.A. Vikharev</i>	93

S1-P-041101	Prompt γ and neutron spectrometry of intense nanosecond ion bunches collectively accelerated in a Luce diode <i>V.A. Ryzhkov, I.N. Pyatkov</i>	98
S1-P-044901	Electrostatic cumulation: a convenient research instrument to obtain Mbar pressures in solids <i>S. Anishchenko, V. Baryshevsky, A. Gurinovich</i>	103
S1-P-049002	Auxiliary orbitron discharge of a wide aperture electron accelerator based on ion-electron emission <i>A.A. Grishkov, M.S. Vorobyov, S.Yu. Doroshkevich, V.A. Shklyayev</i>	109
S1-P-049004	Simulation of a wide-aperture electron accelerator based on ion-electron emission in repetitively pulsed mode <i>A.A. Grishkov, M.S. Vorobyov, S.Yu. Doroshkevich, V.A. Shklyayev</i>	118
S2-O-007301	Fast switching of megaampere current to the load <i>S.A. Sorokin</i>	128
S2-O-009807	Leakage of current from MITL with ceramic coating cathode <i>G.M. Oleinik, V.V. Aleksandrov, A.V. Branitskii, I.N. Frolov, E.V. Grabovskii, E.I. Predkova, O.B. Reshetnjak, and S.I. Tkachenko</i>	134
S2-O-011601	Generation of Ar K-shell radiation using a hybrid gas puff with an outer plasma shell <i>A.V. Shishlov, R.K. Cherdizov, V.A. Kokshenev, N.E. Kurmaev, S.A. Vagaytsev</i>	140
S2-O-019901	Optimization of double shell hybrid gas-puff with outer plasma shell for efficient generation of K-shell radiation in the microsecond implosion regime <i>R.K. Cherdizov, V.A. Kokshenev, N.E. Kurmaev, A.V. Shishlov, S.A. Vagaytsev</i>	148
S2-O-038701	Плазмообразование в сильных магнитных полях на поверхности двухслойных проводников <i>Н. Лабеецкая, И. Дацко, С. Чайковский, В. Ванькевич, В. Орешкин</i>	154
S2-O-043801	FRC collider <i>A. Mozgovoy</i>	160
S2-O-046201	Study of processes in polymer targets under high-energy exposure <i>O. Olkhovskaya, D. Boykov, V. Gasilov, E. Kazakov, S. Tkachenko, A. Smirnova</i>	166
S2-O-048501	Evolution of MITL parameters during the passage of a powerful current pulse <i>S.I. Tkachenko, V.V. Aleksandrov, A.V. Branitskii, I.N. Frolov, E.V. Grabovskii, K.V. Khishchenko, K.N. Mitrofanov, G.M. Oleinik</i>	172
S2-P-003401	Conduction current in low-density plasma opening switches <i>S. Loginov</i>	177
S2-P-007302	Time-resolved measurement of the temperature of a pinched dense plasma by the ratio of the signals of two X-ray diodes with different spectral response <i>S.A. Sorokin</i>	183
S2-P-019601	Токовый слой в гибридном газоплазменном лайнере <i>В. Кокшениев, А. Шишлов, Р. Чердизов, Н. Курмаев</i>	187

S2-P-019602	Характеристики плазменных струй сильноточного вакуумного разряда <i>В. Кокшениев, Н. Курмаев</i>	193
S2-P-024801	Распределение плотности приповерхностного вещества на начальной стадии процесса плазмообразования при скиновом взрыве цилиндрических проводников <i>И. Дацко, Н. Лабецкая, С. Чайковский, В. Ванькевич, В. Орешкин</i>	199
S2-P-033502	Numerical study of radiatively cooling partially ionized plasma expansion in neutral environment <i>Y.S Sharova, D.S. Shidlovski</i>	206
S3-O-018201	Излучение мощных линейно поляризованных сверхширокополосных импульсов субнаносекундной длительности гибридной антенной <i>Е.В. Балзовский, Ю.И. Буянов, А.М. Ефремов, В.И. Кошелев, Э.С. Некрасов, С.С. Смирнов</i>	213
S3-O-020502	High-power terahertz Cherenkov radiation in oversized slow-wave structure <i>V. Chazov, M. Deichuly, V. Koshelev, and A. Petkun</i>	219
S3-O-023301	Численное моделирование и проектирование резонаторной камеры СВЧ-реактора CVD <i>Е.В. Балзовский, С.С. Смирнов</i>	225
S3-O-028901	Efficiency of moderately relativistic resonant S-band BWO <i>P.V. Molchanov, E.A. Gurnevich</i>	229
S3-O-032801	Development and studies of a high-current relativistic gyrotron with a TM-type operating mode <i>E. Abubakirov, Yu. Danilov, A. Denisenko, A. Leontyev, R. Rozental</i>	235
S3-O-033701	Terahertz free electron laser with an electrodynamic system based on the excitation of Talbot-type supermode <i>Yu.S. Oparina, N.Yu. Peskov, A.V. Savilov</i>	238
S3-O-034101	Microwave generators with passive mode-locking <i>N.S. Ginzburg, S.V. Samsonov, G.G. Denisov, M.N. Vilkov, I.V. Zotova, A.A. Bogdashov, I.G. Gachev, A.S. Sergeev, R.M. Rozental, Yu.Yu. Danilov, E.V. Ilyakov, I.S. Kulagin</i>	243
S3-O-034602	Design of one-octave bandwidth gyro-BWO with zigzag quasi-optical transmission line <i>S.V. Samsonov, G.G. Denisov, A.A. Bogdashov, I.G. Gachev, M.V. Kamenskiy, K.A. Leshcheva</i>	248
S3-O-034901	Development of W-band short pulse generator with passive mode-locking <i>M.N. Vilkov, N.S. Ginzburg, I.V. Zotova, A.S. Sergeev</i>	254
S3-O-038201	Transverse radiation input and output for planar relativistic surface-wave oscillators and amplifiers <i>A.E. Fedotov, A.M. Malkin, V.Yu. Zaslavsky, A.S. Sergeev, N.S. Ginzburg</i>	258
S3-O-038301	Influence of Coulomb fields on formation of emittance in photoguns <i>V. Ivanov</i>	262

S3-O-045201	Design and experimental testing of W-band planar surface-wave oscillator driven by sheet high-current relativistic electron beam <i>A.V. Palitsin, V.Yu. Zaslavsky, Yu.V. Rodin, M.B. Goykhman, A.V. Gromov, Yu.M. Guznov, A.N. Panin, V.V. Parshin, A.M. Malkin, N.S. Ginzburg</i>	269
S3-P-016807	Thermal losses in the dielectric case of the absorbing load of liquid calorimeter in measuring the energy of high-power microwave pulses <i>A.I. Klimov, V.Yu. Konev</i>	275
S3-P-016808	Schemes for recording nanosecond high-power microwave pulses by detectors on hot carriers <i>A.I. Klimov</i>	281
S3-P-027601	Diffraction of a monopolar electromagnetic pulse on a slit <i>V.N. Kornienko, V.V. Kulagin</i>	284
S3-P-031802	High-gradient acceleration of electron beam by superradiative microwave pulse <i>K.A. Sharypov, N.S. Ginzburg, V.G. Shpak, S.A. Shunailov, M.I. Yalandin, I.V. Zotova</i>	288
S3-P-032802	High-current THz-band gyrotrons based on axial-slit cavities <i>Yu. Danilov, A. Leontyev, A. Malkin, R. Rozental, D. Shchegolkov</i>	294
S3-P-033703	Nonlinear amplification of powerful terahertz pulses by electron bunches <i>D.D. Krygina, Yu.S. Oparina, A.V. Savilov</i>	298
S3-P-034601	Simplified theory of gyro-BWO with zigzag quasi-optical system <i>E.M. Novak, S.V. Samsonov, A.V. Savilov</i>	304
S3-P-038102	Sub-terahertz gyrotron based on the use of external frequency-tunable mirror <i>I.V. Bandurkin, Yu.K. Kalynov, I.V. Osharin, N.Yu. Peskov, A.V. Savilov, D.Yu. Shchegolkov</i>	309
S3-P-921201	Influence of voltage pulse polarity on excitation of high-frequency oscillations in a nonlinear transmission line with saturated ferrite <i>P. Priputnev, I. Romanchenko, S. Maltsev, R. Sobyenin</i>	315
S4-O-001004	Trigger circuit optimization of the oil-insulated LTD cavity <i>V.M. Alexeenko, A.A. Kim, V.A. Sinebryukhov, S.S. Kondratiev, S.N. Volkov</i>	322
S4-O-005401	Surface irradiation installation based on URT-0.5M accelerator <i>S.Yu. Sokovnin, M.E. Balezin</i>	328
S4-O-008301	Технологические аспекты производства разрядников-обострителей на напряжение до 500 кВ <i>Д.С. Маханько</i>	334
S4-O-008705	Visualization of the temperature distribution in a DBD driven helium atmospheric pressure plasma jet <i>A.A. Dyachenko, O.M. Stepanova, I.L. Iov, and M.E. Pinchuk</i>	340
S4-O-014401	The influence of DC pulse current pattern on the different materials properties of samples obtained by spark plasma sintering <i>Thet Naing Soe, I.M. Makhadilov, A.P. Malakhinsk and N.W. Solis Pinargote</i>	344

S4-O-017504	Gas discharge lasers with pulse repetition frequency up to 100 kHz on RM transitions in alkali earth metal ions <i>M.A. Lavrukhin, P.A. Bokhan, P.P. Gugin, I.M. Ananyev, D.E. Zakrevsky</i>	351
S4-O-026401	Plasma instability in a laser controlled high-voltage switch for RADAN type electron accelerator <i>A.I. Lipchak, N.B. Volkov, S.V. Barakhvostov, E.A. Chingina, I.S. Turmyshev</i>	355
S4-O-026701	Effect on the GaAs parameters of a photoconductive semiconductor switch with a silicon oxide layer when switched by 355-nm laser radiation <i>V.V. Barmin, V.yu. Konev, I.V. Romanchenko</i>	361
S4-O-027404	Operation of multi-gigawatt magnetic compression lines <i>S. Tsyranov</i>	367
S4-O-038401	Development of material based on nanostructured Cu-Nb alloy for high magnetic field coils of microsecond duration <i>E. Zaytsev, A. Spirin, V. Krutikov, S. Pararin, S. Zayats, A. Kaigorodov, D. Koleukh, A. Kebets</i>	375
S4-O-041801	Пикосекундный магнитный компрессор гигаваттного уровня мощности <i>М.С. Педос, Е.А. Аличкин, В.Е. Патраков, А.В. Пономарев, С.Н. Рукин, С.П. Тимошенко, С.Н. Цыранов</i>	382
S4-O-044902	Simulation and design of helical FCG with simultaneous initiation of explosion from both liner ends <i>S. Anishchenko, P. Bogdanovich, A. Gurinovich, D. Leonenko</i>	388
S4-O-052301	Decomposition of SF ₆ in the plasma medium of an electron beam <i>Hongda Li, S. Sosnovskiy, A. Pushkarev, V. Sachkov, N. Golovkov</i>	393
S4-P-001001	Высоковольтный многоканальный импульсный генератор для электроразрядных технологий <i>В.М. Алексеенко, А.А. Жерлицын, С.С. Кондратьев</i>	399
S4-P-012701	Comparison of the effects of exposure to nanosecond pulsed microwaves on a burn injury depending on the pulse repetition frequency <i>A.V. Samoylova, A.A. Gostyukhina, V.V. Yartsev, S.S. Evseeva, V.M. Mochalova, M.A. Bolshakov, K.V. Zaitsev, O.P. Kutenkov, V.V. Rostov</i>	405
S4-P-017101	Формирование биполярных наносекундных импульсов различной длительности в схеме с одним разрядником <i>А.М. Ефремов, В.М. Алексеенко</i>	409
S4-P-021901	Non-equilibrium plasma of pulsed corona discharge for the purpose of air purification from typical ventilation exhausts of polymer production <i>I. Filatov, V. Uvarin, D. Kuznetsov</i>	415
S4-P-027101	Влияние химического состава рабочих тел на интегральное сопротивление АИПД <i>Д.К. Федорова, Д.А. Егошин, А.В. Павлов, Д.О. Новиков, В.Д. Телех</i>	421
S4-P-035203	Оптимизация передачи энергии из LC-контура в кинетическую энергию металлической токнесущей пластины <i>А.В. Козырев, А.А. Жерлицын</i>	426

S4-P-039301	Методика измерения падения напряжения в области нагрузки на сильноточном генераторе МИГ <i>А.Г. Русских, А.С. Жигалин, В.И. Орешкин</i>	430
S4-P-039401	Методика калибровки стрик-спектрометра в условиях работы импульсного генератора МИГ <i>А. Жигалин, А. Русских, В. Ванькевич, В. Орешкин</i>	434
S4-P-040801	Пятиканальный усилитель запускающих импульсов <i>А.П. Артёмов, А.В. Федюнин, А.Г. Русских, В.И. Орешкин</i>	438
S4-P-040802	Компактный импульсный генератор для питания плазменных пушек <i>А.П. Артёмов, А.В. Федюнин, Н.В. Жарова, А.Д. Ленский, А.Г. Русских, Д.В. Рыбка, В.И. Орешкин</i>	442
S4-P-042404	Study of URT-1M accelerator in submicrosecond operation <i>М.Е. Balezin, S.Yu. Sokovnin, A.S. Gerasimov</i>	447
S4-P-042405	Production of iron oxide nanopowders by radiation-chemical method <i>М.Е. Balezin, S.Yu. Sokovnin</i>	453
S4-P-044601	Линейный импульсный трансформатор с частотой работы 5 Гц <i>С.С. Кондратьев, А.А. Жерлицын, В.М. Алексеенко</i>	458
S4-P-045001	Controlled pulsed injection for HV gas blast circuit breakers <i>N. Kurakina, E. Tonkonogov, Iu. Murashov, R. Zhiligitov, N. Obratsov</i>	463
S4-P-045301	Investigation of wires layout in exploding wire array <i>S. Anishchenko, A. Gurinovich, E. Gurnevich, D. Leonenko, A. Rouba</i>	470
S4-P-046101	Methodology for conducting in-pile experiments to study spectral-temporal characteristic of gas media upon excitation by the ${}^6\text{Li}(n,\alpha){}^3\text{H}$ nuclear reaction <i>К.К. Samarkhanov, E.G. Batyrbekov, M.U. Khasenov, Yu.N. Gordienko, A.N. Kotlyar, A.A. Miller, V.K. Tskhe, Ye.A. Martynenko, Z.B. Kozhabayev</i>	474
S4-P-046601	Разработка и исследование высоковольтного импульсного конденсатора для электрофизических установок <i>Л.А. Дарьян, А.Д. Ленский, В.А. Логунов, О.А. Никитин, Д.В. Рыбка</i>	480
S4-P-050101	Получение нанопорошка оксида олова методом искрового разряда с управляемым средним размером частиц <i>А.Д. Максимов, И.В. Бекетов, А.И. Медведев, А.М. Мурзакаев, С.А. Фаренбрух</i>	485
S4-P-926701	High-voltage pulse sharpening using corrugated NLTLs with ferrites <i>R. Sobyenin, P. Pripitnev, I. Romanchenko, S. Maltsev</i>	489
S4-P-944601	Оптимизация режимов электроразрядного дробления кварцевого сырья <i>С.С. Кондратьев, А.А. Жерлицын, В.М. Алексеенко, А.И. Непомнящих, А.П. Жабоедов, В.С. Романов</i>	494
S5-O-000208	Влияние скорости волны ионизации на напряжение в линии при развитии импульсного пробоя <i>В.А. Шкляев, А.А. Гришков, С.Я. Беломытцев, Д.В. Белоплотов, Д.А. Сорокин</i>	498

S5-O-014002	Моделирование красных спрайтов в лабораторных экспериментах <i>Н.П. Виноградов, В.Ф. Тарасенко, Е.Х. Бакиш</i>	505
S5-O-018901	Импульсные плазменно-пучковые разряды с протяженным щелевым катодом и их технологические приложения <i>Н.А. Ашурбеков, М.З. Закарьяева, К.О. Иминов, К.М. Рабаданов, Г.Ш. Шахсинов</i>	511
S5-O-018902	Влияние типа функции распределения электронов на характеристики наносекундного разряда в протяженных экранированных трубках с цилиндрическими полыми электродами <i>Н.А. Ашурбеков, К.О. Иминов, Г.Ш. Шахсинов, М.Б. Курбангаджиева, К.М. Рабаданов</i>	515
S5-O-019701	Runaway electrons in an air gap in the presence of a magnetic field <i>Y. Mamontov, G. Mesyats, K. Sharypov, V. Shpak, S. Shunailov, M. Yalandin, N. Zubarev, O. Zubareva</i>	520
S5-O-022602	Оценка возможности генерации рентгеновских квантов в импульсных разрядах сверхвысокого давления <i>Ю.И. Мамонтов, В.В. Лисенков, И.В. Уйманов</i>	524
S5-O-026303	Импульсные генераторы для накачки азотных лазеров низкого давления на частотах повторения импульсов до 10 кГц <i>Б.А. Козлов, И.В. Логин</i>	531
S5-O-954301	Nanosecond discharge in atmospheric air in submillimeter gaps in a uniform electric field <i>G.A. Mesyats, I.V. Vasenina</i>	537
S5-P-000702	Influence of a voltage pulse rise time and pressure of air and nitrogen on the parameters of runaway electron beams <i>D.V. Beloplotov, V.F. Tarasenko, D.A. Sorokin</i>	544
S5-P-019502	Characteristics of stationary negative corona discharge in atmospheric air <i>A.O. Kokovin, A.V. Kozыrev, V.Yu. Kozhevnikov, N.S. Semeniuk</i>	550
S5-P-020803	UV and VUV radiation of rare gases and nitrogen in diffuse discharges, formed in an inhomogeneous electric field <i>V.V. Kozhevnikov, A.N. Panchenko, V.F. Tarasenko</i>	554
S5-P-026202	Импульсно–периодические объемные разряды в CO ₂ -лазерных смесях сверхатмосферного давления <i>Б.А. Козлов, Д.С. Маханько</i>	560
S5-P-031801	Parameters of a paraxial magnetized bunch of runaway electrons <i>K. Sharypov, E. Osipenko, V. Shpak, S. Shunailov, M. Yalandin, N. Zubarev</i>	566
S5-P-041703	Nanosecond pulse discharge in helium <i>P.A. Bokhan, N. Glubokov, P.P. Gugin, M.A. Lavrukhin, D.E. Zakrevsky</i>	572
S6-O-005202	Modeling of plasma dynamics parameters of magnetoplasma compressor <i>N.V. Batrak, N.G. Kopaleishvili</i>	577

S6-O-010005	Numerical simulation of individual cell of the electron beam source with a plasma cathode <i>V.T. Astrelin, I.V. Kandaurov, V.P. Tarakanov</i>	583
S6-O-012201	Investigation of negative glow plasma in helium and its application in gas analysis <i>A.I. Saifutdinov</i>	591
S6-O-029605	Computation of output parameters of a submicrosecond electron accelerator <i>I.S. Egorov, M.A. Serebrennikov, A.V. Poloskov</i>	601
S6-P-017001	Computer simulation of multi-gigawatt magnetic compression lines <i>V. Patrakov, S. Rukin</i>	606
S6-P-021101	2D kinetic modeling of plasma jet in external magnetic field <i>D.L. Shmelev, I.V. Uimanov, S.A. Barenholts, M.M. Tsventoukh</i>	612
S6-P-021102	Numerical model of high current plasma source <i>D.L. Shmelev, S.A. Chaikovsky, I.V. Uimanov, A.G. Rousskikh, V.I. Oreshkin</i>	617
S6-P-021201	Dependence of the oscillations frequency in a nonlinear transmission line with saturated ferrite on magnetic fields and line dimensions <i>O.O. Mutylin, P.V. Priputnev, I.V. Romanchenko, V.P. Tarakanov</i>	621
S6-P-022601	Модель электронной эмиссии из границы взрывоэмиссионной плазмы <i>Ю.И. Мамонтов, И.В. Уйманов</i>	629
S6-P-023902	Теоретическое изучение влияния переменных электрических полей на формирование профилей линий в спектрах излучения аргона <i>Е.В. Корюкина</i>	635
S6-P-028801	Электрический взрыв жидкометаллических струй при взаимодействии с плазмой катодного пятна вакуумной дуги <i>И. Уйманов, Г. Месяц</i>	641
S6-P-028802	Моделирование предпробойных явлений в микровыступе на катоде в СВЧ полях с учетом движения расплава <i>И. Уйманов, Д. Шмелев, С. Баренгольц</i>	648

16th International Conference on Modification of Materials with Particle Beams and Plasma Flows

C1-O-002401	Electrical characteristics of a hot-target HiPIMS discharge in reactive N ₂ /Ar environment <i>A.S. Isakova, D.V. Kolodko, V.Yu. Lisenkov, A.V. Kaziev, G.I. Rykunov, A.V. Tumarkin</i>	655
C1-O-002402	Plasma parameters of a pulsed high-current low-voltage non-sputtering magnetron discharge in light gases <i>A.V. Kaziev, D.V. Kolodko, V.A. Tumarkin, N.P. Orlov</i>	659
C1-O-004101	Повышение электрической прочности ускоряющей системы малогабаритного ускорителя ионов <i>И.А. Каньшин</i>	663
C1-O-008401	Влияние потенциала узкой металлической трубки на распространение в ней сфокусированного электронного пучка в форвакуумной области давлений <i>И.Ю. Бакеев</i>	669
C1-O-015201	Моделирование движения ионов и распыления электродов в миниатюрном линейном ускорителе <i>И.А. Каньшин, Н.В. Мамедов, А.А. Солодовников, Н.Е. Ефимов, А.С. Рохманенков</i>	675
C1-O-018103	Investigation of the functional parameters of cold plasma jet generated in device with microchannel <i>P.P. Gugin, E.V. Milakhina, I.V. Schweigert, D.E. Zakrevsky</i>	681
C1-O-025401	Система плазменно-ассистированного ВЧ-нанесения покрытий из порошковых диэлектрических материалов <i>И.И. Ажажа, В.В. Шугуров</i>	685
C1-O-028101	Применение Pd-Ва покрытия в пеннинговском ионном источнике <i>А.Г. Садилкин, Н.Н. Щитов</i>	690
C1-O-029901	Prediction of extinguish boundary of radio frequency thermal plasma torch within carrier gas injector <i>Mingqing Nie, Xiangyang Liu, Long Miao, Ruoyu Han, Xiaoyu Wang, Zhengxi Zhu, Yuri Mihailovich Grishin, and Ningfei Wang</i>	696
C1-O-030501	Electric arc plasma pyrolysis of natural gas by a high-voltage AC plasma torch <i>S.D. Popov, V.E. Popov, D.I. Subbotin, A.V. Surov, E.O. Serba, A.V. Nikonov, Gh.V. Nakonechny, V.A. Spodobin</i>	702
C1-O-035601	Импульсная модуляция РИГ источников ионов <i>Н.Н. Щитов</i>	708
C1-O-037201	Cold plasma jet optimization for cancer treatment <i>I.V. Schweigert, D.E. Zakrevsky, E.V. Milakhina, P.P. Gugin, M. Biryukov, O. Koval</i>	715
C1-O-039701	ELV-15 – new accelerator for industrial applications <i>D. Vorobev, E. Domarov, M. Golkovskii, Y. Golubenko, A. Korchagin, D. Kogut, N. Kuksanov, R. Salimov, A. Semenov, S. Fadeev, V. Cherepkov, A. Lavrukhin, Zhang Changyou</i>	720
C1-O-042601	Material processing using arc plasmatrons with thermochemical cathodes <i>A. Anshakov, P. Domarov, V. Faleev</i>	726

C1-O-043402	Diffuse vacuum arc discharge with heated cathode made of mixture of ceramic and metal powders <i>R.A. Usmanov, A.D. Melnikov, V.P. Polistchok, S.B. Vetrova</i>	734
C1-O-047001	Influence of magnetic field induction on the energy of ions and injection processes of ionized flows of working substances in a plasma mass separator <i>N.N. Antonov, S.B. Vetrova, R.A. Usmanov, G.D. Liziakin, A.D. Melnikov</i>	740
C1-P-001601	Конструкция и рабочие характеристики электронного источника с полым катодом и несамостоятельным высоковольтным тлеющим разрядом <i>В.И. Гушенец, А.С. Бугаев, Е.М. Окс.</i>	746
C1-P-002501	Влияние частоты импульсов на инициирование и функционирование среднечастотного импульсного разряда атмосферного давления в потоке аргона <i>К.П. Савкин, Е.М. Окс, Г.Ю. Юшков, А.С. Бугаев, А.Г. Николаев, М.В. Шандриков</i>	752
C1-P-009102	Распад плазмы вакуумного дугового разряда после обрыва тока <i>Г.Ю. Юшков, А.Г. Николаев, Е.М. Окс, К.П. Савкин В.П. Фролова</i>	758
C1-P-009301	Study of the structure of SiAlON obtained by synthesis with low-temperature plasma energy <i>V. Vlasov, A. Klopotov, K. Bezukhov, N. Golobokov, M. Syrtanov, G. Volokitin</i>	762
C1-P-012101	Влияние скорости натекания рабочего газа на распределение концентрации плазмы внутри полого катода несамостоятельного тлеющего разряда <i>Д.Ю. Игнатов, В.В. Денисов, С.С. Ковальский</i>	767
C1-P-014602	Partial discharge emission characteristics in the UV range <i>Y. Yakovlev, N. Kaliaskarov, N. Zholmahambetov, L. Zinoviyev, U. Arkabaev, I. Galimyanov</i>	771
C1-P-018301	High-intensity ion beams with submillisecond duration for synergistic of ion implantation and energy impact on the surface <i>A.I. Ryabchikov, D.O. Sivin, S.V. Dektyarev, D.O.Vakhrushev</i>	774
C1-P-019702	Conical structures on the surface of a liquid with surface ionic conductivity: the space charge effect <i>M. Belyaev, N. Zubarev, O. Zubareva</i>	781
C1-P-021302	Numerical simulation of the features and regularities of the high-power density ion beam formation <i>A.I. Ryabchikov, V.P. Tarakanov</i>	785
C1-P-022503	Бессеточная система генерации низкоэнергитического ионного пучка на основе тлеющего разряда с полым катодом и внешней инжекцией электронов <i>И. Лопатин, Ю. Ахмадеев, А. Петров</i>	791
C1-P-025703	Исследование изменений зарядового состава ионов Sn в плазме слаботочной вакуумной дуги на катоде из олова <i>Ю.А. Земсков, И.В. Уйманов</i>	797
C1-P-027701	Plasma reactor for material synthesis and waste recycling <i>Zh. Bolatova, A.YA. Pak, A.A. Gumovskaya, P.V. Povalyayev, R.S. Martynov, K.B. Larionov</i>	801

C1-P-030502	The production of calcium nitrate by the air high-voltage ac plasma torch <i>S.D. Popov, V.E. Popov, D.I. Subbotin, A.V. Surov, E.O. Serba, A.V. Nikonov, Gh.V. Nakonechny, V.A. Spodobin</i>	806
C1-P-036302	Экспериментальное исследование свойств микроволнового разряда в диэлектрической барьерной конфигурации <i>В.Н. Тихонов, С.Н. Антипов, М.Х. Гаджиев, С.А. Горбатов, И.А. Иванов, А.В. Тихонов</i>	810
C2-O-047203	Modeling of reactive sputtering and evaporation in a hot-target magnetron discharge <i>D.V. Kolodko, S.M. Sorokin, A.V. Kaziev</i>	816
C2-P-018602	Моделирование температурных полей в мишенях при совмещении импульсно-периодической высокоинтенсивной имплантации ионов и энергетическом воздействии на поверхность <i>А. Иванова, Д. Сивин, О. Корнева, Г. Блейхер</i>	820
C2-P-025702	Изменения зарядового состава ионов в потоке плазмы под влиянием многократной обработки наноструктурированной поверхности вольфрамового катода микросекундной вакуумной дугой <i>Ю.А. Земсков, И.В. Уйманов, Ю.И. Мамонтов, С.А. Баренгольц</i>	826
C2-P-028502	Экспериментальное исследование испарения перспективных рабочих тел микро-АИПД <i>Е.О. Чебыкин, А.В. Павлов, Д.К. Федорова, А.П. Подлосинская, Т.С. Щепанюк, В.Д. Телех</i>	832
C2-P-936201	Экспериментальные исследования и моделирование импульсного электронно-пучкового воздействия на систему «ZrN-покрытие/подложка из силумина» <i>Н.Н. Коваль, Т.В. Коваль, О.В. Крысина, Ю.Ф. Иванов, А.Д. Тересов, П.В. Москвин, Му Kim An Tran, Н.А. Прокопенко, Е.А. Петрикова</i>	837
C2-P-956001	Study of the influence of plastic deformation of the HSS M2 surface on ion-plasma nitriding in the glow discharge <i>R. Vafin, A. Asylbae, D. Mamontov, I. Sklizkov</i>	851
C3-O-005301	Комплексная модификация поверхностного слоя нержавеющей высоколегированной стали – структура и свойства <i>Ю. Иванов, Е. Петрикова, А. Тересов, И. Лопатин, С. Лыков</i>	858
C3-O-007201	Nickel-based superalloy, relation between non-linear ultrasound and microstructure changes due to creep damages <i>Yutaka Ishii, Kuniaki Ishihara, Toshihiro Ohtani, Takayuki Sakakibara, Masayuki Kamaya, Yutarou Ohta, Keiji Kubusiro</i>	863
C3-O-007601	Наноструктурирование поверхности монокристалла КТР с помощью бомбардировки кластерными ионами <i>И.В. Николаев, Н.Г. Коробейщиков</i>	869
C3-O-017802	Phase transformations under thermal treatment in Al-12%Si-Zr system with metastable structure synthesized by compression plasma flows impact <i>N.N. Cherenda, N.V. Bibik, V.M. Astashynski, A.M. Kuzmitski</i>	874
C3-O-024201	Optical absorption of radiation defects in alkali halide crystals implanted magnesium and silver ions <i>V. Paperny, N. Ivanov, S. Nebogin, L. Bryukvina</i>	880

C3-O-024701	Измерение порогового тока вакуумной дуги для наноструктурированного вольфрама <i>П. Михайлов, И. Музюкин, Ю. Мамонтов, И. Уйманов, Ю. Земсков, С. Баренгольц</i>	886
C3-O-025001	Вакуумная дуга на поверхности вольфрама, покрытого наноструктурами FUZZ <i>И.Музюкин, П. Михайлов, Ю. Мамонтов, Ю.Земсков, И.Уйманов, С.Баренгольц</i>	890
C3-O-030002	Structure changes in metals after their laser treating in different conditions <i>A. Ivanov, E. Karpovich, A. Sitkevich, N. Valko, S. Vasiliev</i>	896
C3-O-033101	Триботехнические и физико-механические свойства штамповой стали, подвергнутой комбинированной ионно-плазменной обработке <i>А. Леонов, Ю. Денисова, В. Денисов, М. Савчук, В. Тищенко</i>	902
C3-P-004001	High-power nanosecond electromagnetic pulses and dielectric barrier discharge in air consequences on structural and structure sensitive properties of ilmenite surfa <i>I. Bunin, N. Anashkina</i>	906
C3-P-005001	Влияние мощного импульсного ионного пучка на топографию поверхности тантала <i>А.Е. Лизачев, М.В. Жидков, Ю.П. Колобов, Г.В. Потемкин, М.В. Лукашова, Г.Е. Ремнев, С.К. Павлов, В.А. Тарбоков</i>	912
C3-P-005701	Heat transfer estimation during laser-assisted metal-induced crystallization of amorphous silicon films <i>L.D. Volkovoyanova, I.O. Kozhevnikov, A.M. Pavlov, A.A. Serdobintsev, A.V. Starodubov</i>	916
C3-P-012501	Evolution of the structure and properties of AISI 1020 steel subjected to elion nitriding in a low-pressure gas discharge plasma <i>I.V. Lopatin, Yu.H. Akhmadeev, E.A. Petrikova, M.E. Rygina, Yu.F. Ivanov</i>	921
C3-P-017602	Improvement properties of protective coatings on zirconium alloys and austenitic stainless steels by pre-treatment with high-intense pulsed ion beams <i>A.V. Tarbokov, M.S. Slobodyan, S.K. Pavlov, E.A. Smolyanskiy, D.G. Krotkevich, V.A. Ryzhkov, V.V. Uglov, G.E. Remnev</i>	927
C3-P-018001	Composition of catalytic layers prepared by ion beam assisted deposition of dysprosium and platinum from a pulsed arc discharge plasma onto carbon catalysts carriers <i>V. Poplavsky, A. Dorozhko, V. Matys</i>	933
C3-P-018303	Ионно-лучевая обработки внутренней поверхности отверстий из титана высокоинтенсивными пучками ионов алюминия <i>А.И. Рябчиков, Д.О. Сивин, А.И. Иванова, О.С. Корнева, Д.О. Вахрушев</i>	942
C3-P-020705	Repetitively-pulsed nitrogen implantation in titanium by a high-power density ion beam <i>A.I. Ryabchikov, O.S. Korneva, D.O. Sivin, A.A. Chernyshev</i>	948
C3-P-024002	Formation of a boron-based protective coating on the surface of D2 die steel by electron beam processing <i>A.S. Milonov, D.E. Dasheev, A.P. Semenov, U.L. Mishigdorzhin</i>	955
C3-P-037702	The effect of annealing in air on the physicochemical properties of CeF ₃ nanoparticles produced by pulsed electron evaporation <i>V. Ilves, O. Malova, A. Murzakaev, T. Sultanova, S. Sokovnin, M. Uimin, M. Ulitko, M. Zuev</i>	962

C3-P-041404	Multilayer corrosion-resistant ceramic-metal coatings on stainless steel obtained by magnetron sputtering <i>M. Dorofeeva, T. Dorofeeva, M. Fedorischeva, T. Gubaidulina, V. Sergeev</i>	970
C3-P-045002	Electro-erosion resistance of different electrodes materials for plasma generators <i>Iu. Murashov, N. Obratsov, N. Kurakina, R Zhiligitov, S. Zverev</i>	975
C3-P-048002	Hot-target HiPIMS deposition of W-fuzz layers <i>M.M. Kharkov, D.V. Kolodko, M.S. Kukushkina, A.V. Kaziev, O.V. Ogorodnikova, G.S. Lomonosov, A.V. Tumarkin</i>	981
C3-P-948701	Оптимизация режимов предварительной электронно-ионно-плазменной обработки поверхностного слоя силумина до нанесения нитридных покрытий <i>Н.А. Прокопенко, А.Д. Тересов, О.В. Крысина, Е.А. Петрикова, М.Е. Рыгина</i>	985
C4-O-018701	Высокоскоростной синтез тонких пленок LiPON термическим испарением Li ₃ PO ₄ в азотной плазме <i>А.С. Каменецких, Н.В. Гаврилов, П.В. Третников, И.С. Жидков, И.А. Морозов, А.А. Ершов</i>	992
C4-O-022801	Mixed-mode magnetron and arc deposition of aluminum oxide films <i>V.O. Oskirko, I.M. Goncharenko, V.A. Semenov, M.I. Azhgikhin, M.I. Goncharenko, A.A. Solovyev</i>	1000
C4-O-023502	Diagnostics of a low-pressure arc plasma (N ₂ , 0.1–1 Pa) in the mode of aluminum anodic evaporation <i>A. Ershov, A. Kamenetskikh</i>	1007
C4-O-037801	Tailoring of optical, mechanical and surface properties of high-entropy ceramic thin films <i>S. Zenkin, A. Gaydaychuk, A. Mitulinsky, S. Linnik</i>	1014
C4-O-040502	Hybrid simulation of plasma synthesis of linear-chain carbon on a semiconductor substrate <i>E.A. Buntov, A.I. Matitsev</i>	1022
C4-O-047204	Mass-resolved spectrometry of ion flux from hot-target reactive HiPIMS discharge with Si target <i>D.V. Kolodko, A.V. Kaziev, A.V. Tumarkin</i>	1028
C4-O-048401	Layer-by-layer deposition of transparent AZO coatings on polymer surfaces in a DC magnetron discharge <i>D.G. Ageychenkov, A.V. Kaziev, D.V. Kolodko, A.S. Isakova</i>	1032
C4-P-005302	Электронно-ионно-плазменное легирование поверхностного слоя аустенитной стали медью <i>Ю. Иванов, Е. Петрикова, А. Тересов, Н. Прокопенко, М. Петюкевич</i>	1036
C4-P-005501	Effect of carbon cathode plasma parameters on the structure and properties of deposited coatings <i>Y.M. Liu, Z.Ch. Song, X.H. Jiang, D.G. Piliptsov, A.V. Rogachev</i>	1041
C4-P-015702	Поток энергии на подложку в процессе дуального магнетронного осаждения покрытий TiAlN <i>А.С. Гренадёр, А.Н. Захаров, В.О. Оскирко, Д.В. Сиделев, А.А. Соловьев</i>	1047

C4-P-018702	Effect of ion assistance parameters on the properties of Ir coatings <i>A.S. Kamenetskikh, N.V. Gavrilov</i>	1053
C4-P-021601	Influence of parameters of the discharge with a self-heating hollow cathode and a sectional anode on the activation degree of a vapor-gas medium <i>A.I. Menshakov, Yu.A. Bryukhanova</i>	1061
C4-P-022802	Магнетронное распыление меди короткими импульсами высокой мощности <i>В.О. Оскирко, А.Н. Захаров, С.В. Работкин, А.П. Павлов, В.А. Семенов, А.А. Соловьев</i>	1067
C4-P-048001	Preparation of copper oxide films on alumina in a hot-target HiPIMS process <i>V.Yu. Lisenkov, A.V. Kaziev, D.G. Ageychenkov, A.V. Tumarkin, D.V. Kolodko, M.M. Kharkov, M.S. Kukushkina, M.M. Zaripova</i>	1073
C5-O-912601	Исследование условий стабильного зажигания несамостоятельного тлеющего разряда при низком давлении в атмосфере воздуха <i>Н.Н. Коваль, В.В. Денисов, В.В. Яковлев, А.О. Егоров</i>	1077
C5-P-052802	Stress evolution in NiCoFeCrMn and NiCoFeCr high-entropy alloys irradiated by helium and krypton ions <i>M.M. Belov, I.A. Ivanov, V.V. Uglov, S.V. Zlotski, K. Jin, N.A. Stepanjuk, A.E. Ryskulov, A.L. Kozlovskiy, M.V. Koloberdin, A.E. Kurakhmedov, A.D. Sapar</i>	1082
C5-P-934201	Синтез многокомпонентного поверхностного сплава Fe-Cr-Al на циркониевой подложке с помощью низкоэнергетического сильноточного электронного пучка <i>Е.В. Яковлев, Е.А. Пестерев, В.И. Петров, А.Б. Марков</i>	1088
C6-O-007905	Влияние электронно-пучкового поверхностного многокомпонентного легирования на неупругие свойства никелида титана <i>В.О. Семин, Ф.А. Дьяченко, М.Г. Остапенко, А.А. Нейман, С.Н. Мейснер, В.В. Лобань, Л.Л. Мейснер</i>	1093
C6-O-023001	Механизмы повышения усталостной долговечности никелида титана, обусловленные электронно-пучковой поверхностной обработкой <i>Л.Л. Мейснер, С.Н. Мейснер, Ф.А. Дьяченко, М.Г. Остапенко</i>	1099
C6-O-033604	Influence of helium ion irradiation on the stress evolution in nc-ZrN/a-ZrCu multilayered films <i>V.V. Uglov, S.V. Zlotski, G. Abadias, I.S. Veremei</i>	1105
C6-O-952201	Свойства многокомпонентных многослойных покрытий, полученных вакуумно-дуговым плазменно-ассистированным методом <i>М.В. Савчук, В.В. Денисов, Ю.А. Денисова, А.А. Леонов, В.Н. Тищенко, А. Скоырский, В.М. Савостиков</i>	1111
C6-P-018801	Влияние параметров МДО-процесса на шероховатость и ударопрочность покрытий, сформированных на сплавах алюминия Д16 и АМгЗ <i>А.И. Кондратенко, П.И. Бутягин, И.А. Екимова, С.С. Арбузова, А.В. Большанин</i>	1117

20th International Conference on Radiation Physics and Chemistry of Condensed Matter

R1-O-013102	Luminescence of dye after exposure to electron beam radiation <i>E.N. Bocharnikova, O.N. Tchaikovskaya, G.V. Mayer, V.I. Solomonov, A.S. Makarova, V.V. Osipov, S.A. Chaikovskiy</i>	1127
R1-P-013501	Distribution in the material of the absorbed energy of a space-limited beam flow of high-energy electrons <i>D.A. Mussakhanov, V.M. Lisitsyn, M.G. Golkovskii</i>	1133
R1-P-016702	Electron-hole trapping centers in uv-irradiated Na ₂ SO ₄ -Mn and K ₂ SO ₄ -Mn <i>T.N. Nurakhmetov, A.M. Zhunusbekov, A.Zh. Kainarbay, D.H. Daurenbekov, D.A. Tolekov, B.M. Sadykova, K.B. Zhangylyssov, T.T. Alibay, R.K. Shamiyeva, A.E. Aqzhalbekova</i>	1139
R1-P-035802	Люминесцентный контроль светодиодных гетероструктур, выращенных методом металлоорганической газофазной эпитаксии на сапфире <i>Ли Цзысюань, В.И. Олешко, Л.В. Воробьева</i>	1143
R1-P-037701	Luminescence of compacts from mixtures of nano and micro calcium fluoride powders <i>V. Ives, S. Sokovnin, S. Zayats, M. Zuev</i>	1148
R1-P-047802	Glow of own defects in ZnO polycrystals <i>N.L. Aluker</i>	1156
R2-O-019001	Comparative study of the response of plastic materials to the high-current electron beam of the Kalmar facility impact <i>E.D. Kazakov, M.Yu. Orlov, D.N. Sadovnichii, M.G. Strizhakov, K.Yu. Sheremet'ev</i>	1164
R2-O-031601	Luminescence of coals excited by a pulsed electron beam <i>I.YU. Liskov, B.P. Aduiev, G.M. Belokurov, Z.R. Ismagilov</i>	1171
R3-O-018401	УФ излучатель с повышенной вирулицидной эффективностью <i>М.И. Ломаев, В.Ф. Тарасенко</i>	1177
R3-O-953201	Радиационный синтез тугоплавкой оптической керамики <i>В.М. Лисицын</i>	1181
R3-P-013603	Outcome comparison of treatment of brain metastases in hypofractionation and staged radiosurgery <i>K.O. Stavitskaya, V.V. Krasnyuk, D.A. Butovskaya, A.V. Shilenko</i>	1187
R3-P-908801	Creation of ZnSe nanoclusters in a silicon dioxide track template on silicon <i>A.D. Akyzbekova, Z.K. Baimukhanov, A.K. Dauletbekova</i>	1192
R3-P-914301	Предпосевная стимуляция картофеля УФБ-излучением ХеС1-эксилламп <i>А.Г. Бураченко, Э.А. Соснин, И.А. Викторова, Ю.В. Чудинова, Л.В. Ляцева</i>	1198
R4-O-031202	Positron annihilation analysis of nanosized metal coatings Zr/Nb after He ⁺ ion irradiation <i>R. Laptev, A. Lomygin, D. Krotkevich</i>	1203
R4-O-039201	Defect-related luminescence in KLuP ₂ O ₇ doped with Pr ³⁺ ions after irradiation with fast electrons and neutrons <i>S.A. Kiselev, V.A. Pustovarov, M.O. Petrova, D.A. Tavrurinov</i>	1208

R4-P-033601	Microstructural stability and mechanical properties of the system V-Nb-Ta-Ti under helium ion irradiation <i>A.E. Ryskulov, M.M. Belov, V.V. Uglov, S.V. Zlotski, K. Jin, I.A. Ivanov, A.L. Kozlovskiy, M.V. Zdorovets, A.E. Kurakhmedov, A.D. Sapar, D.A. Mustafin, Y.V. Bikhert, T.A. Kuznetsova, V.A. Lapitskaya, A.V. Khabarava</i>	1216
R4-P-052701	Microstructure and phase state of a composite based on silicon carbide irradiated with krypton ions <i>V.V. Uglov, V.M. Kholad, P.S. Grinchuk, M.V. Kiyashko, I.A. Ivanov, A. L. Kozlovskiy, M.V. Zdorovets</i>	1223
R5-P-003102	The electron-optical scheme of the energy analyzer of small-sized electron spectrometer <i>Zh.T. Kambarova, A.O. Saulebekov, K.B. Kopbalina</i>	1228
R5-P-003103	Features of modeling corpuscular-optical systems for the analysis of charged particle beams <i>Zh.T. Kambarova, A.O. Saulebekov</i>	1233
R5-P-047801	Ensuring radiation safety of medical examinations using thermoluminescent dosimetry <i>N. Aluker, A. Artamonov</i>	1237

5th International Conference on New Materials and High Technologies

N1-O-007701	High-current pulsed electron beams for modification of the surface layer of parts of the flow part of a modern gas turbine engine <i>O.A. Bytsenko</i>	1245
N1-O-010802	Влияние механохимической активации на высокотемпературный синтез и фазообразование в системе ZnO-Co ₃ O ₄ -Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O-Al ₂ O ₃ -Al <i>O.B. Львов, Н.И. Радишевская, А.Ю. Назарова</i>	1249
N1-O-011003	Получение покрытий с увеличенной удельной поверхностью на основе Zn ₂ SnO ₄ методом распылительного пиролиза <i>А.А. Акулинкин, К.А. Болгару, А.А. Редгер</i>	1257
N1-O-015601	Диагностика плазмы методом оптической эмиссионной спектроскопии при осаждении покрытий Mo-Hf-Si-B с помощью технологии HIPIMS <i>Ф.В. Кирюханцев-Корнеев, А.Д. Сытченко</i>	1261
N1-O-016403	Синтез нанопорошка ZnO при горении геля «нитрат цинка-глицин» и оценка его фотокаталитической активности в разложении фенола <i>А.П. Амосов, В.А. Новиков, Е.М. Качкин, Н.А. Крюков, А.А. Тутов, И.М. Соснин, Д.Л. Мерсон</i>	1266
N1-O-016405	Применение горения смеси порошков Ti-NaN ₃ -NH ₄ Cl-C для синтеза высокодисперсной композиции TiN-TiC <i>А.П. Амосов, Ю.В. Тутова, А.Ф. Минеханова, Д.А. Майдан, А.В. Шоломова</i>	1272
N1-O-025204	Коррозионные свойства циркония, облученного низкоэнергетическим сильноточным электронным пучком <i>Е.А. Пестерев, Е.В. Яковлев, М.С. Слободян, А.Б. Марков, А.В. Соловьев, В.И. Петров</i>	1278
N1-O-027801	Self-powered Photodetectors based on the Ga ₂ O ₃ /n-GaAs <i>V.M. Kalygina, O.S. Kisleleva, B.O. Kushnarev, Y.S. Petrova, A.V. Almaev, V.L. Oleinik, A.V. Tsybalov</i>	1282
N1-O-028201	Investigation of the photocatalytic activity and radiopacity of nanopowders produced by pulsed electron beam evaporation in vacuum <i>A.S. Gerasimov, A.S. Chepusov, V.G. Ilves, O.A. Svetlova, S. Yu. Sokovnin</i>	1289
N1-O-028202	Investigation of antioxidant properties of cerium oxide nanopowders under nanosecond bremsstrahlung <i>A.S. Gerasimov, M.E. Balezin, V.G. Ilves, S. Yu. Sokovnin</i>	1293
N1-O-038601	The mechanical response of titanium alloys to dynamic impacts in a wide temperature range <i>V.A. Skripnyak, V.V. Skripnyak, K.V. Iohim, E.G. Skripnyak</i>	1298
N1-O-038602	Dynamic fracture of hexagonal close packed alloys <i>V.V. Skripnyak, E.G. Skripnyak, V.A. Skripnyak</i>	1308
N1-O-046701	Plasma-solution synthesis of a solid phase from solutions of iron and cobalt nitrates of various concentrations <i>K.V. Smirnova, D.A. Shutov, A.N. Ivanov, V.V. Rybkin</i>	1318
N1-O-051401	Thermo-visco-elastic model of powder layer modification by moving heat source <i>A.G. Knyazeva</i>	1324

N1-P-004601	Влияние механической активации в аргоне на результат последующей механической активации титана в азоте <i>О.А. Шкода</i>	1330
N1-P-004602	СВС система Ti-Co-N: механизм фазообразования и роль промежуточных фаз <i>О.А. Шкода</i>	1336
N1-P-010601	Взаимодействие смеси «ферросилиций – циркон – алюминий» с азотом в процессе СВС <i>О.Г. Крюкова</i>	1340
N1-P-010602	Влияние добавки углерода и давления азота на процесс восстановления ZrO ₂ и TiO ₂ кальцием <i>А.Н. Аврамчик, Б.Ш. Браверман, О.Г. Крюкова, Ю.М. Максимов</i>	1346
N1-P-010801	Синтез пигментов на основе соединений марганца методом горения растворов <i>О.В. Львов, Н.И. Радишевская, А.Ю. Назарова, Р.В. Минин</i>	1351
N1-P-010901	Неизотермический синтез трибологических композиционных материалов на основе МАХ-фаз и соединения AlMgB ₁₄ <i>О.К. Лепакова, Н.И. Афанасьев, Р.В. Минин</i>	1359
N1-P-015602	Исследование структуры и свойств покрытий Mo-(Y)-Zr-Si-B, полученных методом магнетронного распыления <i>А.Д. Сытченко, Р.А. Вахрушев, Ф.В. Кирюханцев-Корнеев</i>	1364
N1-P-025205	Компьютерное моделирование тепловых полей системы Mo-Zr для формирования покрытий с помощью низкоэнергетического высокоточного электронного пучка <i>А.В. Соловьев, А.Б. Марков, Е.А. Пестерев, Е.В. Яковлев, В.И. Петров</i>	1369
N1-P-027501	Arc plasma synthesis of IV-V groups transition metals high-entropy carbides cubic phases <i>А.А. Gumovskaya, А.Ya. Pak, Zh.S. Bolatova, P.V. Povalyaev, R.D. Gerasimov</i>	1374
N1-P-037601	Формирование поверхностного сплава Mo-Zr с помощью низкоэнергетического высокоточного электронного пучка <i>В.И. Петров, Е.В. Яковлев, А.В. Соловьев, Е.А. Пестерев, А.Б. Марков</i>	1379
N1-P-037602	Сравнение жаростойкости покрытого хромом циркония и циркония с поверхностным сплавом хром цирконий <i>В. Петров, А. Марков, А. Соловьев, Е. Пестерев, Е. Яковлев</i>	1384
N1-P-040001	Структурообразование в порошковых материалах системы Ti-Al-O в условиях реакционного спекания <i>Е. Коростелева, И. Николаев</i>	1390
N1-P-040401	Исследование СВС – процессов в термически – сопряженной слоевой порошковой системе (Ni + Al)/(PbO ₂ + В + Al ₂ O ₃ + стекло) <i>А.М. Шульпеков, Р.М. Габбасов</i>	1396
N1-P-051402	Basic models of phase formation at the mesolevel under reactive sintering of Ti-Al-Fe ₂ O ₃ powder mixture <i>М. Anisimova, А. Knyazeva</i>	1401

N1-P-052501	Thin nitrogen-containing titanium coatings formed on the PLLA scaffolds surface by reactive magnetron sputtering <i>P.V. Maryin, Tuan-Hoang Tran, S.I. Tverdokhlebov</i>	1406
N1-P-910903	Синтез однофазных силицидов ниобия NbSi ₂ и Nb ₅ Si ₃ <i>В.Г. Саламатов, О.К. Лепакова, О.А. Шкода, А.С. Щукин, И.Д. Ковалев</i>	1412
N1-P-925901	Влияние условий механохимического синтеза на получение наноразмерного порошка магнетита <i>А.А. Невмывака (А.А. Магаева), В.И. Итин</i>	1417
N2-O-023201	Экспериментальное исследование получения многослойных композиционных материалов в условиях СВС <i>О.К. Камынина, С.Г. Вадченко, И.Д. Ковалев, Д.В. Прохоров</i>	1423
N2-O-024303	Математическое моделирование нестационарного горения безгазовых систем с конвективным течением расплава <i>О.В. Лапшин, В.Г. Прокофьев,</i>	1429
N2-P-024304	Тепловой взрыв в порошковой смеси 3Ni+Al, предварительно активированной в низкоэнергонапряженной мельнице <i>О.В. Лапшин, Е.Н. Боянгин</i>	1435
N3-O-007702	Formation of residual stresses in the surface layers of corrosion-resistant steel samples after irradiation with high-current pulsed electron beams <i>О.А. Bytsenko, I.G. Steshenko</i>	1440
N3-O-020301	Ti-Mg surface alloys synthesized by Magnetron Sputtering deposition and LEHCEB technique <i>Chiara Leto, Andrea Lucchini Huspek, Antonello Vincenzo, Silvia Franz, Massimiliano Bestetti</i>	1445
N3-O-042501	Composite material of the Ti-Ta-Zr system intended to work in boiling sulfuric and hydrochloric acids <i>V.V. Samoylenko, M.G. Golkovski, I.S. Ivanchik, I.K. Chakin, I.A. Polyakov</i>	1451
N4-O-009501	Спектроскопическое исследование примесно-дефектного состава алмазных образцов <i>А.Г. Бураченко, В.С. Рипенко, Д.А. Переседова, А.А. Крылов, Е.И. Липатов, Н.В. Рябова</i>	1461
N4-O-011102	Температурная зависимость края фундаментального поглощения: экситоны или тепловое расширение? <i>В. Рипенко, С. Дзядух, А. Попова, Д. Григорьев, Е. Липатов</i>	1467
N4-O-011202	Superluminescence of NV centers in diamond pumped by the second harmonic of a Nd:YAG laser <i>D.E. Genin, V.P. Mironov, E.N. Tel'minov, M.A. Shulepov</i>	1474
N4-O-011801	Calculation of the one-dimensional photonic crystals based on diamond <i>V.V. Chashchin, E.I. Lipatov</i>	1480
N4-O-037802	Properties of ultrananocrystalline diamond grown under different deposition conditions <i>A. Gaydaychuk, S. Linnik, A. Mitulinsky, S. Zenkin</i>	1484

N4-O-909501	Температурное тушение катодолюминесценции примесно-дефектных центров в алмазе в диапазоне температур 300–800 К <i>А.Г. Бураченко, Д.А. Переседова, А.А. Крылов, В.С. Рипенко, Е.И. Липатов, К.П. Артёмов</i>	1494
N4-P-014802	Электролюминесценция в алмазе <i>З.И. Бородулин, М.А. Шуленов</i>	1499
N4-P-022002	NV ⁻ center emulation in an external magnetic field <i>A.V. Kozorez, E.I. Lipatov</i>	1503
N4-P-052901	Dark current behaviour analysis for avalanche photodiodes <i>R.M.H. Douhan, A.P. Kokhanenko, K.A. Lozovoy</i>	1508
N4-P-911101	Синтез поликристаллических алмазных пленок методом газохимического осаждения из плазмы СВЧ-разряда <i>В. Рипенко, Е. Балзовский, С. Смирнов, С. Линник, Е. Липатов</i>	1511
N4-P-955301	Biodegradable polymer/graphene oxide composite for in vivo use <i>E.G. Abyzova, E.M. Dogadina, E.N. Bolbasov, E.V. Plotnikov, S.I. Tverdokhlebov, R.D. Rodriguez, E. Sheremet</i>	1516

Scientific Edition

**Труды 8-го Международного конгресса
«Потоки энергии и радиационные эффекты»
(EFRE-2022)**

Typesetting *V. Shklyayev*

**Registered in TPU Publishing House
Available at the TPU corporate portal in full accordance
with the quality of the given make up page**



PUBLISHING HOUSE
TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY

Наноструктурирование поверхности монокристалла КТР с помощью бомбардировки кластерными ионами

И.В. Николаев, Н.Г. Коробейщиков*

Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

**i.nikolaev@nsu.ru*

Аннотация. Рассмотрено формирование самоупорядоченных периодических наноструктур на поверхности титанил-фосфата калия (КТР) при бомбардировки кластерными ионами аргона. Проведено сравнение результатов бомбардировки кластерными ионами аргона с различной энергией, приходящейся на 1 атом кластера $E/N_{mean} = 12.5$ и 110 эВ/атом. Продемонстрировано изменение рельефа поверхности с помощью атомно-силовой микроскопии (АСМ). Для определения периода наноструктур использовалась функция спектральной плотности мощности (power spectral density, PSD). Выявлены особенности бомбардировки поверхности монокристалла КТР при нормальном и наклонном падениях кластерных ионов.

Ключевые слова: наноструктурирование, кластерный ион, титанил-фосфат калия, поверхность.

1. Введение

Титанил-фосфат калия (KTiOPO_4 , КТР) является нелинейно-оптическим монокристаллом и широко применяется в параметрических генераторах видимого и инфракрасного диапазонов излучения, в лазерных системах большой мощности, оптических волноводах в интегральной оптике и электрооптических модуляторах с высокой эффективностью преобразования частоты и др. [1, 2].

Известно, что пучок мономерных ионов может формировать периодические наноструктуры на поверхности различных материалов [3–5]. Такие структуры на различных поверхностях вызывают интерес для широкого практического использования [6]. Благодаря своим особенностям, газофазные ионно-кластерные пучки эффективно применяются для высокоэффективного сглаживания поверхности, но они могут быть эффективны также для формирования периодических наноструктур при энергии, приходящейся на один атом в кластере, единицы–десятки электрон-вольт [7–11]. Следует отметить, что кластерные ионы меньше повреждают приповерхностный слой после обработки, так как имеют меньшую глубину воздействия и могут иметь меньшую энергию, приходящуюся на один атом, по сравнению с мономерными ионами [8–11]. В данной работе сравнивается эффективность формирования наноструктур газофазными кластерами с низкой и высокой энергией атома в кластере.

2. Материалы и методы

В качестве мишеней использовались монокристаллы КТР, предварительно обработанные химико-механической полировкой (Рис.1). Для изучения рельефа поверхности монокристаллов до и после бомбардировки кластерными ионами аргона использовался атомно-силовой микроскоп (АСМ) NTEGRA Prima HD. Размер областей сканирования составлял 1 мкм × 1 мкм с разрешением 512×512 пикселей.

Принципиальное описание экспериментального оборудования приведено в [11]. Для определения параметров пучка кластерных ионов использовалась времяпролетная диагностика [12]. Бомбардировку поверхности монокристаллов КТР проводили кластерными ионами аргона с различной энергией, приходящаяся на один атом в кластере, – $E/N_{mean} = 12.5$ и 110 эВ/атом. Бомбардировку поверхности мишеней проводили при различных углах падения кластерных ионов: 0°, 45°, 60°, 70°. Максимальная доза облучения составила $3.7 \cdot 10^{15}$ ион/см².

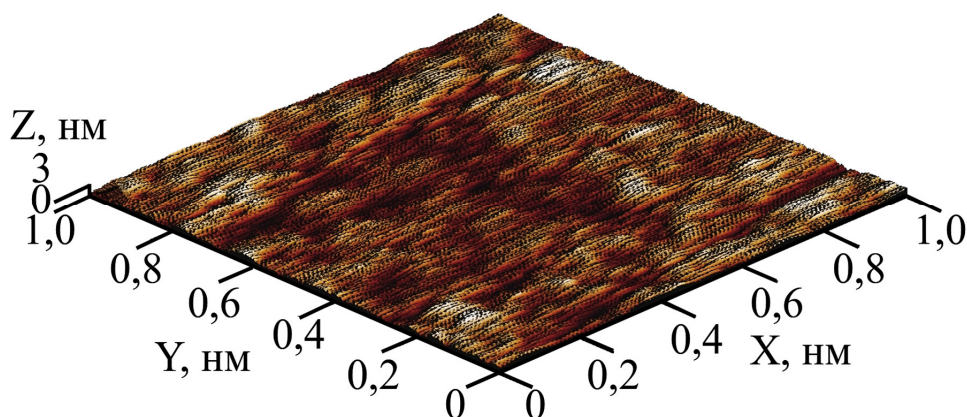


Рис.1. АСМ-изображения исходной поверхности монокристалла КТР.

3. Результаты и обсуждение

На Рис.2 и Рис.3 представлены 3D АСМ-изображения поверхности КТР после бомбардировки кластерными ионами аргона. Высота рельефа поверхности отсчитывается от самой низкой точки области сканирования ($Z = 0$ нм). Видно, что рельеф поверхности и формирование наноструктур значительно зависят от удельной энергии кластера E/N_{mean} .

На Рис.2 и Рис.3 видно, что при бомбардировке низкоэнергетическими кластерными ионами аргона (12,5 эВ/атом) максимальная высота рельефа в зависимости от наклонного угла падения в 3–7 раз выше, чем при высокоэнергетических кластерных ионах (110 эВ/атом). Также видно, что высокоэнергетическая бомбардировка не приводит к формированию наноструктур (Рис.3).

Для определения периода наноструктур использовалась функция спектральной плотности мощности (power spectral density, PSD-функция). PSD-функция шероховатости представляет собой быстрое Фурье-преобразование набора данных высот на поверхности [13, 14]. Данная функция позволяет учитывать латеральный размер неровностей и оценивать период неровностей с одинаковой высотой [11, 13–15]. В нашем случае, пик PSD-функции характеризует период самоупорядоченных наноструктур. Стоит отметить, что интеграл PSD-функции шероховатости представляет собой эффективный параметр шероховатости σ_{eff} , учитывающий латеральный размер неровностей на поверхности.

Как видно на Рис.4, после бомбардировки в обоих режимах при нормальном падении кластерных ионов аргона PSD-функции лежат ниже исходных PSD-функции, что характеризует сглаживание поверхности монокристаллов КТР. При наклонном падении кластеров, PSD-функции значительно отличаются для разных удельных энергий кластера. В отличие от высокоэнергетического режима (Рис.4б), низкоэнергетические кластерные ионы (Рис.4а) приводят к формированию наноструктур с периодом $\approx 167, 200, 250\text{--}300$ нм при углах падения кластеров $45^\circ, 60^\circ, 70^\circ$, соответственно. Наиболее ярко выраженным является пик PSD-функции при 60° – это означает, что при данном угле наноструктуры являются наиболее упорядоченными с наименьшим разбросом по периоду.

В Таблице 1 приведены данные параметры шероховатости монокристалла КТР. Как видно из таблицы, при низкоэнергетическом режиме максимальная высота рельефа поверхности R_t возрастает в 17 раз при 60° , который является наиболее эффективным для формирования наноструктур (Рис.4а). Стоит отметить, что среднеквадратичная R_q и эффективная σ_{eff} шероховатости близки, но различаются при наклонном падении кластеров, что объясняется тем, что σ_{eff} учитывает латеральный размер неровностей, что вносит дополнительный вклад в величину шероховатости поверхности.

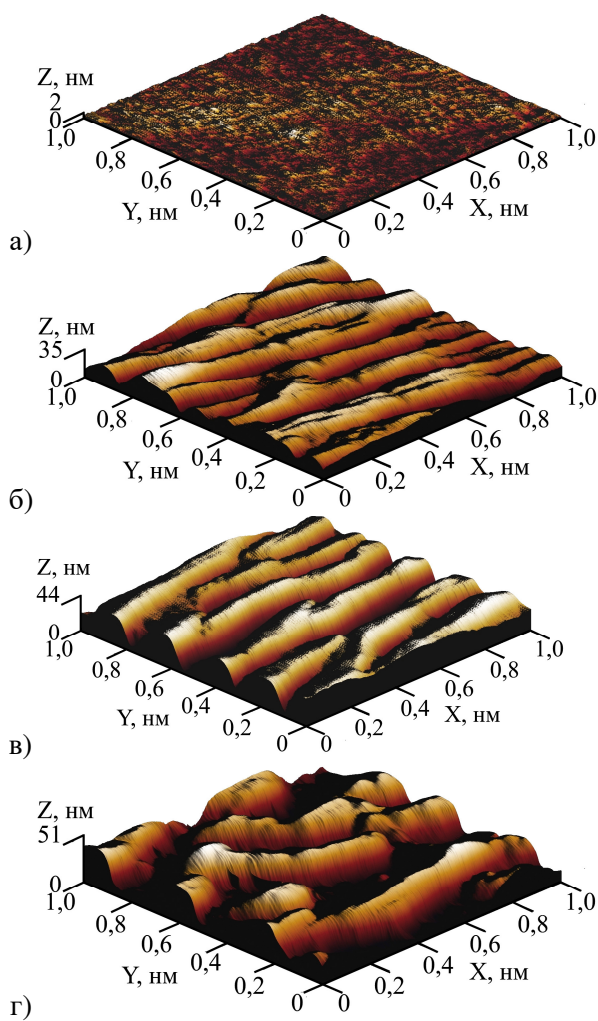


Рис.2. АСМ-изображения поверхности монокристалла КТР после бомбардировки при $E/N_{mean} = 12.5$ эВ/атом и при угле падения кластерных ионов: а) 0° , б) 45° , в) 60° , г) 70° .

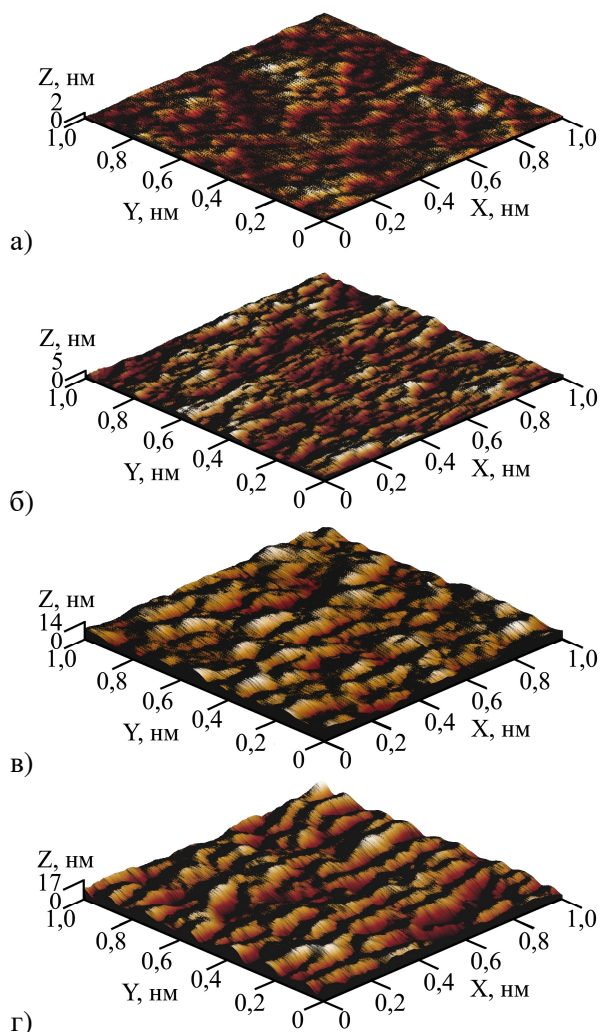


Рис.3. АСМ-изображения поверхности монокристалла КТР после бомбардировки при $E/N_{mean} = 110$ эВ/атом и при угле падения кластерных ионов: а) 0° , б) 45° , в) 60° , г) 70° .

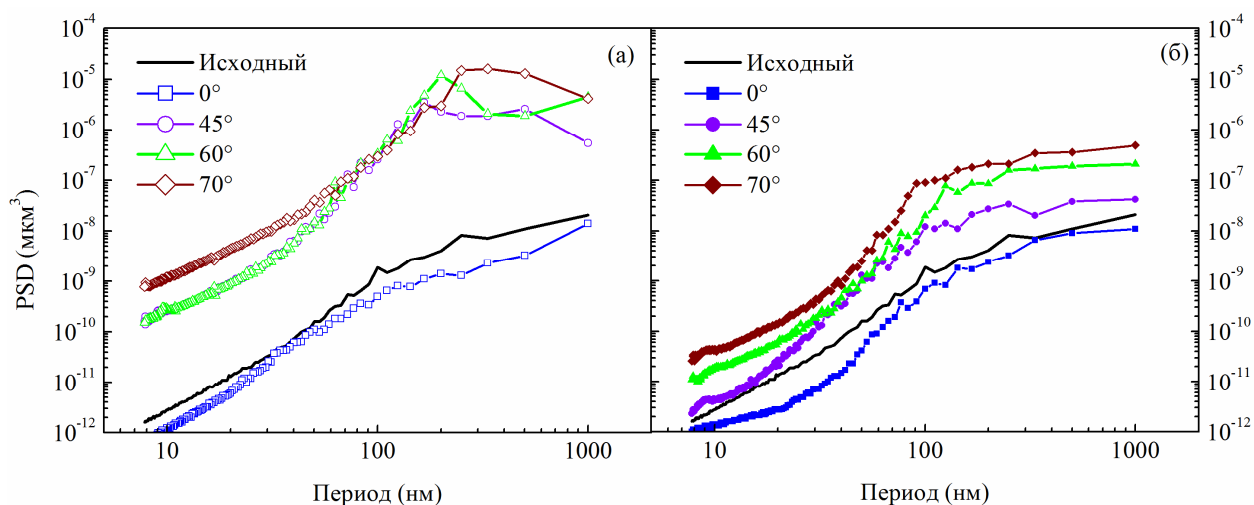


Рис.4. PSD-функции поверхности КТР до и после бомбардировки кластерными ионами аргона при E/N_{mean} : а) 12.5, (б) 110 эВ/атом.

Таблица 1. Параметры шероховатости поверхности монокристалла КТР

Угол падения кластеров	12 эВ/атом			110 эВ/атом		
	R_t , нм	R_q , нм	σ_{eff} , нм	R_t , нм	R_q , нм	σ_{eff} , нм
Исходный	2.6	0.40	0.38	2.6	0.40	0.38
0°	2.0	0.25	0.23	2.2	0.30	0.30
45°	35	5.8	6.5	4.7	0.75	0.78
60°	44	8.5	9.2	14	1.5	1.7
70°	51	11.0	11.8	17	2.3	2.5

4. Заключение

Экспериментально изучено влияние принципиально различных режимов бомбардировки кластерными ионами аргона на формирование наноструктур на поверхности монокристаллов КТР. При нормальном падении низко- и высокоэнергетических кластерных ионов шероховатость поверхности уменьшается на 23% и 15%, соответственно. Бомбардировка высокоэнергетическими кластерными ионами ($E/N_{mean} = 110$ эВ/атом) не приводит к формированию упорядоченных наноструктур. Предполагается, что бомбардировка низкоэнергетическими кластерными ионами (12.5 эВ/атом) приводит к эффективному формированию самоупорядоченных периодических наноструктур, т.к. данной удельной энергии кластеров недостаточно для эффективного распыления мишени, но достаточно для значительного латерального смещения приповерхностных атомов мишени. Наиболее упорядоченные наноструктуры формируются при бомбардировке поверхности под углом 60° и имеют период ≈ 200 нм. Одним из приложений является формирование периодических наноструктур на подложках просветляющих покрытий для улучшения их качества.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (грант FSUS–2020–0039) в части пробоподготовки и анализа и Российского научного фонда (грант №21–19–00046) в части обработке образцов кластерными ионами. Экспериментальные результаты получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Прикладная физика» Новосибирского государственного университета.

5. Литература

- [1] Mamrashev A., Nikolaev N., Antsygin V., Andreev Y., Lanskii G., Meshalkin A., *Crystals*, **8**(9), 310, 2018; doi: 10.3390/cryst8080310
- [2] Sorokina N.I., Voronkova V.I., *Crystallogr. Rep.*, **52**, 80, 2007; doi: 10.1134/S1063774507010099
- [3] El-Atwani O., Ortoleva S., Cimaroli A., Allain J.P., *Nanoscale Res. Lett.*, **6**, 403, 2011; doi: 10.1186/1556-276X-6-403
- [4] Ziberi B., Frost F., Höche T., Rauschenbach B., *Vacuum*, **81**, 155, 2006; doi: 10.1016/j.vacuum.2006.03.018
- [5] Pohl K., Bartelt M.C., de la Figuera J., Bartelt N.C., Hrbek J., Hwang R.Q., *Nature*, **397**, 238, 1999; doi: 10.1038/16667
- [6] Barth J.V., Costantini G., Kern K., *Nature*, **437**, 671, 2005; doi: 10.1038/nature04166
- [7] Toyoda N., Mashita T., Yamada I., *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B*, **232**, 212, 2005; doi: 10.1016/j.nimb.2005.03.047
- [8] Toyoda N., Tilakaratne B., Saalem I., Chu W.-K., *Appl. Phys. Rev.*, **6**, 020901, 2019; doi: 10.1063/1.5030500

- [9] Zeng X., Pelenovich V., Xing B., Rakhimov R., Zuo W., Tolstogouzov A., Liu C., Fu D., Xiao X., Beilstein J., *Nanotech.*, **11**, 383, 2020; doi: 10.3762/bjnano.11.29
- [10] Ieshkin A., Kireev D., Ozerova K., Senatulin B., *Mater. Lett.*, **272**, 127829, 2020; doi: 10.1016/j.matlet.2020.127829
- [11] Korobeishchikov N.G., Nikolaev I.V., Roenko M.A., *Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. B*, **438**, 1, 2019; doi: 10.1016/j.nimb.2018.10.019
- [12] Korobeishchikov N.G., Kalyada V.V., Skovorodko P.A., Shmakov A.A., Khodakov M.D., Shulzhenko G.I., Voskoboynikov R.V., Zarvin A.E., *Vacuum*, **119**, 256, 2015; doi: 10.1016/j.vacuum.2015.05.039
- [13] Persson, B.N.J.; Albohr, O.; Tartaglino, U.; Volokitin, A.I.; Tosatti, E., *J. Phys. Condens. Matter.*, **17**, R1, 2004; doi: 10.1088/0953-8984/17/1/R01
- [14] Duparré A., Ferre-Borrull J., Gliech S., Notni G., Steinert J., Bennett J.M., *Appl. Opt.*, **41**, 154, 2002; doi: 10.1364/AO.41.000154
- [15] Martínez J.F.G., Nieto-Carvajal I., Abad J., Colchero J., *Nanoscale Res. Lett.*, **7**, 174, 2012; doi: 10.1186/1556-276X-7-174