

К ЗАСЕДАНИЮ РАБОЧЕЙ ГРУППЫ ПО ВЗАИМОДЕЙСТВИЮ УРТУ ФАНО, ПРАВИТЕЛЬСТВА СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ И УРО РАН.



Институт электрофизики УрО РАН,
Екатеринбург,
ул. Амундсена, 106

НОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.

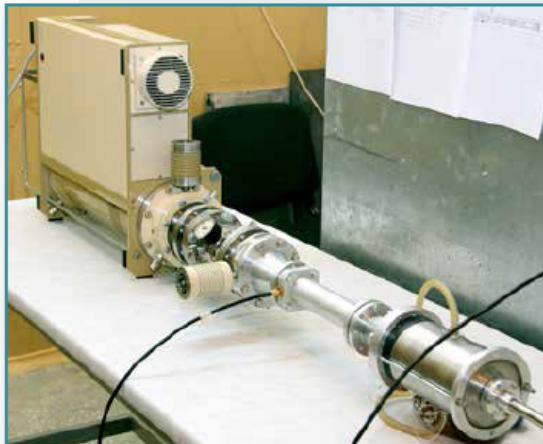


ИСТОЧНИКИ ПИКОСЕКУНДНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПОТОКОВ НА ОСНОВЕ ГАЗОВЫХ ДИОДОВ

PICOSECOND ELECTRON BEAM SOURCES BASED ON GAS DIODES

В зависимости от момента возникновения эмиссии убегających электронов (УЭ) на нарастающем фронте ускоряющего напряжения энергия частиц за анодом может составлять от десятков до сотен килоэлектрон-вольт. Типичная длительность импульсов ускоренных частиц с током до десятков ампер лежит в диапазоне вплоть до 40 пс при фронте нарастания 20–30 пс. Такие ультракороткие потоки заряженных частиц являются уникальным инструментом для инициирования разрядных процессов в газовых электродных промежутках и изучения пробоев с участием лавин УЭ. Представляют интерес исследование процессов возбуждения катодolumинесценции диэлектриков (в частности, минералов) и полупроводниковых лазерных мишеней. Короткие вспышки тормозного рентгеновского

или оптического излучений – важный инструмент для калибровочных измерений временного отклика сцинтилляторов и люминофоров.



Источник УЭ с энергией частиц ~ 500 keV на основе аппарата РАДАН-303

RE source with a particle energy of ~ 500 keV on the basis of RADAN-303

Depending on time of runaway electrons (RE) emission at the rapidly growing front of accelerating voltage the energy of the particles at the anode can range from tens to hundreds keV. Typical pulse duration of accelerated particles with the current of tens amperes is in the range of up to 40 ps with the rise times of 20–30 ps. Such flows of accelerated particles are a unique tool for initiating the gas discharge process between the electrodes and study of breakdowns involving RE avalanches. It is of interest the investigation of electronic excitation with ultra short pulses the cathodoluminescence of insulators (e.g., minerals) and semiconductor laser targets. A brief flash of x-ray or optical radiation is an important tool for the calibration measurements of time response of scintillates and phosphors.

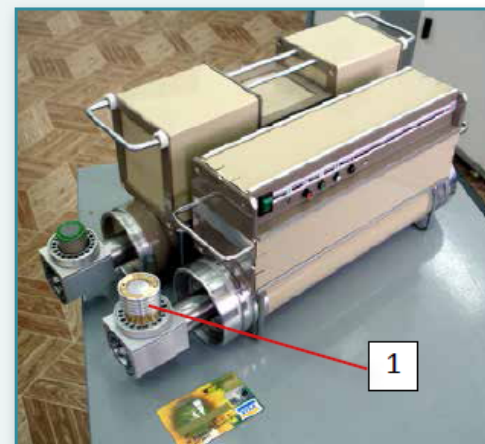
Ряд проведенных исследований непрерывного ускорения электронов в газовых промежутках с резко неоднородным полем привел к созданию устройств, специально формирующих пикосекундные потоки УЭ. Характерная длительность потока частиц может быть на уровне десятков пикосекунд. Максимальные энергии электронов в потоке соответствуют величинам, достигнутым при ускорении частиц в нестационарном электрическом поле, вблизи катода. Вариация усиления поля в прикатодной области позволяет управлять моментом эмиссии (т.е. энергией) убегающих электронов и стабилизировать его с точностью в единицы пикосекунд.

The studies of continuous acceleration mode of electrons in gas gaps with strongly nonuniform field have led to the creation of devices that generate RE picosecond streams. The typical duration of the flow can be in the tens of picoseconds. The maximum electron energy corresponds to the values of particles specified by accelerating voltage on the cathode. The variation of the gain field in the local area of the cathode allows to control the moment of RE emission (the energy) and to stabilize the flow with accuracy in units of picoseconds.

Патенты, авторские свидетельства, публикации

1. Generation of a Picosecond Runaway Electron Beam in a Gas Gap with a Nonuniform Field / G.A. Mesyats, M.I. Yalandin, K.A. Sharypov, V.G. Shpak, and S.A. Shunailov // IEEE Trans. Plasma Sci. – 2008. – Vol. 36, No. 5, Part 3. – P. 2497–2504.
2. An experimental setup for exciting semiconductors and dielectrics with picosecond electron-beam and electric-field pulses / A. S. Nasibov, K. V. Bereznoi, P. V. Shapkin, A. G. Reutova, S. A. Shunailov, M. I. Yalandin // Instrum. Exp. Tech. – 2009. – Vol. 52, Iss. 1. – P. 65–73.
3. Laboratory demonstration of runaway electron breakdown of air / A.V. Gurevich, G.A. Mesyats, K.P. Zybin, A.G. Reutova, V.G. Shpak, S.A. Shunailov, M.I. Yalandin // Phys. Lett. A. – 2011. – Vol. 375, Iss. 30–31. – P. 2845–2849.
4. On the observed energy of runaway electron beams in air / G.A. Mesyats, A.G. Reutova, K.A. Sharypov, V.G. Shpak, S.A. Shunailov and M.I. Yalandin // Laser and Particle Beams. – 2011. – Vol. 29, Iss. 4. – P. 425–435.
5. Picosecond runaway electron beams in air / G.A. Mesyats, M.I. Yalandin, A.G. Reutova, K.A. Sharypov, V.G. Shpak, S.A. Shunailov // Plasma Phys. Rep. – 2012. – Vol. 38, N 1. – P. 29–45.
6. Observation of the Avalanche of Runaway Electrons in Air in a Strong Electric Field / A.V. Gurevich, G.A. Mesyats, K.P. Zybin, M.I. Yalandin, A.G. Reutova, V.G. Shpak, and S.A. Shunailov // Phys. Rev. Lett. – 2012. – Vol. 109. – P. 085002.
7. Control and Stabilization of Runaway Electron Emission at the Delay Stage of Pulsed Breakdown in an Overvolted Atmospheric Gap / G.A. Mesyats, A.G. Sadykova, S.A. Shunailov, V.G. Shpak, and M.I. Yalandin // IEEE Trans. Plasma Sci. – 2013. – Vol. 41, N 10. – P. 2863–2870.

Аппарат РАДАН-ЭКСПЕРТ с газовым диодом (1) – источником УЭ с энергией частиц ~150 keV
RADAN-EXPERT with gas diode (1) – RE source with a particle energy of ~150 keV



МНОГОКАНАЛЬНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ СИНФАЗНЫХ МИКРОВОЛНОВЫХ ИМПУЛЬСОВ

MULTI-CHANNEL IN-PHASE MICROWAVE GENERATORS

Было обнаружено, что пикосекундная стабильность взрывной электронной эмиссии катода и соответствующая привязка инициирующего электромагнитного сигнала к фронту сильноточного пучка фиксируют фазу электронного СВЧ автогенератора, что является достаточным условием для управления фазировкой многоканального генератора. Испытаны синфазные двух- и четырёхканальные системы, составленные из субнаносекундных релятивистских ламп обратной волны (ЛОВ) диапазона 38 GHz, работавших в режиме сверхизлучения. Когерентное суммирование полей генераторов привело к квадратичному увеличению плотности потока мощности в максимуме диаграммы направленности, а суммирование мощности излучения ЛОВ на сдвинутых частотах делает реальным сверхбыстрое сканирование диаграммы направленности излучения.

It was found that picosecond stability of explosive electron emission and accurate time reference of initiating electromagnetic signal to the front of high-current beam provides phase fixation of electronic microwave oscillator what is sufficient to control the phasing of a multichannel generator. In-phase two - and four-channel systems of subnanosecond relativistic backwave oscillators (BWO) 38 GHz band operated in superradiance mode have been tested experimentally. Electric fields coherent summation of the generators leads to a quadratic increase of the power flux density in an interference maximum of the radiation pattern. The summation of the radiation power quasi-stationary wave beams of nanosecond BWO for shifted frequencies is promising for the realization of ultra-fast scanning of the beam within a single pulse.

Испытания показали, что плотность потока мощности микроволн в интерференционном максимуме диаграмм направленности двух- и четырёхканальных сверхизлучательных ЛОВ мощностью 600 МВт оказалась эквивалентной единичным генераторам с мощностью ~ 3 GW и ~ 10 GW, соответственно. На расстоянии 1 метр максимум плотности мощности 4-элементной антенной решетки превышал величину 10 МВт/см², а электрическое поле в этой точке составляло ~ 140 кВ/см. Для наносекундных ЛОВ получена продолжительная (более 100 периодов поля), воспроизводимость синхронизации фаз генерации.

The power flux density of microwaves in an interference maximum of the directional diagrams of two - and four-channel BWO was equivalent to a single generator with a power of ~ 3 GW and ~ 10 GW, respectively. At a distance of 1 m from the 4-antennae array, the maximum microwave power flux density was as high as 10 MW/cm², and the electrical field strength attained here was ~ 140 kV/cm. For nanosecond BWO it is obtained long-term (more than a hundred field periods) phase synchronization which is reproduced from pulse to pulse.

Патенты, авторские свидетельства, публикации

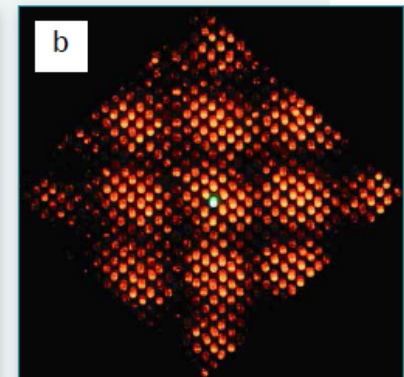
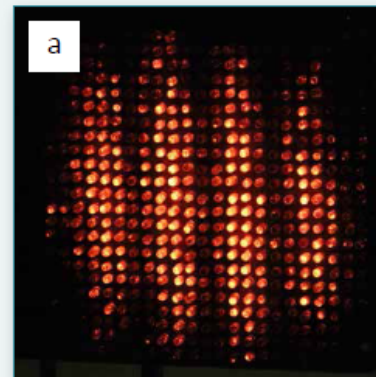
1. Synphase Operation of Nanosecond Relativistic 37-GHz Backward-Wave Oscillators without Electrodynamic Coupling / M.I. Yalandin, S.A. Shunailov, M.R. Ul'maskulov, K.A. Sharypov, V.G. Shpak, V.V. Rostov, I.V. Romanchenko, A.A. El'chaninov, and A.I. Klimov // *Tech. Phys. Lett.* – 2012. – Vol. 38, Iss. 10. – P. 917–920.
2. Coherent Summation of Ka-Band Microwave Beams Produced by Sub-Gigawatt Superradiance Backward Wave Oscillators / K.A. Sharypov, A.A. El'chaninov, G.A. Mesyats, M.S. Pedos, I.V. Romancheko, V.V. Rostov, S.N. Rukin, V.G. Shpak, S.A. Shunailov, M.R. Ul'maskulov, and M.I. Yalandin // *Appl. Phys. Lett.* – 2013. – Vol. 103, Iss. 13. – P. 134103(1–4).
3. Generation of electromagnetic fields of extremely high intensity by coherent summation of Cherenkov superradiance pulses / N.S. Ginzburg, A.W. Cross, A.A. Golovanov, G.A. Mesyats, M.S. Pedos, A.D. R. Phelps, I.V. Romanchenko, V.V. Rostov, S.N. Rukin, K.A. Sharypov, V.G. Shpak, S.A. Shunailov, M.R. Ulmaskulov, M.I. Yalandin, and I.V. Zotova // *Phys. Rev. Lett.* – 2015. – Vol. 115, Iss. 11. – P. 114802 (1–5).

(a) Интерференция противофазных линейно-поляризованных волновых пучков от двух каналов

(b) Интерференция синфазных линейно-поляризованных волновых пучков от четырёх каналов

(a) The antiphase interference of linearly polarized wave beams from two channels

(b) The antiphase interference of linearly polarized wave beams from two channels



SOS-ДИОДЫ: МОЩНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРЕРЫВАТЕЛИ ТОКА

SOS DIODES: HIGH-POWER SEMICONDUCTOR OPENING SWITCHES

Наносекундные полупроводниковые прерыватели тока высокой плотности (SOS-диоды) являются разработкой, полностью осуществленной в ИЭФ УрО РАН. Эти приборы, предназначенные для формирования импульсов высокого напряжения, возникающих при обрыве тока в индуктивном накопителе энергии, обладают высокой надежностью, стабильностью и способны работать при высоких частотах следования импульсов. Их параметры: амплитуда напряжения – до 200 кВ, обрываемый ток – до 10 кА, время обрыва тока – 1–20 нс, длительность импульса напряжения – до 100 нс, время восстановления – менее 1 мкс. Последовательное и параллельное соединение SOS-диодов в общую сборку позволяет создавать прерыватели тока мегавольтного уровня напряжения с переключаемой мощностью более 1 ГВт и частотой следования импульсов в единицы 1 кГц.

Nanosecond semiconductor opening switches with high current density (SOS diodes) present a development realized totally by Electrophysics Institute UB RAS. The devices are intended to produce high-voltage pulses by means of a current cutoff in inductive energy storages, they are very robust and stable, and are able to operate at high pulse repetition frequency. The devices have the following parameters: voltage pulse amplitude – up to 200 kV, cutoff current – up to 10 kA, current cutoff time – 1 to 20 ns, voltage pulse duration – up to 100 ns, and recovery time of less than 1 μ s. Series and parallel connection of the SOS diodes into a common unit makes it possible to develop opening switches having a megavolt operating voltage and a gigawatt switching power in combination with a pulse repetition frequency of over 1 kHz.

Патенты, авторские свидетельства, публикации

1. SOS-диоды: наносекундные прерыватели сверхплотных токов / С.А. Дарзнец, С.К. Любутин, С.Н. Рукин, Б.Г. Словиковский, С.Н. Цыранов // Электротехника. – 1999. – № 4. – С. 20–28.
2. Полупроводниковый прерыватель тока: пат. 2156014 Рос. Федерация: МПК H 01 L 29/86 / Дарзнец С.А., Любутин С.К., Рукин С.Н., Словиковский Б.Г., Цыранов С.Н.; заявитель и патентообладатель Институт электрофизики УрО РАН. – № 99102050/28; заявл. 04.02.99; опубл. 10.09.00, Бюл. № 25.
3. Рукин С.Н. SOS-эффект и его применение в мощной наносекундной электронике / С.Н. Рукин // Электрофизика на Урале: четверть века исследований. – Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – С. 19–64.

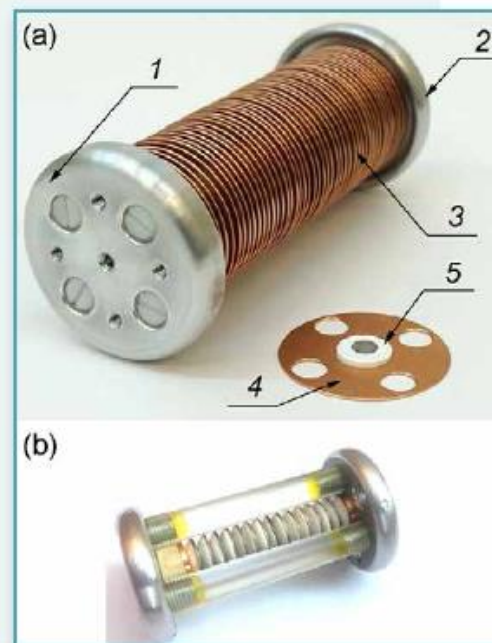
Год разработки 2000–2015

Работа приборов основана на обнаруженном в ИЭФ УрО РАН эффекте в полупроводниковых структурах, принципиальное отличие которого состоит в том, что развитие процесса обрыва тока происходит в высоколегированных областях структуры при высокой плотности тока, достигающей десятков kA/cm^2 . Этот эффект был назван SOS-эффектом. Помимо этого, его характерной особенностью является равномерное распределение напряжения по большому числу последовательных диодных структур без дополнительных выравнивающих устройств. Оба обстоятельства дают возможность создавать наносекундные прерыватели тока с напряжением мегавольтного уровня и переключаемой мощностью в единицы гигаватт. Генераторы на SOS-диодах используются в ускорителях электронов и рентгеновских аппаратах, мощной СВЧ электронике, газовых лазерах, в системах очистки воды и воздуха.

Operation of the devices is based on the new effect in semiconductors discovered by Electrophysics Institute UB RAS. Its principal difference is that a current-cutoff process develops in highly doped regions of a semiconductor structure at a high current density reaching several tens of kA/cm^2 . This effect was named as SOS effect. Another important feature of the effect is a uniform voltage distribution over a large number of series-connected diodes without using any additional elements. These two properties of the SOS effect allow creating nanosecond opening switches having a megavolt operating voltage and a gigawatt range of pulsed power. SOS based generators are used in electron accelerators and X-ray apparatus, high-power microwave electronics, gas lasers, and devices for water and air purification.

(a) Прибор SOS-200-8 (импульсное напряжение – 200 кВ, обрываемый ток – 8 кА, диаметр – 64 мм, длина – 156 мм, масса – 760 г): 1 – катодный электрод; 2 – анодный электрод; 3 – сборка из последовательно соединенных диодов и охладителей; 4 – охладитель; 5 – элементарный SOS-диод и
(b) прибор SOS-50-1 (импульсное напряжение – 50 кВ, обрываемый ток – 1 кА, диаметр – 27 мм, длина – 50 мм, масса – 30 г)

(a) External appearance of SOS-200-8 stack (peak voltage – 200 kV, cutoff current – 8 kA, diameter – 64 mm, length – 156 mm, mass – 760 g): 1 – cathode electrode; 2 – anode electrode; 3 – stack of the series connected diodes and coolers; 4 – cooler; 5 – elementary SOS diode and
(b) SOS-50-1 stack (peak voltage – 50 kV, cutoff current – 1 kA, diameter – 27 mm, length – 50 mm, mass – 30 g)



НАНОСЕКУНДНЫЙ ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР S-500 NANOSECOND ALL SOLID-STATE GENERATOR S-500

Очевидным преимуществом полностью твердотельных генераторов является возможность стабильной работы с высокой частотой следования импульсов, их не критичность к нагрузкам и практически неограниченный ресурс. Наносекундный твердотельный генератор S-500 с полупроводниковым прерывателем тока (SOS) обеспечивает на нагрузках 40–100 Ом амплитуду импульса напряжения от 500 до 750 кВ с пиковой мощностью 6 ГВт при длительности импульса 7 нс и частоте следования импульсов в режиме пачки до 1 кГц. В данном случае реализованы рекордные значения для полупроводникового прерывателя скорости обрыва тока и разрывной мощности, составляющие 7 кА/нс и 13 ГВт, соответственно.

The main advantage of all-solid-state generators consists in their stable operation at high pulse repetition rate, adapting to different loads, and practically unlimited lifetime. Nanosecond all solid-state generator S-500 based on semiconductor opening switch (SOS) provides peak power of up to 6 GW, output voltage of 500–750 kV, pulse length of 7 ns across external loads of 40 to 100 Ω at pulse repetition frequency of up to 1 kHz in burst operation mode. In this development record values of the current cutoff rate of 7 kA/ns and braking power of 13 GW have been realized for semiconductor opening switches.

Патенты, авторские свидетельства, публикации

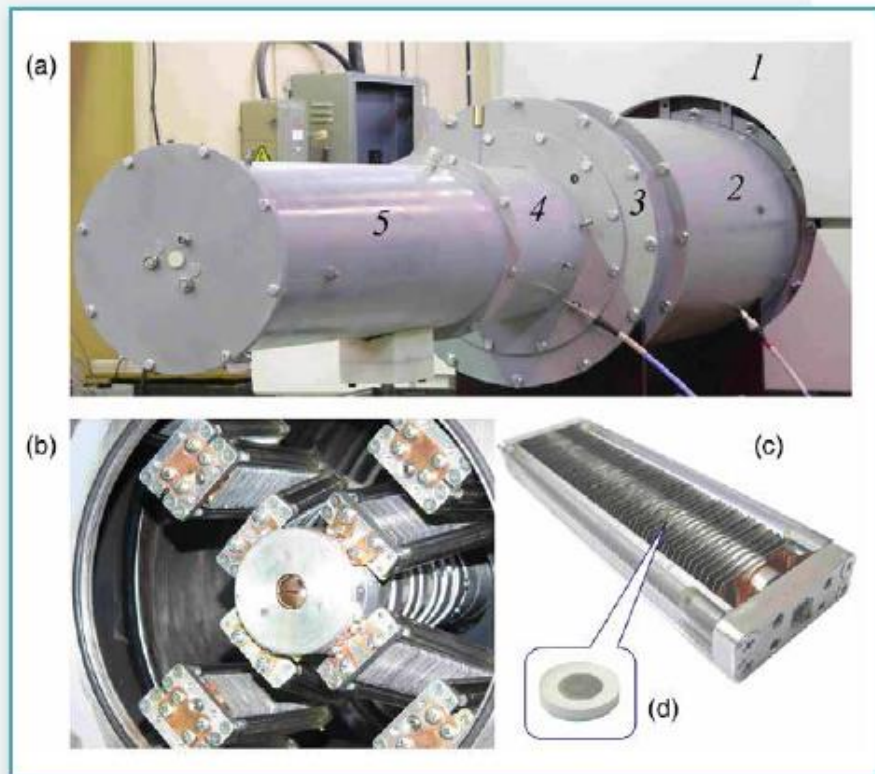
A 6 GW nanosecond solid-state generator based on semiconductor opening switch / A.I. Gusev, M.S. Pedos, S.N. Rukin, S.P. Timoshenkov, and S.N. Tsyranov // Review of Scientific Instruments. – 2015. – Vol. 86, Iss. 11. – P. 114706.

В генераторе предложена и реализована новая схема накачки SOS на основе двойной формирующей линии. Такая схема обеспечивает ввод в SOS обратного тока амплитудой 14 кА за время ~ 12 нс, затем SOS обрывает ток за ~ 2 нс. Фронт выходного импульса напряжения в передающей линии дополнительно укорачивается ферритовым обострителем до ~ 1 нс, затем полупроводниковым обострителем до ~ 0.5 нс. Генератор разработан для применения в области мощной СВЧ электроники.

A new SOS pumping circuit based on a double forming line has been proposed and realized in the generator. Such pumping circuit provides a reverse current increasing through the SOS up to 14 kA within ~ 12 ns. Then the SOS cuts off the current in ~ 2 ns. The output pulse rise time in the transmission line is shortened additionally by a ferrite sharpener to the value of ~ 1 ns, and then by a semiconductor sharpener to ~ 0.5 ns. The generator has been developed for application in the field of high-power microwave electronics.

(a) Внешний вид выходного узла генератора S-500:
1 – зарядный модулятор; 2 – корпус двойной формирующей линии;
3 – блок прерывателя тока (SOS);
4 – передающая линия с ферритовым обострителем; 5 – передающая линия и нагрузка;
(b) внешний вид узла SOS,
(c) SOS-диод,
(d) элементарный SOS-диод внутри сборки

(a) External appearance of the output unit of the S-500 generator:
1 – charging modulator; 2 – casing of the double forming line; 3 – SOS unit;
4 – transmission line equipped with ferrite sharpener; 5 – transmission line and load;
(b) external appearance of the SOS unit,
(c) SOS stack, and
(d) elementary SOS diode in the stack



МОЩНЫЙ ИОННЫЙ ИСТОЧНИК С БОЛЬШИМ СЕЧЕНИЕМ ПУЧКА THE HIGH-POWER ION SOURCE WITH A LARGE BEAM CROSS-SECTION



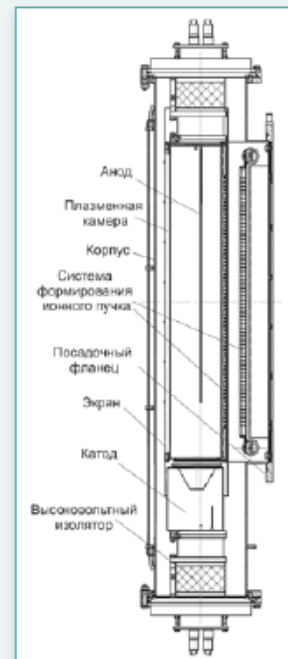
Надежность и большой ресурс технологических ионных источников с большим сечением пучка, разработанных в ИЭФ УрО РАН, обусловлены отсутствием в их конструкции накаливаемого катода. Равномерное распределение плотности тока по сечению пучка позволяет использовать такие источники для модификации листовых материалов с большой площадью поверхности, длинномерных деталей, больших серий малоразмерного инструмента и изделий ионной имплантацией и нанесением покрытий с ионно-лучевым сопровождением.

High performance reliability and long service life of technological sources of gaseous ion beams with a large cross-section developed in IEP UB RAS are caused by the absence of the heated cathode in their design. Uniform distribution of ion current density at the beam cross-section allows the use of such ion sources for surface modification of sheet materials with a large surface area, lengthy details, the series of low-sized tools and products by ion implantation and coating deposition with ion beam assistance.

Патенты, авторские свидетельства, публикации

1. Ионный источник с холодным катодом: пат. 2299489 Рос. Федерация : МПК H 01 J 27/04 / Гаврилов Н.В., Каменецких А.С.; заявитель и патентообладатель Институт электрофизики УрО РАН. – № 2005131021/28; заявл. 06.10.05; опубл. 20.05.07, Бюл. № 14.
2. Источник широкоапертурных ионных пучков: пат. 2370848 Рос. Федерация : МПК H 01 J 27/04 / Гаврилов Н.В., Буреин О.А., Емлин Д.Р.; заявитель и патентообладатель Институт электрофизики УрО РАН. – № 2008111665/28; заявл. 26.03.08; опубл. 20.10.09, Бюл. № 29.
3. Гаврилов Н.В. Расширение рабочего диапазона давлений газа и увеличение ресурса сетки плазменного катода в ионном источнике / Н.В. Гаврилов, А.С. Каменецких // ЖТФ. – 2007. – Т. 77, Вып. 3. – С. 12–16.

Общий вид (вверху) и схема ионного источника
Ion source image (atop) and general drawing



ТЕХНОЛОГИИ



МЕТОД НАНЕСЕНИЯ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ С ИНТЕНСИВНЫМ ИОННЫМ СОПРОВОЖДЕНИЕМ

THE NANOCOMPOSITE COATINGS DEPOSITION WITH HIGH-CURRENT ION ASSISTANCE

Использование электронных источников на основе сильноточного разряда с само-накаливаемым полым катодом позволяет в широких пределах регулировать параметры пучковой плазмы и плотность ионного тока из плазмы и таким образом изменять условия формирования покрытий. Интенсивная бомбардировка ионами низких (менее 100 эВ) энергий, при которой соотношение плотности тока ионов к потоку атомов на поверхность покрытий может достигать 30, существенно изменяет микроструктуру, уровень внутренних напряжений, фазовый состав покрытий и, как следствие, их функциональные свойства.

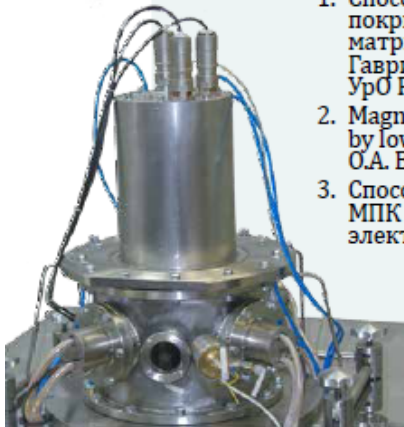
Use of electron beam sources on the basis of high-current discharge with the self-heating hollow cathode allows to control the beam plasma parameters and the density of the ion current from plasma over a wide range and thus to change conditions of coating deposition. The intense ion bombardment of coating's surface by low-energy (less than 100 eV) ions under conditions of high value of ion current density to a flux of sputtered atoms ratio (up to 30) have a great effect upon a microscopic structure, level of internal stresses, phase composition of coatings and their functional properties.

Патенты, авторские свидетельства, публикации

1. Способ получения на изделиях из твердых сплавов двухфазного нанокompозитного покрытия, состоящего из нанокластеров карбида титана, распределенных в аморфной матрице: пат. № 2557934 Рос. Федерация : МПК C23C14/35, C23C14/06, B82B1/00 / Гаврилов Н.В., Каменецких А.С.; заявитель и патентообладатель Институт электрофизики УрО РАН. – № 2013132711/02; заявл. 15.07.2013; опубл. 27.07.2015, Бюл. № 21.
2. Magnetron sputtering system for coatings deposition with activation of working gas mixture by low-energy high-current electron beam / N.V. Gavrilov, A.S. Kamenetskikh, A.I. Men'shakov, O.A. Bureyev // Journal of Physics: Conference Series. – 2015. – Vol. 652. – P. 012024.
3. Способ генерации плотной объемной импульсной плазмы: заявка 2406015 Рос. Федерация : МПК H05H 1/24 / Гаврилов Н.В., Каменецких А.С., Меньшаков А.И.; заявитель Институт электрофизики УрО РАН. – №2016109161; заявл. 14.03.2016; приоритет 31.12.15.

Установка для нанесения покрытий методом магнетронного распыления с интенсивным ионным сопровождением, разработанная по договору с АО «Институт реакторных материалов» (г. Заречный)

The setup for coatings deposition by magnetron sputtering with high-current ion assistance, developed under the agreement with joint stock company "Institute of Nuclear Materials" (Russia, Zarechny)



Год разработки 2015

Разработан метод, в котором интенсивность ионного сопровождения при нанесении покрытий регулируется за счёт воздействия на газовую среду широкого пучка низкоэнергетических электронов. Принципиальная особенность метода заключается в том, что интенсивность ионного сопровождения процесса нанесения покрытий регулируется в широких пределах с помощью источника электронов с самонакаливаемым полым катодом. Источник генерирует пучок электронов с энергией 100–500 эВ, током до 80 А в непрерывном и до 200 А в импульсном (10–1000 Гц, 10–1000 мкс) режиме. Это обеспечивает эффективную ионизацию и диссоциацию молекулярных газов и высокую плотность ионного тока (10 и 60 мА/см² в непрерывном и импульсном режимах, соответственно). Разработанным методом получены покрытия различного функционального назначения, например, стойкие к высокотемпературному окислению проводящие (Mn, Co)₃O₄ покрытия на токовых коллекторах твердотопливных элементов, нанокompозитные TiC/a-C:H и (Ti, Al)N/a-Si₃N₄ покрытия с твёрдостью до 43 ГПа, алмазоподобные покрытия с долей sp³-связей до 70 %.

Организации-заказчики

1. Акционерное общество «Институт реакторных материалов» (АО «ИРМ», г. Заречный). Установка для нанесения покрытий методом магнетронного распыления
2. ITAC Ltd (Япония). Устройство для нанесения алмазоподобных покрытий
3. Argor-Aljba (Швейцария). Устройство для нанесения алмазоподобных покрытий

Партия
твердосплавных
режущих пластин
с нанокompозитным
(Ti, Al)N/a-Si₃N₄
покрытием

The series of
cutting plates with
the nanocomposite
(Ti, Al)N/a-Si₃N₄
coating



The method of the ion assistance for the process of coating deposition is developed in which the ion current density to the coating surface is controlled by low-energy electron beam impact upon a gas media. The basic feature of the method is the use of high-current electron beam source with the self-heating hollow cathode to change the intensity of ion bombardment in the wide range. The source generates electron beam with the energy of 100–500 eV, beam current up to 80 A in direct current mode and up to 200 A in pulse-repetitive (10–1000 Hz, 10–1000 μs) mode. Electron beam provides effective ionization and dissociation of the molecular gases and high density of the ion current (10 and 60 мА/см² in the dc and pulse modes, accordingly). Coatings of a various functionality, for example, high-temperature oxidation resistant (Mn, Co)₃O₄ conductive coatings for interconnects of solid-oxide fuel cells, nanocomposite TiC/a-C:H and (Ti, Al)N/a-Si₃N₄ coatings with a hardness of up to 43 GPa, diamond-like coatings with high percentage of sp³-bonds (up to 70 %) were deposited by this methode.

РЕНТГЕНОВСКИЕ ИСТОЧНИКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ. ИМПУЛЬСНЫЕ НАНОСЕКУНДНЫЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ С ИНДУКТИВНЫМ НАКОПИТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ ПРЕРЫВАТЕЛЕМ ТОКА

X-RAY SOURCES AND APPLICATIONS. NANOSECOND PULSED X-RAY GENERATOR WITH INDUCTIVE ENERGY STORAGE AND SEMICONDUCTOR OPENING SWITCH

Импульсные рентгеновские аппараты различного типа в настоящее время все шире применяются в медицинской диагностике, дефектоскопии, досмотровых системах. Преимуществом комплексов, созданных на основе наносекундных импульсных генераторов, малогабаритных отпаянных рентгеновских трубок с холодным катодом и устройств визуализации, использующих рентгенолюминофоры, является значительное, в 10–20 раз снижение необходимой дозы облучения в сравнении с аналогичными комплексами на основе источников непрерывного рентгеновского излучения.

Универсальный рентгеновский аппарат

Universal X-ray apparatus



Nowadays pulsed X-ray apparatuses are widely used in medicine, non-destructive testing and security systems. The X-ray sources based on pulsed nanosecond voltage generator, compact sealed X-ray tube with the cold cathode and detector with intensifying screens have great advantage over competitors. Such systems decrease necessary dose by 10–20 times comparing with similar complexes based on continuous X-ray radiation.



Ясень-01 медицинский рентгеновский аппарат

Yasen-01 medical X-ray apparatus

Патенты, авторские свидетельства, публикации

1. Снижение дозовой нагрузки на пациента при проведении диагностики с помощью цифровых импульсных наносекундных рентгеновских комплексов / В.А. Бессонова, П.В. Гаврилов, С.Р. Корженевский, А.С. Чепусов, А.А. Комарский // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2016. – № 2. – С. 53–57.
2. Применение импульсных частотных наносекундных рентгеновских аппаратов для диагностики / С.Н. Баянкин, И.Э. Можарова, С.Р. Корженевский, В.Л. Кузнецов, А.А. Комарский // Вестник рентгенологии и радиологии. – 2015. – № 2. – С. 42–46.
3. Reducing Radiation Dose by Using Pulse X-Ray Apparatus / A.A. Komarskiy, A.S. Chepusov, V.L. Kuznetsov, S.R. Korzhenevskiy, S.P. Niculin, S.O. Cholakh // Journal of Biosciences and Medicines. – 2014. – Vol. 2, No. 2. – P. 17–21.
4. Острофокусная двухэлектродная импульсная рентгеновская трубка: пат. 2174726 Рос. Федерация: МПК Н 01 J 35/00, Н 05 G 1/02 / Филатов А.Л., Корженевский С.Р., Щербинин С.В., Боракова М.Г., Голубев В.А.; заявители и патентообладатели Институт электрофизики УрО РАН и Комбинат «Электрохимприбор». – № 2000122229/09; заявл. 22.08.00; опубл. 10.10.01, Бюл. № 28. – 6 с.

Год разработки 2000–2016

В лаборатории импульсных источников излучений разработана серия отпаянных взрывоэмиссионных рентгеновских трубок и компактных высоковольтных наносекундных импульсных генераторов с полностью твердотельной системой коммутации с выходным напряжением от 65 до 350 кВ, работающих в килогерцовом диапазоне частот. Такое решение значительно повысило срок службы и стабильность работы устройств для различного применения.

The laboratory of pulsed radiation sources developed the series of compact nanosecond high voltage pulses generators and sealed X-ray tubes with explosive emission cathode. This X-ray system comprises solid switches and yields 65–350 kV pulses with the repetition rate of kilohertz order. Such solution significantly increases stability and life time of the devices for various applications.



Рентгеновская импульсная трубка
X-ray tube

Сравнение импульсного наносекундного аппарата с аппаратами постоянного тока, проведенные в «Санкт-Петербургском НИИ фтизиопульмонологии»

Название аппарата, краткая характеристика	Область исследования	Эквивалентная доза (мЗв)	Относительная доза
Ясень-01 (мобильный, импульсного излучения), 4 кВт, 45 кг	Легкие (передняя проекция)	0,027	1
Definium AMX 700 (мобильный, непрерывного излучения), 12,5 кВт, 468 кг	Легкие (передняя проекция)	0,569	21,1
Evolution HV (стационарный, непрерывного излучения), 100 кВт, более 1000 кг	Легкие (передняя проекция)	0,721	26,7

Хирургический рентгеновский аппарат
Surgical X-ray apparatus



Предприятия–соисполнители

- ООО «Субмикроволновая диагностическая аппаратура»
- ФГУП «Комбинат «Электротехимприбор»

Рентгеновский снимок грудной клетки
A radiograph the thorax



РАЗРАБОТКА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА ВЫСОКОПРОЗРАЧНЫХ КЕРАМИК

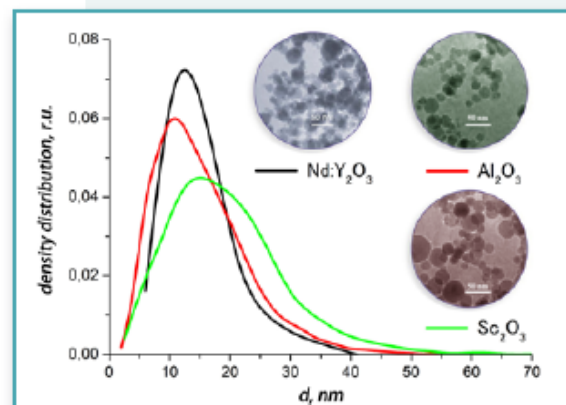
DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF TECHNOLOGIES FOR SYNTHESIS OF HIGHLY TRANSPARENT CERAMICS

Синтез высокопрозрачных керамик является приоритетным направлением в области создания твердотельных лазеров, при изготовлении колб для ламп высокого давления, прозрачной брони, магнитооптики, механо- и жаропрочных окон, линз широкоугольных объективов и т.д. Перед монокристаллическими матрицами оптические керамики обладают явными

преимуществами: большие размеры, низкая себестоимость, время изготовления и энергоёмкость процесса, а также возможность синтеза композитных материалов и обеспечения более высокой концентрации активных центров.

Фотографии наночастиц, синтезированных методом лазерной абляции, и их функции распределения по размерам

The size distribution of nanopowders. The inset shows the photo nanoparticles after sedimentation



Synthesis of highly transparent ceramics is a preferred direction in the field of creating solid-state lasers, in preparation of envelopes for high-pressure lamps, transparent armor, magneto-optics, mechanical and heat resistant windows, wide angle lens etc. Compared with single crystalline matrices, optical ceramics possess obvious advantages such as larger sizes, lower cost, fabrication time and energy consumption of the process, and also feasibility for the composite materials and maintenance of higher active centers concentration.

Патенты, авторские свидетельства, публикации

1. Composite Nd:YAG/Cr⁴⁺:YAG transparent ceramics for thin disk lasers / V.V. Osipov, V.A. Shitov, V.I. Solomonov, K.E. Lukyashin, A.V. Spirina, R.N. Maksimov // Ceramics International. – 2015. – Vol. 41. – P. 13277–13280.
2. Ho:YAG transparent ceramics based on nanopowders produced by laser ablation method: Fabrication, optical properties, and laser performance / S.N. Bagayev, V.V. Osipov, S.M. Vatnik, V.A. Shitov, I.A. Vedin, V.V. Platonov, I.Sh. Steinberg, R.N. Maksimov // Optical Materials. – 2015. – Vol. 50. – P. 47–51.
3. Laser synthesis of nanopowders / V.V. Osipov, Yu.A. Kotov, M.G. Ivanov, O.M. Samatov, V.V. Lisenkov, V.V. Platonov, A.M. Murzakaev, A.I. Medvedev, E.I. Azarkevich // Laser Physics. – 2006. – Vol. 16, №1. – P. 116–125.

Год разработки 2008–2015

Развиваемую в ИЭФ УрО РАН технологию можно разделить на три этапа: получение нанопорошков, компактирование и спекание компактов. Нанопорошки производятся путём абляции (испарения) мишеней излучением лазера с последующей конденсацией паров в потоке несущего газа. Для приготовления мишеней грубые порошки смешиваются в нужной пропорции и предварительно спекаются до уровня прочности, достаточной для предотвращения разрушения под действием лазерного излучения. После седиментации, прокаливания, смешивания и сушки порошки прессуются с использованием различных методов до уровня $\sim 50\%$ от рентгеновской плотности. Компакты спекаются в вакуумной печи при температурах 1700–2050 °С в течение 10–20 часов. После прокаливания, шлифовки и полировки образцы приобретают законченный вид и имеют плотность и прозрачность, близкие к теоретическим значениям.

Организации-соисполнители

Лазерная генерация на синтезированных в ИЭФ УрО РАН образцах керамики получена в совместных работах с:

- Институт лазерной физики СО РАН (ИЛФ СО РАН), г. Новосибирск, в образце Ho:YAG с $\eta = 40\%$ и в Yb:Lu_{2x}Y_{2-2x}O₃ с $\eta = 29\%$;
- Институт прикладной физики РАН (ИПФ РАН), г. Нижний Новгород, в образце Yb:YAG с $\eta = 37\%$;
- Национальный институт оптики, г. Флоренция, в образце Nd:YAG с $\eta = 52.7\%$.

Исследование сцинтилляционных характеристик Ce:YAG керамик проводится совместно с Уральским федеральным университетом (УрФУ), г. Екатеринбург.

Фотография полученных керамик

The photos of fabricated samples



The developed in IEP UrB RAS technology can be divided into three stages: production of nanopowders, compaction and sintering of compacts. Nanopowders are produced using ablation (evaporation) of targets by a laser with an eventual condensation of vapor in air flow. For preparation of targets, the coarse powders are mixed in a required stoichiometry and then pre-sintered to a level of strength sufficient to avoid the destruction under the influence of laser oscillation.

After sedimentation, annealing, mixing and drying the powders are pressed using different methods to the level of 50% roentgen density. Compacts are sintered in a vacuum furnace at the temperatures of 1700–2050 °C for 10–20 h. After annealing, grinding and polishing the samples acquire a completed appearance and exhibit the density and transmittance close to the theoretical values.

МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНАЯ СВАРКА ФЕРРИТНО-МАРТЕНСИТНЫХ И ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННЫХ СТАЛЕЙ

MAGNETIC PULSE WELDING OF FERRITIC-MARTENSITIC AND OXIDE DISPERSION-STRENGTHENED STEELS

Ферритно-мартенситные и дисперсно-упрочненные оксидом иттрия стали – перспективные материалы для оболочек ТВЭЛ ядерных реакторов – не свариваются жидкофазными методами (дуговая, лазерная сварка) без дополнительной термообработки. Перспективным способом является сварка высокоскоростным ударом. Наряду с известной сваркой взрывом для соединения актуальной является магнитно-импульсная технология, применяемая для сварки алюминиевых, медных сплавов и мягких сталей.

Ferritic-martensitic (FM) and oxide-dispersion strengthened (ODS) steels, being the promising materials for nuclear reactors cladding, are not welded by liquid-phase methods (arc, laser welding) without additional heat treatment. A promising joining method is the welding by high-velocity impact. Along with the well-known explosion welding the pulsed magnetic technology used for aluminum, copper alloys and mild steels welding is actual.

Патенты, авторские свидетельства, публикации

1. Магнитно-импульсная сварка трубы с торцевой заглушкой из хромистой коррозионно-стойкой стали / В.И. Крутиков, С.Н. Паранин, Д.С. Колеух, В.В. Иванов, А.В. Спиринов, J.-G. Lee, M.-K. Lee, C.-K. Rhee // Изв. ВУЗов. Физика. – 2014. – Т. 57, № 11/3. – С. 264–268.
2. End-closure joining of ferritic-martensitic and oxide-dispersion strengthened steel cladding tubes by magnetic pulse welding / Jung-Gu Lee, Jin-Ju Park, Min-Ku Lee, Chang-Kyu Rhee, Tae-Kyu Kim, Alexey Spirin, Vasilii Krutikov, Sergey Pararin // Metal. Mater. Trans. A. – 2015. – Vol. 46, Iss. 7. – P. 3132–3139.

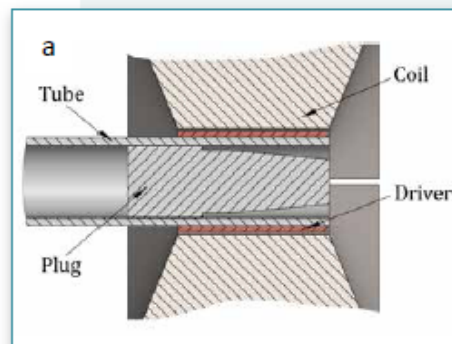


Схема магнитно-импульсной сварки (а) и фотография деталей: стальной трубы, соленоида, медного лайнера и заглушки (б)

Magnetic pulse welding scheme (a); view of the parts: steel tube, coil, copper driver and plug (b)

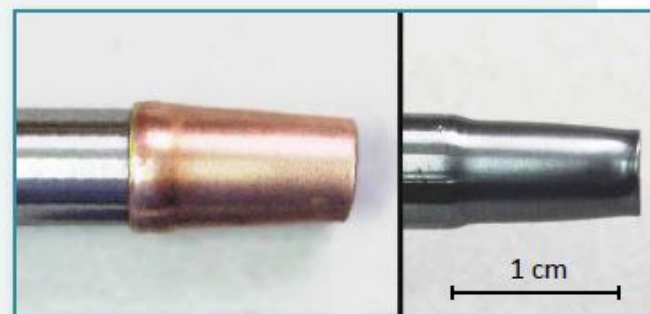
Год разработки 2014–2015

Магнитно-импульсным способом получены сварные соединения труба-заглушка для сталей, относящихся к ограниченно свариваемым. Оптимальная скорость соударения свариваемых поверхностей составила 300 м/с, скорость движения фронта контакта 3–3,5 км/с. При этом сохраняется однородная структура стали вблизи сварного шва с участками полного слияния двух металлов. Утечка гелия через шов менее 10^{-9} мбар \times л/с, механическая прочность соединения превышает прочность трубы.

End closure welds of FM and ODS steel tubes have been obtained by magnetic pulsed method. Optimum impact velocity of welded surfaces was 300 m/s, the velocity of contact point motion was 3–3.5 km/s. A uniform structure of steel in the vicinity of the weld seam and the areas of complete interpenetration of the two metals take place. Helium leak rate through the joint is less than 10^{-9} mbar \times l/s, the mechanical strength of the joint exceeds the strength of the tube.

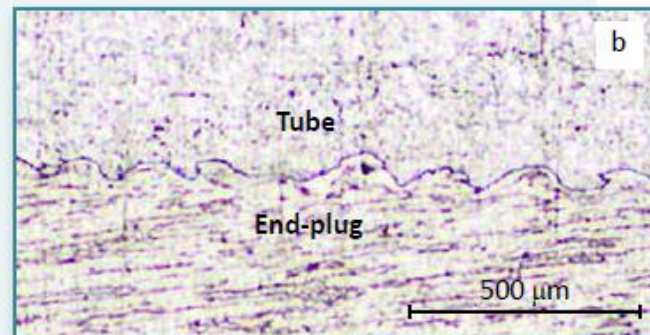
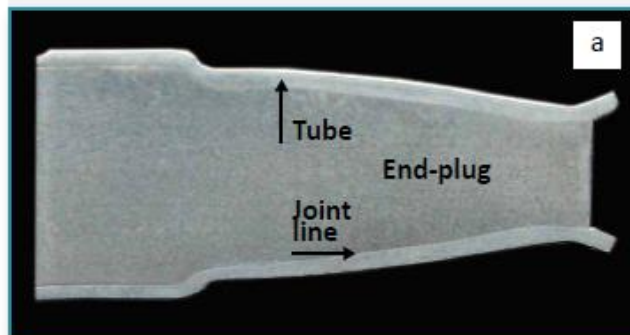
Внешний вид сварного соединения стальной трубы с заглушкой; слева образец с медной оболочкой, справа – после её удаления

View of the welded tube and plug with and without the copper driver



Продольное сечение образца до травления (a) и микрофотография граничной области соединения (b) трубы с заглушкой (хромистая коррозионно-стойкая сталь)

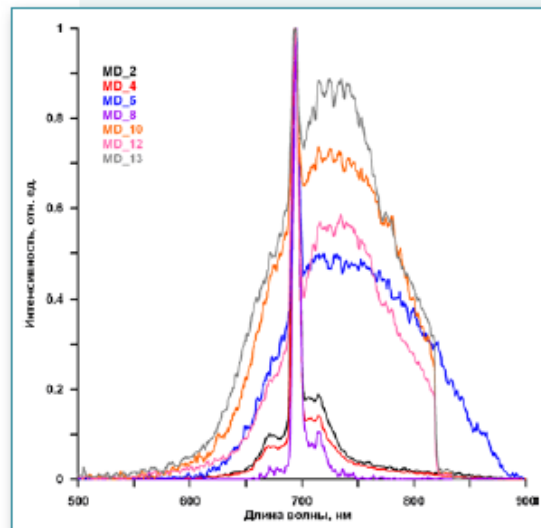
Welded sample longitudinal section (a) and bonding interface micro image (b): the tube and plug of chromium corrosion-resistant steel



НЕРАЗРУШАЮЩИЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДРАГОЦЕННЫХ КАМНЕЙ

THE NON-DESTRUCTIVE STATISTICAL METHOD OF A DEPOSIT IDENTIFICATION OF PRECIOUS STONES

Проблема незаконного оборота рубинов и сапфиров, обуславливает необходимость создания быстрых неразрушающих методов для определения их места добычи. Разработанным в ИЭФ методом импульсной катодолюминесценции были исследованы благородные корунды из восьми мировых месторождений. Показано, что спектры всех образцов корундов имеют особенности, характерные для каждого региона. На этой основе предложен и апробирован статистический люминесцентный метод определения региона происхождения камней.



Патенты, авторские свидетельства, публикации

1. Способ идентификации минералов и идентификатор минералов (его варианты) : пат. 2057322 Рос. Федерация : МПК G01N21/66 / Михайлов С.Г., Осипов В.В., Соломонов В.И.; заявитель и патентообладатель Институт электрофизики УрО РАН. - № 5032531/25; заявл. 31.01.92; опубл. 27.03.96.
2. Импульсный катодолюминесцентный спектрограф : пат. 119114 Рос. Федерация : МПК G01N 21/66 / Соломонов В.И., Осипов В.В., Спирина А.В., Шпак В.Г., Яландин М.И., Шунайлов С.А., Ульмаскулов М.Р., Ведерников Г.Е., Королева Т.Г., Михайлов С.Г., Липчак А.И.; заявитель и патентообладатель Институт электрофизики УрО РАН. - №2011127347; заявл.04.07.11; опубл. 10.08.12, Бюл. № 22.

Рис. 1. Спектры ИКЛ благородных корундов Мадагаскара: MD_2, MD_4, MD_8 – рубины, остальные сапфиры

Figure 1. The PCL spectra of the precious Madagascar corundums: MD_2, MD_4, MD_8 – rubies, other – sapphires



Д. ф.-м. н. В.В. Овчинников (V.V. Ovchinnikov, Dr. Sci.)
viae05@rambler.ru, vladimir@iep.uran.ru, +7 (343) 2-678-774

ИОННАЯ ИМПЛАНТАЦИЯ – ТЕХНОЛОГИЯ НЕТЕРМИЧЕСКОГО ОТЖИГА

ION IMPLANTATION IS NONTHERMAL ANNEALING TECHNOLOGY

Обнаружено явление ускоренного холодного радиационного отжига метастабильных сред при каскадообразующем ионном облучении, обусловленное распространением послекаскадных ударных волн. На этой основе разработаны методы модификации свойств субмиллиметровых и миллиметровых приповерхностных слоев материалов тяжелыми ($M > 10$ а.е.м.) ускоренными ионами с энергиями 5–100 кэВ, проективные пробеги которых в веществе не превышают нескольких десятков нанометров. Исследования с помощью эффекта Мессбауэра, рентгеновской дифракции, атомной силовой, электронной и полевой ионной микроскопии, а также резистометрические *in situ* и магнитные измерения показали, что улучшение механических и магнитных свойств в результате ионно-лучевой обработки связано с модификацией структурно-фазового состояния, а также атомной и магнитной доменной структуры сплавов.

The phenomenon of the accelerated cold radiation annealing of metastable media has been revealed under cascade-forming ion irradiation, which is caused by post-cascade shock waves propagating. On this basis, methods are developed for modifying the properties of the submillimeter and millimeter surface layers of materials with heavy ($M > 10$ amu) accelerated ions with energies of 5–100 keV, the projected ranges of which in the material do not exceed just a few tens of nanometers. Mössbauer, X-ray diffraction, atomic force, electron and field ion microscopy studies and also resistometric *in situ* and magnetic measurements have shown that changes of mechanical and magnetic properties as a result of ion-beam treatment is due to structural-and-phase state, as well as atomic and magnetic domain structure of alloys modification.

Патенты, авторские свидетельства, публикации

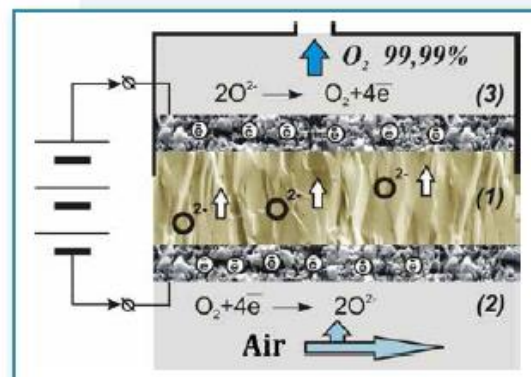
1. Способ термомагнитной обработки магнитомягких материалов: пат. 2321644 Рос. Федерация : МПК C21D 1/04 / Губернаторов В.В., Драгошанский Ю.Н., Ивченко В.А., Овчинников В.В., Сычева Т.С.; заявитель и патентообладатель Институт физики металлов УрО РАН – № 2006128319/02; заявл. 03.08.06; опубл. 10.04.08, Бюл. № 10.
2. Способ получения листового проката из алюминиевых сплавов: пат. 2363755 Рос. Федерация : МПК C22F1/04, C22F3/00 / Овчинников В.В., Гаврилов Н.В., Гущина Н.В., Школьников А.Р., Можаровский С.М., Филиппов А.В.; заявитель и патентообладатель ОАО «Каменск-Уральский Metallургический Завод» – № 2006143709/02; заявл. 08.12. 06; опубл. 10.08. 09, Бюл. № 22.
3. Овчинников В.В. Радиационно-динамические эффекты. Возможности формирования уникальных структурных состояний и свойств конденсированных сред // Успехи физических наук. – 2008. – Т. 178, № 9. – С. 991–1001.

КИСЛОРОДНЫЙ НАСОС НА ТВЕРДООКСИДНОМ ЭЛЕКТРОЛИТЕ SOLID OXIDE ELECTROLYTE BASED OXYGEN PUMP

Кислородные насосы с твердооксидным электролитом характеризуются высокой чистотой и стерильностью получаемого кислорода, бесшумностью и надежностью работы. Принцип их работы основан на механизме проводимости электролита переносом ионов кислорода, что гарантирует практически эталонную чистоту получаемого кислорода. Удельные энергозатраты при этом меньше, чем у дистилляционных или адсорбционных колонок для сепарации атмосферного воздуха.

Принцип действия кислородного насоса с твердым электролитом. 1 – электролит, 2 – катод, 3 – анод

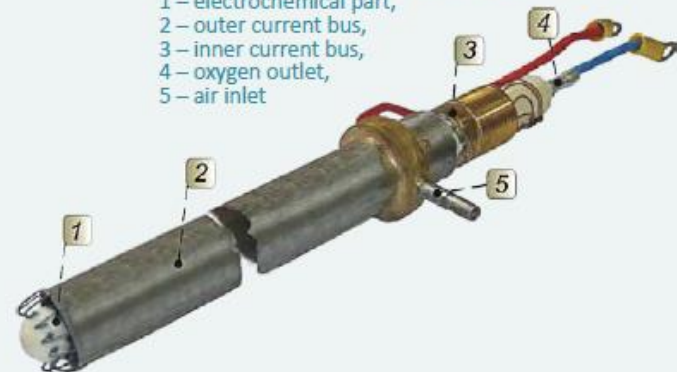
Oxygen pump operating principle:
1 – electrolyte, 2 – cathode; 3 – anode



Oxygen pumps with solid oxide electrolyte are characterized by high purity and sterility of the output oxygen, quiet operation and reliability. Their operation principle is based on the electrolyte conductivity mechanism by oxygen ions transfer, which ensures almost reference purity of the output oxygen. Moreover their specific power consumption is less comparing to that of distillation or adsorptive columns for the air separation.

Батарея кислородного насоса с токо- и газоподводами: 1 – электрохимическая часть, 2 – внешняя токовая шина, 3 – внутренняя токовая шина, 4 – выход кислорода, 5 – воздушный вход

Oxygen pump stack with gas and current supply:
1 – electrochemical part,
2 – outer current bus,
3 – inner current bus,
4 – oxygen outlet,
5 – air inlet



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

