

620016, г. Екатеринбург
ул. Амундсена, 106
Тел.: +7(343) 267-87-96
Факс: +7(343) 267-87-94
E-mail: admin@iep.uran.ru

WWW.IEP.URAN.RU

Research & Development
Institute Of Electrophysics
Ural Branch
Russian Academy of Sciences

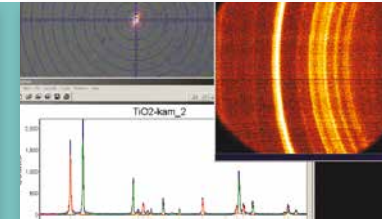
НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ

**ИНСТИТУТ
ЭЛЕКТРОФИЗИКИ**

Уральское отделение
Российская академия наук



СОДЕРЖАНИЕ CONTENT



Источники пикосекундных
электронных потоков на основе
газовых диодов 8

Picosecond electron beam
sources based on gas diodes

Многоканальные генераторы
синфазных микроволновых импульсов 10

Multichannel in-phase
microwave oscillators

SOS-диоды: мощные
полупроводниковые
прерыватели тока 12

SOS diodes: high-power semiconductor
opening switches

Наносекундный твердотельный
генератор S-500 14

S-500 nanosecond all-solid-state
generator

Мощный ионный источник
с большим сечением пучка 16

High-power source
of large-cross-section ion
beams

Метод нанесения нанокompозитных
покрытий с интенсивным ионным
сопровождением 18

High-current ion beam
assisted deposition
of nanocomposite coatings

Сильноточный свч генератор
с продольно-щелевой замедляющей
структурой 20

High-current microwave
oscillator with a longitudinal
slot slow-wave structure

Сильноточный высоковольтный
газовый разрядник на основе
автоволнового релаксационного
процесса 22

High-current high-voltage
gas gap switch based on autowave
relaxation process

Наносекундные импульсно-
периодические ускорители
электронов серии УРТ 24

URT repetitive nanosecond
electron accelerators

Импульсные рентгеновские
источники и их применение 26

Pulsed X-ray sources and applications

Ртутная дуговая лампа низкого
давления в кожухе с отражающей
внутренней поверхностью – источник
равновесного излучения 28

A low-pressure mercury arc lamp
placed in a casing with reflective inner
surface as a source of thermal radiation

Неразрушающий статистический
метод идентификации месторождения
драгоценных камней 30

Non-destructive statistical method for
identification of precious stone deposits

Ионная имплантация – технология
нетермического отжига 32

Ion implantation: nonthermal
annealing technology

Разработка и совершенствование
технологии синтеза высокопрозрачных
керамик 34

Development and improvement
of technologies for synthesis of highly
transparent ceramics

Синтез гибридных наночастиц
методом электрического взрыва
проволоки 36

Synthesis of hybrid nanoparticles
by the electrical explosion
of wires

Магнитно-импульсная сварка
ферритно-мартенситных
и дисперсно-упрочненных
сталей 38

Magnetic pulse welding of
ferritic-martensitic and oxide
dispersion-strengthened steels

Кислородный насос на
твёрдооксидном электролите 40

Solid oxide electrolyte based
oxygen pump

Трёхмерные фотонные решетки,
синтезированные методом
интерференционной литографии 42

Three-dimensional photonic lattices
synthesized by interference
lithography

Стиль Института заключается в том, «... Чтобы, серьезно занимаясь фундаментальной наукой, глубоко проникая в суть явлений, доводить свои научные разработки до какого-то конечного продукта, до практического результата ...

... У нас в Институте создана прекрасная творческая атмосфера, мы поддерживаем добрые дружеские отношения. Они товарищеские, но достаточно принципиальные. Это совершенно необходимо, когда люди делают вместе одно общее дело ...

... Те исследования, которые мы проводим, имеют прекрасные перспективы. Они найдут широчайшее применение в медицине, в минералогии, в экологии, в промышленности. У нашего Института прекрасное будущее. С этим я поздравляю всех своих коллег! ...»



Г.А. Месяц, академик
Научный руководитель
Директор (1986–2004 гг.)

G.A. Mesyats, Academician
Chief Science Officer
Director (1986–2004)

Institute's Style implies, being «... seriously engaged in fundamental science and penetrating deeply into the essence of phenomena, to bring research and development to a final product, to a practical result ...

... There is a wonderful creative atmosphere at the Institute; we enjoy good friendships. The relations are friendly, but quite consistent. This is absolutely necessary when people make common cause ...

... The studies that we carry out have excellent prospects. Their results will find wide application in medicine, mineralogy, environmental science, and industry. Our Institute has a brilliant future. With that, I congratulate all my colleagues! ...»

Состав Института:

В настоящее время в Институте работает 219 человек. Из них научных сотрудников 104 человека. Научные кадры включают 3 академика, 6 членов-корреспондентов, 17 докторов наук, 35 кандидатов наук.

Основные направления научной деятельности Института:

1. Методы генерации мощных потоков корпускулярного и электромагнитного излучения
2. Физика высоких плотностей энергии
3. Проблемы импульсной энергетики
4. Лазерная физика
5. Нелинейная оптика
6. Фазовые переходы и электродинамические процессы в конденсированных средах

Institute's staff:

Currently, 219 employees, including 104 researchers, work at the Institute. Scientific personnel include 3 academicians, 6 corresponding members, 17 doctors of science, and 35 candidates of science.

Key research areas:

1. Generation of high-power particle and electromagnetic radiation flows
2. High energy density physics
3. Pulse power
4. Laser physics
5. Nonlinear optics
6. Phase transitions and electrodynamical phenomena in condensed media



С.А. Чайковский
Директор

S.A. Chaikovskiy
Director

В сборнике собраны разработки Института электрофизики, представляющие интерес для дальнейшего их продвижения в технологические и производственные процессы. Созданные нами приборы, использующие сильные электрические и магнитные поля, мощные электронные и ионные пучки, чрезвычайно короткие импульсные процессы, в первую очередь являются уникальными инструментами для фундаментальных научных исследований. В то же время, накопленный годами опыт научной работы, технических достижений и кооперации с другими организациями позволяет предлагать внедрение наших разработок в высокотехнологические отрасли промышленности, сельское хозяйство и медицину.

Превалирующая часть разработок является результатом многолетних фундаментальных исследований. В таких работах скрупулезно изучались свойства каждого процесса, выявлялся смысл и назначение каждого эффекта, каждой детали, даже самой мелкой. Истинно восхищает вдохновенность ученых, сотрудников Института электрофизики, своей кропотливой работой, яркими идеями, уникальными разработками достойно несущих лучшие традиции отечественной Науки.

В логической цепочке «идея – разработка – продукт» первоочередную роль играет работа научных сотрудников, но не менее важна и роль организации реального производителя, способного довести разработку до технологии или продукта, качественно воспроизвести заложенные в разработку идеи. На всей непростой дороге от идеи до продукта заинтересованность государства и конкретного потребителя - определяющий фактор, дающий научному новшеству право на жизнь.

Достойного вам пути, наши разработки!

This booklet is a collection of the pilot projects developed at the Institute of Electrophysics that are of interest as candidates for use in technologies and production processes. The devices depend for their operation on strong electric and magnetic fields, high-power electron and ion beams, and extremely fast pulsed phenomena. Therefore, they are, first of all, unique tools for basic research. At the same time, the many year's experience in research, engineering achievements, and cooperation with other institutions allow the Institute's developers to propose the pilot devices for implementation in high-technology

sectors of industry, agriculture, and medicine.

Most of the pilot devices have been developed due to basic research of many years. In the underlying studies, every relevant phenomenon was rigorously investigated. In addition, the features and function of every effect and of every, even the smallest detail were elucidated. The enthusiasm of the Institute's scientists and engineers, who honorably carry on the best traditions of Russian Science due to their meticulous work, brilliant ideas, and unique engineering solutions, is really admirable.

In the idea-development-product scheme, the work of researchers is of primary importance. However, the role of a manufacturer able to embody the ideas underlying a pilot project to a technology or a product is equally important. The core drivers of an innovation on the hard way from an idea to a product are state and user interests.

I hope and believe that all our research and development solutions will be successfully implemented in practice.

В 2016 году Институту электрофизики УрО РАН исполняется 30 лет. Единственный в Уральском регионе институт такого профиля был создан академиком Г.А.Месяцем, чтобы расширить область исследований Уральского отделения Академии наук СССР.

Небольшой коллектив ученых разных специальностей, местных и приезжих, молодых и уже опытных, собрался вместе, чтобы создать институт, непохожий не только по тематике, но и по своей организации. Действительно, и профиль, и организация исследований в Институте электрофизики заметно отличается даже от соседних академических институтов. Причиной тому послужила довольно молодая область науки – электрофизика, которая менее чем за полвека стала одной из основ и солидной частью сильноточной энергетики. Мощные лазеры, рентгеновская техника, микроволны стали не только объектом исследования этой науки, но и обеспечили их прогресс. Короткие импульсы позволили достичь гигантских уровней мощностей, что открыло широкие возможности не только для исследований, но и создания принципиально новых материалов и покрытий, уникальных приборов и целых технологий.



В.Г. Шпак, чл.-корр. РАН
Директор (2004–2015 гг.)
V.G. Shpak, RAS corr. member
Director (2004–2015)

In 2016, the Institute of Electrophysics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences turns 30 years old. The only institute of the profile in the Ural region was created by Academician G.A. Mesyats to expand the field of research of the Ural Branch of the USSR Academy of Sciences.

A small team of young and experienced scientists with varied specialties, locals and visitors, came together to create an institute distinct in research mix and organization. Indeed, the Institute of Electrophysics is markedly different in this even from neighboring academic institutions. The reason is that

Electrophysics, quite a young field of science, has become one of the foundations and a considerable part of Pulse Power within less than half a century. Production of high-power laser radiation, X-rays, and microwaves not only has been a matter for scientific enquiry, but also has provided the progress in the relevant technologies. Short pulses have led to gigantic levels of power, having opened up opportunities not only for research but also for the creation of fundamentally new materials and coatings, unique devices, and novel technologies.



Следует отметить, что создание и развитие института пришлось на крайне сложный период. Институт был основан еще в СССР, рос, строился и развивался в 90-е годы. В нынешней ситуации институтам подобного профиля приходится тоже нелегко. Главная особенность его работы заключается в уникальности приборной базы, значительная часть которой была создана и продолжает создаваться самостоятельно, ведь подобные приборы не производятся нигде в мире. К тому же это имеет смысл только при использовании самой современной регистрирующей и измерительной аппаратуры, которая никогда в нашей стране не выпускалась. Несомненно, что при этом необходима высокая квалификация научных сотрудников и инженеров, а также возможности для разработки и изготовления деталей и узлов. Для этого в институте есть возможности и в результате созданные приборы и технологии успешно работают в ведущих научных центрах и университетах 15 стран – от Швеции до Австралии, от США до Японии.

В этом юбилейном буклете собраны сведения о наиболее актуальных исследованиях и разработках, которыми был занят коллектив института в последние годы.

It should be noted that the Institute was created and developed in an extremely difficult period. The Institute was founded in the USSR; it was built and developed in the 90s. In the current situation, the institutions of this profile also have a hard time. The main feature of the Institute's work lies in the uniqueness of its instrument base, much of which was created and is being created on its own, because the relevant devices are not produced anywhere in the world. In addition, to perform research in Pulse Power makes sense only when using the most advanced recording and measuring equipment, which was never produced in our country. There is no doubt that there are the needs for highly qualified scientists and engineers and a base for developing and manufacturing equipment parts and assemblies. The Institute has the possibilities for this, and as a result, the novel devices and technologies are being successfully operated in leading research centers and universities of 15 countries: from Sweden to Australia and from the USA to Japan.

This jubilee booklet contains information about the most up-to-date research and development work in which the Institute's staff has been engaged in recent years.



ИСТОЧНИКИ ПИКОСЕКУНДНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПОТОКОВ НА ОСНОВЕ ГАЗОВЫХ ДИОДОВ

PICOSECOND ELECTRON BEAM SOURCES BASED ON GAS DIODES

В зависимости от момента возникновения эмиссии убегающих электронов (УЭ) на нарастающем фронте ускоряющего напряжения энергия частиц за анодом может составлять от десятков до сотен килоэлектронвольт. 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 скинтилляторов и люминофоров.

Depending on the onset time of runaway electrons (RE) emission within the accelerating voltage rise time, the energy of the particles at the anode can range from tens to hundreds keV. The typical pulse duration for the accelerated particles that carry a current of tens of amperes ranges up to 40 ps with rise time of 20–30 ps. These ultra-short flows of accelerated particles can be utilized as efficient triggers of discharge processes in gas-filled gaps and as a unique tool in RE avalanche breakdown studies. It is of interest to investigate the ultra-short electron pulse excitation of cathodoluminescence of insulators (e.g., minerals) and semiconductor laser targets. Short flashes of X rays or optical radiation can be used as an efficient tool for calibration measurements of response times of scintillators and phosphors.

Патенты, авторские свидетельства, публикации

1. 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.
2. 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.
3. 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.

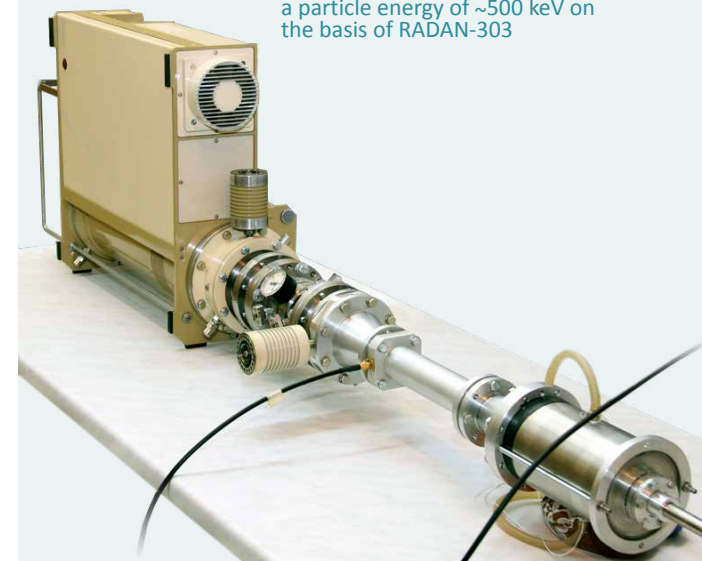
Год разработки 2008–2015

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.

A series of studies of the continuous acceleration of electrons in gas gaps with strongly nonuniform fields gave birth to devices generating picosecond RE flows. The typical duration of the flow can be some tens of picoseconds. The highest electron energies in the flow approach the energies of particles accelerated near the cathode, in a nonstationary electric field. By varying the degree of field enhancement in the cathode region, one can control the onset time of RE emission (hence, the RE electron energy) and stabilize it to within a few picoseconds.

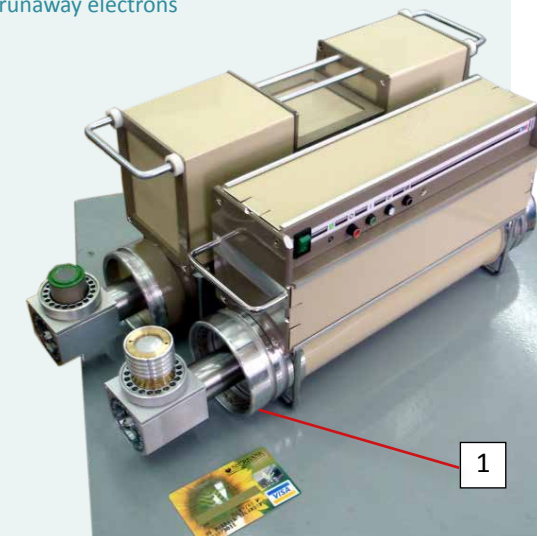
Источник УЭ с энергией частиц
~500 keV на основе аппарата
РАДАН-303

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



Аппарат РАДАН-ЭКСПЕРТ
с газовым диодом (1) – источником
УЭ с энергией частиц ~150 keV

RADAN-EXPERT apparatus with a gas
diode (1) as a source of ~150-keV
runaway electrons



МНОГОКАНАЛЬНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ СИНФАЗНЫХ МИКРОВОЛНОВЫХ ИМПУЛЬСОВ MULTICHANNEL IN-PHASE MICROWAVE OSCILLATORS

Было обнаружено, что пикосекундная стабильность взрывной электронной эмиссии катода и соответствующая привязка иницирующего 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.

Патенты, авторские свидетельства, публикации

1. Synphase Operation of Nanosecond Relativistic 37-GHz Backward-Wave Oscillators without Electrodynamical 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. Romanchenko, 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. Ul'maskulov, M.I. Yalandin, and I.V. Zotova // Phys. Rev. Lett. – 2015. – Vol. 115, Iss. 11. – P. 114802 (1–5).

It was found that picosecond-jitter explosive electron emission and a picosecond time delay between the trigger electromagnetic signal and the front of the high-current beam provide phase locking in a microwave oscillator. This suffices to control the phasing of a multichannel oscillator. In-phase two- and four-channel systems composed of 38-GHz subnanosecond relativistic backwave oscillators (BWO) operated in a superradiance mode have been tested. Coherent summation of the electric fields of the oscillators quadratically increased the power flux density at the interference maximum of the pattern. The summation of the radiation powers of quasi-stationary wave beams of nanosecond BWOs at shifted frequencies is promising for ultra-fast scanning of the beam within a single pulse.

Год разработки 2012–2015

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 microwave power flux density interference maximum of the patterns of a two- and a four-channel BWO was the same as that of a single oscillator with power of ~3 and ~10 GW, respectively. At a distance of 1 m from the 4-antenna array, the maximum microwave power flux density was as high as 10 MW/cm² and the electric field strength was ~140 kV/cm. For the nanosecond BWOs, long-term (more than a hundred field periods), pulse-to-pulse repeatable phase synchronization has been attained.

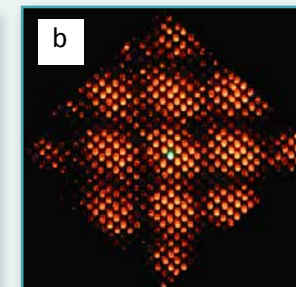
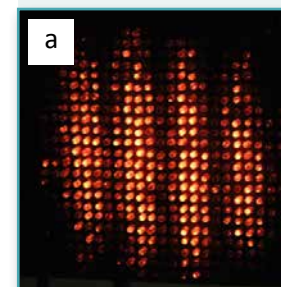
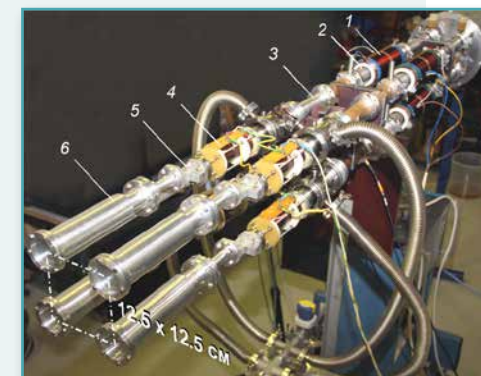
Четырёхканальный генератор из синфазных сверхизлучательных ЛОВ (37 ГГц) с мощностью излучения в канале ~600 MW на основе SOS-модулятора S500

S500 SOS-modulator based four-channel in-phase superradiance BWO (37 GHz) oscillator producing with ~600 MW power per channel



Двухканальный генератор из синфазных квазистационарных ЛОВ (37 ГГц) с мощностью излучения в канале ~100 MW на основе ускорителей РАДАН-303

RADAN-303 based two-channel generator of in-phase quasi-stationary BWO (37 GHz) oscillator producing ~100 MW power per channel



(a) Интерференция противофазных линейно-поляризованных волновых пучков от двух каналов;
(b) интерференция синфазных линейно-поляризованных волновых пучков от четырёх каналов

(a) Antiphase interference of linearly polarized wave beams from two channels;
(b) in-phase 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.

Патенты, авторские свидетельства, публикации

1. SOS-диоды: наносекундные прерыватели сверхплотных токов / С.А. Дарзбек, С.К. Любутинов, С.Н. Рукин, Б.Г. Словиковский, С.Н. Цыранов // Электротехника. – 1999. – № 4. – С. 20–28.
2. Полупроводниковый прерыватель тока: пат. 2156014 Рос. Федерация: МПК Н 01 L 29/86 / Дарзбек С.А., Любутинов 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.

Nanosecond semiconductor opening switches operating at high current densities (SOS diodes) have been fully developed at IEP. The devices are intended to produce high-voltage pulses due to current cutoff in inductive energy stores. They are very reliable and stable, and are able to operate at high pulse repetition rates. The devices have the following parameters: peak voltage 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 less than 1 μ s. Series and parallel connection of the SOS diodes into a common unit makes possible opening switches operating at megavolt levels and capable to switch powers over 1 GW with pulse repetition rates of several kilohertz.

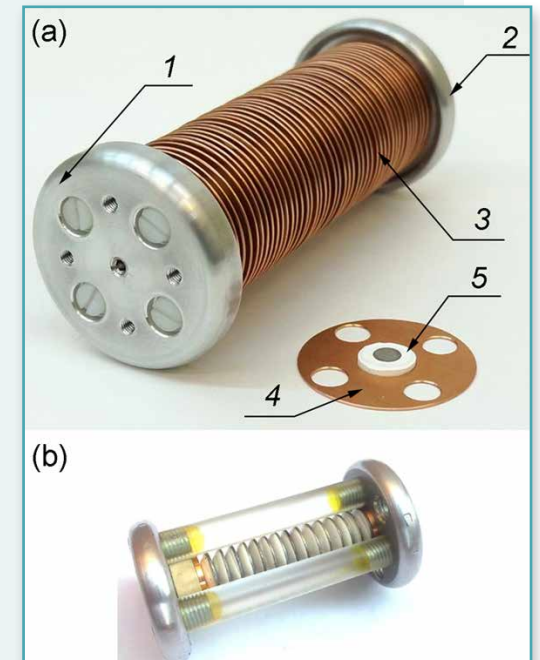
Год разработки 2000–2015

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 кА/см². 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.

The operation of the devices is based on the so-called SOS effect discovered at IEP. Its fundamental feature is that the current cutoff process develops in highly doped regions of a semiconductor structure at current densities as high as several tens of kA/cm². Another important feature of the effect is a uniform voltage distribution over a large number of series-connected diodes not using voltage leveling devices. These two features of the SOS effect make possible nanosecond opening switches operating at megavolt levels and capable to switch gigawatt pulsed powers. SOS-based generators are used in electron accelerators, X-ray apparatus, high-power microwave devices, gas lasers, and in water and air purification systems.

(а) 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
(б) прибор SOS-50-1 (импульсное напряжение – 50 кВ, обрываемый ток – 1 кА, диаметр – 27 мм, длина – 50 мм, масса – 30 г)

(а) 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
(б) 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 S-500 NANOSECOND ALL-SOLID-STATE GENERATOR

Очевидным преимуществом полностью твердотельных генераторов является возможность стабильной работы с высокой частотой следования импульсов, их нечувствительность 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.

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.

The main advantages of all-solid-state generators are their stable operation at high pulse repetition rates, adaptability to different loads, and practically unlimited lifetime. The S-500 nanosecond all-solid-state generator based on a semiconductor opening switch (SOS) provides a peak power of up to 6 GW, an output voltage of 500–750 kV, and a pulse length of 7 ns across external loads of 40 to 100 Ω at a pulse repetition frequency of up to 1 kHz in burst operation. With this generator, record values have been achieved for the SOS current cutoff rate and switched power: 7 kA/ns and 13 GW, respectively.

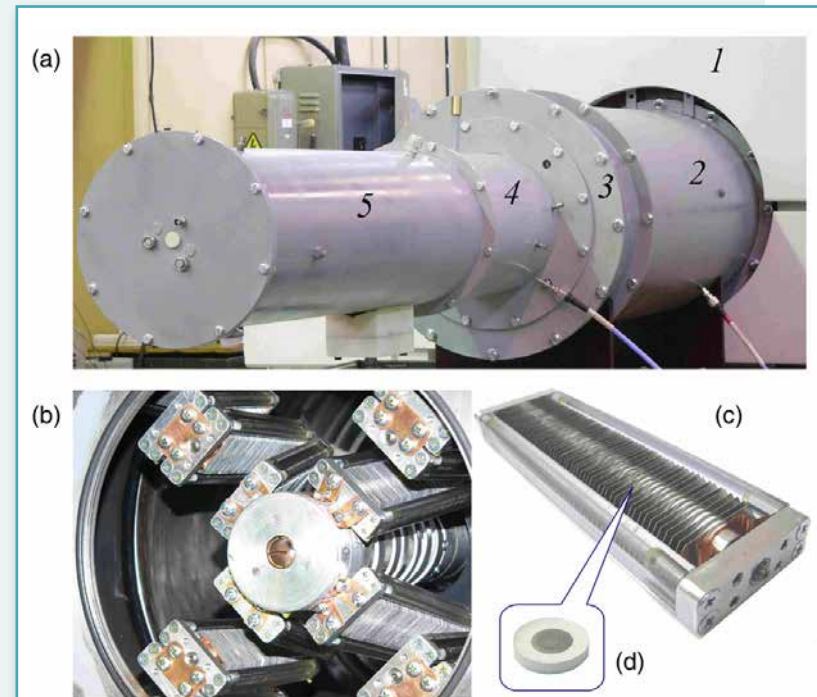
Год разработки 2012–2015

В генераторе предложена и реализована новая схема накачки полупроводникового прерывателя тока (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 pulse-forming line has been proposed and realized in the generator. The circuit design provides a reverse current through the SOS increasing 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 by a ferrite peaker to ~1 ns and then by a semiconductor peaker to ~0.5 ns. The generator has been developed for application in high-power microwave electronics.

(а) 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;
(б) внешний вид узла SOS,
(с) SOS-диод,
(д) элементарный SOS-диод внутри сборки

(а) The output unit of the S-500 generator: 1 – charging modulator, 2 – casing of the double pulse-forming line, 3 – SOS unit, 4 – transmission line equipped with ferrite peaker, 5 – transmission line and load;
(б) the SOS unit;
(с) SOS stack; and
(д) elementary SOS diode in the stack



МОЩНЫЙ ИОННЫЙ ИСТОЧНИК С БОЛЬШИМ СЕЧЕНИЕМ ПУЧКА HIGH-POWER SOURCE OF LARGE-CROSS-SECTION ION BEAMS

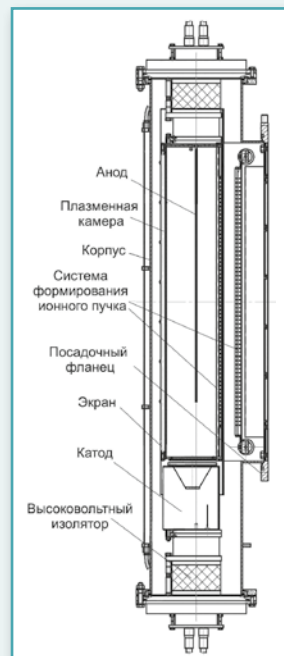
Надежность и большой ресурс технологических ионных источников с большим сечением пучка, разработанных в ИЭФ УрО РАН, обусловлены отсутствием в их конструкции накаливаемого катода. Равномерное распределение плотности тока по сечению пучка позволяет использовать такие источники для модификации листовых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

The high performance reliability and long service life of the technological sources of large-cross-section gas ion beams developed at IEP are due to the absence of hot cathodes in their design. The uniform ion current density distribution over the beam cross-section allows the use of these ion sources for surface modification of large-area sheet materials, lengthy details, and lots of small tools or 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 Н 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 Н 01 J 27/04 / Гаврилов Н.В., Буреов 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



Год разработки 2008–2015

Разработанный источник генерирует широкий ионный пучок ($100 \times 750 \text{ мм}^2$) со средним током до 0,2 А и энергией ионов 10–40 кэВ. В источнике используется несамостоятельный разряд низкого давления в полом катоде, поддерживаемый инжекцией быстрых электронов. Особенностью конструкции является применение крупноструктурного плазменного катода и многощелевой ионно-оптической системы. Источник генерирует пучки инертных и химически-активных газов (N_2 , O_2 , Ar и их смеси). Имплантация ионов азота применяется для повышения усталостной прочности лопаток компрессора газотурбинных двигателей, а применение ионно-лучевого ассистирования в процессах нанесения покрытий улучшает сцепление покрытия с материалом основы и микроструктуру самого покрытия.

Предприятия-потребители

- Научно-производственная ассоциация «Технопарк авиационных технологий», г. Уфа
- ЗАО «Лаборатория 23», г. Томск
- ФГАОУ ВО Научно исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

The ion source generates a broad ($100 \times 750 \text{ мм}^2$) beam with an average beam current of up to 0,2 A and ion energy of 10–40 keV. It uses a hollow-cathode non-self-sustained low-pressure glow discharge supported by injection of fast electrons. The feature of the source design is harnessing a large-sized hole array in the plasma cathode and a multislit ion optical system. The ion source generates beams of inert and reactive gases (N_2 , O_2 , Ar and their mixes). Implantation of nitrogen ions is used to increase the fatigue strength of gas turbocompressor blades. Ion beam assisted deposition of coatings ensures high adhesion of coatings to substrates and improves the coating microstructure.



МЕТОД НАНЕСЕНИЯ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ С ИНТЕНСИВНЫМ ИОННЫМ СОПРОВОЖДЕНИЕМ

HIGH-CURRENT ION BEAM ASSISTED DEPOSITION OF NANOCOMPOSITE COATINGS

Использование электронных источников на основе сильнооточного 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.

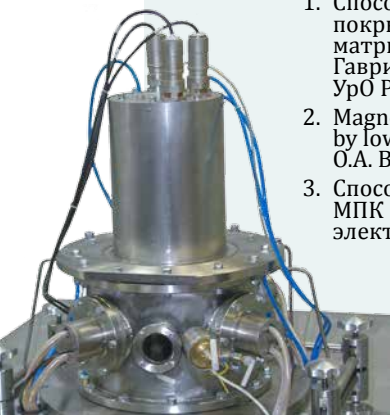
Use of electron beam sources based on a high-current discharge with a self-heating hollow cathode allows one to control the beam plasma parameters and the density of the ion current from the plasma over a wide range and thus to change conditions of coating deposition. Intense ion bombardment of the coating surface with low-energy (less than 100 eV) ions under which the ratio of the ion current density to the sputtered atom flux can reach 30 substantially changes the microstructure, internal stress level, phase composition, and, hence, functional properties of the coating.

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 coating deposition by magnetron sputtering with high-current ion beam assistance, developed under the agreement with the Institute of Nuclear Materials (Russia, Zarechny)



Год разработки 2015

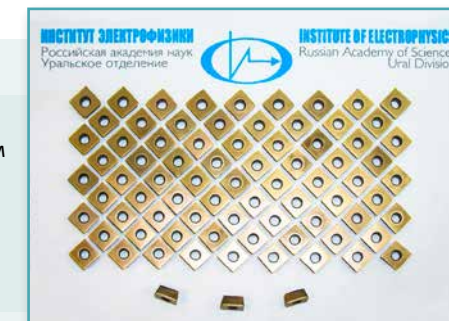
Разработан метод, в котором интенсивность ионного сопровождения при нанесении покрытий регулируется за счёт воздействия на газовую среду широкого пучка низкоэнергетических электронов. Принципиальная особенность метода заключается в том, что интенсивность ионного сопровождения процесса нанесения покрытий 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

Series of cutting plates coated with (Ti, Al)N/a-Si₃N₄ nanocomposite



A method of ion assisted coating deposition has been developed in which the ion current density is controlled by exposing the working gas to a low-energy electron beam. The basic feature of the method is the use of a high-current electron beam source with a self-heating hollow cathode to vary the intensity of ion bombardment over wide limits. The source generates electron beams of energy 100–500 eV with a beam current up to 80 A in a direct current mode and up to 200 A in a repetitive pulse (10–1000 Hz, 10–1000 μs) mode. The electron beam provides efficient ionization and dissociation of molecular gases and high ion current density (10 and 60 mA/cm² in dc and pulse modes, respectively). With this method, various coatings have been produced, such as high-temperature oxidation-resistant (Mn, Co)₃O₄ conductive coatings for interconnects of solid-oxide fuel cells, TiC/a-C:H and (Ti, Al)N/a-Si₃N₄ nanocomposite coatings with hardness up to 43 GPa, and diamond-like coatings with high percentage of sp³-bonds (up to 70%).



Д. т. н. В.В. Кладухин (V.V. Kladukhin, Dr. Sc.)
laepr@iepr.uran.ru, +7 (343) 2-678-788

СИЛЬНОТОЧНЫЙ СВЧ ГЕНЕРАТОР С ПРОДОЛЬНО-ЩЕЛЕВОЙ ЗАМЕДЛЯЮЩЕЙ СТРУКТУРОЙ HIGH-CURRENT MICROWAVE OSCILLATOR WITH A LONGITUDINAL SLOT SLOW-WAVE STRUCTURE

Мощные СВЧ генераторы на базе сильноточной релятивистской лампы обратной волны нашли распространение в различных научных и практических установках. Специфика применения в каждом случае требует создания СВЧ генераторов с различными характеристиками, что в свою очередь ставит исследовательские, конструкторские и технологические задачи.

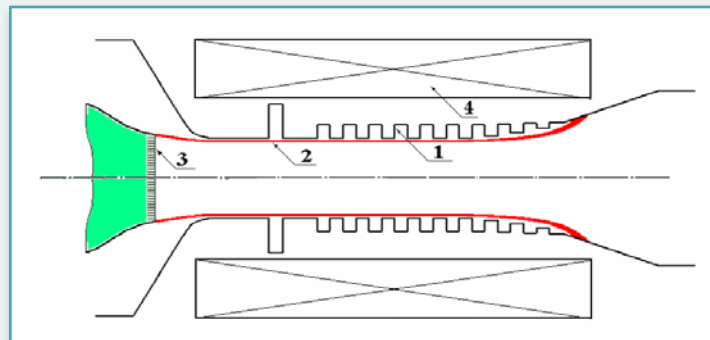
High-power microwave oscillators based on high-current relativistic backward wave tubes find use in a variety of scientific and practical applications. Different applications call for oscillators with different characteristics, posing specific research, engineering, and technological problems.

Патенты, авторские свидетельства, публикации

1. Релятивистская лампа обратной волны с многоструйным электронным пучком / М.Б. Гойхман, А.В. Громов, В.В. Кладухин, С.В. Кладухин, Н.Ф. Ковалев, С.П. Храмцов // Письма в ЖТФ. – 2011. – Т. 37, Вып. 4. – С. 53–58.
2. Мощная релятивистская лампа обратной волны с продольно-щелевой электродинамической системой / М.Б. Гойхман, В.В. Кладухин, С.В. Кладухин, Н.Ф. Ковалев, Н.Г. Колганов, С.П. Храмцов // Письма в ЖТФ. – 2014. – Т. 40, Вып. 2. – С. 75–81.

Конструктивная схема и внешний вид (вверху) СВЧ генератора:
1 – замедляющая структура,
2 – электронный пучок,
3 – гребенчатый катод,
4 – охлаждаемый соленоид

Schematic and appearance (atop) of the oscillator:
1 – slow-wave structure,
2 – electron beam,
3 – comb cathode,
4 – cooled solenoid



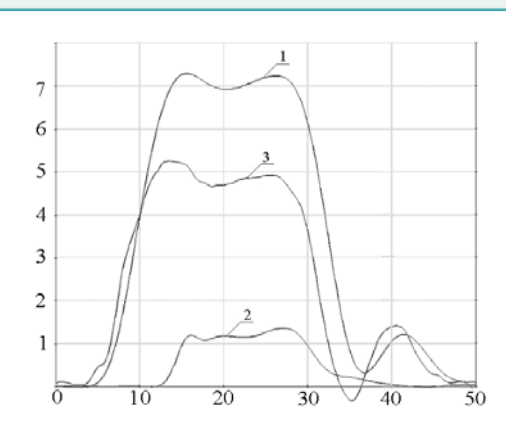
Год разработки 2010–2012

Разработанный для экспериментальной установки СВЧ генератор реализован в виде сильноточной релятивистской лампы обратной волны 3-см диапазона длин волн с рабочей модой E_{01} . Лампа использует электронную пушку с холодным взрывоэмиссионным катодом и прямоугольно-гофрированную замедляющую систему с сосредоточенным четвертьволновым рефлектором-модулятором. Направляющее магнитное поле обеспечивается охлаждаемым соленоидом биттеровского типа. Особенностью конструкции является пластинчатой прямоугольно-гофрированной замедляющей структуры и многоструйного электронного пучка, формируемого гребенчатой кромкой цилиндрического взрывоэмиссионного катода. При параметрах электронного пучка 700 кэВ, 5 кА, 20 нс и ведущем магнитном поле 3 Т мощность выходного СВЧ излучения составляет 1.2 ГВт при длительности 15 нс.

The microwave oscillator designed for an experimental facility is a high-current relativistic backward wave oscillator operating in the 3-cm wave band with an E_{01} working mode. The oscillator uses an electron gun with a cold explosive emission cathode and a rectangular corrugated slow-wave structure with a lumped quarter-wave reflector-modulator. The guide magnetic field is created by a cooled Bitter solenoid. The use of a lamellated rectangular corrugated slow-wave structure and a multijet electron beam formed by the comb edge of the explosive-emission cathode is the main feature of the experimental setup. With a 700-keV, 5-kA, 20-ns electron beam and a 3-T guide magnetic field, the output microwave power reached 1.2 GW in a pulse of duration 15 ns.

Организации-соисполнители

Институт прикладной физики РАН (ИПФ РАН), г. Нижний Новгород



Осциллограмма работы СВЧ генератора:
1 – катодное напряжение 100 кВ/дел,
2 – ток электронного пучка 1 кА/дел,
3 – мощность микроволнового излучения 1 ГВт/дел,
время 10 нс/дел

Performance waveforms of the oscillator:
1 – cathode voltage, 100 kV/div,
2 – electron beam current, 1 kA/div,
3 – microwave power, 1 GW/div,
time base, 10 ns/div

СИЛЬНОТОЧНЫЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ГАЗОВЫЙ РАЗРЯДНИК НА ОСНОВЕ АВТОВОЛНОВОГО РЕЛАКСАЦИОННОГО ПРОЦЕССА

HIGH-CURRENT HIGH-VOLTAGE GAS GAP SWITCH BASED ON AUTOWAVE RELAXATION PROCESS

Газовые разрядники различного типа в настоящее время остаются самым распространенным видом мощных коммутаторов для сильноточной аппаратуры. Разработанный высоковольтный газовый разрядник основан на реализации распределенной автокоммутационной структуры, выполненной в виде двух емкостных делительных цепочек, взаимодействующих через ряд коммутационных зазоров. Его основное назначение – коммутация заряженных коаксиальных линий в генераторах высоковольтных наносекундных импульсов.

Gas gap switches still remain most used high-power switches in pulsed power systems. The high-voltage switch developed at IEF is based on a distributed self-operating structure made as two capacitive dividing networks interacting via a chain of switching gaps. The device is intended to switch charged coaxial lines in high-voltage nanosecond pulse generators.

Патенты, авторские свидетельства, публикации

1. Пат. 2352039 Российская Федерация, МПК Н 01 Т 4/16, Н 03 К 3/53. Многоэлементный коммутатор / Кладухин В.В., Кладухин С.В., Ковалев Н.Ф., Храмцов С.П.; заявитель и патентообладатель Институт электрофизики УрО РАН. № 2007131298/09; заявл. 16.08.07; опубл. 10.04.09.
2. Управляемый многозазорный газовый разрядник / В.В. Кладухин, С.В. Кладухин, С.П. Храмцов, В.Ю. Ялов // ПТЭ. – 2012. – №5. – С. 62–66.

Внешний вид разрядника
с запускающим устройством

Appearance of the gas gap switch
with a trigger

Год разработки 2007–2011

Отличительной чертой конструкции разрядника является использование коммутационной структуры, реализующей процесс распространения релаксационной волны вдоль цепи коммутационных газовых зазоров. Разрядник обеспечивает импульсно-периодическую коммутацию коаксиальных линий с волновыми сопротивлениями 20–50 Ом, заряжаемых до напряжения 300–500 кВ, формируя импульсы длительностью 20–30 нс. Электрические свойства разрядника восстанавливаются за 2 мс.

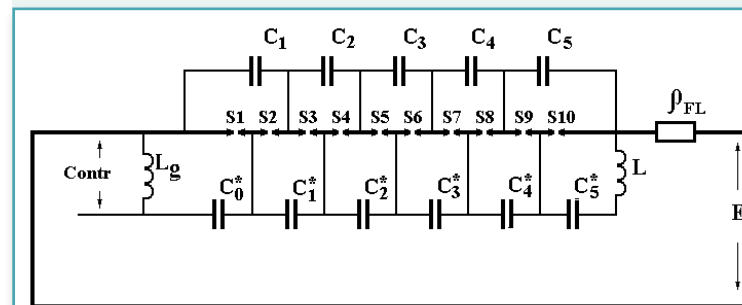
The main feature of the gas gap switch is the use of a switching structure that realizes the propagation of a relaxation wave along a chain of switching gas gaps. The switch provides repetitive switching of 20–50-Ohm coaxial lines charged to 300–500 kV, thus forming pulses of duration 20–30 ns. The electrical properties of the switch restore in 2 ms.

Электрическая схема разрядника:

C_1 – C_5 – емкостные связи дисков внешней электродной системы разрядника, C_0 – C_5 – емкостные связи дисков внутренней электродной системы разрядника, S_1 – S_{10} – коммутационная цепочка, образованная зазорами между внешней и внутренней электродной системой, ρ_{FL} – волновое сопротивление коммутируемой линии, L_g , L – развязывающие индуктивности, Contr – управляющий вход

Circuit diagram of the gas gap switch:

C_1 – C_5 – coupling capacitors of the outer electrode assembly, C_0 – C_5 – coupling capacitors of the inner electrode assembly, S_1 – S_{10} – switching chain formed by the gaps between the outer and the inner electrodes, ρ_{FL} – switched line impedance, L_g , L – decoupling inductors, and Contr – control input

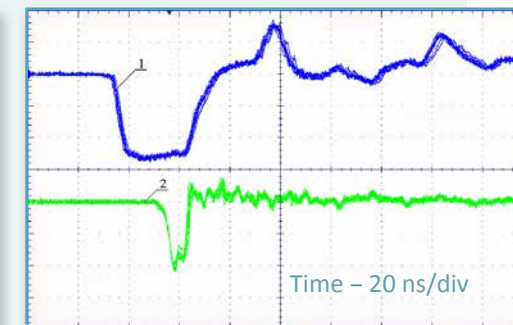


Осциллограмма напряжений
(запускающий импульс задержан
на 30 нс):

1 – напряжение на выходе
(нагрузке) 250кВ/дел,
2 – напряжение на управляющем
(запускающем) электроде 30кВ/дел

Voltage waveforms (trigger pulse
is delayed by 30 ns):

1– output (load) voltage,
250 kV/div,
2 – voltage across the control
electrode, 30 kV/div



НАНОСЕКУНДНЫЕ ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКИЕ УСКОРИТЕЛИ ЭЛЕКТРОНОВ СЕРИИ UPT URT REPETITIVE NANOSECOND ELECTRON ACCELERATORS

Разработанные в ИЭФ УрО РАН импульсные высоко-
точные ускорители электронов серии UPT, пред-
назначены для радиационных технологий в про-
изводственных условиях. Их основные параметры:
ускоряющее напряжение – до 1 МВ, частота следова-
ния импульсов – до 300 Гц, размер пучка электронов
400×100 мм, длительность импульса около 100 нс.
Особенностью конструкции является использование
металлокерамических и металлодиэлектрических
холодных катодов с несколькими излучающими
элементами, позволяющие получать неравномерное
распределение электрон-
ного пучка на выходной
фольге не более 15%.

The electron accelerators of URT
series developed at IEP are
intended for industrial radiation
technologies. The key parameters
of the accelerators are: accelerating
voltage up to 1 MV, pulse repetition
rate up to 300 pps, electron beam size
400×100 mm, and pulse width about
100 ns. The design feature is the use
of metal-ceramic and metal-dielectric
cold cathodes with several emitting
elements, providing the output electron
beam current density to be uniform to
within ~15%.

Патенты, авторские свидетельства, публикации

1. Соковнин С.Ю. Наносекундные ускорители электронов и радиационные технологии на их основе / С.Ю. Соковнин. – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – 225 с.
2. Соковнин С.Ю. Ускоритель UPT-1M для радиационных технологий / С.Ю. Соковнин, М.Е. Базезин, С.В. Щербинин // ПТЭ. – 2013. – №4. – С. 47–50.
3. Соковнин С.Ю. Ускоритель UPT-1M-300 для радиационных технологий / С.Ю. Соковнин, М.Е. Базезин, С.В. Щербинин // Известия ВУЗов, Физика. – 2014. – Т. 57, № 11/3. – С. 297–301.
4. Наносекундный ускоритель электронов: пат. 2191488 Рос. Федерация: МПК Н 05 Н 5/02, Н 01 J 1/30 / Ю.А. Котов, С.Ю. Соковнин, М.Е. Базезин; заявитель и патентообладатель Институт электрофизики УрО РАН. – № 2001112512/06; заявл. 07.05.01; опубл. 20.10.02, Бюл. № 29.

Ускоритель UPT-1M
URT-1M accelerator

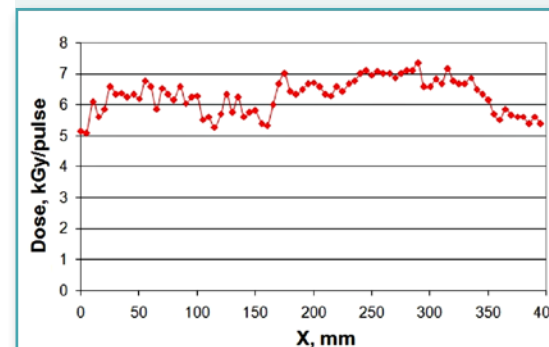


Год разработки 2015

Применение схемы тиратрон –
импульсный трансформатор –
полупроводниковый прерыватель тока
позволило существенно упростить и
значительно удешевить все устрой-
ство. Ускорители имеют компьютер-
ную систему мониторинга параметров
и оперативный контроль состояния
ускорителя и его систем с выводом и
документированием информации на
персональном компьютере, который
связан с ускорителем по оптоволокон-
ному каналу связи. Ускорители серии
URT успешно используются для про-
мышленной модификации пленочных
полимеров, радиационной стерилиза-
ции, получения нанопорошков, разра-
ботке новых сорбентов и дозиметров,
т.е. в радиационных технологиях на
поверхности, в газах и слоях жидкости,
сыпучих или твердых материалов с
толщиной слоя до 0.3 г/см².

Организации-соисполнители

ООО «ЭЛФИТЕХ», г. Екатеринбург



Распределение
плотности тока пучка
Electron beam current
density distribution

Стойка управления
ускорителя UPT-1M
Control panel of the
URT-1M accelerator



ИМПУЛЬСНЫЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ ИСТОЧНИКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

PULSED X-RAY SOURCES AND APPLICATIONS

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.

Nowadays pulsed X-ray apparatuses are widely used in medicine, non-destructive testing and security systems. The X-ray sources based on nanosecond voltage pulse generators, compact sealed-off cold-cathode X-ray tubes and detectors with intensifying screens have great advantage over competitors. These systems produce necessary doses 10–20 times lower compared with similar devices based on continuous X-ray sources.



Ясень-01 медицинский рентгеновский аппарат
Yasen-01 medical X-ray apparatus

Универсальный рентгеновский аппарат
Universal 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 «Электрхимприбор». – № 000122229/09; заявл. 22.08.00; опубл. 10.10.01, Бюл. № 28. – 6 с.

Год разработки 2000–2016

В лаборатории импульсных источников излучений разработана серия отпаянных взрывозамкнутых 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 has developed a series of compact nanosecond high-voltage pulse generators and sealed-off X-ray tubes with explosive emission cathodes. The X-ray system comprises solid switches and produces 65–350 kV pulses at kilohertz repetition rates. This solution significantly increases stability and life time of the devices designed for various applications.

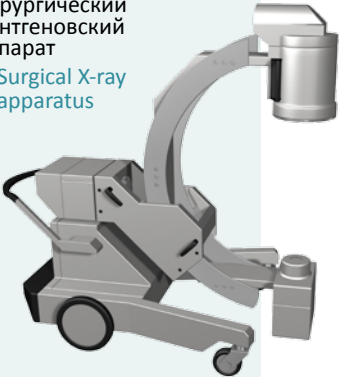


Рентгеновская импульсная трубка
X-ray tube

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

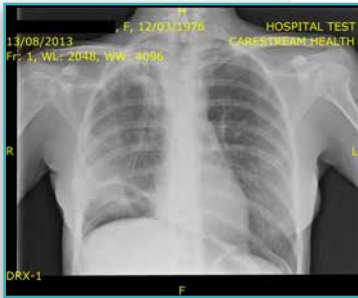
Хирургический рентгеновский аппарат
Surgical X-ray apparatus



Предприятия-соисполнители

- ООО «Субмикроволновая диагностическая аппаратура», г. Екатеринбург
- ФГУП «Комбинат «Электрхимприбор», г. Лесной, Свердловская обл.

Рентгеновский снимок грудной клетки
X-ray picture of a chest



РТУТНАЯ ДУГОВАЯ ЛАМПА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ В КОЖУХЕ С ОТРАЖАЮЩЕЙ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ – ИСТОЧНИК РАВНОВЕСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

A LOW-PRESSURE MERCURY ARC LAMP PLACED IN A CASING WITH REFLECTIVE INNER SURFACE AS A SOURCE OF THERMAL RADIATION

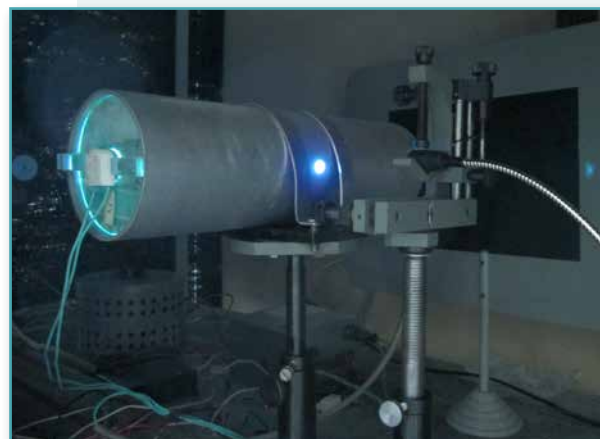
При исследовании спектра излучения широко используемой промышленной ртутной бактерицидной лампы TUV 8wG8 T5 UV, помещенной в кожух, было обнаружено, что из-за многократного отражения от внутренней поверхности кожуха усиливается самопоглощение в газоразрядной плазме лампы. В результате в выходящем излучении сильно ослабляется резонансная линия атома ртути при 253.6 нм, являющейся основной линией в спектре излучения такой лампы. Таким образом, защитный кожух значительно влияет на выходное излучение ртутных ламп, что необходимо учитывать при создании аппаратуры на их базе.

The emission spectrum of a mercury germicidal lamp of industrial type TUV 8wG8 T5 UV placed in a protective casing has been investigated. It has been found that the self-absorption in the gas discharge plasma becomes stronger because of multiple reflections from the inner surface of the casing. This severely weakens the 253.6 nm resonance line of atomic mercury in the output radiation spectrum that is the principal line in the lamp spectrum. Thus, a protective casing significantly affects the output radiation of a mercury lamp, and this should be considered when using mercury lamps in various devices.

Патенты, авторские свидетельства, публикации

Устройство для стабилизации излучения газоразрядных ламп : пат. 2414767 Рос. Федерация : МПК H01J61/02 / Горбунков В.И., Соломонов В.И.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Омский государственный технический университет». – № 2009146852/07; заявл. 16.12. 09; опубл. 20.03. 11, Бюл. №8.

Ртутная лампа в кожухе
The mercury lamp in a casing



Ртутные бактерицидные лампы (давление паров ртути 0.8–0.9 Па, буферного газа аргона 400–800 Па), излучающие резонансную линию атома ртути 253.6 нм, являются наиболее распространенным источником ультрафиолетового излучения. Для защиты персонала от УФ лампу помещают в металлический, чаще всего дюралюминиевый кожух, а излучение выводят через небольшое отверстие или щель. Нами было показано, что в такой конструкции интенсивность линии при 253.6 нм с ростом тока разряда имеет максимум. Это обусловлено усилением самопоглощения за счет многократного прохождения через излучающую плазму отраженного собственного излучения от внутренней поверхности кожуха.

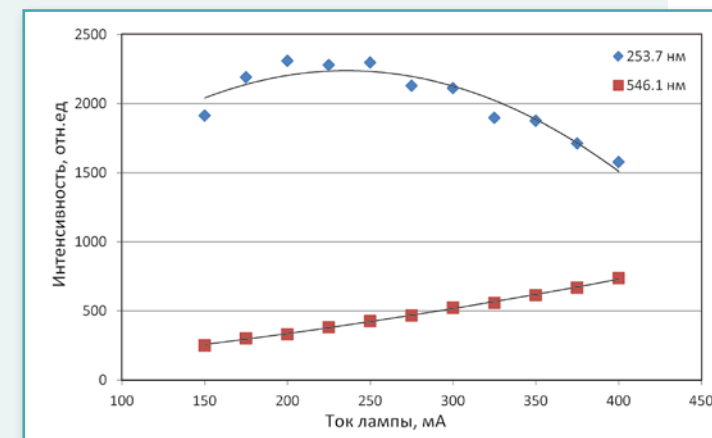
Организации-соисполнители

Омский государственный технический университет, г. Омск

Germicidal mercury lamps (mercury vapor pressure 0.8–0.9 Pa, argon buffer gas pressure 400–800 Pa), which emit radiation with the 253.6 nm mercury resonance line, are widely used as ultraviolet sources. To ensure UV protection of the personnel, the lamp is placed in a metal (often duralumin) casing, and radiation is extracted through a small hole located at the center of the casing. Testing of this design has shown that the 253.6 nm line intensity approaches a maximum with increasing discharge current. This is caused by intensification of self-absorption due to multiple passage of the self-radiation reflected from the inner surface of the casing through the radiating plasma.

Поведение интенсивностей спектральных линий излучения атомов ртути с изменением тока разряда лампы в кожухе с зеркально отражающей внутренней поверхностью

Behavior of the intensity of atomic mercury lines with the discharge current of a lamp placed in a casing with reflecting inner surface inside



НЕРАЗРУШАЮЩИЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДРАГОЦЕННЫХ КАМНЕЙ

NON-DESTRUCTIVE STATISTICAL METHOD FOR IDENTIFICATION OF PRECIOUS STONE DEPOSITS

Проблема незаконного оборота рубинов и сапфиров, обуславливает необходимость создания быстрых неразрушающих методов для определения их места добычи. Разработанным в ИЭФ методом импульсной катодолуминесценции 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.

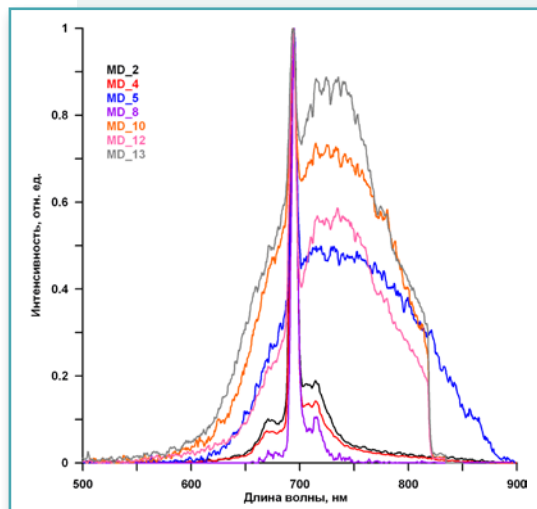
The challenge with ruby and sapphire trafficking necessitates non-destructive methods for prompt identification of their extraction spots. Precious corundums extracted from eight world deposits have been examined by the pulsed cathodoluminescence method designed at IEP. It has been shown that the spectra of all corundum samples have features specific to each region. On this basis, a statistical luminescent method for determining the region of origin of precious stones has been proposed and tested.

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 катодолуминесцентный 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. PCL spectra of Madagascar precious corundums: MD_2, MD_4, MD_8 – rubies; other – sapphires

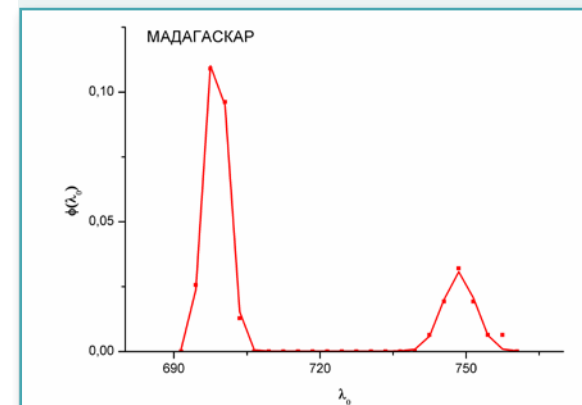


Год разработки 2015

Метод основан на анализе спектра импульсной катодолуминесценции камней, при этом базой метода является различие геохимических условий образования камней разных месторождений и их близость в одном месторождении. Для идентификации было предложено использовать статистические параметры полосы люминесценции в области 550–900 нм (рис. 1). Показано, что средняя длина волны, ширина и относительная интенсивность подчиняются нормальным распределениям (рис. 2), но с константами, заметно отличающимися для каждого месторождения.

Рис.2. Функции плотности распределения спектрально-люминесцентного параметра средней длины волны λ_0 полосы люминесценции благородных корундов из Мадагаскара: слева рубины, справа сапфиры

Figure 2. Density distribution functions of spectrum luminescence parameter λ_0 (average wavelength) of the luminescence band for Madagascar precious corundums: left – rubies, right – sapphires



The method consists in analyzing pulsed cathodoluminescence spectra of stones based on the difference in geochemical background between stones extracted from different deposits and on the proximity in background of stones from the same deposit. It was proposed to perform deposit identification using statistical parameters of the 550–900 nm luminescence band (Figure 1). It has been shown that the average wavelength, width and relative intensity are normally distributed (Figure 2), but the constants differ significantly for different deposits.

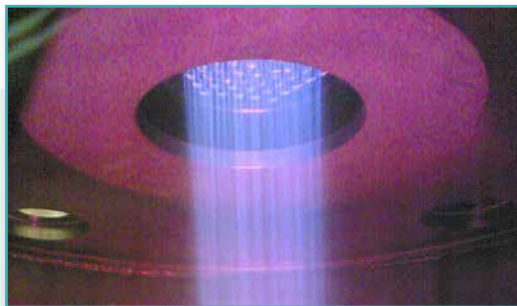
Организации-соисполнители

- Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН
- Федеральное государственное казенное учреждение «Войсковая часть 68240»

Фотография установки для регистрации спектров импульсной катодолуминесценции

Photo of the setup for measuring pulsed cathodoluminescence spectra





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

ИОННАЯ ИМПЛАНТАЦИЯ – ТЕХНОЛОГИЯ НЕТЕРМИЧЕСКОГО ОТЖИГА

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

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 Металлургический 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.

Год разработки 2000–2016

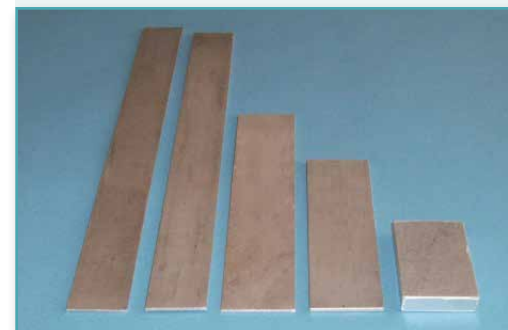
На основе обнаруженного явления предложен способ снижения ваттных потерь в трансформаторных сталях и нанокристаллических и аморфных лентах на 5–35% в частотном диапазоне от 50 до 10 000 Гц (получен патент совместно с ИФМ УрО РАН, 2008 г.). Совместно с Каменск-Уральским металлургическим заводом разработаны основы технологии ускоренного холодного радиационного отжига для восстановления пластичности холоднодеформированных полос и профилей (толщиной 1–6 мм) промышленных алюминиевых сплавов пучками ускоренных ионов Ar^+ (20–40 кэВ) в течение 5–30 с при пониженных на 150–200 К температурах, взамен длительного, в течение 2–6 ч, стандартного печного отжига (патент, 2009 г.).

Организации-соисполнители

- Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН (ИФМ УрО РАН)
- ОАО «Каменск-Уральский металлургический завод» (ОАО «КУМЗ»)

Результаты холодной прокатки с промежуточными радиационными отжигами трудно отжигаемого термически образца сплава 1424

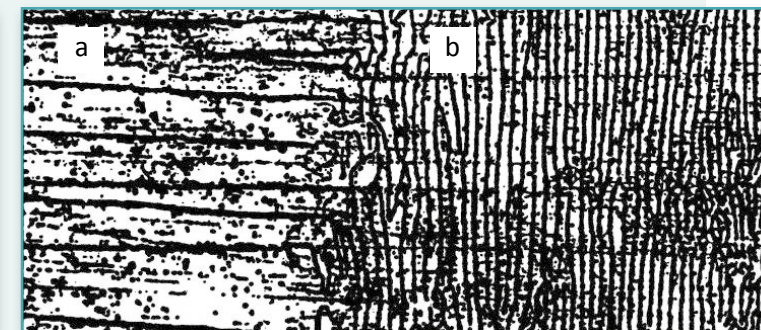
A sample of difficult-to-anneal 1424 alloy cold-worked with intermediate radiation annealing treatments



Based on the discovered phenomenon, a method for reducing magnetic losses in transformer steels and in nanocrystal and amorphous ribbons from 5 to 35% in the frequency range from 50 to 10 000 Hz was proposed (joint patent with IMP UB RAS, 2008). In cooperation with Kamensk-Uralsky metallurgical works, basic fast cold radiation annealing technology was developed to recover the plasticity of cold-worked bars and shapes (1–6 mm thick) of commercial aluminum alloys by beams of accelerated Ar^+ ions (20–40 keV) within 5–30 s at temperatures reduced by 150–200 K, instead of long-term (2–6 h) standard furnace annealing (patent of 2009).

Магнитная доменная структура трансформаторной стали Fe+3 мас. % Si до (а) и после (б) облучения ионами Ar^+ ($E = 20$ кэВ). Левая часть образца была закрыта маской

Magnetic domain structure of transformer steel Fe+3 wt % Si (a) before and (b) after irradiation with Ar^+ ($E = 20$ keV) ions. The left part of the sample was covered with a mask



РАЗРАБОТКА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА ВЫСОКОПРОЗРАЧНЫХ КЕРАМИК

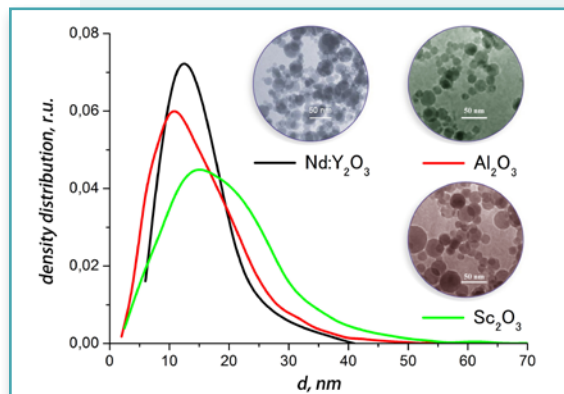
DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF TECHNOLOGIES FOR SYNTHESIS OF HIGHLY TRANSPARENT CERAMICS

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 insets show photos of nanoparticles after sedimentation



Synthesis of highly transparent ceramics is a priority area in designing solid-state lasers and in fabricating bulbs for high-pressure lamps, transparent armor, magneto-optics, scratch- and heat-resistant windows, wide-angle lenses, etc. Compared with single crystalline matrices, optical ceramics possess obvious advantages such as larger sizes, lower cost, shorter fabrication time and lower energy content, and make possible composite materials and higher density of active centers.

Патенты, авторские свидетельства, публикации

1. Composite Nd:YAG/Cr³⁺: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. Для приготовления мишеней грубые порошки смешиваются в нужной пропорции и предварительно спекаются до уровня прочности, достаточной для предотвращения разрушения под действием лазерного излучения. Нанопорошки производятся путём абляции (испарения) мишеней излучением лазера с последующей конденсацией паров в потоке несущего газа. После седиментации, прокаливания, смешивания и сушки порошки прессуются с использованием различных методов до уровня ~50% от рентгеновской плотности. Компакты спекаются в вакуумной печи при температурах 1700–2050 °C в течение 10–20 часов. После прокаливания, шлифовки и полировки образцы приобретают законченный вид и имеют плотность и прозрачность, близкие к теоретическим значениям.

Фотография полученных керамик

Photos of fabricated samples



The technology being developed at IEP can be divided into three stages: production of nanopowders, compaction, and sintering of compacts. For preparation of targets, coarse powders are mixed in required stoichiometry and then pre-sintered to a level of strength sufficient to avoid destruction under laser irradiation. Nanopowders are produced by laser ablation (evaporation) of targets followed by condensation of the vapor in air flow. After sedimentation, annealing, mixing, and drying, the powders are pressed using different methods to about 50% of the roentgen density. The compacts are sintered in a vacuum furnace at 1700–2050 °C for 10–20 h. After annealing, grinding and polishing, the samples have a finished appearance, and their density and transmittance are close to predicted values.

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

СИНТЕЗ ГИБРИДНЫХ НАНОЧАСТИЦ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВЗРЫВА ПРОВОЛОКИ

SYNTHESIS OF HYBRID NANOPARTICLES BY THE ELECTRICAL EXPLOSION OF WIRES



Установка ЭВП
EEW installation

Гибридные наночастицы со структурой металлическое ядро – функциональная оболочка представляют интерес из-за необычных свойств, позволяющих использовать их в качестве излучателей и сенсоров. В институте разработаны методики и необходимое оборудование для получения таких наночастиц. Формирование оболочек неорганической или органической природы толщиной 1–5 нм на поверхности наночастиц осуществляется в процессе получения нанопорошка методом электрического взрыва проволоки в контролируемой атмосфере.

Патенты, авторские свидетельства, публикации

1. Модификация активной поверхности нанопорошков железа, получаемых методом электрического взрыва проволоки / А.П. Сафронов, А.В. Багазеев, Т.М. Демина, А.В. Петров, И.В. Бекетов // Российские нанотехнологии. – 2012. – Т. 7, № 3–4. – С. 47–52.
2. Carbon deposition from aromatic solvents onto active intact 3d metal surface at ambient conditions / I.V. Beketov, G.V. Kurlyandskaya, A.P. Safronov, A.A. Chlenova, M.V. Kuznetsov, D.N. Baszin, M.B. Sanchez-Illarduya, A. Martinez-Amesti // Langmuir. – 2014. – Vol. 30, No. 11. – P. 3242–3253.
3. Способ получения нанопорошков оксида цинка, допированных медью, методом электрического взрыва проволоки : пат. 2465982 Рос. Федерация : МПК B22F 9/14 / Багазеев А.В., Сафонов А.П., Медведев А.И., Бекетов И.В.; заявитель и патентообладатель Институт электрофизики УрО РАН. – №2011129492; заявл. 15.07.11; опубл. 10.11.12, Бюл. № 31.

Hybrid nanoparticles of metal/functional-material core-shell structure are of interest because of the unusual properties that enable their use as emitters and sensors. Techniques and equipment for production of nanoparticles of this type have been developed at IEP. The formation of inorganic or organic coatings of thickness 1–5 nm on the surface of nanoparticles is realized in the process of producing a proper nanopowder by the electrical explosion of a wire in a controlled atmosphere.

Год разработки 2010–2015

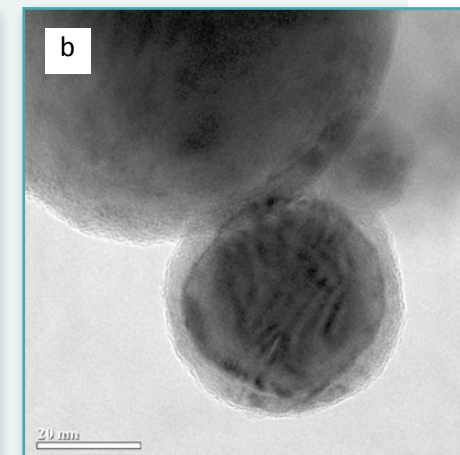
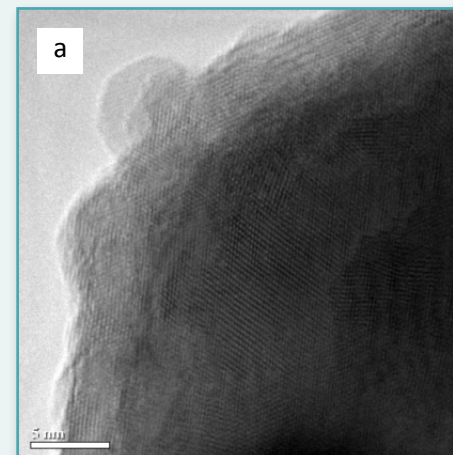
Контролируемые добавки газообразных реагентов в рабочий газ, а также нанесение реагента на взрываемую проволоку позволяют формировать на поверхности металлических частиц неорганические оболочки толщиной 1–5 нм, а также существенно понизить агрегацию частиц. Разработаны методики получения наночастиц металлов Al, Cu, Ni, Fe, Zn с оболочками из их оксидов, карбидов, нитридов, наночастиц цинка с покрытиями из ZnS и Zn_2SiO_4 . Отработано получение полимерных покрытий из полистирола, полиэтилена, толуола на поверхности наночастиц Fe, Ni, FeNi и Cu.

Организации-соисполнители

Институт естественных наук, Уральский федеральный университет (ИЕН УрФУ), г. Екатеринбург

Controlled addition of reactant gases to the working gas of the EEW installation and application of a required reagent on the exploded wire make it possible to form inorganic shells of thickness 1–5 nm on the surface of metal nanoparticles and to reduce aggregation of the nanoparticles. Procedures for producing nanoparticles of Al, Cu, Ni, Fe, and Zn with oxide, carbide, and nitride shells and nanoparticles of Zn with ZnS and Zn_2SiO_4 coatings have been developed. The production of polystyrene, polyethylene, and toluene polymer coatings on the surface of Fe, Ni, FeNi, and Cu nanoparticles has been worked out.

- (a) Оболочка из ZnS на поверхности частицы Zn;
(b) полистирол на поверхности частиц Fe
(a) ZnS coating on the surface of a Zn particle;
(b) polystyrene coating on the surface of a Fe particle



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 candidates for nuclear reactor claddings, cannot be welded by liquid-phase methods (arc and laser welding) without additional heat treatment. A promising joining method is high-speed impact welding. A technology of current interest, along with the well-known explosion welding, is magnetic pulse welding used to join aluminum and copper alloys and mild steels.

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. Спирин, 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, Vasily Krutikov, Sergey Pararin // Metal. Mater. Trans. A. – 2015. – Vol. 46, Iss. 7. – P. 3132–3139.

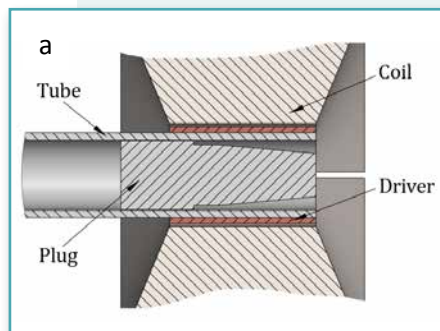


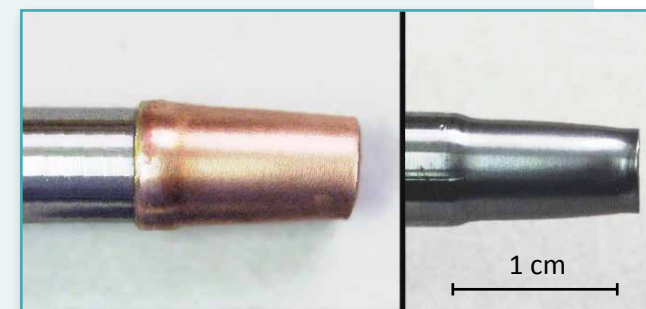
Схема магнитно-импульсной сварки (а) и фотография деталей: стальной трубы, соленоида, медного лайнера и заглушки (б)
Magnetic pulse welding scheme (a); view of the parts: steel tube, coil, copper driver, and plug (b)

Год разработки 2014–2015

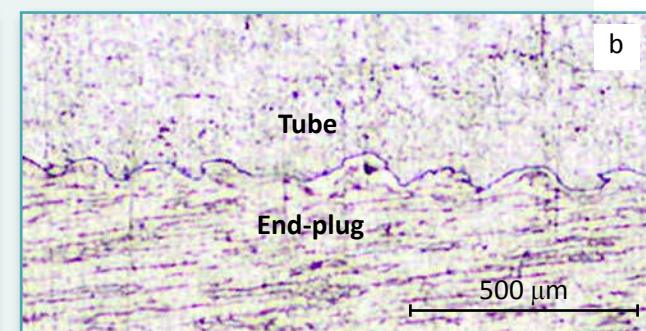
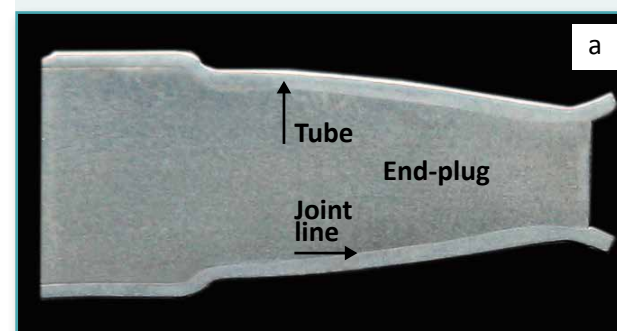
Магнитно-импульсным способом получены сварные соединения труба-заглушка для сталей, относящихся к ограниченно свариваемым. Оптимальная скорость соударения свариваемых поверхностей составила 300 м/с, скорость движения фронта контакта 3–3,5 км/с. При этом сохраняется однородная структура стали вблизи сварного 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 produced by the magnetic pulse method. The optimum impact speed of welded surfaces was 300 m/s; the contact interface velocity was 3–3.5 km/s. The steel structure in the vicinity of the weld seam remained uniform, containing areas of complete interpenetration of the two metals. Helium leak rate through the joint was less than 10^{-9} mbar $\times$ l/s; the mechanical strength of the joint exceeded that 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 (а) и микрофотография граничной области соединения (б) трубы с заглушкой (хромистая коррозионно-стойкая сталь)
Welded sample longitudinal section (a) and micrograph of the bonding interface (b) between a tube and a plug (chromium corrosion-resistant steel)



КИСЛОРОДНЫЙ НАСОС НА ТВЕРДОКСИДНОМ 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.

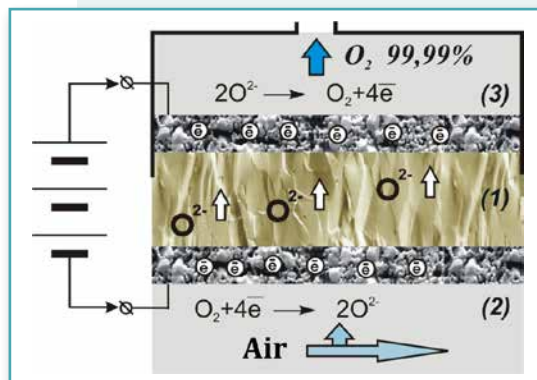
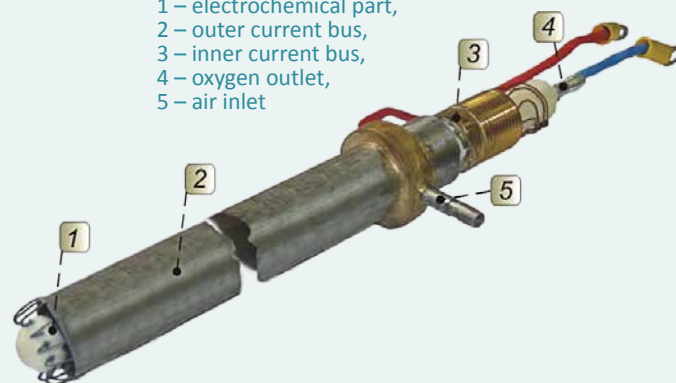
Принцип действия кислородного насоса с твердым электролитом. 1 – электролит, 2 – катод, 3 – анод

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

Oxygen pumps with solid-oxide electrolytes are characterized by high purity and sterility of the output oxygen and by quiet and reliable operation. Their operation principle is based on the electrolytic conductance due to oxygen ion transfer, which ensures almost reference purity of the output oxygen. Besides, their specific power consumption is less than that of distillation or adsorption columns intended for 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

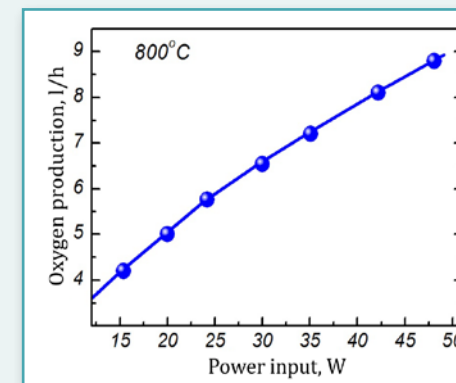


Макет высокотемпературного кислородного насоса не содержит драгоценных металлов. При формировании электрохимического элемента использованы методы лазерного испарения мишени для получения нанопорошков, литья полимер-керамических пленок, радиального магнитно-импульсного прессования и метод магнетронного напыления защитного покрытия на стальные токопроводы. Производительность насоса – 9 л/час при температуре 800 °C, плотности тока 1,1 А/см² и энергозатратах 5,3 Вт × час/л.

Патенты, авторские свидетельства, публикации

1. Развитие кислородных насосов на твердых оксидных электролитах / Д.А. Лялин, А.И. Груздев, А.С. Липилин, Ал.А. Ремпель, А.В. Никонов, А.В. Спирин. // Альтернативная энергетика и экология. – 2008. – №10. – С. 51–57.
2. Solid Oxide Electrolyte Based Oxygen Pump / A. Spirin, A. Lipilin, V. Ivanov, S. Paragin, A. Nikonov, V. Khrustov, D. Portnov, N. Gavrilov, A. Mamaev // Advances in Science and Technology. – 2010. – V. 65. – P. 257–262.

Макет генератора кислорода и его производительность по кислороду в зависимости от затрачиваемой мощности при 800°C
Oxygen pump prototype and its oxygen production rate vs dependence on power input at 800°C



ТРЕХМЕРНЫЕ ФОТОННЫЕ РЕШЕТКИ, СИНТЕЗИРОВАННЫЕ МЕТОДОМ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ ЛИТОГРАФИИ

THREE-DIMENSIONAL PHOTONIC LATTICES SYNTHESIZED BY INTERFERENCE LITHOGRAPHY

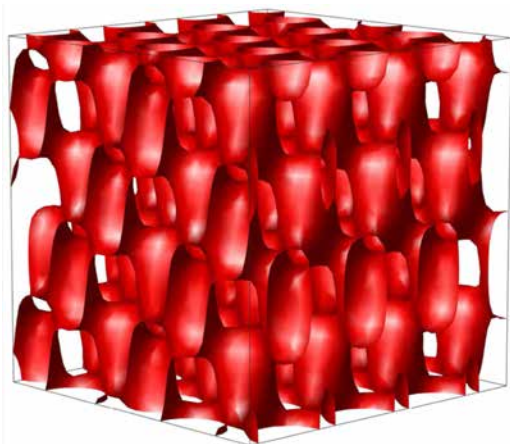
Компьютерное моделирование зонной структуры в трехмерных фотонных структурах показало, что для получения структур с запрещенной зоной в видимой области спектра необходим материал с более высоким показателем преломления, чем у фоточувствительного материала. В результате появилась возможность экспериментально реализовать матрицы фотонных структур, которые могут быть использованы для создания фотонных кристаллов с запрещенной зоной в видимой области спектра.

A computer simulation of the band structure of three-dimensional photonic structures, which can be prepared by interference lithography with triple exposure to two interfering light beams, has shown that to obtain a photonic bandgap structure in the visible spectrum, the refractive index of the material should be higher than that of a photosensitive material. Matrices of photonic structures that can be used to fabricate photonic bandgap crystals in the visible spectrum have been experimentally realized.

Патенты, авторские свидетельства, публикации

1. Kundikova N.D. Rhombohedral photonic crystals by triple-exposure interference lithography: Complete photonic band gap / N.D. Kundikova, Y.V. Miklyaev, D.G. Pikhulya // Opt. Commun. – 2012. – Vol. 285, № 6. – P. 1238–1241.
2. Isakov D.S. Interference lithography for the synthesis of three-dimensional lattices in SU-8: Interrelation between porosity, an exposure dose and a grating period / D.S. Isakov, N.D. Kundikova, Y.V. Miklyaev // Opt. Mater. – 2015. – Vol. 47. – P. 473–477.

Смоделированная трехмерная фотонная структура
The simulated three-dimensional photonic structure



Год разработки 2012–2016

Условия для создания запрещенной зоны максимальной ширины при различных контрастах показателя преломления были получены в результате оптимизации геометрии интерферирующих лазерных пучков. Предсказано, что величина порогового значения показателя преломления, необходимого для открытия зоны при использовании этого метода синтеза фотонных кристаллов достигает величины 2.14, т.е. близкой к пороговым показателям преломления наиболее известных структур. Экспериментально исследована взаимосвязь между пористостью, дозой облучения и периодом решетки. Установлено, что для уменьшения периода решетки необходимо снижать плотность поглощенного излучения, однако, уменьшение периода решетки в свою очередь приводит к сужению диапазона доз облучения, необходимых для получения пористых структур.

Using geometry optimization, the best conditions for providing the widest band gaps at different refractive index contrasts have been found. The refractive index threshold for gap opening in photonic crystals synthesized by this method has been predicted to be 2.14. This value is close to the refractive index thresholds of the best-known structures. The interrelations between porosity, exposure dose, and lattice constant were investigated. It was found that to reduce the lattice constant requires decreasing absorbed radiation dose. However, the smaller the lattice constant, the narrower the range of irradiation doses required to produce porous structures.

Экспериментально полученная структура
The experimentally obtained structure

