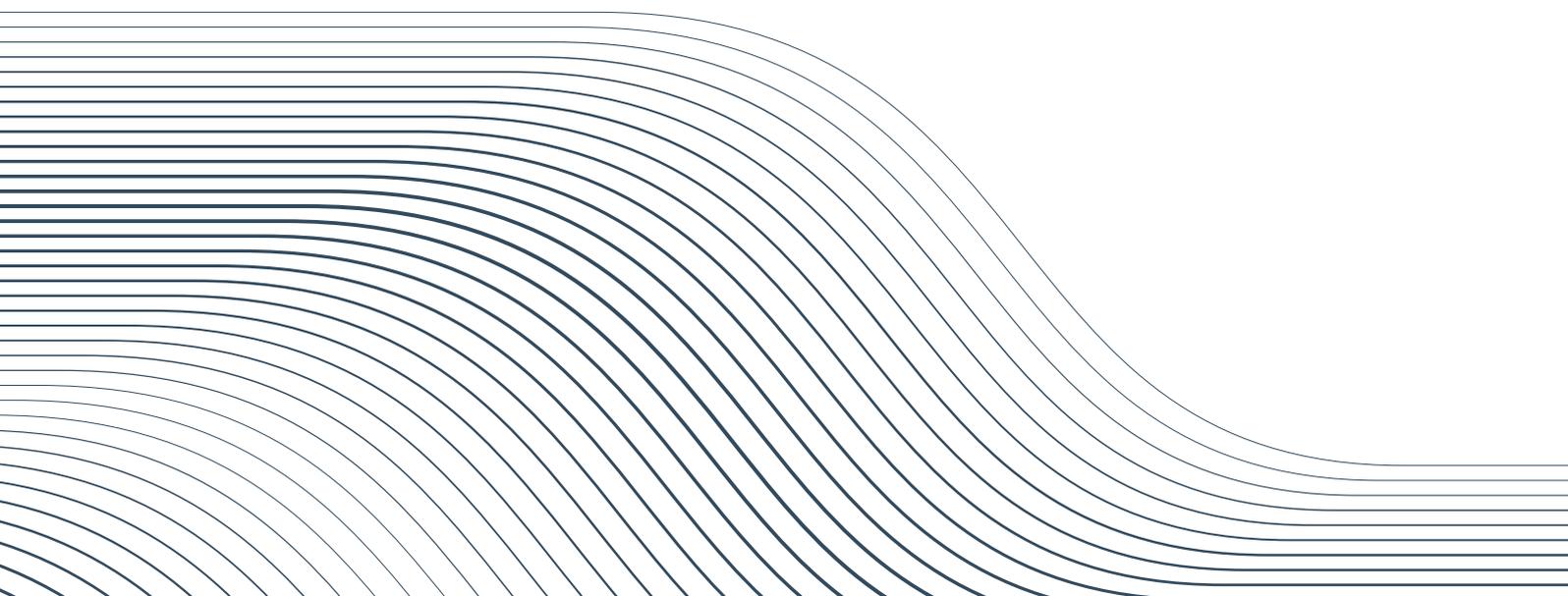




МИСИС
УНИВЕРСИТЕТ

ЦЕНТР ТРАНСФЕРА ТЕХНОЛОГИЙ
Платформа открытых инноваций

ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ



СОДЕРЖАНИЕ:

«ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

Научно-исследовательская и инновационная деятельность НИТУ МИСИС направлена на решение широкого круга задач современной атомной промышленности, обеспечивающих в том числе:

- создание новейших полупроводниковых устройств и датчиков;
- разработку магнитных материалов и технологий их производства;
- новейшие решения для водородной энергетики;
- разработку технологий для машиностроения в атомной отрасли.

В сборнике приведены отдельные результаты, иллюстрирующие проводимые работы в интересах развития атомного комплекса страны. Глубокие компетенции научных групп НИТУ МИСИС в области материаловедения, металлургии, определяющие лидирующие позиции университета в стране и в мире, практический опыт внедрения этих решений в промышленности позволяют ученым университета эффективно применять свои знания для решения задач современной атомной отрасли.

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ УСТРОЙСТВА И ДАТЧИКИ

1. Прибор для измерения времени восстановления обратного тока диодов и транзисторов в микросекундном диапазоне	5
2. Солнечно-слепые датчики ультрафиолета на основе Ga ₂ O ₃	6
3. Исследование электрически активных точечных и протяженных дефектов в новом широкозонном полупроводнике альфа- и бета-Ga ₂ O ₃ , гетероструктурах и мембранах на их основе	7
4. Исследование дефектных состояний, влияющих на характеристики приборов в оксиде галлия, нитриде галлия, перовскитах	8
5. Новые радиационные явления в оксиде галлия и их применение в приборах	9
6. Преобразователь ионизирующих излучений с сетчатой объемной структурой для автономных источников питания	10
7. Термоэлектрохимический преобразователь с водным электролитом	11
8. Нанокompозитные материалы на основе металлических псевдосплавов для контактов переключателей мощных электрических сетей	12

МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

9. Магнитомягкий аморфный материал на основе Fe-Ni в виде ленты	13
10. Аморфные и нанокристаллические материалы с высокой магнитной индукцией и низкими потерями энергии.....	14
11. Спеченные редкоземельные постоянные магниты на основе сплавов системы (Nd,Pr)-Fe-B и технология их производства.....	15
12. Способ получения пленок феррита	16

РЕШЕНИЯ ДЛЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

13. Перспективные газопоглотители и сорбенты водорода на основе титановых сплавов и LaNi ₅ для электровакуумных устройств и генераторов энергии	17
14. Композиционные материалы для хранения и очистки водорода	18
15. Прототип водородной аккумуляторной батареи.....	19
16. Полностью оптический газовый сенсор водорода на основе кольцевого микрорезонатора из нитрида кремния.....	20

ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ В АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

17. Адаптация изделий, спроектированных для традиционного производства, под изготовление методом аддитивных технологий21
18. Слоистые наноструктурированные композиты с высокой прочностью22
19. Новый материал для конструкции устройства локализации расплава атомных реакторов ВВЭР нового поколения23
20. Трехслойные материалы на основе сплава ванадия и коррозионностойкой стали для оболочек твэлов реакторов 24
21. Моделирование процессов и разработка технологий деформационно-термической обработки композиционных материалов25
22. Ультравысокотемпературная керамика на основе высокоэнтропийных карбидов (ВЭК) переходных металлов IV-VI групп для работы в экстремальных условиях26

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ УСТРОЙСТВА И ДАТЧИКИ

1. ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОБРАТНОГО ТОКА ДИОДОВ И ТРАНЗИСТОРОВ В МИКРОСЕКУНДНОМ ДИАПАЗОНЕ

Назначение:

Разработанный прибор может быть использован на производстве силовых полупроводниковых устройств: диодов, тиристоров, транзисторов

Новизна:

- Прибор позволяет измерять время восстановления обратного тока в выпрямительных силовых диодах на основе монокристаллического кремния
- Устройство, объединяющее в себе генератор импульсов, задатчик тока, измеритель сигнала и оцифровывающее устройство – замкнутый прибор, обеспечивающий полноценное измерение диодных структур

Преимущества:

- Прибор позволяет производить измерения как в классическом режиме, когда фиксируется только время переключения, так и в модифицированном, когда регистрируется полная кривая релаксации тока переключения
- По температурной зависимости характерного времени релаксации можно определить энергию активации примеси, ответственной за данный дефект в кристаллической решётке измеряемого материала
- Характерные времена измерения находятся в пределах от единиц микросекунд до сотен миллисекунд
- При необходимости измерять более высокоскоростные приборы можно использовать внешний генератор импульсов, который даст возможность измерять времена переключения до сотни наносекунд. Прямой ток ограничен величиной в 0,5 Ампер

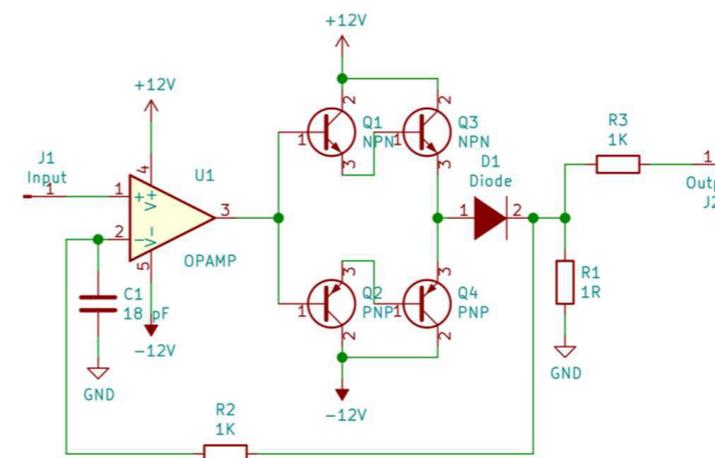


Рис. 1 Электрическая схема устройства на основе сборки Дарлингтона

Уровень разработки технологии: TRL5

Патент на полезную модель №221534 от 05.06.2023
«Прибор для измерения времени восстановления обратного тока в выпрямительных диодах»

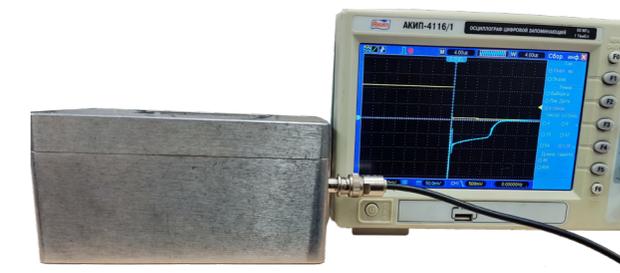


Рис. 2 Прибор для измерения времени восстановления обратного тока диодах

2. СОЛНЕЧНО-СЛЕПЫЕ ДАТЧИКИ УЛЬТРАФИОЛЕТА НА ОСНОВЕ Ga_2O_3

Назначение:

Материал может стать основой для солнечно-слепых ультрафиолетовых датчиков. Однако этому применению мешает огромное время релаксации, порядка нескольких десятков секунд. Определение природы этого замедления может позволить существенно ускорить регистрацию ультрафиолетового излучения

Новизна:

В проекте, который носит существенно фундаментальный характер, проведены исследования, определяющие роль самозахвата фотоиндуцированных дырок в материале. Показано, что захват имеет место в первую очередь на собственных точечных дефектах, вроде вакансий галлия. Пассивация таких вакансий может помочь устранить подобный эффект в дальнейшем и получить более высокочувствительные ультрафиолетовые сенсоры

Преимущества:

- Солнечно-слепые датчики ультрафиолета на основе Ga_2O_3 уже показывают существенно более качественные результаты, и решение проблемы замедленной фотопроводимости позволит начать производство этого нового типа прибора
- Решает проблемы ранее производимых ультрафиолетовых сенсоров на основе монокристаллического кремния, обладающих двумя существенными минусами:
 - монокристаллический кремний, как и многие другие полупроводники, чувствителен к оптическому, т.е. видимому излучению, а значит для их нормальной работы необходимо использовать светофильтры
 - чувствительность к ультрафиолету у материалов с шириной запрещённой зоны менее 3 эВ и без того достаточно низка, а использование светофильтров уменьшает её ещё сильнее

Уровень разработки технологии: TRL1

Свидетельство номер 2023683573 от 27.10.2023 – Программа для ЭВМ, реализующая декомпозицию мультиэкспоненциального спектра на моноэкспоненциальные кривые методами логарифмической производной

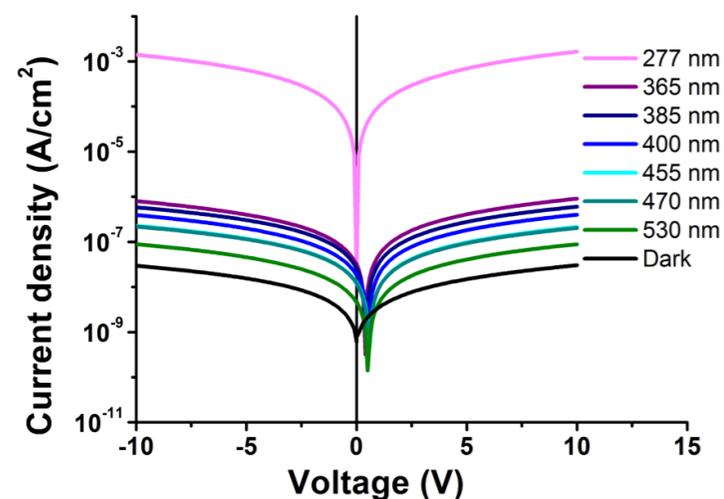


Рис. Зависимость тока от напряжения для диодов на основе $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$. При освещении видимым излучением ток очень мал, но при засветке ультрафиолетом (277 нм) возрастает на порядки. Материалы, которые используются в качестве детекторов ультрафиолетового излучения, обладают меньшей шириной запрещённой зоны, поэтому сигнал от видимого излучения у них на порядки больше, и приходится фильтровать их специальными покрытиями. Оксид галлия является истинным солнечно-слепым материалом и в сложных фильтрах и покрытиях не нуждается

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ТОЧЕЧНЫХ И ПРОТЯЖЕННЫХ ДЕФЕКТОВ В НОВОМ ШИРОКОЗОННОМ ПОЛУПРОВОДНИКЕ АЛЬФА- И БЕТА- Ga_2O_3 , ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ И МЕМБРАНАХ НА ИХ ОСНОВЕ

Назначение:

Применение в новом перспективном широкозонном полупроводнике – оксиде галлия.

Новизна:

- Впервые получены толстые (толщина до 100 мкм) слои $\kappa\text{-Ga}_2\text{O}_3$ достаточно высокого совершенства с помощью метода HVPE на темплейтах GaN/sapphire, приготовлены диоды Шоттки с малыми утечками
- Обнаружено, что концентрация доноров в глубине толстых образцов близка к 10^{15} см^{-3} , но в верхнем слое глубиной около 2 мкм очень мала из-за сильной компенсации глубокими акцепторами с уровнем около 0,7 эВ от края зоны проводимости. Эти центры ответственны за низкие проводимости в плоскости роста и низкую фоточувствительность, часто наблюдаемые для тонких плёнок $\kappa\text{-Ga}_2\text{O}_3$
- Ведутся работы по получению плёнок Ga_2O_3 методом mist-CVD, получены отечественные прекурсоры для этого процесса, проведены первые ростовые эксперименты

Преимущества:

- $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ попал в область пристального внимания исследователей совсем недавно в силу ряда своих преимуществ:
- ширина запрещенной зоны у этой фазы больше
- структура более высокосимметричная, типа корунда, что делает возможным получение высококачественных слоев на стандартных сапфировых подложках
- обе фазы оксида галлия имеют свои достоинства, что делает этот материал сильным конкурентом современным доминантам полупроводникового материаловедения: кремнию, карбиду кремния, нитриду галлия, особенно в области высоковольтной и радиационно-стойкой электроники

Уровень разработки технологии: TRL1

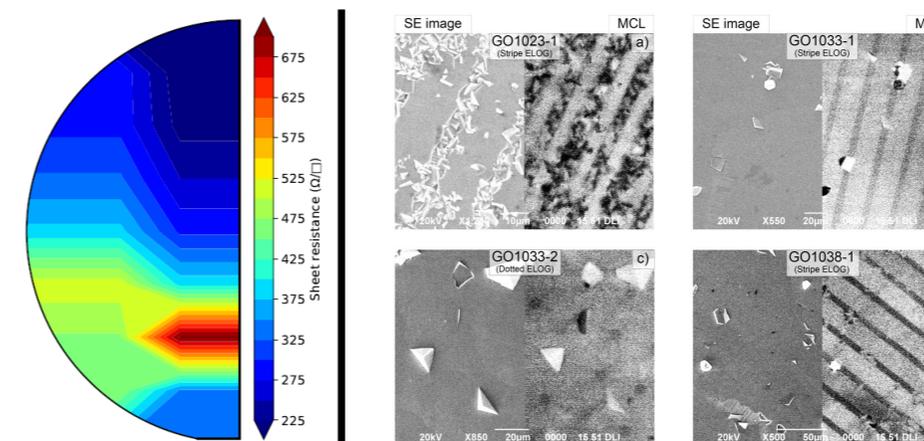


Рис. Карта распределения удельного сопротивления по площади двухдюймовой пластины $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$

4. ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФЕКТНЫХ СОСТОЯНИЙ, ВЛИЯЮЩИХ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИБОРОВ В ОКСИДЕ ГАЛЛИЯ, НИТРИДЕ ГАЛЛИЯ, ПЕРОВСКИТАХ

Назначение:

Оптоэлектроника. Для использования в силовых приборах и солнечно-слепых фотоприёмниках в дальней УФ области спектра, в перовскитных структурах для создания эффективных солнечных батарей

Новизна:

- Впервые разработаны методы анализа спектров глубоких центров в светодиодных структурах на основе квантовых ям GaN/InGaN, излучающих в синей и зелёной областях спектра, впервые изучены глубокие центры, образующиеся при приготовлении микросветодиодов и светодиодов с наностолбиками с помощью сухого травления и установлена природа дефектов, уменьшающих эффективность по сравнению с планарными светодиодами
- Проведены систематические исследования спектров глубоких центров в объёмных кристаллах широкозонного b-Ga₂O₃, легированных Sn и железом, в эпитаксиальных плёнках b-Ga₂O₃, легированных кремнием, изучено влияние обработки в водородной плазме и аргоновой плазме, облучения протонами различных энергий, альфа-частицами, быстрыми нейтронами на электрические характеристики, спектры глубоких центров, спектры и величину фоточувствительности фотоприёмников на основе этого материала, изучено влияние анизотропии кристаллической структуры моноклинного b-Ga₂O₃ на характеристики и их поведение при различных обработках
- Разработаны методы, позволяющие разделить вклад подвижных ионов и обычных электронных состояний в процессах, определяющих характеристики перовскитных структур, установлен значительный вклад подвижных ионов в кинетику изменений параметров таких солнечных батарей

Преимущества:

- Возможность выявить дефекты, ответственные за эффективность электролюминесценции планарных светодиодов, токи утечки структур, влияние облучения электронами, за деградацию характеристик при уменьшении размеров микросветодиодов и светодиодов с наностолбиками
- Для b-Ga₂O₃ установлены спектры основных глубоких центров, присутствующих в выращенных структурах и образующихся при различных обработках
- Для перовскитов развиты методы анализа электрических характеристик, позволяющие выявить вклад подвижных ионов в формирование электрических и фотоэлектрических свойств перовскитных солнечных батарей

Уровень разработки технологии: TRL1

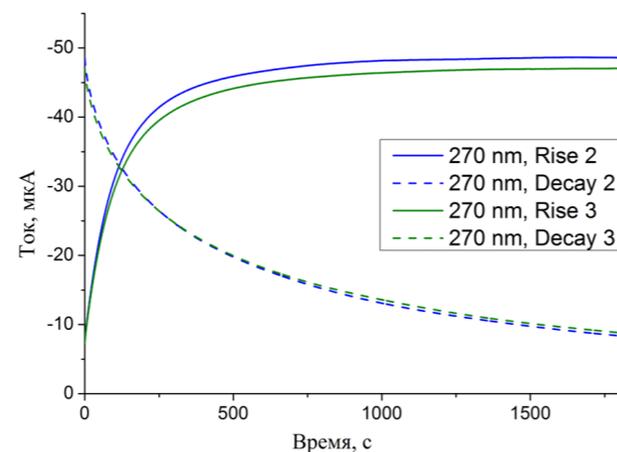


Рис. При использовании в качестве солнечно-слепых фотодетекторов одним из важнейших недостатков приборов на основе оксида галлия в настоящее время является крайне низкая скорость реакции на освещение. Она достигает десятков и даже сотен секунд. На приведённом графике видно, что характерные времена нарастания и спада фототока могут достигать сотен секунд

5. НОВЫЕ РАДИАЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ОКСИДЕ ГАЛЛИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ПРИБОРАХ

Назначение:

Оптоэлектроника. Исследование природы новых явлений, возникающих в кристаллах, плёнках, приборах на основе различных полиморфов Ga₂O₃ при их обработке в плазме различных газов, при облучении протонами разных энергий, при имплантации различных ионов

Новизна:

- Впервые продемонстрирована сильная анизотропия эффектов, наблюдаемых при обработке кристаллов и плёнок b-Ga₂O₃ в водородной плазме
- Облучение плёнок b-Ga₂O₃ различными дозами ионов кислорода позволили управляемо изменять концентрацию мелких доноров, являющихся комплексами акцепторных вакансий галлия, вводимых облучением, с четырьмя ионами водорода
- Установлено, что при имплантации кристаллов b-Ga₂O₃ (в нашем случае галлия) полиморф g-Ga₂O₃ образуется на поверхности имплантированного слоя вместо обычной для многих полупроводников аморфизации слоя
- Впервые обнаружено образование слоёв с высокой дырочной проводимостью на гетерогранице k-Ga₂O₃/n-GaN, k-Ga₂O₃/AlN, объяснённая разницей в спонтанной электрической поляризации k-Ga₂O₃, GaN, AlN, которая приводит к формированию слоя двумерного дырочного газа на гетерогранице со стороны r-Ga₂O₃

Преимущества:

Использование слоёв двумерного дырочного газа на гетерогранице k-Ga₂O₃ с AlN, GaN имеет практическое значение, т.к. существует трудность создания высококачественных омических контактов к метастабильным полиморфам с помощью стандартных методов, отсутствуют надёжные подходы к получению проводимости p-типа в Ga₂O₃

Внедрение:

Результаты экспериментальных работ по снижению пыления углей в рабочей зоне при их обработке на конвейере полимерной эмульсией на основе латекса используются ООО «Разрез Аршановский»

Уровень разработки технологии: TRL1

Программы для ЭВМ, на которые поданы заявки на патент:

- 1) №2022668164 от 04 октября 2022 г. «Программа анализа данных релаксационной спектроскопии глубоких уровней методом обратного преобразования Лапласа», Заявка на патент №2022667433 от 23.09.2022
- 2) №2023682991 от 01 ноября 2023 г. «Программа численного моделирования эффективности сбора наведенного тока в полупроводниковых структурах», Заявка на патент №2023681456 от 18.10.2023

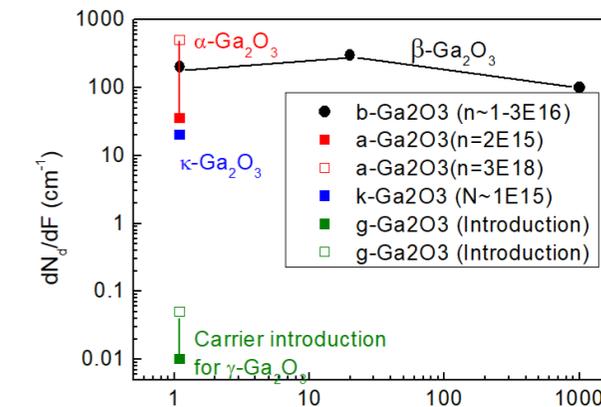


Рис. Скорости изменения концентрации электронов в различных полиморфах Ga₂O₃ при облучении протонами

6. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ С СЕТЧАТОЙ ОБЪЕМНОЙ СТРУКТУРОЙ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Назначение:

- в медицине — для имплантированных датчиков и стимуляторов, которые устанавливаются непосредственно в сердце (кардиостимуляторы без повторных операций)
- для датчиков, встраиваемых в строительные конструкции, для энергопитания метеостанций, устанавливаемых в труднодоступных регионах
- в космической технике, в качестве вспомогательных источников электроэнергии в навигационных спутниках
- в оборонной промышленности: в микророботехнике в качестве источника питания аппаратов, как наземного применения, так и летательных микроаппаратах для ведения разведки и выполнения других тактических задач

Новизна:

Оригинальная конструкция преобразователя и технология его изготовления, в которой реализуется максимально большая излучающая поверхность изотопа при минимальной площади высококачественного планарного горизонтального p-n перехода. Это обстоятельство позволяет минимизировать темновой ток и соответственно увеличить напряжение холостого хода и удельную мощность

Преимущества:

- повышение, не менее чем в 8 раза, эффективности (КПД) преобразования энергии, выделяющейся при распаде β -источника, в электроэнергию, что позволит в перспективе снизить себестоимость источника примерно на 50% за счет более экономичного расходования дорогостоящего радиоизотопа с высокой степенью обогащения
- увеличение на 50% удельной мощности, что снизит на треть массогабаритные показатели элементов питания батарей на их основе с сохранением требуемого уровня выходной мощности
- усиление уровней эксплуатационной надежности за счет использования преобразователей с длительным сроком службы (более 20 лет) на основе радиационно-стойких материалов

Внедрение:

Акционерное общество «Оптрон» в качестве полупроводникового преобразователя

Уровень разработки технологии: TRL3

Патент № 2659618 от 03.07.2018 «Преобразователь ионизирующих излучений с сетчатой объемной структурой и способ его изготовления»

Ноу-хау 20-035-2016 ОИС от 15.09.2016 «Технология создания 3D кремниевого преобразователя»



Рис. 1 Автономный источник питания

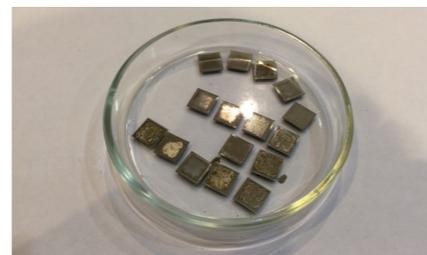


Рис. 2 Тестовые образцы преобразователя ионизирующих излучений с сетчатой объемной структурой

7. ТЕРМОЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С ВОДНЫМ ЭЛЕКТРОЛИТОМ

Назначение:

Может применяться как альтернативный источник электрической энергии или как средство рекуперации бросовой тепловой энергии в виде электрической энергии при протекании процессов с выделением тепла и температурой доступных поверхностей до 100 °С. Может быть применен как основной источник энергии в системах микроэлектроники при обеспечении навигации и мониторинга в условиях затрудненной электрификации, для повышения КПД тепловых процессов в промышленности, ЖКХ и быту

Новизна:

Использование водных электролитов на основе доступных химических веществ, использование катализатора окислительно-восстановительных процессов и модификаторов электролита, снижающих сопротивление и повышающих коэффициент Зеебека. Таким образом можно получать преобразователи тепловой энергии в электрическую с удельной мощностью до 115 мВт/м² при разнице температур на ячейке в 10 °С

Преимущества:

Технология превосходит существующие технологии преобразования теплоты в электричество по следующим параметрам:

- Диапазон рабочих температур в области 0°С – 100°С
- Доступность материалов и простота промышленного процесса
- Эластичность и возможность применения в системах с непостоянной или сложной геометрической формой

Уровень разработки технологии: TRL2

Заявка на патент № 2022107343 «Термоэлектрохимический преобразователь с водным электролитом» от 21.03.2022

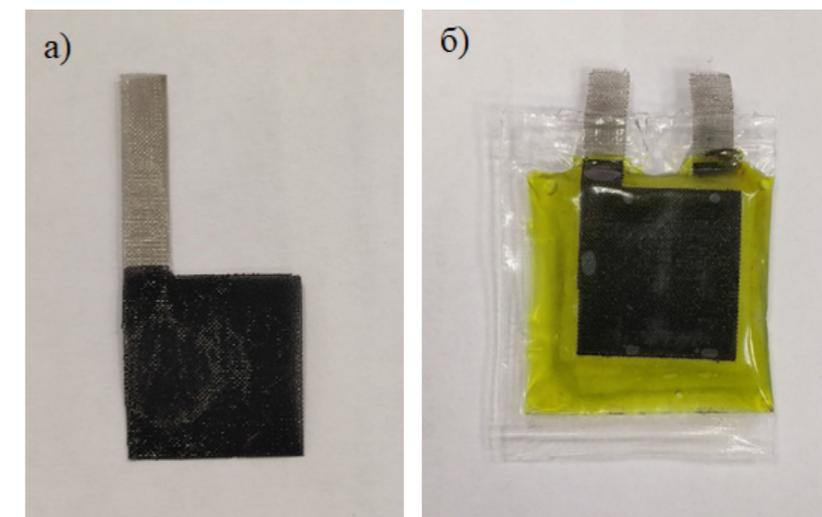


Рис. Электродные материалы (а) и термоэлектрохимическая ячейка (б)

8. НАНОКОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПСЕВДОСПЛАВОВ ДЛЯ КОНТАКТОВ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕЙ МОЩНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Назначение:

Для контактов в переключателях мощных электрических сетей, работающих в условиях больших токов и высоких напряжений, с целью повышения их энергоэффективности, экономичности и надежности (ЛЭП, электростанции, распределительные подстанции, метро, троллейбусные и трамвайные электрические сети, железнодорожные электрические сети, электроды искровых разрядников, электроискровая обработка, авиакосмическая техника, теплонапряженные детали ракетных двигателей и других частей летательных аппаратов)

Новизна:

- Наноконпозиционный электроконтактный материал представляет собой наноконкомпозит, состоящий из кластеров на основе тугоплавких частиц размером менее 5 нм, распределенных в частично разупорядоченной матрице
- Возможность регулирования структуры получаемого материала. Регулируя размер тугоплавких включений, можно менять основные характеристики материала. Можно получать плотный материал с диапазоном удельного электросопротивления 5–12 мкОм·см. Увеличивая время обработки можно получать материалы с разными свойствами. При увеличении температуры в кристаллических материалах происходит рост зерна, что приводит к уменьшению площади границ и росту электропроводности и падению твердости

Преимущества:

- Увеличение срока службы вакуумных дугогасительных камер
 - Снижение риска преждевременного выхода переключателей из строя из-за контактной сварки
 - Понижение энергопотери при использовании таких устройств в мощных электрических сетях
- Характеристики: Плотность до 99%; Твёрдость по Виккерсу 2,5 – 11 Гпа; Электросопротивление 7-10 мкОм·см

Уровень разработки технологии: TRL6

Патент №2645855 от 28.02.2018 «Способ получения электроконтактных материалов на основе меди с иерархической структурой»

Патент №2706013 от 13.11.2019 «Наноконкомпозитные материалы на основе металлических псевдосплавов для контактов переключателей мощных электрических сетей с повышенными физико-механическими свойствами»



Рис. Наноконкомпозитные материалы на основе металлических псевдосплавов для контактов переключателей мощных электрических сетей

МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

9. МАГНИТОМЯГКИЙ АМОРФНЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ Fe-Ni В ВИДЕ ЛЕНТЫ

Назначение:

Магнитомягкие материалы для электронных и электротехнических устройств. Например, магнитопроводы высокочастотных трансформаторов, дросселей, катушек индуктивности, магнитные экраны и другие электротехнические устройства, работающие в широком диапазоне частот (до 200 кГц) и малых магнитных полях

Новизна:

- Магнитомягкий аморфный материал на основе системы Fe-Ni в виде ленты содержит фосфор, бор, кремний и углерод
- Разработанный материал отличается высокой технологичностью, что достигается за счет высокой стеклообразующей способности и простоты термической обработки
- Материал имеет аморфную структуру, намагниченность насыщения более 0.74 Тл, начальную магнитную проницаемость более 42000 при частоте 1 кГц и коэрцитивную силу менее 1.1 А/м
- Для достижения заявленных свойств к аморфному материалу применяется термическая обработка при температурах ниже температуры расстеклования сплавов

Преимущества:

- Низкая стоимость изделий за счет использования недорогих легирующих элементов и простой термической обработки
- Высокая технологичность материалов, обеспеченная высокой стеклообразующей способностью и термической стабильностью аморфной структуры материалов
- Магнитные характеристики сопоставимы с аморфными материалами на основе более дорогих аналогов
- Широкий температурно-временной интервал режимов термической обработки позволяет получать среднегабаритные изделия из данного материала

Уровень разработки технологии: TRL2

Патент №2794652 от 24.04.2023 «Магнитомягкий аморфный материал на основе Fe-Ni в виде ленты»

Материал	Температура расстеклования T_g (К)	Температура Кюри T_c (К)	Коэрцитивная сила H_c (А/м)	Намагниченность насыщения M_s (Тл)	Начальная магнитная проницаемость μ при 1 кГц
Fe4Ni6	694	493	1.10	0.74	42000
Fe5Ni5	702	569	0.60	0.95	58000
Fe6Ni4	723	601	1.10	0.98	51000

Рис. Температуры расстеклования сплавов и магнитные свойства после оптимальной термообработки

10. АМОРФНЫЕ И НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ С ВЫСОКОЙ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИЕЙ И НИЗКИМИ ПОТЕРЯМИ ЭНЕРГИИ

Назначение:

Энергоэффективные материалы в сердечниках трансформаторов и дросселей, катушек индуктивности и для устройств, использующих эффект магнитной индукции в электротехнической и электронной промышленности

Новизна:

- Разработаны новые составы магнитомягких материалов на основе железа: содержат бор, фосфор, кремний, молибден и медь
- Имеют нанокристаллическую структуру с размером зерна 10–20 нм, намагниченность насыщения 1,8 Тл и более и коэрцитивную силу в диапазоне 2–15 А/м
- Высокий уровень физических свойств: низкая коэрцитивная сила, высокая намагниченность насыщения, высокое электрическое сопротивление
- Новые материалы получены на основе сплавов с аморфной структурой, подвергнутых термической обработке для формирования нанокристаллов

Преимущества:

- Сплавы обладают высочайшими значениями индукции насыщения (до 1.8Т) в сочетании с крайне низкими значениями коэрцитивной силы (менее 5 А/м)
- Нанокристаллическая структура сплавов позволяет использовать их при частотах до 65 кГц без снижения магнитных характеристик
- Внедрение разработанных материалов увеличит эффективность электроустройств за счет снижения потерь энергии при ее передаче и трансформации

Уровень разработки технологии: TRL3

Патент № 2703319 от 21.12.2018г. «Магнитомягкий нанокристаллический материал на основе железа»



Рис. Магнитомягкий материал на основе железа, содержащий бор, фосфор, кремний, молибден и медь

11. СПЕЧЕННЫЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ПОСТОЯННЫЕ МАГНИТЫ НА ОСНОВЕ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ (Nd,Pr)-Fe-B И ТЕХНОЛОГИЯ ИХ ПРОИЗВОДСТВА

Назначение:

Возможно изготавливать компактные магнитные системы, в том числе, электродвигатели большей мощности, но меньших размеров и массы

Новизна:

Группа магнитотвёрдых материалов с магнитной энергией 320 – 400 кДж/м³ (40 – 50 МГцЭ) и коэрцитивной силой по намагниченности 10 – 15 кЭ (800 – 1200 кА/м) отличается экстремально высокими гистерезисными свойствами

Преимущества:

Для изготовления высокоэнергетических спеченных редкоземельных магнитов разработаны и апробированы:

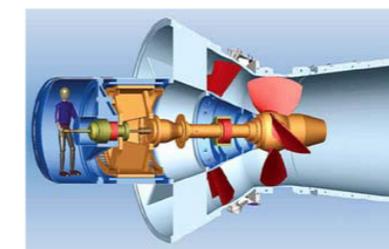
- составы базовых сплавов системы (Nd,Pr)-Fe-B для высокоэнергетических спеченных постоянных магнитов
- композиции смесей сплавов на основе сплавов системы (Nd,Pr)-Fe-B
- составы двух групп сплавов-добавок на основе сплавов с лёгкими и тяжёлыми РЗМ
- технология получения высокоэнергетических постоянных магнитов на основе сплавов системы (Nd,Pr)-Fe-B с экстремально высокими гистерезисными свойствами

Преимущество:

Повышенная коррозионная стойкость, что улучшает технологичность магнитов и существенно смягчает условия их эксплуатации

Уровень разработки технологии: TRL3-4

Патент №2174261 от 26.12.2000 «Материал для редкоземельных постоянных магнитов и способ его получения»



12. СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛЕНОК ФЕРРИТА

Назначение:

Изобретение относится к СВЧ-микроэлектронике, а точнее к технологиям синтеза анизотропных (с осью легкого намагничивания, направленной перпендикулярно поверхности) пленок $BaFe_{12}O_{19}$ методами осаждения из газовой фазы. Такие пленки могут быть использованы при разработке планарных невзаимных СВЧ-устройств с эффектом самосмещения и в устройствах спинтроники в качестве магнитного диэлектрика

Новизна:

1. Используется монокристаллическая подложка Al_2O_3 кристаллографической ориентации (001)
2. Подложка в процессе напыления подогрета до температуры $300-350^{\circ}C$
3. Процесс напыления пленки прерывается каждые 70-90 нм, после чего осуществляется выдержка пленки в течение 5 мин при температуре подложки
4. Количество напыленных слоев 70-90 нм определяется необходимой толщиной пленки
5. Кристаллизационный отжиг осуществляется на воздухе при температуре $800-900^{\circ}C$ в течение 1-3 час

Преимущества:

- Получение толстых (толщина ~ 1 мкм и более) анизотропных пленок гексагональных ферритов $BaFe_{12}O_{19}$ с направлением магнитного момента перпендикулярно плоскости пленки

Уровень разработки технологии: TRL7

Патент №2790266 от 15.02.2023 «Способ получения пленок феррита»

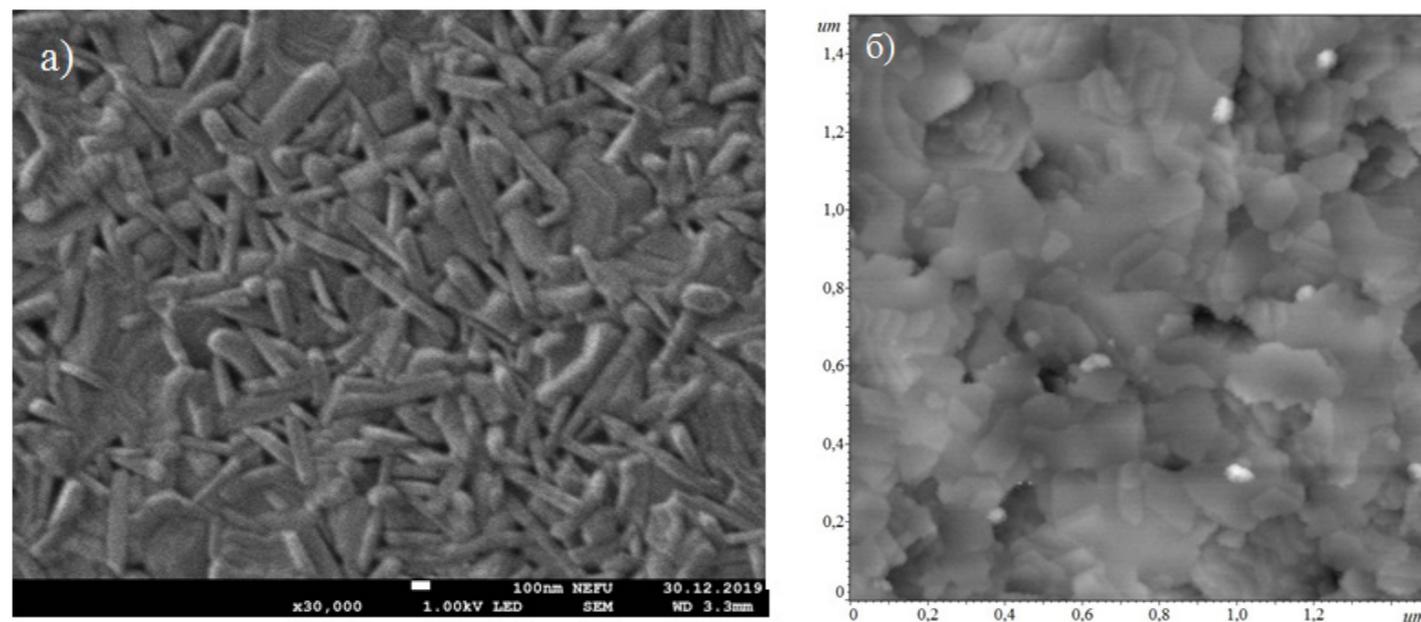


Рис. Микроструктура пленок, полученных без прерывания напыления (а) и с применением запатентованной технологии (б)

РЕШЕНИЯ ДЛЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

13. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ГАЗОПОГЛОТИТЕЛИ И СОРБЕНТЫ ВОДОРОДА НА ОСНОВЕ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ И $LaNi_5$ ДЛЯ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ УСТРОЙСТВ И ГЕНЕРАТОРОВ ЭНЕРГИИ

Назначение:

Сплавы-накопители водорода, из них:

- (а) Газопоглотители (геттеры)
- (б) Сорбенты водорода

Новизна:

Получены новые сплавы для применения в качестве газопоглотителя с улучшенными свойствами, в том числе по скорости сорбции водорода и температуре активации:

- $Ti; Ti-V; Ti-Zr-V;$
- Zr_3Al_2
- $LaNi_5; (La,A)(Ni,B)_5, A = Ca, Ce, B = Al, Co;$
- $TiFe$

Преимущества:

- Частицы порошка отличаются высокоразвитой поверхностью и представляют собой губчатые агломераты
- Порошковая технология очень удобна для производства газопоглотителей, т.к. позволяет получать изделия с регулируемым уровнем пористости и, соответственно, газопроницаемости
- Стоимость конечного продукта должна иметь конкурентную стоимость относительно других методов производства (в первую очередь – литье) за счёт использования дешёвого оксидного сырья и возможности получения сплавов за один технологический цикл без необходимости дополнительных обработок

Внедрение:

Проведены испытания конечных изделий во Всероссийском НИИ автоматики имени Н. Л. Духова (Росатом)

Уровень разработки технологии: TRL8

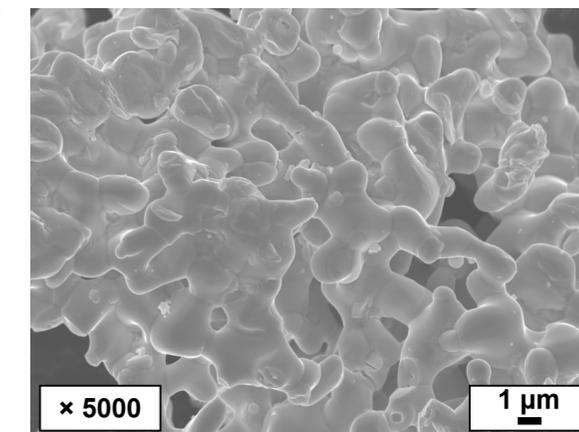


Рис. Типовая морфология конечного продукта – газопоглотителя / сорбентов водорода на основе титановых сплавов

14. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ И ОЧИСТКИ ВОДОРОДА

Назначение:

Композитные материалы на основе гидридообразующих сплавов в защитной полимерной оболочке предназначены для безопасного и компактного хранения и очистки водорода.

Такие материалы могут быть использованы для безопасного хранения водорода на мультитопливных заправочных станциях. Также, возможно их использование в качестве стационарных и экологически чистых источников энергии на удаленных инфраструктурных объектах (вышки связи, семафоры на железнодорожных путях, маяки и др.)

Новизна:

Разработанные материалы обладают уникальным составом, способностью выдерживать многократные циклы абсорбции/десорбции водорода без разрушения и защитным полимерным слоем, который предотвращает отравление активной поверхности вредными примесями и обладает высокой селективностью к водороду относительно других газов:

- Композиционный образец накопителя водорода на основе TiFe с фторопластом (TiFe/PTFE); на основе LaNi₅ с полиэтиленом (LaNi₅/PE); на основе Mg₂Ni с фторопластом (Mg₂Ni/PTFE)
- Композиционные образцы мембран для очистки водорода на основе LaNi₅ с полиэтиленом (LaNi₅/PE)

Преимущества:

Разработанные материалы:

- не требуют трудоёмкой процедуры активации при взаимодействии с водородом
- способны свободно абсорбировать/десорбировать и транспортировать через себя водород при комнатной температуре
- максимальная ёмкость накапливаемого водорода в материале до 1,6 мас. %
- хранение водорода происходит при низком давлении, что значительно повышает безопасность при эксплуатации

Уровень разработки технологии: TRL3

Патент на изобретение №2542256 от 20.02.2015 «Способ защиты порошков гидридообразующих сплавов для хранения водорода, предотвращающий пассивацию компонентами воздуха и других газообразных сред»

Патент на изобретение № 2624108 от 30.06.2017 «Способ получения композиционных мембранных материалов на основе гидридообразующих интерметаллических соединений и полимерных связующих»



Рис. 1 Композиционные образцы мембран для очистки водорода на основе LaNi₅ с полиэтиленом (LaNi₅/PE)



Рис. 2 Композиционный образец накопителя водорода

15. ПРОТОТИП ВОДОРОДНОЙ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ

Назначение:

Водородная энергетика

Новизна:

В качестве материала накопителя водорода в батарее используется разработанный и запатентованный в МИСИС композиционный материал на основе интерметаллического соединения TiFe с защитным полимерным покрытием

Преимущества:

- не требует трудоёмкой процедуры активации при взаимодействии с водородом
- свободно абсорбирует/десорбирует водород при комнатной температуре
- максимальная ёмкость накапливаемого водорода в материале до 1,6 мас. %
- хранение водорода происходит при низком давлении, что значительно повышает безопасность при эксплуатации
- работает на экологически чистом виде топлива

Внедрение:

ООО «Газохим Инжиниринг» (входит в Ростех) потенциально заинтересованы в создании полноразмерного прототипа к своему оборудованию для апробации в реальных условиях

Уровень разработки технологии: TRL3

Патент на изобретение №2542256 от 20.02.2015 «Способ защиты порошков гидридообразующих сплавов для хранения водорода, предотвращающий пассивацию компонентами воздуха и других газообразных сред»



Рис. Портативная водородная батарея

16. ПОЛНОСТЬЮ ОПТИЧЕСКИЙ ГАЗОВЫЙ СЕНСОР ВОДОРОДА НА ОСНОВЕ КОЛЬЦЕВОГО МИКРОРЕЗОНАТОРА ИЗ НИТРИДА КРЕМНИЯ

Назначение:

- Разрабатываемые сенсоры могут стать неотъемлемой частью транспортных средств, работающих на водороде, заправочных станций, автомастерских и т.д., а также позволить создать крупную сеть датчиков, которая за счет ультра малых потерь в оптоволокне, одновременно будет контролировать водородную инфраструктуру во многих местах
- Кроме того, разрабатываемые в работе технологии создания сенсоров на основе фотонных интегральных схем могут быть легко адаптированы для нужд медицины, где актуальными задачами являются детектирование ультра малых концентраций веществ (маркеров: вирусных белков, различных типов визикул и т.д.) на ранних стадиях заболеваний

Новизна:

Практическая составляющая ориентирована на получение нового продукта для реального сектора экономики в области энергетики, где для успешного перехода к водородной энергетике требуются компактные датчики мониторинга взрывоопасной концентрации водорода за счет использования компактных высокочастотных фотонных интегральных схем

Преимущества:

- Не предусматривается использование электрических сигналов вблизи активной области датчика. Вместо этого используется оптический свет в кольцевом микрорезонаторе, что с одной стороны, исключает возможность взрыва, а с другой стороны, благодаря высокой добротности интегрально-оптических структур, позволяет детектировать ультра слабые концентрации утечек газов на уровне нескольких миллионных долей
- С датчика можно получать информацию удаленно из мест, где присутствие людей не желательно или опасно за счет использования оптического волокна с низкими потерями ($<0,2$ дБ/км)

Внедрение: ООО «ТИНФОТОНИКА»

Уровень разработки технологии: TRL4

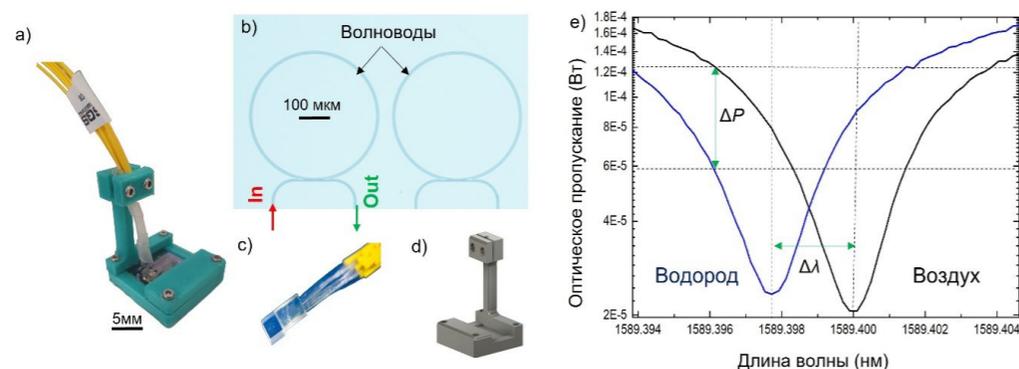


Рис. Газовый сенсор на основе кольцевого микрорезонатора из нитрида кремния. а) Прототип устройства, б) Кольцевые микрорезонаторы, используемые в качестве сенсора водорода за счет взаимодействия света с эванесцентной волной, в) Массив оптических волокон, позволяющий подключать до 12 сенсоров, д) Держатель чипа и массива оптоволокон, е) Зависимость оптического пропускания кольцевого микрорезонатора от длины волны в воздухе и в присутствии водорода

ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ В АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

17. АДАПТАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ, СПРОЕКТИРОВАННЫХ ДЛЯ ТРАДИЦИОННОГО ПРОИЗВОДСТВА, ПОД ИЗГОТОВЛЕНИЕ МЕТОДОМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Назначение:

Машиностроение в атомной отрасли

Новизна:

Разработана лабораторная технология с применением аддитивных технологий и изготовлен элемент защиты ядерной энергетической установки типа ВВЭР

Преимущества:

Повышение коэффициента использования металла; снижение трудозатрат и времени на производство не менее чем на 30%

Внедрение:

АО «НПО «ЦНИИТМАШ» и АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС» (обе организации входят в Машиностроительный дивизион Госкорпорации «Росатом»)

Уровень разработки технологии: TRL3



Рис. Элемент защиты ЯЭУ типа ВВЭР

18. СЛОИСТЫЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ КОМПОЗИТЫ С ВЫСОКОЙ ПРОЧНОСТЬЮ

Назначение:

Для малогабаритных конструктивных элементов в электронике и робототехнике, обладающих высокой прочностью и жаропрочностью

Новизна:

Методом деформации кручением под высоким давлением получены слоистые наноструктурированные композиты на основе стали и ванадиевого или циркониевого сплава, сохраняющие высокую прочность при нагревах до температуры 700 °С, при том что термическая устойчивость упрочненного состояния компонентов не превышает 300–500 °С

Преимущества:

- Прочность 1100 – 1400 МПа
- Относительное удлинение > 2 %
- Сохраняет высокую прочность при температурах до 700 °С

Уровень разработки технологии: TRL 5

Ноу-хау № 41-518-2017 ОИС от 28 декабря 2017 г.

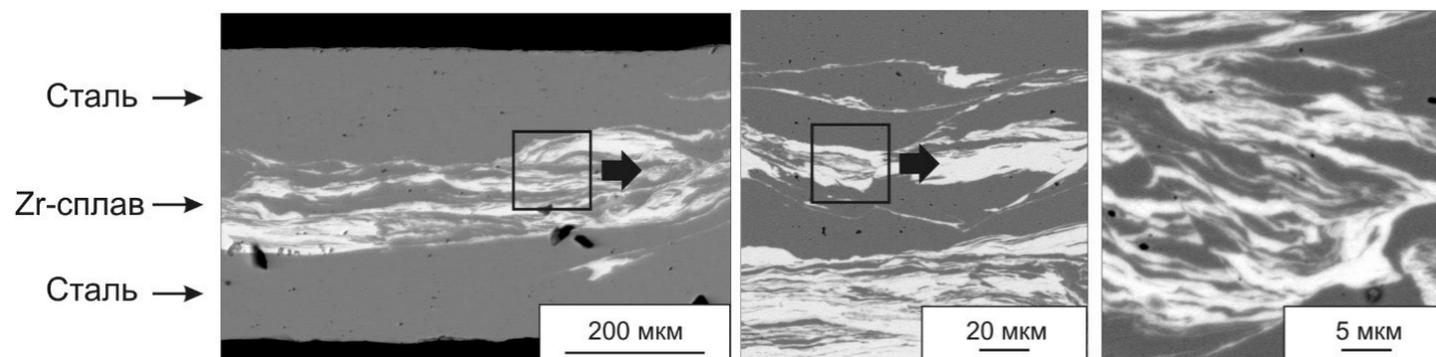


Рис. Структура композиционного образца

19. НОВЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА ЛОКАЛИЗАЦИИ РАСПЛАВА АТОМНЫХ РЕАКТОРОВ ВВЭР НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Соисполнитель: НИЦ «Курчатовский институт», АО «Атомэнергопроект»

Назначение:

Для изготовления корпуса и конструктивных элементов специального устройства локализации расплава российских атомных реакторов нового поколения, обеспечивающего минимизацию последствий тяжелой запроектной аварии с разрушением корпуса реактора и расплавлением активной зоны

Новизна:

- Изучены структура, механические свойства в диапазоне температур 20–1200 °С и температуропроводность ряда низкоуглеродистых сталей при экстремальных температурно-силовых воздействиях, имитирующих развитие тяжелой запроектной аварии на АЭС
- На основе полученных данных предложен новый конструкционный материал для изготовления корпуса устройства локализации расплава, обеспечивающий безопасную и надежную работу Российских атомных реакторов нового поколения, в т.ч. в районах с повышенной сейсмической активностью

Преимущества:

- Предлагаемый материал на основе низкоуглеродистой низколегированной стали типа 15ХМ является альтернативой применяемым в настоящее время сталям 22 К и 09 Г2 С как конструкционным материалам для изготовления корпусов и элементов устройства локализации расплава атомных реакторов
- Эта сталь характеризуется относительно высокой температуропроводностью и хорошей свариваемостью
- Легирование молибденом и ванадием и низкое содержание марганца обеспечивает более мелкозернистую структуру по сравнению со сталями 22 К и 09 Г2 С и устраняет склонность к отпускной хрупкости. Это положительно сказывается на прочности и ударной вязкости материала корпуса устройства локализации расплава во всем температурном интервале воздействия при запроектной аварии

Уровень разработки технологии: TRL8

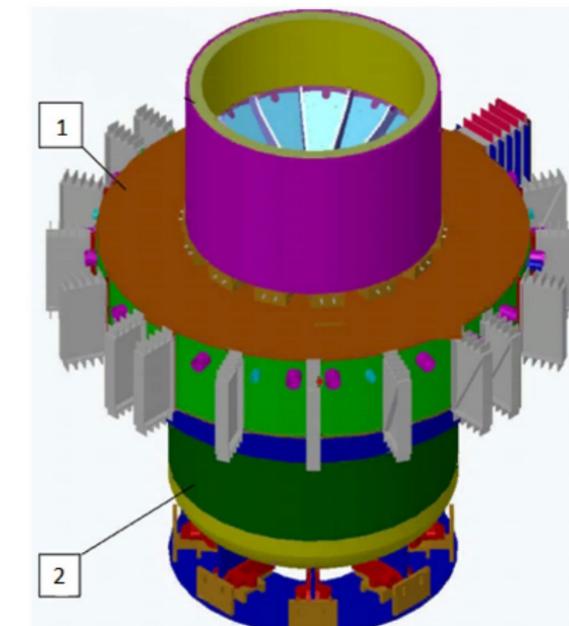


Рис. Общий вид УЛР: 1 – направляющая плита; 2 – корпус

20. ТРЕХСЛОЙНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СПЛАВА ВАНАДИЯ И КОРРОЗИОННОСТОЙКОЙ СТАЛИ ДЛЯ ОБОЛОЧЕК ТВЭЛОВ РЕАКТОРОВ

Назначение:

Для ответственных изделий активной зоны быстрых реакторов нового поколения

Новизна:

- Новый композиционный материал на основе ванадиевого сплава и стали типа X17 для эксплуатации в условиях с повышенными эксплуатационными параметрами по температуре, напряжению, среде, радиационному облучению
- Способен обеспечить радиационную и коррозионную стойкость изделий в условиях ЗЯТЦ: температуры до 700 °С и дозы более 150 сна

Преимущества:

Материал по своим физико-механическим и эксплуатационным характеристикам превосходит существующие в настоящее время конструкционные материалы для оболочек ТВЭЛОВ и других элементов тепловыделяющих сборок, имеющих ограничения по ряду характеристик (радиационное охрупчивание и распухание), и позволяет в перспективе реализовать возможности реакторов на быстрых нейтронах в режиме замкнутого ядерного топливного цикла, обеспечивая дальнейшее развитие быстрой энергетики.

Уровень разработки технологии: TRL5

Патент на изобретение №2699879 от 11.09.2019 «Способ получения композиционного материала на основе ванадиевого сплава и стали»

Ноу-хау № 16-031-2018 ОИС от 27 ноября 2018 г

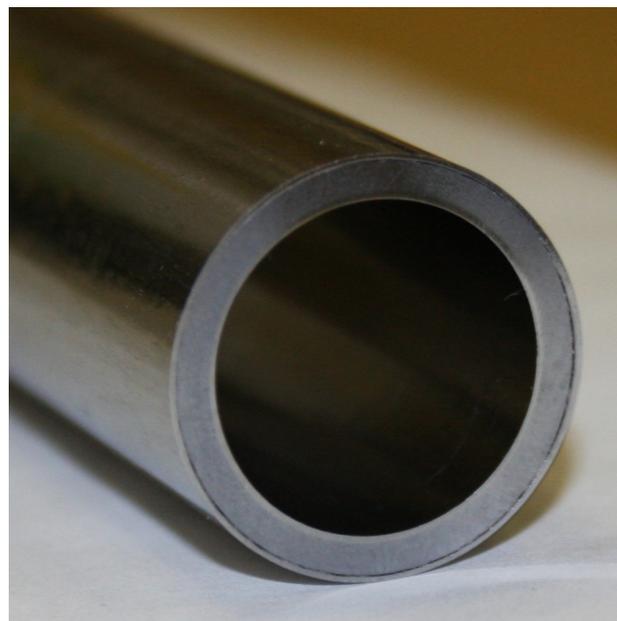


Рис. Трехслойная трубка на основе сплава ванадия и коррозионностойкой стали

21. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ДЕФОРМАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Назначение:

Определение параметров и режимов совместной деформационно-термической обработки для создания радиационноустойчивых, жаропрочных и коррозионноустойчивых многослойных материалов на основе ванадиевых сплавов и коррозионноустойчивых сталей

Новизна:

На основе результатов моделирования всего процесса пластической деформации многослойных заготовок на основе ванадиевых сплавов и коррозионноустойчивых сталей в программной среде QFORM и верификации результатов моделирования путем экспериментального изучения характеристик структуры и механических свойств полученных образцов, анализа состава и структуры зоны соединения между ванадиевым сплавом и сталью, уточнены режимы прессования, обеспечивающие высокое качество соединения разнородных материалов

Преимущества:

Моделирование процесса пластической деформации многослойных заготовок на основе ванадиевых сплавов и коррозионноустойчивых сталей в программной среде QFORM позволяет установить режимы горячего прессования и получать радиационноустойчивые, жаропрочные и коррозионноустойчивые композиционные образцы листов и труб с высоким качеством соединения разнородных материалов

Уровень разработки технологии: TRL7

Ноу-хау № 42-031-2017 ОИС от 28 декабря 2017 г.

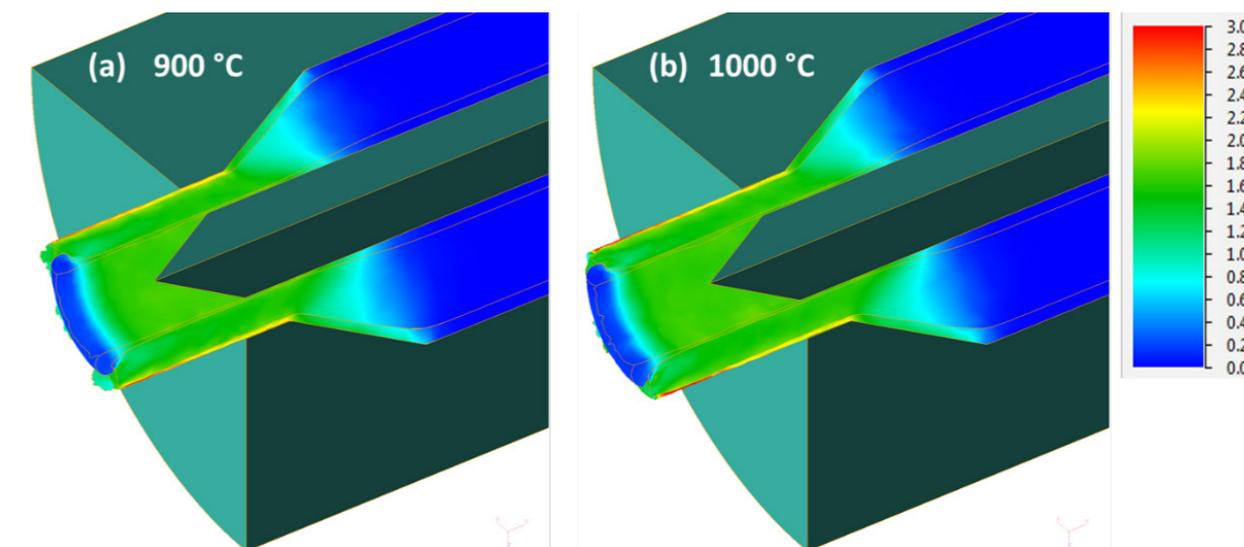


Рис. Процесс моделирования деформационно-термической обработки трехслойной заготовки при разных температурах

22. УЛЬТРАВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ КЕРАМИКА НА ОСНОВЕ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ КАРБИДОВ (ВЭК) ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ IV-VI ГРУПП ДЛЯ РАБОТЫ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Назначение:

В качестве основных областей использования ВЭК можно выделить: авиакосмическую отрасль (детали горячего тракта реактивного двигателя), режущий инструмент (упрочняющая фаза), а также износостойкие и теплозащитные покрытия. Наряду с высокой коррозионной стойкостью ВЭК обладают хорошей радиационной стойкостью, что делает их перспективными для использования в ядерной энергетике

Новизна:

Высокая фазовая стабильность в рамках теории функционала плотности с дальнейшим расчетом фактора энтропийной стабилизации позволила разработать и синтезировать ряд перспективных ВЭК на основе 4-х, 5-ти, 6-ти, 7-ми и 8-ми металлов IV–VI Периодической системы, обладающих стойкостью к высокотемпературному окислению, высоким сопротивлением термическому шоку, высокой твердостью и механической прочностью при высоких температурах, превосходным сопротивлением абляции и высокотемпературной ползучести

Технические характеристики:

- Фазовый состав: ГЦК структура с параметром решетки 0,43–0,45 нм
- Относительная плотность компакта: 95–99%
- Твердость: 18–22 ГП
- Температура плавления: 2300–4300 К
- Модуль Юнга: 210–390 ГПа
- Предел прочности на сжатие: 2,3–3,5 ГПа при 25 °С
- Трещиностойкость (K_{1C}): 4–6 МПа√м
- Сопротивление абляции: линейная скорость абляции (ЛСА) = 2,2–3,8 мкм·с⁻¹; массовая скорость абляции (МСА) = 16–35 мг·с⁻¹ при плотности теплового потока 2,4 МВт/см²
- Скорость окисления: интегральный прирост массы ($\Delta W/W$) = 16,5–36,0 мг/см², (в 3–6 раз ниже монокарбидов)

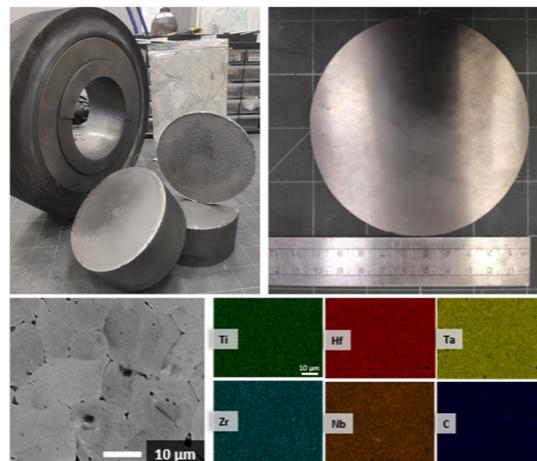
Преимущества:

- Высокая энтропия смешения и сильные искажения кристаллической решетки, достигаемые за счет введения 4–5 и более металлических атомов в катионную подрешетку, позволяют достичь превосходного уровня физико-механических свойств, выше чем у существующих монокарбидов
- Низкая теплопроводность – 5,5–6 Вт/мК (в 5–6 раз ниже монокарбидов)

Уровень разработки технологии: TRL6

Ноу-хау № 2-439-2021 от 19 апреля 2021 года, «Способ получения высокоэнтропийных карбидов на основе тугоплавких металлов Hf, Ta, Ti, Nb, Zr, Mo и W»

Рис. Типичный вид изготавливаемых компактных образцов и микроструктура ВЭКа



ЦЕНТР ТРАНСФЕРА ТЕХНОЛОГИЙ «ПЛАТФОРМА ОТКРЫТЫХ ИННОВАЦИЙ МИСИС»

Сетевое сотрудничество

Центр трансфера технологий формирует партнёрскую сеть в целях взаимодействия по вопросам развития технологий, инноваций по направлениям специализации: материаловедение, металлургия, горное дело.

Создание сети направлено на решение следующих задач:

- организация сетевого взаимодействия, включая обмен знаниями и опытом, информацией о технологических (инновационных) запросах и предложениях по направлениям специализации сети;
- оказание содействия трансферу технологий, включая поиск потребителей и поставщиков технологий, формирование инновационных предложений, в том числе посредством цифровой платформы «Открытые инновации МИСИС» www.innovations.misis.ru;
- оказание содействия внедрению инновационных разработок, современных технологических и производственных решений по направлениям специализации сети;
- создание общего информационного пространства для обеспечения трансфера технологий по направлениям специализации сети при использовании платформы «Открытые инноваций МИСИС»;
- информационное продвижение инициатив и результатов работы участников сети.

Цифровое решение принципа «открытые инновации»

Цифровой инструмент сопоставления технологических запросов и технологических предложений, представленных партнерами сети ЦТТ МИСИС позволяет гибко настраивать и структурировать данные, осуществлять поиск по установленным категориям и ключевым словам, визуализировать поиск на технологическом радаре, организовывать рабочее место техноброкера и технологического скаута.

Услуги ЦТТ для партнеров

- проведение маркетинговых исследований и для выявления наиболее перспективных областей развития технологий;
- проведение тематических выставочно-ярмарочных мероприятий по направлениям: материаловедение, металлургия и горное дело для установления коммуникации и трансфера знаний и технологий;
- содействие партнерам сети при заключении договоров НИОКР и договоров на использование, распоряжение исключительным правом на РИД;
- поиск потенциальных партнеров инновационной экосистемы для возможности реализации совместных проектов;
- проведение технологического скаутинга по заявленным технологическим вопросам и возможностям;
- содействие в обеспечении правовой охраны результатов интеллектуальной деятельности (РИД) организаций-партнеров
- проведение патентных исследований
- подготовка и оформление пакета документов необходимых при распоряжении правами на РИД





Москва, Ленинский проспект, д.4 стр.1
+7 495 638 45 19
imcenter@misis.ru

