



РАДИАЦИОННАЯ НАНОЭЛЕКТРОНИКА: СОВРЕМЕННЫЙ ИМПУЛЬС ДЛЯ ПОЯВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ НОВЫХ НАПРАВЛЕНИЙ НАНОИНДУСТРИИ

RADIATION NANOELECTRONICS: A MODERN PULSE FOR THE APPEARANCE AND DEVELOPMENT OF NEW DIRECTIONS OF NANOINDUSTRY

Н.Н.Герасименко¹, начальник НИЛ радиационных методов, технологии и анализа, д.ф.-м.н., проф., действительный член АИИ РФ, член Совета по радиационной физике твердого тела РАН РФ, заслуженный работник ВШ РФ, (ORCID: 0000-0003-2067-3723), А.Г.Турьянский², заведующий лабораторией рентгеновских методов диагностики наноструктур ФИАН им. П.Н.Лебедева РАН, д.ф.м.н., проф., (ORCID: 0000-0002-7825-5340), Т.В.Кулевой³, заместитель директора по научной работе по ускорительному направлению НИЦ "Курчатовский институт", д.т.н., (ORCID: 0000-0002-2558-3527), О.А.Запорожан¹, инженер НИЛ радиационных методов, технологии и анализа НИУ МИЭТ, (ORCID: 0000-0001-6217-3749) / nng1938@mail.ru

N.N.Gerasimenko¹, Head of the Research Laboratory of Radiation Methods, Technology and Analysis, Doct. of Sc. (Physics and Mathematics), Prof., Full Member of the Academy of Engineering Sciences of the Russian Federation, Member of the Council for Solid State Radiation Physics of the RAS, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, A.G.Turjansky², Head of the Laboratory of X-ray Diagnostics of Nanostructures of the Lebedev Physical Institute RAS, Doct. of Sc. (Physics and Mathematics), Prof., T.V.Kulevoy³, Deputy Director for Accelerator Direction, Research Center "Kurchatov Institute", Doct. of Sc. (Technical), O.A.Zaporozhan¹, Engineer, Research Laboratory of Radiation Methods, Technology and Analysis, NRU MIET

DOI: 10.22184/1993-8578.2020.13.3-4.196.204

Получено: 29.04.2020 г.

Представлены и обоснованы принципиальные особенности формирования нового физико-технического и технологического направления, отвечающего требованиям твердотельной электроники, развитию других направлений, включая медико-биологические.

The fundamental features of the formation of a new physical, technical and technological direction that meets the requirements of solid-state electronics, the development of other areas, including biomedical, are presented and substantiated.

Использование проникающей радиации для целей современной наноэлектроники послужило источником для формирования новых областей радиационной технологии, открывающим возможности для формирования принципиально новых направлений, которые могут либо интегрироваться, либо выделяться

в отдельные, использующие ранее существовавшие агрегатные состояния – от твердотельного до газообразного.

Технологическое использование проникающей радиации для целей либо интегральной электроники, либо с расширением возможностей в других направлениях, вплоть до радиофотоники,

¹ Национальный исследовательский университет "Московский институт электронной техники", НИУ МИЭТ / National Research University of Electronic Technology, MIET.

² Физический институт им.П.Н. Лебедева РАН, ФИАН / P.N.Lebedev Physical Institute of RAS.

³ Институт теоретической и экспериментальной физики имени А.И.Алиханова, ИТЭФ / FSBI A.I.Alikhanov Institute of Theoretical and Experimental Physics, ITEP.



в настоящее время продемонстрировало большую эффективность и взаимозаменяемость в сферах деятельности, соприкасающихся с такими воздействиями.

К настоящему времени можно говорить о выделении радиационной физики и технологии в самостоятельное направление для создания приборов и устройств от наноэлектроники до твердотельных систем, применяемых либо в твердотельных интегральных структурах типа радиофотоники, либо в радиационных системах воздействия на живые объекты (например, в онкологии).

Радиационное воздействие, связанное с генерацией направленных радиационных потоков, в частности фокусированных рентгеновских пучков, и их практическое применение на синхротронах и специализированных каналах рентгеновских лазеров на свободных электронах [1] продемонстрировали высокую эффективность, взаимозаменяемость и необходимость расширения номенклатуры используемых материалов, с одной стороны, с другой стороны – новых подходов к применению в каждом из конкретных направлений.

Наиболее эффективно и расширенно в технологическом в плане такие воздействия используют в наноэлектронике с применением кремния как базового материала.

Очевидным также стало то, что даже наиболее часто используемые технологии ионной имплантации или ионного синтеза требуют расширения номенклатуры оборудования и тщательного контроля операций применения.

В этом плане в последнее время продемонстрировано, что развитие наноэлектроники привело к использованию комплементарных методов контроля результатов проведения отдельных операций, если не в каждом случае, то, по крайней мере, в наиболее ответственных из них.

Практика показала, что в ряде случаев обычно применяемый контроль с помощью известной измерительной операции дает противоречивые результаты, что может привести к проявлению брака и снижению эффективности производственного процесса в целом.

Вероятность и причины проявления таких трудностей неоднократно обсуждались в современной литературе. Это, в свою очередь, привело к возникновению специализированного наименования процессов взаимного контроля, который в отечественной литературе фигурирует

как комплементарный подход, а в американской – гибридный подход [2, 3].

При расширении систем и областей применения технологического подхода в связи с уменьшением размера изготавливаемых объектов в традиционной наноэлектронике возникла необходимость дополнительного контроля при реализации отдельных процессов. Отметим наиболее принципиальную тенденцию при расширении областей применения и совмещении отдельных из них: необходимость создания нового технологического и контрольно-измерительного оборудования, способного к использованию твердотельных, жидких и газообразных материалов.

Также можно выделить некоторые определенные тенденции при совмещении процессов: необходимость создания нового технологического и контрольно-измерительного оборудования, обладающего способностью снижения температуры процессов и увеличения скорости проведения операций.

Немаловажным является и стремление к совмещению процессов, сходных по физике воздействия. В частности, все дальнейшие результаты будут касаться применения электромагнитного излучения в виде квантов и ускоренных частиц, что привело к возможности стандартизации процессов, стандартизации оборудования и реализации определенных тенденций. Этим требованиям соответствует развитие подхода, связанного с применением электромагнитного излучения в широком диапазоне энергий и потоков ускоренных частиц.

Рассмотрим конкретно особенности развития направлений с учетом их возможного объединения и дополнительных требований к развитию. Наиболее интересной нам представляется история развития пучковых технологий с использованием ускоренных заряженных частиц (ионная технология, ионный синтез). Эти направления широко развиты, прежде всего, для кремниевой наноэлектроники, как для собственного использования в производстве (ионная имплантация, ионный синтез), так и для проведения контроля реализованных операций.

Созданное для этих целей оборудование стандартизовано в мировой технике, широко применяется с возможностью приобретения в разных странах. Однако и здесь возникают проблемы, поскольку для имплантации в кремний примесных ионов, например германия, необходимо участие разного рода источников ионов, что не



всегда возможно реализовать с помощью ранее освоенных технологий.

В частности, обычное коммерчески доступное оборудование во многих случаях обладает источниками ионов, которые дают возможность имплантации либо газообразных соединений, либо твердотельных субстанций. При этом возникают трудности, которые могут быть преодолены при детальном изучении процесса. В других ситуациях требуется находить достаточно необычные способы преодоления их, либо дополнительно исследовать процессы формирования необходимых субстанций. Эту проблему и ее решение мы представим отдельно в публикации, посвященной развитию нанотехнологий для SiGe-наноструктур.

В других случаях возникают проблемы, связанные с возвращением к результатам, полученным в самом начале широкого использования ионной имплантации. В частности, для применения ускоренных ионов рения и их соединения с кремнием в самом начале процесса. Более 10 лет назад были предложены способы внедрения ионов Re в кремниевую подложку с применением специализированных источников ионов [4, 5]. Тем не менее только сейчас выяснилось, что реальные технологические потребности нуждаются в дополнительном исследовании процессов внедрения и разработке дополнительных операций их осуществления. Здесь можно обратить внимание на свойства редкого металла рения.

Особо следует рассматривать ситуации, когда необходимо применение внедрения ионов с переходом от твердотельных мишеней до сложных органических образований, то есть до мишеней, имитирующих живые организмы.

В отдельных предлагаемых публикациях будут подробно рассмотрены на конкретных примерах возникшие в последнее время трудности и возможности их разрешения. Оказалось, что в ряде случаев подобные ситуации можно преодолеть путем разработки новых, принципиально отличных от существующих процессов.

Именно такой подход необходим в тех случаях, когда радиационные процессы при создании объекта отличаются качественно не только с точки зрения применяемого оборудования, но и с точки зрения принципиально важных особенностей реализации процесса как такового.

В дальнейшем более детально рассмотрены процессы технологического использования дисилицида рения ReSi_2 , что существенно

отличает их по назначению, применяемому оборудованию и необходимости дополнительного контроля технологических операций.

С тех же позиций будет рассмотрен процесс применения пучковых технологий для кардинального решения проблем диагностики и терапии различных медицинских патологий, включая удаление злокачественных опухолей в живых объектах.

Подробное изучение принципиально новых процессов, их взаимозаменяемости, а также областей применения привело к необходимости описания двух совершенно новых процессов, которые в настоящее время будут представлены в отдельных публикациях, показывающих, что бурное развитие радиационных технологических процессов возможно как с позиций принципиально новых подходов, так и с точки зрения их взаимозаменяемости, возможности сочетания и, во многих случаях, рассмотрения комбинации процессов в совершенно разных направлениях с учетом объединяющих тенденций.

Рассмотрим новые, в ряде случаев, объединяющие тенденции на примере бурно развивающихся в настоящее время направлений:

1. направление, связанное с появлением радиационной технологии формирования наноструктур дисилицида рения, которое возникло более 10 лет тому назад [4] и только сейчас получило новый импульс;
2. абсолютно новое направление, сочетающееся с предыдущим, однако до конца еще детально не оформившееся, связанное с кардинальным, ранее не известным подходом удаления злокачественных опухолей на живых организмах.

ДИСИЛИЦИД РЕНИЯ

Более 10 лет тому назад были опубликованы работы, связанные с созданием слоев дисилицида рения на кремниевой подложке, которые в определенных условиях могли использоваться для создания наноразмерных структур [4, 5]. Практическое применение этих структур упиралось в методику создания, которая базировалась на использовании импульсных ионных пучков, сгенерированных новыми источниками, в частности, вакуумно-дуговыми источниками ионов металлов (ВДИИМ, в международной транскрипции – MEVVA) [4]. Созданные таким образом квантово-размерные структуры [5] в то время применения не нашли, потому что методика создания этих структур базировалась на использовании сложной ускорительной техники,



для которой необходимо было также создание специализированных источников ионов. Особенности получаемых структур в то время детально не исследовались, поскольку стандартная техника ионной имплантации и синтеза развивалась очень быстро и широко распространялась. Проведенное значительно позднее детальное исследование особенностей образования дисилицидов рения, создаваемого с помощью радиационных методов на кремниевой подложке, показало, что они сами по себе существенно отличаются по свойствам и условиям эксплуатации от слоев, синтезируемых в традиционных условиях [6].

РАДИАЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА И ТЕРАПИЯ ЖИВОЙ ТКАНИ

Другим наиболее впечатляющим примером применения радиационных методов являются эксперименты по диагностике и терапии живых биологических тканей с использованием наночастиц гадолиния золота и других материалов с атомным номером $Z > 50$ [7]. Опубликованные к настоящему времени материалы следует рассматривать как модели, подвигающие к решению наиболее злободневных вопросов, где радиационная технология может в короткое время дать наиболее впечатляющие результаты. Для локальной диагностики и терапии используется свойство избирательного осаждения наночастиц на патологическом образовании, например, онкологического характера. Линейный коэффициент поглощения рентгеновского излучения материалом наночастиц обычно на 2–3 порядка выше, чем у биологической ткани. Используя томографические и стандартные проекционные методы, возможно надежно идентифицировать локализацию патологических новообразований малого размера на ранней стадии развития. Далее с помощью фокусирующей рентгеновской оптики нужно провести неинвазивную терапию патологических образований. При этом, как показано в [8], наночастицы гадолиния могут являться вторичным источником мягкого излучения, которое разрушает онкологическое новообразование. Отметим, что применение, например, фокусирующей поликапиллярной оптики позволяет проводить указанную терапию на базе лабораторных микрофокусных рентгеновских источников. Однако используемые в настоящее время поликапиллярные линзы из боросиликатных стекол могут обеспечить фокусировку излучения глубиной не

более 2–3 см [8]. Поэтому для широкого практического применения необходима дальнейшая разработка поликапиллярной оптики на основе материалов с более высоким эффективным атомным номером.

Наиболее свежие исследования в этом направлении дают возможность рассматривать их, прежде всего, не только с позиций практического применения, но и с выдвиганием новых возможностей объединения и взаимодополнения результатов из разных областей [9–11].

Эти последние результаты следует учитывать не только сами по себе, но и с точки зрения выделения вероятных тенденций, синтеза методов наиболее эффективных технологий, создания интегрированных подходов, путем анализа актуальных направлений и выявления наиболее конкурентоспособных из них.

В первую очередь это особенности формирования радиационных технологий, позволяющих впервые рассматривать возникновение именно на этом пути системы, которую можно объединить с позиций рождения единой наноиндустрии с учетом всех вышеназванных особенностей.

Возможности концентрации интеллектуальных, организационных и финансовых ресурсов, сосредоточенных на наиболее важных потребностях развитых сообществ, нам представляется лучше всего продемонстрировать на сверхбыстром развитии системы радиационных методов создания наноиндустрии лечения онкологических заболеваний, что могут позволить себе, прежде всего, наиболее развитые сообщества Японии, Европы и Юго-Восточной Азии. В этих странах в самое последнее время были сделаны попытки лечения онкозаболеваний с помощью интенсивных лучевых воздействий, которые во всех случаях, до настоящего времени, базировались на применении синхротронного излучения. Именно в указанных выше сообществах были созданы практически одинаковые системы лечения, основанные на использовании синхротронных пучков. Наилучшим доказательством этого являются самые последние публикации и другие сообщения о построении систем воздействия на злокачественные образования с помощью синхротронного излучения в Японии, России (Димитровград) и Юго-Восточной Азии. В идейном плане эти подходы мало отличаются друг от друга, однако обладают серьезным недостатком, состоящим в том, что для реализации метода необходимо создание



громоздкого дорогостоящего оборудования, которое вместе с положительным эффектом приводит к неконтролируемому радиационному воздействию на неповрежденные ткани и органы. Отметим также, что целенаправленное исследование возможностей сфокусированного рентгеновского излучения, проводимое рядом организаций в России, реализуется более 10 лет объединенными коллективами лабораторий НИУ МИЭТ, ФИАН и частных лабораторий проф. М.А.Кумахова (Москва). Именно усилия такого сотрудничества привели в последнее время к возникновению принципиально нового систематического, комплексного, позволяющего ускоренными темпами получать результаты, подхода.

Кратко опишем особенности этого подхода, который, как нам представляется, можно отнести к зарождению индустриального нанотехнологического направления, содержащего в основе особенности и возможности цельного использования преимуществ радиационных методов, в частности, интенсивного (сфокусированного) рентгеновского излучения. Совокупности выше изложенного можно назвать радиационно-индустриальной нанотехнологией.

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ НАОЭЛЕКТРОНИКИ

1. Твердотельная наноэлектроника продемонстрировала развитие возможностей, проблем и новых областей применения на примере кремниевой наноэлектроники. Это развитие шло, прежде всего, с целью создания интегральных приборных микросхем с использованием ряда разновидностей кремния (от аморфного до нанокристаллического), причем области развития распространялись как на достижение собственно приборного развития, так и на привлечение новых технологических методов и новых конструктивных решений от планарных многослойных структур до объемных 3D-систем. Подчеркнем, что направление развития в последние годы стало привлекать все больше направлений, включая развитие научных основ технологии приборов, методов конструирования, контроля технологических процессов, а также интенсивного поиска преодоления трудностей и увеличения темпов создания конечного продукта. Однако так или иначе все области и направления развития вплоть до недавнего времени базировались на использовании разновидностей кремния. Таким

образом можно констатировать, что вплоть до совсем недавнего времени быстрое и впечатляющее развитие так или иначе сводилось к развитию кремниевой наноэлектроники. Все ранние начальные попытки широкого использования других базовых материалов (например, GaAs, других A_3B_5 и A_2B_6 материалов) сдерживалось по разным причинам, а кремний был базовой приборной основой, несмотря на привлечение многих дополнений (легирующие, маскирующие, защитные и т.д.), которые практически не меняли суть самой приборной системы.

2. Приведенный в начале пример принципиального изменения приборной направленности интегральных схем с использованием дисилицида рения впервые продемонстрировал возможность принципиально другой направленности использования базового материала.
3. Однако переход к такому материалу потребовал многочисленных изменений в технологии, включая собственно производственный процесс, в том числе методику и приборное обеспечение его контроля, а также нового подхода к выбору системы самого процесса, включая контролирующие операции с учетом необходимости сочетания операций, что могло бы обеспечить ускорение процессов в целом.
4. Особую важность в настоящее время демонстрируют новые требования к развитию направлений наноэлектроники, сочетающие области использования апробированных подходов и связанные с попытками объединения научно-технических направлений. Например, представляется возможным и необходимым формирование новых направлений развития медицины на базе новых технических подходов. Также этот подход позволяет резко ускорить решения проблем, связанных с лечением онкозаболеваний. Продемонстрируем это на примере процесса лечения онкозаболеваний. Использование радиационных методов показало, что в этом направлении существуют подходы, которые можно резко развить и продвинуть, с одной стороны, а с другой стороны – привлечь к решению проблемы не традиционные варианты.
5. На примере создания направления с новыми возможностями для твердотельной наноэлектроники, с использованием дисилицида рения рассмотрим, что можно использовать, а что нужно дорабатывать с развитием этого направления.



- 5.1. Эксперименты по привлечению дисилицида рения для развития нового направления в твердотельной наноэлектронике показали, что для формирования самой структуры необходимо использование именно дисилицида, сформированного с помощью ионного синтеза. Только при таком подходе можно рассчитывать на этот материал как на основу развития твердотельных наноструктур. В будущем это позволит обладать возможностями для производства твердотельных наноструктур, принципиально отличных от структур на основе кремния и соответственно обладающих свойствами использования для новых направлений. В частности, для создания структур, отличающихся от кремниевых наноструктур по техническим возможностям, областью применения, а также возможностями контроля и управления параметрами;
 - 5.2. Детальное исследование свойств таких структур позволило обнаружить их стабильность по отношению к длительным периодам хранения и другие специфические особенности, которые отличают наноструктуры с применением этого материала от кремниевых наноструктур [6];
 - 5.3. Кроме того, исследование возможностей таких структур выявило их дополнительные особенности, которые позволяют выделить специфические возможности структур, связанные с созданием дисилицида, а именно возможности создания самих структур и их эксплуатации в температурных диапазонах, характерных для типичных кремниевых наноструктур;
 - 5.4. Развитие технологии создания и возможности эксплуатации наноструктур на основе дисилицида кремния показало, что привлечение радиационных методов к технологии и условиям эксплуатации таких структур дает возможность обратить внимание на преимущества именно радиационных подходов к методам создания и эксплуатации таких структур, а в дальнейшем проследить возможности совершенствования целого направления, объединяющего возможности существующих и возникающих к настоящему времени структур, включая непрерывные улучшения, как возможности создания, так и эксплуатации, используя только радиационные методы.
 6. В то же время переход на полностью радиационные методы создания, развития и условий эксплуатации новых структур позволяет расширить области применения приборных структур от типичных для твердотельной наноэлектроники до медико-биологических и других, вплоть до области радиофотоники, области управления системами образования, государственного управления и др.
 7. В свою очередь, представляется целесообразным рассмотреть положительные и отрицательные стороны развития новых направлений на примере радиационных направлений нанотехнологий, что, безусловно, подлежит критическому обсуждению.
 - 7.1. Создание типичных радиационных направлений приводит к тому, что возникает естественное стремление к использованию существующих, вполне сложившихся технических подходов. В частности, решение медико-биологических проблем с помощью радиации, на примере борьбы с онкологическими заболеваниями, естественным образом подтолкнуло к формированию направления, основанного на применении синхротронного излучения. В развитых странах мира, включая и Россию, сделаны попытки использования такого излучения для борьбы с онкозаболеваниями. Однако строительство синхротронов и их эксплуатация естественно связана с дороговизной, громоздкостью необходимого строительства, сложностью управления, включая защиту обслуживающего персонала и подвергаемого облучению пациента.
- Однако найденные к настоящему времени радиационные способы совершенствования техники воздействия, поиск альтернативных методов создания источников микроскопического воздействия привели к решению данной проблемы, состоящей в альтернативном подходе путем разработки методов создания фокусированных пучков рентгеновского излучения, что дает возможность получать в ограниченной области воздействия интенсивные рентгеновские пучки, способные локально воздействовать на поврежденные ткани [4, 5, 9–11].
- Таким образом, принципиально новые подходы к решению назревших проблем позволяют выдвинуть научно-технические решения не только ранее неизвестные, но и заставляющие резко сократить время выхода возникающих решений на практике, снизить расходы при стремлении к постоянному поиску новых решений и возможностей их реализации.



ФИЗИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ЕДИНОЙ СИСТЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУР

1. Возможности объединения новых подходов формирования малоразмерных структур, объединяющих стремление к преодолению возникающих трудностей при создании новых подходов, представляется необходимым рассмотреть отдельно. Стремление к ускоренному решению возникающих перед человечеством наиболее важных задач заставляет обратить внимание на использование объединения уже возникших подходов, которые, в свою очередь, требуют преодоления уже имеющихся трудностей.
2. Рассмотрим возникновение таких задач на примере решения медико-биологических примеров, которые позволяют найти решение, обусловленное как остро нуждающимся в этом человеческом обществе, так и преодолением трудностей, вытекающих из известных решений, направляющих общество.
3. Одним из наиболее важных направлений является интенсивный поиск путей решения борьбы с онкологическими заболеваниями. Мировое сообщество и, прежде всего, наиболее развитые страны пытаются решить эту проблему путем моделирования возможных подходов. Одним из наиболее перспективных путей является использование радиационных методов, где наиболее перспективным считается использование радиационных подходов и, прежде всего, использование синхротронного излучения. Этот подход считается наиболее эффективным, однако, с одной стороны, сложным и дорогостоящим, а с другой – связанным с нанесением ущерба здоровью пациента, поскольку ведется облучение всего тела. При его использовании очевидным является необходимость предохранения персонала от радиационных воздействий. В последнее время решением проблем, связанных с использованием этого подхода, активно занимаются в развитых странах мира, в том числе и в России, в частности, на специально построенном для этих целей синхротроне в Дмитровградском ядерном центре. Одновременно ведутся исследования воздействия на злокачественные опухоли путем моделирования с привлечением моделирующих объектов. Мы хотим предложить альтернативный путь воздействия интенсивного излучения с помощью фокусированного рентгеновского луча, создаваемого при выводе излучения

из рентгеновской трубки и фокусированного непосредственно на объекте, либо подводимого к нему путем использования капиллярной оптики. Преимущества этого подхода к настоящему времени достаточно подробно описаны [12]. В этом случае представляется вполне возможным создание систем, безопасных как для пациента, так и для обслуживающего персонала и сравнительно дешевым в случае подобного исследования, что может быть сделано сравнительно быстро за счет объединения усилий развитых стран.

СВОЙСТВА РАДИАЦИОННО-ИНДУСТРИАЛЬНОЙ НАНОТЕХНОЛОГИИ

1. Развитие интегральной наноэлектроники к настоящему времени привело к появлению новых областей, которые выдвинули дополнительные требования к созданию техники для производственных процессов, включая создание самого объекта, контрольные операции, а также дополнительные условия, способные, с одной стороны, резко расширить возможности применения, а с другой – приступить к развитию новых областей, которые по своим возможностям существенно отличаются от уже известных. При этом такое развитие уже на начальном этапе заставило разработчиков подойти к ускорению практического использования, появлению необходимости дополнительного анализа внедряемых процессов, что естественно усложнило всю программу в целом, появлению дополнительных требований, но в то же время выдвижению и проявлению неизвестных ранее возможностей. В сумме можно говорить о становлении новой отрасли, которую следует называть наноиндустрией [2, 3, 13, 14];
2. Образование дополнительных направлений в наноиндустрии с выявлением принципиально новых возможностей, а также требований к формированию процессов в целом показывает, что все эти особенности наиболее эффективно формулируются в пределах направления радиационно-индустриальной нанотехнологии;
3. Поток рентгеновских квантов, а также электромагнитного излучения в широком диапазоне спектра позволяет устранить недостатки, известные к настоящему времени для синхротронных источников, а именно – громоздкость и опасность воздействия неконтролируемого (по области воздействия) излучения на объект;

WWW.LABCOMPLEX.COM

МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА КОМПЛЕКСНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЛАБОРАТОРИЙ



XIII МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА LABComplex

АНАЛИТИКА ЛАБОРАТОРИЯ БИОТЕХНОЛОГИИ HI-TECH

+380 (44) 206-10-16
+380 (44) 206-10-99



@lab@lmt.kiev.ua
@info@labcomplex.com

27–29 октября 2020 года

**Выставочный центр ACCO International
Украина, г. Киев, проспект Победы, 40-Б
метро «Шулявская», парк им. А.С. Пушкина**

При поддержке:



**Комитетов Верховной Рады Украины
Министерств и ведомств
Профильных ассоциаций и объединений**

Организаторы:



**МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА
ТЕХНОЛОГИИ «ЧИСТЫХ ПОМЕЩЕНИЙ»**

+380 (44) 206-10-98
+380 (44) 206-10-99



@pharm1@lmt.kiev.ua
@info@pharmatechexpo.com.ua

WWW.LMT.KIEV.UA



4. Проблемы использования материалов в разном агрегатном состоянии: твердые материалы (объемные и диспергированные), жидкие и газообразные. Снижение требований безопасности обсуживающего персонала при использовании соответствующих сред, приводит к снижению стоимости этих сред;
5. Стремление к постоянному изменению рабочих сред по габаритам, стоимости и автоматизации процессов и снижению квалификации обслуживающего персонала;
6. Быстрый обмен информацией и объединение усилий специалистов, пространственно удаленных друг от друга. В производстве можно применять автоматизацию и постоянно отслеживать возможности оборудования и материалов. Интенсификация и автоматизация производственных процессов;
7. Немаловажным является возможность оперативного обучения персонала и быстрого обмена информацией на разных стадиях процесса путем привлечения сотрудников средней квалификации для начальной стадии обучения до специалистов наивысшей категории;
8. Рассматриваемые организационные подходы должны, несомненно, продемонстрировать преимущества отечественных систем организации национальных структур от ускорения экономического прогресса до преодоления общественно-политических проблем.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Tschentscher T., Bressler C., Grünert J., Madсен A., Mancuso A.P., Meyer M., Scherz A., Sinn H., Zastra U. Photon Beam Transport and Scientific Instruments at the European XFEL. *Appl. Sci.* 2017, 7(6), 592; <https://doi.org/10.3390/app7060592>
2. Герасименко Н.Н., Волоховский А.Д., Запорожан О.А. Учет особенностей изменения свойств материала в технологии кремниевых наноструктур // НАНОИНДУСТРИЯ. 2017. Т. 76. № 4. С. 36–51.
3. Герасименко Н.Н., Волоховский А.Д., Запорожан О.А. Особенности контроля технологии кремниевых наноструктур // НАНОИНДУСТРИЯ. 2017. Т. 75. № 5. С. 84–103.
4. Kulevoy T., Gerasimenko N., Seleznev D., Kropachev G., Kozlov A., Kuibeda R., Yakushin P., Petrenko S., Medetov N., Zaporozhan O. ITER MEVVA ion beam for rhenium silicide production *Rev. Sci. Instr.* 2010. V. 81. PP. 02B905–02B908.
5. Kulevoy T., Gerasimenko N., Seleznev D., Fedorov P., Temirov A., Alyoshin M., Kraevsky S., Smirnov D., Yakushin P., Khoroshilov V. Rhenium ion beam for implantation into semiconductors *Rev. Sci. Instr.* 2012. V. 83. PP. 02B913.
6. Zatsepin D.A., Boukhvalov D.W., Zatsepin A.F., Mikhaylov A.N., Gerasimenko N.N., Zaporozhan O.A. Effect of long-term storage on the electronic structure of semiconducting silicon plates implanted by rhenium ions / *Superlattices and Microstructures*, 2020 (in press).
7. Lusic H., Grinstaff M.W. X-Ray Computed Tomography Contrast Agents. *Chem Re. V.* 2013. March 13; 113(3); <https://doi.org/10.1021/cr200358s>.
8. Турьянский А.Г., Гижа С.С., Сенков В.М. Широкополосная фильтрация рентгеновского спектра при прохождении через поликаплярную структуру // Письма в ЖТФ. 2019. Т. 45. Вып. 1. С. 23.
9. Matsumoto K., Saitoh H., Doan T.L.H., Shiro A., Nakai K., Komatsu A., Tamanoi F. Destruction of tumor mass by gadolinium-loaded nanoparticles irradiated with monochromatic X-rays: Implications for the Auger therapy. *Scientific Reports*. 2019. 9(1).
10. Mai N.X.D., Birault A., Matsumoto K., Ta H.K.T., Intasaard S.G., Morrison K. et al. Biodegradable Periodic Mesoporous Organosilica (BPMO) Loaded with Daunorubicin: A Promising Nanoparticle-Based Anticancer Drug. *ChemMedChem*. 2020. 15(7). PP. 593–599.
11. Tamanoi F., Matsumoto K., Doan T.L.H., Shiro A., Saitoh H. Convergence of the Study on Monochromatic X-rays and the Research on Nanoparticles Opens Up a Possibility to Develop a New Type of Radiation Therapy. *Preprints*. 2020. 2020030391
12. Turyanskiy A., Gerasimenko N., Stanishevskiy Ya., Gizha S., Smirnov D. A multi-channel X-ray analytical system with a bright microfocus source // *NANOINDUSTRY*. 2015. No. 7(61). PP. 40–51.
13. Gerasimenko N.N., Balakleyskiy N.S., Volokhovskiy A.D., Smirnov D.I., Zaporozhan O.A. Ion Synthesis: Si-Ge Quantum Dots Semiconductors, 2018, V. 52, No. 5, pp. 625–627.
14. Balakleyskiy N.S., Gerasimenko N.N., Zaporozhan O.A., Zhigunov D.M., Sagunova I.V. Room Temperature Near-IR Photoluminescence and Lasing from Self-Organized Ge QDs Formed by Ion Implantation in Silicon *Advanced Solid State Lasers 2017, Japan, Nagoya*, 2017. PP. 88–88.



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:



Головин Д.Ю., Тюрин А.И.,
Самодуров А.А., Дивин А.Г.,
Головин Ю.И.

Динамические термографические методы неразрушающего экспресс-контроля

Под общей редакцией Ю.И. Головина

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2019. – 214 с.
ISBN 978-5-94836-580-0

Цена 636 руб.

В книге кратко описано современное состояние тепловой технической диагностики и неразрушающего контроля материалов и крупногабаритных изделий по данным как отечественных, так и зарубежных (преимущественно) публикаций. Более подробно рассмотрен ряд новых инфракрасных бесконтактных методов экспресс-контроля качества материалов и изделий, не требующих вырезки и специальной подготовки образцов из материала или изделия.

Описаны наиболее развитые методы динамического лазерного нагрева и инфракрасной термографии (как хорошо известные и внесенные в стандарты РФ и зарубежных стран, так и новейшие, реализуемые с помощью высокоразрешающих тепловизоров и оригинального программного обеспечения).

Особое внимание уделено неразрушающим экспресс-методам определения теплофизических характеристик и диагностики состояния крупногабаритных объектов, позволяющим использовать их в производственных и полевых условиях.

Приведен ряд оригинальных результатов измерения температуропроводности широкого спектра материалов (пластиков, композитов, керамик, монокристаллов, прозрачных элементов силовой оптики, металлов и сплавов), а также теплового неразрушающего контроля объектов с модельными трещинами, расслоениями, дефектами покрытий в условиях одностороннего доступа к объекту контроля.

Книга написана коллективом авторов, представляющих три организации – Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина и Тамбовский государственный технический университет, имеющие опыт и компетенции в физике твердого тела, материаловедении и приборостроении.

Книга будет интересна инженерам-разработчикам, производителям, студентам, обучающимся по специальностям: 03.04.01. – Прикладная математика и физика; 04.04.02. – Химия, физика и механика материалов; 12.04.03. – Фотоника и оптоинформатика; 13.04.01. – Теплоэнергетика и теплотехника; 14.04.01. – Ядерная энергетика и теплофизика; 16.04.01. – Техническая физика; 22.04.02. – Металлургия.

Экспериментальная часть работы и математическое моделирование динамических тепловых процессов выполнены при поддержке гранта Российского научного фонда, проект № 15-19-00181, с привлечением оборудования Центра коллективного пользования и Наноцентра Тамбовского государственного университета имени Г.Р. Державина.

Как заказать наши книги?

По почте: 125319, Москва, а/я 91
По факсу: (495) 956-33-46
E-mail: knigi@technosphera.ru
sales@technosphera.ru

ИНФОРМАЦИЯ О НОВИНКАХ
www.technosphera.ru