

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Леньшина Александра Сергеевича **«Формирование и функциональные свойства наноструктур на основе пористого кремния»**, представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.10 - «Физика полупроводников».

Диссертация Леньшина Александра Сергеевича **«Формирование и функциональные свойства наноструктур на основе пористого кремния»** посвящена решению современной актуальной и глобальной проблемы физики полупроводников – созданию новых многофункциональных наноматериалов и наноструктур, совместимых с широко используемой кремниевой технологией и обладающих улучшенными характеристиками по сравнению с существующими объемными материалами.

Актуальность работы. Достаточно продолжительное время группами исследователей по всему миру предпринимаются попытки внедрения слоев пористого кремния в современную опто- и наноэлектронику, сенсорiku, медицинские применения. Пористый кремний обладает уникальным набором варьируемых функциональных характеристик, таких как люминесценция в видимом диапазоне, высокая удельная площадь поверхности, биосовместимость, высокая адсорбционная способность и другими, что делает очевидным перспективы его широкого применения. Однако, наряду с яркими достоинствами, этот материал представляет собой достаточно сложную, многофазную систему и имеет ряд недостатков, достаточно часто встречающихся у наноматериалов и затрудняющих его внедрение в практику. Это тонкая зависимость проявляемых характеристик от технологических параметров получения, нестабильность его функциональных характеристик под внешними воздействиями, деградационные эффекты. Соответственно, композитные структуры на основе пористого кремния и металлических или гибридных органо-неорганических композитов имеют еще более широкую

область применения. Это более сложные для исследования структурные объекты, поскольку к свойствам их отдельных компонентов добавляются эффекты взаимодействия между ними. Комплексное изучение структуры и свойств этих объектов, установление закономерностей их формирования, устранение деградиционных эффектов и улучшение рабочих характеристик играют ключевую роль в разработке новых эффективных структур и приборных решений современной кремниевой электроники.

В диссертационной работе автором получен ряд **новых результатов, имеющих существенное значение** для физики полупроводников, среди которых можно особенно выделить следующие: Разработаны оригинальные методики формирования нанокompозитов и нанопорошков на основе пористого кремния; Установлены закономерности формирования и особенности фазового состава металлосодержащих нанокompозитов на основе por-Si ; впервые исследованы особенности формирования гибридных органо-неорганических систем на их основе с нейротропными лекарственными средствами для применения в персонализированной медицине; Получен массив новых экспериментальных данных о характере энергетического распределения электронных состояний в валентной зоне и зоне проводимости, о природе межатомных взаимодействий, фазовом составе пористого кремния, наноразмерных структур и композитов на основе por-Si .

Личный вклад соискателя заключается в том, что в первую очередь именно им были поставлены цели и задачи диссертации, решение которых позволило сформировать положения, выносимые на защиту. Автором также лично получены основные результаты и выводы. Автором были разработаны оригинальные методики формирования наноструктур и нанокompозитов пористого кремния, получены и обработаны основные экспериментальные данные по составу, электронно-энергетическому строению, оптическим характеристикам исследуемых материалов.

Научная и практическая значимость работы состоит в том, что установленные в работе закономерности атомного, электронного строения,

функциональных свойств широкого ряда нанообъектов на основе пористого кремния значительно расширяют существующие представления о строении и свойствах кремниевых наноструктур типа «ядро-оболочка» и сформированных на их основе более сложных композитных структур, вносят определенность в поисках границ и условий их применения. Разработанные методики формирования и управления функциональными характеристиками наноструктур и нанокомпозитов на основе пористого кремния могут быть использованы для создания широкого спектра многофункциональных материалов на основе кремниевой технологии для целей оптоэлектроники, сенсорики, тераностики.

Достоверность и обоснованность результатов и выводов, изложенных в диссертации, определяется хорошей апробацией и цитируемостью работ автора, представленной в работе воспроизводимостью экспериментальных результатов, использованием комплекса современных информативных рентгеновских и оптических методов исследования наноструктур, наличием патентов на разработанные методики.

Замечания

- 1) В работе не обсуждается влияние ионного травления при послойном исследовании образцов на основе пористого кремния методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Известно, что многие объекты, в том числе на основе кремния, при подобных воздействиях могут существенно менять состав поверхности, аморфизироваться, деградировать и т.п.
- 2) Учитывая, что значительная часть работы посвящена разработке и исследованию нанокомпозитов пористого кремния с внедренными 3d-металлами, логично и правильно было бы привести в работе исследования магнитных свойств этих объектов.
- 3) При исследовании нанокомпозитов пористого кремния для получения прямой информации о расположении металлических/металлоксидных кластеров в пористом слое представленные в диссертации исследования

следовало бы дополнить данными просвечивающей электронной микроскопии.

4) В диссертации отсутствует отдельный список аббревиатур с расшифровкой использованных в работе методик и объектов. Следует отметить, что все аббревиатуры расшифрованы по мере появления в тексте работы.

Заключение

Диссертация производит однозначно хорошее впечатление, сделанные замечания не ставят под сомнение новизну и значимость выносимых на защиту положений и выводов. Результаты, полученные автором, обладают высокой научной и практической значимостью и будут востребованы при дальнейших фундаментальных исследованиях и прикладных разработках.

Результаты диссертации прошли достаточно полную апробацию на всероссийских и международных конференциях, опубликованы в более чем 30 статьях в журналах из перечня ВАК, Scopus и Web of Science, двух монографиях, имеются патенты на технологические разработки.


Суть опубликованных работ в полной мере отражена в диссертации. Автореферат полно и правильно передаёт содержание диссертации.

Диссертация Леньшина А.С., представленная на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, представляет собой законченное крупное научное исследование, выполненное на высоком уровне, содержащее решение ряда проблем, имеющих важное значение для физики полупроводников. Тематика и содержание диссертации полностью соответствует формуле специальности 01.04.10 - «физика полупроводников».

Диссертация «Формирование и функциональные свойства наноструктур на основе пористого кремния» по своей актуальности и новизне, достоверности и совокупности полученных результатов, уровню их апробации соответствует всем требованиям п. 9 - 14 действующего «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 (с

изменениями постановления Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2016 г. № 335), предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор, Леншин Александр Сергеевич, заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.10 - «физика полупроводников».

Заведующий кафедрой физики полупроводников,
электроники и наноэлектроники,
ФГАОУ ВО "Национальный исследовательский Нижегородский
государственный университет им. Н.И. Лобачевского",
доктор физико-математических наук
(01.04.07-физика конденсированного состояния),

профессор  ПАВЛОВ Дмитрий Алексеевич
12 января 2021 г. (pavlov@unn.ru, +7 905 667 2218)

Адрес: 603950, Россия, г. Н. Новгород, проспект Гагарина, 23, корп. 3

Подпись Павлова Д.А. заверяю
Ученый секретарь НИГУ



Л.Ю. ЧЕРНОМОРСКАЯ