

**ОТЗЫВ официального оппонента на диссертацию на соискание
учёной степени кандидата физико-математических наук
Конониной Анастасии Владимировны на тему: «Модификация
свойств пористого кремния при помощи ионных пучков» по
специальности 1.3.5. – «Физическая электроника»**

Диссертационная работа Конониной А.В. посвящена экспериментальному исследованию влияния ионного облучения на структуру и свойства пористого кремния. Данная тема, безусловно, находится в русле актуальных фундаментальных и прикладных проблем в области кремниевых наноматериалов и ионно-пучковых технологий. Пористый кремний находит всё более широкое применение в фотонике, электронике и биомедицине. На сегодняшний день ионно-пучковые методы модификации оптических и магнитных свойств являются актуальными и развивающимися. Также не теряют своей актуальности вопросы дефектообразования, особенно дефектообразования в наноструктурах, отличающихся по свойствам от массивных материалов. Проводятся активные исследования, включающие ионно-пучковые методы, по управлению свойствами пористого кремния и по развитию контроля и диагностики. Рассматриваются фундаментальные проблемы, учитывающие различие многих физических процессов в массивных и наноструктурированных материалах.

Положения, выносимые в диссертации на защиту, представляются достаточно обоснованными. Представленные в главе 3 результаты исследования аморфизации пористого кремния и сравнение со случаем монокристаллического кремния важны для разработки и развития моделей взаимодействия заряженных частиц с наноструктурами и дефектообразования в наноструктурированных материалах. Достоверность полученных данных обеспечивается использованием точных и современных методик анализа материалов, а также апробацией методики анализа

дефектообразования на монокристаллическом кремнии, для которого накоплен большой объём теоретических и экспериментальных данных.

Достаточно обоснованными представляются данные об изменении размеров нанокристаллов в пористом кремнии под действием ионного облучения, также представленные в главе 3. Результаты основаны на анализе спектров КРС, полученных от пористого кремния до и после облучения, а также на результатах компьютерного моделирования. Используемая при этом математическая модель является общепризнанной и широко используемой для решения аналогичных задач. Полученные данные позволяют лучше понять динамику накопления дефектов в наноматериалах.

Комплексным применением ИК-спектроскопии и фотолюминесценции (глава 4), а также согласием с обширными литературными данными (глава 1, 4) обосновывается положение о характере спектра фотолюминесценции пористого кремния и о том, что компонента с максимумом на 550 нм относится к дефектам, а компонента с максимумом на 630 нм – кислородными соединениями в структуре пористого кремния.

Обоснованным представляется положение о динамике роста концентрации парамагнитных центров в пористом кремнии с увеличением числа радиационных смещений ($d_{ра}$). Представленные в главе 4 результаты измерения концентрации парамагнитных центров в пористом и в монокристаллическом кремнии показывают, что число парамагнитных центров в пористом кремнии может на порядок величины быть больше, чем в монокристаллическом при одних и тех же значениях $d_{ра}$.

Достоверность научных результатов обеспечивается обширным экспериментальным материалом, полученным с использованием современной аппаратуры, надёжных и независимых методов исследования, сравнением и согласием экспериментальных результатов с литературными данными.

По результатам опубликованных работ соискательницей сформулирован ряд научных положений, составляющих новизну диссертационной работы.

Новыми и научно значимыми являются результаты исследования процесса образования дефектов в пористом кремнии под действием ионного облучения. Также несомненной новизной обладают результаты исследования изменения концентрации парамагнитных центров под действием ионного облучения, показывающие две области с разной скоростью образования парамагнитных центров.

По диссертации имеются следующие замечания и вопросы.

1. Одним из основных приложений метода резерфордовского обратного рассеяния является определение глубины залегания примеси. По-видимому, расчёт глубинных профилей для пористого кремния осложняется различной плотностью пористых материалов и её неоднородностями. Всё-таки есть ли возможность определять глубины залегания примесей в пористом кремнии этим методом?
2. В главе 3, посвящённой исследованию дефектообразования в пористом кремнии, диапазон ионных флюенсов составил $4 \cdot 10^{14} - 4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ при облучении ионами кремния и гелия. В разделах же 4.1.2. и 4.1.3., посвящённых фотолюминесценции, использованы ионные флюенсы от $3 \cdot 10^{12}$ до 10^{14} см^{-2} , и облучение проводилось ионами Ag^+ . Можно ли было провести все эти исследования, используя один тип ионов и / или ионных флюенсов из одного диапазона, проведя в дальнейшем сопоставление этих результатов?
3. В автореферате нет сведений о длине волны возбуждения комбинационного рассеяния света и фотолюминесценции. Кажется, что рис. 2а не согласуется с его описанием. Вызывает недоумение фраза «окисление ионно-индуцированных дефектов»
4. Есть ряд замечаний к оформлению графического материала. Отсутствует единая стилистика оформления: на некоторых рисунках использованы англоязычные обозначения, на некоторых графиках легенда помещена на сам график, но на некоторых рисунках пояснения помещены в описание, присутствуют мелкие элементы, которые плохо просматриваются. Также на

рисунках 38 и 39 для облегчения восприятия и для улучшения наглядности полученных зависимостей, точки следовало соединить линией.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация Конониной Анастасии Владимировны «Модификация свойств пористого кремния при помощи ионных пучков» полностью удовлетворяет всем требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а Кононина Анастасия Владимировна заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.5. – «Физическая электроника».

Официальный оппонент, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры «Технологии производства приборов и информационных систем управления летательных аппаратов», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

Борисов Анатолий Михайлович

Контактные данные:

тел.: +7 (495) 915-54-41, e-mail: anatoly_borisov@mail.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 01.04.08 - Физика плазмы, 01.04.01 - Приборы и методы экспериментальной физики

Адрес места работы: Волоколамское шоссе, д. 4, г. Москва, 125993