

## ОТЗЫВ

### на автореферат диссертации Гушиной Екатерины Владимировны «Исследование механизмов локальной проводимости наноструктурированных материалов методами атомно-силовой микроскопии», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния»

Наноструктурированные материалы нужны для новых применений, поскольку они могут обладать улучшенными свойствами. Для их исследования необходимо развивать соответствующие методы нанодиагностики. В первую очередь это относится к методу атомно-силовой микроскопии (АСМ), который позволяет получать информацию о рельефе и локальных физических характеристиках поверхности с нанометровым пространственным разрешением. Для характеристики элементов современных микроэлектронных устройств необходимо измерять локальные электрические характеристики, поэтому развитие АСМ-методик изучения распределения электростатического потенциала, проводимости, контактной разности потенциалов, емкости, и использование их для конкретных приложений представляет большой интерес. В связи с этим диссертационная работа Гушиной Е.В., направленная на исследование локальной проводимости и пространственного распределения токов и зарядов методами АСМ, является актуальной и решает важные задачи, связанные с использованием наноструктурированных материалов в микроэлектронике и водородной энергетике.

Наиболее интересным научным результатом представляется нестандартная методика измерения карт локальной проводимости – полуконтактная микроскопия сопротивления растекания для измерений на «мягких» проводящих объектах с выраженным рельефом. Применение этой методики для протонпроводящих мембран, используемых в водородных топливных элементах, позволило оценить эффективность полимера «нафион» 32% в каталитическом слое.

Необходимо отметить высокий уровень публикаций Гушиной Е.В., представленных в международных и российских журналах. Достоверность полученных в работе результатов обеспечивается значительным объемом экспериментальных исследований; использованием при проведении экспериментов современного оборудования; корректной обработкой экспериментальных данных, а также надежной апробацией на международных и всероссийских научных конференциях.

К недостаткам автореферата следует отнести:

1. К сожалению, диссертация носит несколько эклектичный характер, что подтверждается написанием миниобзоров к каждой главе по своей физической проблеме. Все три экспериментальные главы, где в каждой используется своя методика измерений, не увязываются в единое целое. Если материал рассматривать в методическом плане развития метода АСМ, то в автореферате эти вопросы освещены в недостаточной мере. Это касается метода полуконтактной микроскопии сопротивления растекания: адаптация метода, как таковая, не раскрыта. В частности, не обсуждается вопрос перехода от измерений в квазистационарном режиме к импульсному, возможные аспекты частотной зависимости.

2. Из автореферата неясно как контролировалось направление поляризации в поликристаллических и эпитаксиальных сегнетоэлектрических пленках  $Pb(Zr_x, Ti_{1-x})O_3$ .

3. Не освещены вопросы корректного использования метода Кельвин-зонд микроскопии в его количественной реализации для диэлектрических образцов с высокой диэлектрической проницаемостью (high-k), тогда как основа метода базируется на представлении о проводящих объектах.

4. Следует отметить ряд неточностей:

- Автор использует англоязычный термин high-k и не приводит русского названия. Нет ясности о порядках величины диэлектрической проницаемости.

- Имеются грамматические ошибки и ошибки в знаках пунктуации. Например, С.4 третья строка сверху; С.6 21-ая строка сверху, С.10 13-ая строка сверху «мафион» и т.д.

В целом диссертация Гущиной Е.В. является законченной научно-исследовательской работой, а указанные замечания не снижают ее ценности. Считаю, что по объему полученных результатов, их научной и практической значимости и актуальности диссертационная работа Гущиной Е.В. удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

И.О.Зав. сектора сканирующей зондовой микроскопии  
Федерального государственного учреждения  
«Федеральный научно-исследовательский центр  
«Кристаллография и фотоника»  
Российской академии наук»,  
доктор физико-математических наук

---

Толстихина Алла Леонидовна

119333 Москва, Ленинский проспект 59  
Рабочий телефон +7(495)135 11 00,  
e-mail: [alla@ns.crys.ras.ru](mailto:alla@ns.crys.ras.ru)

3 марта 2017

- Имеются грамматические ошибки и ошибки в знаках пунктуации. Например, С.4 третья строка сверху; С.6 21-ая строка сверху, С.10 13-ая строка сверху «мафион» и т.д.

В целом диссертация Гущиной Е.В. является законченной научно-исследовательской работой, а указанные замечания не снижают ее ценности. Считаю, что по объему полученных результатов, их научной и практической значимости и актуальности диссертационная работа Гущиной Е.В. удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

И.О.Зав. сектора сканирующей зондовой микроскопии  
Федерального государственного учреждения  
«Федеральный научно-исследовательский центр  
«Кристаллография и фотоника»  
Российской академии наук»,  
доктор физико-математических наук

---

Толстихина Алла Леонидовна

119333 Москва, Ленинский проспект 59  
Рабочий телефон +7(495)135 11 00,  
e-mail: [alla@ns.crys.ras.ru](mailto:alla@ns.crys.ras.ru)

3 марта 2017