

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию Анкудинова Александра Витальевича
"Диагностика наноустройств методами сканирующей зондовой
микроскопии", представленную на соискание учёной степени
доктора физико-математических наук по специальности 01.04.01–
Приборы и методы экспериментальной физики.

Методы сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) стали основными методами анализа свойств поверхности и ее модификации.

Не вдаваясь в историческое рассмотрение процессов развития СЗМ, начало которых обычно связывают с Р.Фейманом (1959 г), Р.Янгом (1966г.) и работами Г. Биннинга и Г. Рорера (1978-1990гг), отметим, что так называемый «третий этап», начавшийся с 1990 г., характеризуется появлением большого количества методов сканирующей зондовой микроскопии, созданием микроскопов-комбайнов (сочетающих несколько методов, реализованных в одном приборе), резким увеличением числа фирм-производителей, оснащением многих научных центров в разных странах сканирующими зондовыми микроскопами.

В России первый СТМ для исследования границы раздела фаз “твердое тело–жидкость” был создан в группе чл.-кор. РАН М. С.Хайкина (1985). Практически одновременно были начаты исследования в области СЗМ проф. В. И. Пановым (МГУ). Целый ряд оригинальных конструкций СТМ был разработан в Институте аналитического приборостроения РАН (лаборатория А. О. Голубка). Некоторые из них легли в основу коммерческих микроскопов российских компаний НТ-МДТ и КПД (Зеленоград, Москва).

Знаменательно, что оппонируемая диссертация защищается в совете со столь глубокими традициями и авторитетом, а результаты соискателя внедрены в НТ-МДТ.

Современное развитие СЗМ характеризуется созданием семейств специализированных сканирующих зондовых микроскопов, появлением так называемых нанолабов, обеспечивающих решение различных лабораторных задач возникновением Нанофабов, когда все ответственные операции, требующие сверхвысокой чистоты или вакуума, проводятся в изолированном пространстве.

Накоплен большой опыт по разработке специальных методик для решения широкого круга материаловедческих задач, которые, как правило, разде-

ляют на задачи микроскопии, спектроскопии, модификации поверхности (нано-литографии) и манипуляции нанообъектами.

Несмотря на эту заметную активность, на сегодняшний день у подавляющего большинства СЗМ методов измерений локальных свойств поверхности остаются на качественном уровне.

Остро востребованными являются разработки количественных методик СЗМ .

Диссертационная работа А.В. Анкудинова посвящена разработке новых оригинальных количественных СЗМ методик измерений и обработки экспериментальных результатов исследования для зондовой микроскопии, более конкретно для диагностики твердотельных наноструктур, включая структуры с квантово-размерными свойствами для оптоэлектроники, фотоники и сенсорики а также для физики и химии «мягких тел», таких как пленки полимеров, живые клетки.

В диссертации были поставлены и решены следующие значимые задачи.

Во второй главе развиты новые количественные методики для СЗМ исследований структуры, электрооптических свойств мощных лазерных диодов, высокоэффективных солнечных элементов, воздушно-водородных топливных элементов.

В приборных полупроводниковых многослойных гетероструктурах были изучены закономерности распределения электростатического потенциала и природа особенностей, проявляющихся при инжекции неравновесных носителей, возникающих при протекании электрического тока или при света.

Автором получены важные результаты, которые представляют интерес для контроля с помощью СЗМ технологических процессов на разных этапах изготовления полупроводниковых приборов.

В этой же главе успешно решается обратная задача нахождения амплитудно-фазового состава поперечных оптических мод в работающем мощном полупроводниковом лазере по данным сканирующей ближнепольной оптической микроскопии. Этот результат можно использовать при проектировании полупроводниковых лазеров с управляемым составом мод. Такие лазеры требуются, например, при разработке терагерцовых источников электромагнитных волн на базе структуры с двумя активными областями, изучающими свет на слегка рассогласованных длинах волн в оптическом или ближнем ИК диапазоне.

В третьей главе реализованы наномеханические эксперименты на базе СЗМ. Разработана методика контрастирования полезной компоненты сигнала локального электромеханического отклика, обеспечивающая достоверные исследования поляризационных нанодоменов в сегнетоэлектрических пленках. Принципиальным образом усовершенствована трехточечная СЗМ методика измерения модуля Юнга у одномерных объектов, перекрывающих поры в подложке.

Особо отметим, что до работ автора такие измерения нельзя было относить к разряду точных.

Несомненно важным и полезным является и результат по исследованию пиковых силы взаимодействия в СЗМ режиме амплитудной модуляции.

Заключительная, четвертая глава диссертации посвящена неразрушающим СЗМ исследованиям живых клеток эукариот и полимерных материалов, т.е. мягких объектов.

Автору удалось значительно повысить информативность данных таких исследований, сохранив субмикронное пространственное разрешение. Для достижения этой цели диссертантом вместе с коллегами были разработаны (внедрены в мелкое производство) специальные сферические зонды.

Технология изготовления зондов подробно и ясно изложена. В частности, например, обоснован выбор значений параметра вязкости фотоотверждаемого клея для фиксации калиброванной наногранулы на кончике острого зонда.

В диссертации есть и обзор (первая глава) состояния дел в области исследований, затронутых автором. Его содержание достаточно полно, интересно и, несмотря на небольшой объем, в нем, безусловно, продемонстрировано умение анализировать и обобщать информацию от других исследователей.

Проанализируем диссертацию в целом.

Диссертация содержит новые и весомые результаты. Их достоверность обеспечена продемонстрированным высоким уровнем проведенных экспериментов, использованные при анализе результатов математические модели обоснованы.

Наблюдается хорошее согласие с известным теоретическим и экспериментальным материалом в тех областях, где сравнение возможно.

Основные положения ясно сформулированы.

Развиты новые, более точные методы измерений и методы математической обработки данных СЗМ экспериментов.

В целом, результаты работы формируют новое научное направление количественной сканирующей зондовой микроскопии локальных физических свойств приборных и природных нано- и микроструктур.

Замечания к диссертации А.В. Анкудинова.

По второй главе.

При обсуждении метода измерения утечки неосновных носителей отсутствует анализ такого важного фактора утечки как вклад от горячих носителей, инжектированных в волновод. То есть тех горячих носителей, которые не успевают термализоваться, и благодаря этому способны преодолевать потенциальный барьер на границе волновода и противоположного эмиттера.

Относительным замечанием может служить констатация факта, что в работе не все практически значимые научно-технические решения защищены патентами.

Например, исследование высокоэффективных многокаскадных солнечных элементов показало эффективность туннельно прозрачных соединений каскадов при плотностях фотовозбуждения на три порядка больших, чем требуется в условиях эксплуатации солнечного элемента. Значимость этого результата не обоснована.

Другим примером могут служить оригинальные и весьма полезные разработки по анализу качества протонопроводящих мембран для водородной энергетики. Автор анализирует, делает вывод о процентном содержании ионнопроводящих каналов в образце и этим ограничивается. (Как бы существует боязнь в обвинении использования чужого материала. Имеется в виду то, что проведения комплекса исследований по изменению технологических факторов для увеличения эффективности протонопроводящих мембран представляет большой интерес. Эти результаты ПРИНЦИПИАЛЬНО не могут быть получены без разработок А.В.Анкудинова, и поэтому жаль, что они не представлены в диссертации)

Замечание по третьей главе.

В разделе 3.2. диссертации (а также в автореферате) достаточно убедительно показано, что получение более точной информации о распределении в сегнетоэлектрических пленках вектора поляризации требует контроля локальных изменений жесткости контакта зонд-поверхность.

Тем не менее, остается неясным, позволяет ли предложенный в работе способ точно контролировать значение поляризации?

По приложению А.

