



УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГУП «ВНИИМС»

д.т.н., проф.

А.Ю. Кузин

« » 2017 г.

Отзыв на автореферат диссертации Решетова Владимира Николаевича
«Физические основы и методы использования гибридных резонансных датчиков в сканирующей зондовой микроскопии и инструментальном индентировании»,

представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Задача измерения геометрических размеров разного рода микроскопических объектов, безусловно, является актуальной. Более того, если в процессе сканирования вместе с формой поверхности удастся получить информацию о механических и электрических свойствах исследуемого материала, то это делает оборудование, позволяющее решать такие задачи, особенно ценным. Именно такую возможность – возможность измерения целого ряда физических свойств твердого образца предоставляют приборы, использующие гибридные резонансные датчики.

Отличительной особенностью такого рода зондов является их высокая изгибная жесткость и работа в автоколебательном режиме возбуждения. Высокая изгибная жесткость обеспечивает четкое позиционирование

зондирующего острия и возможность не только неразрушающего сканирования поверхности, но и ее упругую и пластическую локальную деформацию на нанометровом уровне глубин погружения. Автогенераторный режим возбуждения позволяет разделить диссипативную и консервативную составляющие в силе взаимодействия острия зонда с поверхностью и за счет этого получить дополнительную информацию об упругих и пластических свойствах исследуемого материала.

Круг вопросов, рассмотренных в диссертации, достаточно широк и касается практически всех физических аспектов, связанных с работой сканирующих нанотвердомеров типа «НаноСкан». Опираясь на основные закономерности физики конденсированного состояния, законы контактного взаимодействия и колебательного поведения резонансных систем, автору удалось создать ряд рабочих моделей поведения используемого зонда и теоретически обосновать ряд новых методик измерений. Все предложенные аналитические модели прошли экспериментальную проверку и продемонстрировали свою применимость в указанных соискателем условиях и типах материалов.

В диссертационной работе уделено внимание не только тем физическим процессам, которые происходят в области контакта алмазного индентора с исследуемой поверхностью, но и рассмотрен ряд метрологических проблем, связанных с использованием сканирующих зондовых микроскопов для контроля геометрических размеров тестовых структур. В частности, получен критерий неразрушающего сканирования резонансным зондом поверхности с заданной твердостью и модулем упругости. Показано, что такой режим сканирования реализуем с теми моделями пьезокерамических зондов камертонной конструкции, которые используются в приборах семейства «НаноСкан».

Автореферат и диссертация написаны в соответствии с требованиями ВАК, обозначена область проводимых исследований, упомянуты участники работы и отмечен личный вклад соискателя в достигнутые результаты.

Положения, выносимые на защиту, четко сформулированы и носят конкретный характер, их реализуемость не вызывает сомнения.

В тексте автореферата упоминаются два Государственных первичных специальных эталона: ГЭТ 211-2014, расположенный в ФГУП «ВНИИФТРИ» и ГЭТ 113-2014, расположенный в ФГУП «ВНИИМС». Хочется обратить особое внимание на то обстоятельство, что разработанные ФГБНУ «ТИСНУМ», совместно с НИЯУ «МИФИ», метрологические атомно-силовые микроскопы, вошедшие в состав упоминаемых первичных эталонов, используют в качестве чувствительного элемента резонансные датчики, рассматриваемые в данной диссертационной работе, и это обстоятельство помогло успешному сопряжению трехкоординатного гетеродинного лазерного интерферометра с СЗМ «НаноСкан».

В качестве замечания хочется указать на недостаточное освещение в тексте автореферата и диссертации систематических и случайных погрешностей, свойственных разработанным метрологическим АСМ. В работе рассмотрены фундаментальные шумы, свойственные автогенераторному способу возбуждения зонда, и указано, что в реальных приборах доминируют инструментальные погрешности и погрешности внешних факторов. При этом подробный анализ возможного бюджета погрешностей, связанных с измерением геометрических структур, отсутствует в тексте диссертации.

Автореферат диссертации позволяет сделать вывод о высокой научной и практической значимости полученных результатов, логической завершенности проведенных исследований и необходимости дальнейших работ в направлении использования резонансных датчиков для исследования физических и геометрических характеристик гетерогенных материалов. Работа полностью отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней и званий № 843 от 24.09.2013», а её автор, Решетов Владимир Николаевич, за полученные результаты, связанные с разработкой экспериментальных методов изучения физических свойств гетерогенных

материалов, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Начальник отдела,
доктор технических наук

Лысенко В.Г.

119361, Москва, ул. Озерная, 46, ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы», отдел «Метрологическое обеспечение измерений геометрических параметров», тел. 8(495) 665-30-87 доп. 25-70, E-mail: lysenko@vniims.ru, Лысенко Валерий Григорьевич.



Подпись Лысенко Валерия Григорьевича заверяю

Содружество по персоналу  (Камоллова Н.Б.)