

# ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Масленикова Игоря Игоревича

## **«Физические модели работы сканирующих нанотвердомеров»**

Представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа Масленикова Игоря Игоревича относится к разработке и развитию методов измерения в области наноматериалов и нанотехнологий. Конкретно работа направлена на создание и развитие физических моделей, объясняющих поведение материала при его взаимодействии с индентором и учитывающих параметры самого измерительного устройства. Тема работы важна и актуальна, так как интерпретация результатов измерений твердости и модуля упругости наноматериалов, например, часто затруднительна и, в конечном итоге, даёт неоднозначную, информацию о механических свойствах исследуемых объектов в процессе сканирования поверхности образца.

Заметим, что стремительное развитие материаловедения, связанного с синтезом, исследованием и созданием наноструктурных, нанокомпозитных, например, конструкционных систем, функциональных покрытий требует более определённой, наиболее вероятной и надёжной интерпретации полученной информации во время сканирования. Тема работы актуальна и её выполнение своевременно в связи с достаточным количеством данных, которые требуют обобщения и построения моделей. Исследователи нуждаются сегодня в физических моделях для лучшего понимания и получения надёжных количественных данных в системах: поверхность материала - наноиндентор. Именно на это и направлена диссертационная работа Масленикова Игоря Игоревича.

Используемые автором подходы, базируясь на базовых принципах физики конденсированного состояния, позволили получить ряд новых результатов, к которым в частности можно отнести возможность измерения модуля Юнга и приведенного значения твердости в процессе сканирования. Важным с прикладной точки зрения является результат позволяющий осуществлять измерения электрических свойств материалов с субмикронным пространственным разрешением. Автором рассмотрены силы различной природы, исследовано их влияние на частоту и амплитуду колебаний камертонного зонда. Показано, как измеряемые величины связаны с параметрами автогенераторной схемы, пьезокерамического зонда и свойствами исследуемого материала. Представленные



результаты отвечают на ряд вопросов, связанных и с динамическими режимами работы приборов, использующих пьезорезонансные зонды.

**Научная новизна работы** заключается в предложенных физических моделях, при измерении механических характеристик наноматериалов в системе: наноиндентор-поверхность реального материала. Полученные результаты применимы к широкому классу приборов для исследования механических свойств твердых тел контактными способами и связаны с разработкой новых экспериментальных методов изучения физических свойств материалов.

Впервые была получена аналитическая модель, связывающая сдвиг резонансной частоты, амплитуды колебаний и силы прижима зонда с упругими характеристиками образца. Обоснована теоретически и подтверждена экспериментально возможность количественного измерения модуля упругости и твердости образца в процессе сканирования его поверхности пьезорезонансным зондом. Впервые дано аналитическое описание режима токовых измерений и введен ряд функциональных зависимостей измеряемых величин. Это позволила автору количественно определять величину удельного сопротивления исследуемого материала.

Важно, что исследованы механические свойства ряда тестовых материалов и структур с использованием разработанных физических моделей и методик измерения. Проведен комплексный анализ работы СЗМ с резонансным зондом и рассмотрен ряд задач, находящихся на стыке различных разделов физики конденсированного состояния и смежных дисциплин: гидродинамики, акустики, электродинамики и теорий упругости, колебаний и пьезоэлектриков.

Особо интересны разделы, относящиеся к анализу физических процессов, происходящих в области контакта зондирующего острия с исследуемой поверхностью, и взаимосвязи данных микроскопических процессов с измеряемыми макроскопическими параметрами резонансного зонда, используемого для картографирования механических и электрических свойств исследуемых материалов в ходе сканирования и топографии

**Работа выполнена на высоком научном уровне**, характеризуется достаточным объемом проведенных исследований и качественной проработкой решаемых задач. Автором опубликовано необходимое количество статей согласно требованию ВАК. Результаты прошли серьёзную апробацию: представлены на многих научных конференциях.

**Текст в реферате** изложен понятным языком, факты представлены убедительно. **Цели и задачи** сформулированы ясно и вполне определённо. Результаты изложены чётко и недвусмысленно.



**В качестве замечаний, считаю необходимым отметить следующее:**

1 - в представленной работе отсутствуют оценки точности предложенных методик и влияния шумов электронного тракта на проводимые измерения;

2 - при рассмотрении колебаний камертонного зонда отсутствует теоретическое обоснование выбора антисимметричной моды колебаний в качестве рабочей.

В тексте часто присутствуют слова-паразиты «Был, были». Их следует избегать.

Сделанные замечания не умаляют значимости проделанной работы и важности полученных соискателем результатов.

Считаю, что диссертационная работа Масленикова Игоря Игоревича «Физические модели работы сканирующих нанотвердомеров» является законченным научным исследованием с перспективой продолжения и соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842), предъявляемым к кандидатским диссертациям. Работа соискателя имеет высокую практическую ценность при исследовании свойств и создании новых перспективных материалов, включая наноматериалы, а ее автор, Маслеников Игорь Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

**Александр Степанович Золкин**

Кандидат физико-математических наук,  
доцент кафедры общей физики, физического факультета  
федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет».

15 Сентября 2016 года

Адрес:

Кафедра общей физики. Физический факультет  
Новосибирский государственный университет  
ул. Пирогова, д. 2. г. Новосибирск, 630090,

Контактный телефон +7 913 942 33 03 .

Электронная почта – zolkinas@gmail.com

Подпись Золкина Александра Степановича  
удостоверяю « » \_\_\_\_\_ 2016  
Начальник управления по делопроизводству  
Новосибирского государственного университета

Подпись *Золкина А.С.* заверяю  
Специалист Управления кадров НГУ  
*Золкина Т.А.*  
« 15 » \_\_\_\_\_ 09 \_\_\_\_\_ 20 16 г.

