

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Лукашенко Станислава Юрьевича на тему «Особенности использования СЗМ-зондов в нанодиагностике» представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 — «Приборы и методы экспериментальной физики»

Нередко исследование микро- и особенно нанообъектов зондами превращается в настоящее искусство экспериментатора для получения детальной информации об объекте. Часто это связано с паразитными шумами (внешними механическими или вызванными тепловыми флуктуациями исследуемого образца), а также дрейфом самого зонда. В своей диссертационной работе Лукашенко С.Ю. провёл экспериментальное и численное (с созданием моделей детектирующей группы — зонда и датчика) исследование влияния колебаний зондов сканирующей силовой микроскопии и сканирующей капиллярной микроскопии на пространственное разрешение методов для разной геометрии зондов. Помимо этого, часть работы посвящена созданию и исследованию резонансного детектора массы на основе углеродного нановискера для взвешивания различных наночастиц в широком диапазоне масс. Также автор уделяет внимание исследованию особенностям значения ионного тока в капиллярных зондах. Результаты, полученные в данной диссертации, имеют высокую практическую значимость для улучшения и объяснения особенностей некоторых методов исследования с использованием специализированных зондов.

Автором была выполнена большая исследовательская работа по тематике диссертации и получены новые интересные результаты. К несомненным достоинствам работы следует отнести сочетание экспериментов с численными расчётами процессов, происходящих в них. Автор определил, что для сканирующей зондовой микроскопии в полуконтактном режиме геометрия паразитных колебаний системы вольфрамовая игла — пьезодатчик существенно зависит как от геометрии самой иглы, так и от наклона её оси относительно нормали плоскости образца, а также от её толщины. Это позволит в будущем создавать, например, сканирующие атомно-силовые микроскопы, использующие автоизмерительные зонды, которые будут изначально иметь более детальное пространственное разрешение в полуконтактном режиме. Для метода резонансного детектирования масс автором было предложено использовать углеродный нановискер, выращенный на кончике вольфрамового зонда. Эта идея была реализована, и доказано, что такой зонд позволяет измерять массы различных наночастиц в диапазоне 10^{-17} – 10^{-14} г. Также, для детектирования подобным зондом биохимических реакций, которые чувствительны к потенциальным загрязнителям, был предложен и реализован способ крепления к углеродному нановискеру золотых наночастиц без использования каких-либо посторонних материалов, а только с помощью специально сформированных на кончике нановискера V-образных ловушек. Другим несомненным достоинством работы является предложенная модель расчёта ионного тока для стеклянных зондов капиллярного типа, которая была уточнена на основе реальных экспериментов, и которая достаточно точно позволяет описать некоторые особенности поведения этих токов от параметра экспериментальной системы.

Работа выполнена на достаточно высоком научном уровне, обоснованность и достоверность полученных в диссертационной работе результатов не вызывает сомнений. По теме работы опубликовано 32 научных труда: 8 статей в периодических

научных изданиях (входят в список ВАК, часть в Web of Science, Scopus, максимальный квартиль журналов Q3 у двух англоязычных публикаций, максимальный квартиль K1, согласно списку ВАК, у двух русскоязычных публикаций), 8 статей в трудах конференций (специализированные англоязычные издания) и 16 тезисов научных конференций различного уровня, включая международные.

Из недостатков работы я могу выделить следующее:

1. Автор не смог предложить корректный перевод с английского, как он написал «труднопереводимого термина», «self-sensing», который он использует несколько раз по тексту автореферата в английском написании (стр. 3, 4, 6, 10). Относительно метода атомно-силовой микроскопии перевести его можно как «автозондирование» или «автоизмерительный» (по отношению к зонду), когда информация о поверхности снимается с зонда непосредственно встроенным в него пьезоэлектрическим (пьезорезонансным) или ёмкостным датчиком, а не сторонней оптической (простой световой или лазерной) системой.
2. То же самое относится к термину «tapping», который автор использует один раз (стр. 7). В атомно-силовой микроскопии этот режим исследования называется полуконтактным, когда зонд периодически касается («постукивает», по-английски «to tap») образца в процессе исследования. Особенно непонятно, почему автор использовал английское написание термина, если и до, и после этого он честно применял русский термин «полуконтактный».
3. Автор неоправданно использовал англицизм (или даже жаргонизм) «биосенсинг» (стр. 7), никак не расшифровывая его, хотя это, скорее всего, означает зондирование био- или биосодержащих объектов или детектирования биохимических реакций.
4. Автор испытывает большую любовь к необоснованному использованию аббревиатур, особенно к не общепринятым. Если использование аббревиатуры «УНВ» («углеродный нановискер») ещё как-то можно понять, хотя всё равно тяжело воспринимать текст, когда их 8 штук на один абзац, то использование таких как «НЧ» («наночастица») и «НП» («нанопипетка») точно можно считать избыточными, сильно усложняющими восприятие текста. А вот общепринятую аббревиатуру «АЧХ» автор использует (несколько раз), но не расшифровывает в тексте, хотя это необходимо делать, потому что это аббревиатура, а не акроним.
5. На рисунке 4 автор не описал его части (в) и (г), а часть (б) описал явно неправильно: «оптическое изображение УНВ». Скорее всего, подписи должны были быть примерно следующие: «СЭМ-изображения покоящегося нановискера (а) и его же в колебательном режиме (б); оптические изображения УНВ в режиме покоя (в) и в колебательном режиме (г)».
6. Это и последующие замечания относятся к оформлению автореферата. В подписях к рисункам автор поставил конечные точки, хотя этого не нужно делать.
7. В англоязычной литературе в вещественных числах разделителем между целой и дробной частью является точка, а в русском языке — запятая. Но на рисунке 4 д, е, ё, ж все надписи на английском языке, а разделитель вещественных чисел запятая, тогда как на рисунке 9 наоборот — надпись на русском, а разделитель точка. Это может ввести читателя в некоторое заблуждение, так как в русском языке точка, а в английском запятая, является разделителем порядков числа. Вообще же, было бы лучше, если бы автор перевёл и русифицировал все рисунки

своего автореферата (и, наверное, диссертации), включая обозначения единиц физических величин на них.

8. Для указания диапазона значений того или иного параметра автор использует числа в виде цифр, разделённые тире с пробелами либо дефисом с пробелами или без. Всю эту конструкцию автор заключает в скобки, оставляя, например, знак порядка величины (тильду, «~»), а также указание единиц физических величин диапазона вне скобок. В одном месте (стр. 14) автор значение и ошибку указывает без скобок, но в скобки берёт указание единицы физической величины значения. А на странице 4 в скобки берёт единичное значение, вынося знак порядка величины и единицу физической величины вне скобок. Всё это немного трудно читать, что сказывается на корректном восприятии текста. В русском языке разделителями границ числового диапазона, если значения пишутся в цифровом виде, являются: многоточие, дефис (или короткое тире), а также обелюс (знак «+»), которые пишутся между граничными значениями диапазона без пробелов. После, через пробел, указывается единица физической величины.
9. Зачем-то автор на странице 13 заключил в отдельные скобки обозначения диаметров соответствующих наночастиц и их точное или примерное значение: «с диаметрами ($d_{SiO_2}=350$ нм), ($d_{Au}=100-200$ нм) и ($d_{TiO_2}\sim 100$ нм), соответственно», что также не облегчает понимание текста автореферата.

Однако, несмотря на указанные выше недостатки и замечания, текст (где их нет или минимальное количество) читается достаточно легко и воспринимается понятно. Сами указанные недостатки никоим образом не снижают значимость полученных результатов и сделанных выводов.

Диссертация соответствует установленным критериям по специальности 1.3.2 — «Приборы и методы экспериментальной физики», а её автор Лукашенко Станислав Юрьевич, безусловно, заслуживает присвоения ему учёной степени кандидата физико-математических наук.

Кандидат физико-математических наук, специальность 1.3.11 — «Физика полупроводников», научный сотрудник лаборатории «Технологии двумерной микроэлектроники» Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт автоматики и процессов управления» Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИАПУ ДВО РАН)

(Подпись, дата)

Азатьян Сергей Геннадьевич
31 марта 2025

Согласен на включение в аттестационное дело и дальнейшую обработку моих персональных данных, необходимых для процедуры защиты диссертации Лукашенко С.Ю.

Адрес:
690041, г. Владивосток, ул. Радио, д. 5
ИАПУ ДВО РАН, <https://www.iacp.dvo.ru>
тел.: +7 (423) 231-04-39
e-mail: sergei@iacp.dvo.ru

