ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Надоян Ирины Валерьевны «Исследование чувствительности детекторов массы и сенсоров оптически модулированных колебаний на основе наноструктур из углеродных вискеров», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 «Приборы и методы экспериментальной физики»

Диссертационная работа И.В. Надоян посвящена созданию детекторов малой массы и сенсоров оптически модулированных колебаний на основе углеродных нановискеров (УНВ), а также исследованию их механических свойств для дальнейшего повышения чувствительности наноразмерных измерительных систем резонансного типа.

Актуальность выбранной темы определяется тенденцией к миниатюризации и повышению эффективности приборов на основе микро- и наноструктурных объектов, которая приводит к появлению нового класса высокочувствительных сенсоров, имеющих большой коммерческий потенциал и широкую область применения, начиная от анализа химического состава различных веществ, заканчивая детектированием инерционной массы и сверхмалых сил.

Новый тип детекторов на основе одиночных УНВ обладает малой массой и высокими резонансными частотами в мегагерцовом диапазоне, что определяет его высокую чувствительность при детектировании малых масс. Продемонстрированное автором применение УНВ позволяет продвинуться в направлении улучшения характеристик измерительных наноразмерных систем. Проведенные в рамках представленной работы исследования позволили достичь чувствительности детекторов масс кантилеверного типа на основе УНВ порядка единиц фг. Кроме того, в работе рассматривается возможность применения нанооптомеханических систем на основе УНВ в качестве сенсоров оптомеханических эффектов.

В первой части работы автором было проведено моделирование колебаний углеродных нановискеров на первой и второй резонансных частотах с применением теории Эйлера-Бернулли. Проведены экспериментальные исследования, согласующиеся с результатами расчетов. Также в работе представлена теоретическая модель, описывающая режимы колебаний наномеханической системы на основе составных вискеров различного размера. Показано, что при определенном соотношении диаметров оснований и длин нановискеров в составной системе возможно возникновение механического резонанса Фано с резким профилем амплитудно-частотной характеристики, что позволяет повысить чувствительность указанной системы к локализованной массе.

Во второй части работы рассмотрено применение УНВ в качестве сенсора оптомеханических эффектов. Для этого была разработана теоретическая модель, описывающая колебания резонатора кантилеверного типа на основе одиночного УНВ, находящегося в фокусе лазерного пучка.

Показано, что модуляция температуры вискера, связанная с последовательным входом и выходом резонатора из точки фокусировки лазерного пучка, приводит к модуляции величины модуля Юнга УНВ (и как следствие жесткости), что, в свою очередь, обеспечивает возникновение в системе параметрического резонанса.

Достоверность приведённых результатов подтверждается воспроизводимостью измерений, произведённых на большом количестве изготовленных образцов, а также соответствием между результатами теоретических расчётов и полученными экспериментальными данными. Результаты работы опубликованы в журналах, входящих в перечень ВАК, и прошли апробацию на международных и российских конференциях.

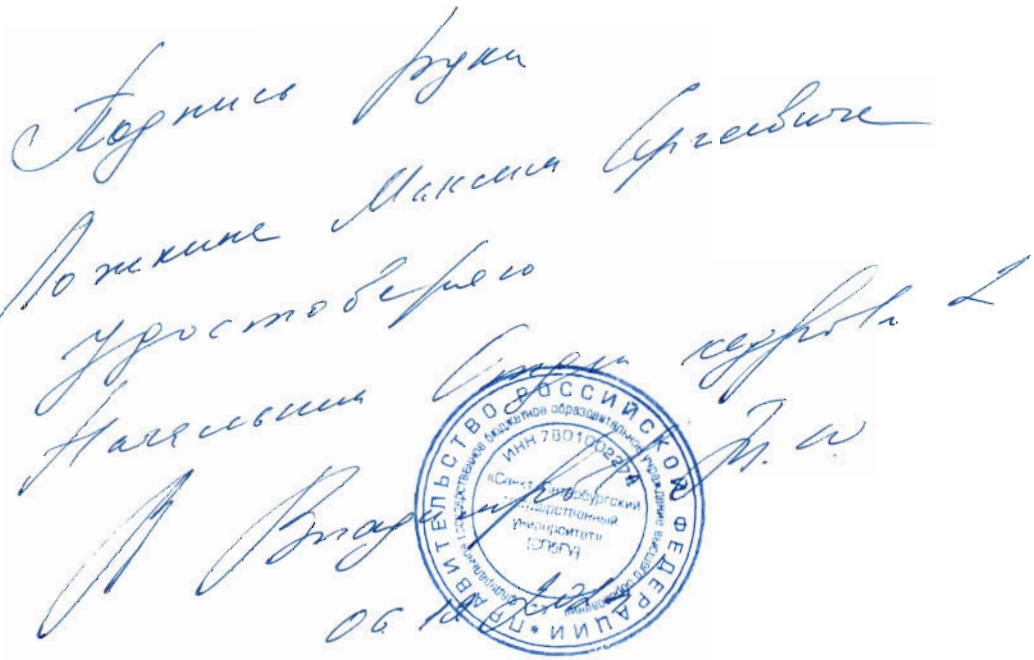
К замечаниям и недостаткам автореферата можно отнести:

1. Используемые теоретические модели описывают плоские колебания УНВ, при этом отсутствуют комментарии, относящиеся к определению направления плоскости колебаний свободного УНВ, а также возможного изменения этого направления в связи с размещением точечной массы на свободном конце УНВ. Асимметричная форма колебаний, которую можно заметить на СЭМ-изображениях на рис. 9 и 10, может быть связана с отклонением колебаний от плоской формы, а также с искажением при проецировании колебания на плоскость наблюдения.
2. Представленная на рис. 15 зависимость чувствительности двухсегментного УНВ от радиусов оснований нижнего и верхнего сегментов содержит прилегающую к оси абсцисс область, отвечающую наибольшей чувствительности вплоть до величины 1000 нм/фг, на которую ссылается автор работы в тексте при оценке порога детектируемых масс. Данная область соответствует значениям диаметра основания верхнего сегмента менее 20 нм, что вызывает вопрос о практической применимости соответствующих двухсегментных систем на практике.
3. Аналитическая модель механических колебаний в условиях периодической модуляции оптическим нагревом, представленная в главе 4, не отражает эффект насыщения кривой роста амплитуды колебаний при увеличении мощности лазерной накачки УНВ, который можно заметить на рис. 18-в. Кроме того, не вполне понятно, отражает ли данная модель влияние наночастицы, закреплённой на свободном конце УНВ, что, как отмечает автор работы, придаёт более выраженный характер зависимости изменения амплитуды и частоты колебаний от мощности лазерной накачки системы.

Несмотря на приведённые выше замечания, следует отметить, что автореферат позволяет судить о диссертационной работе И. В. Надоян как о завершенной научно-квалификационной работе. По объёму, качеству и

практической значимости выполненных работ диссертация отвечает требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а её автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 — «Приборы и методы экспериментальной физики».

Специалист, кандидат физ.-мат. наук Ложкин М.С.

Санкт-Петербургский государственный университет
Адрес: 199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная, 7-9
Электронная почта: maksim.lozhkin@spbu.ru
Телефон: (904)6398990

"6" декабря 2024 г.