

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Дружинина Александра Владимировича на тему «Термическая стабильность многослойных структур на основе чередующихся наноразмерных слоев меди и вольфрама», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния

Многослойные наноструктурные материалы – класс материалов с уникальными физическими свойствами, которые можно варьировать в широких пределах под различные научно-технические задачи. Это достигается за счет возможности изменять толщину и последовательность слоев в материале. Рассматриваемая диссертантом многослойная наноструктура медь-вольфрам привлекает к себе повышенный научный интерес, связанный с возможностью эксплуатации в условиях экстремально высоких температур. Поэтому поставленная цель, связанная с экспериментальным изучением влияния толщин чередующихся наноразмерных слоев меди и вольфрама, а также характера их расположения в объеме многослойных структур на термическую эволюцию остаточных механических напряжений в слоях и процесс термической деградации слоев системы Cu/W, является актуальной.

Структура автореферата представляется логичной, в полной мере отображающей содержание диссертационной работы. В разделе «Краткое содержание работы» приводятся механизмы деградации слоистой микроструктуры, а также возможные причины изменения микроструктуры во время термического отжига. Далее подробно описаны методы получения исследуемых систем Cu/W и их основные физико-химические характеристики.

В следующем разделе приведены результаты экспериментальных исследований полученных многослойных структур. Показано, что все полученные образцы обладают равномерной слоистой микроструктурой без макродефектов в виде пор или трещин, при этом в слоях обнаружены высокие сжимающие остаточные механические напряжения. На основании рассчитанных значений величины силы, создаваемой межфазной границей раздела сделан вывод о причинах появления сжимающих механических напряжений в слоях.

Четвертая, пятая и шестая главы посвящены исследованиям изменений, происходящих в многослойных структурах Cu/W, подвергнутых термическому отжигу в различных интервалах температур. Приведенные в работе результаты подтверждают деградацию слоистой микроструктуры после отжига при 700-800°C, а также формирование микроструктуры нанокompозита с образованием пустот в его объеме.

В целом диссертационная работа Дружинина А. В. выполнена на хорошем научном и методическом уровне. Вместе с тем некоторые подходы и терминология вызывают вопросы:

1. Зачем энергию межфазной границы, выраженную в Дж/м², называть силой? Сила имеет другой физический смысл и размерность.
2. Термин «механическое напряжение» адекватен по отношению к сплошным средам. В пленке толщиной в несколько атомных слоев его нельзя применять без оговорок.
3. Сверхрешетки Cu/W и напряжения/деформации в них исследуются уже несколько десятков лет, но в материалах автореферата нигде не проводится сравнительный анализ полученных результатов с данными других авторов.

Несмотря на сделанные замечания, считаю, что представленная диссертационная работа является законченным и актуальным исследованием, соответствует паспорту специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния и всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к

кандидатским диссертациям, а ее автор Дружинин А.В. заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния.

Даю согласие на обработку персональных данных.

Головин Юрий Иванович
Директор Научно-исследовательского института
«Нанотехнологии и наноматериалы» ФГБОУ ВО
«Тамбовский государственный университет имени Г.Р.
Державина»,
Ведущий научный сотрудник химического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова
Заслуженный деятель науки РФ
Д.ф.-м.н. (01.04.07 - физика конденсированного
состояния), профессор



Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего образования «Тамбовский государственный
университет имени Г.Р. Державина»
Адрес: 392000, г. Тамбов, ул. Интернациональная, 33
Тел: 8 (4752) 53-26-80
e-mail: nano@tsutmb.ru



ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»	
Подпись <u>Головина Ю. И.</u>	
ЗАВЕРЯЮ	
Заместитель директора Департамента УП и КП <u>Вед. спец. Туржанов Д. А. А.</u>	
« 25 » ноября	20 21 г.