

Отзыв

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

Одним из значимых научных направлений по исследованиям и разработкам новых металлических материалов, которое развивалось последние десятилетия, было, и является до сих пор, разработка наноструктурных и наноструктурированных материалов. Измельчение зёрненной структуры сплавов до субмикро- и нанокристаллического размера приводит к значительному изменению физико-механических свойств этих материалов. Исследования показали, что основная причина появления уникальных свойств, в частности, высоких механических характеристик мелкозернистых материалов по сравнению с крупнозернистыми, кроется в структуре внутренних границ раздела: межзёрненных и межфазных. Хорошо известно, что механические характеристики крупнозернистых материалов определяются объёмными свойствами фаз. Наноматериалы в виде тонких плёнок, которые представляют собой атомные слои, нанесённые на поверхность объёмного материала (подложки) являются одними из наиболее распространённых. Формирование таких иногда многослойных покрытий делается с целью придания материалу требуемых физико-механических или химических свойств. Вместе с тем в изготовленных многослойных структурах (МС) может происходить дестабилизация созданной слоистой микроструктуры, что неизбежно приведёт к существенному изменению заданных свойств. В связи с этим исследование термической стабильности многослойных структур на основе чередующихся наноразмерных слоев меди и вольфрама является **актуальной задачей**. Выбор МС металлических систем элементов из меди и вольфрама, которые не растворяются друг в друге, облегчает задачу, так как в этом случае не будет дополнительных фаз, которые внесли бы дополнительные сложности в исследование.

В процессе выполнения работы **получен ряд новых результатов** и особого внимания заслуживает следующий результат. «Впервые экспериментально получено значение силы, создаваемой межфазной границей раздела $\text{Cu}(111)/\text{W}(110)$, и определена её зависимость от температуры отжига в МС системы Cu/W . Обнаружено, что существует дополнительный источник механических напряжений, который действует одинаково на все бислои и связан с воздействием подложки на МС. Экспериментально обнаружено, что с ростом температуры отжига (при фиксированной его длительности) величина силы, создаваемой межфазными границами раздела $\text{Cu}(111)/\text{W}(110)$, линейным образом уменьшается до нулевого значения.

Достоверность полученных результатов обеспечена использованием современных методов исследования (сканирующая электронная микроскопия, сканирующая просвечивающая электронная микроскопия, оже-электронная спектроскопия, рентгеновская дифракция), что позволило получить надежные экспериментальные данные

о термической эволюции микроструктуры изученных образцов МС. Все измерения производились с использованием аттестованного экспериментального оборудования. По материалам диссертации опубликовано 7 публикаций в изданиях, входящих в перечень ВАК. Результаты работы были доложены на ряде международных конференций и хорошо известны научному сообществу.

Диссертационная работа Дружинина Александра Владимировича «Термическая стабильность многослойных структур на основе чередующихся наноразмерных слоев меди и вольфрама» актуальна, содержит научную новизну, обладает теоретической и практической значимостью и соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 1.3.8. «Физика конденсированного состояния» и требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842 (ред. от 01.10.2018, с изменениями от 26.05.2020), а её автор, Дружинин Александр Владимирович, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. «Физика конденсированного состояния».

Доктор физико-математических наук (01.04.07 – Физика твёрдого тела, диплом ДТ № 015192), профессор по специальности «Физика конденсированного состояния» (аттестат ПС № 002834), советник директора по научно-организационным вопросам, главный научный сотрудник лаборатории материаловедения сплавов с памятью формы Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики прочности и материаловедения Сибирского Отделения Российской академии наук

Лотков Александр Иванович

Адрес: Проспект Академический, 2/4, г. Томск, Россия, 634055, тел. 8(3822)492696, E-mail: lotkov@ispms.ru

Я, Лотков Александр Иванович, даю своё согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Дружинина А.В., и их дальнейшую обработку.

Подпись доктора физико-математических наук, профессора Лоткова А.И. заверяю.

Учёный секретарь ИФПМ СО РАН

кандидат физико-математических наук

Адрес: 634055, г. Томск, проспект Академический, д. 2/4

Тел.: 8-(3822)-49-26-96. E-mail: lotkov@ispms.ru

