

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Бжихатлова Кантемира Чамаловича «Поверхностная сегрегация и ее влияние на некоторые свойства нанослоев на поверхности твердых растворов меди с марганцем, германием и алюминием», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.15-физика и технология наноструктур, атомная и молекулярная физика.

В настоящее время явление поверхностной сегрегации привлекает пристальное внимание специалистов из различных областей науки и техники. В различных устройствах промышленного назначения и космической техники широко применяются микро- и наноразмерные элементы, где поверхностные явления, и в первую очередь поверхностная сегрегация, играют определяющую роль. Медные сплавы, которые были объектами исследования в рецензируемой диссертационной работе, являются перспективными материалами для изготовления интегральных схем и преобразователей солнечной энергии. Вместе с тем, вопросы, связанные с влиянием поверхностной сегрегации на физико-химические свойства нанослоев на поверхности твердых растворов меди с марганцем, германием и алюминием, изучены недостаточно. Этим определяется актуальность темы диссертационной работы Бжихатлова К.Ч. «Поверхностная сегрегация и ее влияние на некоторые свойства нанослоев на поверхности твердых растворов меди с марганцем, германием и алюминием».

Общая характеристика работы.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и основные задачи работы, показана научная новизна и практическая значимость результатов и выводов, представлены основные научные положения, выносимые на защиту, описана апробация работы и определен личный вклад автора.

В первой главе дается обзор литературных данных по теме диссертации. В ней достаточно подробно рассмотрены теоретические аспекты поверхностной сегрегации и дается анализ наиболее часто используемых на практике критериев поверхностной активности компонентов в бинарных системах на основе меди. В этой главе дается анализ экспериментальных и теоретических исследований, посвященных поверхностной сегрегации в бинарных системах на основе меди. Показано, что поверхностная сегрегация примесей в этих сплавах изучена недостаточно.

Во второй главе описывается устройство и параметры электронного спектрометра для анализа поверхности твердых тел методами электронной оже-спектроскопии (ЭОС), спектроскопии характеристических потерь энергии электронов (СХПЭЭ) и дифракции медленных электронов (ДМЭ). Подробно описана методика получения и подготовки к исследованию образцов, а также методика проведения экспериментов в сверхвысоком вакууме.

Приведены электронные оже-спектры и спектры ХПЭЭ исследованных образцов в зависимости от температуры. Эксперимент проводился для поликристалла Cu-22.5 ат. % Mn и монокристаллов (100) Cu-4 ат. % Mn, (111) Cu-10 ат. % Al и (111) Cu-2 ат. % Ge. Во всех образцах экспериментально обнаружена поверхностная сегрегация атомов примеси. Температурная зависимость состава поверхностного слоя имеет сложный характер. На всех кривых зависимости поверхностной концентрации от температуры наблюдается максимум, то есть до определенной температуры содержание примеси в поверхностном слое увеличивается, а затем монотонно уменьшается. Для моно- и поликристаллического бинарного сплава Cu-Mn максимум концентрации примеси наблюдается при T=675 K, для Cu-Ge при T=575 K и для Cu-Al при T=625 K.

В работе получены спектры ХПЭЭ при различных значениях энергии первичного пучка. Зависимости интенсивности пиков характеристических потерь коррелируют с профилем распределения примеси по глубине.

Кроме того, соискателем приведены данные, полученные методом ДМЭ для исследованных бинарных систем. Стоит отметить, что в работе дается

анализ не только взаиморасположения рефлексов, но и формы, и интенсивности зеркального рефлекса. Для этого снимки дифракционных картин переводились в трехмерные модели (такой подход используется в методике SPA-LEED). Анализ зависимости интенсивности дифракционного рефлекса от температуры необходим для расчета динамических характеристик поверхности.

Третья глава посвящена исследованию сегрегации серы на медных образцах, а также влияния отжига в атмосфере на фазовый состав и морфологию бинарных систем Cu-Mn, Cu-Al и Cu-Ge. Автором экспериментально определена температура формирования суперструктуры Cu-S на поверхности меди. Совместное использование методик ЭОС, СХПЭЭ и ДМЭ позволило автору определить структуру и состав образовавшейся на поверхности фазы. На дифракционных картинах после отжига образца видны сверхструктурные рефлексы, которые свидетельствуют о сверхструктуре Cu (111)-($\sqrt{3}\times\sqrt{3}$)R30°-S. Концентрация серы на поверхности близка к 33%, что соответствует сульфиду Cu₂S. Сравнительный анализ сегрегации серы на монокристалле и поликристалле меди показал, что при одинаковых температурах на монокристалле концентрация выше, чем на поликристалле (33% и 25% серы соответственно). Это вызвано, по мнению диссертанта, тем, что в поликристалле сегрегирующая сера поступает не только на поверхность, но и на межзеренные границы.

Для исследования фазового состава и морфологии образцов использовались рентгенофлуоресцентный анализ (РФА), сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) и рентгеноспектральный микроанализ (РСМА), что позволило обнаружить формирование новых фаз в процессе отжига в атмосфере. Показано, что на поверхности монокристаллов формируются оксиды и соединения меди с примесями, причем оксидов на поверхности Cu-Mn гораздо больше, чем на Cu-Al и Cu-Ge. По нашему мнению, данное исследование несколько выивается из общей структуры диссертации, поскольку оно посвящено изучению поверхностной сегрегации в условиях контакта твердое тело – газ, а не твердое тело – вакуум.

Четвертая глава посвящена расчетам физических свойств поверхности исследованных сплавов с использованием экспериментальных данных, полученных диссертантом. Автором разработан ряд программных модулей, позволяющих автоматизировать расчеты по результатам экспериментальных данных. Подробно описаны принцип работы и возможности этих программ. Приведены результаты расчета поверхностного натяжения, адсорбции и коэффициента термодинамической активности компонентов на поверхности по данным ЭОС для изученных монокристаллов ((100) Cu-4 ат. % Mn, (111) Cu-10 ат. % Al и (100) Cu-2 ат. % Ge). Полученные результаты интересны с точки зрения прогнозирования влияния термостимулированной сегрегации на свойства поверхности. Кроме того, для поверхности монокристалла Cu-Mn рассчитаны температура Дебая, среднеквадратичные смещения атомов и температурный коэффициент поверхностного натяжения. Некоторые рассчитанные физические свойства (поверхностное натяжение, электронная плотность) коррелируют с концентрацией примеси на поверхности медных сплавов.

Сделанные автором выводы обоснованы. Полученные результаты являются итогом самостоятельной работы. Они представляются оригинальными, новыми и достаточно полно отражены в работе.

Достоверность и обоснованность полученных в ходе исследования результатов обеспечивается применением аттестованного экспериментального оборудования и апробированных методик, а также совпадением экспериментальных данных, полученных различными методами.

Научная новизна. Впервые проведен комплексный анализ состава, атомно-электронной структуры и свойств поверхности бинарных сплавов меди с Mn, Al и Ge. На основе экспериментальных данных . рассчитан ряд термодинамических характеристик поверхности монокристаллов, (100) Cu-4 ат. % Mn, (111) Cu-10 ат.% Al и (111) Cu-2 ат.% Ge по данным ЭОС. Установлен режим формирования двумерной фазы Cu₂S на поверхности монокристаллической меди с малой примесью серы и определены динамические характеристики поверхности монокристаллического сплава (100) Cu-4 ат. % Mn (температура Дебая и среднеквадратичные колебания атомов на поверхности).

Научная и практическая значимость. Полученные соискателем данные о составе и свойствах поверхности бинарных систем Cu-Mn, Cu-Al и Cu-Ge могут быть использованы как для построения новых, а также для уточнения имеющихся теоретических моделей поверхности твердого тела. Эти результаты найдут применение и при изготовлении тонких слоев с заданными свойствами.

По работе имеется ряд замечаний:

1. Для проведения расчетов физических свойств поверхности автор использует разработанные им же программные модули, но при этом нет подробного описания их апробации. Возможно, стоило провести тестирование разработанных программ на предмет наличия ошибок.

2. На основе полученных экспериментальных данных автором проведены расчеты N-варианта адсорбции по Гуггунгейму и Адаму. При этом автор не уточняет для какой модели проводились эти вычисления.

3. Автором мало вниманияделено методике анализа профилей дифракционных рефлексов. На наш взгляд, этим вопросам стоило уделить больше внимания.

Указанные замечания не носят принципиальный характер не снижают научной и практической значимости диссертационной работы Бжихатлова К.Ч.

Заключение

В целом диссертационная работа Бжихатлова К.Ч. выполнена на достаточно высоком профессиональном уровне, является самостоятельным и завершенным исследованием.

Тема и содержание диссертации соответствуют паспорту специальности 01.04.15 - Физика и технология наноструктур, атомная и молекулярная физика (п. 4, 8, 10). Основные положения диссертационного исследования достаточно полно опубликованы в открытой печати и апробированы на международных конференциях. Основные результаты исследований, выполненных по теме диссертации, опубликованы в 9 работах, в том числе 5 статьи в научных изданиях, входящих в перечень рекомендованных ВАК РФ. Автореферат диссертации в полной мере отражает ее содержание.

Диссертационное исследование «Поверхностная сегрегация и ее влияние на некоторые свойства нанослоев на поверхности твердых растворов меди с марганцем, германием и алюминием» представляет собой научно-квалификационную работу и удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям (п.п. 9, 10 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842), а автор исследования Бжихатлов Кантемир Чамалович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.15-Физика и технология наноструктур, атомная и молекулярная физика.

Официальный оппонент,
заведующий кафедрой «Теоретическая физика»
ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет»,
доктор физико-математических наук,
профессор

«27 » октября 2017г.



364907, Чеченская Республика, г. Грозный, ул. Шерипова, д. 32, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чеченский государственный университет»

Тел.+7 (928) 290-50-55

E-mail: raykom50@mail.ru

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Бжихатлова Кантемира Чамаловича «Поверхностная сегрегация и ее влияние на некоторые свойства нанослоев на поверхности твердых растворов меди с марганцем, германием и алюминием», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.15-физика и технология наноструктур, атомная и молекулярная физика.

В настоящее время явление поверхностной сегрегации привлекает пристальное внимание специалистов из различных областей науки и техники. В различных устройствах промышленного назначения и космической техники широко применяются микро- и наноразмерные элементы, где поверхностные явления, и в первую очередь поверхностная сегрегация, играют определяющую роль. Медные сплавы, которые были объектами исследования в рецензируемой диссертационной работе, являются перспективными материалами для изготовления интегральных схем и преобразователей солнечной энергии. Вместе с тем, вопросы, связанные с влиянием поверхностной сегрегации на физико-химические свойства нанослоев на поверхности твердых растворов меди с марганцем, германием и алюминием, изучены недостаточно. Этим определяется актуальность темы диссертационной работы Бжихатлова К.Ч. «Поверхностная сегрегация и ее влияние на некоторые свойства нанослоев на поверхности твердых растворов меди с марганцем, германием и алюминием».

Общая характеристика работы.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и основные задачи работы, показана научная новизна и практическая значимость результатов и выводов, представлены основные научные положения, выносимые на защиту, описана апробация работы и определен личный вклад автора.

В первой главе дается обзор литературных данных по теме диссертации. В ней достаточно подробно рассмотрены теоретические аспекты поверхностной сегрегации и дается анализ наиболее часто используемых на практике критериев поверхностной активности компонентов в бинарных системах на основе меди. В этой главе дается анализ экспериментальных и теоретических исследований, посвященных поверхностной сегрегации в бинарных системах на основе меди. Показано, что поверхностная сегрегация примесей в этих сплавах изучена недостаточно.

Во второй главе описывается устройство и параметры электронного спектрометра для анализа поверхности твердых тел методами электронной оже-спектроскопии (ЭОС), спектроскопии характеристических потерь энергии электронов (СХПЭЭ) и дифракции медленных электронов (ДМЭ). Подробно описана методика получения и подготовки к исследованию образцов, а также методика проведения экспериментов в сверхвысоком вакууме.

Приведены электронные оже-спектры и спектры ХПЭЭ исследованных образцов в зависимости от температуры. Эксперимент проводился для поликристалла Cu-22.5 ат. % Mn и монокристаллов (100) Cu-4 ат. % Mn, (111) Cu-10 ат. % Al и (111) Cu-2 ат. % Ge. Во всех образцах экспериментально обнаружена поверхностная сегрегация атомов примеси. Температурная зависимость состава поверхностного слоя имеет сложный характер. На всех кривых зависимости поверхностной концентрации от температуры наблюдается максимум, то есть до определенной температуры содержание примеси в поверхностном слое увеличивается, а затем монотонно уменьшается. Дляmono- и поликристаллического бинарного сплава Cu-Mn максимум концентрации примеси наблюдается при T=675 K, для Cu-Ge при T=575 K и для Cu-Al при T=625 K.

В работе получены спектры ХПЭЭ при различных значениях энергии первичного пучка. Зависимости интенсивности пиков характеристических потерь коррелируют с профилем распределения примеси по глубине.

Кроме того, соискателем приведены данные, полученные методом ДМЭ для исследованных бинарных систем. Стоит отметить, что в работе дается

анализ не только взаиморасположения рефлексов, но и формы, и интенсивности зеркального рефлекса. Для этого снимки дифракционных картин переводились в трехмерные модели (такой подход используется в методике SPA-LEED). Анализ зависимости интенсивности дифракционного рефлекса от температуры необходим для расчета динамических характеристик поверхности.

Третья глава посвящена исследованию сегрегации серы на медных образцах, а также влияния отжига в атмосфере на фазовый состав и морфологию бинарных систем Cu-Mn, Cu-Al и Cu-Ge. Автором экспериментально определена температура формирования суперструктуры Cu-S на поверхности меди. Совместное использование методик ЭОС, СХПЭЭ и ДМЭ позволило автору определить структуру и состав образовавшейся на поверхности фазы. На дифракционных картинах после отжига образца видны сверхструктурные рефлексы, которые свидетельствуют о сверхструктуре Cu (111)-($\sqrt{3}\times\sqrt{3}$)R30°-S. Концентрация серы на поверхности близка к 33%, что соответствует сульфиду Cu₂S. Сравнительный анализ сегрегации серы на монокристалле и поликристалле меди показал, что при одинаковых температурах на монокристалле концентрация выше, чем на поликристалле (33% и 25% серы соответственно). Это вызвано, по мнению диссертанта, тем, что в поликристалле сегрегирующая сера поступает не только на поверхность, но и на межзеренные границы.

Для исследования фазового состава и морфологии образцов использовались рентгенофлуоресцентный анализ (РФА), сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) и рентгеноспектральный микроанализ (РСМА), что позволило обнаружить формирование новых фаз в процессе отжига в атмосфере. Показано, что на поверхности монокристаллов формируются оксиды и соединения меди с примесями, причем оксидов на поверхности Cu-Mn гораздо больше, чем на Cu-Al и Cu-Ge. По нашему мнению, данное исследование несколько выбивается из общей структуры диссертации, поскольку оно посвящено изучению поверхностной сегрегации в условиях контакта твердое тело – газ, а не твердое тело – вакуум.

Четвертая глава посвящена расчетам физических свойств поверхности исследованных сплавов с использованием экспериментальных данных, полученных диссертантом. Автором разработан ряд программных модулей, позволяющих автоматизировать расчеты по результатам экспериментальных данных. Подробно описаны принцип работы и возможности этих программ. Приведены результаты расчета поверхностного натяжения, адсорбции и коэффициента термодинамической активности компонентов на поверхности по данным ЭОС для изученных монокристаллов ((100) Cu-4 ат. % Mn, (111) Cu-10 ат. % Al и (100) Cu-2 ат. % Ge). Полученные результаты интересны с точки зрения прогнозирования влияния термостимулированной сегрегации на свойства поверхности. Кроме того, для поверхности монокристалла Cu-Mn рассчитаны температура Дебая, среднеквадратичные смещения атомов и температурный коэффициент поверхностного натяжения. Некоторые рассчитанные физические свойства (поверхностное натяжение, электронная плотность) коррелируют с концентрацией примеси на поверхности медных сплавов.

Сделанные автором выводы обоснованы. Полученные результаты являются итогом самостоятельной работы. Они представляются оригинальными, новыми и достаточно полно отражены в работе.

Достоверность и обоснованность полученных в ходе исследования результатов обеспечивается применением аттестованного экспериментального оборудования и апробированных методик, а также совпадением экспериментальных данных, полученных различными методами.

Научная новизна. Впервые проведен комплексный анализ состава, атомно-электронной структуры и свойств поверхности бинарных сплавов меди с Mn, Al и Ge. На основе экспериментальных данных . рассчитан ряд термодинамических характеристик поверхности монокристаллов, (100) Cu-4 ат. % Mn, (111) Cu-10 ат.% Al и (111) Cu-2 ат.% Ge по данным ЭОС. Установлен режим формирования двумерной фазы Cu₂S на поверхности монокристаллической меди с малой примесью серы и определены динамические характеристики поверхности монокристаллического сплава (100) Cu-4 ат. % Mn (температура Дебая и среднеквадратичные колебания атомов на поверхности).

Научная и практическая значимость. Полученные соискателем данные о составе и свойствах поверхности бинарных систем Cu-Mn, Cu-Al и Cu-Ge могут быть использованы как для построения новых, а также для уточнения имеющихся теоретических моделей поверхности твердого тела. Эти результаты найдут применение и при изготовлении тонких слоев с заданными свойствами.

По работе имеется ряд замечаний:

1. Для проведения расчетов физических свойств поверхности автор использует разработанные им же программные модули, но при этом нет подробного описания их апробации. Возможно, стоило провести тестирование разработанных программ на предмет наличия ошибок.

2. На основе полученных экспериментальных данных автором проведены расчеты N-варианта адсорбции по Гуггунгейму и Адаму. При этом автор не уточняет для какой модели проводились эти вычисления.

3. Автором мало вниманияделено методике анализа профилей дифракционных рефлексов. На наш взгляд, этим вопросам стоило уделить больше внимания.

Указанные замечания не носят принципиальный характер не снижают научной и практической значимости диссертационной работы Бжихатлова К.Ч.

Заключение

В целом диссертационная работа Бжихатлова К.Ч. выполнена на достаточно высоком профессиональном уровне, является самостоятельным и завершенным исследованием.

Тема и содержание диссертации соответствуют паспорту специальности 01.04.15 - Физика и технология наноструктур, атомная и молекулярная физика (п. 4, 8, 10). Основные положения диссертационного исследования достаточно полно опубликованы в открытой печати и апробированы на международных конференциях. Основные результаты исследований, выполненных по теме диссертации, опубликованы в 9 работах, в том числе 5 статьи в научных изданиях, входящих в перечень рекомендованных ВАК РФ. Автореферат диссертации в полной мере отражает ее содержание.

Диссертационное исследование «Поверхностная сегрегация и ее влияние на некоторые свойства нанослоев на поверхности твердых растворов меди с марганцем, германием и алюминием» представляет собой научно-квалификационную работу и удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям (п.п. 9, 10 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842), а автор исследования Бжихатлов Кантемир Чамалович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.15-Физика и технология наноструктур, атомная и молекулярная физика.

Официальный оппонент,
заведующий кафедрой «Теоретическая физика»
ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет»
доктор физико-математических наук,
профессор

«27 » октября 2017г.



364907, Чеченская Республика, г. Грозный, ул. Шерипова, д. 32, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чеченский государственный университет»

Тел.+7 (928) 290-50-55

E-mail: raykom50@mail.ru