



734025, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17

734025, г. Душанбе, проспект Рудаки, 17

тел.: (+992-37) 221-77-11, факс: (+992-37) 221-48-84

e-mail: tgnu@mail.tj, tnu.int.re@gmail.com

аз «    » соли 2019  
от «04» 03 2019 года

сод.№  
исх.№ 287/9с

«УТВЕРЖДАЮ»  
проректор по научной работе  
Таджикского национального  
университета, д.х.н., профессор  
Сафармамадов С.М.  
«04» марта 2019 г.

## ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

**Бердиева Асадкула Эгамовича**

на тему: «Физико-химические свойства сплавов особочистого и технического алюминия с редкоземельными металлами, сурьмой и элементами подгруппы германия», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 02.00.04 – физическая химия.

Современные науку, технику и производство во всех существующих отраслях невозможно представить без интегральных микросхем, для разработки которых необходимы тонкие металлические плёнки на основе сплавов высокочистых металлов, содержащих два или более компонента. Кроме того, с практической точки зрения важно, что с применением тонких металлических пленок стало возможно устранение целого ряда проблем, возникающих в процессе использования микромодифицированных элементов. К числу таковых относятся: выбор вида и оптимального состава добавок; трудноразрешимая примесная чистота компонентов, наличие оптимальной, стабильной и более дешевой, а также доступной технологии и надежной аппаратуры для получения сплавов высокой чистоты. Перечисленное должно опираться на современную, достаточно и всесторонне обоснованную теоретическую базу.

Сплавы особо чистого алюминия позволяют изменить в лучшую сторону все служебные характеристики приборов, а изучение их физико-химических свойств расширяет области их применения. Возникает необходимость модифицирования сплавов системы Al-Si (силуминов), это сплавы АК1, АК1М2, АК7М2, АК12 и АК12М2 с редкоземельными металлами, элементами подгруппы германия и сурьмой, улучшения их коррозионной устойчивости.

Следует отметить, что разработка теоретических основ для выбора нужных композиций сплавов на основе особо чистого и вторичного алюминия, исследование их физико-химических свойств, также, являются важными, научными и приоритетными направлениями. В связи с этим, без сомнения, диссертационная работа Бердиева Асадкула Эгамовича посвящена как теоретически, так и практически значимой теме, и является на сегодняшний день актуальной.

**Цель исследования** заключается в разработке физико-химических основ синтеза новых составов алюминиево-кремниевомедистых сплавов на основе особо чистого алюминия марки А5N чистотой 99.999 % и алюминия технических марок, модифицированных редкоземельными металлами, сурьмой и элементами подгруппы германия для использования в микроэлектронике в качестве мишеней при напылении токопроводящих дорожек в интегральных микросхемах, а также как конструкционный материал.

**Научная новизна исследования** заключается в установлении:

- температурной зависимости удельной теплоёмкости и изменений термодинамических функций сплавов АК1, АК12, АК1М2 (РЗМ) и АК7М2 (Ge, Sn, Pb);

- кинетических и энергетических характеристик процесса окисления сплавов АК1, АК1М2 на основе особо чистого алюминия марки А5N и сплавов АК7М2, АК12, АК12М2 на основе технического алюминия с РЗМ, элементами подгруппы германия и сурьмой, в твердом состоянии;

- места модифицирующих элементов в формировании фазового состава продуктов окисления сплавов АК1, АК1М2, АК7М2, АК12 и АК12М2, с РЗМ, элементами подгруппы германия и сурьмой, а также их роли в механизме окисления;

- определении анодных характеристик сплавов АК1, АК1М2, АК7М2, АК12 и АК12М2 от содержания РЗМ (Sc, Y, Ce, Pr, Nd), элементов

подгруппы германия (Ge, Sn, Pb) и сурьмы, в среде электролита NaCl различной концентрации.

*Практическая значимость исследования* заключается в разработке оптимального состава сплавов АК1, АК1М2 на основе особо чистого алюминия марки А5N и сплавов АК7М2, АК12 и АК12М2 на основе технического алюминия марки А0 с РЗМ, сурьмой и элементами подгруппы германия, отличающихся коррозионной стойкостью и защитой их малыми патентами Республики Таджикистан.

*Основные положения, выносимые на защиту:*

- температурная зависимость удельной теплоёмкости и изменений термодинамических функций (энтальпия, энтропия, энергия Гиббса), модифицированных РЗМ (Sc, Y, Ce, Pr, Nd), элементами подгруппы германия и сурьмой сплавов АК1, АК1М2, АК7М2, АК12 и АК12М2, в зависимости от концентрации легирующей добавки и температуры;

- закономерности изменения кинетических и энергетических характеристик процесса высокотемпературного окисления сплавов АК1, АК1М2, АК7М2, АК12 и АК12М2, модифицированных РЗМ, элементами подгруппы германия и сурьмой, в зависимости от концентрации модифицирующего компонента и температуры, в твердом состоянии;

- результаты ИК- спектроскопии и РФА продуктов окисления сплавов систем Al-Si и Al-Si-Cu с редкоземельными металлами, элементами подгруппы германия и сурьмой при высоких температурах;

- закономерности изменения анодного поведения Al-Si и Al-Si-Cu сплавов с РЗМ, элементами подгруппы германия и сурьмой от концентрации электролита NaCl.

*Личный вклад автора* заключается в анализе литературных данных, нахождении эффективных способов решения поставленных задач, подготовке и проведении исследований в лабораторных условиях; статистической обработке экспериментальных результатов, формулировке основных положений и выводов диссертации, опубликовании результатов исследований, оформлении патентов.

Результаты работы отражены в 75 научных публикациях, из которых 2 монографии, 32 статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК Российской Федерации и в 36 материалах международных и республиканских конференций, а также получено 5 малых патента Республики Таджикистан.

**Объем и структура исследования.** Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, обзора литературы, экспериментального материала, выводов, списка использованной литературы и приложения. Диссертация изложена на 256 страницах компьютерного набора, включает 93 таблиц, 100 рисунков и 178 наименований литературных источников.

Тема диссертационной работы является неотъемлемой частью «Стратегии Республики Таджикистан в области науки и технологии на 2007-2015 гг.», а также программы «Внедрения важнейших разработок в промышленное производство Республики Таджикистан на 2010-2015 гг.».

В качестве исходного материала использовали особо чистый алюминий марки А5N (ГОСТ 110669-01) и вторичный алюминий марки А0 (ГОСТ 110669-01).

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель и изложены задачи и основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** приведены литературные сведения по структурообразованию и свойствах алюминия, кремния, меди и редкоземельных металлов, проведён анализ литературных данных по структуре и свойствам сплавов систем Al-Si, Al-PЗМ, Al-Si-PЗМ, а также освещены данные по высокотемпературному окислению алюминия и его сплавов с кремнием.

В связи с отсутствием в литературе сведений о физико-химических свойствах сплавов особо чистого алюминия с РЗМ сделан вывод о необходимости выполнения исследований по данной теме.

**Во второй главе** приведены результаты исследования температурной зависимости теплофизических свойств и термодинамических функций сплавов АК1, АК1М2, АК7М2, АК12 и АК12М2, модифицированных редкоземельными металлами, элементами подгруппы германия и сурьмой.

**Третья глава** посвящена исследованию кинетики высокотемпературного окисления алюминиево-кремниевых сплавов с редкоземельными металлами, элементами подгруппы германия и сурьмы, в твердом состоянии.

**В четвёртой главе** приведены результаты исследования анодного поведения сплавов АК1, АК1М2 на основе особо чистого алюминия марки А5N и сплавов АК7М2, АК12, АК12М2 на основе технического алюминия, модифицированных РЗМ (Sc, Y, Ce, Pr, Nd), элементами подгруппы германия (Ge, Sn, Pb) и сурьмой, в среде электролита NaCl различной

концентрации.

Проведены исследования по изучению температурной зависимости теплоемкости и изменений термодинамических функций сплавов особо чистого и технического алюминия с редкоземельными металлами, сурьмой и элементами подгруппы германия. Синтезированы 9 новых алюминиевых литейных сплавов на основе систем Al-Si и Al-Si-Cu. в вакуумной печи сопротивления типа СНВ-1.3-1/16 ИЗ в атмосфере гелия под избыточным давлением 0.5 МПа. Содержание компонентов определен спектральным методом по стандартным (эталонным) образцам. Исследованы микроструктуры полученных сплавов, а также их теплоемкость до температуры 900 К. Установлена температурная зависимость теплоемкости, рассчитаны термодинамические функции процессов образования полученных сплавов. Показано, что примеси: Mg, Cu, Mn, Fe и др., присутствующие в промышленных силуминах, образуют интерметаллические фазы с алюминием и друг с другом.

На установке, предложенной соискателем, в режиме «охлаждения» получены экспериментальные данные по теплоемкости многокомпонентных алюминиевых сплавов, которые в литературе практически отсутствуют, и в режиме «нагрева» осуществить крайне сложно.

Подобные исследования проведены и для 16 сплавов на основе особо чистого алюминия, модифицированного скандием и иттрием. Впервые получены данные по теплофизическим свойствам и термодинамическим функциям материалов. Экспериментально получены временные зависимости температуры охлаждения образцов, вычислены скорости их охлаждения, выведены уравнения, рассчитаны их коэффициенты. Применяя значения скорости охлаждения и рассчитанные значения коэффициента теплоотдачи для сплавов особо чистого алюминия, вывели уравнения зависимости теплоёмкости от температуры для них, рассчитаны теплоёмкости модифицированных сплавов АК1М2, АК12 и АК12М2.

Необходимо отметить, что соискателем выполнен большой объем экспериментальных и расчетных работ, а также статистической обработки. Это позволило ему с учетом полученных данных удачно решить поставленные перед ним задачи.

Новые и не менее важные данные получены по термодинамическим функциям всех полученных сплавов. Выявлена температурная зависимость изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса для полученных сплавов.

Изучение теплофизических свойств и термодинамических функции сплавов алюминия с РЗМ показало, что самым минимальным значением теплоемкости обладает сплав АК1М2 с иттрием, а максимальные относятся к сплавам, модифицированным неодимом. С ростом температуры удельная теплоемкость, энтальпия, энтропия сплавов увеличиваются, а значения энергии Гиббса - уменьшается.

Диссертантом исследованы температурная зависимость теплопроводности сплава АК7М2 на основе вторичного алюминия, модифицированного элементами подгруппы германия; изучена кинетика окисления сплавов особо чистого и технического алюминия с редкоземельными металлами, сурьмой и элементами подгруппы германия, в твердом состоянии.

Детально исследованы процессы окисления алюминиево-кремниевых сплавов АК1, АК1М2, АК7М2, АК12 и АК12М2, модифицированных РЗМ (Sc, Y, Ce, Pr, Nd), элементами подгруппы германия (Ge, Sn, Pb) и сурьмой, в твердом состоянии, а также анодное поведение сплавов особо чистого и технического алюминия с редкоземельными металлами, сурьмой и элементами подгруппы германия. Все полученные соискателем данные восполняют недостающие в литературе физико-химические показатели, которые смогут использовать специалисты различных направлений химической науки.

Материалы диссертационной работы Бердиева А.Э. прошли большую апробацию, её основные положения обсуждались на 15 Международных, 15 Республиканских конференциях.

Бердиевым А.Э. в диссертационной работе решена научная проблема в области разработки сплавов особо чистого и технического алюминия с редкоземельными металлами, сурьмой и элементами подгруппы германия. Результаты рецензируемой работы особенно важны при решении технологических вопросов и разработке модифицированных сплавов системы Al-Si (силуминов): АК1, АК1М2, АК7М2, АК12 и АК12М2 с редкоземельными металлами, элементами подгруппы германия и сурьмой; повышения их коррозионной устойчивости, с дальнейшим использованием их в микроэлектронике в качестве мишеней при напылении токопроводящих дорожек в интегральных микросхемах и конструкционных материалах для фасонного литья в автотракторном и авиастроении, строительной и транспортной промышленности.

Все результаты, полученные диссертантом, являются новыми, выводы сформулированы аргументировано. Основные положения диссертационной работы отражены в автореферате, а публикации отражают основное их содержание. Рецензируемая диссертационная работа соответствует специальности 02.00.04-физическая химия.

Тем не менее, при чтении автореферата и диссертационной работы Бердиева А.Э. возникли некоторые замечания.

1. В тексте автореферата и диссертации имеются грамматические и технические ошибки (стр. 2, 4, 6, 10, 15 (автореферат) и 5, 8, 13, 33, 45, 70, 119, 200.....(диссертация)).

2. Номера всех таблиц и рисунков должны быть сквозными.

3. Не все данные таблиц обсуждены, не объяснены установленные экспериментально закономерности.

4. В работе нет объяснений причин роста или уменьшения теплофизических свойств и термодинамических функций сплавов.

5. Кинетика окисления сплавов изучена лишь в твердом состоянии. Следовало изучить кинетические характеристики некоторых сплавов также в жидком состоянии.

6. Электрохимические исследования сплавов выполнены только в нейтральной среде электролита NaCl. Следовало провести подобные исследования в кислых и щелочных средах, что дало бы возможность построить зависимость скорости коррозии сплавов от pH среды.

Однако, возникшие замечания несколько не снижают достоинства выполненной работы.

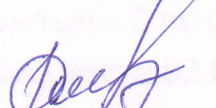
Диссертация Бердиева А.Э. соответствует специальности 02.00.04-Физическая химия (технические науки) по следующим пунктам: п. 3- определение термодинамических характеристик процессов на поверхности, установление закономерностей адсорбции на границе раздела фаз и формирования активных центров на таких поверхностях; п. 5- изучение физико-химических свойств систем при воздействии внешних полей, а также в экстремальных условиях высоких температур и давлений; п. 7- макрокинетика, механизмы сложных химических процессов, физико-химическая гидродинамика, растворение и кристаллизация; п. 10 - связь реакционной способности реагентов с их строением и условиями осуществления химической реакции; п. 11- физико-химические основы процессов химической технологии. Это дает основание считать, что соискатель Бердиев А.Э. достоин присуждению учёной степени доктора

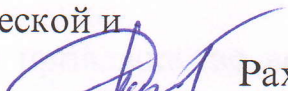
технических наук по специальности 02.00.04- Физическая химия (технические науки).

Диссертационная работа Бердиева А.Э. представляет собой законченное научное исследование, выполненное автором самостоятельно на высоком уровне, в котором изложены новые научно-обоснованные решения в области физико-химических свойства сплавов особо чистого и технического алюминия с редкоземельными металлами, сурьмой и элементами подгруппы германия, внедрение которых внесет значительный экономический вклад. Полученные автором результаты, несомненно, достоверны и имеют большое практическое, а также теоретическое значение. По своему содержанию и объему работа отвечает критериям пунктов 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 28.08.2017г.), предъявляемым к докторским диссертациям. Автор работы Бердиев А.Э. заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 02.00.04-физическая химия.

Отзыв обсужден на заседании кафедры физической и коллоидной химии химического факультета Таджикского национального университета, протокол №8 от 22 февраля 2019 г.

**Отзыв составили:**

Заведующий кафедрой физической и коллоидной химии ТНУ, к.х.н., доцент  Файзуллоев Э.Ф.

Д.х.н., профессор кафедры физической и коллоидной химии ТНУ  Рахимова Мубаширхон

Адрес: 734025, г. Душанбе, пр. Рудаки, 17, химический факультет ТНУ.

E-mail: [kfk1964@mail.ru](mailto:kfk1964@mail.ru) тел. 93-856-96-69

E-mail: [muboshira09@mail.ru](mailto:muboshira09@mail.ru) тел. 918-76-90-70

Подписи заведующего кафедрой физической и коллоидной химии, к.х.н., доцента Файзуллоева Эркина Фатхуллоевича, д.х.н., профессора кафедры физической и коллоидной химии химического факультета ТНУ, Рахимовой Мубаширхон

Начальник управления по кадрам

Таджикского национального университета  Тавкиев Эмомали

