

Министерство образования и науки  
Российской Федерации  
Федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тверской государственный университет»

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ  
ИЗУЧЕНИЯ КЛАСТЕРОВ,  
НАНОСТРУКТУР  
И НАНОМАТЕРИАЛОВ**

***МЕЖВУЗОВСКИЙ СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ***

**выпуск 8**

**ТВЕРЬ 2016**

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145  
ББК Ж36:Г5+В379  
Ф50

**Рецензент сборника:**

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики конденсированного состояния Тверского государственного университета  
*Н.Н. Большакова*

**Рецензирование статей осуществляется на основании Положения об рецензировании статей и материалов для опубликования в Межвузовском сборнике научных трудов «Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов».**

**Официальный сайт издания в сети Интернет:  
[www.physchemaspects.ru](http://www.physchemaspects.ru)**

**Ф50** Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов [Текст]: межвуз. сб. науч. тр. / под общей редакцией В.М. Самсонова, Н.Ю. Сдобнякова. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2016. – Вып. 8. – 448 с.

ISBN 978-5-7609-1161-2

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 7747789 от 13.12.2011

Сборник составлен из оригинальных статей теоретического и экспериментального характера, отражающих результаты исследований в области изучения физико-химических процессов с участием кластеров, наноструктур и наноматериалов физики, включая межфазные явления и нанотермодинамику. Сборник предназначен для научных и инженерно-технических работников, преподавателей ВУЗов, студентов и аспирантов. Издание подготовлено на кафедре общей физики Тверского государственного университета.

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145  
ББК Ж36:Г5+В379

ISBN 978-5-7609-1161-2

ISSN 2226-4442

© Коллектив авторов, 2016  
© Тверской государственной  
университет, 2016

УДК 538.93

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОПЕРЕНОСА НА КОНТАКТНОЕ ПЛАВЛЕНИЕ В ТАЛЛИЕВЫХ СИСТЕМАХ

А.М. Багов

ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет

им. Х.М. Бербекова»

360004, КБР, Нальчик, ул. Чернышевского, д. 173

vegros@rambler.ru

**Аннотация:** Расширен круг новых систем в которых наблюдается понижение температуры фазового перехода (плавление) в контакте твердых разнородных пар металлов, отличающихся типом диаграмм состояния. Установлено, что соединение образцов наблюдается во всех исследованных системах, которые происходят в некотором временном и температурном интервалах характерных для каждой пары металлов. С помощью электропереноса [1-3] удается идентифицировать этот процесс.

*Ключевые слова:* контактное плавление, электроперенос, металлы, сплавы, диффузия,  $\Delta T$  – эффект, метастабильное контактное плавление, интерметаллиды, эвтектика.

Механизм зарождения новой фазы, в частности жидкой, и ее рост в контакте твердых тел (контактное плавление (КП)) остается предметом научной дискуссии в современной физике конденсированного состояния. Этот вопрос особенно усугубляется в том случае, когда речь заходит о взаимодействии (соединении) разнородных материалов при температурах ниже температуры плавления легкоплавкого компонента, а в эвтектических системах, ниже эвтектической температуры. Последнее, вошло в литературу под названием  $\Delta T$  – эффекта, проявление которого характерно для систем с химическим взаимодействием компонентов [4, 5].

Данное сообщение является продолжением работ [6, 7] и ставит своей целью расширить круг систем с определенными особенностями, а именно исследовать системы с различными диаграммами состояния. В качестве объектов для исследования были выбраны системы:  $Bi-Tl$ ,  $In-Tl$ ,  $Pb-Tl$ . Методика исследования описана в работах [6, 7].

### Система содержит два интерметаллида

Рассмотрим систему  $Bi-Tl$ , диаграмма состояния которой приведена в [8]. Система  $Bi-Tl$ , содержит два конгруэнтно плавящихся интерметаллида:  $BiTl$  и  $Bi_2Tl$ , температура плавления наименьшей эвтектики соответствует  $188^\circ C$ . Данная система исследована в работах [5, 9, 10]. Показано, что соединение образцов происходило при температурах ниже температуры плавления легкоплавкой стабильной эвтектики. Нами проведено изучение  $\Delta T$  – эффекта в системе  $Bi-Tl$ , при наличии ЭП. При проведении эксперимента использовались металлы марок  $Tl-000$  и  $Bi-000$ . Результаты приведены в Таблице 1.

Анализ полученных результатов показывает, что образцы соединяются практически всегда (см. Таблицу 1), когда направление диффузии и электрического тока совпадают, в то время как при противоположном направлении тока не соединяются вообще, хотя это не означает отсутствие образование метастабильной жидкости на нано уровне. Наблюдаемое поведение зоны контакта, можно объяснить, эффектом влияния ЭП на КП [2, 3]: при одном направлении тока протяженность контактной прослойки увеличивается (ускоряющее направление), при другом – уменьшается (замедляющее направление). Полагаем, что этой закономерности должна подчиняться и кинетика развития метастабильной жидкости, т.е. при ускоряющем направлении она будет расти, а при замедляющем не растет. Отметим, что метастабильная жидкость, образовавшаяся в контакте закристаллизовалась в термостате, при температуре опыта.

Таблица 1. Полученные экспериментальные результаты для системы *Bi – Tl*

$T_{\text{ext}} = 188^{\circ} \text{C}$	Плотность тока, $\text{A}/\text{мм}^2$	$T_{\text{comp}}, ^{\circ} \text{C}$	$\tau, \text{c}$	Результат		
				«-»	«0»	«+»
188	0,5	145	300	Не соед.	Соед.	Соед.
				Не соед.	Соед.	Соед.
		155		Не соед.	Соед.	Соед.
				Не соед.	Соед.	Соед.
		180		Не соед.	Соед.	Соед.
				Не соед.	Соед.	Соед.
		188		Не соед.	Соед.	Соед.
				Не соед.	Соед.	Соед.

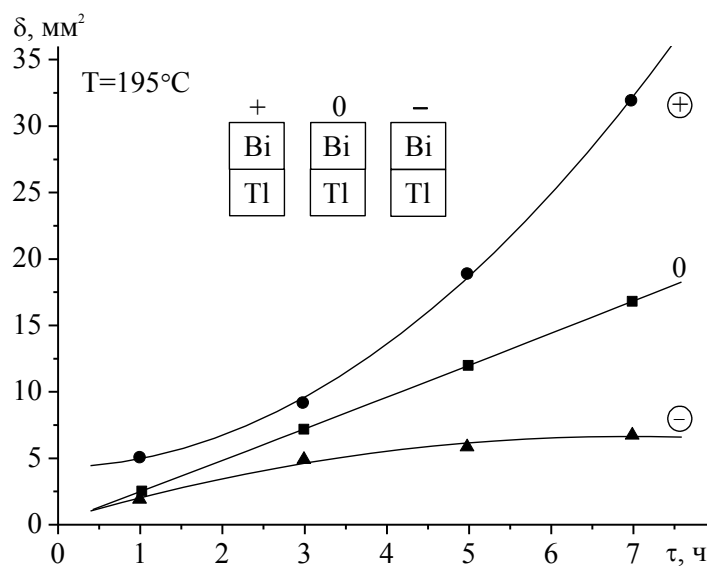


Рис. 1. Зависимость протяженности контактной прослойки  $\delta(\tau)$  при различных вариантах эксперимента,  $T = 195^{\circ} \text{C}$ .

В случае, когда температура опыта была выше температуры эвтектики ток пропускаться в процессе контактного плавления в разных направлениях, через одну пару образцов ток не проходил. Результаты исследования приведены на рис. 1. Как видно из графика, при прохождении тока эта зависимость отлична от параболической. Анализ этих зависимостей показывает, что критерии по ЭП, предложенные в работе [11], хорошо согласуется с экспериментом.

### **Система с неявно выраженной эвтектикой**

Рассмотрим систему  $In-Tl$ , диаграмма состояния которой приведена на [8]. Система  $In-Tl$  характеризуется отсутствием вырожденной эвтектики. Нами, комплексно исследован процесс соединения (спекания) систем эвтектического типа, не образующих химические соединения а также без вырожденной эвтектики системы  $In-Tl$  (см. Таблицу 2).

Таблица 2. Полученные экспериментальные результаты для системы  $In-Tl$

$T_{ext} = 188^\circ C$	Плотность тока, А/мм <sup>2</sup>	$T_{comp}, ^\circ C$	$\tau, c$	Результат		
				«-»	«0»	«+»
154	0,5	120	600	Не соед.	Соед.	Соед.
				Не соед.	Соед.	Соед.
				Не соед.	Соед.	Соед.
		154		Не соед.	Соед.	Соед.
				Не соед.	Соед.	Соед.
				Не соед.	Соед.	Соед.

Анализ показывает, что соединение образцов происходит не во всех парах. Однако при наличии ускоряющего направления тока, соединение более существенное. Установлено соединение всех пар образцов при температурах ниже температуры плавления легкоплавкого компонента как при отсутствии тока, стабильных эвтектик при отсутствии тока, так и при наличии ЭП, в случае положительной полярности на верхнем образце (ускоряющий режим КП). При противоположной полярности на образце.

### **Система, в которой отсутствует эвтектика**

Рассмотрим систему  $Pb-Tl$ , диаграмма состояния которой приведена на [8]. Система  $Pb-Tl$  характеризуется отсутствием эвтектики на диаграмме состояния (см. Таблицу 3).

Как видно из Таблицы 3, соединение всех исследуемых образцов происходит при температурах ниже температуры плавления легкоплавкого компонента и составляет десятки градусов  $\Delta T = 94^\circ C$ . Однако при ускоряющем направлении тока соединение образцов лучше в остальных случаях.

Таблица 3. Полученные экспериментальные результаты для системы *Pb – Tl*

$T_{\text{эит}} = 188^{\circ} \text{C}$	Плотность тока, А/мм <sup>2</sup>	$T_{\text{сопр}}, ^{\circ} \text{C}$	$\tau, \text{с}$	Результат		
				«-»	«0»	«+»
нет	0,5	220	300	Не соед.	Соед.	Соед.
				Не соед.	Соед.	Соед.
				Не соед.	Соед.	Соед.
				Не соед.	Соед.	Соед.
				Не соед.	Соед.	Соед.
				Не соед.	Соед.	Соед.

На наш взгляд, полученные результаты подтверждают идею, высказанную в работах [6, 7]. Суть идеи состоит в следующем. Известно, что соприкасаемые поверхности разнородных (однородных) образцов весьма шероховатые, т.е. состоят из низко-(нано) размерных выступов, вероятность контактов которых очень велика. При соприкосновении выступов приводит взаимная диффузия, которая протекает на несколько порядков быстрее, чем диффузия между массивными образцами. Образовавшейся переходной слой представляет собой твердый раствор, температура плавления которого ниже температуры плавления наиболее легкоплавкого компонента, т.е. в контакте происходит фазовый переход первого рода – плавление. Кристаллизация образующейся в контакте жидкости должна приводить к соединению образцов, что и наблюдается в эксперименте. Пропускание постоянного электрического тока, в зависимости от его направления может, как ускорять, так и замедлять процесс роста переходной зоны, образующейся в контакте, что скажется на соединяемости образцов. Действительно, как показали опыты в случае совпадения массопереноса компонентов за счет диффузии совпадает с массопереносом за счет ЭП образцы соединяются значительно сильнее, чем при обратном направлении тока.

Таким образом, прохождение тока в процессе взаимодействия в контакте разнородных металлов служит определенным индикатором фазового перехода первого рода в контакте разнородных материалов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-32-0066 мол\_а).*

### Библиографический список:

1. **Белашенко, Д.К.** Явления переноса в жидких металлах и полупроводниках / Д.К. Белашенко. – М.: Атомиздат, 1970. – 400 с.
2. **Ахкубеков, А.А.** К вопросу о влиянии электропереноса на контактное плавление в двойных металлических системах / А.А. Ахкубеков, С.П. Савинцев, А.М. Багов // Расплавы. – 2006. – № 3. – С. 70-75.

3. **Ахкубеков, А.А.** Кинетика формирования расплава, образующегося в результате контактного плавления, в условиях замедляющего действия электропереноса / А.А. Ахкубеков, С.П. Савинцев, А.М. Багов // *Расплавы*. – 2005. – № 1. – С. 54-58.
4. **Шебзухов, А.А.** О природе и некоторых закономерностях контактного плавления: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.07 / Шебзухов Азмет Аюбович. – Нальчик: КБГУ, 1971. – 192 с.
5. **Михайлюк, А.Г.** Кинетика контактного плавления металлов в нестационарно-диффузионном режиме: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.07 / Михайлюк Анатолий Григорьевич. – Нальчик: КГБУ, 1971. – 109 с.
6. **Ахкубеков, А.А.** О снижении температуры контактного плавления в металлических системах с интерметаллидами / А.А. Ахкубеков, С.Н. Ахкубекова, А.М. Багов, М.А.А. Зубхаджиев, Ж.М. Мамаева // *Известия Российской академии наук. Серия физическая*. – 2010. – Т. 74. – № 5. – С. 681-685.
7. **Ахкубеков, А.А.** Понижение температуры контакта при взаимодействии однородных и разнородных металлов, не образующих интерметаллиды / А.А. Ахкубеков, Б.С. Карамурзов, С.Н. Ахкубекова, А.М. Багов, Р.И. Василян // *Известия Российской академии наук. Серия физическая*. – 2011. – Т. 75. – № 8. – С. 1146-1149.
8. **Вол, А.Е.** Строение и свойства двойных металлических систем. В 4 т. / А.Е. Вол. – Москва: ГИФМЛ, 1962. – Т. 2. – 537 с.
9. **Саввин, В.С.** Фазовые переходы первого рода в контакте низкоплавких металлов. дис. ... физ.-мат. наук: 01.04.14 / Саввин Владимир Соломонович. – Екатеринбург: УрГТУ, 2009. – 303 с.
10. **Кармоков, А.М.** Контактное плавление в эвтектических композициях и сложных системах: автореферат дис. ... физ.-мат. наук: 01.04.07 / Кармоков Ахмед Мацевич. – Томск: ТомГУ, 1978. – 19 с.
11. **Ахкубеков, А.А.** Контактное плавление металлов и наноструктур на их основе: монография / А.А. Ахкубеков, Т.А. Орквасов, В.А. Созаев. – М.: Физматлит. – 2008. – 152 с.