

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.11>

АДСОРБЦИЯ КОМПОНЕНТОВ БИНАРНОЙ СИСТЕМЫ Na-Cs В ЖИДКОМ И ТВЕРДОМ СОСТОЯНИЯХ

Научная статья

Калажиков З.Х.¹, Гогия А.Р.^{2,*}, Хамдохов З.М.³, Калажиков Х.Х.⁴^{1,2,3,4} Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, Нальчик, Российская Федерация¹ Институт информатики и проблем регионального управления КБНЦ РАН, Нальчик, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (gogiya-95[at]mail.ru)

Аннотация

В сообщении приводятся результаты расчетов адсорбции компонентов (Na, Cs и молекул химического соединения Na₂Cs) сплавов бинарной системы Na-Cs, полученных по разработанной авторами методике как в жидком, так и в твердом состояниях. Величины адсорбций цезия и квазимолекулярного образования Na₂Cs определяются в жидком и в твердом состояниях раствора с использованием экспериментальных данных по работе выхода электрона (РВЭ) чистых металлов и их сплавов. Установлено, что вторичные системы Na-Na₂Cs и Na₂Cs-Cs при температуре 183К более близки к идеальным, чем исходная бинарная система Na-Cs при температуре 300К. Показано, что адсорбции химического соединения Na₂Cs и цезия в твердом состоянии сплавов меньше адсорбции цезия в жидком состоянии сплавов бинарной системы Na-Cs, что авторы связывают со значительным уходом цезия в межкристаллитное пространство в твердом поликристаллическом сплаве.

Ключевые слова: изотерма, работа выхода электрона, адсорбция, бинарная система, компонент, жидкое, твердое состояние, химическое соединение.

ADSORPTION OF COMPONENTS OF THE Na-Cs BINARY SYSTEM IN LIQUID AND SOLID STATES

Research article

Kalazhikov Z.K.¹, Gogiya A.R.^{2,*}, Khamdokhov Z.M.³, Kalazhikov K.K.⁴^{1,2,3,4} Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik, Russian Federation¹ Institute of Informatics and Regional Management Problems KBSC RAS, Nalchik, Russian Federation

* Corresponding author (gogiya-95[at]mail.ru)

Abstract

The report presents the results of calculations of adsorption of components (Na, Cs and molecules of the chemical compound Na₂Cs) of alloys of the Na-Cs binary system obtained by the method developed by the authors in both liquid and solid states. The values of caesium adsorptions and quasi-molecular formation of Na₂Cs are determined in liquid and solid states of solution using experimental data on electron yield work (ERW) of pure metals and their alloys. The secondary systems Na-Na₂Cs and Na₂Cs-Cs at 183K are found to be closer to ideal than the original Na-Cs binary system at 300K. It is shown that adsorptions of Na₂Cs and caesium chemistry in the solid state of the alloys are less than adsorptions of caesium in the liquid state of the alloys of the Na-Cs binary system, which the authors attribute to the significant escape of caesium into the intercrystalline space in the solid polycrystalline alloy.

Keywords: isotherm, electron release work, adsorption, binary system, component, liquid, solid state, chemical compound.

Введение

Сплавы и различные изделия из них используются в технике в основном в твердом состоянии [1], [2]. Многие свойства сплавов, определяющие их эксплуатационные свойства зависят от состава или содержания компонентов в сплаве [3], [4], [5], [6]. Особенно представляют интерес для техники такие поверхностные свойства сплавов, как смачивание [7], [8], микротвердость, коэффициент трения, износостойкость, различные виды электронной эмиссии, отражательная способность электромагнитных волн и т.д. Эти свойства сплавов тесно связаны не только с содержанием компонентов сплава в объеме, но и в его поверхностном слое [3], [4], [6], [9]. Для изучения поверхностных свойств сплавов в жидком состоянии разработана прекрасная и достаточно информативная методика на основе термодинамики Гиббса [5], [6]. При этом измеряемым в экспериментах параметром поверхности является поверхностное натяжение (ПН, $\sigma(x)$) в зависимости от состава x_i [3], [10]. Однако при переходе к изучению сплавов в твердом состоянии указанную выше методику использовать, к сожалению, не возможно из-за отсутствия надежного способа определения ПН или поверхностной энергии (ПЭ) растворов в твердом состоянии [1], [7], [11].

Для выхода из этой ситуации в 60-70-х годах прошлого столетия было рекомендовано (Б.В. Лазаревым, С.Н. Задумкиным и др. [12], [13]) измерить работу выхода электрона (РВЭ) в зависимости от состава x_i или построить изотерму РВЭ ($\varphi(x)$) [12], [14], [15], [16]. Однако, появились трудности с аналитическим описанием концентрационной зависимости не только ПН ($\sigma(x)$) [10], но и РВЭ ($\varphi(x)$) [12], [14], [15], [16]. Во второй половине прошлого столетия С.Н. Задумкину [13] и М.А. Кривоглазу [17] теоретически, а затем Б.В. Лазареву и Ю.И. Малову [16], С.И. Попелю [10] и В.К. Семенченко [3] удалось получить выражения зависимости РВЭ и ПН от состава раствора, а также уравнения связи между ПН и РВЭ [13], [14], [15], [16], работающие в узкой области составов – в основном для слабо концентрированных растворов, в приближении идеальных растворов.

Поиски в данном направлении были прекращены в 70-80-х годах прошлого столетия и с новой силой возобновились с получением достаточного количества экспериментальных изотерм для анализа и систематизации ПН ($\sigma(x)$) [4], [10] и РВЭ ($\varphi(x)$) [18]. Из анализа и систематизации экспериментальных изотерм ПН [19] и РВЭ [20], были получены уравнения изотерм ПН и РВЭ, работающие во всем концентрационном интервале которые были использованы для расчетов поверхностных характеристик бинарных систем. В [21] было получено уравнение, связывающее ПН ($\sigma(x)$) с РВЭ ($\varphi(x)$), описывающее концентрационную зависимость связи ПН с РВЭ во всей области составов. В настоящей работе предпринята попытка показать работоспособность полученных в [19], [20], [21] аналитических выражений на примере надежно изученной бинарной системы $Na-Cs$ [4], [18], [22], [23] как в жидком, так и в твердом состояниях. Эти вопросы становятся еще более актуальными при переходе к малоразмерным объектам [5], [8], [24]. Изучение РВЭ в зависимости от состава может стать одним из способов контроля качества поверхности изделия из сплава [1], [7].

Изотермы поверхностного натяжения и работы выхода электрона бинарной системы $Na-Cs$ изучены в [4], [18], [25]. С использованием данных [18] в [23] был сделан расчет адсорбции компонентов системы $Na-Cs$ в жидком состоянии. Представляет определенный интерес оценить величину адсорбции компонентов этой же системы в твердом состоянии и сравнить результаты с данными [18]. С другой стороны, компоненты бинарной системы $Na-Cs$ при температуре 267 К в результате перитектической реакции между жидким раствором состава 0,7 ат.д. Cs и выпавшими кристаллами Na могут образовать химическое соединение Na_2Cs [26]. Интересно знать, как ведут себя молекулы Na_2Cs в твердых растворах системы $Na-Cs$. Рассмотрению этих задач посвящена настоящая работа.

Расчет адсорбции компонентов бинарной системы $Na-Cs$ в жидком и в твердом состояниях

Расчет адсорбции компонентов системы $Na-Cs$ в жидком состоянии проводили в [23] с использованием известной формулы [3], [5], [6]

$$\Gamma_B^N(x) = -\frac{(1-x)x}{RT} \left(\frac{\partial \sigma(x)}{\partial x} \right)_{P,T} \quad (1)$$

которая, с учетом зависимости поверхностного натяжения от состава x [19]

$$\sigma(x) = \beta_0 \frac{(F-1)(1-x)x}{1+(F-1)x} + \sigma_A(1-x) + \sigma_B x \quad (2)$$

где σ_A , σ_B – поверхностные натяжения чистых компонентов бинарной системы $A-B$, а A и B – компоненты системы, β_0 и F – постоянные параметры уравнения (2), принимает для жидких растворов следующий вид [19]

$$\Gamma_i^{(N)}(x) = -\frac{(1-x)x}{RT} \left[\frac{\beta_0(F-1)[1-2x-(F-1)x^2]}{[1+(F-1)x]^2} - (\sigma_A - \sigma_B) \right]. \quad (3)$$

Для растворов, как в жидком, так и в твердом состояниях, когда измеряемым параметром является работа выхода электрона [20]

$$\varphi(x) = \alpha_0 \frac{(F-1)(1-x)x}{1+(F-1)x} + \varphi_A(1-x) + \varphi_B x \quad (4)$$

где φ_A , φ_B – работа выхода электрона чистых компонентов бинарной системы $A-B$, а A и B – компоненты системы, α_0 – постоянный для данной бинарной системы параметр уравнения (4), уравнение (1) с учетом (4) принимает вид [27]

$$\Gamma_B^N(x) = -\frac{(1-x)x}{RT} \frac{\sigma_A - \sigma_B}{\varphi_A - \varphi_B} \left[\alpha_0 \frac{(F-1)[1-2x-(F-1)x^2]}{[1+(F-1)x]^2} - (\varphi_A - \varphi_B) \right] \quad (5)$$

Уравнения (3) и (5) позволяют вычислить адсорбцию без применения недостаточно точного способа графического дифференцирования изотерм поверхностного натяжения и работы выхода электрона с большей точностью, чем традиционный графический способ [28].

Для расчетов адсорбции, в жидком состоянии в (3) измеряются σ , а в жидком и твердом в (4) – измеряются φ . Используемые нами экспериментальные данные работы [25] по изучению работы выхода электрона представлены на Рис. 1.

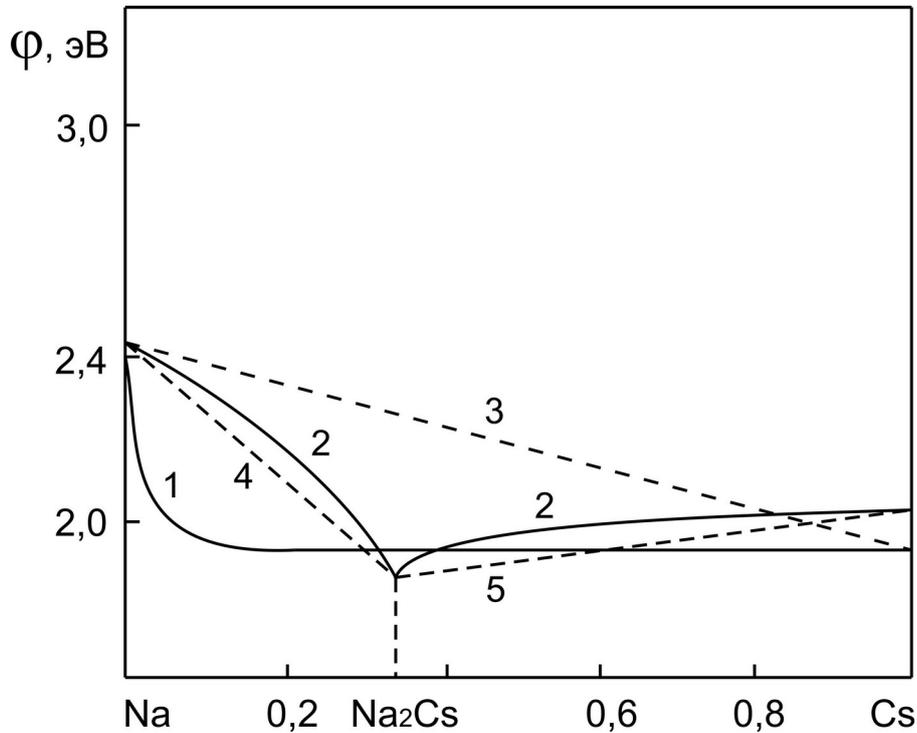


Рисунок 1 - Изотермы работы выхода электрона бинарной системы Na-Cs в жидком (1) и твердом (2) состояниях: 1, 2 - получены как результат обработки данных экспериментов; 3-5 - аддитивные прямые изотерм работы выхода электрона основной 3 (Na-Cs) и вторичных изотерм ПВЭ 4 (Na-Na₂Cs) и 5 (Na₂Cs-Cs) систем
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.11.1>

Примечание: по ист. [18], [25]

Заметим, что кривые 1 (при $T=298$ К) и 2 (при $T=183$ К) на Рис. 1 получены как результат обработки данных экспериментов [18], [25], [29]. Штриховые линии 3-5 представляют собой аддитивные прямые изотерм работы выхода электрона основной 3 (Na-Cs) и вторичных изотерм ПВЭ 4 (Na-Na₂Cs) и 5 (Na₂Cs-Cs) систем.

Методика расчета адсорбции компонентов системы А-В с химическим соединением А_mВ_n

Для расчета адсорбции компонентов бинарной системы А-В в жидком состоянии воспользуемся известной формулой определения адсорбции в N-варианте Гуггенгейма- Адама [3]

$$\Gamma_B^N(x) = \frac{x^\omega - x}{\omega_m(x)} \quad (6)$$

где

$$x^\omega - x = \frac{(F-1)(1-x)x}{1+(F_i-1)x_i} \quad (7)$$

$$\omega_m(x) = \omega_A(1-x) + \omega_Bx \quad (8)$$

Здесь ω_A и ω_B – мольные площади компонентов рассматриваемой бинарной системы А-В.

Новым в данном случае в методике расчета адсорбции компонентов является то, что величину F – константу адсорбционного равновесия в настоящей работе определяют по методике [31] с использованием уравнения изотермы работы выхода электрона (5), представленного в виде

$$y(x) = \frac{(1-x)x}{\Delta\varphi(x)} = \frac{1}{\alpha(F-1)} + \frac{1}{\alpha}x \quad (9)$$

где

$$\Delta\varphi(x) = \varphi_{A_mB_n}(x) - \varphi_A(1-x) - \varphi_Bx \quad (10)$$

Здесь $\varphi_{A_mB_n}$, φ_A и φ_B – ПВЭ химического соединения Na₂Cs и основных А и В компонентов системы.

При расчетах адсорбции компонентов системы Na-Cs в твердом состоянии мы разбивали систему Na-Cs на вторичные [32] Na-Na₂Cs и Na₂Cs-Cs. Для каждой вторичной системы, нами использованы выражения (4)-(6) отдельно. При этом допускали, что состав $x=0,33$ соответствует чистому химическому соединению Na₂Cs и все добавляемые в раствор атомы цезия вступают в химическую реакцию с атомами натрия. Об этом свидетельствует резкий излом на изотерме работы выхода электрона (см. кривые 2, Рис. 1.) [10].

Экспериментальные изотермы работы выхода электрона системы Na-Cs обрабатывались по методике [31]. Прямые (9), построенные для системы Na-Cs жидком состоянии и для вторичных систем Na-Na₂Cs и Na₂Cs-Cs в твердом состоянии представлены на Рис. 2.

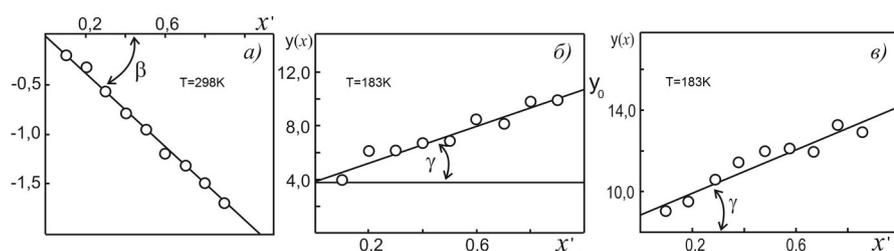


Рисунок 2 - Прямые (7) для системы Na-Cs при 298К (а) и для вторичных систем Na-Na₂Cs и Na₂Cs-Cs при 183К (б) и (в)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.11.2>

Все расчеты проводили в приведенной системе координат [32], концентрации которых (x') определяются для вторичных систем Na-Na₂Cs и Na₂Cs-Cs выражениями: $x' = x/x_c$ и $x' = (x-x_c)/(1-x_c)$, соответственно, где $x_c = 0,33$. А затем результаты расчетов переводили в исходную систему координат, то есть в основную x .

Как видно из Рис. 2, экспериментальные точки $y(x')$ выстраиваются в прямые линии, что свидетельствует о справедливости уравнения (4) для системы Na-Cs и вторичных систем Na-Na₂Cs и Na₂Cs-Cs.

Определенные из графиков Рис. 2 значения α_0 и F представлены в Таблице 1.

Таблица 1 - Значения α_0 и F для основной, 1 и вторичных систем 2 и 3 Na-Cs

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.11.3>

№	Система	α_0 (тверд)	F (тверд)	β_0 (жидк)	F (жидк)	T, К
1	Na-Cs, ПВЭ, (ПН)	-0,4	42,6	-125	27,7	300(375)
2	Na-Na ₂ Cs, ПВЭ	0,15	1,6	—	—	300
3	Na ₂ Cs-Cs, ПВЭ	0,19	1,62	—	—	300

Входные данные для расчетов для металлов $\omega_{mi}(x)$ приведены в Таблице 2.

Таблица 2 - Входные данные для расчетов $\omega_{mi}(x)$ для бинарных систем А-В

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.11.4>

Металл	$\rho_T, \text{кг/м}^3$	$\rho_{ж}, \text{кг/м}^3$	$M \times 10^3 \text{ кг/моль}$
Cs	1873	1802	132,91
Na	968	925	22,99

На Рис. 3 представлены результаты наших расчетов адсорбции компонентов бинарной системы $Na-Cs$ в жидком (кривые 1-3) и твердом (кривая 4) состояниях.

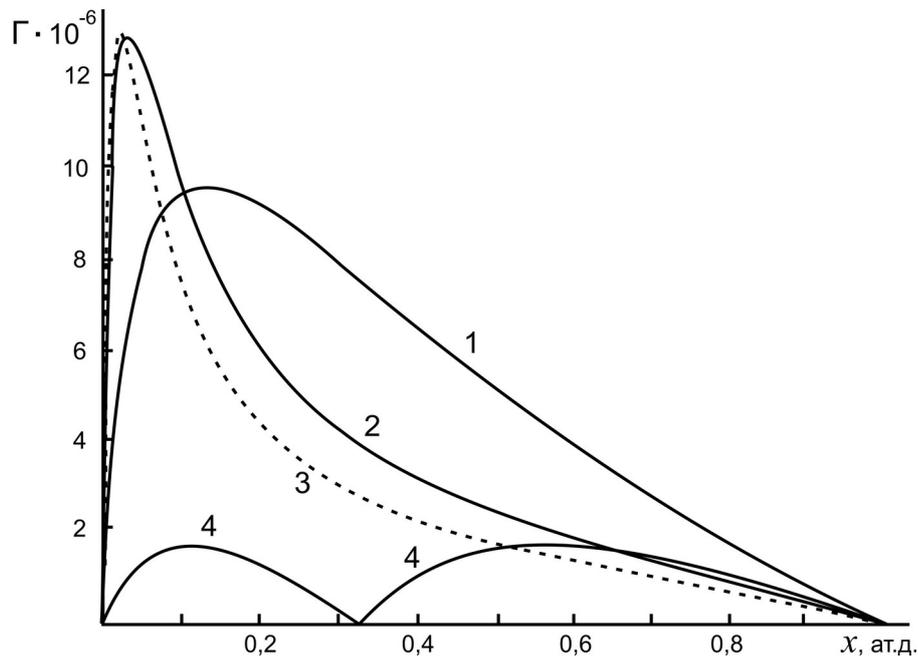


Рисунок 3 - Результаты расчетов адсорбции компонентов системы $Na-Cs$ в твердом и жидком состояниях:
 1 - адсорбция цезия в жидком состоянии в приближении реального раствора (расчет по (6)); 2 - адсорбция цезия в жидком состоянии в приближении идеального раствора (расчет по (3)); 3 - адсорбция цезия в жидком состоянии (расчет по (5)); 4 - адсорбция молекул Na_2Cs и атомов цезия на поверхности твердого раствора (расчет по (6))
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.11.5>

Из Рис. 3 видно, что данные по адсорбции цезия в жидком состоянии, полученные через поверхностное натяжение (кривая 2) и работу выхода электрона (кривая 3), согласуются вполне удовлетворительно если считать, что они получены при обработке данных разных экспериментов. Максимальные значения адсорбции цезия, полученные в приближении идеального раствора через поверхностное натяжение (кривая 2) и работы выхода электрона (кривая 3) в жидком состоянии равны, но по положению на оси концентрации сдвинуты друг относительно друга на 0,05 ат.д.

В твердом состоянии молекулы химического соединения Na_2Cs ведут себя как самостоятельный компонент сплава [32]: молекулы Na_2Cs поверхностно-активны по отношению к Na , тогда как они же инактивны по отношению к Cs . Величины адсорбции молекул Na_2Cs и атомов Cs в твердом состоянии значительно меньше адсорбции цезия в жидком состоянии (сравнить кривые 1 и 4) что, по-видимому, связано с тем, что в твердом состоянии большее количество цезия по сравнению с жидким состоянием уходит (адсорбируется) в межкристаллитное пространство твердого сплава.

Заключение

1. Результаты расчетов адсорбции цезия в системе $Na-Cs$, полученные в приближении идеальных растворов с использованием данных по поверхностному натяжению и работе выхода электрона совпадают удовлетворительно, что говорит о применимости разработанной методики расчетов адсорбции ПА компонента жидкого бинарного раствора с использованием экспериментальных данных по работе выхода электрона. Небольшая разница значений адсорбций цезия в средней области составов, по-видимому, связана с различными экспериментальными условиями получения данных σ_{Na} , σ_{Cs} , φ_{Na} , φ_{Cs} . Необходимо получить такие данные в одном эксперименте.

2. Сравнение результатов расчетов адсорбции цезия, полученных в приближении реальных растворов с данными, полученными в приближениях идеальных растворов, показывает, как и ожидалось, удовлетворительное их совпадение в областях с малым содержанием компонентов. А в областях, богатых компонентами эти различия значительные, что связано с ярко выраженной неидеальностью бинарной системы $Na-Cs$.

3. Использование уравнения изотермы поверхностного натяжения для расчетов адсорбции компонентов возможно только для жидких растворов. Уравнение изотермы работы выхода электрона может быть использовано как для жидких растворов, так и для растворов в твердом состоянии.

4. Адсорбции компонентов Na , Cs , Na_2Cs в твердых растворах вторичных систем значительно ниже адсорбции цезия в жидком и в твердом состоянии растворов. Это означает, что вторичные системы $Na-Na_2Cs$ и Na_2Cs-Cs более близки к идеальным, чем исходная бинарная система $Na-Cs$.

5. Квазимолекулярные образования (КМО) типа A_mB_n , которые могут быть образованы в бинарных системах, ведут себя как отдельные компоненты, способствуя разделению исходной системы $A-B$ на составляющие вторичные системы $A-A_mB_n$ и A_mB_n-B . К каждой вторичной системе, для описания поверхностных характеристик, может быть применено уравнение изотермы поверхностного натяжения, или работы выхода электрона.

Обнаружен интересный результат. Параметр $F_{\text{дл}}$ для твердого состояния ($F_{\text{дл}}=42,6$) больше параметра F для жидкого состояния ($F_{\text{ж}}=27,7$). А адсорбция цезия в твердом состоянии меньше адсорбции цезия в жидких растворах. Очевидно, это связано с разными скоростями протекания процессов в поверхностном слое жидкого и твердого раствора. Процесс адсорбции в жидком растворе протекает легко и быстро. А в твердом растворе процесс перераспределения компонентов затруднен и протекает медленнее, в результате чего в системе не наступает состояний полного равновесия, а профиль распределения компонентов в приповерхностном слое может быть другим. Для понимания таких результатов, очевидно, необходимы специальные исследования.

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке
Внутреннего гранта КБГУ (Договор № 1).

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

The research was carried out with the financial support of the
KBSU Internal Grant (Contract No. 1).

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Мусохранов М.В. Определение значения поверхностной энергии через работу выхода электрона / М.В. Мусохранов, Ф.И. Антонюк, В.В. Калмыков [и др.] // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — № 6.
2. Мусохранов М.В. Поверхностная энергия как показатель качества поверхностного слоя / М.В. Мусохранов // Справочник. Инженерный журнал. — 2005. — № 12. — С. 62–74.
3. Семенченко В.К. Поверхностные явления в металлах и сплавах / В.К. Семенченко. — Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1957. — 491 с.
4. Алчагиров Б.Б. Поверхностное натяжение щелочных металлов и сплавов с их участием / Б.Б. Алчагиров // Обзоры по теплофизическим свойствам веществ. — М.: ИВТАН, ТФЦ, 1991. — № 3/4 (89/90). — 180 с.
5. Русанов А.И. Фазовые равновесия и поверхностные явления / А.И. Русанов. — Химия, 1967. — 388 с.
6. Гиббс Дж.В. Термодинамические работы / Дж.В. Гиббс. — М.-Л., 1950. — 492 с.
7. Мусохранов М.В. Поверхностная энергия и процесс схватывания контактирующих поверхностей / М.В. Мусохранов, Ф.И. Антонюк, В.В. Калмыков // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. — 2014. — № 11.
8. Шебзухова М.А. Поверхностные явления и фазовые равновесия в одно- и двухкомпонентных нано- и макросистемах: дис. ... д-ра физ.-мат. наук / Шебзухова Мадина Азметовна. — Нальчик: КБГУ, 2019. — 321 с.
9. Толмачев А.М. Адсорбция газов, паров и растворов / А.М. Толмачев. — Москва: Граница, 2012. — 293 с.
10. Попель С.И. Поверхностные явления в расплавах / С.И. Попель. — М.: Металлургия, 1994. — 440 с.
11. Шебзухова И.Г. Поверхностная энергия и натяжение металлов и двойных металлических сплавов в твердом состоянии / И.Г. Шебзухова, Х.Б. Хоконов, Т.М. Таова [и др.] // Физика поверхностных явлений, межфазных границ и фазовых переходов. Труды международного междисциплинарного симпозиума. — 2018. — С. 5–20.
12. Лазарев В.Б. О связи между поверхностными свойствами расплавов и образующихся из них твердых фазах / В.Б. Лазарев, В.К. Семенченко, Ю.И. Малов // Поверхностные явления в расплавах и возникающих из них твердых фазах / Под. ред. С.Н. Задумкина. — Нальчик, 1965. — С. 185–189.
13. Задумкин С.Н. Уравнение, связывающее работу выхода электрона с поверхностным натяжением металлических расплавов / С.Н. Задумкин, Х.И. Ибрагимов, Х.Б. Хоконов // Журнал физической химии. — 1977. — Т. 51. — № 1. — С. 133–139.
14. Алчагиров Б.Б. Связь поверхностной энергии с работой выхода электрона бинарных металлических растворов / Б.Б. Алчагиров // ЖФХ. — 1990. — Т. 64. — № 11. — С. 2983.
15. Алчагиров Б.Б. Поверхностные свойства щелочных металлов и бинарных металлических систем: дис. ... д-ра физ.-мат. наук / Алчагиров Борис Батокович. — Нальчик.: КБГУ, 1992. — 275 с.
16. Малов Ю.И. О линейной зависимости между работой выхода электрона и поверхностным натяжением в двойных и тройных металлических растворах / Ю.И. Малов, В.Б. Лазарев; под ред. В.Н. Еременко // Физическая химия поверхностных явлений в расплавах. — 1971. — С. 45–47.
17. Кривоглаз М.А. Теория упорядочивающихся сплавов / М.А. Кривоглаз, А.А. Смирнов. — М.: Физматлит, 1958. — 388 с.
18. Алчагиров Б.Б. Работа выхода электрона щелочных металлов и сплавов с их участием / Б.Б. Алчагиров, В.Б. Лазарев, Х.Б. Хоконов // Обзоры по теплофизическим свойствам веществ. — М.: ИВТАН, 1989. — № 5 (79). — С. 76–146.
19. Калажоков З.Х. Расчет изотерм поверхностного натяжения и адсорбции бинарных систем р-металлов / З.Х. Калажоков, К.В. Зихова, З.Х. Калажоков [и др.] // ТВТ. — 2012. — Т. 50. — № 6. — С. 781–784.
20. Зихова К.В. Расчет концентрационной зависимости работы выхода электрона бинарных сплавов / К.В. Зихова, З.Х. Калажоков, З.Х. Калажоков [и др.] // Известия вузов. Сев.-Кав. регион. Серия естественные науки. — 2010. — № 6. — С. 47–48.

21. Калажоков З.Х. К вопросу о связи между поверхностным натяжением и работой выхода электрона бинарных сплавов / З.Х. Калажоков, З.Х. Калажоков, З.А. Кумышева [и др.] // Международный междисциплинарный симпозиум «Физика поверхностных явлений, межфазных границ и фазовые переходы» PSP & PT: труды симпозиума. — Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ ЮФУ АПСН, 2013. — Вып. 3. — С. 97–99.
22. Калажоков, З.Х. Поверхностные свойства расплавов бинарных систем щелочных металлов / З.Х. Калажоков, З.Х. Калажоков, З.В. Барагунова [и др.] // Теплофизика высоких температур. — 2019. — Т. 57. — № 3. — С. 377–389.
23. Калажоков З.Х. Расчет изотерм адсорбции компонентов бинарных сплавов систем щелочных металлов / З.Х. Калажоков, З.Х. Калажоков, К.В. Зихова [и др.] // Сб. науч. трудов АН Чеч. респ. — 2016. — № 5. — С. 211–219.
24. Хоконов Х.Б. Эффект размера на работу выхода из металла / Х.Б. Хоконов, С.Н. Задумкин // Физическая химия поверхностных явлений в расплавах. — Киев: Наукова думка, 1971. — С. 85–90.
25. Малов Ю.И. Работа выхода электрона сплавов бинарных систем с различным видом диаграмм состояния / Ю.И. Малов, В.В. Лазарев, М.Д. Шебзухов [и др.] // Научные труды Моск. инст. стали и сплавов. — М., 1976. — № 89. Поверхностные явления в полупроводниках. — С. 15–23.
26. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник: В 3 т. / Под общ. ред. Н.П. Лякишева. — М.: Машиностроение, 1997. — Т. 2. — 1024 с.
27. Калажоков З.Х. Расчет изотерм поверхностного натяжения, адсорбции и поверхностных концентраций компонентов сплавов системы литий-натрий в твердом состоянии / З.Х. Калажоков, З.Х. Калажоков, Р.И. Хацукова [и др.] // Межвузовский сборник научных трудов: Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. — 2014. — Вып. 6. — С. 135–140.
28. Алчагиров Б.Б. Расчет адсорбции калия в сплавах натрий-калий: учет активности компонентов / Б.Б. Алчагиров, Л.Х. Афаунова, Т.М. Таова [и др.] // Вестник КБГУ. Сер. Физические науки. — 2009. — Вып. 12. — С. 9–11.
29. Van Oirschot Th.G.J. Photoelectric emission and phase transitions of evaporated metastable sodium, potassium and sodium-potassium alloys films / Th.G.J. Van Oirschot, M. van der Brink, W.M.J. Sachtler // Surface Science. — 1972. — Vol. 29. — № 1. — P. 181–202.
30. Smith N.V. Photoemission studies of the alkali metals. I. Sodium and potassium / N.V. Smith, W.E. Spicer // Phys. Rev. — 1969. — Vol. 188. — № 2. — P. 593–605.
31. Калажоков З.Х. Уравнение изотермы поверхностных натяжений бинарных сплавов металлических систем / З.Х. Калажоков, З.Х. Калажоков, Х.Х. Калажоков [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. — 2014. — Т. 17. — № 21. — С. 104–107.
32. Шериева Э.Х. К расчету адсорбции компонентов бинарных систем, в которых образуются устойчивые химические соединения типа A_nB_m / Э.Х. Шериева, Н.С. Реуцкая, З.Х. Калажоков [и др.] // Современные наукоемкие технологии. — 2016. — № 2-1. — С. 98–102.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Musohranov M.V. Opredelenie znachenija poverhnostnoj jenerгии cherez rabotu vyhoda jelektrona [Determination of the surface energy value through the electron release work] / M.V. Musohranov, F.I. Antonjuk, V.V. Kalmykov [et al.] // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija [Modern Problems of Science and Education]. — 2014. — № 6. [in Russian]
2. Musohranov M.V. Poverhnostnaja jenerгija kak pokazatel' kachestva poverhnostnogo sloja [Surface energy as an indicator of surface layer quality] / M.V. Musohranov // Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal [Reference book. Engineering Journal]. — 2005. — № 12. — P. 62–74. [in Russian]
3. Semenchenko V.K. Poverhnostnye javlenija v metallah i splavah [Surface phenomena in metals and alloys] / V.K. Semenchenko. — State Publishing House of Technical and Theoretical Literature, 1957. — 491 p. [in Russian]
4. Alchagirov B.B. Poverhnostnoe natjazhenie shhelochnyh metallov i splavov s ih uchastiem [Surface tension of alkali metals and alloys with their participation] / B.B. Alchagirov // Obzory po teplofizicheskim svojstvam veshhestv [Reviews on thermophysical properties of substances]. — М.: IVTAN, TFC, 1991. — № 3/4 (89/90). — 180 p. [in Russian]
5. Rusanov A.I. Fazovye ravnovesija i poverhnostnye javlenija [Phase equilibria and surface phenomena] / A.I. Rusanov. — Himija, 1967. — 388 p. [in Russian]
6. Gibbs J.V. Termodinamicheskie raboty [Thermodynamic work] / J.V. Gibbs. — М.-Л., 1950. — 492 p. [in Russian]
7. Musohranov M.V. Poverhnostnaja jenerгija i process shvatyvanija kontaktirujushhih poverhnostej [Surface energy and the process of setting of contacting surfaces] / M.V. Musohranov, F.I. Antonjuk, V.V. Kalmykov // Nauka i obrazovanie: jelektronnoe nauchno-tehnicheskoe izdanie [Science and Education: electronic scientific and technical edition]. — 2014. — № 11. [in Russian]
8. Shebzuхова M.A. Poverhnostnye javlenija i fazovye ravnovesija v odno- i dvuhkomponentnyh nano- i makrosistemah [Surface phenomena and phase equilibria in one- and two-component nano- and macro-systems]: dis. ... PhD in Phys.-Math. Sciences. / Shebzuхова Madina Azmetovna. — Nalchik: KBSU, 2019. — 321 p. [in Russian]
9. Tolmachev A.M. Adsorbicija gazov, parov i rastvorov [Adsorption of gases, vapours and solutions] / A.M. Tolmachev. — Moscow: Granica, 2012. — 293 p. [in Russian]
10. Popel' S.I. Poverhnostnye javlenija v rasplavah [Surface phenomena in melts] / S.I. Popel'. — М.: Metallurgija, 1994. — 440 p. [in Russian]
11. Shebzuхова I.G. Poverhnostnaja jenerгija i natjazhenie metallov i dvojnyh metallicheskih splavov v tverdom sostojanii [Surface energy and tension of metals and double metal alloys in solid state] / I.G. Shebzuхова, H.B. Hokonov, T.M. Taova [et al.] // Fizika poverhnostnyh javlenij, mezhfaznyh granic i fazovyh perehodov. Trudy mezhdunarodnogo mezhdisciplinarnogo simpoziuma [Physics of surface phenomena, interphase boundaries and phase transitions. Proceedings of the International Interdisciplinary Symposium]. — 2018. — P. 5–20. [in Russian]

12. Lazarev V.B. O svjazi mezhdru poverhnostnymi svojstvami rasplavov i obrazujushhhsja iz nih tverdyh fazah [On the connection between surface properties of melts and solid phases formed from them] / V.B. Lazarev, V.K. Semenchenko, Ju.I. Malov // Poverhnostnye javlenija v rasplavah i vznikajushhjih iz nih tverdyh fazah [Surface phenomena in melts and solid phases formed from them] / Ed. by S.N. Zadumkin. — Nalchik, 1965. — P. 185–189. [in Russian]
13. Zadumkin S.N. Uravnenie, svjazyvajushhee rabotu vyhoda jelektrona s poverhnostnym natjazheniem metallicheskih rasplavov [An equation linking the work of electron yield with the surface tension of metallic melts] / S.N. Zadumkin, H.I. Ibragimov, H.B. Hokonov // Zhurnal fizicheskoj himii [Journal of Physical Chemistry]. — 1977. — Vol. 51. — № 1. — P. 133–139. [in Russian]
14. Alchagirov B.B. Svjaz' poverhnostnoj jenergii s rabotoj vyhoda jelektrona binarnyh metallicheskih rastvorov [Relation of surface energy to electron yield work of binary metallic solutions] / B.B. Alchagirov // ZhFH. — 1990. — Vol. 64. — № 11. — P. 2983. [in Russian]
15. Alchagirov B.B. Poverhnostnye svojstva shhelochnyh metallov i binarnyh metallicheskih sistem [Surface properties of alkali metals and binary metal systems]: dis. ... PhD Phys.-Math. Sciences / Alchagirov Boris Batokovich. — Nalchik.: KBSU, 1992. — 275 p. [in Russian]
16. Malov Ju.I. O linejnoj zavisimosti mezhdru rabotoj vyhoda jelektrona i poverhnostnym natjazheniem v dvojnnyh i trojnnyh metallicheskih rastvorah [On the linear dependence between the electron release work and surface tension in double and ternary metallic solutions] / Ju.I. Malov, V.B. Lazarev; ed. by V.N. Eremenko // Fizicheskaja himija poverhnostnyh javlenij v rasplavah [Physical Chemistry of Surface Phenomena in Melts]. — 1971. — P. 45–47. [in Russian]
17. Krivoglaz M.A. Teorija uporjadochivajushhhsja splavov [Theory of ordered alloys] / M.A. Krivoglaz, A.A. Smirnov. — M.: Fizmatlit, 1958. — 388 p. [in Russian]
18. Alchagirov B.B. Rabota vyhoda jelektrona shhelochnyh metallov i splavov s ih uchastiem [Electron release work of alkali metals and alloys with their participation] / B.B. Alchagirov, V.B. Lazarev, H.B. Hokonov // Obzory po teplofizicheskim svojstvam veshhestv [Reviews on thermophysical properties of substances]. — M.: IVTAN, 1989. — № 5 (79). — P. 76–146. [in Russian]
19. Kalazhokov Z.H. Raschet izoterm poverhnostnogo natjazhenija i adsorbicii binarnyh sistem p-metallov [Calculation of surface tension and adsorption isotherms of binary p-metal systems] / Z.H. Kalazhokov, K.V. Zihova, Z.H. Kalazhokov [et al.] // TVT. — 2012. — Vol. 50. — № 6. — P. 781–784. [in Russian]
20. Zihova K.V. Raschet koncentracionnoj zavisimosti raboty vyhoda jelektrona binarnyh splavov [Calculation of the concentration dependence of the electron release work of binary alloys] / K.V. Zihova, Z.H. Kalazhokov, Z.H. Kalazhokov [et al.] // Izvestija vuzov. Sev.-Kav. region. Serija estestvennye nauki [Proceedings of universities. North Caucasus Region. Series Natural Sciences]. — 2010. — № 6. — P. 47–48. [in Russian]
21. Kalazhokov Z.H. K voprosu o svjazi mezhdru poverhnostnym natjazheniem i rabotoj vyhoda jelektrona binarnyh splavov [To the question of the relationship between surface tension and electron release work of binary alloys] / Z.H. Kalazhokov, Z.H. Kalazhokov, Z.A. Kumysheva [et al.] // Mezhdunarodnyj mezhdisciplinarnyj simpozium «Fizika poverhnostnyh javlenij, mezhfaznyh granic i fazovye perehody» PSP & PT: trudy simpoziuma [International Interdisciplinary Symposium "The Physics of Surface Phenomena, Interphase Boundaries and Phase Transitions" PSP & PT: Proceedings of the Symposium]. — Rostov-on-Don: NKSC HS SFU APSN, 2013. — Iss. 3. — P. 97–99. [in Russian]
22. Kalazhokov, Z.X. Poverhnostnye svojstva rasplavov binarnyh sistem shhelochnyh metallov [Surface properties of melts of binary systems of alkali metals] / Z.X. Kalazhokov, Z.X. Kalazhokov, 3.V. Baragunova [et al.] // Teplofizika vysokih temperatur [Thermophysics of high temperatures]. — 2019. — Vol. 57. — № 3. — P. 377–389. [in Russian]
23. Kalazhokov Z.H. Raschet izoterm adsorbicii komponentov binarnyh splavov sistem shhelochnyh metallov [Calculation of adsorption isotherms of components of binary alloys of alkali metal systems] / Z.H. Kalazhokov, Z.H. Kalazhokov, K.V. Zihova [et al.] // Sb. nauch. trudov AN Chech. resp. [Collection of scientific papers of the Chechen Republic Academy of Science] — 2016. — № 5. — P. 211–219. [in Russian]
24. Hokonov H.B. Jeffekt razmera na rabotu vyhoda iz metalla [Size effect on the work of yielding from metal] / H.B. Hokonov, S.N. Zadumkin // Fizicheskaja himija poverhnostnyh javlenij v rasplavah [Physical Chemistry of Surface Phenomena in Melts]. — Kyiv: Naukova dumka, 1971. — P. 85–90. [in Russian]
25. Malov Ju.I. Rabota vyhoda jelektrona splavov binarnyh sistem s razlichnym vidom diagramm sostojanija [Electron yield work of alloys of binary systems with different types of state diagrams] / Ju.I. Malov, V.V. Lazarev, M.D. Shebzuhov [et al.] // Nauchnye trudy Mosk. inst. stali i splavov [Scientific Works of Moscow Institute of Steel and Alloys]. — M., 1976. — № 89. Surface phenomena in semiconductors. — P. 15–23. [in Russian]
26. Diagrammy sostojanija dvojnnyh metallicheskih sistem: Spravochnik: V 3 t. [State diagrams of double metallic systems: Handbook: In 3 vol.] / Under gen. ed. of N.P. Ljakishev. — M.: Mashinostroenie, 1997. — Vol. 2. — 1024 p. [in Russian]
27. Kalazhokov Z.H. Raschet izoterm poverhnostnogo natjazhenija, adsorbicii i poverhnostnyh koncentracij komponentov splavov sistemy litij-natrij v tverdom sostojanii [Calculation of isotherms of surface tension, adsorption and surface concentrations of components of lithium-sodium alloys in solid state] / Z.H. Kalazhokov, Z.X. Kalazhokov, R.I. Hacukova [et al.] // Mezhvuzovskij sbornik nauchnyh trudov: Fiziko-himicheskie aspekty izuchenija klasterov, nanostruktur i nanomaterialov [Interuniversity collection of scientific papers: Physico-chemical aspects of the study of clusters, nanostructures and nanomaterials]. — 2014. — Iss. 6. — P. 135–140. [in Russian]
28. Alchagirov B.B. Raschet adsorbicii kalija v splavah natrij-kalij: uchet aktivnosti komponentov [Calculation of potassium adsorption in sodium-potassium alloys: accounting for the activity of components] / B.B. Alchagirov, L.H. Afaunova, T.M. Taova [et al.] // Vestnik KBGU. Ser. Fizicheskie nauki [Bulletin of KBSU. Ser. Physical Sciences]. — 2009. — Iss. 12. — P. 9–11. [in Russian]

29. Van Oirschot Th.G.J. Photoelectric emission and phase transitions of evaporated metastable sodium, potassium and sodium-potassium alloys films / Th.G.J. Van Oirschot, M. van der Brink, W.M.J. Sachtler // *Surface Science*. — 1972. — Vol. 29. — № 1. — P. 181–202.
30. Smith N.V. Photoemission studies of the alkali metals. I. Sodium and potassium / N.V. Smith, W.E. Spicer // *Phys. Rev.* — 1969. — Vol. 188. — № 2. — P. 593–605.
31. Kalazhokov Z.H. Uravnenie izotermiy poverhnostnykh natjazheniy binarnykh splavov metallicheskih sistem [Surface tension isotherm equation of binary alloys of metallic systems] / Z.H. Kalazhokov, Z.X. Kalazhokov, H.H. Kalazhokov [et al.] // *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University]. — 2014. — Vol. 17. — № 21. — P. 104–107. [in Russian]
32. Sherieva Je.H. K raschetu adsorbtsii komponentov binarnykh sistem, v kotorykh obrazujutsja ustojchivye himicheskie soedinenija tipa $AnVm$ [To calculation of adsorption of components of binary systems in which stable chemical compounds of $AnBm$ type are formed] / Je.H. Sherieva, N.S. Reuckaja, Z.H. Kalazhokov [et al.] // *Sovremennye naukoemkie tehnologii* [Modern Science-Intensive Technologies]. — 2016. — № 2-1. — P. 98–102. [in Russian]