

03;11

Работа выхода электрона сплавов рубидия на основе цезия

© Б.Б. Алчагиров, Б.С. Карамурзов, Т.А. Сижажев, Т.М. Таова, Р.Х. Архестов

Кабардино-Балкарский государственный университет,
360004 Нальчик, Россия
e-mail: alchjg@kbsu.ru

(Поступило в Редакцию 17 апреля 2006 г.)

Фотоэлектрическим методом Фаулера и в условиях сверхвысокого вакуума изучены температурные и концентрационные зависимости работы выхода электрона (РВЭ) рубидия, цезия и их 9 сплавов на основе цезия. Показано, что политермы работы выхода электрона чистых компонентов и всех изученных сплавов с повышением температуры убывают по линейному закону. На основании полученных авторами экспериментальных данных сделан вывод, что концентрационная зависимость РВЭ бинарной системы Rb–Cs в пределах погрешности эксперимента (около 1%) имеет линейный, аддитивный характер. Наличие азеотропной точки на диаграмме фазового состояния изученной системы не находит отражения на концентрационной зависимости РВЭ.

PACS: 61.80.Fe, 79.90.+b

Введение

Изучение фотоэмиссионных свойств щелочных металлов и их сплавов представляет большой научный и практический интерес, так как они являются составной частью большинства эффективных фотокатодов. В частности, в состав многощелочных фотокатодов, как правило, входит цезий, имеющий наименьшее из всех металлов значение работы выхода электрона (РВЭ) и, следовательно, обладающий наибольшей эмиссионной способностью [1–3].

Из анализа литературы известно, что концентрационная зависимость РВЭ системы Rb–Cs в области составов с содержанием до 45 at.% Rb в Cs практически не изучалась: в этой области составов РВЭ определена только для одного сплава (30 at.% Rb в Cs) и лишь при комнатной температуре [1,2,4]. В настоящей работе ставится и решается задача изучения температурных и концентрационных зависимостей работы выхода электрона сплавов рубидия на основе цезия — системы с непрерывным рядом твердых растворов [5–7].

Методика экспериментов

Как и в [4], работа выхода электрона определялась фотоэлектрическим методом изотермических кривых Фаулера с погрешностью, не превышающей $\sim 1\%$ [1,8]. Для изучения спектральных зависимостей фотоэмиссионных токов нами была использована цельнопаяная измерительная ячейка, позволяющая в условиях сверхвысокого вакуума ($\sim 10^{-7}$ Pa) готовить сплавы необходимых составов внутри самой ячейки без ее разгерметизации и надежно измерять фототоки [9]. Это обеспечивает идентичные условия термовакуумной обработки и измерения РВЭ исследуемых образцов, что принципиально важно при изучении высокоактивных щелочных метал-

лов и для обеспечения высокой точности и надежности определения фотоэмиссионных свойств сплавов.

Температурные зависимости РВЭ рубидия и цезия, а также их 9 сплавов измерялись в диапазоне температур от 300 до 400 К как при повышении, так и при понижении температуры. Ограничение верхнего температурного предела исследований обусловлено заметной упругостью собственных насыщенных паров цезия — более высокоактивного компонента, чем рубидий [10]. Для опытов использовались высокочистые рубидий и цезий с содержанием не менее 99.995% основного элемента, примеси остальных щелочных металлов в них регламентированы соответственно по ТУ 48-4-477-86 и ТУ 48-4-478-86. Измерительная ячейка перед ее заправкой исходными компонентами подвергалась в вакууме $\sim 10^{-7}$ Pa многочасовой термической обработке при 750 К. После заправки щелочными металлами продолжалась общая дегазация измерительной ячейки и металлов в течение нескольких часов при температуре, при которой упругость собственных насыщенных паров более летучего компонента (цезия) не превышала $\sim 10^{-1}$ Pa с целью предотвращения заметного испарения этого компонента. Затем ячейка отпаивалась от сверхвысоковакуумного поста (собранного на базе безмасляных средств откачки), закреплялась на металлической рамке и устанавливалась внутри воздушного вращающегося термостата конструкции П. Пугачевича [11]. Внутри термостата поддерживалась необходимая безградиентная температура с точностью ± 0.2 К.

Спектральные характеристики фототоков при освещении поверхностей исследуемых сплавов монохроматическими пучками света фиксировались электрометрическими усилителями типа У5-11 или В7Э-45, а полученные данные обрабатывались автоматически компьютером по методике, описанной нами в [12].

Результаты экспериментов и их обсуждение

Полученные нами результаты измерений температурных зависимостей работы выхода электронов цезия, рубидия и отдельных сплавов рубидия на основе цезия графически показаны на рис. 1. Из них следует, что РВЭ чистых компонентов при комнатной температуре (300 К) оказались равными 1.92 для цезия и 2.16 eV — для рубидия. По мере повышения температуры до 360 К РВЭ чистых Cs и Rb уменьшаются по линейному закону $\varphi(T) = a + bT$ с температурными коэффициентами b , соответственно равными $2.1 \cdot 10^{-4}$ и $2.3 \cdot 10^{-4}$ eV/К. Данные, полученные нами для РВЭ

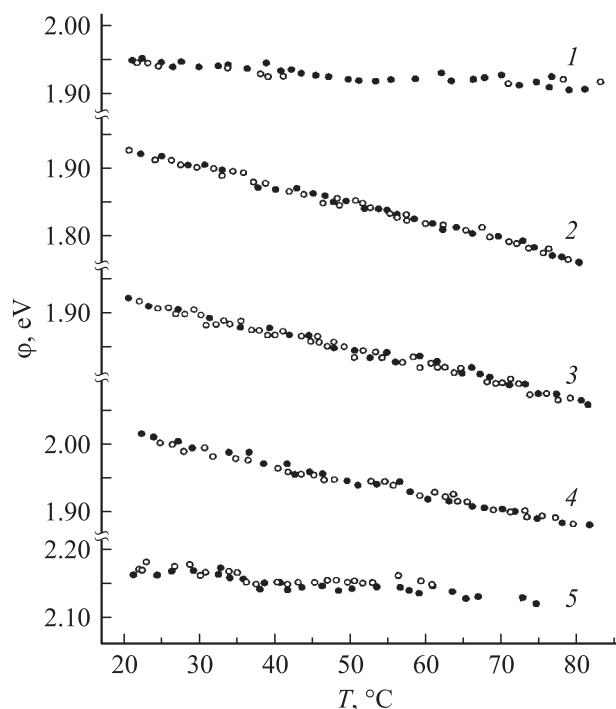


Рис. 1. Температурные зависимости работы выхода электрона цезия, рубидия и их некоторых сплавов: ● — при повышении, ○ — при понижении температуры. 1 — Cs, 2 — 1.8 at.% Rb в Cs, 3 — 23.1 at.% Rb, 4 — 49.1 at.% Rb в Cs, 5 — Rb.

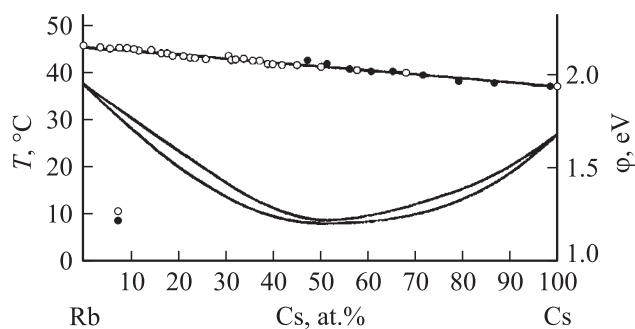


Рис. 2. Концентрационные зависимости работы выхода электрона бинарной системы рубидий–цезий: ○ — по данным [4], ● — данные настоящей работы.

Температурные и концентрационные зависимости активности цезия в жидких сплавах Rb–Cs [14]

| Содержание Cs (at.%) в Rb | Температура, К | | | | |
|---------------------------|----------------|--------|--------|--------|--------|
| | 773 | 900 | 1000 | 1073 | 1200 |
| 19.7 | 0.2002 | 0.1983 | 0.1978 | 0.1978 | 0.1978 |
| 32.0 | 0.3168 | 0.3197 | 0.3205 | 0.3205 | 0.3205 |
| 48.3 | 0.4723 | 0.4806 | 0.4830 | 0.4830 | 0.4830 |
| 76.5 | 0.7570 | 0.7630 | 0.7648 | 0.7648 | 0.7648 |

при температуре плавления чистых компонентов, находятся в удовлетворительном согласии с рекомендуемыми значениями В. Фоменко [2]: РВЭ цезия и рубидия соответственно равны 1.81 и 2.16 eV. Температурные зависимости РВЭ изученных сплавов также имеют линейный вид и по мере повышения температуры РВЭ плавно уменьшаются.

Следует отметить, что температуры фазовых переходов „твердое–жидкое“ как чистых компонентов, так и двухфазных состояний сплавов Rb–Cs оказались в интервале температур, в котором проводились измерения температурных зависимостей РВЭ. Но это сколько-нибудь заметным образом не отразилось на политермах РВЭ. Подобное поведение температурных зависимостей РВЭ можно объяснить тем, что различие между ликвидусными и солидусными температурами (т.е. „температурная“ протяженность двухфазной области состояния сплавов в изученной системе) весьма незначительно и не превышает нескольких градусов (рис. 2). Отсутствие скачка на политермах РВЭ рубидия, цезия и их сплавов в области температуры плавления также может быть связано с тем, что при плавлении щелочных металлов практически не изменяется первое координационное число, а электронная плотность при этом меняется слабо.

Изотермы работы выхода электрона, построенные нами по результатам изучения политерм РВЭ 9 сплавов рубидия на основе цезия, представлены на рис. 2.

Для удобства обсуждения и сравнения полученных нами результатов с литературными на этом же графике светлыми кружками нанесены данные о РВЭ из работы Ю. Малова и сотр. [4], полученные ими при температуре 25°C. Как видно из рисунка, наши данные по концентрационной зависимости РВЭ в изученном интервале составов, примыкающих к чистому цезию, в пределах погрешности эксперимента укладываются на аддитивную прямую, соединяющую значения работ выхода электрона чистых компонентов. К такому же выводу пришли ранее и авторы [4], согласно результатам измерений которых отклонение от аддитивного хода концентрационной зависимости $\varphi(x)$ сплавов в изученной ими области составов (с содержанием от 0 до 65 at.% цезия в рубидии) не превышало 0.015 eV.

Полученные в настоящей работе данные о концентрационной зависимости РВЭ, свидетельствующие об аддитивном ходе изотермы РВЭ, находятся также в со-

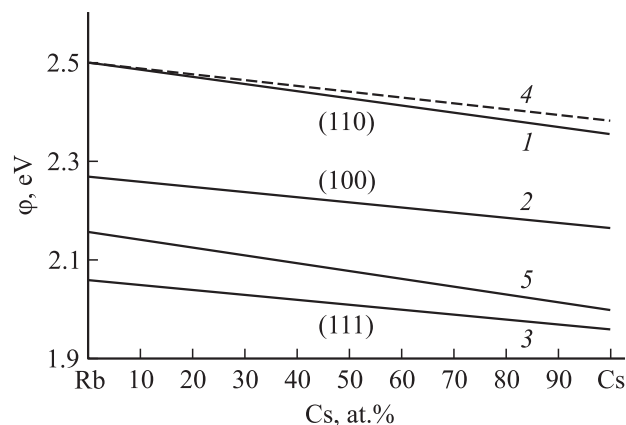


Рис. 3. Результаты теоретических расчетов концентрационной зависимости работы выхода электрона отдельных граней сплавов системы рубидий–цезий [15]: 1 — кристаллографическая грань (110), 2 — грань (100), 3 — грань (111), 4 — расчеты РВЭ [15] в рамках модели „желе“ [16], 5 — изотермы РВЭ при 300 К, экспериментальные данные настоящей работы и [4].

гласии с результатами теоретических и экспериментальных исследований давления насыщенных паров системы Rb–Cs [10,13]. Согласно результатам работ [10,13], а также оценкам активности компонентов в сплавах этой же системы (см. таблицу [14]), из всех бинарных систем щелочных металлов система Rb–Cs наиболее близка к идеальному раствору. Об этом же свидетельствует и то, что давление насыщенных паров расплавов данной системы мало отличается от рассчитанных по закону Рауля. Из таблицы следует, что активность цезия в сплавах с рубидием практически не зависит от температуры и определяется лишь составом.

Представляет значительный интерес сравнение полученных в настоящей работе данных о концентрационной зависимости РВЭ с результатами теоретических расчетов $\varphi(x)$, проведенных в [15]. Авторы [15] вычисляли РВЭ сплавов системы Rb–Cs в рамках теории функционала электронной плотности, а для расчета зависящего от структуры псевдопотенциального вклада использовалось приближение виртуального кристалла. Следует подчеркнуть: расчеты РВЭ сплавов в [15] проводились в предположении, что они имеют ту же кристаллическую структуру, что и образующие их компоненты, т. е. объемно-центрированную кубическую.

На рис. 3 представлены результаты расчетов концентрационной зависимости РВЭ для кристаллографических граней (110), (100) и (111) сплавов Rb–Cs [15]. Для сравнения на этом же рисунке приведены изотермы РВЭ, вычисленные в рамках модели „желе“ [16], а также экспериментально измеренные значения РВЭ, полученные в [4] и в настоящей работе. Из рисунка видно, что теоретически рассчитанные концентрационные зависимости РВЭ сплавов рубидия с цезием носят тот же характер, что и экспериментально полученные: и те и другие изотермы РВЭ почти прямолинейны, что указывает на аддитивность изменений работы выхода

электрона. Более того, экспериментально полученные изотермы РВЭ лежат между теоретически рассчитанными для граней (110) и (111) $\varphi(x)$. Это означает, что расчетные изотермы РВЭ удовлетворительно согласуются с усредненными по кристаллографическим граням значениями РВЭ, полученными опытным путем для поликристаллических образцов-сплавов системы Rb–Cs.

Заключение

На основании экспериментальных данных, полученных в настоящей работе и в [4], а также результатов теоретических расчетов, проведенных авторами [15], можно утверждать, что РВЭ бинарной системы Rb–Cs в полном концентрационном интервале составов имеет линейный, аддитивный характер. Наличие азеотропной точки на диаграмме фазового состояния изученной системы Rb–Cs не находит отражения в концентрационной зависимости РВЭ.

Список литературы

- [1] Алчагиров Б.Б., Лазарев В.Б., Хоконов Х.Б. // Обзоры по теплофизическим свойствам веществ. М.: ТФЦ, ИВТАН, 1989. № 5. 146 с.
- [2] Фоменко В.С. Эмиссионные свойства материалов. Справочник. Киев: Наукова думка, 1981. 340 с.
- [3] Дриц М.Е., Зусман Л.Л. Сплавы щелочных и щелочноземельных металлов. М.: Металлургия, 1986. 248 с.
- [4] Малов Ю.И., Лазарев В.Б., Салов А.В. и др. // Изв. АН СССР. Сер. химическая. 1970. № 9. С. 2121–2122.
- [5] Лазарев В.Б., Малов Ю.И., Шебзухов М.Д. // Поверхностные явления в полупроводниках (Научные труды МИСИС: № 89). М.: Металлургия, 1976. С. 15–23.
- [6] Potter P.E., Rand M.H. // Handbook of the Thermodynamic and transport properties of Alkali Metals. Ch. 9.1. Oxford, UK: Blackwell Sci. Publ., 1958. P. 915.
- [7] Goates J.R., Ott J.B., Delawarde E. // Trans. Faraday Soc. 1971. Vol. 67. N 582. P. 1610–1615.
- [8] Добрецов Л.Н., Гомоюнова М.В. Эмиссионная электроника. М.: Наука, 1966. 564 с.
- [9] Алчагиров Б.Б. // ЖФХ. 1992. Т. 66. № 4. С. 1135–1138.
- [10] Покрасин М.А., Рошуткин В.В. // Теплофизические свойства веществ и материалов. Вып. 26. М.: Изд-во стандартов, 1989. С. 77–79.
- [11] Пугачевич П.П. А.С. 147344 (СССР). 1972.
- [12] Алчагиров Б.Б., Карамурзов Б.С., Хоконов Х.Б. Современные методы исследований поверхности конденсированных фаз. Нальчик: Кабардино-Балкарский госуниверситет, 1986. 131 с.
- [13] Рошуткин В.В., Покрасин М.А., Чернов А.И. // ТВТ. 1995. Т. 33. № 2. С. 321–323.
- [14] Штильрайн Э.Э., Сквородько С.Н., Мозговой А.Г. // ТВТ. 2002. Т. 40. № 3. С. 518–521.
- [15] Kiejna A., Wojciechowski K.F. // J. Phys. C: Solid State Phys., 1983. Vol. 16. P. 6883–6896.
- [16] Budd H.F., Vannimenus J. // Phys. Rev. Lett. 1973. Vol. 31. N 19. P. 1218–1225.