Министерство науки и высшего образования
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 10

ТВЕРЬ 2018

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

Ф50

Рецензирование статей осуществляется на основании Положения о 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

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, 2018. – Вып. 10. – 708 с.

ISBN 978-5-7609-1395-1

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 978-5-7609-1395-1

ISSN 2226-4442

© Коллектив авторов, 2018

© Тверской государственной
университет, 2018

УДК 532.61

МЕЖФАЗНАЯ ЭНЕРГИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТОНКИХ ПЛЕНОК НА ГРАНИЦЕ С ЖИДКИМИ ПОЛЯРНЫМИ ДИЭЛЕКТРИКАМИ

Л.П. Арефьева¹, И.Г. Шебзухова²

¹ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»

344000, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

²ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет
им. Х.М. Бербекова»

360004, КБР, Нальчик, ул. Чернышевского, 173

Ludmilochka529@mail.ru, Irina.Shebzukhova@mail.ru

DOI: 10.26456/pcascnn/2018.10.035

Аннотация: Получены выражения для оценки межфазной энергии металлических тонких пленок на границе с органическим диэлектрическим покрытием. Рассмотрен случай границы контакта пленок кобальта с многоатомными спиртами — диолами. Сравнение с экспериментальными данными показывает хорошее согласие теоретической модели и реальных объектов.

Ключевые слова: межфазная энергия, многоатомные спирты, тонкие пленки, полярные органические диэлектрики.

1. Введение

Тонкие пленки металлов широко применяются в различных отраслях техники и технологии. Проблемы синтеза и стабилизации металлических наноструктур главным образом заключаются в выборе среды и температуры синтеза, а также стабилизатора. В качестве стабилизаторов наночастиц применяются органические соединения, являющиеся поверхностно-активными веществами [1, 2], в том числе и многоатомные спирты. Многоатомные спирты находят широкое применение в разных отраслях промышленности [3-6]. Диолы относятся к сильно полярным диэлектрикам. Построение геометрической модели структуры многоатомных спиртов на сегодняшний день является сложной и неразрешенной задачей. Электронно-статистический метод ранее применялся для расчета межфазной энергии (МЭ) металлических макро- и наноструктур на различных границах раздела фаз [7-9].

В данной работе ставилась цель с помощью электронно-статистического метода провести расчет МЭ на границе раздела металлической тонкой пленки и слоя полярной диэлектрической жидкости. Для достижения поставленной цели мы распространили выражения для внутреннего, внешнего, поляризационного и дисперсионного вкладов в МЭ и тонких пленок на случай границы контакта металлическая твердая фаза нанометрового масштаба — полярная диэлектрическая среда.

2. Методика вычислений

Модель металла и физической границы раздела сред выбирается

также, как в работах [7-9]. Ход электронной плотности $\rho(x)$ и потенциала $V(x)$ вблизи границы раздела металлическая пленка – монослойное диэлектрическое покрытие определяется из уравнения ТФ для внутренней и внешней областей металла:

$$\frac{d^2V}{dx^2} = 4\pi e[\rho(x) - \nu_+(x)] = 4\pi e\gamma(V^{3/2}(x) - V_H^{3/2}) \text{ при } -H \leq x \leq 0, \quad (1)$$

$$\frac{d^2V}{dx^2} = \frac{4\pi e}{\varepsilon} \rho(x) = \frac{4\pi e\gamma}{\varepsilon} V^{3/2}(x) \text{ при } 0 < x < \Theta, \quad (2)$$

где $\nu_+(x)$ – плотность распределения положительного заряда ионов внутри металлической пленки, $\rho(x)$ – плотность электронного газа, $\gamma = 2^{3/2}/3\pi^2 e^2 a_0$, a_0 – радиус первой боровской орбиты атома водорода, $eV_H = \frac{5}{3} k_F \rho^{2/3}(H)$ – пограничная энергия Ферми, ε – макроскопическая диэлектрическая проницаемость полярной органической жидкости, H – половина толщины металлической пленки, Θ – толщина диэлектрического покрытия, $e = +4,8 \cdot 10^{-10}$ СГСЭ. Условиями непрерывности $V(x)$ и $V'(x)$ уравнения (1) и (2) сшиваются на поверхности $x=0$. Кроме того, $V(\infty)=0$ и $V(-H)=V_H$, а $V'(x)|_{x=+\infty} = V'(x)|_{x=-H} = 0$.

При переходе к безразмерной переменной ζ уравнения (1) и (2) запишутся в виде:

$$\chi''(\zeta, \varepsilon) = \chi^{3/2}(\zeta, \varepsilon) - 1 \text{ при } -\zeta_H < \zeta < 0, \quad (3)$$

$$\chi''(\zeta, \varepsilon) = \frac{1}{\varepsilon} \chi^{3/2}(\zeta, \varepsilon) \text{ при } 0 < \zeta < \zeta_\Theta. \quad (4)$$

Решение уравнений (3) и (4) с указанными граничными условиями дает следующие выражения для электронной плотности и потенциала

$$\rho(\zeta, \varepsilon) = \rho(H) \chi^{3/2}(\zeta, \varepsilon) = \lambda \rho(\infty) \chi^{3/2}(\zeta, \varepsilon), \quad (5)$$

$$V(\zeta, \varepsilon) = V_H \chi(\zeta, \varepsilon) = \lambda^{2/3} V_i \chi(\zeta, \varepsilon). \quad (6)$$

где $\chi(\zeta, \varepsilon)$ – безразмерный потенциал.

Так как для системы кристаллическая пленка металла – слой диэлектрика уравнение (1) совпадает с уравнением для внутренней области для системы тонкая пленка – вакуум [7], то безразмерный потенциал для внутренней области металла можно представить в виде:

$$\chi_i(\zeta, \varepsilon) = 1 - \frac{1 - \chi(0, \varepsilon)}{(1 - \zeta/b)^n} \text{ при } -\zeta_H \leq \zeta \leq 0. \quad (7)$$

Для внешней области имеем:

$$\chi_e(\zeta, \varepsilon) = \frac{\chi(0, \varepsilon)}{(1 + \zeta/b)^4} \text{ при } 0 < \zeta < \zeta_\Theta. \quad (8)$$

Здесь $b = 2\sqrt{5\varepsilon} \cdot \chi^{-1/4}(0, \varepsilon)$, $n = 4\chi(0, \varepsilon)/(1 - \chi(0, \varepsilon))$ и $\chi(0, \varepsilon)$ получены из

условий непрерывности и граничных условий. Предельный переход при $\varepsilon = 1$ дает соответствующие параметры для границы металл – вакуум.

Значение безразмерного коэффициента λ находится из закона сохранения электронного заряда на границе раздела фаз

$$\lambda = \frac{\zeta_H(1-\delta)}{\zeta_H + \zeta_\Gamma(\varepsilon)}, \quad (9)$$

где ζ_H – толщина пленки в безразмерных координатах, $\delta \approx \zeta_H^{-1}$ – фактор разрыхления.

Координата границы Гиббса $\zeta_\Gamma(\varepsilon)$ для системы металлическая тонкая пленка – ограниченный слой диэлектрической жидкости находится из условия электронейтральности на границе раздела фаз:

$$\zeta_\Gamma(\varepsilon) = -\frac{3}{2} \frac{b(1-\chi(0,\varepsilon))}{n-1} \left(1 - \frac{1}{(1+\zeta_H/b)^{n-1}} \right) + \frac{b\chi^{3/2}(0,\varepsilon)}{5} \left(1 - \frac{1}{(1+\zeta_\Theta/b)^5} \right). \quad (10)$$

Внутренний вклад в МЭ нанообъектов для случаев границы контакта металла с полярными диэлектриками формально совпадает с выражением для МЭ границы макрокристалл – диэлектрическая жидкость [9] с учетом размерной зависимости [7, 8].

Мы получили выражение для внешнего вклада в МЭ тонких пленок для случая диэлектрического покрытия фиксированной толщины. Дисперсионная и осцилляционная поправки рассчитывались с учетом размерной зависимости и диэлектрической проницаемости жидкости по формулам, аналогичным [7-10].

Поляризационный вклад в МЭ металла на границе с полярным диэлектриком будет отличаться от аналогичного вклада в случае неполярного диэлектрика и вакуума [7, 10] и состоять из двух слагаемых:

$$f_{\omega 12}^p(hkl) = f_{\omega 12}^{pi}(hkl) + f_{\omega 12}^{pe}(hkl), \quad (11)$$

где $f_{\omega 12}^{pi}(hkl)$ – составляющая вклада, отвечающая за поляризационную деформацию ионов металла [10], $f_{\omega 12}^{pe}(hkl)$ – составляющая вклада, отвечающая за деформацию и ориентацию молекул диэлектрика, входящих в двойной электрический слой.

Поправка на поляризацию молекул слоя диэлектрической жидкости, граничащей с поверхностью металла, была получена исходя из основных положений теории Онзагера-Кирквуда-Фрелиха [11]. Поляризационная поправка к МЭ граней, обусловленная присутствием полярного диэлектрика во внешней области системы:

$$f_{\omega}^{pe}(hkl) = \frac{1}{2} n(hkl) \frac{3\varepsilon_s}{2\varepsilon_s + 1} \left(\frac{V_H}{s^*} \right)^2 \frac{16\chi^2(0,\varepsilon)}{b^2(1+\zeta/b)^{10}} \cdot \left(\frac{3}{\varepsilon_s + 2} \right)^2 \cdot \left(\frac{g\mu^2}{3kT} + \alpha_d \right). \quad (12)$$

где ε_s – статическая диэлектрическая проницаемость жидкости,

g – структурный фактор, являющийся постоянной величиной для данного сорта молекул, k – постоянная Больцмана, T – температура, α_d – поляризуемость молекулы диэлектрика.

3. Результаты вычислений

Нами проведены расчеты МЭ тонких пленок кобальта на границе с полярными диэлектриками – 1,2-этандиол, 1,3-пропандиол, 1,4-бутандиол, 1,5-пентандиол, 2,5-гександиол. Для расчета МЭ и поляризационного вклада в МЭ системы металл-диол мы использовали экспериментальные данные из работ [3-6], полученные методом диэлектрической спектроскопии.

Координата границы Гиббса относительно физической границы раздела металл – диэлектрическая жидкость положительна, так как происходит вытягивание «хвоста» электронной плотности из металла во внешнюю среду. При увеличении толщины пленки ζ_g линейно уменьшается и граница Гиббса сдвигается в сторону физической границы контакта фаз (см. рис. 1). При увеличении толщины слоя диолов ζ_g увеличивается, то есть граница Гиббса сдвигается во внешнюю область. При увеличении ϵ координата гиббсовой границы раздела фаз линейно увеличивается.

Рис. 1. Зависимость координаты границы Гиббса системы тонкая пленка кобальта – полярный диэлектрик от диэлектрической проницаемости диолов: 1 – 1,2-этандиол, $\Theta=10^9$ нм; 2 – 1,2-этандиол, $\Theta=1$ нм; 3 – 1,4-бутандиол, $\Theta=10^9$ нм; 4 – 1,4-бутандиол, $\Theta=1$ нм; 5 – 1,3-пропандиол, $\Theta=10^9$ нм; 6 – 1,3-пропандиол, $\Theta=1$ нм; 7 – 1,5-пентандиол, $\Theta=10^9$ нм; 8 – 1,5-пентандиол, $\Theta=1$ нм; 9 – 2,5-гександиол, $\Theta=10^9$ нм; 10 – 2,5-гександиол, $\Theta=10^9$ нм.

Мы провели расчет поляризационного вклада в МЭ граней и построили его зависимость от размера металлической фазы, толщины

диэлектрического слоя и диэлектрической проницаемости диолов.

Внешняя часть поляризационного вклада в МЭ граней тонких пленок кобальта имеет небольшие по величине положительные значения и доходит до 26 % от значения поляризационного вклада $f_{\omega 12}^p(hkl)$.

На рис. 2 приведена зависимость усредненных по граням значений поляризационного вклада в МЭ тонкой пленки кобальта на границе с пятью диолами от диэлектрической проницаемости. С ростом диэлектрической проницаемости величина вклада увеличивается по модулю. Максимальные значения вклада соответствуют 1,2-этандиолу.

Размерная зависимость поляризационного вклада в МЭ граней и тонких пленок кобальта при толщине слоя диэлектрика 1 нм приведены на рис. 3. С ростом размеров твердой фазы $f_{\omega 12}^p(hkl)$ незначительно увеличивается по модулю для тонких пленок.

Рис. 2. Зависимость усредненных по граням значений поляризационного вклада в МЭ тонких пленок кобальта от диэлектрической проницаемости диолов: 1 – $H=1$ нм, $\Theta=1$ нм, 2 – $H=10$ нм, $\Theta=1$ нм, 3 – $H=1$ нм, $\Theta=10^9$ нм, 4 – $H=10^9$ нм, $\Theta=10^9$ нм.

Рис. 3. Размерная зависимость поляризационного вклада в МЭ грани (111) тонких пленок Co на границе со слоем диэлектрика $\Theta=1$ нм: 1 – 2,5-гександиол, 2 – 1,5-пентандиол, 3 – 1,4-бутандиол, 4 – 1,3-пропандиол, 5 – 1,2-этандиол.

На рис. 4 приведены графики размерной зависимости МЭ тонких пленок кобальта на границе с диолами, не учитывающие влияние температуры на МЭ граней. Как видно из рис. 4, МЭ граней тонких пленок кобальта убывает при увеличении линейных размеров металлической фазы и увеличении диэлектрической проницаемости диолов, что хорошо согласуется с данными, полученными методом функционала плотности для тонких щелочных металлов и сплавов на их основе [12]. Наибольшее снижение величины МЭ граней по сравнению с известными

экспериментальными данными [13] для макрокристаллов дает 1,2-этандиол, наименьшее – 2,5-гександиол.

Следовательно, наилучшим стабилизатором металлических нанобъектов из рассматриваемых спиртов является 1,2-этандиол. Зависимость МЭ граней кобальта от диэлектрической проницаемости диолов линейна.

Расчеты показывают, что наиболее энергетически выгодным является соотношение толщины пленки и толщины слоя 1,2-этандиола 10:1. При увеличении толщины слоя диэлектрика до 4 нм МЭ граней увеличивается, далее не меняется.

Рис. 4. Размерная зависимость МЭ граней (100) (а) и (111) (б) тонких пленок кобальта на границе с диолами: 1 – 2,5-гександиол, 2 – 1,5-пентандиол, 3 – 1,3-пропандиол; 4 – 1,4-бутандиол; 5 – 1,2-этандиол.

Рис. 5. Полярная диаграмма МЭ граней тонких пленок кобальта для зоны плоскостей $[1\bar{1}0]$ на границе со слоем полярного диэлектрика: (а) 1,2-этандиол $\Theta = 1$ нм; (б) 1,3-пропандиол $\Theta = 1$ нм (1 – $H = 1$ нм, 2 – $H = 2$ нм, 3 – $H = 6$ нм, 4 – $H = 10$ нм).

Диэлектрическая среда также влияет на ориентационную зависимость МЭ металлической пленки (см. рис. 5). Например, для этандиола при $H=1$ нм и $\Theta=1$ нм $f_{\omega 12}(110):f_{\omega 12}(100):f_{\omega 12}(111)=1:1,1055:1,1540$, при $H=10$ нм и $\Theta=1$ нм $1:1,1937:1,3066$ и при $H=10$ нм и $\Theta=10$ нм – $1:1,1936:1,3059$.

Следовательно, при увеличении толщины металлической пленки соотношение между величинами МЭ плотноупакованных граней увеличивается. Толщина покрытия и его диэлектрическая проницаемость при постоянной H незначительно влияют на анизотропию МЭ.

4. Заключение

На основе электронно-статистической теории получены выражения для основных вкладов в МЭ граней тонких пленок металла на границе с полярными органическими диэлектриками с учетом макроскопической диэлектрической проницаемости и размерных зависимостей твердой и жидкой фазы и проведены расчеты для системы кобальт-диол. Наличие ограниченного слоя диэлектрической жидкости на границе с металлической твердой фазой приводит к снижению величины МЭ граней и изменению положения границы Гиббса. С увеличением размера металлической фазы значения МЭ граней уменьшается. При увеличении толщины диэлектрического слоя увеличивается МЭ граней. С увеличением диэлектрической проницаемости значения МЭ граней уменьшаются. С ростом диэлектрической проницаемости величина поляризационного вклада быстро увеличивается по модулю. Максимальные значения поляризационного вклада соответствуют 1,2-этандиолу. Сравнение полученных результатов с известными экспериментальными и теоретическими данными для других металлов и сплавов, выполненными МФЭП, показывает адекватность полученных зависимостей и качественное согласие.

Библиографический список:

1. **Блинова, А.А.** Изучение закономерностей синтеза концентрата наночастиц серебра / А.А. Блинова, А.В. Блинов, А.В. Серов, А.Г. Храмцов // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. – 2014. – № 6 (45). – С. 9-14.
2. **Арефьева, Л.П.** Синтез и исследование морфологии кобальтсодержащих наночастиц / Л.П. Арефьева, А.А. Кравцов, А.В. Блинов и др. // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия: Естественные науки. – 2017. – № 2 (71). – С. 85-95.
3. **Лифанова, Н.В.** Равновесные и релаксационные диэлектрические свойства 1,2-этандиола / Н.В. Лифанова, Т.М. Усачева, В.И. Журавлев // Журнал физической химии. – 2007. – Т. 81. – № 5. – С. 943-951.
4. **Усачева, Т.М.** Диэлектрическое исследование структуры пропиленгликоля / Т.М. Усачева, Н.В. Лифанов, В.И. Журавлев, В.К. Матвеев // Журнал физической

химии. – 2007. – Т. 84. – № 7. – С. 1315-1323.

5. **Журавлев, В.И.** Равновесные диэлектрические свойства бутандиолов / В.И. Журавлев, Т.М. Усачева // Вестник Московского университета. Серия 2. Химия. – 2010. – Т. 51. – № 4. – С. 274-278.

6. **Усачева, Т.М.** Температурные зависимости характеристик кластерных структур 2,5-гександиола и 1,2,6-гексантиола по данным диэлектрической спектроскопии / Т.М. Усачева, В.И. Журавлев // Журнал физической химии. – 2013. – Т. 87. – № 3. – С. 443-449.

7. **Арефьева, Л.П.** Размерная и концентрационная зависимости поверхностной энергии тонких пленок сплавов на основе переходных металлов / Л.П. Арефьева, И.Г. Шебзухова // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2016. – Вып. 8. – С. 26-31.

8. **Арефьева, Л.П.** Межфазная энергия на границе металлический кристалл-расплав / Л.П. Арефьева, И.Г. Шебзухова // Физика твердого тела. – 2018. – Т. 60. – Вып. 7. – С. 1270-1276.

9. **Шебзухова, И.Г.** Межфазная энергия на границе контакта полиморфных фаз щелочноземельных металлов с собственным расплавом и с органическими жидкостями / И.Г. Шебзухова, А.М. Апеков, Л.П. Арефьева // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2009. – Вып. 1. – С. 129-133.

10. **Апеков, А.М.** Влияние поляризации металлических ионов переходного слоя на границе металл - неполярная органическая жидкость на межфазную энергию / А.М. Апеков, И.Г. Шебзухова // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2017. – Вып. 9. – С. 27-31.

11. **Гусев, Ю.А.** Основы диэлектрической спектроскопии: Учебное пособие / Ю.А. Гусев. – Казань: Казанский государственный университет, 2008. – 112 с.

12. **Созаев, В.А.** Влияние диэлектрических покрытий на межфазную энергию тонких пленок сплавов системы $Al-Li$ / В.А. Созаев, Р.А. Чернышова // Письма в журнал технической физики. – 2005. – Т. 31. – Вып. 10. – С. 1-4.

13. Свойства элементов. Справочник / под общей ред. М.Е. Дрица. – М.: Металлургия, 1985. – 672 с.

References:

1. **Blinova, A.A.** Izuchenie zakonornostej sinteza koncentrata nanochastic serebra / A.A. Blinova, A.V. Blinov, A.V. Serov, A.G. Khramtsov // Vestnik Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta. – 2014. – no. 6 (45). – P. 9-14.

2. **Aref'eva, L.P.** Sintez i issledovanie morfologii kobal'tsoderzhashchih nanochastic / L.P. Aref'eva, A.A. Kravtsov, A.V. Blinov i dr. // Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Seriya: Estestvennye nauki. – 2017. – no. 2 (71). – P. 85-95.

3. **Lifanova, N.V.** Ravnovesnye i relaksacionnye dielektricheskie svojstva ehtandiola / N.V. Lifanova, T.M. Usacheva, V.I. Zhuravlev // Zhurnal fizicheskoy himii. – 2007. – V. 81. – no. 5. – P. 943-951.

4. **Usacheva, T.M.** Dielektricheskoe issledovanie struktury propilenglikolya / T.M. Usacheva, N.V. Lifanov, V.I. Zhuravlev, V.K. Matveev // Zhurnal fizicheskoy himii. – 2007. – V. 84. – no. 7. – P. 1315-1323.

5. **Zhuravlev, V.I.** Ravnovesnye dielektricheskie svojstva butandiolo / V.I. Zhuravlev, T.M. Usacheva // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 2. Himiya. – 2010. – V. 51. – no. 4. – P. 274-278.

6. **Usacheva, T.M.** Temperaturnye zavisimosti harakteristik klasternyh struktur 2,5– geksandiola i 1,2,6– geksantriola po dannym dielektricheskoy spektroskopii / T.M. Usacheva, V.I. Zhuravlev // Zhurnal fizicheskoy himii. – 2013. – V. 87. – no. 3. – P. 443-449.
7. **Aref'eva, L.P.** Razmernaya i kontsentratsionnaya zavisimosti poverhnostnoj energii tonkih plenok splavov na osnove perekhodnyh metallov / L.P. Aref'eva, I.G. Shebzukhova // Fiziko-himicheskie aspekty izucheniya klasterov, nanostruktur i nanomaterialov. – 2016. – I. 8. – P. 26-31.
8. **Aref'eva, L.P.** Mezhfaznaya energiya na granitse metallicheskiy kristall-rasplav / L.P. Aref'eva, I.G. Shebzukhova // Fizika tverdogo tela. – 2018. – V. 60. – I. 7. – P. 1270-1276.
9. **Shebzukhova, I.G.** Mezhfaznaya energiya na granice kontakta polimorfnyh faz shchelochnozemel'nyh metallov s sobstvennym rasplavom i s organicheskimi zhidkostyami / I.G. Shebzukhova, A.M. Apekov, L.P. Aref'eva // Fiziko-himicheskie aspekty izucheniya klasterov, nanostruktur i nanomaterialov. – 2009. – I. 1. – P. 129-133.
10. **Apekov, A.M.** Vliyanie polarizatsii metallicheskiy ionov perekhodnogo sloya na granice metall - nepolyarnaya organicheskaya zhidkost' na mezhfaznuyu energiyu / A.M. Apekov, I.G. Shebzukhova // Fiziko-himicheskie aspekty izucheniya klasterov, nanostruktur i nanomaterialov. – 2017. – I. 9. – P. 27-31.
11. **Gusev, Yu.A.** Osnovy dielektricheskoy spektroskopii: Uchebnoe posobie / Yu.A. Gusev. – Kazan: Kazanskij gosudarstvennyy universitet, 2008. – 112 p.
12. **Sozaev, V.A.** Vliyanie dielektricheskikh pokrytij na mezhfaznuyu energiyu tonkih plenok splavov sistemy *Al–Li* / V.A. Sozaev, R.A. Chernyshova // Pis'ma v zhurnal tekhnicheskoy fiziki. – 2005. – V. 31. – I. 10. – P. 1-4.
13. Svoystva elementov. Spravochnik / pod obshej red. M.E. Dritsa. – M.: Metallurgiya, 1985. – 672 p.

THE INTERFACIAL ENERGY OF METALIC THIN FILMS ON THE BOUNDARY WITH LIQUID POLAR DIELECTRIC

L.P. Aref'eva¹, I.G. Shebzukhova²

¹*Don State Technical University*

²*Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov*

DOI: 10.26456/pcascnn/2018.10.035

Abstract: Expressions have been obtained for estimating the interfacial energy of metallic thin films at the interface with an organic dielectric coating. The case of the boundary of the contact of cobalt films with polyatomic alcohols (diols) is considered. Comparison with the experimental data shows a good agreement between the theoretical model and real objects.

Keyword: *interface energy, polyatomic alcohols, thin films, polar organic dielectric.*

Арефьева Людмила Павловна – к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры «Физическое и прикладное материаловедение» ФБГОУ ВО «Донской государственный технический университет»

Шебзухова Ирина Гусейновна – д.ф.-м.н., доцент, профессор кафедры теоретической и экспериментальной физики ФБГОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»

Ludmila P. Aref'eva – Ph. D., Docent, Department of Physical and Applied Material Science, Don State Technical University

Irina G. Shebzukhova – Dr. Sc., Professor, Department of Theoretical and Experimental Physics, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov