

2.Индутный И.З., Костышин М.Т., Касярум О.П. и др. Фотостимулированные взаимодействия в структурах металл - полупроводник. [текст]/ И.З. Индутный, М.Т. Костышин, О.П. Касярум - Киев: Наукова думка, 1992. 240 с.

3.Пул Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. [текст]/ Ч. Пул, Ф. Оуэнс - М.: Техносфера, 2006. - 336 с.

4.Стриха В.И., Бузанева Е.В. // Физические основы надежности контактов металл-полупроводник в интегральной электронике. [текст]/ В.И. Стриха, Е.В. Бузанева - М.: Радио и связь, 1987. 254 с.

5.Кубашевский, О., Гопкинс, Б. Окисление металлов и сплавов [текст]/О. Кубашевский, Б. Гопкинс. - М.: «Металлургия», 1865. – 79 с., 307 с.

6.Томашов, Н.Д. Теория коррозии и защиты металлов - М.: «Изд. АН СССР», 1960. - 592 с.

7.Борисова Н.В., Суевой Э.П., Титов И.В. // Формирование систем «медь-оксид меди (1)» в процессе термической обработки пленок меди Ма

териаловедение. 2006. № 7. С. 16 -21.

8.Борисова Н.В., Суевой Э.П. Закономерности формирования наноразмерных систем «алюминий-оксид алюминия» в процессе термической обработки пленок алюминия // Коррозия: материалы, защита. 2007. № 6. С. 13 -18.

9.Surovoy E.P., Borisova N.V., Titov I.V. Investigation of Energy Action Influence on $WO_3(MoO_3)$ – Metall Systems // Известия вузов. Физика. 2006. № 10. Приложение. С. 338 -341.

10.Суевой Э.П., И.В. Титов, Бугерко Л.Н. Исследование состояния поверхности азидов свинца, серебра и таллия в процессе фотолиза методом КРП // Материаловедение. 2005. № 7. С. 15 - 20.

11.Барре П. Кинетика гетерогенных процессов. М.: Мир, 1976. 400 с.

12.Волькенштейн Ф.Ф. Физико - химия поверхности полупроводников. М.: Наука, 1972. 399 с.

УДК 620.22:621:539.3

ВЛИЯНИЕ ХРОМА НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОКСИДА ВОЛЬФРАМА (VI)

Т.М. Заиконникова, Т.Ю. Кожухова

Методами оптической спектроскопии, микроскопии, гравиметрии исследованы превращения в наноразмерных системах Cr-WO₃ в зависимости от толщины пленок Cr и WO₃, температуры и времени термообработки. Предложена модель термического превращения пленок WO₃ в системах Cr-WO₃, формирование в процессе приготовления пленки WO₃ центра $([V_a]^{++} e_j)$, преобразование его при создании систем Cr-WO₃ в центр $([e (V_a)^{++} e_j])$.

Ключевые слова: наноразмерные пленки, термопревращения, гетерогенные системы.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение закономерностей процессов в гетерогенных системах представляет для физики и химии твердого тела многосторонний интерес [1-4]. Постановка подобных исследований с гетерогенными наноразмерными системами, наряду с их технической актуальностью, может быть полезным инструментом для выяснения механизма процессов превращений в твердых телах [4]. Хром, оксид вольфрама (VI) и материалы на их основе благодаря комплексу положительных свойств широко применяются в различных областях науки, техники, промышленности и, как следствие, привлекают внимание исследователей различного профиля [1-4].

В настоящей работе приведены результаты исследований закономерностей и природы процессов, протекающих в условиях атмосферы в индивидуальных и двухслойных наноразмерных слоях оксида вольфрама (VI

и хрома различной толщины в зависимости от температуры и времени термообработки.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Образцы для исследований готовили методом термического испарения в вакууме ($2 \cdot 10^{-3}$ Па) путем нанесения тонких слоев Cr (10-185 нм) и WO₃ (2-60 нм) на подложки из стекла, используя вакуумный универсальный пост «ВУП-5М». Двухслойные системы Cr-WO₃ готовили путем последовательного нанесения слоев WO₃ на слой Cr (предварительно нанесенный на подложку из стекла). В качестве испарителя использовали лодочки, изготовленные из молибдена и тантала толщиной $d = 3 \cdot 10^{-4}$ м. Подложками служили стекла от фотопластинок, которые подвергали предварительной обработке в растворе дихромата калия в концентрированной серной кислоте, промывали в дистиллированной воде и сушили [5,11]. Обработанные подложки оптически прозрачны в диапазоне

300-1100 нм. Толщину пленок WO_3 и Cr определяли спектрофотометрическим, эллипсометрическим (лазерный эллипсометр «ЛЭФ-3М»), микроскопическим (интерференционный микроскоп «МИИ-4») и гравиметрическим (кварцевый резонатор) методами [5, 11]. Образцы подвергали термической обработке в сушильном шкафу «Тулячка ЗП» в интервале температур 573-873 К. При этом образцы помещали на разогретую до соответствующей температуры фарфоровую пластину и подвергали термической обработке в атмосферных условиях. Регистрацию эффектов до и после термической обработки исследуемых образцов осуществляли гравиметрическим, микроскопическим и спектрофотометрическим (в диапазоне длин волн 190-1100 нм, используя спектрофотометр «Shimadzu UV-1700») методами. Измерения фотоЭДС (U_{ϕ}) проводили на высоковакуумном экспериментальном комплексе, включающем электрометрический вольтметр В7-30 [13]. В качестве источников излучения применяли ртутную (ДРТ-250) и ксеноновую (ДКсШ-1000) лампы. Для выделения требуемого участка спектра использовали монохроматоры МДР-2 и SPM-2, светофильтры. Контактную разность потенциалов (КРП) между пленками хрома, оксида вольфрама (VI) и электродом сравнения из платины измеряли, используя модифицированный метод Кельвина [14].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате систематических исследований оптических свойств наноразмерных пленок WO_3 , Cr и двухслойных систем Cr- WO_3 проведенных в настоящей работе и ранее было установлено, что спектры поглощения образцов до термической обработки в значительной степени зависят от толщины каждого из слоев WO_3 и Cr. При этом на спектрах поглощения систем Cr- WO_3 проявляются полосы поглощения индивидуальных пленок WO_3 и Cr. На рис. 1 приведены представительные спектры поглощения систем Cr- WO_3 с различной толщиной подслоев до термической обработки.

По мере увеличения толщины пленок хрома, при постоянной толщине пленок WO_3 , наблюдается увеличение оптической плотности систем Cr- WO_3 в диапазоне $\lambda = 300-1100$ нм. При увеличении толщины пленок WO_3 , при постоянной толщине пленок хрома, оптическая плотность систем Cr- WO_3

также возрастает, однако, при этом в большей степени проявляется полоса поглощения в коротковолновой области спектра ($\lambda = 300-400$ нм).

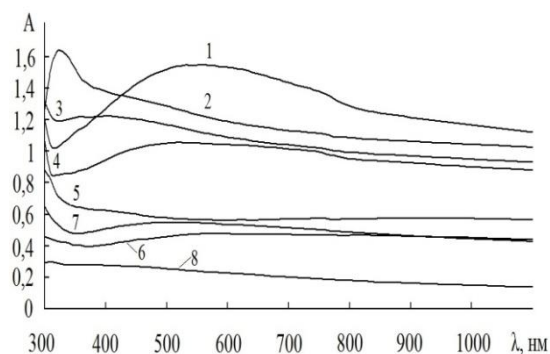


Рисунок 1 - Спектры поглощения систем Cr- WO_3 с различной толщиной подслоев: $d(Cr) = 185$ (1), 160 (2), 150 (3), 137 (4), 106 (5), 64 (6), 76 (7), 24 (8); $d(WO_3) = 19$ (1), 15 (2), 17 (3), 11 (4), 80 (5), 27 (6), 27 (7), 3 (8) нм

При анализе спектров зеркального отражения было установлено, что отражательная способность систем Cr- WO_3 также зависит от толщины пленок хрома и оксида вольфрама (VI). По мере увеличения толщины пленок хрома (при постоянной толщине пленок WO_3) наблюдается увеличение отражательной способности системы Cr- WO_3 во всем исследованном диапазоне длин волн ($\lambda = 190-1100$ нм).

Для выяснения возможного взаимодействия между пленками хрома и оксида вольфрама (VI) в процессе приготовления систем Cr- WO_3 были сопоставлены экспериментальные спектры поглощения систем с рассчитанными спектрами поглощения, полученными суммированием при каждой длине волны значений оптической плотности индивидуальных пленок WO_3 и Cr аналогичной толщины. Рассчитанные и экспериментальные спектры поглощения всех исследованных систем Cr- WO_3 не совпадают. На рис. 2 в качестве примера приведены экспериментальные спектры поглощения пленок WO_3 , Cr, системы Cr- WO_3 и рассчитанный спектр поглощения системы Cr- WO_3 . На экспериментальных кривых в коротковолновой области спектра в диапазоне $\lambda = 300-420$ нм с минимумом при $\lambda = 350$ нм наблюдается уменьшение оптической плотности.

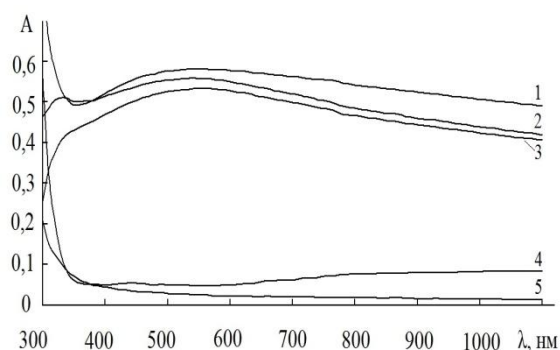


Рисунок 2 - Экспериментальные (1, 3, 5) и рассчитанные (2, 4) спектры поглощения: Cr-WO₃ (1, 2), Cr (3), WO₃ (4, 5); d(Cr) = 66 нм, d(WO₃) = 36 нм

При термической обработке пленок Cr (толщиной d=10-185 нм) в длинноволновой области спектра (λ=400–1100 нм) имеет место уменьшение, а в коротковолновой (λ = 300-400 нм) увеличение оптической плотности. В процессе термической обработки оптическая плотность предварительно активированных наноразмерных пленок WO₃ (толщиной d=2-60 нм) в коротковолновой области спектра (λ = 300-400 нм с максимумом λ = 350 нм) возрастает и, как следствие, наблюдается смещение края полосы собственного поглощения в длинноволновую область спектра, а в длинноволновой области спектра уменьшается. В результате термической обработки систем Cr-WO₃ (приготовленных из пленок хрома и оксида вольфрама (VI) разной толщины) в интервале температур T = 673-873 К в атмосферных условиях спектры поглощения и отражения образцов претерпевают существенные изменения. Причем, наблюдаемые изменения спектров поглощения и отражения, а также предельные значения оптической плотности после термической обработки образцов зависят от первоначальной толщины пленок Cr и WO₃, температуры и времени термообработки. По мере увеличения температуры, уменьшения толщины пленок оксида вольфрама (VI) и хрома при термообработке систем Cr-WO₃ в диапазоне T = 673-873 К наблюдается увеличение эффектов изменения оптической плотности и уменьшение времени достижения ее предельного значения.

Для выяснения характера влияния пленок хрома на термические превращения в пленках оксида вольфрама (VI) в процессе термической обработки систем Cr-WO₃ были

рассчитаны, построены и сопоставлены кинетические зависимости степени превращения α = f (τ) (где τ – время термической обработки) пленок WO₃ (разной толщины), нанесенных на стеклянные подложки и пленки хрома, при различных температурах термообработки. Для расчета значений оптической плотности пленок WO₃ из экспериментальных спектров поглощения систем Cr-WO₃ вычитали спектры поглощения индивидуальных пленок хрома до и в процессе термообработки их при разных температурах.

При построении кинетических кривых степени превращения воспользовались подходом предложенным в [5, 11, 15]. Спектры поглощения пленок WO₃ пересекаются в одной (изобестической) точке, в которой оптическая плотность не зависит от времени термической обработки. Слева и справа от изобестической точки поглощение (A_{обр}) зависит от времени термической обработки, а наблюдаемая оптическая плотность при определенном времени термической обработки будет складываться из поглощения, связанного с наличием центра T₁ (A_{Ц1}) и центра T₂ (A_{Ц2}):

$$A_{обр} = A_{Ц1} + A_{Ц2}$$

Учитывая, что падающая по нормали на поверхность какой-либо системы световая волна от источника излучения, претерпевает зеркальное отражение, рассеяние, поглощение и пропускание для расчета истинного вызванного поглощением света в веществе значения оптической плотности воспользовались уравнением:

$$A_{обр} = A + \lg(1 - R)$$

где A – измеряемое в реальных условиях на спектрофотометре полное значение оптической плотности, включающее несколько составляющих

$$A = A_{обр} + A_{отр} + A_{рас},$$

где A_{обр} – значение оптической плотности образца; A_{отр} – значение оптической плотности, обусловленное потерями на зеркальное отражение света поверхностью образца; A_{рас} – значение оптической плотности, обусловленное потерями на диффузное рассеяние света поверхностью образца.

Итоговое выражение для определения степени термического превращения центра T₁ в центр T₂:

$$\alpha = (A_{Ц1}^1 - A_{обр}) / (A_{Ц1}^1 - A_{Ц2}^1),$$

где A_{Ц2}¹, A_{Ц1}¹ – предельные оптические плотности при максимальной и минимальной концентрации центров T₁.

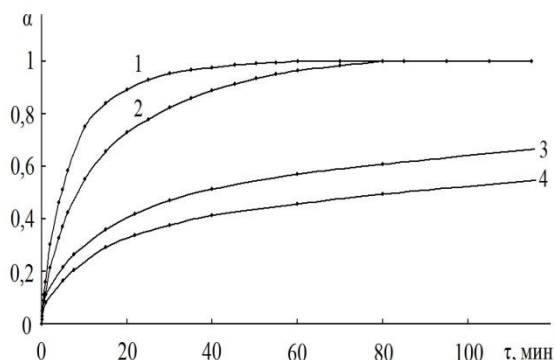


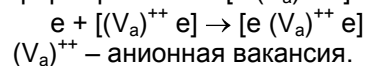
Рисунок 3. Степень превращения центра 1 наноразмерных пленок оксида вольфрама (VI) в системах Cr-WO₃ (1, 3) и в пленках WO₃ (2, 4) ($d(\text{Cr}) = 65$ нм, $d(\text{WO}_3) = 32$ нм) при разных температурах: 1,2 - 773 К, 3,4 - 673 К

Было установлено, что степень превращения центра T_1 пленок WO₃ в системах Cr-WO₃ зависит от первоначальной толщины пленок WO₃ и Cr, температуры и времени термической обработки. По мере увеличения времени термообработки степень превращения центра T_1 пленок WO₃ в системах Cr-WO₃ возрастает. Увеличение температуры термообработки (при постоянной толщине пленок WO₃ и Cr) приводит к возрастанию скорости термического превращения центра T_1 пленок WO₃ (рис. 3). При увеличении толщины пленок WO₃ в системах Cr-WO₃ при постоянной температуре термообработки степень превращения во всем исследованном интервале температур уменьшается. Видно (рис. 3), что скорость превращения центра T_1 пленок WO₃ в системах Cr-WO₃ больше, чем в индивидуальных пленках WO₃.

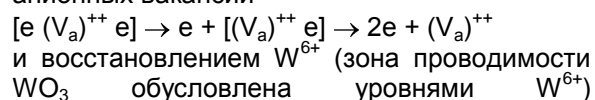
Полученные в настоящей работе и [5, 6, 11, 13, 14, 15] результаты исследований свидетельствуют: во-первых, о контактной природе эффектов изменения хромом скорости термического превращения пленок WO₃. Для выяснения причин, вызывающих наблюдаемые изменения металлом оптических свойств WO₃ в разных спектральных областях были измерены величина и знак $U_{\text{ф}}$ для систем Cr-WO₃, КРП между WO₃, Cr и электродом сравнения из платины в условиях атмосферы ($P = 1 \cdot 10^5$ Па) и высокого вакуума ($P = 1 \cdot 10^{-5}$ Па). Значения КРП между оксидом вольфрама (VI) и электродом сравнения из платины при понижении давления в измерительной ячейке возрастают. Наблюдаемое отличие в значениях работ выхода WO₃ и Cr свидетельствует о возможности при формировании плотного контакта и установлении в системе Cr-WO₃ состояния термодинамического равновесия

результатирующего потока электронов из хрома в оксид вольфрама (VI). В результате измерений $U_{\text{ф}}$ для систем Cr-WO₃ в диапазоне $\lambda = 300-1100$ нм было установлено, что в процессе облучения светом формируется $U_{\text{ф}}$ положительного потенциала со стороны слоя WO₃. Формирование $U_{\text{ф}}$ для гетеросистем Cr-WO₃ прямо свидетельствует о разделении неравновесных носителей заряда на границе раздела. Из анализа результатов измерений $U_{\text{ф}}$ и КРП было установлено, что при создании контакта оксида вольфрама (VI) с хромом в результате электронных переходов (со стороны WO₃) образуется обогащенный электронами антизапорный слой.

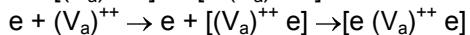
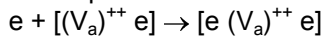
Полоса поглощения в диапазоне $\lambda = 300-400$ нм с максимумом при $\lambda=350$ нм (центр T_1) в области края собственного поглощения монокристаллов и пленок WO₃ связана со стехиометрическим недостатком кислорода и обусловлена вакансиями кислорода $[(V_a)^{++}]$ с одним захваченным электроном $[(V_a)^{++} e]$ (аналог F-центра) [8-11]. Этот центр, видимо, формируется в процессе приготовления пленок WO₃ различной толщины на стеклянных подложках. Глубина залегания $[(V_a)^{++} e]$ -центра составляет $E_F^1 = 3,54$ эВ. Наблюдаемые изменения на экспериментальных спектрах поглощения систем Cr-WO₃ по сравнению с рассчитанными, видимо, связаны с формированием перехода Cr-WO₃. Мы полагаем, что уменьшение оптической плотности в диапазоне $\lambda = 300-400$ нм с минимумом при $\lambda=350$ нм, а также увеличение оптической плотности в длинноволновой области в процессе приготовления гетеросистем Cr-WO₃ взаимосвязанные процессы. В процессе установления термодинамического равновесия из-за несоответствия работ выхода WO₃ и Cr электроны из хрома переходят в оксид вольфрама (VI) на уровни $[(V_a)^{++} e]$ - центра с формированием $[e (V_a)^{++} e]$ -центра



Оптическая энергия ионизации $[e (V_a)^{++} e]$ -центра составляет $E_{\text{опт}} \approx 1,45$ эВ, а термическая $E_{\text{терм}} \approx 1,2$ эВ (на 0,2 - 0,3 эВ меньше чем оптическая [33]). Мы полагаем, что в процессе термообработки систем Cr - WO₃ возможна ионизация центра T_2 , которая сопровождается переходом электронов в зону проводимости, образованием центров T_1 , анионных вакансий

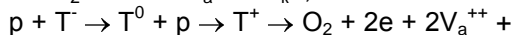
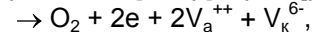
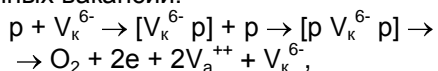


$e + W^{6+} \rightarrow e + W^{5+} \rightarrow e + W^{4+} \rightarrow \dots \rightarrow W^0 + V_k^{6-}$
 Анионные вакансии и центры T_1 будут взаимодействовать с электронами переходящими из хрома и из валентной зоны WO_3



и тем самым стимулировать увеличение скорости превращения центров T_2 пленки WO_3 в системе $Cr-WO_3$ по сравнению с превращением центра T_2 в пленке WO_3 на стеклянной подложке.

Дырки могут захватываться собственными (V_k^{6-}) и примесными (T) дефектами с выделением кислорода и освобождением анионных вакансий:



T

где V_k^{6-} и V_a^{++} – катионная и анионная вакансии.

Для того, чтобы обеспечить при термическом возбуждении электронной подсистемы твердого тела переход электрона с нижнего заполненного уровня на верхний незаполненный и обеспечить достаточную скорость этого процесса необходимо, чтобы средняя энергия фонона (кТ) соответствовала величине преодолеваемого энергетического барьера. Оценим возможность осуществления указанного процесса в реальных условиях эксперимента. Фононы не моноэнергетичны. Их распределение по энергиям подчиняется уравнению Больцмана [16]. Уравнение для скорости процесса термического возбуждения электрона с уровней $[e (V_a)^{++} e]$ -центра на уровне вблизи дна зоны проводимости WO_3 можно представить в следующем виде

$$W = \nu \cdot N \cdot \exp(-\Delta E / k_0 T),$$

где ν – частотный фактор (для фононов по порядку величины составляет 10^{13} - 10^{14}), N – концентрация $[e (V_a)^{++} e]$ -центров, ΔE – величина преодолеваемого барьера ($E = 1,2$ эВ), k_0 – постоянная Больцмана ($8,57 \cdot 10^{-5}$ эВ/Т), T – температура.

Методами дифференциальной сканирующей спектроскопии, дифференциального термического анализа, электронной микроскопии и рентгеновской дифракции установлено, что область нестехиометрии $WO_{3-\gamma}$, в которой сохраняется неизменная структура оксида вольфрама (VI), очень мала и соответствует значению $\gamma=0,02-0,32$ [5, 6, 7, 10]. Концентрация парамагнитных центров по данным ЭПР [7] составляет $\sim 10^{18}$ см⁻³. Если оценить концентрацию $[e (V_a)^{++} e]$ - центров

$N \approx 10^{16}-10^{18}$ см⁻³ (и считать, что все электроны достигнут предназначенного для них места и не примут участия в других процессах), то в идеальном случае скорость процесса термического возбуждения электрона с уровней $[e (V_a)^{++} e]$ - центра на уровне вблизи дна зоны проводимости WO_3 составит $W_1 \approx 1 \cdot 10^{19}$ см⁻³·с⁻¹. Отсюда следует, что при термическом возбуждении электронов с уровней $[e (V_a)^{++} e]$ - центра в зону проводимости в см³ WO_3 за одну секунду переходит $\approx 1 \cdot 10^{19}$ электронов. Скорость процесса термического возбуждения электронов с уровней $[e (V_a)^{++} e]$ - центра на уровне вблизи дна зоны проводимости достаточно велика, чтобы обеспечить дальнейшие превращения пленок WO_3 . Увеличение концентрации электронов со стороны WO_3 в состоянии термодинамического равновесия системы $Cr-WO_3$ во первых обеспечивает превращение центра T_1 в центр T_2 в пленке WO_3 и во вторых должно привести к увеличению скорости процесса термической ионизации $[e (V_a)^{++} e]$ - центра. Наблюдаемые закономерности изменения хромом оптических свойств WO_3 соответствуют изложенной модели процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суровой Э.П., Борисова Н.В. Термические превращения в наноразмерных слоях меди // Журн. физ. химии. 2010. Т. 84. № 2. С. 307–313.
2. Суровой Э.П., Бин С.В. Термические превращения в наноразмерных системах Pb - WO_3 // Журн. физ. химии. 2012. Т. 86. № 2. С. 337–343.
3. Индутьный И.З., Костышин М.Т., Касярум О.П. и др. Фотостимулированные взаимодействия в структурах металл - полупроводник. Киев: Наукова думка, 1992. 240 с.
4. Стриха В.И., Бузанева Е.В. Физические основы надежности контактов металл-полупроводник в интегральной электронике. М.: Радио и связь. 1987. 254 с.
5. Суровой Э.П., Борисова Н.В. Термические превращения в наноразмерных слоях меди // Журн. физ. химии. 2010. Т. 84. № 2. С. 307.
6. Суровой Э.П., Бугерко Л.Н., Расматова С.В. Кинетические закономерности влияния продуктов на фотолиз азид свинца // Журн. физ. химии. 2004. Т. 78. № 4. С. 663.
7. Третьяков Ю.Д. Химия нестехиометрических окислов. М.: Изд-во Московского ун-та, 1974. 364 с.
8. Гуревич Ю.Я. Твердые электролиты. М.: Наука, 1986. 176 с.
9. Фаунен Б.В., Крэнделл Р.С. // Дисплеи. М.: Мир, 1982. 316 с.

10. Клявинь Я.К., Лагздонс Ю.Л., Лусис А.Р. // Физика и химия стеклообразующих систем. 1976. № 4. С. 141.

11. Суровой Э.П., Бин С.В., Борисова Н.В. Фотостимулированные изменения в спектрах наноразмерных пленок WO_3 // Журн. физ. химии. 2010. Т. 84. № 8. С. 1539.

12. Суровой Э.П., Бин С.В., Борисова Н.В. Коррозия наноразмерных пленок свинца // Коррозия: материалы, защита. 2008. № 11. С. 4.

13. Суровой Э.П., Бугерко Л.Н., Захаров Ю.А. и др. Закономерности формирования твердофаз-

ного продукта фотолиза гетеросистем азид свинца -металл// Материаловедение. 2002. № 9. С. 27.

Суровой Э.П., И.В. Титов, Бугерко Л.Н. Исследование состояния поверхности азидов свинца, серебра и таллия в процессе фотолиза методом КРП // Материаловедение. 2005. № 7. С. 15 - 20.

Суровой Э.П., Бин С.В., Борисова Н.В. и др. Влияние предварительной активации на оптические свойства наноразмерных слоев WO_3 // Ползуновский вестник. 2010. № 3. С. 188.

14. Панков, Ж. Оптические процессы в полупроводниках. М.: Мир, 1973. 456 с.

УДК 620.22:621:539.3

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ СИСТЕМ Pb – PbO и Pb – WO_3

С.В. Бин, А.И. Мохов

Измерена контактная разность потенциалов до и после предварительного прогрева ($T = 550$ K) наноразмерных пленок свинца, оксидов свинца (II) и вольфрама (VI) при различных внешних условиях ($P = 1 \cdot 10^5, 1 \cdot 10^{-5}$ Па; $T = 293$ K). Проведены измерения фото-ЭДС систем Pb – PbO, Pb - WO_3 . Построены диаграммы энергетических зон систем Pb – PbO, Pb - WO_3 .

Ключевые слова: свинец, оксиды свинца (II) и вольфрама (VI), наноразмерные пленки, гетеросистемы.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение закономерностей процессов, протекающих в гетерогенных системах под действием различных энергетических факторов, представляют для физики и химии твердого тела многосторонний интерес [1-8]. Постановка подобных исследований с гетерогенными наноразмерными системами, наряду с их технической актуальностью [1–4, 9], может быть полезным инструментом для выяснения механизма процессов превращений в твердых телах [6-8]. Свинец, оксид вольфрама (VI) и материалы на их основе благодаря комплексу положительных свойств широко применяются в различных областях науки, техники, промышленности и, как следствие, привлекают внимание исследователей различного профиля [1-24]. Оксид вольфрама (VI) используют как исходный материал для получения вольфрама, его сплавов и других соединений. Устройства на основе оксида вольфрама (VI) могут быть рекомендованы к использованию в качестве электрохромных и фотохромных дисплеев, светоперераспределяющих фильтров или электрохромных зеркал [2, 7, 10, 11], сенсоров для контроля содержания газов в атмосфере [7]. Свинец в качестве конструкционного материала применяется в целях радиационной защиты, для изготовления обечаек и плакирующих покры-

тий химических аппаратов, защитных покрытий кабелей и электродов аккумуляторов [13, 18]. Однако свинец в атмосферных условиях термодинамически неустойчив [13]. Упругость диссоциации оксида свинца (II) при $T \geq 423$ K достаточно низка ($\sim 3,1 \cdot 10^{-36}$ кПа) и поэтому при контакте с окружающей средой свинец подвергается атмосферной коррозии [13]. Оксид свинца применяют в производстве стекол с высоким показателем преломления, а тонкие свинцовые слои, «просветленные» оксидом, могут применяться для изготовления теплоотражающих покрытий [14]. Создание контактов свинца со светочувствительными материалами приводит к изменению фоточувствительности последних [19].

В настоящей работе представлены результаты фотоэлектрических исследований наноразмерных систем Pb – PbO и Pb – WO_3 , направленных на выяснение природы границ раздела между контактирующими материалами и построение диаграмм энергетических зон исследуемых гетеросистем.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Образцы для исследований готовили методом термического испарения в вакууме ($2 \cdot 10^{-3}$ Па) путем нанесения тонких слоев Pb (5-135 нм) и WO_3 (7-160 нм) на подложки из стекла, используя вакуумный универсальный