

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

2. Стриха В.И., Бузанева Е.В. Физические основы надежности контактов металл-полупроводник в интегральной электронике. – М.: Радио и связь. 1987. – 254 с.
3. Индутный И.З., Костышин М.Т., Касярум О.П. и др. Фотостимулированные взаимодействия в структурах металл - полупроводник. – Киев: Наукова думка. 1992. – 240 с.
4. Елисеев А. А., Лукашин А. В. Функциональные наноматериалы. Под ред. Ю.Д. Третьякова. – М.: ФИЗМАТЛИТ. 2010. – 456 с.
5. Surovoy E.P., Borisova N.V., Titov I.V. Investigation of Energy Action Influence on WO₃ (MoO₃) – Metall Systems // Изв. вузов. Физика. 2006. № 10. Приложение. С. 338–340.
6. Surovoi E.P., Borisova N.V. Regularities of Photostimulated Conversions in Nanometer Aluminum Layers // Journ. of Phys. Chemistry, 2009. V. 83. № 13. P. 2302–2307.
7. Суrowой Э.П., Борисова Н.В. Термические превращения в наноразмерных слоях меди // Журн. физ. химии. 2010. Т. 84. № 2. С. 307–313.
8. Суrowой Э.П., Бин С.В. Термические превращения в наноразмерных системах Pb - WO₃ // Журн. физ. химии. 2012. Т. 86. № 2. С. 337–343.
9. Геворкян В.А., Арутюнян В.М., Гамбарян К.М. и др. InAsSbP/InAs гетероструктуры для термофотовольтаических преобразователей: получение и свойства // Письма в "Журнал технической физики". 2008. Т. 34. № 2. С. 55–62.
10. Суrowой Э.П., Еремеева Г.О. Закономерности формирования наноразмерных пленок системы индий – оксид индия (III) // Неорганические материалы. 2012. Т. 48. № 7. С. 819–824.
11. Федоров П.И., Акчурин Р.Х. Индий. – М.: 2000. – 276 с.
12. Лусис А.Р., Клявинь Я.К., Клеперис Я.Я. Электрохимические процессы в твердотельных электрохромных системах // Электрохимия. 1982. Т. 18. № 11. С. 1538–1541.
13. Гуревич Ю.Я. Твердые электролиты. М.: Наука. 1986. – 176 с.
14. Arnoldussen Thomas C. Electrochromism and photochromism in MoO₃ films // J. Electrochem. Sol.: Solid-State Science and Technology. 1976. V. 123. P. 527–531.
15. Андреев В.Н., Никитин С.Е. Исследование фотохромных кластерных систем на основе оксидов Мо методом ЭПР-спектроскопии // Физика тв. тела. 2001. Т. 43. № 4. С. 755–758.
16. Халманн М. Энергетические ресурсы сквозь призму фотохимии и фотокатализа. – М.: Мир. 1986. – 578 с.
17. Yao J.N., Yang Y.A., Loo B.H. Enhancement of Photochromism and Electrochromism in MoO₃/Au and MoO₃/Pt Thin Films // J. Phys. Chem. B. 1998. V. 102. P. 1856–1860.
18. Гончаров И.Б., Фиалко У.Ф. Ионный циклотронный резонанс в реакциях ионных кластеров оксида молибдена с аммиаком // Журн. физ. химии. 2002. Т. 76. № 9. С. 1610–1617.
19. Суrowой Э.П., Борисова Н.В. Термопревращение в наноразмерных слоях MoO₃ // Журн. физ. химии. 2008. Т. 82. № 11. С. 2120–2125.
20. Суrowой Э.П., Бугерко Л.Н. Термостимулированное газовыделение из систем азид серебра – металл // Химическая физика. 2002. Т. 21. № 7. С. 74–78.
21. Суrowой Э.П., Титов И.В., Бугерко Л.Н. Исследование состояния поверхности азидов свинца, серебра и таллия в процессе фотолиза методом КРП // Материаловедение. 2005. № 7. С. 15–20.
22. Эпштейн М.И. Измерения оптического излучения в электронике. – Л.: Энергоатомиздат. 1990. – 256 с.
23. Школьник А.Л. Оптические свойства MoO₃ // Известия АН СССР. Серия «Физика». 1967. Т. 31. № 12. С. 2030–2051.
24. Панков Ж. Оптические процессы в полупроводниках. – М.: Мир. 1973. – 456 с.
25. Порай - Кошиц М.А., Атовмян Л.О. Кристаллохимия и стереохимия координационных соединений молибдена. – М.: Наука. 1974. – 232 с.

УДК 620.22:621:539.3

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЕНКАХ МАРГАНЦА

Т.М. Заиконникова, Т.Ю. Кожухова

Установлено, что при термообработке пленок марганца толщиной 2 – 76 нм в интервале температур 473 – 673 К в атмосферных условиях формируется оксид марганца (II). В зависимости от первоначальной толщины пленок марганца и температуры термообработки кинетические кривые степени превращения удовлетворительно описываются в рамках линейного, обратного логарифмического, кубического и логарифмического законов.

Ключевые слова: наноразмерные слои, термообработка, оптические свойства

ВВЕДЕНИЕ

Создание эффективных средств защиты от коррозии является важнейшей проблемой. Марганец, благодаря комплексу положительных свойств, нашел широкое применение в различных областях науки, техники и промышленности.

Постановка данных исследований с гетерогенными наноразмерными системами, наряду с их технической актуальностью [2, 3, 4], может быть полезным инструментом для выяснения механизма процессов превращений в твердых телах [5].

В работе представлены результаты исследований, направленные на выяснение природы и закономерностей процессов, протекающих в наноразмерных слоях Mn различной толщины до и после термообработки ($T = 473\text{--}673\text{ K}$).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Образцы для исследований готовили методом термического испарения в вакууме ($2 \cdot 10^{-3}$ Па) путем нанесения тонких (2 – 76 нм) пленок марганца на подложки из стекла, используя вакуумный универсальный пост «ВУП-5М». Подложками служили стекла от фотопластинок, которые подвергали предварительной обработке в концентрированной азотной кислоте, в растворе дихромата калия в концентрированной серной кислоте, в кипящей мыльной воде, промывали в дистиллированной воде и сушили. Обработанные подложки оптически прозрачны в диапазоне 300 – 1100 нм. Толщину марганцевых пленок определяли спектрофотометрическим (спектрофотометр «Shimadzu UV-1700»), микроскопическим (интерференционный микроскоп «МИИ-4») и гравиметрическим (кварцевый резонатор) методами. Гравиметрический метод кварцевого микровзвешивания основан на определении приращения массы (Δm) на единицу поверхности кварцевого резонатора (толщиной $h = 0,1$ мм) после нанесения на нее пленки марганца. Разрешающая способность при термостабилизации резонаторов на уровне $\pm 0,1$ К составляет $\Delta m = 1 \cdot 10^{-8}$ – $1 \cdot 10^{-9}$ г/см². Образцы помещали на разогретую до соответствующей температуры (473 – 673 К) фарфоровую пластину и подвергали термической обработке в сушильном шкафу «Тулячка ЗП». Регистрацию эффектов до и после термической обработки образцов осуществляли спектрофотометрическим методом (спектрофотометр «Shimadzu UV-1700»). Измерения фото-ЭДС (U_{ϕ}) проводили в вакууме ($1 \cdot 10^{-5}$ Па) на установке, включающей

электрометрический вольтметр В7-30 либо электрометр TR-1501. Источниками света служили ртутная (ДРТ-250) и ксеноновая (ДКсШ-1000) лампы. Для выделения требуемого участка спектра применяли монохроматор МСД-1 и набор светофильтров. Актинометрию источников света проводили с помощью радиационного термоэлемента РТ-0589. Контактную разность потенциалов (КРП) между образцами марганца, оксида марганца (II) и электродом сравнения из платины измеряли в интервале давлений ($P = 1,3 \cdot 10^5$ – $1 \cdot 10^{-5}$ Па), используя модифицированный метод Кельвина [10].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате исследований оптических свойств пленок марганца, нанесенных на стеклянные подложки, до, в процессе и после термической обработки в атмосферных условиях было установлено, что спектры поглощения и отражения пленок марганца до термообработки существенно зависят от их толщины. На рис. 1 (в качестве примера) представлены спектры поглощения пленок марганца разной толщины в диапазоне толщин $d = 4$ - 43 нм.

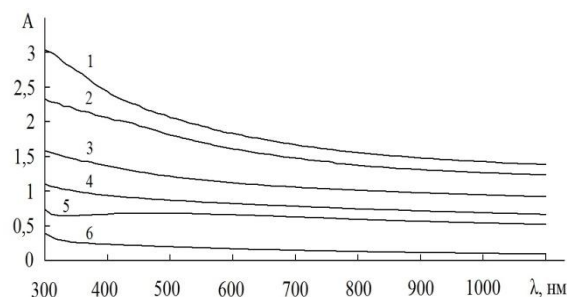


Рисунок 1 - Спектры поглощения пленок марганца толщиной: 43 (1); 37 (2); 28(3); 20 (4); 16 (5); 4 (6) нм

По мере увеличения толщины слоев Mn наблюдается увеличение оптической плотности в исследованном интервале длин волн. В результате термической обработки ($T = 473\text{--}673\text{ K}$) слоев Mn разной толщины спектры поглощения и отражения образцов претерпевают существенные изменения.

При анализе спектров зеркального отражения было установлено, что отражательная способность пленок Mn зависит от толщины пленок. По мере увеличения толщины пленок Mn отражательная способность во всем спектральном диапазоне ($\lambda = 190$ -1100 нм) возрастает.

На рис. 2 приведены спектры поглощения пленок марганца толщиной $d=27$ нм до и после термической обработки при $T=573$ К.

Видно, что термическая обработка приводит к существенным изменениям вида спектров поглощения образцов. Отметим, что наблюдаемые изменения не аддитивны в рассматриваемом спектральном диапазоне длин волн. Наряду с уменьшением в исследуемом диапазоне длин волн ($\lambda = 300\text{--}1100$ нм) оптической плотности образца формируется спектр поглощения нового вещества.

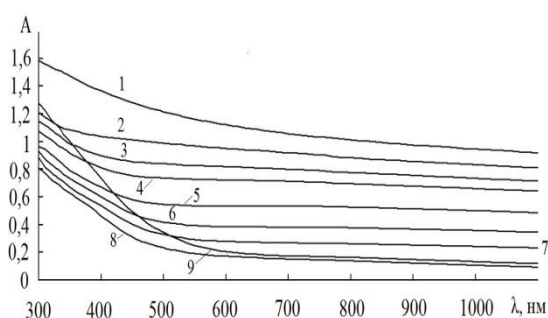


Рисунок 2 - Спектры поглощения пленки Mn ($d=27$ нм) до и после термообработки K: 0 (1), 0,5 (2), 1 (3), 2 (4), 3 (5), 5 (6), 9 (7), 15 (8), 30 (9) мин при $T=573$ K

Оцененная по длинноволновому порогу поглощения, который находится при длине волны $\lambda = 480$ нм, оптическая ширина запрещенной зоны образующегося вещества составляет $E = 2,57$ эВ.

Полученное значение ширины запрещенной зоны вещества удовлетворительно совпадает с шириной запрещенной зоны оксида марганца (II). Поэтому, было сделано предположение, что при термической обработке пленок марганца основным продуктом взаимодействия их с кислородом окружающей среды является оксид марганца (II).

Было установлено, что при увеличении температуры термообработки эффект уменьшения оптической плотности образцов усиливается. Предельные значения изменений оптической плотности при увеличении толщины пленок Mn возрастают.

По мере увеличения толщины пленок марганца при постоянной температуре термической обработки наблюдается последовательное уменьшение эффектов изменения оптической плотности образцов и увеличение времени достижения ее предельного значе-

ния во всем исследованном спектральном диапазоне.

Для выяснения закономерностей процесса окисления наноразмерных слоев марганца (используя результаты измерений спектров поглощения и отражения образцов разной толщины до и после термообработки) были рассчитаны и построены кинетические зависимости степени превращения марганца в оксид марганца (II) $\alpha=f(\tau)$ при различных длинах волн. На основании анализа полученных в настоящей работе спектров поглощения и отражения систем «Mn–MnO» для построения кинетических кривых $\alpha=f(\tau)$ был выбран диапазон длин волн $\lambda=700\text{--}1100$ нм, в котором исходные образцы (пленки марганца) имеют значительное поглощение, а оксид марганца не поглощает свет.

Оптическая плотность ($A_{\text{обр}}$) пленки марганца зависит от времени термической обработки, а при определенном времени термической обработки будет складываться из оптической плотности, связанной с наличием слоя марганца (A_{Mn}) и оксида марганца (II) (A_{MnO}):

$$A_{\text{обр}} = A_{\text{Mn}} + A_{\text{MnO}}$$

Если обозначить через α степень термического превращения пленок марганца в оксид марганца (II), то при длине волны (например, $\lambda = 800$ нм), соответствующей спектральной области, в пределах которой марганец поглощает, а оксид марганца (II) практически не поглощает свет, текущие оптические плотности пленок марганца (A_{Mn}) и оксида марганца (II) (A_{MnO}) можно представить в следующем виде:

$$A_{\text{Mn}} = A_{\text{Mn}}^1 \cdot (1 - \alpha), \quad A_{\text{MnO}} = A_{\text{MnO}}^1 \cdot \alpha,$$

где A_{Mn}^1 , A_{MnO}^1 – предельные значения оптической плотности слоев марганца и оксида марганца (II) при $\lambda = 800$ нм.

В итоге получаем следующее выражение для степени термического превращения пленки марганца в оксид марганца (II):

$$A_{\text{обр}} = A_{\text{Mn}}^1 \cdot (1 - \alpha) + A_{\text{MnO}}^1 \cdot \alpha,$$

$$\alpha = (A_{\text{Mn}}^1 - A_{\text{обр}}) / (A_{\text{Mn}}^1 - A_{\text{MnO}}^1).$$

Известно, что падающая по нормали на поверхность какой-либо системы световая волна от источника излучения, претерпевает зеркальное отражение, рассеяние, поглощение и пропускание. При прохождении через границы нескольких сред (воздух – оксид марганца – марганец – стекло – воздух) с различными коэффициентами преломления (n), что имеет место в рассматриваемом случае, суммарная зеркально отраженная световая волна (R) будет складываться из нескольких составляющих:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4,$$

где R_1 – зеркально отраженная световая волна от границы воздух – оксид марганца; R_2 – зеркально отраженная световая волна от границы оксид марганца – марганец; R_3 – зеркально отраженная световая волна от границы марганец – стекло; R_4 – зеркально отраженная световая волна от границы стекло – воздух.

Таким образом, измеряемое в реальных условиях на спектрофотометре полное значение оптической плотности включает (как минимум) несколько составляющих:

$$A = A_{\text{обр}} + A_{\text{отр}} + A_{\text{рас}},$$

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

Было установлено, что диффузное рассеяние поверхностью пленок марганца пренебрежимо мало по сравнению с зеркальным отражением и, как следствие, $A_{\text{рас}}$ можно считать ≈ 0 . Тогда:

$$A = A_{\text{обр}} + A_{\text{отр}},$$

$$A = \lg I_{\text{пад}} / I_{\text{прош}} = \lg I_{\text{пад}} - \lg I_{\text{прош}},$$

$$\lg I_{\text{прош}} = \lg I_{\text{пад}} - A.$$

Коэффициент зеркального отражения:

$$R = I_{\text{отр}} / I_{\text{пад}}; I_{\text{отр}} = R \cdot I_{\text{пад}},$$

$$A_{\text{образца}} = \lg I_{\text{вход}} / I_{\text{прош}} = \lg I_{\text{вход}} - \lg I_{\text{прош}},$$

где $I_{\text{пад}}$, $I_{\text{прош}}$, $I_{\text{отр}}$, $I_{\text{вход}}$ – интенсивность падающего, прошедшего, отраженного и входящего в образец света.

$$I_{\text{вход}} = I_{\text{пад}} - I_{\text{отр}} = I_{\text{пад}} (1 - R).$$

$$I_{\text{пад}} = I_{\text{вход}} + I_{\text{отр}},$$

После преобразований окончательная формула для расчета истинного (вызванного поглощением света в веществе) значения оптической плотности:

$$A_{\text{обр}} = A + \lg(1 - R).$$

В результате обработки спектров поглощения было установлено, что степень термического превращения пленок марганца зависит от первоначальной толщины, температуры и времени термической обработки.

На рис. 3 в качестве примера приведены кинетические кривые степени превращения некоторых пленок Mn при $T=573$ K в зависимости от первоначальной толщины образцов. Прежде всего, было отмечено, что степень превращения образцов по мере уменьшения толщины пленок и увеличения времени термообработки возрастает.

Кинетическую кривую степени термического превращения пленок марганца условно

можно разбить на несколько участков: линейный ($\alpha = Kt + A$), обратный логарифмический ($K / \alpha = B - \lg t$), кубический ($L^3 = Kt + B$), логарифмический ($\alpha = K \lg(Bt + 1)$), где K – константа скорости формирования оксида марганца (II), A и B – постоянные интегрирования, t – время взаимодействия. Наличие соответствующих участков, а также их продолжительность определяется толщиной пленок марганца и температурой термообработки.

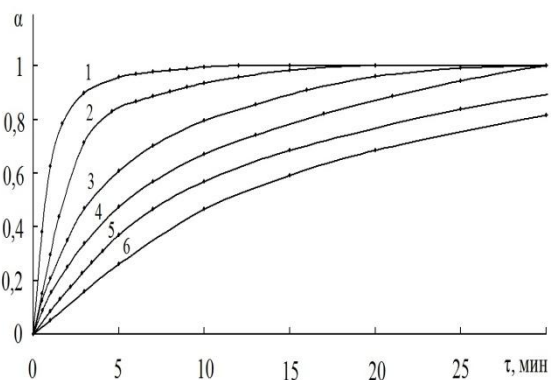


Рисунок 3 - Зависимость степени превращения Mn от толщины пленок при термообработке при температуре $T = 573$ K: 2 (1), 16 (2), 28 (3), 37 (4), 43 (5), 76 (6) нм

Для выяснения причин, вызывающих наблюдаемые изменения спектров поглощения и отражения, а также кинетических кривых степени превращения пленок марганца в процессе термообработки были измерены U_{Φ} систем Mn – MnO и КРП для пленок Mn, MnO. Из анализа результатов измерений КРП было установлено, что в области контакта Mn – MnO (из-за несоответствия между работами выхода из контактирующих партнеров) возникает запирающий электрический слой. Напряженность электрического поля на границе контакта Mn – MnO составляет $\sim 10^6$ В/см. На рис. 4 приведена диаграмма энергетических зон контакта Mn – MnO, при построении которой использованы результаты измерений КРП, U_{Φ} , спектров поглощения и отражения пленок MnO и Mn. Знак U_{Φ} (рис. 4, переходы 1, 2) положительный со стороны оксида марганца (II). Генерация U_{Φ} прямо свидетельствует о формировании в процессе термообработки пленок марганца гетеросистем Mn – MnO, переходы носителей заряда на границе раздела которых обеспечивают наблюдаемые изменения спектров поглощения и отражения, а также кинетических кривых степени превращения (рис. 2, 3).

Мы предполагаем, что при химической адсорбции O₂ свободный электрон решетки оксида марганца (II) (по мере приближения молекулы кислорода к поверхности MnO) все в большей степени локализуется около той точки на поверхности (S), к которой приближается молекула кислорода.

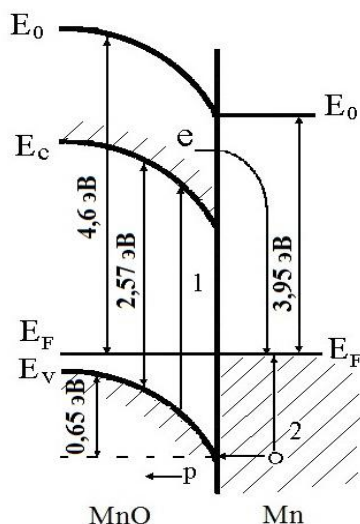
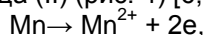


Рисунок 4 - Диаграмма энергетических зон гетеросистемы Mn – MnO. E_V – уровень потолка валентной зоны, E_C – уровень дна зоны проводимости, E_F – уровень Ферми, E₀ – уровень вакуума

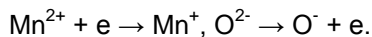
При этом между атомами кислорода и поверхностью MnO возникают связи, обеспечиваемые локализуемыми электронами (e S e) и упрочняющиеся по мере приближения молекулы кислорода. Связь между атомами кислорода постепенно ослабевает. В итоге атомы кислорода оказываются связанными прочными связями с поверхностью MnO

$$O + e S e = S O^{2-}.$$

Необходимые для ионизации хемосорбированных атомов кислорода электроны могут туннелировать из металла через *gg* оксида марганца (II) (рис. 4) [6, 10, 11]



и образовываться в результате дополнительного окисления части ионов марганца (Mn²⁺) оксида марганца (II) с образованием дырок (O[•])



Сформированный в процессе получения и термической обработки пленок марганца слой оксида марганца (II) будет препятствовать перемещению катионных вакансий от поверхности MnO к границе контакта Mn – MnO и, таким образом, тормозить взаимодей-

ствии марганца с кислородом. Одним из условий [6, 11], характеризующих способность оксида марганца (II) тормозить процесс взаимодействия, является сплошность оксидной пленки. Согласно критерию Пиллинга и Бедвортса, который для марганца составляет 2,34, следует ожидать образования сплошной оксидной пленки. Из-за достаточно высокой подвижности электронов и низкой скорости движения катионных вакансий в системе Mn – MnO возникает потенциал. Этот потенциал создает электрическое поле в слое MnO, которое стимулирует движение катионов марганца к поверхности MnO. При этом, согласно [6, 11] для оксидов, у которых основными носителями заряда являются дырки, может быть реализован кубический и логарифмический законы роста тонких пленок (оксид марганца (II) – полупроводник *p*-типа).

В том случае, когда толщина пленки MnO менее 5 нм электрическое поле на контакте Mn – MnO (напряженность электрического поля составляет ~ 10⁶ В/см) способно вырывать ионы из металла и перемещать их через слой оксида [6, 11]. При этом скорость роста пленки определяется скоростью вырывания ионов из металла, а экспериментальные данные удовлетворительно описываются в рамках обратного логарифмического закона. По мере увеличения толщины скорость роста слоя оксида марганца (II) будет определяться скоростью диффузии катионных вакансий от поверхности MnO через оксидную пленку к границе контакта Mn – MnO (лимитирующей стадией процесса является диффузия катионных вакансий), а экспериментальные данные удовлетворительно описываются в рамках кубического и логарифмического законов. Скорость диффузии катионных вакансий, в свою очередь, будет пропорциональна напряженности электрического поля. Ионы кислорода (O²⁻) в приповерхностной области оксида марганца (II) создают новые узлы. Вследствие этого в приповерхностной области MnO появляется недостаток занятых катионами узлов кристаллической решетки, т. е. формируются катионные вакансии (V_к³⁻), наличие которых облегчает перемещение катионов Mn²⁺ от металла к внешней поверхности формируемой системы Mn – MnO.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов И.А., Черкасов Ю.А., Черкашин М.И. Сенсibilизированный фотоэффект. [текст]/ И.А. Акимов, Ю.А. Черкасов, М.И. Черкашин. - М.: Наука, 1980. 384 с.

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 $([e(V_a)^{++} e])$, преобразование его при создании систем Cr-WO₃ в центр $([e(V_a)^{++} e])$.

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