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 544.164.164.032.52

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХРОМНЫХ УСТРОЙСТВ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Б.М. Хуболов¹, В.П. Подлинов², А.М. Багов¹

¹ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет
им. Х.М. Бербекова»

360004, КБР, Нальчик, ул. Чернышевского, 173

²ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

355029, Ставрополь, ул. Кулакова, 2

boris_khubolov@rambler.ru, boris_khubolov@mail.ru

DOI: 10.26456/pcascnn/2018.10.646

Аннотация: Обзорно рассмотрены методы получения и исследования электрохромно чувствительных тонких пленок оксидных вольфрамовых бронз. Изложены исследования, позволяющие делать выводы о конкретных моделях физического процесса. Сформулированы наиболее актуальные вопросы дальнейших исследований сложных оксидов переходных металлов для получения прикладных результатов, могущих лечь в основу технологии электрохромных устройств.

Ключевые слова: электрохромизм, оксидная калий-вольфрамовая бронза, тонкие пленки, спектральные характеристики, монокристаллы, электровакуумное напыление, технологические параметры напыления.

1. Введение

Анализ научной и патентной литературы за длительный период исследования электрохромизма в различных материалах указывает на то, что, с одной стороны, физическая модель этого явления, способная привести к технологическому прорыву в создании конкурентно-способных коммерческих электрохромных устройств (ЭХУ), далека от завершения, а, с другой стороны, ряд заманчивых преимуществ таких устройств не снижает актуальность и практическую ценность исследовательских и технологических работ по этой тематике. Наши исследования электрохромных оксидных вольфрамовых бронз (ОВБ), а также тонких пленок на основе других оксидов, находящих применение в различных оптоэлектронных устройствах, позволили нам предложить несколько отличное от общепринятого видение проблемы создания высокоэффективного ЭХУ, а в дальнейшем и вовсе рассматривать эту проблему как часть более общей модели оптоэлектронных явлений в многослойных тонкопленочных аморфных структурах на основе оксидных систем. В

2. Анализ экспериментальных фактов и их обсуждение

В основе электрохромного эффекта лежит физическое явление, заключающееся в изменении спектра пропускания тонкой плёнки оксидов металла при приложении электрического напряжения [1-3]. Не следует, конечно, исключать и полевого эффекта, так как ЭХУ имеют, как правило,

тонкоплёночные электрохромные материалы (ЭХМ) и при приложении рабочего напряжения в единицы вольт, характерного для ЭХУ, электрические поля достигают величины $10^4 - 10^6$ В/см. Действие таких полей приводит к инжекции носителей или к их перераспределению в тонкоплёночном ЭХУ. Само ЭХУ представляет собой многослойную планарную структуру – гетероструктуру, поэтому при инжекции носителей заряда или при наложении поля в такой структуре происходят сложные нестационарные процессы перераспределения заряда по объёмным и поверхностным состояниям. Без глубокого исследования этих процессов невозможно создать эффективно работающие ЭХУ. Работ такого плана в научной литературе по электрохромному эффекту практически нет.

Исследования механизмов проводимости в электрохромных гетероструктурах, вольтамперных характеристик (ВАХ), кинетики окрашивания, спектральных характеристик позволяют детализировать физический механизм оптоэлектронного процесса – коим является электрохромный эффект. Следует отметить, что признанные модели электрохромного окрашивания носят, как правило, качественный характер в рамках электрохимического описания процессов, практически не рассматривая электронную систему электрохромного материала.

Проследить связь между четко контролируемыми в процессе получения тонких плёнок, а тем более многослойных структур тонких пленок или определяемыми после их получения свойствами, и теми их оптоэлектронными свойствами, которые определяют применение этих тонких пленок в реальных устройствах, в большинстве случаев однозначно не удаётся. Поэтому выводы авторов исследований электрохромизма в тонких пленках оксидов, нередко противоречащие друг другу, не позволили прийти к единой физической модели этого явления.

Разработанная нами технология получения тонких пленок ОБВ выгодно отличается от ранее известных методик, позволяет избежать изменений химического состава пленок по их толщине из-за ее специфичности. В качестве исходного материала использовались кристаллические бронзы, полученные электрохимически. Пленки бронз мы наносим на диски из оптического стекла или кварца с прозрачным проводящим слоем ИТО (ИТО – indium tin oxide / оксид индия олова), имеющим удельное сопротивление $10 \div 20$ Ом/см². Поверх слоя ИТО нанесена очень тонкая плёнка диэлектрика, выполняющая роль ионного затвора для предотвращения разряда внедряемых катионов на слое ИТО. Все эти слои нанесены нами методом реактивного магнетронного распыления металлических мишеней в атмосфере газовой смеси из аргона и кислорода. Для напыления, т.е. нанесения электрохромного слоя, мы использовали бронзы следующих составов: $Na_{0,3}WO_3$, $K_{0,3}WO_3$, $Tl_{0,3}WO_3$,

$Cs_{0,3}WO_3$. Бронзы составов с высоким содержанием щелочного металла (стехиометрический индекс $x > 0,3$) оптически плотны (непрозрачны) и поэтому непригодны для ЭХУ, работающего на просвет. Нами получены аморфные, поликристаллические и текстурированные плёнки. Атомно-адсорбционным методом, электронографией, рентгенофазовым анализом определены их состав и структура, идентичные исходным материалам. Электронной микроскопией, дифференциально-термическим анализом больших количеств вакуумного конденсата, измерением температурной зависимости электропроводности полученных пленок определены особенности их кристаллизации, которые заключаются в большом влиянии размерных эффектов, времени термообработки, состава атмосферы в вакуумной камере на температуру фазовых переходов, величину удельной электропроводности и размер кристаллов в плёнках. С

Спектральные измерения пленок [4], осажденных на подложки в диапазоне температур $100 \div 300^\circ\text{C}$ показали однотипность спектральных характеристик с пиком экситонного поглощения в ближнем ультрафиолете. Полоса минимального поглощения лежит в диапазоне длин волн $420 \div 480$ нм, а примесного поглощения с широкой полосой в области $650 \div 1200$ нм с максимумом в диапазоне $1000 \div 1100$ нм. У пленок, осажденных при 200°C и 300°C , интенсивность пика примесного поглощения выше, чем у пленок с температурой 100°C , что указывает на зависимость условий формирования тонких пленок от температуры подложки. Поскольку любой электрохромный процесс представляет собой электрохимическую систему с целым набором гетеропереходов, необходимо изучить те из них, которые лимитируют протекающие электродные реакции. Таким гетеропереходом является межфазная граница между оксидной бронзой и электролитом.

Электродные процессы в монокристаллах и пленках вольфрамовых бронз следующих составов и структур $Na_{0,9}WO_3$, $Na_{0,6}WO_3$, $Na_{0,3}WO_3$, $K_{0,3}WO_3$, $K_{0,54}WO_3$, $Cs_{0,3}WO_3$, $Tl_{0,3}WO_3$, $Li_{0,3}WO_3$ мы изучали классическими методами электрохимической кинетики. В качестве электролита использовали растворы серной и ортофосфорной кислот различных концентраций.

Электрохимические исследования вольфрамовых бронз мы проводили параллельно с измерениями оптической плотности. Это дало нам возможность оценить такой важный параметр, как электрохромную эффективность (отношение наведенной оптической плотности к величине инжектированного заряда) [5]. Для плёнок вольфрамовых бронз эта величина оказалась очень высокой и составила $300 \div 500 \text{ см}^2 \cdot \text{Кл}^{-1}$ (для пленок WO_3 , по литературным данным [6], она составляет $70 \div 90 \text{ см}^2 \cdot \text{Кл}^{-1}$).

Это было подтверждением правильности высказанного нами предположения о перспективности бронз для электрохромных устройств.

Метод эстанса [7] позволяет наложением малого переменного напряжения на линейно меняющийся потенциал электрода с одновременным фиксированием скорости изменения поверхностного натяжения с потенциалом $\delta\gamma/\delta\varphi$ обнаруживать изменения в составе фаз, оказывающие влияние на свободную энергию твердой поверхности. Для свежеприготовленных монокристаллов бронз зависимость $\delta\gamma/\delta\varphi - \varphi$ имеет W -образную форму с двумя минимумами, в которых эстанс обращается в нуль. После анодирования монокристалла и образования в нём обеденного натрием слоя на глубину нескольких десятков нанометров возникает электрохромный эффект. При этом на кривых эстанса исчезает катодная ветвь, что говорит о том, что электрохромный эффект реализуется в сформированном, вследствие ухода щелочного металла и обогащения водородом, слое оксидной бронзы. Для плёнок бронз эстанс - кривые имеют такой же вид, как и для анодированных монокристаллов. Окрашивание всегда происходит при потенциалах, меньших потенциала нулевого заряда, то есть электрохромный эффект связан с перезаряджением поверхности. Формирование отрицательного заряда поверхности за счет подвижных электронов сопровождается, очевидно, восстановлением ионов вольфрама до низших валентных состояний (W^{+4}, W^{+5}). Это предположение нашло подтверждение исследованиями бронзы с различными значениями коэффициента нестехиометрии x методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии [8] непосредственно после синтеза монокристаллов и их последующей окраски, а также тонких плёнок бронз. Окрашивание бронз проводили в кислотных растворах. Обнаружено, что валентное состояние вольфрама связано как с составом, так и с режимом электрохимической обработки бронзы, и в зависимости от условий может принимать валентность $+4, +5, +6$. При окрашивании в спектрах доминируют линии W^{+4} , а при обесцвечивании W^{+6} . В соответствии с этим мы считаем, что окрашивание бронз происходит в результате реакции диспропорционирования двух близлежащих друг к другу метастабильных ионов W^{+5} , образующихся по следующему возможному пути: $H_{ads} + W^{+6} \leftrightarrow H^+ + W^{+5}$.

Ионы W^{+5} взаимодействуют с адсорбированным атомом водорода, который является переносчиком положительного заряда от одного иона W^{+5} к другому: $H_{ads} + 2W^{+5} \leftrightarrow W^{+6} + W^{+4} + H_{ads}$.

Модель окрашивания электрохромного слоя с участием четырехвалентного вольфрама отражает обратимость электродных реакций, связанных как с транспортными процессами, так и с

активационным процессом диспропорционирования ионов W^{+5} . Однако мы рассматриваем и альтернативные модели электрохромного окрашивания. В работе [9] исследована динамика электроокрашивания аморфных тонких пленок триоксида вольфрама. Обнаружены несколько видов неоднородностей в рампределии центров окраски. Для объяснения этих явлений предложена модель. В основе модели лежит предположение о том, что возникают циркуляции электрического тока, магнитное поле от которых стабилизирует эти неоднородности.

Как говорилось выше, подавляющее большинство разработок электрохромных приборов выполняется на основе плёнок триоксида вольфрама, окрашивающихся, также как и вольфрамовые бронзы, в синий цвет. Однако для ряда практических применений (например, окна жилых домов) такой цвет неудобен. Поэтому для некоторых электрохромных устройств в качестве электрохромного материала мы использовали тонкие плёнки высшего оксида ниобия и иридия, которые окрашиваются в нейтральный темно-серый цвет. В общем виде разработанные нами приборы построены по следующим схемам:

- стекло/ITO/диэлектрик / $Na_{0.3}WO_3$ / PEO / полианилин / ITO / стекло,

- стекло/ITO/диэлектрик / Nb_2O_5 / PEO / NiO / ITO / мтекло.

Здесь PEO – polyethylene oxide / полиэтилена оксид.

В анодных системах использованы противоэлектроды из анодных электрохромных материалов, имеющих с катодными сходные спектральные характеристики. Полианилин осаждали на ITO электрохимически из водного раствора анилина, а оксид никеля получали реактивным распылением в вакууме. В качестве ионного проводника применяли модифицированный оксид полиэтилена с высокой проводимостью по ионам водорода.

Основные выводы нашей работы с учетом [10]:

1. Разработана методика получения тонких пленок оксидных вольфрамовых бронз с высокой величиной электрохромной эффективности, непосредственно из исходного материала (из самой бронзы). Другие исследователи получали пленки бронз из оксидно-карбонатных смесей. В этом случае объем испаряемого материала будет обедняться какими-то одними компонентами и обогащаться другими, что приводит к изменению состава пленки. Наша методика не имеет аналогов в мировой практике.

2. Показано, что электрохимическая стадия окрашивания ОБВ связана с ионом водорода. Процесс протекает в твердой фазе и имеет обратимый характер.

3. Электрохромный эффект связан с перезарядом поверхности и наблюдается в окрестности потенциала нулевого заряда (zero charge) при $\varphi < \varphi_{z.c.}$.

4. Предложена модель, описывающая электрохромный эффект ОВБ. На ее основе с учетом экспериментальных данных произведены расчеты коэффициентов диффузии ионов водорода в монокристаллах и тонких пленках, константы внедрения катионов и т.д. Методами рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, импеданса, эстанса показан механизм перераспределения зарядового состояния вольфрама.

5. Разработана лабораторная технология и изготовлены макетные образцы электрохромных устройств. Произведена оценка их параметров.

Несмотря на имеющийся большой научный задел, работа требует своего продолжения. По нашему мнению, для достижения основной цели работы – разработки и освоения технологии изготовления электрохромных приборов, необходимо дальнейшее проведение научно-исследовательской работы по решению ряда задач фундаментального и прикладного характера.

Несмотря на признанность модели электрохромного окрашивания (в рамках классической электрохимии) практически начисто отсутствуют глубокие экспериментальные и теоретические исследования деталей этой модели:

- нет модели центра окрашивания (центра поглощения);
- не рассмотрен процесс инжекции электронов из катода и картина релаксации этого инжектированного заряда к равновесному состоянию в окрашенной бронзе;
- не рассмотрена кинетика перехода носителей заряда (электронов, дырок, ионов) через границу раздела фаз электрохромный материал/электролит (вернее она рассмотрена в узких рамках классической электрохимии для электронных процессов на металлах);-
- не обнаружены какие либо теоретические и экспериментальные исследования конкретных процессов перераспределения инжектированных зарядов по состояниям и их дальнейшего перехода на новые состояния при оптическом возбуждении в полосе электрохромного инициируемого поглощения;
- нет убедительных данных о характере поглощения, что это поглощение собственными носителями или локализованными в подзонах в запрещенной зоне;
- нет обоснованной связи электрохромных и фотохромных процессов окрашивания, хотя такая связь, несомненно, существует и на нее указывает ряд работ.

Исходя из всего вышесказанного, мы убеждены в необходимости рассмотрения электрохромного эффекта в следующем плане:

1. Электрохромный эффект происходит в многофазных системах, поэтому в основе рассмотрения его должна лежать физика межфазных границ, физика гетероструктур.

2. Поскольку несомненна связь между фотохромизмом и электрохромизмом, связь между фундаментальным поглощением в УФ-области и поглощением в ближней ИК-области, инициируемое электрохромным процессом, сам электрохромный процесс должен рассматриваться как переходный, релаксационный процесс перераспределения электронов между валентным локализованным состоянием, свободным состоянием в зоне проводимости и частично делокализованными состояниями в запрещенной зоне.

3. Требуется исследования вопрос о том, не являются ли процессы такого перераспределения электронов результатом обратимого фазового перехода металл-диэлектрик, так как электрохромные материалы относятся к подобному классу веществ.

4. Каков бы ни был механизм собственного оптического перехода электронов, необходимо детальное исследование механизмов инжекции носителей заряда из катода и анода в электрохромный материал.

5. Необходим строгий в научном плане, глубокий анализ имеющихся моделей процесса электрохромного окрашивания.

6. Необходим теоретический анализ (в том числе наших собственных исследований) токовых, потенциальных, вольтамперных и вольтоптических характеристик монокристалла и тонкой пленки, окрашиваемых в электролите с точки зрения физики перехода зарядов через границу раздела электрохромный материал / электролит.

7. Необходим экспериментальный поиск влияния сигнальной прослойки или полупрозрачных пленок на межфазной границе ЭХМ / электролит на электрохромные характеристики системы.

8. Расширение оптических исследований этих пленок в УФ- и ИК-области (от 100 нм до 5 нм).

9. Исследование релаксационных процессов в сложных структурах на основе неупорядоченных тонких пленок следующими методиками:

а) релаксация. При приведении в контакт следующих структур: металл – высокопроводящий оксид; высокопроводящий оксид – электрохромный оксид; электрохромный оксид – электролит;

б) релаксация. При наложении на каждый из этих контактов сильного электрического поля;

в) релаксация. При освещении светом из области фундаментального поглощения и ближнего ИК-диапазона.

Для исследования релаксационных процессов в нашем распоряжении имеются следующие методы:

- а) потенциостатика + электрооптика;
- б) гальваностатика + электрооптика;
- в) релаксация токов короткого замыкания;
- г) релаксация потенциалов короткого замыкания.

3. Выводы

В заключение следует отметить следующее. Окислы металлов, сложные оксиды переходных металлов (к которым относятся и оксидные вольфрамовые бронзы), как правило, диэлектрики в стехиометрическом состоянии, полупроводники – при нарушении стехиометрии, а при больших уровнях легирования приобретают металлическую проводимость. Ширина запрещенной зоны меняется в широких пределах, так что их тонкие пленки могут быть прозрачны для видимого диапазона, но могут иметь и большой коэффициент поглощения в диапазоне длин волн видимого света. Все это определило широчайшее использование их в оптоэлектронике в качестве проводящих прозрачных пленок, фотопроводящих пленок с большим коэффициентом поглощения, пленок с переменным коэффициентом поглощения, управляемым электрическим током или светом (так называемые электрохромные и фотохромные материалы). Наибольший интерес представляют тонкие пленки окислов вследствие их относительно малой цены при разработанной технологии, во-первых, и, во-вторых, из-за возможности получать оптические и кинетические свойства, недостижимые на монокристаллах. Однако, надо отметить трудности, стоящие перед исследователями и технологами, работающими с такими объектами, так как это – неупорядоченные структуры, обладающими нелинейными свойствами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-32-00572 мол_а).

Библиографический список:

1. **Фаунен, Б.В.** Электрохромные дисплеи на основе WO_3 / Б.В. Фаунен, Р.С. Крэнделл // В кн.: Дисплеи; под ред. Ж.М. Панкова. – М.: Мир, 1982. – С. 228-266.
2. **Colton, R.J.** Photochromism and electromism in amorphous transition metal oxide films / R.J. Colton, A.M. Guzman, J.W. Rabalais // Accounts of Chemical Research. – 1978. – V 11. – I. 4. – P. 170-176.
3. **Dautremont-Smith, W.C.** Transition metal oxide electrochromic materials and displays: a review: Part 1: oxides with cathodic coloration / W.C. Dautremont-Smith // Displays. – 1982. – V. 3. – I. 1. – P. 3-22.

4. **Хуболов, Б.М.** Спектры поглощения аморфных тонких пленок оксидных вольфрамовых бронз / Б.М. Хуболов, Ж.Х. Хоконова, В.П. Подлинов // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2004. – № 2. – С. 95-99.
5. **Хуболов, Б.М.** Электрохромная эффективность аморфных тонких пленок сложного оксида вольфрама / Б.М. Хуболов, Ж.Х. Хоконова, В.П. Подлинов // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2004. – № 7. – С. 86-90.
6. **Лусис, А.Р.** Электрохромный эффект и электрохромные материалы: физика и применение / А.Р. Лусис // Оксидные электрохромные материалы. Межевз. сб. науч. трудов. – Рига: Латв. гос. ун-т им. Петра Стучки, 1981 – С. 13-37.
7. **Гохштейн, Л.Я.** Поверхностное натяжение твердых тел и адсорбция / Л.Я. Гохштейн. – М: Наука, 1976. – 400 с.
8. **Хуболов, Б.М.** Исследование электронной структуры монокристаллов и тонких пленок натрий-вольфрамовых бронз методом рентгеноэлектронной спектроскопии / Б.М. Хуболов // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2003. – № 7. – С. 43.-48.
9. **Секушин, Н.А.** Электрохромизм аморфных тонких пленок WO_3 в условиях дефицита протонов / Н.А. Секушин // Электрохимия. – 2009. – Т. 45. – № 2. – С.1448-1453.
10. **Хуболов, Б.М.** Комплексные исследования материалов для электрохромных устройств / Б.М. Хуболов, Р.А. Мусуков, В.П. Подлинов // Фазовые переходы, межфазные границы и наноматериалы: электронный журнал. – 2015. – № 1. – С. 58-64. – Режим доступа: [www.url: http://pti-nt.ru/publication/get-publication?resource=75](http://pti-nt.ru/publication/get-publication?resource=75). – 20.10.2018.

References:

1. **Faunen, B.V.** Elektrokromnye displei na osnove WO_3 / B.V. Faunen, R.S. Krendell // V kn.: Displei; pod red. Zh.M. Pankova. – M.: Mir, 1982. – P. 228-266.
2. **Colton, R.J.** Photochromism and electromism in amorphous transition metal oxide films / R.J. Colton, A.M. Guzman, J.W. Rabalais // Accounts of Chemical Research. – 1978. – V 11. – I. 4. – P. 170-176.
3. **Dautremont-Smith, W.C.** Transition metal oxide electrochromic materials and displays: a review: Part 1: oxides with cathodic coloration / W.C. Dautremont-mith // Displays. – 1982. – V. 3. – I. 1. – P. 3-22.
4. **Khubolov, B.M.** Spektry pogloshcheniia amorfnykh tonkikh plenok oksidnykh vol'framovykh bronz / B.M. Khubolov, Zh.Kh. Hokonova, V.P. Podlinov // Poverkhnost'. Rentgenovskie, sinkhrotronnye i neitronnye issledovaniia. – 2004. – no. 2. – P. 95-99.
5. **Khubolov, B.M.** Elektrokromnaia effektivnost' amorfnykh tonkikh plenok slozhnogo oksida vol'frama / B.M. Khubolov, Zh.Kh. Hokonova, V.P. Podlinov // Poverkhnost'. Rentgenovskie, sinkhrotronnye i neitronnye issledovaniia. – 2004. – no. 7. – P. 86-90.
6. **Lusis, A.R.** Elektrokromnyi effekt i elektrokromnye materialy: fizika i primenenie / A.R. Lusis // Oksidnye elektrokromnye materialy. Mezhvuz. sb. nauch. trudov. – Riga: Latv. gos. un-t im. Petra Stuchki, 1981 – P. 13-37.
7. **Gokhshtein, L.Ia.** Poverkhnostnoe natiazhenie tverdykh tel i adsorbtciia / L.Ia. Gokhshtein. – M: Nauka, 1976. – 400 p.
8. **Hubolov, B.M.** Issledovanie elektronnoi struktury monokristallov i tonkikh plenok natrii-volframovykh bronz metodom rentgenoelektronnoi spektroskopii / B.M. Hubolov //

Poverkhnost'. Rentgenovskie, sinkhrotronnye i neutronnye issledovaniia. – 2003. – no. 7. – P. 43.-48.

9. **Sekushin, N.A.** Elektrokromizm amorfnykh tonkikh plenok WO_3 v usloviakh defitsita protonov / N.A. Sekushin // Elektrokromizm. – 2009. – V. 45. – no. 2. – P.1448-1453.

10. **Khubolov, B.M.** Kompleksnye issledovaniia materialov dlia elektrokromnykh ustroistv / B.M. Khubolov, R.A. Musukov, V.P. Podlinov // Fazovye perehody, mezhfaznye granitsy i nanomaterialy: elektronnyi zhurnal. – 2015. – no. 1. – P. 58-64. – Rezhim dostupa: [www.url: http://pti-nt.ru/publication/get-publication?resource=75](http://pti-nt.ru/publication/get-publication?resource=75). – 20.10.2018.

STUDY OF MATERIALS FOR ELECTROCHROMIC DEVICES: PHYSICAL AND CHEMICAL METHODS

B.M. Khubolov¹, V.P. Podlinov², A.M. Bagov¹

¹*Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov*

²*North-Caucasus Federal University*

DOI: 10.26456/pcascnn/2018.10.646

Abstract: The methods of producing and investigation of electro-chromically-sensitive thin films of tungsten oxide bronzes have been considered in peer-review. The researches allowing one to make deductions on the particular models of the physical process laying in the basis of the electrochrome effect have been described in detail. The most important problems of the further studies on the complex oxides of the transition metals for obtaining applied results capable to start the highly effective technology of the electrochrome devices have been formulated.

Keywords: *electrochromism, oxide potassium-tungsten bronze, thin films, spectral characteristics, single crystals, electrovacuum deposition, technological parameters of deposition.*

Хуболов Борис Магомедович – к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник Управления научных исследований и инновационной деятельности, заведующий лабораторией электрохромных материалов кафедры экспериментальной и теоретической физики Института физики и математики ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»

Подлинов Владимир Павлович – ведущий инженер научно-образовательного центра фотовольтаики и нанотехнологий ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

Багов Артур Мишевич – к.ф.-м.н., начальник отдела наукометрического анализа Управления научных исследований и инновационной деятельности, ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»

Boris M. Khubolov – Ph. D., Leading Researcher of Management Research and Innovation Department, Head of the Laboratory of Electrochromic Materials, Department of Experimental and Theoretical Physics, Institute of Physics and Mathematics, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov

Vladimir P. Podlinov – Leading Engineer of the Research and Education Center for Photovoltaics and Nanotechnologies, North-Caucasus Federal University

Artur M. Bagov – Ph. D., Head of the Department for Scientometric Analysis of Management Research and Innovation Department, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov