

7. Жуков А. М. Минимизация влияния пространственных эффектов на измерения реактивности в быстрых реакторах нового поколения: Автореф. диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Обнинск, 2012.
8. Колесов В. Ф. Истоки неточностей в реактивности, определяемой с помощью обращенного решения уравнений кинетики // «Вопросы атомной науки и техники», – 2013, – Вып. 3, с. 30–44.
9. Sikorin S. N., Mandzik S. G., Polazau S. A., Hryharovich T. K., Damarad Y. V., Palahina Y. A. Benchmark Criticality Experiments for Uranium-Water Heterogeneous Configurations with UZrCN Low Enrichment Nuclear Fuel // European Research Reactor Conference, RPFM 2013, St. Petersburg, Russia, 21–25 April 2013.
10. Сикорин С. Н., Мандик С. Г., Полозов С. А., Доморад Ю. В., Григорович Т. К., Голубева И. С., Палагина Ю. А. Эксперименты и расчеты по критичности урановодных гексагональных решеток на основе твэлов с 19,75 % обогащением по урану-235 // 11-ая Международная научно-практическая конференция по проблемам атомной энергетики «Безопасность, эффективность, ресурс ЯЭУ» (МНПК АЭ-11), Севастополь - Ласпи, Украина, 1–6.10.2013.
11. Sikorin S.N., Mandzik S.G., Polazau S.A., Hryharovich T.K., Soltan I.S., Damarad Y.V., Palahina Y.A., Gohar Y., Talamo A., Zhong Z., Bolshinsky I., Tikhvatulin Sh. T., Zhalilov R. Kh., Vishnevsky V. Yu., Daragan I. D. Benchmark Criticality Experiments for Uranium-Water Heterogeneous Configurations with Low Enrichment UZrCN Fuel // European Research Reactor Conference, RPFM 2014, 30 March – 3 April 2014 in Ljubljana, Slovenia.

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ЛЕГИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗОМ КЕРАМИК ZNO

А. В. Пашкевич

В настоящее время особое внимание уделяется поиску новых керамических материалов на основе широкозонных оксидов, а также исследованию их структуры и свойств с целью их применения в различных областях радиотехнической, электронной и оптоэлектронной промышленности [1]. Анализ литературы свидетельствует о том, что монокристаллы, поликристаллические пленки, наноструктурированные порошки и проволоки на основе оксида цинка исследованы достаточно подробно. В то же время композиции на основе ZnO, полученные по керамическим технологиям, изучены далеко не полностью. В частности, для них недостаточно подробно изучено влияние добавления в ZnO магнитных примесей, изменения режимов синтеза и последующих термообработок на химический состав керамик, структурно-фазовое и магнитное состояние образуемых фаз, а также типа формируемых собственных дефектов и комплексов на их основе и механизмы электрической проводимости керамик.

Целью работы является исследование структуры и электрических свойств керамик на основе ZnO при их легировании железом с использованием разных типов легирующих агентов Fe_xO_y .

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для получения образцов на основе ZnO использовалась обычная керамическая технология. В качестве исходных компонентов для приготовления шихты использовались порошки ZnO и Fe_xO_y (FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4) квалификации ОСЧ. В изученных образцах керамик при расчете навесок использовалась формула $(Fe_xO_y)_{10}(ZnO)_{90}$, где масса порошков оксидов железа соответствовала 10 вес. %.

Исходные порошки тщательно перетирались в течение 1 ч в агатовой ступке с добавлением дистиллированной воды и высушивались при комнатной температуре. В смешиваемые порошки добавлялось связка из клея ПВА (примерно 3 вес.%), смесь перемешивалась и спрессовывалась в таблетки диаметром 18 мм, высотой до 3 мм при давлении 200 МПа. Далее экспериментальные образцы получались двумя способами. В случае одноэтапного синтеза образцы отжигались на воздухе при $T = 1200$ °С в течение 2 ч. В случае двухэтапного синтеза сначала проводился предварительный синтез путем отжига спрессованных таблеток в течение 2 ч при $T = 900$ °С, после чего таблетки перемалывались в порошок, смешивались со связкой, спрессовались и спекались на воздухе при $T = 1200$ °С в течение 2 ч.

Структурная характеристика керамик осуществлялись методами рентгеновского дифракционного анализа (РДА), сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), рамановской (РС) и ядерной гамма-резонансной (ЯГР) спектроскопии. Концентрации химических элементов в композитах измерялись с помощью электронно-зондовых рентгено-спектальных микроанализаторов (ЭЗРМ) в составе СЭМ. ЯГР спектроскопия на изотопе ^{57}Fe применялась в просвечивающей геометрии с использованием источника $^{57}Co/Rh$ (20 мКи). Указанные измерения проводилась при комнатной температуре. Удельное электросопротивление $\rho(T)$ керамик измерялась на вырезавшихся из синтезированных таблеток прямоугольных образцах, на которые наносились серебряные электрические контакты. Измерения $\rho(T)$ проводились четырехконтактным потенциометрическим методом установке High Field Measurement System (Cryogenic Ltd) в диапазоне температур 6–300 К.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1 представлены примеры СЭМ изображений керамик, полученных в результате одно- и двухстадийного синтеза. Видно, что при двухэтапном синтезе размер микрочастиц в керамиках снижается 10-200 мкм (рис. 1а,в) до субмикронного диапазона (рис. 1б,г), хотя, как видно из рис. 1б, отдельные крупные частицы все же встречаются. Изучение методом РДА показало сохранение вюрцитной структуры в композитах $Zn_{1-\delta}Fe_{\delta}O$ ($0,66 < \delta < 0,81$ ат.%) независимо от типа легирующего агента. При этом, замещение цинка атомами железа привело к сжатию решетки ZnO.

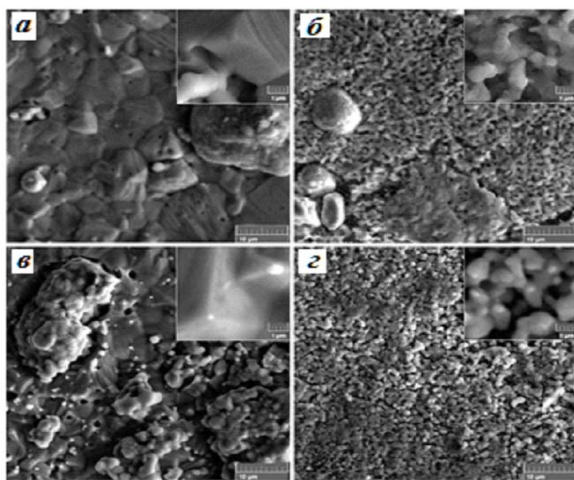


Рис.1. Микроструктура в керамиках $(Fe_xO_y)_{10}(ZnO)_{90}$, полученных при одно- (а, в) и двухэтапном (б, г) синтезе с использованием в качестве легирующих агентов оксидов FeO (а, б) и Fe₂O₃ (в, г). На вставках ка-г даны СЭМ изображения с бóльшим увеличением

уменьшение параметров решетки не может быть связано напрямую с легированием железом, поскольку согласно [2], замещение ионов Zn^{2+} ионами Fe^{2+} должно наоборот расширять решетку вюрцита. Мы предполагаем, что при обогащении ZnO кислородом (из-за отжига на воздухе) катионы Fe и часть анионов кислорода замещают вакансии Zn, формируя комплексы Fe-O, что и приводит к формированию кислородных вакансий и, как следствие, сжатию решетки.

Как видно из рисунка 2, по характеру зависимостей $\rho(T)$ в аррениусовых координатах исследованные образцы можно разделить на две группы. Образцы 4–8 на рисунке 2 в диапазоне температур 150 - 300 К имеют линеаризованный вид зависимостей ($\text{Log}\rho$) от обратной температуры ($1/T$). При этом они характеризуются близкими энергиями актива-

Методы РДА, ЯГР, РС и ЭЗРМ зафиксировали преобладание во всех образцах вюрцитной фазы $Zn_{1-\delta}Fe_{\delta}O$, а также наличие частиц феррита $ZnFe_2O_4$ со структурой шпинели и остаточных оксидов железа. Как показали эксперименты, в легированном железом ZnO параметры решетки (а,с) монотонно уменьшаются при увеличении концентрации кислорода, приходящегося на одну формульную единицу легирующего агента (оксида железа). Учитывая, что, согласно данным ЭЗРМ, концентрация δ растворенных в ZnO атомов железа во всех образцах примерно одинакова (0,66 – 0,81 ат. %),

цией проводимости $\Delta E \approx (0,36 \pm 0,02)$ эВ, которые были определены из наклонов кривых $\text{Log}\rho(1/T)$. Последнее свидетельствует о формировании более глубоких центров на основе ионов железа(порядка 0,25 эВ) в изученных керамиках, чем наблюдалось в монокристаллах и пленках $\text{Zn}_{1-\delta}\text{Fe}_\delta\text{O}$ [2].

Образцы второй группы – нелегированного ZnO(1, 2) и керамики $(\text{FeO})_{10}(\text{ZnO})_{90}$ (3) - показывают уменьшающуюся при охлаждении энергию активации проводимости, величина которой при приближении к 300 К не превышает 0,01 эВ. Как показали эксперименты, ниже 15 К зависимости $\rho(T)$ можно связать с прыжками электронов по собственным дефектам с переменной длиной прыжка в соответствии с законом Шкловского-Эфроса [3].

$$\rho(T) = \rho_0 \exp[-(T_0/T)^{0,5}]. \quad (1)$$

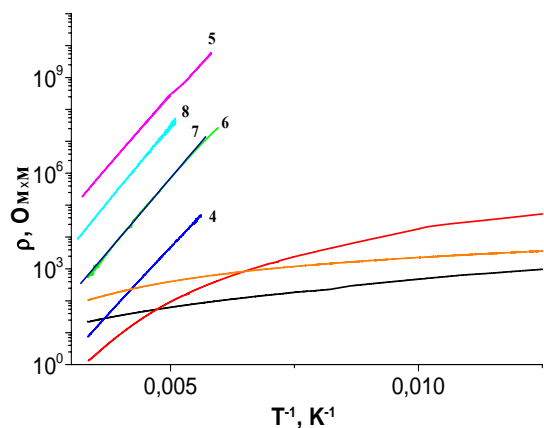


Рис. 2. Температурные зависимости удельного электросопротивления $\rho(T)$ в диапазоне температур 150-300 К образцов композиционных керамик ZnO (1,2) и $(\text{Fe}_x\text{O}_y)_{10}(\text{ZnO})_{90}$ (3-8), полученных методами одно-(3-5) и двухэтапного (6-8) синтеза: 3,6 – $(\text{FeO})_{10}(\text{ZnO})_{90}$; 4,7- $(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{10}(\text{ZnO})_{90}$; 5,8 - $(\text{Fe}_3\text{O}_4)_{10}(\text{ZnO})_{90}$.

Выше 20 К ход $\rho(T)$ может быть обусловлен перколяцией электронов вследствие флуктуаций потенциала, созданного собственными дефектами ZnO и примесями.

Проведенные исследования указывают на определенную взаимосвязь между механизмами проводимости, типом используемого для легирования оксида железа и условиями синтеза керамик:

1. В легированных железом керамиках на основе оксиде цинка, полученных методом двухэтапного синтеза, удельное электросопротивление при температуре 300 К в среднем растет при увеличении концентрации кислорода, приходящегося на одну формульную единицу легирующего агента (оксида железа).

2. В кристаллической решетке легированных железом керамических образцов $(\text{Fe}_x\text{O}_y)_{10}(\text{ZnO})_{90}$ формируются глубокие донорные центры с энергией ионизации $\Delta E_{\text{компл}} \approx (0,36 \pm 0,02)$ эВ, которые можно приписать формированию комплексов на основе атомов железа и кислорода.

3. В нелегированных керамиках из ZnO ниже 15 К температурный ход электропроводности $\sigma(T)$ подчиняются закону Шкловского-Эфроса для прыжковой проводимости по локализованным состояниям.

Литература

1. *Sawalha Ayman*, Electrical conductivity study in pure and doped ZnO ceramic system / *Ayman Sawalha, M.Abu-Abdeen, A. Sedky*. //Physica B –2009. – Vol. 404 –P. 1316.
2. *Janotti, A.* Fundamentals of zinc oxide as a semiconductor / *A. Janotti, C.G. Van de Walle* // Rep. Prog. Phys. – 2009. – Vol. 72. – №12. – P. 26501.
3. *B.I. Shklovskii, A.L. Efros*.Electronic Properties of Doped Semiconductors(Berlin, Springer, 1984).

СВЕТОРАССЕИВАЮЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕЛОЙ ОФСЕТНОЙ БУМАГИ В ВИДИМОМ ДИАПАЗОНЕ

У. В. Перетолчина

Многообразие окружающих тел и свойств разных предметов распознается человеком по оценке отраженного от них света. Особый класс объектов составляет бумага, которая служит одним из основных средств отображения, хранения и передачи информации. Развитие методов цветной печати выдвинуло целый ряд специальных требований к офсетной бумаге и, как следствие, привело к разработке технологий изготовления бумаги с определенными оптическими характеристиками.

Большое практическое значение имеют отражающие свойства бумаги при различном естественном и искусственном освещении. Эти свойства обычно выражают с помощью физических характеристик, которые вводятся и нормируются для определенных условий освещения и наблюдения [1]. *Глянecь* – характеристика поверхности, отражающей свет, показывающая соотношение интенсивностей зеркально и диффузно отражённого от поверхности излучения. *Шероховатость*, приводящая к рассеянию света, – это совокупность микронеровностей, появляющихся на поверхностях готовых изделий. *Белизна* – это способность бумаги отражать свет рассеянно и равномерно во всех направлениях

В соответствии с международными стандартами оптические характеристики бумаги задаются и нормируются по-разному. В США используется стандарт TAPPI для определения яркости, а в Европе, России и Беларуси применяются стандарты ISO как для определения яркости, так и степени белизны. Принципиальное различие между стандартами TAPPI и ISO заключается в используемой при измерениях геометрии освещения.