

гает значений  $8 \div 10$ . Необходимое количество щелочи определяется размером частиц  $\text{SiO}_2$ : в раствор с меньшими частицами требуется добавление большего количества щелочи для стабилизации композиции. Далее раствор концентрируют, выпаривая его и постепенно добавляя раствор, поступающий из ионообменника (золь-питатель). Концентрированные композиции, стабилизированные гидроокисями щелочных металлов, подвергают дополнительной деионизации, пропуская через  $\text{H}^+$ -катионит.

В отличие от способа нейтрализации добавлением в силикатный раствор свободной кислоты, при ионообменном способе в растворе не образуются продукты нейтрализации – соли-электролиты, способствующие агрегации частиц в сетки геля. Образованный раствор с зародышами золевых частиц стабилизируют, доводя рН до 8-9 добавлением раствора щелочи. Вид вводимой щелочи определяет тип кремнезоля по стабилизирующему катиону ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Li}^+$  или  $\text{NH}_4^+$ ).

### Литература

1. Готтштайн, Г. Физико-химические основы материаловедения / Готтштайн Г. ; пер. с англ. под ред. В. П. Зломанова. – М. : БИНОМ, 2009. – 400 с.
2. Айлер, Р. Химия кремнезёма / Р. Айлер. – М. : Мир, 1982. – Ч. 2. – 1128 с.
3. Colloidal solutions of inorganic oxides: [Electronic resource] : pat. US 2244325 / P. G. Bird. – Publ. date 03.06.1941 – URL: <http://www.freepatentsonline.com/2244325.html>. – Date of access: 21.05.2016.

**П. А. Фурсеев**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **А. В. Семченко**, канд. физ.-мат. наук, доцент

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРАФЕНСОДЕРЖАЩИХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ПОКРЫТИЙ**

В настоящее время наноструктурированные плёнки прозрачных проводящих оксидов (ППО) [1–4] являются одними из самых исследуемых объектов. Анализ базы данных Scopus показывает, что число публикаций по данной теме только за последние 5 лет увеличилось

вдвое. Так, в Европе значительных результатов в сфере исследования и применения пленок ППО добились швейцарская федеральная лаборатория материаловедения (EMPA), центр исследования солнечной и водородной энергетики (ZWS, Штутгарт, Германия) и институт Фраунгофера (Германия), работающие в сфере исследования плёнок ППО для солнечной энергетики. В Азии подавляющая доля публикаций по теме ППО приходится на долю китайских, корейских и японских ученых. В Китае исследования в области наноструктурированных ППО проводятся, например, в таких ведущих университетах как университет Цинхуа (Tsinghua University), Пекинский Университет (Peking University) и Шанхайский университет (Shanghai University). В Южной Корее следует выделить такие исследовательские центры как Сеульский национальный университет (Seoul National University) и университет KAIST (Korea Advanced Institute of Science and Technology). В Японии исследованиями ППО занято большое число исследовательских лабораторий в университетах и при крупных промышленных корпорациях, работающих в сфере электроники, такие как SONY, Mitsubishi и др. Указанные материалы могут успешно синтезироваться, в частности, с использованием методов золь-гель синтеза и спрей пиролиза и в дальнейшем применяться для создания эффективных устройств солнечной энергетики.

Графенсодержащие пленки могут быть синтезированы, в частности, золь-гель методом. Они могут быть использованы в различных полупроводниковых устройствах.

Золь-гель метод основан на взаимодействии оксидов металлов либо совместном осаждении гидроксидов металлов с кристаллизацией оксидов при последующей термической обработке. Этот метод позволяет в достаточно широких пределах варьировать свойства получаемых материалов при достаточной простоте самого метода. Этот метод также достигать требуемой дисперсности и значительного взаимодействия компонентов. Золь-гель технология характеризуется большой экономичностью в сравнении, например, с плазменными и вакуумными методами напыления тонких пленок. Схема этапов золь-гель процесса на примере оксида цинка представлена на рисунке 1.

Золи могут наноситься на подложки различными методами: окунанием, центрифугированием, электрофорезом или напылением. Любая усушка или уплотнение золя в процессе напыления должны компенсироваться для того, чтобы сохранить оптимальное состояние агрегирования. Каждый конкретный метод нанесения зависит от под-

ложки, а, в частности, от ее формы и материала. Подложка обязательно должна быть предварительно тщательно зачищена.

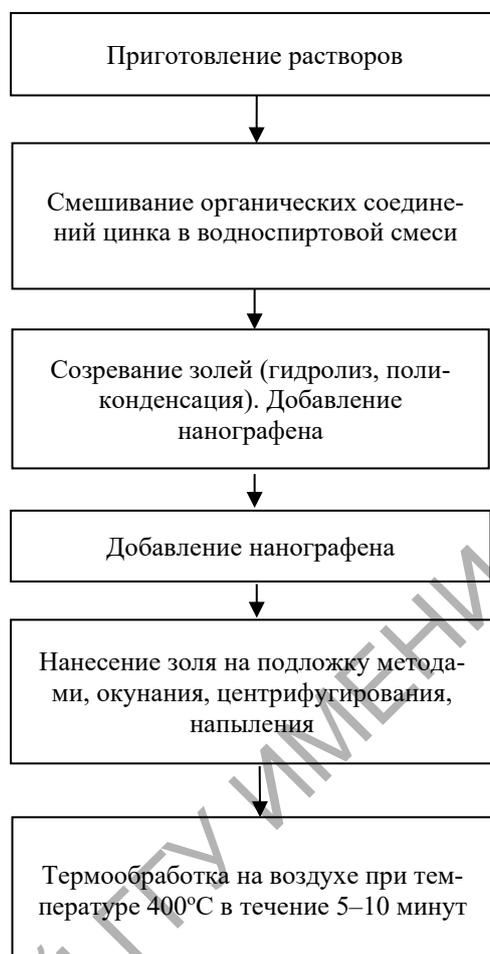


Рисунок 1 – Этапы золь-гель метода на примере оксида цинка

Важной характеристикой графенсодержащих золь-гель пленок является поверхностное сопротивление. В таблице 1 приведены значения измерений поверхностного сопротивления при температуре 19 °С, влажности 69% и давлении 97,9 кПа.

Таблица 1 – Измерение значений поверхностного сопротивления

Образец	Сопротивление, МΩ												
	ZnO:Al + УНТ (1) и 2	1,23	1,35	1,37	1,39	1,45	1,45	1,45	1,49	1,54	1,55	1,56	1,60
	1,14	1,14	1,16	1,20	1,22	1,24	1,42	1,47	1,49	1,50	1,51	1,55	1,45±2,1%

Вывод: значения поверхностного сопротивления являются высокими, в дальнейшем необходимо усовершенствовать золь-гель методу получения графенсодержащих плёнок.

## Литература

1. Zinc oxide from fundamental properties towards novel applications / C. F. Klingshirn, B. K. Meyer, A. Waag, A. Hoffmann, J. Geurts – Springer: Verlag Berlin Heidelberg, 2010. – 359 p.
2. Yu Ruei-Sung Synthesis and Characteristics of Zn-Doped CuCrO<sub>2</sub> Transparent Conductive Thin Films / Yu Ruei-Sung, Chu Chen // Coatings. – 2019. – Vol 9, № 5. – P. 321.
3. Solution Combustion Synthesis of Transparent Conducting Thin Films for Sustainable Photovoltaic Applications/ U Sana [et.al] // Sustainability. – 2020. – Vol. 12. – P. 10423.
4. Özgür, Ü. A comprehensive review of ZnO materials and devices / Ü. Özgür, Ya. I. Alivov, C. Liu et al. // J. Appl. Phys, 2005. – Vol. 98. – P.1–103.

**Д. В. Швецов, С. Н. Анучин**  
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **Н. Г. Валько**, канд. физ.-мат. наук, доцент

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОЧАСТИЦ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ**

Области применения наночастиц в настоящее время чрезвычайно широки – материаловедение; биотехнологии; полупроводники; сверхёмкие магнитные носители; химические нанокатализаторы, наносорбенты, нанооптоэлектроника и многое другое. Их широкое применение и использование в различных сферах производственной деятельности и науке связано, с главным образом, с уникальными свойствами наночастиц, обусловленными размерными эффектами, высокой оптической нелинейностью и явлением плазмонного резонанса. Наличие этих специфических свойств и особенностей служит основой для более детального исследования наноразмерных структур. При этом, актуальной задачей является получение и исследование наночастиц различных металлов, позволяющих модифицировать их свойства и создавать новые композитные материалы и сплавы с улучшенными эксплуатационными характеристиками [1, 2].

Объектами исследования являлись образцы гальванических сплавов цветных металлов (цинк, медь, кобальт). Степень чистоты металлов исследовалась на спектрометре энергий рентгеновского излуче-