

**Таблица 1.** Зависимость шероховатости от смещения потенциала поверхности

№ образца	Примечание	Шероховатость Ra, мкм
1	исходный образец	0,545
2	химический никель $E_{\text{кат}} = 0,00$ В	0,493
3	катодное смещение $E_{\text{кат}} = 0,01$ В	0,851
4	0,03 В	0,671
5	0,05 В	0,665
6	0,08 В	0,622
6	0,10 В	0,373
8	0,15 В	0,217
9	0,20 В	0,335
10	0,25 В	0,242

–0,08 В шероховатость поверхности снижается незначительно, но при смещении – 0,10 В происходит снижение шероховатости в 2 раза. Данные изменение можно объяснить тем, что при таком смещении доля электрохимически осажденного никеля превышает долю химического никеля.

Известно, что химический никель имеет мелкокристаллическую структуру  $\alpha$ -никеля, в которой атомы никеля и фосфора распределены

равномерно [3].

Высказано предположение, что при малых катодных поляризациях электрохимическое осаждение идет преимущественно на атомах никеля, что увеличивает шероховатость. С увеличением катодной поляризации линейная кристаллизация никеля стремится к захвату всей поверхности.

### Список литературы

1. Алексенко И.А. Химическое никелирование пластин из алюминия с применением электростимуляции поверхности // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XVII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулёва, посвященной 120-летию Томского политехнического университета, 17–20 мая 2016 г. – г. Томск, 2016. – С.36–37.
2. Петухов И.В. и др. Влияние времени осаждения на процессы формирования Ni-P покрытий // Вестник Пермского университета. Серия: Химия, 2011. – №3. – С.47–56.
3. Моисеев В.И. Методика определения атомной структуры осадков химически восстановленного никеля // Известия Академии наук СССР. Серия физическая, 1962. – Т. XXVI. – №3. – С.378–383.

## ПОДБОР СОСТАВА ДЛЯ БЕЗВИСМУТОВОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ЦИНКА

О.И. Родимов, М.М. Киселев, Е.С. Сетракова  
Научные руководители – к.т.н., доцент М.А. Вартамян

Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева  
125047, Россия, г. Москва, пл. Миусская 9, olegrodimov468@gmail.com

Поликристаллические материалы на основе оксида цинка нашли широкое применение в качестве варисторов, благодаря высокой нелинейной вольт-амперной характеристики (ВАХ).

Нелинейность оксида цинка обеспечивается за счет введения добавок оксидов металлов, которые создают потенциальный барьер на грани-

це зерен. Как правило, в коммерческих выпускаемых варисторах содержатся токсичные оксиды, такие как оксиды Bi и Sb. Современные требования экологии, предъявляемые к производству подразумевают замену токсичных оксидов, на менее токсичные.

Оксидноцинковые варисторы получают

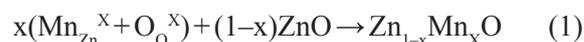
жидкофазным спеканием [1]. Присутствие жидкой фазы при получении варисторных материалов на основе ZnO необходимо для равномерного распределения легирующих добавок на границах его зерен. В коммерческих варисторах на основе оксида цинка, как правило, в роли добавок, образующих жидкую фазу, применяют оксиды Bi и Sb. Заменой оксидов Bi и Sb может послужить  $V_2O_5$ .

Оксид ванадия (V) имеет температуру плавления около 670 °С. При образовании расплава оксид ванадия растворяет в себе легирующие добавки, обеспечивает их перенос к границе зерен оксида цинка, а так же способствует спеканию за счет частичного растворения зерен оксида цинка с последующей кристаллизацией в виде различных ванадатов цинка.

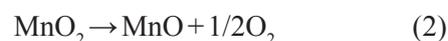
Для улучшения варисторных свойств керамики на основе оксида цинка необходимо подбирать добавки, обеспечивающие электрофизические свойства. В качестве одной из таких добавок может выступать марганец, имеющий различную валентность. В работе [2] показано, что для обеспечения варисторных свойств значительную роль играют ионы кислорода, которые располагаются на границе зерен ZnO.

С точки зрения выбора оксида, обеспечивающего электрофизические свойства варисторов, целесообразно использовать оксид марганца (IV) ввиду того, что для получения высоких

электрофизических свойств оксидноцинковых варисторов необходимо наибольшее отношение кислорода к металлу. Предполагается, что  $MnO_2$  будет растворяться в решетке ZnO. Однако с энергетической точки зрения, оксиду цинка легче растворить в своей решетке изовалентный оксид марганца (II) по уравнению реакции образования твердого раствора (1):



Вероятней всего при растворении оксида марганца (IV) в кристаллической решетке оксида цинка будет стабилизироваться оксид цинка (II), образуя твердый раствор по вышеуказанной реакции, а лишний кислород, который будет отщепляться от оксида марганца (IV) согласно реакции (2):



будет адсорбироваться на поверхности зерен оксида цинка, тем самым улучшая ВАХ керамики.

Таким образом, при получении безвисмутовой керамики на основе оксида цинка в качестве добавки, образующей жидкую фазу, необходимую для равномерного распределения добавок, целесообразно использовать оксид ванадия (V). В качестве добавки, отвечающей за электрофизические свойства варисторов предполагается использовать оксид марганца (IV), что, тем не менее требует контроля газовой среды при обжиге материала.

### Список литературы

1. D.R. Clarke. *Varistor ceramics // J.Am. Ceram. Soc.*, 1999. – V.82. – №3. – P.485–502.
2. Валеев Х.С., Квасков В.В. *Нелинейные ме-*

*таллоксидные полупроводники.* – М.: Энергоиздат, 1983. – 160с.