



**“Fizika-2005”  
Beynəlxalq Konfrans  
International Conference  
Международная Конференция**

**7 - 9 İyun June 2005 №117 səhifə page 447-449  
Июнь 2005 №117 стр.**



**Bakı, Azərbaycan**

**Baku, Azerbaijan**

**Баку, Азербайджан**

**ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВАРИСТОРОВ  
НА ОСНОВЕ ОКСИДА ЦИНКА**

**ГАШИМОВ А.М., АЗИЗОВА Ш.М., ГАСАНЛИ Ш.М., МЕХТИЗАДЕ Р.Н.**

*Институт Физики НАН Азербайджана  
Az-1143, Баку, пр.Джавида,33  
Тел.(994 12)439-44-02 E-mail: arif@physics.ab.az*

Данная работа посвящена изучению влияния напряженности поля на их вольтамперные характеристики и электропроводность варисторов на основе ZnO. Показано, что наблюдаемая нелинейность ВАХ исследуемых образцов, а также зависимость электропроводности от напряженности электрического поля позволяют предположить, что они связаны с образованием межкристаллитных барьеров. С ростом напряженности электрического поля высота межкристаллитных барьеров снижается и, тем самым, влияние переходного слоя на электрические свойства варистора сильно уменьшается.

**ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время с развитием микроэлектронной технологии и больших интегральных схем для защиты энергосистем и электрических цепей от перенапряжений непрерывно увеличивается потребность в варисторах [1-3]. Это связано с тем, что нелинейная вольтамперная характеристика варисторов позволяет длительное время находиться под действием рабочего напряжения, обеспечивая при этом глубокий уровень защиты от перенапряжений. В свою очередь, свойства варисторов очень чувствительны к условиям изготовления, в результате вариации которых могут произойти изменения размеров зерен, толщины и физических свойств межкристаллических фаз[4,5]. Среди них одной из важных проблем, связанных с совершенствованием производства варисторов, является влияние температуры окружающей среды на электрические свойства варисторов.

Данная работа посвящена изучению температурной зависимости электрической проводимости и электрического тока варисторов на основе оксида цинка.

**МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА, РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Для изготовления варисторов были использованы оксиды с чистотой 99,9%. Варисторы на базе ZnO с примесями оксидов CoO,  $Bi_2O_3$ ,  $MnO_2$ ,  $ZrO_2$  и других были изготовлены по стандартной технологии получения керамики. Образцы были синтезированы при  $T=1500$  K в атмосфере воздуха. На плотно спеченные образцы были нанесены серебряные

электроды. На всех образцах исследованы вольтамперные характеристики и электрическая проводимость. Вольтамперные характеристики были измерены в режиме постоянного тока. Результаты экспериментов приведены на рис.1 и 2, из которых видно следующее:

1) Зависимость величины тока через варистор от приложенного напряжения  $I=f(U)$  носит нелинейный характер. Кроме того, на кривой  $I=f(U)$  наблюдаются характерные области,

2) Зависимость электропроводности  $\sigma$  от напряженности электрического поля носит экспоненциальный характер.

Прежде, чем перейти к анализу полученных результатов, отметим некоторые особенности процесса керамического синтеза варисторов.

При формировании их электрических свойств особую роль играют:

1) сквозная проводимость через потенциальные барьеры межкристаллитных границ (межкристаллический барьерный слой),

2) проводимость вдоль межкристаллитных границ без участия кристаллитов. По данным работ [2,5,6] потенциальные барьерные слои представляют собой контакты между двумя соседними зернами цинк оксида.

В свою очередь, причиной образования этих барьеров является модуляция энергетических зон полупроводника полем заряженных примесей и дефектов, адсорбированных на межкристаллитной границе.

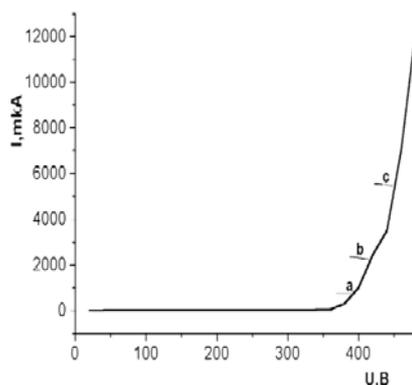


Рис.1. Вольтамперная характеристика варистора

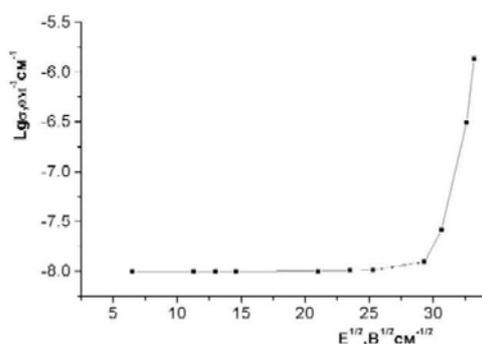


Рис.2. Зависимость электропроводности от напряженности электрического поля.

Из изложенных следует, что электрические свойства керамики на базе оксида цинка определяются величиной тока, который проходит через последовательные цепочки контактов между соседними зёрнами ZnO [5,7]. Для каждого такого контакта условно можно выделить две составляющие постоянного тока (рис.3а). На рисунке 3а заштрихована фаза между узлами оксида цинка.

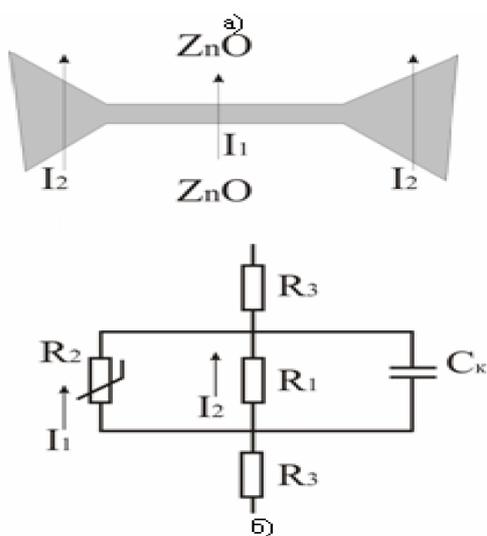


Рис.3. Схематическое представление области контактирования зёрн ZnO (а) и ее эквивалентная электрическая схема (б).

В качестве такой фазы может быть слой, обогащенный висмутом и сурьмой [4]. Из рисунка 3а видно, что составляющая тока  $I_1$  протекает через области границ, где соседние зёрна ZnO тесно прилегают друг к другу. Толщина слоя контактирования может составить порядка 30-40Å. В этой области границ формируется энергетический барьер, ответственный за высоко-нелинейный участок вольтамперной характеристики (ВАХ) керамики. Другая составляющая тока  $I_2$  определяется сопротивлением области границ, где соседние зёрна ZnO разделены толстым слоем фазы между узлами. Для  $I_2$  характерна слабая нелинейная зависимость тока от напряжения.

Принимая во внимание изложенное, эквивалентную схему отдельного контакта между зёрнами ZnO, можно представить, как показано на рис.3б. В этой схеме  $R_3$  - сопротивление зёрна ZnO,  $R_1$  - сопротивление фазы между зёрнами,  $C_k$  - геометрическая ёмкость контакта двух зёрн ZnO,  $R_2$  - нелинейное сопротивление области контакта, через которую протекает ток  $I_1$ .

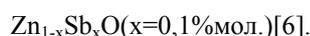
С учетом вышеизложенного, экспериментально наблюдаемые характерные области на рис.1-2 могут быть объяснены следующим образом. Как видно из рис.1 и 2, при низких значениях приложенного напряжения величина электрического тока мала и составляет микроамперы (мкА), при этом величина электрической проводимости, соответственно, равна  $10^{-6}$ - $10^{-8}$  Ом $^{-1}$ см $^{-1}$ . Эти данные показывают, что в начальный момент времени варистор ведет себя как диэлектрик, который обладает большим сопротивлением ( $R_1$ ). Данное сопротивление обуславливается наличием потенциальных барьеров между соседними зёрнами ZnO. При низких значениях электрического поля величина этого сопротивления достаточно большая, оно играет основную роль и ограничивает величину тока через варистор. В результате этого при низких значениях внешнего поля наблюдается слабая зависимость  $I=f(U)$  (участок «а» рис.1). С ростом приложенного напряжения величина тока будет определяться сопротивлением  $R_2$ , которое имеет нелинейный характер. С увеличением приложенного напряжения величина этого сопротивления резко уменьшается и падает до величины 10-100 Ом. В результате этого происходит одновременно рост проводимости на 2-3 порядка и, на столько же, величина тока через варистор (участки b,c рис.1) Кроме того, как видно из рисунка 2, уменьшается число характерных областей и их энергия активации.

Рост как величины электрического тока через варистор, так и проводимости с ростом приложенного напряжения, может быть, происходит за счет увеличения концентрации носителей тока. В свою очередь, концентрация носителей тока может увеличиваться, как за счет термоэлектронной и ударной ионизации, так и туннельного эффекта. Согласно работам [4,7], экспоненциальный характер зависимости электропроводности от напряженности электрического поля хорошо описывается эффектом и формулой Пула-Френкеля (рис.2).

$$\sigma = \sigma_0 \frac{e^{3/2} E^{1/2}}{kT(\pi\epsilon\epsilon_0)^{1/2}}$$

где  $\sigma_0$ -проводимость при слабом электрическом поле,  $\epsilon$ -диэлектрическая проницаемость варистора,  $\epsilon_0$ -электрическая постоянная,  $k$ - постоянная Больцмана,  $E$ -напряженность электрического поля,  $T$ -абсолютная температура.

Отметим, что в образовании межкристаллитной границы между атомами немаловажную роль играют также взаимодействия между атомами цинка оксида и примесных атомов. В работе нами [6] путем электронографического исследования показано, что в результате этих взаимодействий образуются непрерывные фазовые включения, а также непрерывный ряд твердых растворов взаимозамещения, описываемых формулой



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

- 1) причиной большого сопротивления варистора ( $10^8\text{Ом}$ ) при низких значениях внешнего напряжения является наличие потенциальных барьеров на границе между зернами  $\text{ZnO}$ , которые образуются в процессе синтеза варистора;
- 2) наблюдаемая нелинейность ВАХ исследуемых образцов, а также зависимость электропроводности от напряженности электрического поля позволяют предположить, что они связаны с образованием межкристаллитных барьеров. С ростом напряженности электрического поля высота межкристаллитных барьеров снижается и, тем самым, влияние переходного слоя на электрические свойства варистора сильно уменьшается.

- 
- |   |   |
|---|---|
| <p>[1]. Ch.S. Valeev, V.B. Kvaskov. Non-linear metall-oxide Semiconductots, Moskow, 1982, pp.2-15(Russian).</p> <p>[2]. M.Matsuoka. Zinc oxide varistor. J.Appl.Physics. 1971, vol.10. p.736.</p> <p>[3]. T.K. Gupta. Application of Zinc oxide varistor. J.Amer.Soc.1990,vol.73, p.1817.</p> <p>[4]. Гасанли Ш.М, Исмаилов Д.М., Мехтизаде Р.Н., Байрамов Х.Б., Бондялов А.С. Взаимосвязи параметров между электрическими и структурными параметрами варисторов на основе оксида цинка с примесями. Проблемы энергетики, Баку, Элм,2003, №3, с.45-50.</p> <p>[5]. L.M. Levinson, H.R.Philip, G.D.Mahan. Evidence for parallel conduction in ZnO varistor. Advances</p> | <p>in va-ristor technology, Ceramic Transition. 1989, v.3, p.145.</p> <p>[6]. Гасанли Ш.М, Гашимов А.М., Исмаилов Д.М., Аллазов Р.М., Мехтизаде Р.Н., Байрамов Х.Б. Электронографическое исследование пленок <math>\text{ZnO}</math> с добавками оксидов кобальта, бора, марганца, висмута и сурьмы. 4-ая Национальная конференция по применению Рентгеновского синхротронного измерения, нейтронов и электронов для исследования материалов.17-22-ХІ-я 2003, Москва.</p> <p>[7]. T.K.Gupta, W.C. Carlson. Barrier voltage and its effect on stability of ZnO varistor. J.Appl/ Physics. 1982. V.53.p.7401.</p> |
|---|---|