

05.2; 06.2

© 1991

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ДЕФЕКТОВ В КЕРАМИКЕ ДЛЯ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ВАРИСТОРОВ

Л.А. К и с е л е в а, Е.Л. С е й с я н

В [1, 2] показано, что амплитуда высокотемпературного максимума термостимулированного тока деполяризации (ТСТД) в керамике ZnO для низковольтных варисторов прямо связана с характеристиками стабильности этого материала в режиме нагрузки постоянным током. Между тем количественных оценок параметров электрически активных дефектов, ответственных за высокотемпературную релаксацию, сделано не было.

Цель настоящей работы — определение параметров релаксаторов на основе анализа ТСТД в диапазоне температур 300–500 К с использованием метода изотермической деполяризации (ИТД).

Экспериментальные образцы получали в результате высокотемпературного синтеза ZnO с добавками оксидов висмута, титана, кобальта, марганца и никеля [3]. Омические (неблокирующие) электроды формировали методом плазменно-дуговой металлизации керамики алюминием. Измерения ТСТД проводили потенциометрическим способом с учетом температурной зависимости сопротивления образцов при линейном нагреве со скоростью 0.13 К/с.

Расчет энергии и частотного фактора релаксаторов проведен, в отличие от [4–6], с учетом их немонотонности, выявленной в результате анализа ТСТД при варьировании времени t_b и температуры T_b поляризации. Напряжение поляризации оставалось в ходе экспериментов неизменным и составляло ~ 40 В.

Для трех значений ($t_b = 0.5, 2.5$ и 5 ч) обнаружены сдвиг максимумов ТСТД в высокотемпературную область и увеличение их амплитуды. Для примера на рис. 1 представлены экспериментальные кривые для $t_b = 2.5$ ч, полученные после поляризации керамики при $T_b = 294, 323$ и 373 К. При этом в координатах Аррениуса выявлен изгиб кривых ТСТД в области начального участка пика (рис. 2), что из теории термостимулированной деполяризации является необходимым условием наличия непрерывного распределения по энергии электрически активных дефектов [7, 8].

Расчет характеристик релаксаторов проведен в гауссовом приближении: $N(E) = \exp[-(E-E_0)^2 / (\Delta E)^2] \cdot N_0$. В [7] показано, что E_0 и ΔE могут быть определены из соотношений

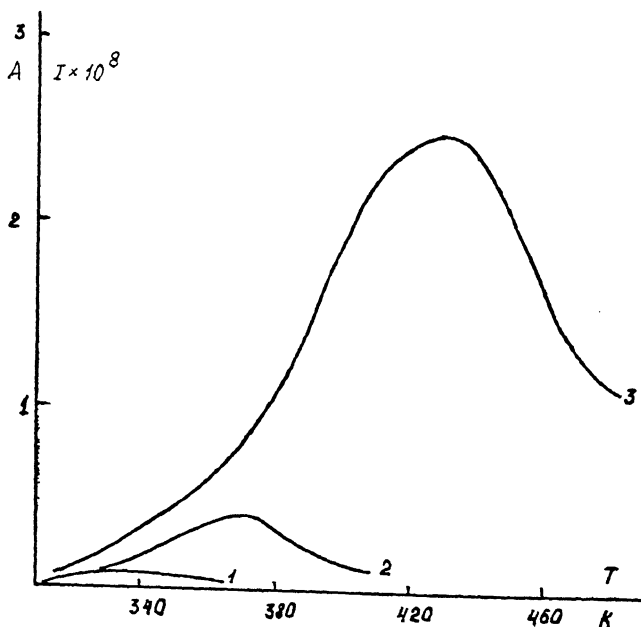


Рис. 1. Спектры ТСТД керамики ZnO , $t_B = 2.5$ часа. 1 - $T_B = 294$ К, 2 - $T_B = 323$ К, 3 - $T_B = 373$ К.

$$\Delta E = \left\{ \frac{2kT_1T_2 [|\gamma(T_1)| - |\gamma(T_2)|]}{T_1 - T_2} \right\}^{1/2},$$

$$E_0 = -\gamma(T) + \frac{\Delta E^2}{2kT_B} + \frac{\Delta E^2}{2kT}.$$

Здесь $\gamma(T) = \frac{\partial \ln(I)}{\partial (1/kT)}$ - наклон касательной в области изгиба к кривой ТСТД в координатах Аррениуса, T_1 , T_2 - температуры, относящиеся к этой области, k - постоянная Больцмана.

Результаты расчета для различных t_B представлены в таблице.

Полученные данные позволяют проследить динамику заполнения электрически активных дефектов в процессе поляризации керамики. $E_0 = 0.5$ эВ совпадает со значением энергии релаксаторов, оцененным в [2] методом варьирования скорости нагрева для $t_B \sim 20$ мин. Величина 1.4 эВ получена в этой же работе при анализе статических ВАХ керамики. В [10] отмечалось, что в рамках модели термополевой ионизации поверхностных состояний на границе кристаллитов ZnO этот энергетический уровень имеет смысл глубины залегания поверхностной ловушки.

Оценка сечения захвата σ центров, характеризующихся $E_0 \sim 1.4$ эВ, сделана нами с помощью метода ИТД. Для этого была получена временная зависимость тока ИТД при $T = 386$ К после

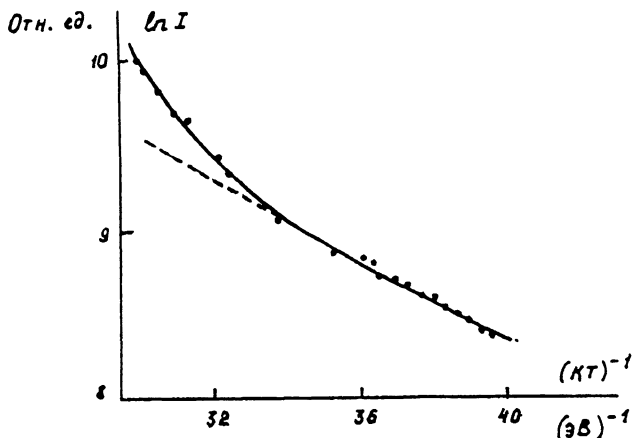


Рис. 2. Кривая ТСТД керамики ZnO в области начального участка высокотемпературного пика в координатах Аррениуса. $t_B = 5$ ч, $T_B = 373$ К.

Характеристики энергетического
распределения релаксаторов

t_B , час	E_0 , эВ	ΔE , эВ
0.5	0.45	0.06
2.5	1.36	0.18
5.0	1.40	0.18

поляризации образца в течение 3-х часов при $T_B = 373$ К. Как видно из рис. 3, в координатах $\ln I - \ln t$ зависимость нелинейна. Поскольку при расчете энергии электрически активных дефектов использовано Гауссово приближение для их распределения по энергии, то оценка σ также проведена при этом допущении. Известно [9], что в этом случае теоретическая зависимость $\ln I(\ln t)$ описывается полиномом 2-го порядка: $\ln I = c_1 + c_2 \cdot \ln t + c_3 (\ln t)^2$. Коэффициент c_2 при этом связан с параметрами E_0 , ΔE и частотным фактором:

$$c_2 = 2kT\Delta E^{-2}(E_0 - kT \ln \nu) - 1,$$

где $\nu = N_c \sigma \omega_T$ - частотный фактор центров, $N_c = 2 \left(\frac{2\pi m_e^* kT}{h^2} \right)^{3/2}$ - эффективная плотность состояний в зоне проводимости ZnO ,

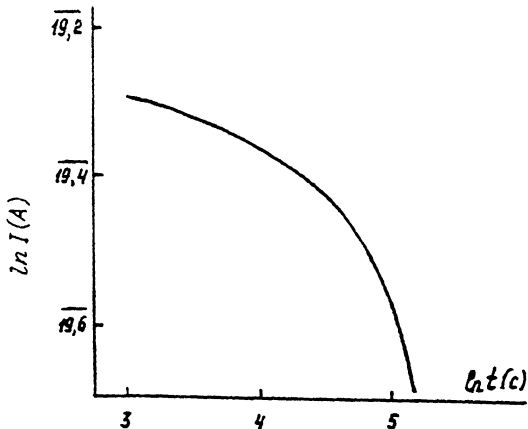


Рис. 3. Временная зависимость тока ИТД после поляризации керамики при $T_0 = 373$ К в течение 3-х часов. $T = 386$ К.

$$v_T = \left(\frac{3kT}{m_e^*} \right)^{1/2}$$
 - тепловая скорость свободных электронов, T - температура ИТД, m_e^* - эффективная масса электрона, равная в случае $ZnO \sim 0.27m_e$, k, h - постоянные. Значения коэффициентов регрессии были рассчитаны на ЭВМ, для C_2 получено значение 0.96129. С учетом результатов ТСТД - $E_0 = 1.4$ эВ, $\Delta E = 0.18$ эВ - определены γ и σ , равные соответственно $8.9 \cdot 10^{11} \text{ с}^{-1}$ и $1.8 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$. Порядок величины σ типичен для ловушек электронов в полупроводниках, что наряду с анализом ВАХ [2] подтверждает предположение о заполнении в процессе поляризации электронных центров захвата.

Таким образом, в результате работы определены параметры немонотонноэнергетических электрически активных дефектов, ответственных за деполяризацию в керамике ZnO . Высказано предположение о механизме высокотемпературной релаксации.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Киселева Л.А., Медведев Ф.К., Сейсян Е.Л. // ЖТФ. 1989. Т. 59. № 11. С. 158-161.
- [2] Киселева Л.А., Горбунова Л.Д., Медведев Ф.К. // Электронная техника. Научно-техн. сб. "Радиодетали и радиокомпоненты". 1989. В. 1(74). С. 29-32.
- [3] Киселева Л.А., Павлоцкий Я.В., Будим Н.И., Полянский А.В., Медведев Ф.К. // Изв. АН СССР. Неорганические материалы. 1989. Т. 25. № 2. С. 2069-2072.

- [4] S h o a h a t a N., J o s h i d a J. // Jap. J. Appl. Phys. 1977. V. 16. N 12. P. 2299-2300.
- [5] S a t o K., T a k a d a Y. // J. Appl. Phys. 1982. V. 53. N 12. P. 8819-8826.
- [6] S a t o K., T a k a d a Y. // Advances in ceramics. 1983. V. VII. P. 22-29.
- [7] Г о р о х о в а т с к и й Ю.А. // Изв. АН Латв. ССР. Сер. физических и технических наук. 1973. № 4. С. 23-28.
- [8] Г о р о х о в а т с к и й Ю.А. Основы термодеполяризационного анализа. М.: Наука, 1981. 173 с.
- [9] S i m m o n s J.G., T a m M.C. // Phys. Review. B. 1973. V. 7. N 8. P. 3706-3713.
- [10] К в а с к о в В.Б. // Диэлектрики и полупроводники. Киев, 1986. В. 29. С. 28-35.

Поступило в Редакцию
18 марта 1991 г.