

## **ФИЗИКА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ**

УДК 537.226

### **ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ МОНОКРИСТАЛЛОВ SBN С ПРИМЕСЬЮ ЕВРОПИЯ И РОДИЯ**

**В. В Иванов, В. В. Потемкин**

Тверской государственной университет,  
кафедра физики сегнетоэлектриков и пьезоэлектриков

Проведены исследования электропроводности монокристаллов SBN номинально чистых и с примесями Eu и Rh в интервале температур от 20 до 100 °С. Измерения выполнены на постоянном токе с использованием электрометрического усилителя У5-11.

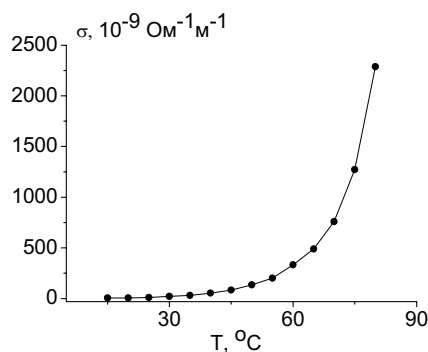
Монокристаллы твердых растворов ниобата бария-стронция (SBN) относятся к классу релаксорных сегнетоэлектриков, физические свойства которых могут быть модифицированы в широких пределах как путем изменения соотношения ионов стронция и бария в составе твердого раствора, так и введением в матрицу SBN примесей редкоземельных и переходных металлов [1-3]. Применение этих материалов в нелинейной фоторефрактивной оптике требует использования монокристаллов образцов, поляризация которых осуществляется путем приложения к кристаллу постоянного электрического поля. Для монокристаллов твердых растворов ниобата бария-стронция, относящихся к кислородно-октаэдрическим сегнетоэлектрикам со структурой тетрагональных калий-вольфрамовых бронз, характерен размытый фазовый переход из сегнетоэлектрической в параэлектрическую фазу. С другой стороны, диэлектрические свойства, процессы поляризации в сегнетоэлектрических кристаллах напрямую зависят от электрической проводимости. В работе [4] приведены результаты исследования температурной зависимости электропроводности с примесями Co, Cr, Se.

В настоящей работе проведены исследования температурной зависимости электропроводности монокристаллов SBN в зависимости от концентрации примеси европия и родия

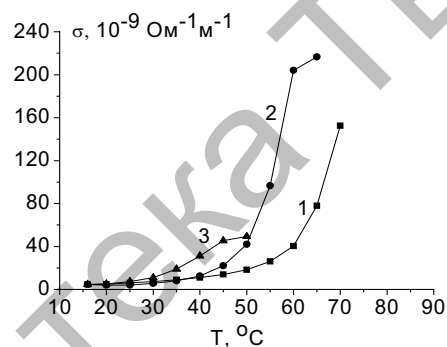
Электропроводность измерялась на постоянном токе. В качестве источника напряжения использовался ТЕС-13. Напряжение, подаваемое на кристалл, не превышало 15 В. Электрический ток измерялся электрометрическим усилителем У5-11, на выходе которого подключался вольтметр В7-34А. Температурный интервал измерений составлял 15...80 °С. Использовались прижимные электроды. На поверхности образцов прямоугольного сечения методом вакуумного

напыления были нанесены серебряные электроды. Для устранения влияния пиротока на проводимость измерения проводились после длительного термостатирования образца при заданной температуре. Перед измерением образцы предварительно отжигались при температуре 140 °С или поляризовались постоянным электрическим полем.

На рис. 1 представлена температурная зависимость удельной проводимости беспримесного кристалла SBN. Как видно из рисунка, проводимость растет с ростом температуры в исследованном интервале температур.



Р и с . 1. Температурная зависимость проводимости номинально чистого монокристалла SBN.



Р и с . 2. Температурная зависимость проводимости для монокристалла SBN с примесью европия: 1 – 4000; 2 – 8000; 3 – 16000 ppm.

Для беспримесного монокристалла SBN значение удельной проводимости в области измеряемой температуры изменяется в пределах от  $5,3 \cdot 10^{-9} \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$  до  $2,2 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$ .

На рис. 2 представлена температурная зависимость удельной проводимости кристаллов SBN с примесью европия. Из рисунка видно, что проводимость растет с ростом температуры в исследованном интервале температур.

Значение удельной проводимости для монокристалла SBN с примесью европия с концентрацией 4000 ppm изменяется в пределах от  $4,6 \cdot 10^{-9} \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$  до  $1,5 \cdot 10^{-7} \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$ , с концентрацией 8000 ppm – от  $4,4 \cdot 10^{-9} \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$  до  $2,1 \cdot 10^{-7} \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$ , с концентрацией 16000 ppm – от  $4,6 \cdot 10^{-9} \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$  до  $4,9 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$  в исследованном интервале температур.

На рис. 3 представлена температурная зависимость удельной проводимости кристаллов SBN с примесью родия. Проводимость растет с ростом температуры в исследованном интервале температур.

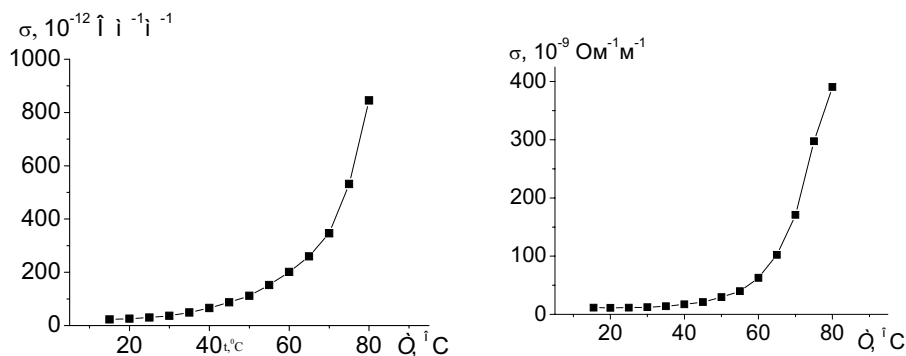


Рис. 3. Температурная зависимость проводимости для монокристалла SBN с примесью родия: (а) – 100; (б) – 500 ppm.

Значение удельной проводимости для монокристалла SBN с примесью 100 ppm родия, как показано на рис. 3, а, изменяется в пределах от  $2,2 \cdot 10^{-12}$  до  $1,5 \cdot 10^{-10} \text{ Ohm}^{-1}\text{m}^{-1}$ , а для концентрации 500 ppm (рис. 3, б) – от  $1,1 \cdot 10^{-8}$  до  $3,9 \cdot 10^{-7} \text{ Ohm}^{-1}\text{m}^{-1}$  в исследованном интервале температур. Как видно из рис. 3, значения удельной проводимости для монокристаллов SBN с примесью родия для концентрации 100 и 500 ppm отличаются на три порядка. Следовательно, увеличение концентрации примеси родия приводит к увеличению электропроводности в монокристаллах SBN.

Для подтверждения экспоненциальной зависимости электропроводности от температуры на рис. 4 и 5 представлены зависимости  $\ln \sigma / \sigma_0$  от обратного значения температуры ( $1/T$ ) ( $\sigma_0 = 1 \text{ Ohm}^{-1}\text{m}^{-1}$ ) для беспримесного SBN и кристаллов с различной концентрацией примесей европия и родия.

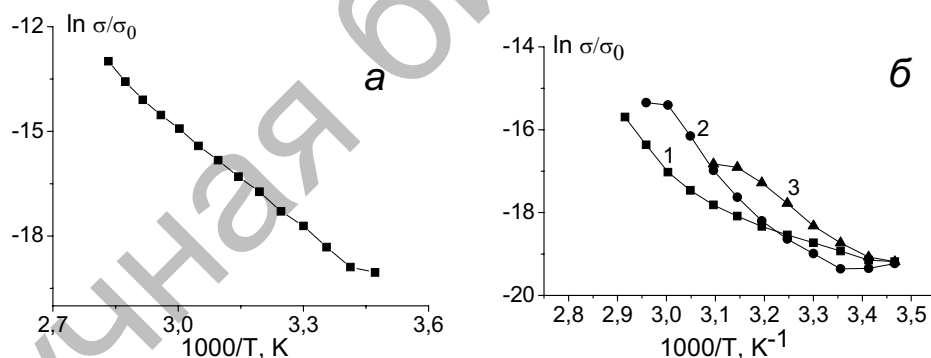


Рис. 4. Зависимость  $\ln \sigma / \sigma_0$  от обратной температуры для номинально чистого монокристалла SBN (а) и с примесью 4000 (кривая 1), 8000 (2) и 16000 ppm (3) европия (б)

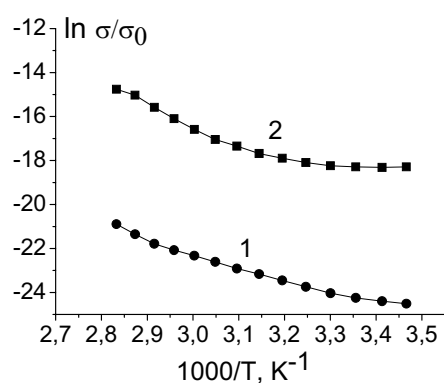


Рис. 5. Зависимость удельной электропроводности от обратной температуры для монокристалла SBN с примесью родия: 1 – 100; 2 – 500 ppm.

Для линейных участков зависимости  $\ln\sigma/\sigma_0(1/T)$  были вычислены значения энергии активации по формуле:

$$E_a = k \frac{\ln(\sigma_1) - \ln(\sigma_2)}{T_1^{-1} - T_2^{-1}},$$

где  $k$  – постоянная Больцмана,  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  – значения удельной проводимости соответственно при температурах  $T_1$  и  $T_2$ .

Значения удельной проводимости и энергии активации кристаллов SBN представлены в таблице.

Т а б л и ц а . Удельная проводимость и энергия активации кристаллов SBN

Кристалл SBN:61.	$\sigma, \text{ Ом}^{-1}\text{ м}^{-1}$		$E_a, \text{ эВ}$ $\Delta T = (30 \dots 60) \text{ }^\circ\text{C}$
	$T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$	$T = 70 \text{ }^\circ\text{C}$	
Беспримесный	$2,9 \cdot 10^{-10}$	$5,3 \cdot 10^{-7}$	0,75
С примесью 4000 ppm Eu	$4,8 \cdot 10^{-9}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$	0,34
С примесью 8000 ppm Eu	$3,9 \cdot 10^{-9}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$	0,62
С примесью 16000 ppm Eu	$5,2 \cdot 10^{-9}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$	0,78
С примесью 100 ppm Rh	$2,5 \cdot 10^{-11}$	$3,4 \cdot 10^{-10}$	0,53
С примесью 500 ppm Rh	$1,1 \cdot 10^{-8}$	$1,7 \cdot 10^{-7}$	0,95

Таким образом, в работе установлено, что в исследованном интервале температур электропроводность изменяется в пределах от  $10^{11}$  до  $10^{-10}$  Ом<sup>-1</sup>м<sup>-1</sup>. Вычисленные значения энергии активации находятся в пределах от 0,8 до 1,5 эВ. Измеренные температурные зависимости электропроводности объясняются на основе электронного механизма проводимости. Электроны переходят в зону проводимости с донорных уровней под действием тепловых флуктуаций. Показано, что ионы европия и родия, внедренные в матрицу монокристаллов SBN, понижают значения электропроводности по отношению к беспримесному кристаллу.

Впервые выполнены исследования влияния примесей европия и родия на электропроводность монокристаллов SBN в интервале температур ниже температуры максимума диэлектрической проницаемости.

Показано, что ионы европия и родия, внедренные в матрицу монокристаллов SBN, понижают значения электропроводности по отношению к беспримесному кристаллу.

Работа выполнена при поддержке гранта Минобрнауки РНП 2.1.1.3674.

#### **Список литературы**

1. Волк Т. Р., Салобутин В. Ю. Ивлева Л. И., Полозков Н. М., Панкрат Р., Велеке М. Сегнетоэлектрические свойства кристаллов ниобата бария-стронция с примесями некоторых редкоземельных металлов // ФТТ. 2000. Т.42, №11. С. 2066-2073.
2. Блистанов А.А. Кристаллы квантовой и нелинейной оптики // М.: Наука. 2000.
3. Смоленский Г.А., Исупов В.А., Аграновская А.И., Попов С.Н. Сегнетоэлектрики с размытым фазовым переходом // ФТТ. 1960. Т. 2, № 1. С. 2906-2918.
4. Ивлева Л.И., Козлова Н.С., Забелина Е.В. Исследование температурной зависимости электропроводности в кристаллах ниобата бария-стронция с различными примесями // Кристаллография. 2007. Т.52, №2. С. 344-347.