

- [1] Пустовойт В. И. // УФН. 1969. Т. 97. С. 257—306.  
 [2] Лифшиц Е. М., Питаевский Л. П. Физическая кинетика. М., 1979. С. 525.  
 [3] Каганов М. И., Кравченко В. Я., Нацик В. Д. // УФН. 1973. Т. 111. № 4. С. 655—682.

Донецкий государственный университет  
Донецк

Поступило в Редакцию  
14 июля 1988 г.  
В окончательной редакции  
21 ноября 1988 г.

*Физика твердого тела, том 31, в. 3, 1989*  
*Solid State Physics, vol. 31, № 3, 1989*

УДК 537.227

## ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ $\text{BaAl}_2\text{O}_4$

А. А. Буш, А. Г. Лантес

В процессе выращивания монокристаллов фаз  $\text{R}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  ( $\text{R}=\text{Y}$ , лантаноиды) из расплавов смесей  $\text{R}_2\text{O}_3-\text{BaO}-\text{CuO}$  в алундовых тиглях во многих случаях наблюдалась совместная кристаллизация фаз  $\text{R}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  и  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$  [1]. По данным [2], изоструктурные  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$  кристаллы  $\text{BaLi}_{2x}\text{Al}_{2-2x}\text{F}_{4x}\text{O}_{4-4x}$  ( $0.15 \leq x \leq 0.30$ ) являются сегнетоэлектриками с точкой Кюри  $T_c = 127 \div 153$  °С. Можно предположить, что кристаллы  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$  также относятся к сегнетоэлектрикам, однако их физические свойства до сих пор не исследовались. Настоящая работа посвящена изучению диэлектрических и пирозлектрических свойств кристаллов  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$ .

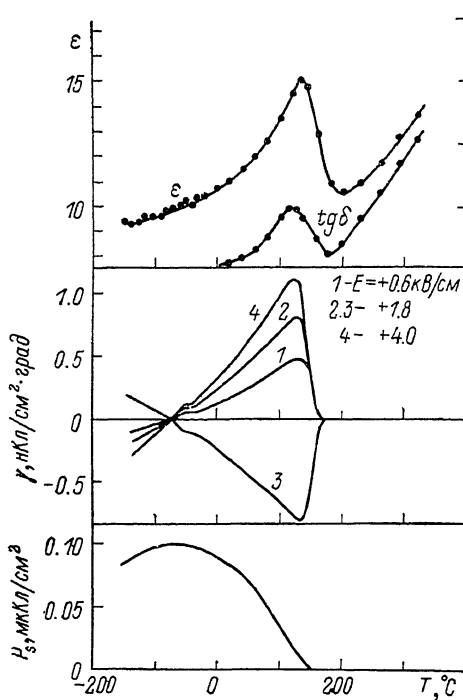
Монокристаллы  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$ , полученные из расплавов  $\text{R}_2\text{O}_3-\text{BaO}-\text{CuO}$  в алундовых тиглях, прозрачны, бесцветны или со слабой зеленоватой окраской, имеют вид гексагональных пластин размерами до  $1.0 \times 2.0 \times 2.0$  мм, не проявляют выраженной спайности. По данным рентгеноспектрального микроанализа, выполненного на спектрометре САМЕВАХ-301, химический состав кристаллов описывается формулой  $\text{Ba}_{0.98}(\text{Al}_{0.999}\text{Cu}_{0.001})_2\text{O}_{4.05}$ . Рентгенографические исследования проведены на дифрактометре ДРОН-3 с использованием фильтрованного медного излучения. Установлено, что рентгенограмма порошка выращенных кристаллов соответствует данным [3] по фазе  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$  и индицируется в рамках гексагональной элементарной ячейки с  $a = 5.220$  (4) и  $c = 8.785$  (4) Å.

Измерения диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  и тангенса угла диэлектрических потерь  $\text{tg } \delta$  выполнены вдоль оси  $c$  кристаллов в области  $-150 \div +320$  °С с помощью моста Е7-8 (измерительная частота 1 кГц). На зависимости  $\epsilon(T)$  наблюдается воспроизводимый при повторных измерениях максимум при 130 °С, которому соответствует максимум на зависимости  $\text{tg } \delta(T)$  (см. рисунок). Ниже комнатной температуры в пределах точности измерений аномалий на зависимости  $\epsilon(T)$  не наблюдается.

Измерения пирозлектрического эффекта проводили вдоль оси  $c$  кристаллов на предварительно поляризованных образцах по квазистатической методике с помощью электрометра В7-30. Поляризацию осуществляли путем приложения постоянного электрического поля напряженностью  $E = 0.3 \div 4.0$  кВ/см при охлаждении образцов от +240 °С до комнатной температуры. Скорость изменения температуры при измерениях составляла  $\sim +0.3$  град/с.

При изменении температуры в замкнутой цепи кристалл—электрометр протекает электрический ток  $I$ . Температурные зависимости тока, пересчитанного по формуле  $I/S (dT/dt) = \gamma$  ( $S$  — площадь электродов на кристалле,  $dT/dt$  — скорость изменения температуры), представлены на рисунке. На зависимости  $\gamma(T)$  наблюдаются выраженный экстремум при

130°, а также слабо выраженный экстремум при  $-45^\circ\text{C}$ ; при  $-70^\circ\text{C}$  ток изменяет направление, проходя через нулевое значение. Зависимости хорошо воспроизводятся при повторных измерениях, если температуру не поднимать выше  $130^\circ\text{C}$ . При нагреве образцов до  $T > 130^\circ\text{C}$  для воспроизведения  $\gamma(T)$  необходима повторная поляризация кристалла. В области  $-150 \div +130^\circ\text{C}$  величина и направление тока  $I$  зависят от скорости и знака изменения температуры. В указанной температурной области зависимости  $\gamma(T)$ , полученные на одном и том же кристалле, при поляризациях полями противоположных полярностей или подключения кристалла ко входу электрометра разными сторонами («переворачивание» кристалла в ячейке) являются зеркальными отражениями друг друга по отношению к оси температур (см. рисунок).



Отмеченные особенности поведения тока, протекающего в цепи кристалл—электрометр, свидетельствуют о том, что до  $T < 130^\circ\text{C}$  этот ток имеет

Температурные зависимости  $\epsilon$ ,  $\text{tg } \delta$ ,  $\gamma = I/S (dT/dt)$ ,  $P_s$  кристаллов  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$ , измеренные вдоль их оси с.

Кривые 1—4 получены после поляризаций кристаллов в полях  $+0.6$ ,  $+1.8$ ,  $+1.8$ ,  $+4.0$  кВ/см соответственно; при измерениях кривых 1, 2, 4 и 3 соответственно кристалл подключался к входу электрометра разными сторонами.

пирозлектрическую природу; выше  $130^\circ\text{C}$  пирозлектрический эффект на кристаллах  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$  отсутствует. По результатам измерений  $\epsilon(T)$ ,  $\text{tg } \delta(T)$  и  $\gamma(T)$  можно заключить, что кристаллы  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$  являются сегнетоэлектриками с точкой Кюри, равной  $130^\circ\text{C}$ . При  $T < T_c$  величина  $\gamma$  соответствует пирозлектрической постоянной кристаллов ( $\gamma = dP_s/dT$ ,  $P_s$  — спонтанная поляризация кристаллов). Интегрированием зависимости  $\gamma_4(T)$  получена зависимость  $P_s(T)$  кристаллов  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$  (см. рисунок). С понижением температуры от  $T_c$  до  $-70^\circ\text{C}$  происходит постепенный рост  $P_s$  до  $0.1$  мкКл/см<sup>2</sup>, дальнейшее понижение температуры вызывает уменьшение  $P_s$ . Такая зависимость  $P_s(T)$  существенно отличается от зависимостей  $P_s(T)$  типичных собственных сегнетоэлектриков. По-видимому,  $P_s$  кристаллов  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$  определяется взаимодействием двух или более антипараллельно поляризованных неэквивалентных подрешеток [4]. Подобные зависимости  $P_s(T)$  наблюдались также на сегнетоэлектрических кристаллах  $\text{Li}_2\text{Ge}_7\text{O}_{14}$  [5].

#### Список литературы

- [1] Буш А. А. и др. // Материалы научного семинара «Сверхпроводники с высокими температурами сверхпроводящего перехода». Донецк, 1988.
- [2] Dunne T. G., Stemple N. R. // Phys. Rev. 1960. V. 120. N 6. P. 1949—1950.
- [3] X-ray diffraction cards ASTM, card N 17-306. Philadelphia, 1981.
- [4] Dvořac V., Ishibashi Y. // J. Phys. Soc. Jap. 1976. V. 41. N 2. P. 548—557.
- [5] Буш А. А., Веневцев Ю. Н. // ФТТ. 1986. Т. 28. № 7. С. 1970—1975.