

## ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ УПРУГИХ СВОЙСТВ В СУПЕРИОННЫХ МОНОКРИСТАЛЛАХ $\text{Cu}_6\text{PS}_5\text{Br}$

*В. Л. Скрицкий, В. Д. Валявичюс, В. И. Самуленис  
И. П. Студеняк, Д. Ш. Ковач, В. В. Панько*

Монокристаллы  $\text{Cu}_6\text{PS}_5\text{Br}$  относятся к семейству типа аргиродитов [1]. В них обнаружены последовательность низкотемпературных фазовых переходов и суперионная электропроводность [2, 3]. При комнатной температуре они относятся к кубической точечной группе симметрии  $4\bar{3}m$  [1]. Нижний по температуре фазовый переход в кристаллах этого семейства суперионный, а верхний — ферроэластический (в кристаллах  $\text{Cu}_6\text{PS}_5\text{I}$  ниже  $T=250$  К обнаружены эластические домены [4]). Упругие свойства кристаллов семейства аргиродитов еще не изучены. Причиной этого,

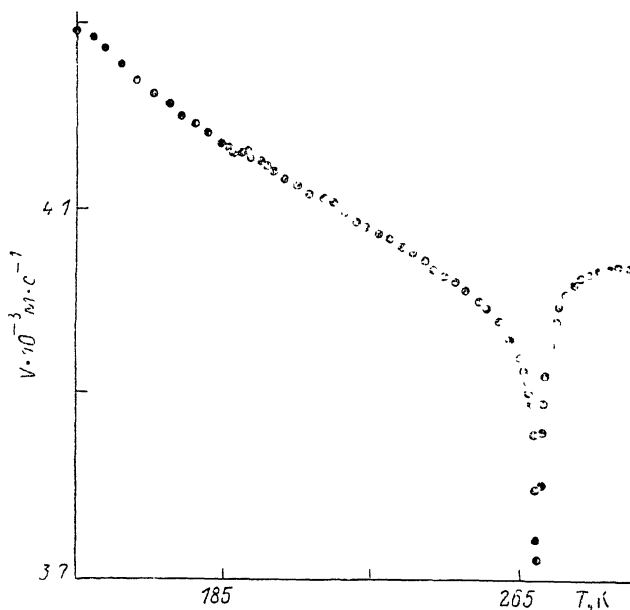


Рис. 1. Температурная зависимость скорости продольной УЗВ, распространяющейся вдоль оси [110] в кристалле  $\text{Cu}_6\text{PS}_5\text{Br}$ .

видимо, явились трудности выращивания и приготовления больших кристаллических образцов, пригодных для акустических измерений.

В этой работе нам удалось методом химических транспортных реакций вырастить достаточно крупные монокристаллы  $\text{Cu}_6\text{PS}_5\text{Br}$ , из которых были приготовлены образцы размерами  $2 \times 3 \times 3$  мм для ультразвуковых измерений. Образцы были ориентированы рентгенодифракционным методом так, чтобы можно было провести измерения вдоль осей [001] и [110]. Температурные исследования скорости и поглощения ультразвуковых волн (УЗВ) были проведены импульсным методом на частоте 10 МГц. На рис. 1 показана температурная зависимость скорости продольной УЗВ, распространяющейся вдоль оси [110] в монокристалле  $\text{Cu}_6\text{PS}_5\text{Br}$ . Как видно, при  $T_1=269.5$  К имеется хорошо выраженный критический минимум скорости, а при  $T_2=186$  К проявляется только излом в зависимости  $V=f(T)$ . Нужно отметить, что при распространении продольной УЗВ вдоль оси [001] аномалия  $V=f(T)$  при  $T_1$  мала. (Минимум в скорости не превышает 0.5 %, что может быть обусловлено разориен-

тацией образца). Так как скорость УЗВ вдоль [001] определяется упругим модулем  $C_{11}$  (для кубической системы  $V_{L[001]} = \sqrt{C_{11}/\rho}$ ), а скорость вдоль [110] определяется комбинацией упругих модулей  $C_{11}$ ,  $C_{12}$ ,  $C_{44}$  ( $V_{L[110]} = \sqrt{(C_{11} + C_{12} + 2C_{44})/2\rho}$ ), то на основе полученных экспериментальных данных для продольных УЗВ уже можно предположить, что при фазовом переходе при  $T_1$  в основном должны изменяться упругие модули  $C_{12}$  и  $C_{44}$ . Для проверки этого были проведены измерения скорости и поглощения поперечных УЗВ. Было показано, что для поперечной УЗВ, распространяющейся вдоль оси [001], скорость и поглощение меняются вблизи  $T_1$  настолько сильно, что из-за большого поглощения нам удалось изменение скорости проследить только до  $\Delta V/V = 25 \div 30\%$  (рис. 2). В этом случае скорость УЗВ  $V_{s[001]}^{[100]} = \sqrt{C_{44}/\rho}$  (верхний индекс означает

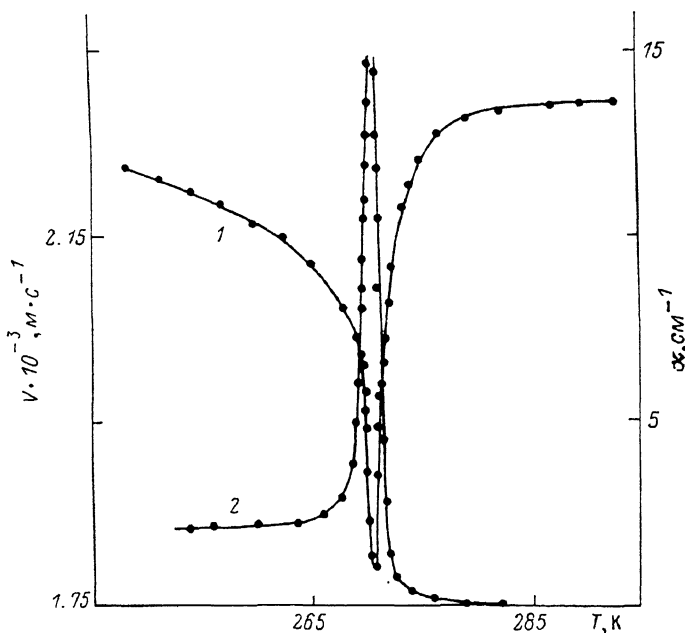


Рис. 2. Температурная зависимость скорости (1) и коэффициента поглощения (2) поперечной УЗВ, распространяющейся вдоль оси [001] в кристалле  $\text{Cu}_6\text{PS}_5\text{Br}$ .

направление поляризации, а нижний — направление волнового вектора). В то же время для поперечной волны, распространяющейся вдоль [110] ( $V_{s[110]}^{[110]} = \sqrt{(C_{11} - C_{12})/\rho}$ ), изменение скорости при  $T_1$  мало и не превышает 4 %, что может быть обусловлено неточной ориентацией образцов, а также вкладом дефектов или дислокаций. Поэтому можно утверждать, что фазовый переход в монокристаллах  $\text{Cu}_6\text{PS}_5\text{Br}$  при  $T_1 = 269.5$  К сопровождается критическим уменьшением упругого модуля  $C_{44}$ . Отсутствие гистерезиса (это нами проверено с точностью до  $T = 0.1$  К) свидетельствует о том, что, видимо, это — ферроэластический фазовый переход II рода.

Фазовый переход вблизи  $T_2 = 185$  К обнаруживает заметный температурный гистерезис. Результаты измерения скорости продольных УЗВ как вдоль [001], так и вдоль [110] при нагревании дают излом в зависимости  $V = f(T)$  на 4—6 К выше, чем при охлаждении. При этом фазовом переходе из-за ненадежности акустических склеек измерения для поперечных УЗВ пока затруднительны.

Следует обратить внимание на схожесть последовательности фазовых переходов и упругих аномалий для  $\text{Cu}_6\text{PS}_5\text{Br}$  и  $\text{RbAg}_4\text{I}_5$ . В кристаллах  $\text{RbAg}_4\text{I}_5$  при  $T_2 = 122$  К имеется суперионный фазовый переход I рода, а при  $T_1 = 208$  К фазовый переход характеризуется смягчением упругого модуля  $C_{44}$  [5]. Однако в отличие от  $\text{RbAg}_4\text{I}_5$  кристаллы  $\text{Cu}_6\text{PS}_5\text{Br}$  являются

пьезоэлектрическими при комнатной температуре, что усложняет интерпретацию результатов исследования скорости и поглощения УЗВ в этом материале.

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Kuhs W. P., Nitsche R., Scheunemann K. // Mat. Res. Bul. 1976. V. 11. N 9. P. 1115—1124.  
 [2] Fiecher S., Eckstein J., Nitsche R. J. // Cryst. Growth. 1983. V. 61. N 2. P. 275—283.  
 [3] Студеняк И. П., Ковач Д. Ш., Панько В. В., Ковач Е. Т., Борец А. Н. // ФТТ. 1984. Т. 26. № 9. С. 2598—2602.  
 [4] Студеняк И. П., Ковач Д. Ш., Панько В. В., Ковач Е. Т., Перечинский С. И. // Материалы IV Всес. школы-семинара «Сегнетоэластики». 1988. С. 137.  
 [5] Graham L. J., Chang R. J. // Appl. Phys. 1975. V. 46. N 6. P. 2433—2438.

Вильнюсский государственный университет  
им. В. Капсукаса

Поступило в Редакцию  
14 декабря 1988 г.

Вильнюс  
Ужгородский государственный университет  
Ужгород

УДК 538.291

Физика твердого тела, том 31, в. 7, 1989  
Solid State Physics, vol. 31, № 7, 1989

## ФОРМА РАВНОМЕРНО ДВИЖУЩЕЙСЯ ДОМЕННОЙ ГРАНИЦЫ В ПРОВОДЯЩЕЙ ФЕРРОМАГНИТНОЙ ПЛЕНКЕ

С. И. Денисов

Отличие формы движущейся доменной границы (ДГ) от плоской в пленке проводящего ферромагнетика связано с неоднородностью магнитного поля вихревых токов [1]. В настоящей работе аналитически решена задача о влиянии на форму ДГ вихревых токов, индуцируемых равномерно движущейся ДГ. Предполагается, что 1) ДГ движется со скоростью  $v$  вдоль оси  $x$  системы координат  $xuz$ , плоскость  $xu$  которой совпадает со средней плоскостью пленки; 2) распределение намагниченности  $\mathbf{M}$  в области пленки однородно вдоль оси  $y$ :  $\mathbf{M} = M(\xi = x - vt, z)$ ; 3)  $\mathbf{M}(\pm\infty, z) = \mp M\mathbf{e}_y$ ,  $M$  — намагниченность насыщения,  $\mathbf{e}_y$  — единичный вектор вдоль оси  $y$ . Форма ДГ определяется как кривая  $f(z)$ , на которой  $M_y(f(z), z) = 0$ . При этом вследствие симметрии задачи  $f(z) = f(-z)$  и в сопутствующей системе координат на  $f(z)$  можно наложить граничные условия  $f(\pm h/2) = 0$  ( $h$  — толщина пленки). Кроме того, в непосредственной окрестности  $f(z)$  распределение намагниченности будем описывать выражениями  $M_x = M \operatorname{ch}^{-1}(n/\Delta) \sin \varphi(z)$ ,  $M_y = -M \operatorname{th}(n/\Delta)$ ,  $M_z = M \operatorname{ch}^{-1} \times \times (n/\Delta) \cos \varphi(z)$ , где  $n$  — координата, отсчитываемая по нормали от  $f(z)$ ;  $\Delta$  — параметр ширины ДГ;  $\varphi(z)$  — угол между вектором  $\mathbf{M}(f(z), z)$  и осью  $z$ . Тогда уравнение Ландау—Лифшица, записываемое при равномерном движении ДГ в виде

$$[\mathbf{M}, \ddot{\mathbf{H}} = \mathbf{H}_0 + \mathbf{H}_a + H\mathbf{e}_y + \mathbf{H}_b + (\alpha v/\gamma M) \partial \mathbf{M}/\partial \xi + (v/\gamma M^2) \mathbf{M} \times \partial \mathbf{M}/\partial \xi] = 0 \quad (1)$$

( $\mathbf{H}_0$  — обменное поле,  $\mathbf{H}_a$  — поле анизотропии,  $H\mathbf{e}_y$  — внешнее постоянное магнитное поле,  $\mathbf{H}_b$  — поле вихревых токов,  $\alpha$  — параметр затухания Гильберта,  $\gamma$  — гиромагнитное отношение), на кривой  $f(z)$  сводится к системе двух уравнений для  $f(z)$  и  $\varphi(z)$

$$\ddot{H}_y|_{\xi=f(z)} = 0, \quad (\ddot{H}_x \cos \varphi(z) - \ddot{H}_z \sin \varphi(z))|_{\xi=f(z)} = 0. \quad (2)$$

В случае  $\varepsilon = 4\pi\sigma v h/c^2 \ll 1$  ( $\sigma$  — проводимость материала,  $c$  — скорость света), соответствующем малой неоднородности магнитного поля