

Электромеханическая нелинейность Bi_2TeO_5

© А.М. Антоненко, К.В. Доморацкий, А.Ю. Кудзин, Л.Я. Садовская

Днепропетровский государственный университет,
49050 Днепропетровск, Украина
E-mail: elf@ff.dsu.dp.ua

(Поступила в Редакцию 5 октября 2000 г.)

Исследуется электромеханическая нелинейность монокристалла теллурита висмута (Bi_2TeO_5). Выявлено, что в данном материале преобладают нецентральные силы межатомного взаимодействия. Анализируется связь особенностей структуры Bi_2TeO_5 с его упругими свойствами.

Монокристалл Bi_2TeO_5 имеет ромбическую структуру и принадлежит пространственной группе $\text{Abm}2$. Параметры элементарной ячейки следующие: $a = 11.602$, $b = 16.461$, $c = 5.523 \text{ \AA}$. Основные структурные особенности этого материала — полярная ось, которая совпадает с кристаллографическим направлением $[001]$, и вполне совершенная плоскость спайности, соответствующая кристаллографической плоскости (100) [1].

При рассмотрении полной матрицы упругих постоянных теллурита висмута оказалось, что плоскость спайности и полярная ось в пределах экспериментальной ошибки в его упругих свойствах практически не проявляются [1,2]. Представляло интерес выявить причину такого неадекватного проявления свойств монокристалла Bi_2TeO_5 .

Для исследований были выращены монокристаллы теллурита висмута методом Чохральского [3]. Измерения проводились методом резонанса–антирезонанса.

Известно, что если для кристаллов выполняются следующие условия: 1) все силы взаимодействия между частицами, составляющими кристалл, центральные; 2) частицы сферически симметричны и расположены в центрах симметрии структуры; 3) в исходном состоянии какие-либо напряжения в кристалле отсутствуют, то это дает шесть дополнительных соотношений (соотношения Коши) между коэффициентами упругости: $C_{23} = C_{44}$, $C_{56} = C_{14}$, $C_{64} = C_{25}$, $C_{31} = C_{55}$, $C_{12} = C_{66}$, $C_{45} = C_{36}$ [4]. Для констант упругой жесткости теллурита висмута часть соотношений Коши приблизительно

выполняется [1,2]. Для оценки характера межатомного взаимодействия в этом монокристалле по упругим постоянным [1,2] произведен расчет угловой зависимости модулей сдвига $G_1 = \frac{1}{2(S_{23} + S_{33})}$ и $G_2 = \frac{1}{S_{44}}$. На рис. 1 представлены зависимости величин модулей G_1 и G_2 для Bi_2TeO_5 при повороте вокруг кристаллографических осей. В случае кубических кристаллов с центральными силами межатомного взаимодействия эти зависимости должны иметь одинаковый характер. Из рис. 1 видно, что зависимость G_1 заметно отличается от зависимости G_2 . Это свидетельствует об отсутствии центрального характера межатомного взаимодействия в монокристалле Bi_2TeO_5 , а следовательно, о преобладании сил некулоновского происхождения (непарных сил).

При малых амплитудах колебаний атомов характер упругих свойств Bi_2TeO_5 слабо зависит от типа сил межатомного взаимодействия в кристаллической решетке. Это может быть связано с незначительным отличием формы потенциалов взаимодействия между частицами для случаев центральных и нецентральных сил при малых амплитудах колебаний. С увеличением амплитуды заметную роль начинают играть нелинейные эффекты. Различие потенциалов должно сказываться больше, поскольку в первом случае потенциал симметричен, а во втором асимметричен. При больших амплитудах колебаний в случае непарных сил должны заметно проявляться силы отталкивания. Последние убывают с расстоянием гораздо быстрее, чем кулоновские или даже силы

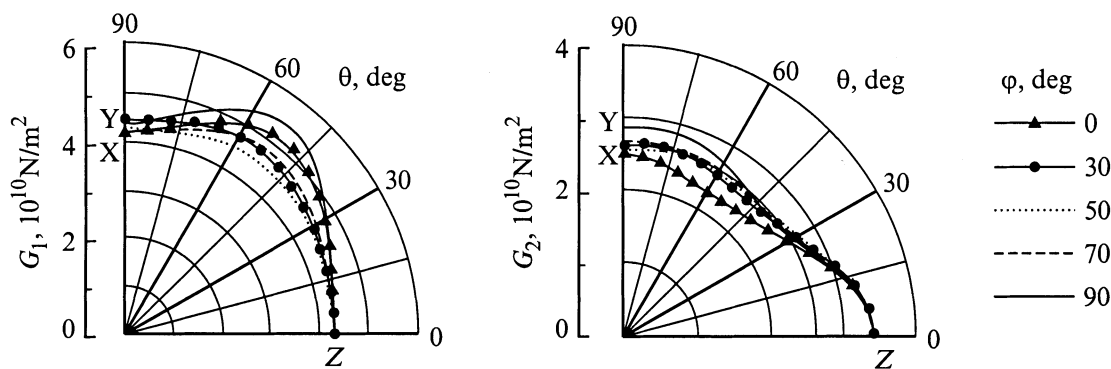


Рис. 1. Угловые зависимости модулей сдвига в монокристалле теллурита висмута (φ — угол между осями X и Y , θ — угол между осями Z и X , Z и Y).

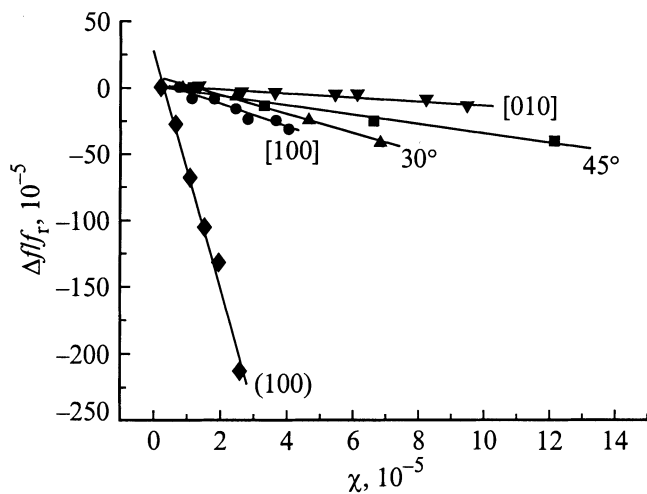


Рис. 2. Зависимость резонансной частоты от деформации, вызываемой электрическим полем, для различных образцов Bi_2TeO_5 .

Ван-дер-Ваальса [5]. Возможно, особенности структуры монокристалла Bi_2TeO_5 хорошо проявятся при нелинейных режимах.

Для подтверждения этого предположения в настоящей работе было проведено исследование электромеханической нелинейности теллуриата висмута. При комнатной температуре измерялись зависимости частот резонанса f_r , и антирезонанса f_a от амплитуды деформации (рис. 2). Использовались образцы в виде брусков, вырезанных вдоль осей [100], [001] и двух промежуточных направлений (30 и 45° к направлению [100]) в общей для них плоскости (010), и прямоугольных пластинок (100). Деформация χ_i вычислялась как $Q_m d_{ij} E_j$, где Q_m — механическая добротность образца, d_{ij} — пьезомодуль теллуриата висмута [2], E_j — прикладываемое электрическое поле (которое вызывает деформацию образца). Из рис. 2 видно, что монокристалл Bi_2TeO_5 проявляет заметную электромеханическую нелинейность при больших деформациях, особенно ярко этот эффект проявляется для пластинок (100).

Параметры исследованных образцов

Ориентация длины бруска	f_r , kHz	f_a , kHz	γ_i
[100]	146.075	146.170	-8.7 ± 1.4
30° к [100], в плоскости (010)	190.125	190.255	-7.3 ± 0.6
45° между [100] и [010], в плоскости (010)	166.630	166.925	-3.6 ± 0.5
[010]	130.390	130.500	-1.6 ± 0.2
Пластина (100)	748	765	-90 ± 5.0

В таблице сведены данные электромеханической нелинейности теллуриата висмута, представленные на рис. 2 в виде графиков. Величины $\gamma_i = \frac{1}{f_r} \frac{\partial f_r}{\partial \chi_i}$ характеризуют

усредненную степень ангармонизма кристаллической решетки в направлении i .

В случае когда в системе имеет место некоторое отклонение от закона Гука и необходимо учитывать влияние ангармонизма, силу взаимодействия F можно разложить в ряд и, ограничиваясь квадратичным членом, представить в виде $F = kr(1 + \gamma r)$, где $\gamma \approx \gamma_i$, k — жесткость, r — смещение.

Применяя выражение для силы ангармонического взаимодействия к случаю монокристалла Bi_2TeO_5 , получили:

- для направления [010] $\gamma = -2$, $F = kr(1 - 2r)$;
- для направления [100] $\gamma = -9$, $F = kr(1 - 9r)$;
- для плоскости (100) $\gamma = -90$, $F = kr(1 - 90r)$.

Из расчета, как и из рис. 2, видно, что для плоскости (100) относительно сдвиговой деформации сила межатомного взаимодействия очень резко убывает с расстоянием. Для других плоскостей этот эффект гораздо менее выражен.

Таким образом, выявлено, что в монокристалле Bi_2TeO_5 преобладает нецентральный характер межатомного взаимодействия, вследствие чего плоскость спайности, не обнаруживая себя в упругих характеристиках при линейных межатомных взаимодействиях, ярко проявляется даже при относительно небольших сдвиговых деформациях решетки.

Список литературы

- [1] S. Haussuhl, A. Peter, E. Hartmann. Cryst. Res. Technol. **29**, 3, K56 (1994).
- [2] A.M. Antonenko, K.V. Domoratsky, A.Yu. Kudzin, L.Ya. Sadovskaya. Cond. Matt. Phys. **2**, 4, 721 (1999).
- [3] K.V. Domoratsky, A.Yu. Kudzin, L.Ya. Sadovskaya, G.Ch. Sokolyanskii. Ferroelectrics **214**, 191 (1998).
- [4] П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов. Физика твердого тела: Учебное пособие для вузов. Высш. шк., М. (1985). 384 с.
- [5] П.П. Павинский. Введение в теорию твердого тела: Учебное пособие. Изд-во ЛГУ, Л. (1979). 256 с.