

- [9] Taylor L. A. // Annual. Rept. Carnegie Inst. 1970. V. 68. P. 259—270.
[10] Онуфриенко В. В., Звегинцев А. Г. // Изв. АН СССР, неорг. матер. 1982. Т. 18. № 3. С. 366—368.

Иркутский институт
инженеров железнодорожного транспорта

Поступило в Редакцию
16 октября 1990 г.

УДК 537.266.4

© Физика твердого тела, том 33, № 7, 1991
Solid State Physics, vol. 33, N 7, 1991

ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД В ТЕЛЛУРИДЕ ВИСМУТА

С. Ю. Стефанович, Л. Я. Садовская, А. М. Антоненко

Известно, что теллурид висмута Bi_2TeO_5 обладает сегнетоэлектрическими свойствами [1, 2]. Сведения о температуре фазового перехода этого кристалла противоречивы. В образцах, полученных спонтанной кристаллизацией, исчезновение сигнала второй оптической гармоники фиксировалось при температуре 55°C [3]. При температурных исследованиях электрических параметров кристаллов Bi_2TeO_5 , выращенных методом Чохральского, не были выявлены аномалии до температур 500°C , а сигнал генерации второй гармоники (ГВГ) наблюдался до 400°C [4]. Такие неоднозначные результаты обусловили необходимость дальнейшего изучения фазового перехода в монокристаллах высокого оптического качества номинального состава Bi_2TeO_5 . С этой целью в данной работе проведены исследования ГВГ в широком температурном районе ($20\text{--}830^\circ\text{C}$) и пьезоэлектрического эффекта.

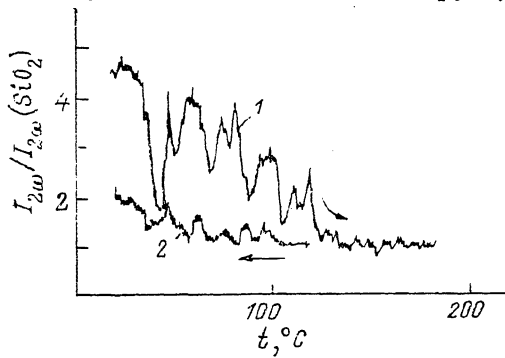
Кристаллы Bi_2TeO_5 принадлежат к ряду твердых растворов системы $\text{Bi}_{2(1-x)}\text{Te}_x\text{O}_{5-x}$ и были выращены из расплава, содержащего избыток TeO_2 , на затравку. Кристаллическая буля имела форму параллелепипеда с развитыми плоскостями спайности (001). Химический анализ кристалла соответствует $x=0$ и дает формулу Bi_2TeO_5 . Рентгенографический анализ подтверждает ромбическую сингонию с $a=16.45 \text{ \AA}$, $b=5.519 \text{ \AA}$, $c=11.602 \text{ \AA}$ [5].

Для изучения ГВГ использовались кристаллические образцы и мелкодисперсный порошок из этих кристаллов. Тестирование образцов осуществлялось по схеме «на отражение», особенности которой подробно описаны в [6]. При исследовании кристаллов плоскость (001) образца располагалась перпендикулярно лазерному лучу.

В кристалле номинального состава Bi_2TeO_5 при комнатной температуре наблюдался сигнал ГВГ, величина которого составляла несколько единиц кварцевого эталона. Температурная зависимость сигнала ГВГ $I_{2\omega}$ имела осцилляционный характер, свидетельствующий о высокой оптической однородности образца (рис. 1, кривая 1). Эти осцилляции не воспроизводятся в цикле нагрев—охлаждение. При первом нагреве осцилляции исчезают при $\sim 100^\circ\text{C}$. При последующих циклах нагрева осцилляционный вид зависимости $I_{2\omega}(I)$ приобретает сглаженный характер (рис. 1, кривая 2). Подобное аномальное поведение $I_{2\omega}(T)$ в кристалле Bi_2TeO_5 было воспринято в [3] как указание на фазовый переход вблизи 60°C .

Воспроизводимый температурный ход зависимости $I_{2\omega}$ получен на измельченном в мелкодисперсный порошок образце Bi_2TeO_5 после его предварительного отжига в течение 0.5 ч при температуре 500°C (рис. 2). При росте температуры сигнал монотонно уменьшается и исчезает выше 780°C . Переход в centrosymmetric фазу происходит без скачка, т. е. является переходом 2-го рода. Интенсивность сигнала ГВГ при $T > 780^\circ\text{C}$ составляет 0.1 от величины кварцевого эталона. Аналогичные «хвосты» сигнала в centrosymmetric фазах отмечаются и в других

сегнетоэлектриках [7]. В интервале 400–780 °С зависимость $I_{2\omega}(T)$ имеет квадратичный характер, что показывает на линейность зависимости $P_s(T)$ при $T \rightarrow T_c$ и позволяет с большей достоверностью отнести материал к группе несобственных сегнетоэлектриков. Соотношение $P_s \sim \sqrt{I_{2\omega}}$ для порошков Bi_2TeO_5 и BaTiO_3 дает для первого оценочное значение $P_s \sim 8 \div 10$ мкКл/см². Описанные выше особенности поведения $I_{2\omega}(T)$ для кристалла выше комнатной температуры позволяют предположить существование доменной структуры, легко перестраиваемой при



20–120 °С, стенки которой вносят искажения в осцилляционный ход $I_{2\omega}(T)$.

Направление полярной оси определено в результате пьезоэлектрических исследований кристалла. Пьезоэлектрические коэффициенты Bi_2TeO_5 вычис-

Рис. 1. Вторая гармоника в монокристалле теллурида висмута в цикле нагрев (1)—охлаждение (2).

лялись по частотам резонанса и антирезонанса собственных колебаний образцов в форме брусков и пластин, вырезанных в геометрии, соответствующей стандарту IEEE [8].

При приложении электрического поля вдоль a оси обнаружен лишь пьезоэлектрический коэффициент $e_{16} = 2.7 \cdot 10^{-1}$ Кл/м². Для поля, приложенного по c оси, определен $e_{34} = 8.1 \cdot 10^{-2}$ Кл/м². Только для оси b обнаружены толщинные колебания, соответствующие $e_{22} = 7.8 \cdot 10^{-1}$ Кл/м²,

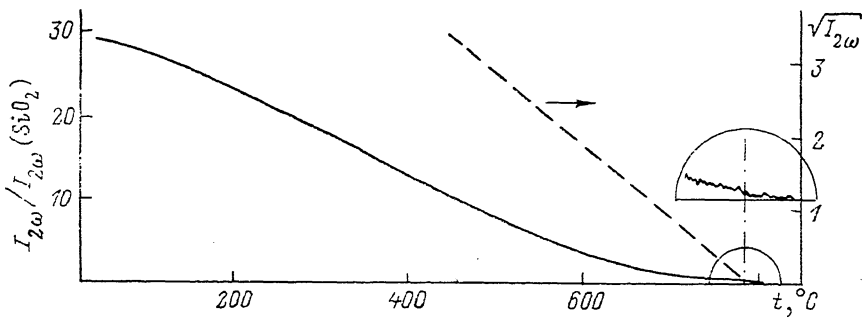


Рис. 2. ГВГ для измельченного монокристалла теллурида висмута в режиме охлаждения (сплошная линия) и его спонтанная поляризация ($P_s \sim \sqrt{I_{2\omega}}$) вблизи T_c (птрихи).

и продольные колебания бруска, соответствующие $d_{21} = (1.2 \pm 0.4) \times 10^{-11}$ Кл/Н. Из-за слоистости кристалла не удалось получить образец с геометрией, позволяющей достоверно определить пьезомодуль d_{23} .

Из проведенных измерений можно определить скорости распространения акустических волн. Для продольных волн $v_{11} = (2.97 \pm 0.1) \cdot 10^3$ и $v_{22} = (3.41 \pm 0.02) \cdot 10^3$ м/с, для сдвиговых $v_{32} = 1.88 \cdot 10^3$ и $v_{12} = 2.13 \cdot 10^3$ м/с. Здесь первый индекс соответствует направлению распространения волны, а второй—ее поляризации. Полученные значения коррелируют с результатами измерений скоростей акустических волн, осуществленных эхо-импульсной методикой и методом Шеффера—Бергмана.

Таким образом, определенные пьезокоэффициенты образуют матрицу, соответствующую точечной группе $m2m$ и направлению соответственно полярной оси вдоль b .

Проведенные исследования показали, что в наблюдаемых кристаллах имеет место фазовый переход 2-го рода при 780 °С в centrosymmetricную

фазу. Экспериментально подтвержден несобственный характер этого сегнетоэлектрика, спонтанная поляризация которого располагается в плоскости спайности кристалла.

Список литературы

- [1] Демина Л. А., Долгих В. А., Поповкин Б. А., Стефанович С. Ю. и др. // Тез. докл. Всес. конф. физико-химические основы технологии получения сегнетоэлектриков и родственных материалов. Звенигород, 1990. С. 18.
- [2] Simon A., Raves J., Hagemuller P., Frit B. // Solid State Commun. 1979. V. 29. P. 815—819.
- [3] Долгих В. А., Демина Л. А., Стефанович С. Ю., Поповкин В. А. и др. // Изв. АН СССР, неорг. матер. 1985. Т. 21. № 3. С. 469—471.
- [4] Avramenko V. P., Kidzin A. Ju., Reprentcheva S. P., Sadovskaya L. Ja., Sokolian-skii G. X. // Ferroelectrics. 1988. V. 82. P. 173—178.
- [5] Куча В. В., Хомич А. В., Кравченко В. Б., Перов П. И. // Изв. АН СССР, неорг. матер. 1984. Т. 29. № 2. С. 314—318.
- [6] Леонов А. П., Стефанович С. Ю. // Получение и применение сегнето- и пьезоматериалов в народном хозяйстве. М., МДНТП, 1984. С. 21—26.
- [7] Стефанович С. Ю., Струков Б. А., Веневцев Ю. Н. // Оптика анизотропных сред. М., МФТИ. 1985. С. 57—60.
- [8] An American National Standart: IEEE Stand on Piezoelectricity. Std., 1976—1978.

Днепропетровский государственный университет
им. 300-летия
воссоединения Украины с Россией

Поступило в Редакцию
1 ноября 1990 г.

УДК 621.315.592

© Физика твердого тела, том 33, № 7, 1991
Solid State Physics, vol. 33, N 7, 1991

КАРБИД КРЕМНИЯ, ОБЛУЧЕННЫЙ ВЫСОКИМИ ДОЗАМИ НЕЙТРОНОВ

А. А. Лепнева, Е. Н. Мохова, В. Г. Одина, А. С. Трезубова

Введение радиационных дефектов (РД) в SiC путем нейтронного облучения позволяет управляемо получать этот материал с высокой степенью компенсации [1]. К тому же РД в SiC являются центрами эффективной излучательной рекомбинации в зеленой (политип 6H) или голубой (политип 4H) областях спектра [1, 2], что представляет интерес в связи с созданием светодиодов.

Нейтронное облучение в принципе перспективно и для трансмутационного легирования SiC фосфором [3]. Однако информация по нейтронному облучению полупроводникового SiC ограничивалась преимущественно диапазоном доз 10^{17} — 10^{19} см⁻². Между тем результаты работ [4, 5] однозначно указывают на то, что природа дефектных центров, их термическая стабильность в значительной степени определяются именно величиной дозы облучения. Несмотря на это, влияние высоких доз нейтронного облучения $\Phi \geq 10^{20}$ см⁻² на свойства SiC изучено недостаточно.

В настоящей работе исследованы оптическое пропускание, люминесценция, а также структурное совершенство и химическая активность монокристаллического SiC, облученного высокими дозами реакторных нейтронов ($\Phi = 10^{20}$ — 10^{21} см⁻²), что позволило установить условия облучения, приводящие к аморфизации кристалла.

Использовались образцы SiC, выращенные методом Лели, политипов 6H и 15R, *n*-типа проводимости с концентрацией нескомпенсированных доноров $(N_D - N_A) = 1 \cdot 10^{17}$ — $3 \cdot 10^{18}$ см⁻³. Образцы имели низкую плотность дислокаций $\sim 10^{-2}$ см⁻². Облучение кристаллов нейтронами проводилось в реакторе промышленного типа, причем доля потока быстрых нейтронов составляла 10 %.