ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

УДК 548.4:631.385

ИЗМЕНЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДИССИПАТИВНЫХ СВОЙСТВ МОНОКРИСТАЛЛОВ Cds

Г. В. Бушуева, Г. М. Зиненкова, В. И. Решетов, М. И. Силис

(кафедра молекулярной физики и физических измерений)

Исследованы диссипативные свойства монокристаллов CdS в процессе ультразвукового воздействия с использованием метода двухсоставного пьезоэлектрического осциллятора. Эксперименты проводились на частотах порядка 100 кГц при амплитудах относительной деформации вплоть до 5·10⁻⁴. Показано, что ультразвуковое воздействие может приводить к изменениям диссипативных свойств, прочностных характеристик и вызывать перестройку дислокационной структуры кристаллов CdS.

Известно, что физические свойства кристаллов могут изменяться под влиянием высокочастотной вибрации в килогерцевом диапазоне частот [1, 2]. За изменениями этих свойств удобно следить, возбуждая в образцах стоячую ультразвуковую волну. Эту ситуацию можно создать, используя двухсоставной пьезоэлектрический осциллятор кварц—образец [3]. Высокочувствительным методом, позволяющим регистрировать изменение диссипативных свойств образцов непосредственно в процессе ультразвукового воздействия, является определение зависимости силы тока смещения I, текущего через кварц, от приложенного к нему напряжения V_{ent} . В дальнейшем зависимость $I(V_{ent})$ будем называть вольт-амперной характеристикой (ВАХ) составного осциллятора.

Целью данной работы является исследование изменения диссипативных свойств в процессе деформирования ультразвуком специально не легированных кристаллов CdS, как высокоомных, так и низкоомных. Для исследования структурных дефектов использовались методы внутреннего трения и химического избирательного травления. Для т, авления применялся раствор ZnCl₂ в соляной кислоте [4]. Было исследовано 11 низкоомных и 3 высокоомных монокристаллических образца. Образцы вырезались в виде стержней с квадратным сечением так, что их длинная ось лежала в плоскости призмы первого рода {1010} под различными углами к оси [0001]. Размеры образцов выбирались так, чтобы выполнялись резонансные условия возбуждения продольной стоячей ультразвуковой волны по длине стержия.

Все исследованные образцы в исходном состоянии, вне зависимости от того, низкоомные они или высокоомные, по виду ВАХ можно разделить на три группы (рис. 1).

К первой группе относятся «жесткие» образцы, ВАХ которых имеют вид прямых с близкими углами наклона (рвс. 1, кривые 3, 4, 6-9, 12, 13). Из восьми образцов этой группы семь разрушились в процессе испытания. Разрушение происходило при амплитудах напряжения от 13 до 45 МПа (ток I от 1,25 до 3,0 мА, рис. 1). Внутреннее трение Q^{-1} для образцов этой группы лежит в интервале от $2 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^{-4}$, при этом для каждого образца оно практически не изменяется с повышением амплитуды деформации.

Для второй группы образцов ВАХ располагались значительно ниже, чем для первой (рис. 1, кривые 1, 5, 10, 11), что свидетельствует о большей диссипации механической энергии в них. Так как образцы второй группы не разрушались в исследованном интервале амплитуд деформации, их можно было деформировать многократно. На ВАХ этой группы образцов наблюдаются особенности (отмечены стрелками на рис. 1), связанные с изменением состояния или концентрации структурных дефектов в образцах [1]. При этом обнаруживаются зависимости внутреннего трения и резонансной частоты fr от времени.



Рис. 1. ВАХ исследованных образцов. І группа — кривые 3, 4, 6—9, 12, 13; ІІ группа — кривые 1, 5, 10, 11; ІІІ группа — кривые 2, 14; низкоомные образцы — кривые 4—14; высокоомные образцы — 1—3; крестик соответствует разрушению образца; V_{епt} — входное напряжение



Рис. 2. Зависимости резонансной частоты f_r , внутреннего трения Q^{-1} и входного напряжения V_{ent} от времени t деформации для образца 10 (1-е, 4-е испытания)

Поведение образцов этой группы рассмотрим на примере образца 10. Он деформировался четыре раза (далее индекс в скобках обозначает номер испытания). От 1-й до 4-й деформации предельная амплитуда напряжений постепенно повышалась. В первых трех испытаниях величина тока не превышала 1,3 мА. При 4-й деформации ток достиг 1,62 мА, а вблизи I=1,42 мА на ВАХ появилась особенность, обозначенная буквами CC'DD' на рис. 1. ВАХ при испытаниях до I=1,3 мА практически совпадали, а кривые $Q^{-1}(\varepsilon)$ менялись от испытания к испытанию (є — амплитуда деформации). В процессе 4-й деформации при $\varepsilon \sim 4 \cdot 10^{-4}$ наблюдались пик и неоднозначность $Q^{-1}(\varepsilon)$, которые соответствовали особенности на ВАХ. Особенность СС'ДД' на ВАХ (см. рис. 1сопровождалась резким падением резонансной частоты (CC'DD' на кривой $f_r^{(4)}(t)$, рис. 2) и максимумом CC'DD' на кривой $Q_{(4)}^{-1}(t)$ (рис. 2). Подобные зависимости $Q^{-1}(t)$ и $f_r(t)$ в сочетании с неоднозначностью Q⁻¹(є) наблюдались в GaP и были связаны с образованием трещин под воздействием ультразвука [5]. Следует отметить, что в процессе последовательных испытаний наклон ВАХ образца 10 несколько увеличивался, что свидетельствовало об упрочнении образца [1].

Каждое из последовательных ультразвуковых испытаний можно рассматривать как предварительную ультразвуковую обработку для последующего, влияние которой на внутреннее трение и резонансную частоту можно проиллюстрировать рис. 3, где приведены зависимости $Q^{-1}(\sigma_{\text{prev}}^0)$ и $f_r(\sigma_{\text{prev}}^0)$ $(\sigma_{\text{prev}}^0 -$ максимальная амплитуда напряжения при предварительной ультразвуковой обработке). Видно, что если при σ⁰prev<19 МПа резонансная частота меняется слабо, то выше ЭТОГО значения она резко (∆f≃ падает $\simeq 70$ Гц). Кривая внутреннего трения примерно при тех же о° prev про-I.MA ходит через минимум. Аналогичная зависимость внутреннего трения ха-1.5 рактерна для ионных кристаллов и металлов. При ЭТОМ уменьшение Q-1 связано с перестройкой дефектной структуры, а рост Q^{-1} обуслов-

нои структуры, а рост Q обусловлен размножением дислокаций [1]. В монокристаллах CdS подобная же зависимость внутреннего трения наблюдалась при возбуждении ультразвуковых колебаний за счет собственного пьезоэффекта [6—8] и



Рис. 3. Зависимости резонансной частоты (темные кружки) и внутреннего трения (светлые кружки) при малой амплитуде деформации (ε<10⁻⁴) от амплитуды напряжений предварительной ультразвуковой обработки о⁰ргеу (образец 10)



Рис. 4. ВАХ образца 14 при повышении (сплошные кривые) и снижении (штриховые) V_{ent}; 1—7 — номера испытаний

также объяснялась авторами упорядочением дефектной структуры и последующей генерацией собственных дефектов.

Третью группу составляют неразрушившиеся «жесткие» образцы (рис. 1, кривые 2, 14), которые затем подвергались повторным испытаниям в режиме возрастающей и убывающей амплитуды. Их ВАХ имеет ярко выраженную петлю гистерезиса, что, согласно [1], свидетельствует об изменении диссипативных свойств образцов под воздействием ультразвука.

Рассмотрим поведение образца 14. Изменение его ВАХ при последовательных испытаниях показано на рис. 4. Видно, что при возрастании Vent ВАХ при 1-5-й деформациях практически совпадают и, за исключением конечных участков, представляют собой прямые линии. При понижении Vent во время 1-4-го испытаний наклон ВАХ также одинаков, а площадь петель гистерезиса возрастает лишь за счет увеличения предельного значения Vent. Во время 5-й деформации при достижении I=1.38 мА возникает заметная нестабильность I (см. участок АВ на рис. 4). При следующих деформациях наклон ВАХ становится все более пологим. Таким образом, в этом случае ультразвуковая обработка приводит к разупрочнению кристалла. Во время 6-го испытания при достижении Vent=43 В наблюдается резкое падение I; площадь петли гистерезиса существенно возрастает. При 7-м испытании ВАХ образца 14 попадает в область ВАХ, характерную для образцов второй группы. При 1-5-м испытаниях внутреннее трение практически не зависит ни от времени, ни от амплитуды ультразвука, подобно тому как это имело место для образцов первой группы. После 5-го испытания Q⁻¹ становится зависимым от времени и амплитуды деформации. При достижении $\sigma^0_{\text{prev}} \sim 19 \text{ M}\Pi a$ (после 5-го испытания) $Q^{-1}(\sigma^0_{\text{prev}})$ навозрастать, а fr — уменьшаться. Результаты избирательного чинает травления показали, что распределение дислокаций в образце стало более равномерным.

Таким образом, представленные выше данные показывают, что ультразвуковое воздействие может приводить к существенным изменениям диссипативных свойств, вызывать изменение прочностных характеристик и перестройку дислокационной структуры кристаллов CdS.

Авторы выражают глубокую признательность Н. А. Тяпуниной за полезные дискуссии, сделанные замечания и постоянный интерес к работе.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Тяпунина Н. А.//Физика деформационного упрочнения в монокристаллах. Кнев, 1972. С. 228. [2] Švidkovskij Е. G., Тјарипіпа N. А., Веlozerova Е. Р., Le Van.//Acta Crys. 1966. 21. Р. 186. [3] Швидковский Е. Г., Дургарян А. А.//Науч. докл. высшей школы — Физ.-мат. науки. 1957. 1, № 5. С. 211. [4] Струкова Г. К. Автореф. дис... канд. ф.-м. наук (ИФТТ АН СССР). Черноголовка, 1982. [5] Zinenkova G. M., Klimm D., Wagner G. et al./Cryst. Res. Technol. 1988. 23, N 8. Р. К121. [6] Здебский А. П., Остапенко С. С., Савчук А. У., Шейнкман М. К.//Письма в ЖТФ. 1984. 10, № 20. С. 1243. [7] Здебский А. П., Миронюк Н. В., Остапенко С. С. и др.//ФТП. 1986. 20, № 10. С. 1861. [8] Островский И. В., Лысенко В. Н.//ФТТ. 1984. 26, № 2. С. 531.

Поступила в редакцию 27.12.89