shov V. V. et al. J. Phys. B, 1980, 13, p. L269. [10] Martin N. L. S., Ross K. J. J. Phys. B, 1982, 15, p. 3959. [11] Kabachnik N. M., Sazhina I. P. J. Phys. B, 1976, 9, p. 1.

Поступила в редакцию. 06.12.82

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА, СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1983, Т. 24, № 5

УДК 539.67

АМПЛИТУДНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ В КРИСТАЛЛАХ ИОДИСТОГО ЦЕЗИЯ

Г. З. Курбанов, Е. К. Наими, Н. А. Тяпунина

(кафедра молекулярной физики)

Параметры, характеризующие дислокации и их взаимодействие с точечными дефектами в кристаллах CsI, изучались на основе данных, полученных при макроскопической деформации в режиме статического нагружения [1]. Для определения параметров, характерных для динамического режима нагружения, могут быть использованы результаты измерений внутреннего трения (ВТ). Однако, насколько нам известно, дислокационное ВТ в CsI не исследовалось. Цель настоящей работы — получить экспериментальные данные о дислокационном ВТ в CsI.

При изучении дислокационного BT следует учитывать анизотропию кристаллов. Анизотропия дислокационного BT обусловлена главным образом анизотропией пластических свойств кристаллов, т. е. возможным для данной структуры набором систем скольжения; она заметно



Рис. 1. Ориентация образцов при измерениях внутреннего трения

проявляется даже в кристаллах кубической сингонии [2]. Вклад каждой системы скольжения определяется ориентационным фактором и параметрами, характеризующими дислокации данной системы скольжения [3].





Исследования дислокационного ВТ разумно начать на образцах таких ориентаций, при которых контролирующим будет вклад системы легкого скольжения (главной системы скольжения). В кристаллах CsI, согласно [4], главной является система скольжения {110} (100). Ориентацию образцов будем характеризовать углом а между осью симметрии 4-го порядка кристалла и продольной осью образца, вдоль которой устанавливается стоячая ультразвуковая волна растяжения сжатия. Схема, иллюстрирующая ориентацию образцов, приведена на рис. 1. Действующая компонента внешнего приложенного знакопеременного напряжения о всегда оставалась в плоскости (001), угол а изменялся в пределах от 0 до 90°. Ориентационный фактор для данной системы скольжения согласно [3] принимался равным

где

$$\Omega = \sum_{i=1}^{6} \Omega_i,$$

$\Omega_i = E(\mathbf{l}) m_i^2(\mathbf{l}, \mathbf{p}, \mathbf{q}) / G_i(\mathbf{p}, \mathbf{q}),$

 $E(\mathbf{l})$ — модуль Юнга вдоль оси образца, $m_i(\mathbf{l}, \mathbf{p}, \mathbf{q})$ — фактор Шмида, $G_i(\mathbf{p}, \mathbf{q})$ — модуль сдвига для данной системы скольжения (**l**, **p** и **q** — единичные векторы соответственно вдоль оси образца, нормали к плоскости скольжения и направления скольжения).

Результаты расчета ориентационных факторов Ω_i для различных плоскостей главной системы скольжения в CsI приведены на рис. 2. Из шести семейств скольжения два — (110) [001] и (110) [001] — не будут вносить вклад в ВТ, так как ориентационный фактор для них равен нулю при всех α . Четыре других, по условиям симметрии, имеют равные ориентационные факторы, максимумы которых соответствуют углу $\alpha = 45^{\circ}$ (рис. 2). Суммарный ориентационный фактор (1) для главной системы скольжения будет проходить через максимум также при $\alpha = 45^{\circ}$ и иметь нулевые значения при $\alpha = 0$ и 90°. Отметим, что

вторичные системы скольжения могут вносить вклад в ВТ при $\alpha = 0$ и 90°, но не имеют максимума при $\alpha = 45^{\circ}$ [5].

Таким образом, для изучения вклада в дислокационное ВТ главной системы скольжения наиболее благоприятной будет ориентация образцов с $\alpha = 45^\circ$, на которых и было проведено исследование амплитудной зависимости ВТ.

Рис. 3. Зависимость внутреннего трения образца CsI от амплитуды относительной деформации, ориентированного по [110] (α=45°)



ВТ измерялось по методу двухсоставного резонансного осциллятора [6] на частоте 66 кГц при комнатной температуре. За меру ВТ принималась величина, обратная добротности осциллятора, Q⁻¹. Метод составного осциллятора удобен тем, что позволяет следить за изменением состояния образцов по вольт-амперным характеристикам (ВАХ), вид которых показывает, какие изменения в образце вызывает действие ультразвука в процессе измерений ВТ [7].

Пример результатов измерения амплитудной зависимости ВТ в кристаллах CsI показан на рис. 3. Кривая 1 соответствует амплитудной зависимости ВТ в образце CsI непосредственно после монтажа составного осциллятора, который оказался пластически деформированным. Отметим, что поскольку кристаллы CsI достаточно пластичны, избежать их деформации в процессе приготовления образца нужной ориентации и склейки его с кварцем не удается. Кривая 2 рис. 3 представляет результаты измерения ВТ, выполненные на том же образце, но после длительного его отдыха при комнатной температуре (в течение

5*

(1)

трех месяцев). Как следует из рис. 3, в кристаллах CsI обнаруживается характерная для дислокационного механизма амплитудная зависимость ВТ. При амплитудах относительной деформации $\varepsilon^0 \leq 10^{-5}$ наблюдается амплитудно-независимая область, затем начинается рост $Q^{-1}(\varepsilon^0)$. Подчеркнем, что в процессе измерений ВТ действие ультразвука не вызывало пластической деформации образца. Это следует из вида ВАХ. Во всем исследованном интервале амплитуда механических напряжений σ^0 в стоячей ультразвуковой волне не превосходила статического предела текучести, приблизительно равного для кристаллов CsI 0,8 МПа [4]. Известно, что для ионных кристаллов динамический предел текучести в килогерцевом диапазоне частот превосходит статический [7—8].

Различия значений амплитудно-независимого BT Q_{21}^{-1} и Q_{02}^{-1} протяженности этих участков (см. рис. 3), согласно современным представлениям о дислокационном ВТ, могут быть связаны с тем, что в процессе отдыха (старения) образца происходит осаждение точечных дефектов на дислокациях, которое приводит к изменению распределения дислокационных петель по длинам и уменьшению эффективной длины петель late. Значение амплитудно-независимого BT при этом также должно уменьшиться в соответствии с законом $Q_0^{-1} \sim l_{3\phi\phi}^4$ [9]. Протяженность амплитудно-независимого интервала ВТ определяется напряжением отрыва дислокаций от слабых центров закрепления, причем $\sigma_{0,TD} \sim \sqrt{n} [10]$, где n — полное число центров закрепления на линии дислокации. По данным, приведенным на рис. 3, можно оценить относительные изменения п и l_{афф} в результате старения образца. Плотность центров закрепления на линии дислокации возрастает в $n_2/n_1 =$ $= (\epsilon_2^0/\epsilon_1^0)^2 = 1,44$ раза (см. рис. 3). Во столько же раз уменьшается эффективная длина петли. Отношение ε20/ε10 определялось по протяженности линейных участков ВАХ, которые снимались в процессе воздействия ультразвука. В работах [7, 11] показано, что отклонение от линейной зависимости свидетельствует об изменении состояния образца и соответствует началу амплитудной зависимости ВТ. В результате изменения числа центров закрепления на линии дислокации значение $Q_{01}^{-1}/Q_{02}^{-1} =$ амплитудно-независимого ВТ должно измениться в $= (l_{эфф 1}/l_{эфф 2})^4 = 4,3$ раза, что в пределах ошибки измерений ВГ $(\approx 15\%)$ совпадает со значением $Q_{01}^{-1}/Q_{02}^{-1} = 3.7$, рассчитанным по данным эксперимента.

Таким образом, экспериментальное исследование ВТ и сделанные оценки показывают, что в кристаллах иодистого цезия, ориентированных вдоль направления [110], имеет место дислокационное поглощение ультразвука, зависящее от амплитуды деформации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Урусовская А. А. Автореф. докт. дис. М.: ИКАН СССР, 1980. [2] Тяпунина Н. А., Наими Е. К. и др. Кристаллография, 1975, 20, № 3, с. 592. [3] Green R. E., Hinton T. Trans. Met. Soc. AIME, 1966, 236, N 4, р. 435. [4] Урусовская А. А., Сизова Н. Л., Рожанский В. Н. Кристаллография, 1971, 13, № 2, с. 376. [5] Курбанов Г. З., Тяпунина Н. А. Деп. ВИНИТИ № 1030-82. [6] Швидковский Е. Г., Дургарян А. А. Науч. докл. высш. школы. Физ.-мат. науки, 1958, 1, № 5, с. 211. [7] Тяпунина Н. А. В кн.: Физика деформационного упрочнения монокристаллов. Кнев, 1972, с. 228-246. [8] Туарипіпа N. А., Zinenkova G. M., Shtrom E. V. Phys. Stat. Solidi (a), 1978, 46, р. 327. [9] Гранато А., Люкке К. В кн.: Ультразвуковые методы исследованыя лислокаций. М.: ИЛ, 1963, с. 27-57. [10] Suprun I. T. Phys. Stat. Solidi (a), 1981, 66, р. 361. [11] Тяпунина Н. А. и др. Изв. вузов. Сер. Физика, 1982, 6, с. 118.

Поступила в редакцию 06.12.82