

зового синхронизма сразу для всех спектральных составляющих падающего света. Поэтому составляющие испытывают разный фазовый сдвиг $\Delta\varphi$, что приводит к пространственной фазовой модуляции дифрагированного излучения. Этот эффект необходимо учитывать при расчете АО устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Балакшиев В. И., Никанорова Е. А., Парыгин В. Н. Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон., 1983, 24, № 6, с. 70. [2] Парыгин В. Н. Радиотехн. и электроника, 1974, 19, № 1, с. 38. [3] Волошинов В. Б., Парыгин В. Н., Чирков Л. Е. Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон., 1976, 17, № 3, с. 305.

Поступила в редакцию
05.12.84

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1985, Т. 26, № 6

УДК 539.67

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЙ ОРИЕНТАЦИИ НА ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ В МОНОКРИСТАЛЛАХ CsI

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

(кафедра молекулярной физики)

1. **Введение.** Известно, что внутреннее трение (ВТ) весьма чувствительно к структурным изменениям кристаллической решетки и зависит от типа, плотности и характера взаимодействия различных дефектов в кристаллах. На основании измерений ВТ можно получить дополнительную информацию о дефектах кристаллической решетки, которую нельзя извлечь другими способами. В частности, по ориентационной зависимости ВТ можно судить об активности различных систем скольжения дислокаций в кристаллах, не подвергая их пластической деформации. Эта возможность метода ВТ была продемонстрирована на кристаллах типа NaCl и ГПУ металлах [1—4]. В связи с этим представляет интерес также исследовать ориентационную зависимость ВТ в кристаллах типа CsI. Монокристаллы CsI являются удобным для этой цели объектом исследования, поскольку в них благодаря ионным связям дислокации не диссоциируют на частичные с образованием дефекта упаковки.

2. **Техника эксперимента.** Для измерения ВТ и осуществления пластической деформации образцов в режиме высокочастотной вибрации использовался метод составного пьезоэлектрического осциллятора [5]. За меру ВТ принималась величина, обратная добротности осциллятора, Q^{-1} . Для перехода от измерений ВТ к пластической деформации образцов достаточно было увеличить амплитуду переменного напряжения, подаваемого на обкладки пьезокварца. Контроль за изменением состояния образца осуществлялся по вольт-амперным характеристикам (ВАХ) составного осциллятора [6]. Амплитуда деформации ϵ_0 варьировалась в пределах от 10^{-6} до 10^{-3} . Все измерения проводились при комнатной температуре и остаточном давлении воздуха 10^{-3} Па.

Образцы монокристаллов CsI различной ориентации выпиливались нитяной пилой из одной пластинки, две поверхности которой были параллельны плоскости (001). Ориентация образцов характеризовалась

полярным углом α между осью симметрии кристалла 4-го порядка и продольной осью образца 1, вдоль которой возбуждались колебания; азимутальный угол у всех образцов был одинаковым (90°). Длина образцов с различным α подбиралась исходя из условия резонансного возбуждения стоячей ультразвуковой волны на основной частоте пьезокварца, равной 66 кГц. Дислокации в кристаллах выявлялись методом избирательного травления.

3. Влияние предварительной пластической деформации на ВТ в кристаллах CsI можно проследить, подвергая образец многократным нагружениям в режиме высокочастотной вибрации. Наиболее удобны для этой цели образцы с углом ориентации $\alpha = 45^\circ$. Для этих образцов в четырех (из шести) эквивалентных системах легкого скольжения $\langle 100 \rangle \{110\}$, характерных для кристаллов CsI при комнатной температуре [7, 8], амплитуды скальвающих напряжений одинаковы и максимальны, а в двух других равны нулю [9, 10].

Результаты эксперимента приведены на рис. 1, где показаны зависимости ВТ от амплитуды скальвающего напряжения τ в плоскости (110) при четырех последовательных испытаниях. Из сравнения

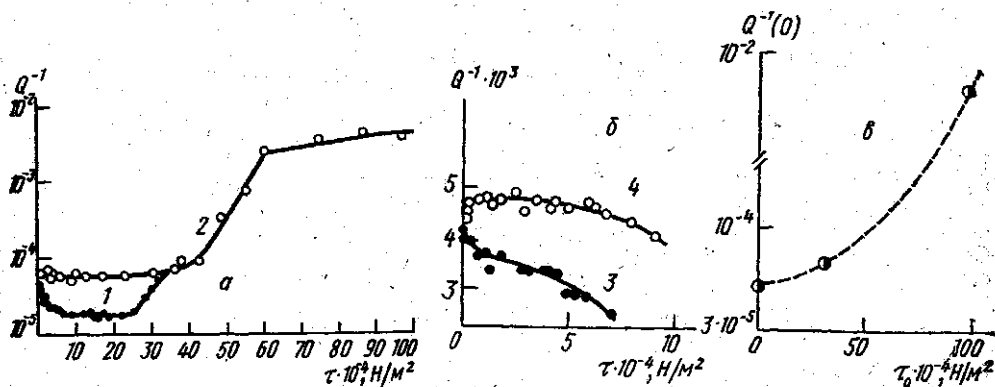


Рис. 1. Результаты последовательных испытаний образца CsI (ориентация $\langle 110 \rangle$, $\alpha = 45^\circ$): а — зависимость ВТ от амплитуды скальвающего напряжения в плоскости легкого скольжения $\{110\}$ при двух последовательных испытаниях (1 и 2); б — начальные участки зависимости $Q^{-1}(\tau)$; в — зависимость $Q^{-1}(0)$ от амплитуды скальвающего напряжения τ_0 предварительной пластической деформации в трех испытаниях

кривых 1 и 2 рис. 1, а видно, что предварительная пластическая деформация влияет не только на величину амплитудно-независимого ВТ, но и на ход всей амплитудной зависимости $Q^{-1}(\tau)$. В области малых амплитуд деформации ($\epsilon_0 < 10^{-6}$) просматривается тенденция уменьшения ВТ с ростом τ . Эта особенность более четко просматривается на кривых 3 и 4 рис. 1, б. Таким образом, амплитудная зависимость ВТ обнаруживается в двух интервалах скальвающего напряжения — при $\tau < 10^5 \text{H/M}^2$ и $\tau > 2,5 \cdot 10^5 \text{H/M}^2$. В первом и в особенности во втором испытаниях был превзойден статический предел текучести, который, согласно [11], для кристаллов CsI составляет $(0,5-1,0) \cdot 10^5 \text{H/M}^2$.

Изменение состояния образца носит необратимый характер, при этом конечное значение ВТ предыдущего испытания совпадает с начальным значением последующего, несмотря на то что испытания проводились с перерывом во времени. Между 1-м и 2-м испытаниями перерыв составлял сутки, а между 2-м и 3-м — около трех месяцев. Тот

факт, что в результате действия ультразвука имела место пластическая деформация образцов, подтверждается относительным расположением ВАХ, соответствующих последовательным испытаниям (рис. 2, 4—6), а также данными избирательного травления. Рост ВТ в результате предварительной пластической деформации (см. рис. 1, а, на котором приведена зависимость значений Q^{-1} , экстраполированных на нулевые

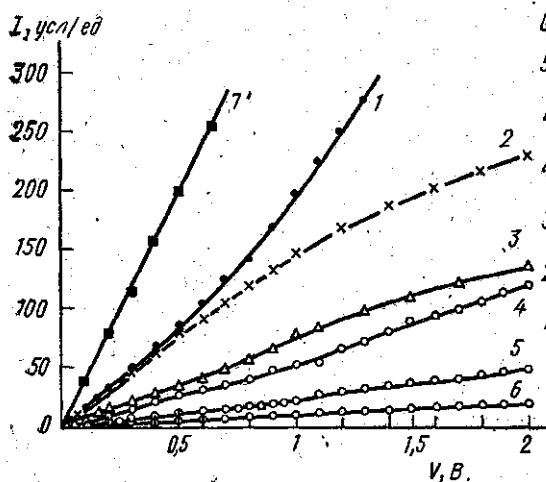


Рис. 2. ВАХ составного осциллятора с образцами CsI различной ориентации: 1, 2, 3 и 4 — $\alpha=0, 10, 20$ и 45° соответственно; 5 и 6 — ВАХ составного осциллятора с образцом CsI, ориентированным по $\langle 110 \rangle$, при двух последовательных испытаниях; 7 — ВАХ ненагруженного кварца

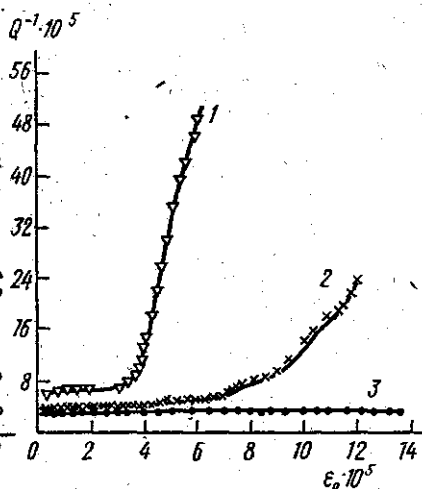


Рис. 3. Амплитудная зависимость ВТ в различно ориентированных образцах CsI: $\alpha=0$ (3), 10 (2) и 20 (1)

амплитуды скалывающего напряжения, от амплитуды скалывающего напряжения предварительной деформации) указывает на дислокационную природу механизма ВТ.

4. Ориентационная зависимость ВТ в монокристаллах CsI. Наглядным подтверждением дислокационного механизма диссипации механической энергии в кристаллах CsI в килогерцевом диапазоне частот является ориентационная зависимость ВТ, которая обусловлена анизотропией именно пластических, а не упругих свойств этих кристаллов, поскольку кристаллы CsI в первом приближении могут рассматриваться как упругоизотропные.

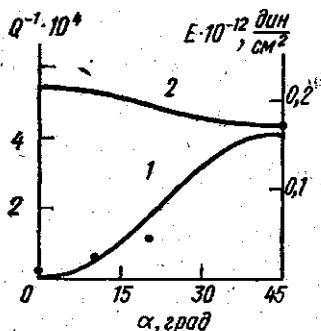


Рис. 4. Ориентационная зависимость ВТ для серии образцов CsI (1) и модуля Юнга (2) ($f_p=66$ кГц)

Влияние кристаллографической ориентации на демпфирующие свойства образцов можно видеть из рис. 2—4. С увеличением угла α поглощение ультразвука возрастает, о чем свидетельствует относительное расположение ВАХ составного осциллятора с образцами CsI раз-

личной ориентации (рис. 2, 1—4) по отношению к ВАХ ненагруженно-го кварца (см. рис. 2, 7). На рис. 3 представлена амплитудная зависимость ВТ для образцов трех ориентаций ($\alpha=0, 10$ и 20°), характерная для дислокационного ВТ: с ростом фактора Шмида, пропорционального $\sin 2\alpha$, амплитуда деформации, при которой начинает появляться амплитудная зависимость ВТ, понижается, а крутизна кривых $Q^{-1}(\epsilon_0)$ возрастает. Отсутствие амплитудной зависимости ВТ для образца с $\alpha=0$ указывает на то, что вторичные системы скольжения в CsI не вносят существенного вклада в ВТ при комнатной температуре.

На рис. 4 показана ориентационная зависимость ВТ в монокристаллах CsI (кривая 1) и расчетная зависимость модуля Юнга $E(\alpha)$ (кривая 2), которая характеризует анизотропию упругих свойств кристалла. Очевидно, что если бы ориентационная зависимость ВТ была обусловлена анизотропией только упругих свойств, то ход кривой $Q^{-1}(\alpha)$ был бы обратным.

Теоретическая зависимость $Q^{-1}(\alpha)$ рассчитывалась в предположении, что вклады в ВТ дислокаций, принадлежащих различным системам скольжения, аддитивны. Тогда, согласно [12],

$$Q^{-1} = \frac{1}{\pi} \sum_{k=1}^N \Delta_k \Omega_k,$$

где Δ_k — параметры, характеризующие затухание; Ω_k — суммарные ориентационные факторы для различных семейств дислокаций, принадлежащих данной k -й системе скольжения; N — число систем скольжения.

По определению

$$\Omega_k = \frac{E}{G_k} \sum_{i=1}^k m_i^2.$$

Здесь i — число физически эквивалентных плоскостей скольжения; m_i — фактор Шмида; E — модуль Юнга; G_k — модуль сдвига.

При расчете принималось, что вклад в ВТ могут вносить как система легкого скольжения $\langle 100 \rangle \{110\}$, так и следующая за ней по активности вторичная система скольжения $\langle 110 \rangle \{110\}$. Активность других систем скольжения в кристаллах CsI при комнатной температуре маловероятна. По экспериментальным данным $Q^{-1}(\alpha)$ и известным из [9] значениям Ω_k были найдены параметры Δ_1 и Δ_2 . При оценке вклада каждой системы критерием служила положительная определенность Δ_k : наборы, содержащие отрицательные Δ_k , отбрасывались.

Результаты расчета представлены кривой 1 на рис. 4, которая соответствует зависимости $Q^{-1}(\alpha) = \frac{1}{\pi} \Delta_1 \Omega_1(\alpha)$. На основании этого можно заключить, что определяющий вклад в ВТ монокристаллов CsI при комнатной температуре вносят дислокации, принадлежащие системе легкого скольжения.

5. Заключение. Приведенные экспериментальные результаты и их анализ показывают, что в килогерцевом диапазоне частот ВТ в монокристаллах CsI обусловлено дислокационным механизмом диссипации механической энергии. Это подтверждается зависимостью ВТ от амплитуды относительной деформации, ориентации и предварительной плас-

тической деформации. Определяющий вклад в дислокационное ВТ при комнатной температуре вносит система легкого скольжения $\langle 100 \rangle$ $\{110\}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Тяпунина Н. А., Наими Е. К., Гаспарян С. В. В кн.: Механизмы внутреннего трения в твердых телах. М.: Наука, 1976, с. 71. [2] Tyapynina N. A., Naimi E. K., Gasparyan S. V. Phys. Stat. Sol. (a), 1978, 46, p. 351. [3] Green R. E., Hinton T. Bull. Amer. Phys. Soc., 1965, 10, p. 452. [4] Наими Е. К., Хзарджян С. М. В кн.: Радиоэлектроника оптического диапазона. М.: Изд. ВЗМИ, 1970/71, с. 137. [5] Швидковский Е. Г., Дургарян А. А. Науч. докл. высш. школы, сер. физ.-тех. науки, 1958, № 5, с. 211. [6] Тяпунина Н. А. В кн.: Деформационное упрочнение монокристаллов. Киев: Наукова думка, 1972, с. 228. [7] Урусовская А. А., Сизова Н. Л., Рожанский В. Н. Кристаллография, 1971, 16, с. 377. [8] Сизова Н. Л. Кристаллография, 1972, 17, с. 428. [9] Курбанов Г. З., Тяпунина Н. А. Деп. ВИНТИ № 1031-82. [10] Тяпунина Н. А., Курбанов Г. З. В кн.: Взаимодействие дефектов кристаллической решетки и свойства металлов. Тула: Изд. ТПИ, 1983, с. 30. [11] Урусовская А. А. Автореф. докт. дис. М., 1983. [12] Green R. E., Hinton T. Trans. Met. Soc. AIME, 1966, 236, p. 435.

Поступила в редакцию
03.12.84

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1985, Т. 26, № 6

УДК 532.783

РАЗНОВИДНОСТИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В НЕМАТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ

Ю. В. Васильев

(кафедра общей физики для физического факультета)

1. Происходящее мгновенно во времени t ступенчатое изменение величины и направления вектора напряженности \mathbf{H} однородного магнитного поля вызывает в плоскопараллельной оптической ячейке (с межплоскостным расстоянием L порядка сотых долей миллиметра) длительный процесс переориентации нематического жидкого кристалла (НЖК) [1]. При теоретической оценке времени перестройки ориентационных состояний НЖК допустимо ограничиваться учетом вязкоупругости мезофазы и пренебрегать инерцией векторного поля директора \mathbf{n} НЖК [2]. Здесь в роли пробного камня чаще всего выступают [3, 4] пространственно одномерные динамические деформации типа чистого кручения директора, при которых в мезофазе нет гидродинамических потоков вещества, а вязкоупругие свойства характеризуются константой упругости кручения K_2 и твист-вязкости γ_1 . Если ось Oz декартовой системы координат направить перпендикулярно стенкам ячейки, на которых заданы фиксированные граничные условия

$$\mathbf{n}(x, y, 0) = \mathbf{n}(x, y, -L) = (1, 0, 0),$$

то в объеме НЖК поле директора можно представить как

$$\mathbf{n}(x, y, z) = (\cos \varphi, \sin \varphi, 0), \quad \varphi = \varphi(z, t).$$

Цель данной работы — показать, что в случае простейших малых движений директора вида

$$\varphi(z, t) = a(t) \sin \frac{\pi z}{L}, \quad |a| \ll 1, \quad (1)$$