

Влияние постоянного магнитного поля на преодоление дислокациями короткодействующих препятствий в монокристаллах LiF

© Ю.И. Головин, Р.Б. Моргунов, С.Е. Жуликов

Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, 392622 Тамбов, Россия

(Поступила в Редакцию 30 июля 1996 г.)

В работах [1–3] установлено, что постоянное магнитное поле (МП) с индукцией $B < 1$ Т заметно влияет на пластические свойства ионных кристаллов. При обсуждении экспериментальных результатов в числе наиболее вероятных причин, способных привести к пластифицированию кристаллов в МП, обычно предполагается влияние МП на частоту синглетно-триплетных переходов в радикальных парах, образованных радикалами, принадлежащими точечному дефекту и дислокации [4,5]. Включение поля стимулирует переходы пар в менее глубокое триплетное состояние, так что средняя энергия связи дислокации со стопором уменьшается [4]. В рамках описанного механизма значительную роль в торможении дислокаций должны играть обменные силы, т.е. стопоры с малым дальним действием. Однако, несколько известно авторам, до сих пор отсутствуют экспериментальные данные, позволяющие судить об эффективном радиусе взаимодействия дислокаций с теми препятствиями, преодоление которых облегчается в МП, а следовательно, и о роли обменного взаимодействия между дислокацией и стопором. Поэтому цель настоящей работы заключалась в сравнении степени дальнего действия следующих типов стопоров: облегченно преодолеваемых в МП и нечувствительных к его наличию.

Как известно, о дальнем действии стопоров и их силовом профиле можно судить по величине активационного объема преодоления стопоров дислокациями γ [5], который и измерялся в наших опытах в процессе ползучести кристаллов в МП (γ_f) и без него (γ_0). В экспериментах использовались номинально чистые монокристаллы LiF с исходной плотностью дислокаций $\sim 5 \cdot 10^5 - 10^6 \text{ см}^{-2}$ и пределом текучести $\sigma_y \approx 2 \cdot 10^6 \text{ Па}$. Образцы размером $4 \times 4 \times 10 \text{ мм}$ подвергались сжатию вдоль [001] постоянным механическим напряжением $\sigma = \text{const}$.

В первой серии опытов при $\sigma > \sigma_y$ включение МП (вектор магнитной индукции которого был направлен перпендикулярно оси сжатия, а величина $B = 0.7 \text{ Т}$) приводило к увеличению скорости установившейся ползучести $\dot{\epsilon} = d\epsilon/dt$. Оно наблюдалось в течение 3–5 с после включения поля и на диаграмме $\epsilon(t)$ выглядело как "скачок" $\Delta\epsilon$ (врезка на рис. 1). Величина $\Delta\epsilon$ немонотонно зависела от σ и была максимальна при $\sigma = 7 \cdot 10^6 \text{ Па}$ (рис. 1). После восстановления $\dot{\epsilon}$ к прежнему значению (равному $\dot{\epsilon}$ до включения МП)

производилось измерение γ_f . Для этого использовалась методика скачкообразного подгружения образца дополнительной механической нагрузкой $\Delta\sigma \ll \sigma$, позволяющая вычислять γ , сравнивая $\dot{\epsilon}$ до и после подгружения [6]. Зависимость $\gamma_f(\sigma)$ (полученная усреднением по 15–20 измерениям при каждом σ) отражала усредненный по ансамблю профиль дислокационных стопоров в МП [7] (рис. 2). Вторая серия опытов играла роль контрольной и отличалась от первой только тем, что во время измерения активационного объема γ_0 МП отсутствовало. Зависимость $\gamma_0(\sigma)$ в этой серии отражала усредненный профиль стопоров без МП. Сравнение зависимостей $\gamma_f(\sigma)$ и $\gamma_0(\sigma)$ позволило обнаружить отличие усредненных профилей препятствий в МП и без него (рис. 2).

Поскольку спектр стопоров в исследуемых кристаллах весьма широк, измеряемая величина γ является интегральной характеристикой преодоления дислокациями стопоров разного типа. Увеличение γ в МП свидетельствует об облегченном преодолении дислокациями части стопоров. Если условно

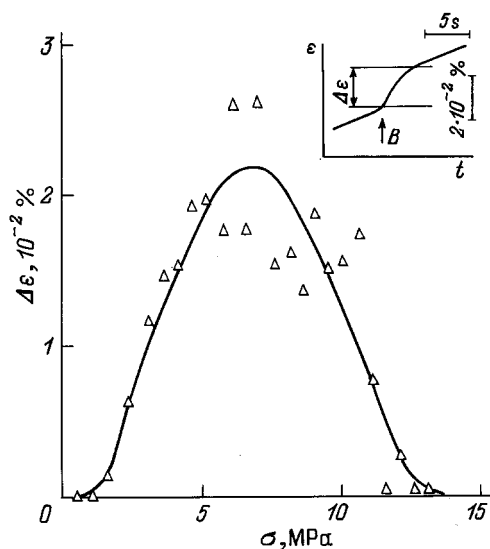


Рис. 1. Зависимость величины скачка деформации $\Delta\epsilon$, вызванного в кристаллах LiF действием магнитного поля $b = 0.7 \text{ Т}$, от величины механического напряжения, при котором осуществлялась ползучесть образцов. На врезке — фрагмент типичной зависимости относительной деформации образца ϵ от времени деформирования t монокристаллов LiF в режиме ползучести под нагрузкой $\sigma = 5 \text{ МПа}$ в момент включения МП.

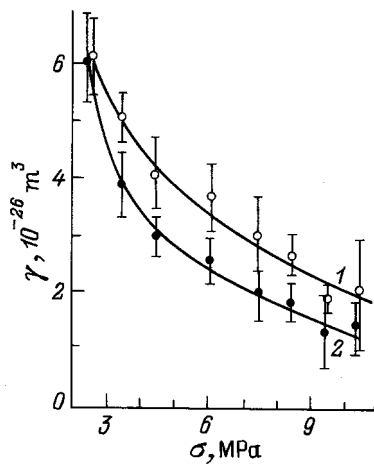


Рис. 2. Зависимости активационного объема процесса преодоления стопоров дислокаций γ от механического напряжения σ , при котором осуществлялась ползучесть, для кристаллов, деформирование которых осуществлялось в МП $B = 0.7 \text{ Т}$ (1), и для контрольных образцов ($B = 0$) (2).

разделить все стопоры на два класса: 1) далекодействующие (способные оказывать тормозящее влияние на дислокации с расстояний $\sim 10\text{--}100 \text{ \AA}$ и характеризующиеся средней частотой преодоления без МП ν_1); 2) короткодействующие (с эффективным радиусом взаимодействия $\sim 1 \text{ \AA}$ и частотой преодоления без МП ν_2), то можно определить, какая из величин (ν_1 или ν_2) увеличивается в МП. Согласно [7], о крутизне силового профиля препятствия $K = \Delta F / \Delta L$ (ΔF — изменение силы, действующей на дислокацию со стороны препятствия при изменении расстояния между ее ядром и центром тормозящего дефекта на ΔL) можно судить по значению $K = \Delta F / \Delta L = 2^{1/2} (\Delta \sigma / \Delta \gamma) d^2 b^2$ (d — активационная длина, b — величина вектора Бюргера дислокации). Из рис. 2 следует, что при деформировании кристаллов в МП происходит одновременное увеличение $\gamma \sim d$ и $\Delta \sigma / \Delta \gamma$. Следовательно, значение K возрастает в МП. С другой стороны, среднюю крутизну препятствий в предположении их независимого преодоления можно выразить через частоты преодоления каждого типа препятствий в виде $K = \Delta F / \Delta L = (k_1 \nu_1 + k_2 \nu_2) / (\nu_1 + \nu_2)$, где k_1 и k_2 — крутизна далекодействующих и короткодействующих препятствий соответственно ($k_1 < k_2$). Пластификация кристаллов (возрастание γ) свидетельствует о том, что одна из этих частот возросла, а увеличение K приводит к выводу о возрастании ν_2 . Значит, в МП в среднем чаще начинают преодолеваются именно короткодействующие стопоры. Этот вывод можно пояснить тем, что при измерении γ определяются параметры только тех препятствий, которые реально преодолеваются дислокациями во время измерения. Таким образом, разупрочняющее действие МП за-

ключается в облегчении преодоления дислокациями короткодействующих препятствий. Ими могут быть парамагнитные примесные центры в объеме кристалла, способные образовывать радикальные пары с аналогичными центрами на движущихся дислокациях.

Работа выполнена при частично финансовой поддержке Госкомитета РФ по высшему образованию (проект 95-0-7.1-58).

Список литературы

- [1] В.И. Альшиц, Е.В. Даринская, Т.М. Перекалина, А.А. Урусовская. ФТТ **29**, 2, 467 (1987).
- [2] Ю.И. Головин, Р.Б. Моргунов. Письма в ЖЭТФ **61**, 7, 583 (1995).
- [3] Ю.И. Головин, Р.Б. Моргунов. Письма в ЖЭТФ **58**, 3, 189 (1993).
- [4] М.И. Молоцкий. ФТТ **33**, 10, 3112 (1991).
- [5] В.И. Альшиц, Е.В. Даринская, Е.А. Петржик. ФТТ **33**, 10, 3001 (1991).
- [6] F. Apple. Phys. Stat. Sol. (a) **31**, 7, 615 (1975).
- [7] Ю.З. Эстрин, А.А. Урусовская, Г.Г. Кнаб. Кристаллография **17**, 1, 532 (1972).