

МАГНИТНАЯ ПАМЯТЬ ДИСЛОКАЦИЙ В МОНОКРИСТАЛЛАХ NaCl

Ю.И.Головин, Р.Б.Моргунов

*Тамбовский государственный педагогический институт
392000 Тамбов, Россия*

Поступила в редакцию 11 июня 1993 г.

Сообщается о наблюдении долгоживущих ($\sim 10^3$ с) возбужденных состояний краевых дислокаций в диамагнитных кристаллах NaCl, возникающих под действием постоянного магнитного поля $B = 1$ Тл.

В серии недавних работ В.И.Альшица с соавторами [1-3] описан эффект значительного увеличения подвижности дислокаций в диамагнитных кристаллах (NaCl, Al, Zn) под действием относительно слабого постоянного магнитного поля (МП) $B \approx 1$ Тл. В принципе можно допустить влияние МП на структуру и состояние самих дислокаций, локальных стопоров (определяющих подвижность дислокаций в этих кристаллах), а также на процесс их взаимодействия при сближении на расстояния порядка межатомных. Постановка эксперимента в [1-3] не позволила авторам разделить эти три возможности, и априорно они склонились к последнему варианту объяснения. Один из конкретных механизмов подобного типа описан в [4]. Вместе с тем известно, что магнитная восприимчивость диа- и парамагнитных кристаллов чувствительна к наличию и количеству дислокаций в них [5,6], а в [7] и [8] приведены соответственно экспериментальные и теоретические результаты, свидетельствующие о принципиальной возможности одномерного магнитного упорядочения в ядре дислокации по типу ферромагнитного. Правда, справедливости ради следует отметить, что предпринимавшиеся впоследствии попытки экспериментального исследования остаточной упорядоченности на дислокациях в ионных кристаллах или хотя бы воспроизведение результатов работы [6] не увенчались успехом, насколько известно авторам. Вероятно, можно предположить и другие механизмы влияния МП на свойства дислокаций, например через изменение атомной структуры и конфигурации их ядер.

В работе ставилась задача обнаружения влияния МП $B = 1$ Тл на свойства самих дислокаций в диамагнитных монокристаллах NaCl (концентрация ионовалентных примесей $\sim 10^{-4}$ мол.%). В качестве индикатора и меры такого влияния выбрана скорость их перемещения в поле калиброванного прямоугольного импульса механических напряжений сжатия (амплитуда 0,1 МПа, длительность 6 с, фронт 10 мс), прикладывавшегося к образцу ($\sim 4 \times 5 \times 12$ мм³) после выдержки его в МП в течение времени t_1 и отключении последнего за некоторое время t_2 до механического нагружения (рис.1). Как оказалось впоследствии, характеристики подвижности краевых дислокаций оказались гораздо более чувствительными к МП, чем магнитная восприимчивость.

Ввиду отсутствия МП во время нагружения кристалла, третий тип механизмов влияния поля на подвижность дислокаций (из перечисленных выше) был исключен самой постановкой эксперимента. Для того чтобы разделить вклады от двух первых причин, было проделано 2 серии опытов, отличавшихся только последовательностью процедур (рис.1). В опытах первой серии вводили

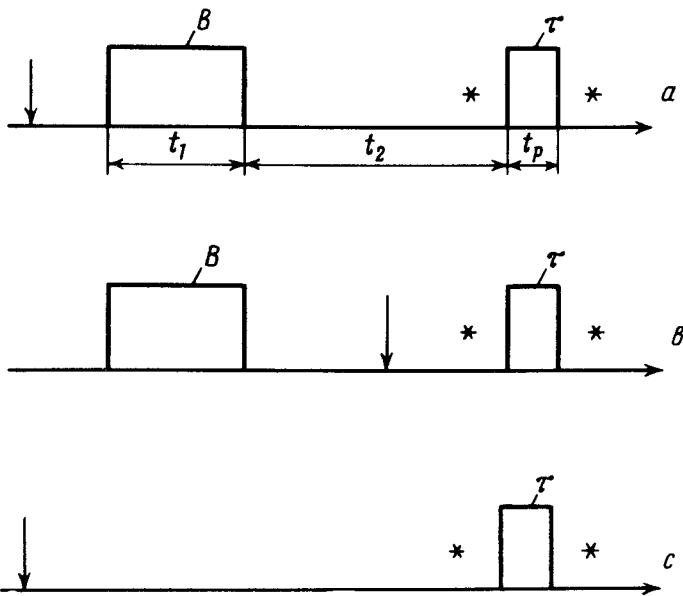


Рис.1. Последовательность процедур в опытах разного типа. Стрелкой отмечены моменты введения дислокаций, звездочкой – моменты травления; t_1 – длительность импульса магнитного поля, t_2 – длительность паузы между импульсами магнитного поля и механической нагрузки, $t_p = 6$ с – длительность импульса механической нагрузки

свежие дислокации, затем образец помещали в электромагнит, выдерживали в поле от нескольких секунд до нескольких часов и фиксировали положение дислокаций первым травлением. После выключения поля и некоторой паузы продолжительностью t_2 (также от нескольких секунд до 2 час) кристалл нагружали механически и образец травили повторно¹⁾. Среднюю скорость движения дислокаций v определяли усреднением $3 \cdot 10^2 \div 10^3$ пробегов индивидуальных дислокаций на каждом образце и отнесением среднего пробега к длительности импульса нагрузки. Опыты второй серии отличались от опытов первой только тем, что дислокации вводили в кристалл не до, а после обработки МП (рис.1). В обоих сериях наблюдалось увеличение v по сравнению с контрольными опытами без МП (рис.2). Следовательно, какие-то элементы структуры "запоминают" факт пребывания в магнитном поле. Увеличение v дислокаций, введенных после действия МП, свидетельствует о том, что этими элементами могут быть локальные стопора. Еще большее увеличение подвижности наблюдалось для дислокаций, введенных до включения МП.

Разница между скоростью движения дислокаций в первой и второй серии опытов $\Delta v = v_1 - v_2$ характеризует остаточные изменения структуры и свойств дислокаций, побывавших в МП, и свидетельствует о том, что и дислокации "запоминают" воздействие МП. С увеличением выдержки в МП Δv нарастала (рис.2) и выходила на насыщение при $t_1 > 2 \cdot 10^3$ с. Последействие МП носило временный характер и затухало при удлинении паузы между выключением МП и механическим нагружением (рис.3) с постоянной времени $\sim 3 \cdot 10^3$ с.

¹⁾ В отличие от [1–3] в наших кристаллах действие одного МП без приложения внешней механической нагрузки не вызывало смещения дислокаций.

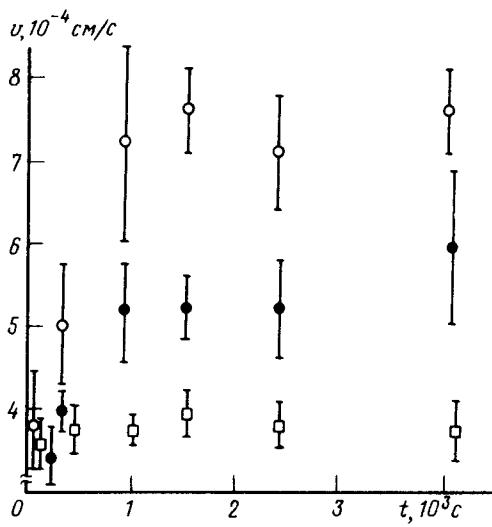


Рис.2

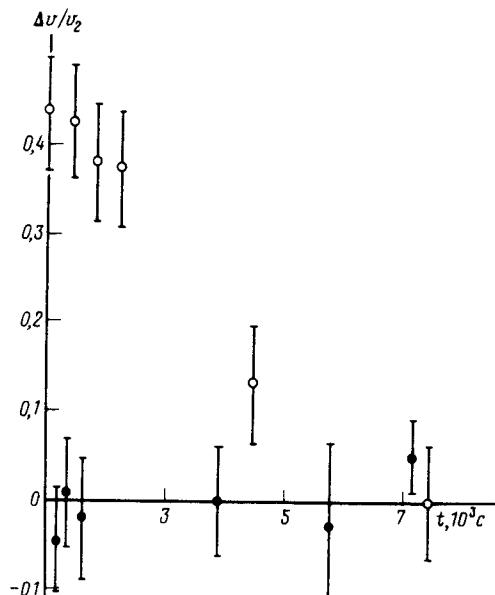


Рис.3

Рис.2. Зависимость средней скорости дислокаций от времени выдержки в магнитном поле: о – в опытах типа а на рис.1, • – в опытах типа б на рис.1, □ – контрольные опыты без магнитного поля

Рис.3. Кинетика релаксации эффекта магнитной "памяти" дислокации в зависимости от длительности паузы между импульсами магнитного поля и механической нагрузки (о); • – контрольные опыты без магнитного поля

Контрольными опытами установлено, что эта релаксация не связана со старением и закреплением дислокаций, так как в образцах, не подвергавшихся действию МП, пауза до нескольких часов между введением дислокаций и механическим нагружением не приводила к заметному снижению их подвижности. Пробеги дислокаций на разных гранях одного и того же кристалла и движущихся в разных направлениях, то есть характеризующихся различными углами между вектором В и вектором Бюргерса b ($45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, -45^\circ, -90^\circ, -135^\circ$), а также вектором В и дислокационной линией ($0^\circ, 90^\circ$), были статистически неразличимы. Эффект "запоминания" факта пребывания образца в МП наблюдался также и в закаленных и в γ -облученных (доза 10^6 рад) образцах.

Анализ распределения дислокаций по пробегам по методике, предложенной Аргоном [9], показал, что рост v после обработки МП происходит вследствие увеличения средней величины скачков дислокаций. Одновременно для некоторых ориентаций МП наблюдалось увеличение времени ожидания дислокаций у стопоров. Таким образом, в кристалле имеется, как минимум, две разновидности стопоров, и МП по разному действует на чувствительность дислокаций к ним: понижает ее по отношению к одним, одновременно повышая по отношению к другим.

Микромеханизмы магнитной "памяти" дислокаций нуждаются в специальном исследовании. Однако большие времена, необходимые для проявления и релаксации этого эффекта ($\sim 10^3$ с), слабая чувствительность к наличию

F-центров и состоянию примеси, возможно, указывают на то, что МП может действовать не только на электронную, но и на атомную структуру ядра дислокаций, например меняя конфигурацию дислокационной линии, концентрацию и высоту ступенек и перегибов на ней и т.п.

Авторы выражают признательность В.С.Боброву и В.И.Никитенко за внимание к работе и полезное обсуждение.

-
1. В.И.Альшиц, Е.В.Даринская, Е.А.Петржик, ФТТ **33**, 3001 (1991).
 2. В.И.Альшиц, Е.В.Даринская, Т.М.Перекалина, А.А.Урусовская, ФТТ **29**, 467 (1987).
 3. В.И.Альшиц, Е.В.Даринская, Е.А.Петржик, ФТТ **35**, 320 (1993).
 4. М.И.Молоцкий, ФТТ **33**, 3112 (1991).
 5. К.Б.Власов, А.И.Дерягин, В.А.Павлов, ФММ **44**, 1206 (1977).
 6. V.M.Tsimots et al., Solid State Comm. **63**, 1 (1987).
 7. E.J.Sharp and D.A.Averi, Phys. Rev. **158**, 2 (1967).
 8. А.М.Косевич, В.А.Шкловский, ЖЭТФ **55**, 1131 (1968).
 9. A.S.Argon, Phil. Mag. **25**, 1053 (1972).