

05.1

© 1992

ПСЕВДОПОДВИЖНОСТЬ ДИСЛОКАЦИЙ В ПОЛЕ НАПРЯЖЕНИЙ
СОСРЕДОТОЧЕННОЙ НАГРУЗКИЮ.С. Б о я р с к а я, А.И. Т ю р и н,
М.С. К а ц

На ряде ионных кристаллов с решеткой типа $NaCl$ (KCl , $NaCl$, NaF , LiF , MgO) было обнаружено аномальное поведение подвижности дислокаций при деформировании сосредоточенной нагрузкой: значительное повышение микротвердости при понижении температуры в интервале 293–77 К практически не сопровождалось понижением подвижности дислокаций в поле напряжений индентора (иногда имело место даже возрастание этого параметра) [1]. Позднее аналогичное явление наблюдалось для монокристаллов флюорита, висмута, сурьмы и твердых растворов $Bi_{(1-x)}Sb_{(x)}Me$ [2, 3].

Для объяснения этой низкотемпературной аномалии подвижности дислокаций было выдвинуто предположение об импульсном характере развития дислокационных структур при низких температурах [3–5]. Согласно этому предположению около отпечатков индентора возникают дислокационные скопления, развитие дислокационных розеток на некоторое время задерживается. Затем происходит релаксация напряжений, сопровождающаяся развитием дислокационных лучей, сплошная масса дислокаций как бы „выстреливает“ дислокационными ансамблями. В результате получаем длинные лучи розеток (большая подвижность дислокаций) и маленькие отпечатки индентора (большая микротвердость), т.е. наблюдаем аномальное поведение подвижности дислокаций при локальном нагружении. Подвижность дислокации при этом является фактически псевдоподвижностью.

Однако прямое подтверждение высказанных соображений практически до сих пор отсутствует. В связи с этим в настоящей работе поставлена цель – экспериментальная проверка, на примере ионных кристаллов с решеткой типа $NaCl$, гипотезы об импульсном механизме развития дислокационных структур при микроиндентировании и о псевдоподвижности дислокаций.

Для проведения исследований была собрана специальная установка, позволяющая одновременно регистрировать кинетику внедрения индентора и возникновения электрических сигналов с временным разрешением ~ 1 мс. Температура испытаний могла варьироваться в интервале 77–293 К. Возникающая при микроиндентировании ионных кристаллов разность потенциалов, как известно из литературы [6–10], связана с движением заряженных дислокаций. Поэтому по кинетике развития разности потенциалов можно судить о кинетике развития дислокационных структур.

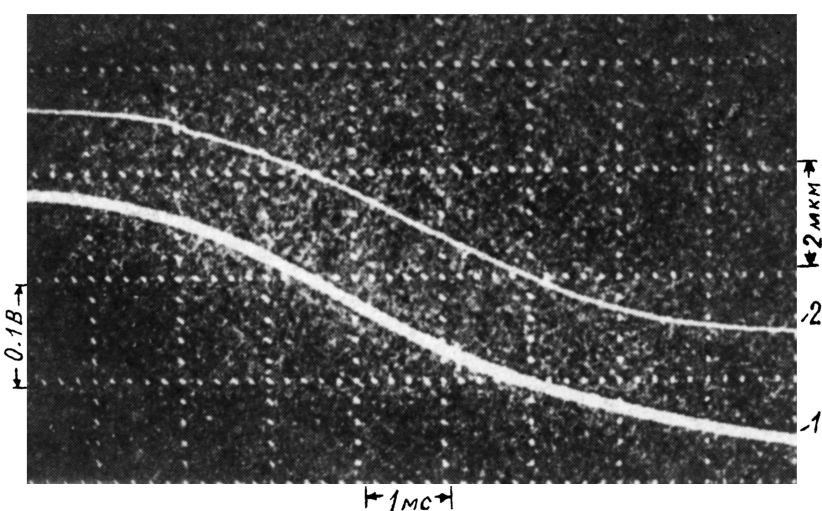


Рис. 1. Начальная стадия внедрения индентора в грань (001) LiF при комнатной температуре. Нагрузка на индентор 2.6 Н. 1 - глубина внедрения k , 2 - возникающая при индентировании разность потенциалов U (на выходе усилителя, коэффициент усиления $K=100$).

На рис. 1 приведены результаты для начальной стадии внедрения индентора (алмазная пирамида Виккерса) в грань (001) монокристаллов LiF . Видно, что при комнатной температуре изменение глубины внедрения и возникающей при деформировании разности потенциалов происходят плавно и, в основном, синхронно. То есть дислокационные структуры развиваются согласованно с образованием отпечатка индентора, что характерно для плавного механизма образования отпечатка [3, 4].

Совсем иная картина наблюдается в случае деформирования LiF при температуре жидкого азота (рис. 2). Из рис. 2 видно, что нарастание разности потенциалов происходит теперь не плавно, как при 293 К (рис. 1, кривая 2), а ступенчато, кривая же $k(t)$ при $T=77$ К, начиная с определенной глубины, носит волнистый характер, что особенно хорошо заметно при более длительных временах наблюдения (рис. 2, б, кривая 1).

Появление „плато“ на кривых $U(t)$ свидетельствует о том, что в определенные моменты индентирования практически приостанавливается развитие дислокационных розеток около отпечатков индентора, возникают сильные локальные напряжения. При этом может происходить даже движение индентора вверх на расстояния ~ 4 мкм (рис. 2, а). Затем имеет место релаксация напряжений, наблюдается

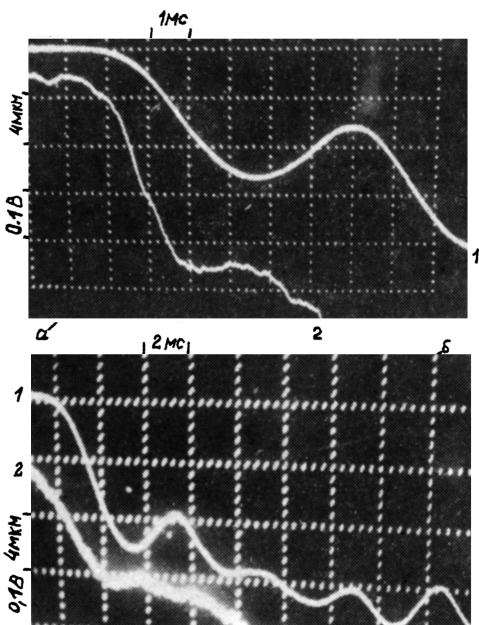


Рис. 2. Начальная (а) и более продолжительная (б) стадии внедрения индентора в грань (001) LiF при температуре жидкого азота. Нагрузка на индентор: -7.8 Н (а) и 9.2 Н (б). 1 – глубина внедрения, 2 – разность потенциалов.

движение дислокационных ансамблей и происходит, соответственно дальнейший рост заряда (кривая 2, рис. 2, а). Индентор после поднятия начинает вновь опускаться (кривая 1, рис. 2, а). Детальное рассмотрение вопроса о причинах возникновения волнообразности кривой $h(t)$ лежит вне рамок настоящей работы. Подобные же закономерности кинетики деформирования и возникновения электрического заряда в случае микроиндентирования при 77 К наблюдались для кристаллов KCl , легированных барием (концентрация $\sim 10^{-1}$ мол. %). Подтверждение подобных закономерностей получено и для кристаллов $NaCl$, для которых кривая $h(t)$ при комнатной температуре была плавной, а при 77 К – волнистой. В противоположность этому на более твердых кристаллах MgO (при комнатной температуре микротвердость Н для MgO равняется 800 кг/мм², $N_{NaCl} = 20$ кг/мм², $N_{LiF} = 100$ кг/мм², $N_{KCl:Ba} = 11$ кг/мм²) волнистость кривой $h(t)$ наблюдается в случае деформирования при комнатной температуре. Этот результат полностью соответствует высказанному ранее мнению, что на MgO , в отличие от щелочно-галогидных кристаллов, импульсный механизм образования отпечатков индентора должен наблюдаться при комнатной температуре [4, 5].

Таким образом, результаты данной работы являются хорошим подтверждением справедливости высказанной ранее гипотезы об им-

ульсном характере развития дислокационных структур при микроиндентировании, о псевдоподвижности дислокаций в поле напряжений сосредоточенной нагрузки.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Б о я р с к а я Ю.С., Г р а б к о Д.З., П и ш к о в а Д.С., Ш у т о в а С.С. / В сб.: Деформирование кристаллов при действии сосредоточенной нагрузки. Кишинев: Штиинца, 1978. С. 68-86.
- [2] Г р а б к о Д.З., Б о я р с к а я Ю.С., Д ы н т у М.П. Механические свойства полуметаллов типа висмута. Кишинев: Штиинца, 1982. 134 с.
- [3] Б о я р с к а я Ю.С., Г р а б к о Д.З., К а ц М.С. Физика процессов микроиндентирования. Кишинев: Штиинца, 1986. 294 с.
- [4] Б о я р с к а я Ю.С., Г р а б к о Д.З., Ж и т а р у Р.П. Псевдоподвижность дислокаций в чистых и примесных щелочно-галлоидных кристаллах. Препринт ИПФ АН МССР. Кишинев: Штиинца, 1986. 27 с.
- [5] B o y a r s k a y Y u. S., G r a b k o D. Z., Z h i t a r u R. P. In: Physics and Chemistry of Solids. Wroclaw, 1986. P. 22-35.
- [6] W h i t w o r t h R. W. // Adv. Phys. 1975. V. 24. N 2. P. 203-304.
- [7] У р у с о в с к а я А.А. // УФН. 1968. Т. 96. № 1. С. 39-60.
- [8] Г о л о в и н Ю.И., Ш и б к о в А.А. // ФТТ. 1986. Т. 28. № 11. С. 3492-3499.
- [9] F r ö h l i c h F., S e i f e r t P. // Phys. Stat. Sol. 1986. V. 25. N 1. P. 303-310.
- [10] Ш е в ц о в а И.Н. // ФТТ. 1983. Т. 25. В. 4. С. 1172-1179.

Институт прикладной физики
Республика Молдова

Поступило в Редакцию
16 ноября 1991 г.