

ИМПУЛЬСНАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ ИОННОГО КРИСТАЛЛА
ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ ИНДЕНТИРОВАНИИ

Ю. И. Головин, А. А. Шибков, А. И. Тюрин, Ю. С. Боярская, М. С. Кац

Физический механизм образования отпечатка при индентировании различных материалов до сих пор остается дискуссионным. Это стимулирует развитие новых *in situ* методов, позволяющих получать информацию о микрокинетике процессов деформирования материала под индентором непосредственно во время его вдавливания, например, методами аку-

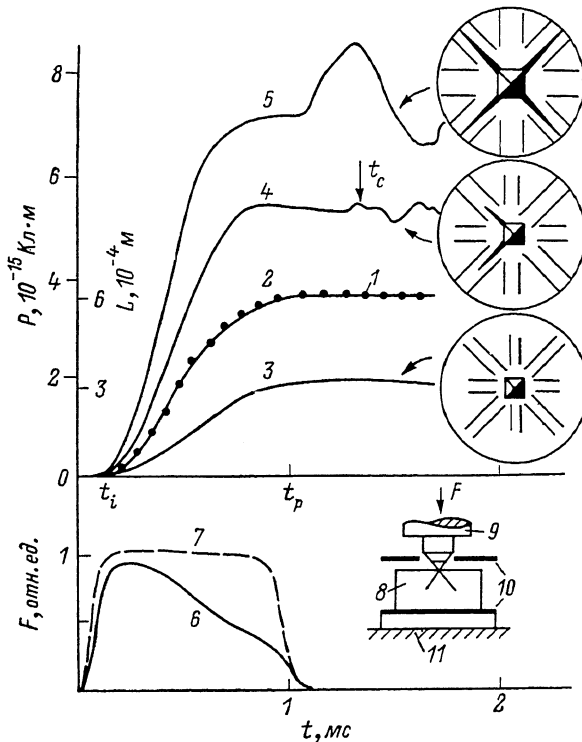


Рис. 1. Динамика поляризации и фотоупругой розетки в LiF.

1 — кинетика длины лучей фотоупругой розетки укола $L(t)$ по данным кинофильмирования; 2, 3, 4, 5 — соответствующая осциллограмма ДМ $P(t)$ при размере диагонали отпечатка $d=120, 60, 180$ и 240 мкм; 6 — осциллограмма нагрузки $F(t)$; 7 — то же при индентировании поверхности сапфира; 8 — образец; 9 — индентор; 10 — зонд; 11 — сапфировая шайба.

стической эмиссии [1, 2] или дислокационных токов [3]. Весьма привлекательным является использование наиболее быстродействующего метода исследования скоплений заряженных дислокаций в ионных кристаллах, основанного на анализе его скачкообразной поляризации [4]. В работе исследуется изменение поляризации при импульсном индентировании совместно с методами динамической фотоупругости (ДФУ) и травлением.

Монокристаллические образцы LiF ($\sim 10^{-3}$ % Me^{++}) размерами $3 \times 5 \times 5$ мм подвергались импульсному, за время $t_p = 10^{-3}$ с, индентированию пирамидой Виккерса. Кинетика развития фотоупругой розетки укола кинофильмировалась сверхскоростной кинокамерой СФР-2М в поляризованном свете со скоростью $2 \cdot 10^4$ кадр/с. Канал регистрации дипольного момента (ДМ), включающий два емкостных зонда, предусилитель и осциллограф С8-13, имел полосу пропускания 1 Гц—2 МГц и позволял без искажения регистрировать электрические явления в диапазоне времен по край-

ней мере от 1 мкс до 10 мс. Чувствительность метода по ДМ составляла $P_{\min} = 0.5 \cdot 10^{-17}$ Кл·м. Нагрузка измерялась пьезодатчиком.

Из осциллограмм импульсов ДМ, сопровождающих индентирование (рис. 1), видно, что временная зависимость $P(t)$ в общем случае имеет три стадии: стадию I — инкубационную — интервале времени $0 < t < t_i$, когда $P \leq P_{\min}$; стадию II монотонного роста ДМ за время $t_i \leq t < t_p$; стадию III насыщения на постоянном или пульсирующем уровне при $t \leq t_{ob}$ (где $t_{ob} = 10$ мс — время наблюдения). Кинофильмированием процесса эволюции дислокационной розетки укола методом ДФУ установлено, что розетка формируется в основном на стадии II; при этом почти полное временное совпадение зависимостей длины ее лучей $L(t)$ и $P(t)$ (кривые

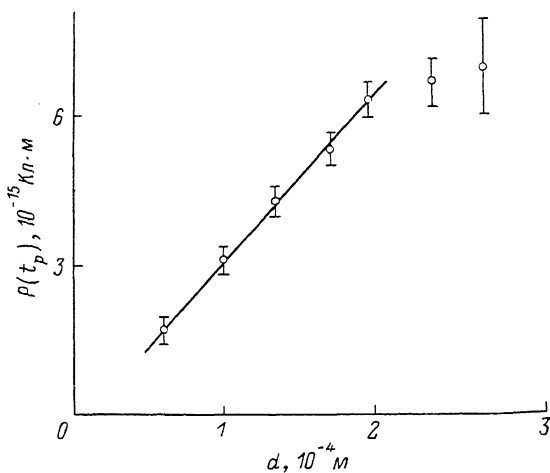


Рис. 2. Связь поляризации с диаметром отпечатка.

1, 2 на рис. 1) свидетельствует о дислокационной природе поляризации на этой стадии. Данный вывод подтверждается также пропорциональностью между значением ДМ во время окончания импульса нагрузки P_p и диаметром отпечатка при $d \leq 250$ нм (рис. 2). Согласно [4], ДМ дислокационной структуры в ЦГК пропорционален линейному заряду дислокаций q и заметаемой ими площади S : $P = \eta q S$, где η — структурно-геометрический фактор. Поэтому близкая к линейной зависимости между всеми наблюдаемыми величинами P , L , d означает, что η слабо зависит от времени и эволюция дислокационной розетки в первом приближении происходит автомодельно.

Отсутствие ДМ и локализованных просветлений на фотоупругих картинах на большей части фазы роста нагрузки, а также совпадение формы фронта импульса силы $F(t)$ в случае индентирования LiF и жесткой опоры из сапфира (рис. 1) означают, что на этой стадии еще отсутствует дислокационная розетка, хотя полностью исключить возможность зарождения дислокаций в зоне укола нельзя. Ясно, однако, что ввиду малости P и L они должны быть сосредоточены в тонком слое под индентором и не образуют лучей с заметным разбалансом между дислокациями разного механического знака (от которого, как известно, и зависят регистрируемые величины P и L). На этой стадии возможны также и недислокационные механизмы пластической деформации [1, 5].

Наиболее существенный рост P и L происходит за максимумом нагрузки. Очевидно, падение F в интервале $t_i < t < t_p$ и формирование розетки взаимосвязаны. Следовательно, глубину и скорость падения F при индентировании мягких кристаллов (ср. кривые 6 и 7 на рис. 1) можно рассматривать как характеристики релаксации напряжений при образовании дислокационной розетки укола.

При $d \geq 150$ мкм на стадии III наблюдались характерные скачки ДМ (рис. 1, кривые 4, 5), сопровождавшиеся появлением трещин размером ≥ 100 мкм, причем время, предшествующее появлению первого скачка t_c , уменьшалось с ростом d и при $d \geq 250$ мкм $t_c < t_p$. Это приводило к увеличению разброса значений P_p и отклонению $P_p(d)$ от линейной зависимости при больших d . Учитывая, что ДМ трещины в форме полудиска (радиусом R , вскрытием δ и поверхностной плотностью зарядов на свежей поверхности скола σ) $P = \pi R^2 \sigma \delta / 2$, и принимая для LiF $\sigma = 3 \cdot 10^{-4}$ Кл/м², а $R/\delta \approx 30$ [6], получим, что минимально регистрируемому ДМ соответствует появление трещины с $R \approx 60$ мкм, что согласуется с результатами наблюдений.

Таким образом, методом анализа ДМ образца совместно с методами ДФУ и травления выявлены три основные последовательно развивающиеся во времени стадии процессов пластической деформации и разрушения при динамическом индентировании LiF: 1) инкубационная, протекающая на фронте импульса нагрузки, которая разделяет момент приложения нагрузки и начало развития дислокационной розетки; 2) стадия нелинейного роста полос скольжения в лучах розетки, сопровождаемого заметной релаксацией нагрузки; 3) стадия релаксации внутренних напряжений в розетке (как правило, после окончания нагружения), которая сопровождается появлением довольно крупных (~ 60 мкм) трещин. Итак, исследование кинетики поляризации кристалла при индентировании позволяет получать информацию о динамике формирования отпечатка и дислокационной розетки вокруг него, обнаруживать макротрещины, фиксировать момент их появления и связывать его с определенной фазой формирования дислокационной структуры розетки.

Л и т е р а т у р а

- [1] Боярская Ю. С., Грабко Д. З., Кац М. С. Физика процессов микроиндентирования. Кяшинец: Штинца, 1986. 294 с.
- [2] Lankford J., Davidson D. L. J. Matter. Sci., 1979, vol. 14, p. 1662—1668.
- [3] Collins N. Rad. Eff., 1983, vol. 15, p. 217—226.
- [4] Головин Ю. И., Шибков А. А. ФТТ, 1986, т. 28, № 11, с. 3492—3499.
- [5] Акчурич А. Ш., Васев Е. Н., Мизина Е. Ю., Регель В. Р. ФТТ, 1988, т. 30, № 3, с. 760—764.
- [6] Головин Ю. И., Дьячек Т. П., Орлов В. И., Талин Ю. И. ФТТ, 1985, т. 27, № 4, с. 1110—1115.

Тамбовский государственный
педагогический институт
Тамбов

Поступило в Редакцию
9 июня 1988 г.

ДИФФУЗИОННЫЙ РОСТ ВАКАНСИОННЫХ ПОР В ОБЛУЧЕННЫХ МОНОКРИСТАЛЛАХ БРОМИДА ЦЕЗИЯ

А. В. Шапурко, Л. А. Громов, С. А. Кукушкин, В. И. Штанько

Высокодозное радиационное воздействие на щелочно-галогидные кристаллы (ЩГК) может приводить к образованию в облученной матрице продуктов радиолитического разложения, представляющих собой фазовые выделения: галогена, коллоидальных частиц металла, микропор [1]. Среди этих радиолитических образований наименее изученными к настоящему времени являются микропоры.