

ПЛАСТИЧНОСТЬ КРИСТАЛЛОВ LiF, ОБЛУЧЕННЫХ В РЕАКТОРЕ

Э. Л. Андроникашвили, Н. Г. Политов, И. М. Паперно,
А. К. Размадзе

Изучалась возможность одновременного улучшения прочностных и пластических характеристик кристаллов LiF путем сопряженного воздействия облучения, механического нагружения и охлаждения.

Исследовалась диаграмма напряжение-деформация кристаллов LiF после радиационных и механических воздействий. Образцы, выколотые из одного монокристаллического слитка, имели форму параллелепипеда размером $28 \times 3 \times 3 \text{ мм}^3$. Образцы отжигались при температуре 650°C в течение 8 час и затем охлаждались со скоростью $0,5 \text{ град/мин}$ (после отжига плотность дислокаций составляла $2 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$).

LiF	Контрольные кристаллы		Кристаллы, облученные в реакторе дозой $5 \cdot 10^{14} \text{ нейтрон/см}^2$			
			при температуре реактора		при 120°K	
	1	2	3	4	5	6
	Механическая нагрузка, г/мм^2					
	0	250	0	250	0	250
Предел прочности, г/мм^2	460 ± 15	490 ± 15	1900 ± 210	900 ± 100	2100 ± 40	1000 ± 110
Предельная деформация, %	$0,37 \pm 0,04$	$0,60 \pm 0,05$	$0,20 \pm 0,09$	$1,20 \pm 0,30$	$0,37 \pm 0,02$	$1,20 \pm 0,15$

Кристаллы облучались в реакторе дозой $5 \cdot 10^{14}$ нейтрон/см² (по тепловым). Облучение производилось при температуре реактора и при 120°K. При облучении в реакторе часть кристаллов подвергалась поперечному сжатию [1] (напряжение 250 г/мм², область пластической деформации). Сжатие производилось пружиной, упругие свойства которой не изменялись под облучением в интервале применяемых доз. Механическая нагрузка не снималась в течение двух месяцев (время спада активности).

Диаграмма напряжение-деформация регистрировалась двухкоординатным потенциометром ДРП.

1. Как видно из таблицы (в таблице приведены данные, полученные путем усреднения результатов измерений на 6–10 образцах), облучение кристаллов в реакторе, как при температурах реактора, так и при низких температурах сильно (примерно в 4 раза) упрочняет кристаллы (таблица, столбцы 1,3 и 1,5). При этом кристалл разрушается, не достигая пластической области (рис. 1, кривая 3). Этот факт легко объяснить: возникшие в результате облучения точечные дефекты закрепляют дислокацию так сильно, что приложенного напряжения недостаточно, чтобы сдвинуть ее.

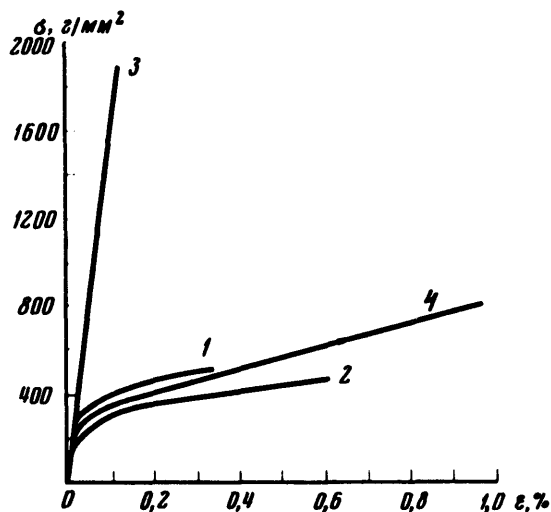


Рис. 1. Диаграммы напряжение-деформация кристаллов LiF: 1— контрольный образец; 2— находился под нагрузкой (250 г/мм²) 4 месяца; 3 — облучался в реакторе ($5 \cdot 10^{14}$ нейтрон/см²); 4 — облучался в реакторе ($5 \cdot 10^{14}$ нейтрон/см²) в механически нагруженном состоянии (250 г/мм²). После облучения находился под нагрузкой 2 месяца

Этот вывод подтверждается нашими результатами измерения электрического сопротивления R . Как видно из рис. 2, R необлученного кристалла уменьшается в упругой области деформации. Мы предлагаем следующий механизм этого эффекта: по мере увеличения упругой деформации дислокации выгибаются относительно облака точечных дефектов, окружающих дислокацию. При этом нарушается равновесие между облаком и дислокацией, в результате че-

го часть вакансий под действием приложенного электрического поля высвобождается из облака и принимает участие в проводимости. Доля высвобожденных вакансий тем выше, чем сильнее дислокация выгнута. Другими словами, чем больше деформация, тем значительнее падение сопротивления.

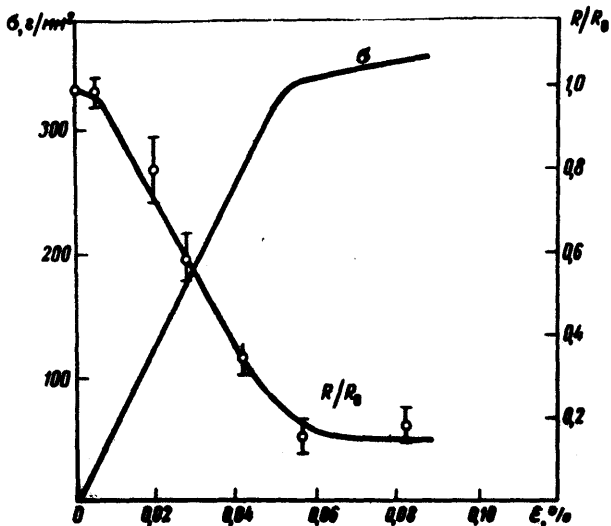


Рис. 2. Диаграмма напряжение-деформация (σ) и зависимость электрического сопротивления (R/R_0) от деформации кристалла LiF

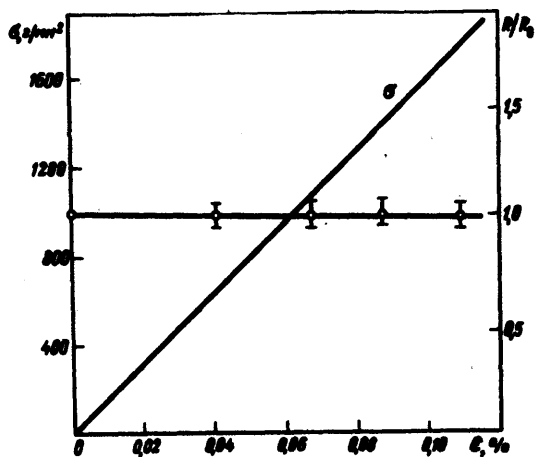


Рис. 3. Диаграмма напряжение-деформация (σ) и зависимость электрического сопротивления (R/R_0) от деформации облученного ($5 \cdot 10^{14}$ нейтрон/ см^2) кристалла LiF

Электрическое сопротивление R такого же, но подвергшегося облучению в реакторе, кристалла, остается постоянным в процессе деформации, вплоть до разрушения кристалла (рис. 3). Это говорит о том, что после облучения дислокации оказываются столь сильно закрепленными, что не способны не толь-

ко двигаться по кристаллу (пластическая область деформации отсутствует), но и выгибаться в облаке точечных дефектов.

Если облучение в свободном, ненагруженном состоянии обеспечивает упрочнение в 4 раза, то при облучении (всего несколько минут при дифференциальном потоке $3,2 \cdot 10^{12}$ нейтрон/см²·сек) напряженного в пластической области кристалла наблюдается упрочнение только в 2 раза, по сравнению с необлученным кристаллом (таблица, столбцы 1, 4 и 1, 6).

2. Дж. Гилман и В. Джонстон [2] показали, что предварительно напряженные в пластической области кристаллы LiF имеют более высокий предел текучести, чем не подвергшиеся напряжению кристаллы. Наши измерения подтверждают этот вывод, однако с оговоркой. Предварительное механическое нагружение действительно приводит к повышению предела текучести, но только в том случае, если образец находится под нагрузкой недолго (например, полчаса). Когда образец выдерживался под нагрузкой длительное время (4 месяца), предел текучести понижался, а предельная деформация возрастала (рис. 1, кривые 1 и 2).

Таким образом, продолжительность предварительного механического нагружения в пластической области существенно важна для изменения прочности и пластичности кристаллов. При относительно кратковременном нагружении наблюдается упрочнение кристалла, а при длительном нагружении кристалл становится более пластичным.

3. Как было показано выше, длительное напряжение кристалла в пластической области приводит к улучшению его пластических свойств. Можно было ожидать, что облучение напряженных кристаллов должно усилить этот эффект (известно, что облучение такого делящегося материала, как U, ускоряет ползучесть [3]).

Действительно, эксперименты показали, что сочетание механического нагружения с облучением приводит к более сильному росту предельной деформации, чем в случае действия только механического нагружения. Только механическое нагружение (несколько месяцев) вызывает увеличение предельной деформации на 60% (таблица, столбцы 1, 2). Только облучение кристаллов в реакторе приводит к ухудшению пластических свойств (рис. 1, кривые 1 и 3). Совместное же воздействие механического нагружения и облучения (всего несколько минут) обеспечивает повышение предельной деформации в 3 раза. При этом предел прочности возрастает в 2 раза (таблица, столбцы 1, 4 и 1, 6).

Таким образом, сопряженное воздействие радиации и механического нагружения упрочняет кристаллы и одновременно весьма значительно улучшает их пластические характеристики.

Институт физики
Академии наук Грузинской ССР

Поступила в редакцию
19 марта 1971 г.

Литература

- [1] Э.Л. Андроникашвили, Н.Г. Политов, И.М. Паперно, А.К. Размадзе. Сб. Электронные и ионные процессы в твердых телах, вып. 3, "Мелниереба", Тбилиси, 1968.
- [2] J. Gilman, W. Johnston. J. Appl. Phys., 31, 687, 1960.
- [3] С.Т. Конобеевский. Действие облучения на материалы, М., Атомиздат, 1967.