

**ВЛИЯНИЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ
КРИСТАЛЛОВ ФТОРИДОВ ЩЕЛОЧНЫХ
И ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ**

Е. К. ЗАВАДОВСКАЯ Н. М. ТИМОШЕНКО

Для щелочногалоидных кристаллов в ряду с одинаковым металлом или галоидом микротвердость систематически возрастает с энергией решетки [1]. Эта зависимость остается справедливой и для облученных кристаллов [2]. Представляет интерес выяснить, существует ли закономерность в изменении микротвердости от энергии решетки для ионных кристаллов, отличных от щелочногалоидных типом кристаллической решетки, как сказывается действие излучения на изменение микротвердости этих материалов. В качестве объектов исследования были выбраны кристаллы фторидов щелочноземельных металлов (CaF_2 , SrF_2 и BaF_2), отличающиеся от щелочногалоидных кристаллов большими энергиями связи ионов в решетке и типом кристаллической решетки (табл. 1).

Представителями щелочногалоидных кристаллов взяты LiF и NaF . Кроме поставленной задачи, исследования микротвердости вышеназван-

Таблица 1

Материал	Тип решетки	Энергия решетки (ϵ в/пару ионов)	Микротвердость до облучения (кг/мм^2)	Микротвердость после облучения дозой $6,7 \cdot 10^{18}$ р (кг/мм^2)	Микротвердость (кг/мм^2) после отжига 2 часов при температуре		
					210°C	350°C	480°C
CaF_2	флюорит	27,15	149	171,0	167	160	154
SrF_2	флюорит	25,60	144	159	157	154	148
BaF_2	флюорит	21,07	82,0	89,0	87,0	85,0	82,0
LiF	кам. соль	10,56	95	161	150	118	98,0
NaF	кам. соль	9,46	59,0	75*	—	—	—

*Доза $2,6 \cdot 10^{18}$ р

ных фтористых соединений, отличающихся повышенной устойчивостью (химической, термической и т. д.), представляет интерес и для радиационного материаловедения. Измерения микротвердости проводились при помощи ПМТ-3 на кристаллах, выращенных авторами по методу Стокбаргера [3].

Облучение гамма-лучами проводилось на установке «кобальт-60» в дозном поле с интенсивностью 450 р/сек, энергия излучения — 1,24 Мэв.

Как видно из табл. 1, закономерное уменьшение микротвердости с уменьшением энергии решетки, наблюдаемое для фторидов щелочных металлов (LiF и NaF), сохраняется и для фторидов щелочноземельных металлов.

Облучение кристаллов гамма-лучами сопровождается увеличением микротвердости, обусловленным накоплением радиационных нарушений. При выходе микротвердости на насыщение после облучения относительное изменение микротвердости ($H_{\text{макс}}/H_{\text{ном}}$) больше для фторидов щелочных металлов, чем для щелочноземельных фторидов (рис. 1).

Можно предположить, что радиационное нарушение во фторидах щелочных металлов более значительно, чем в щелочноземельных фторидах, что и обуславливает различие в величине изменения микротвердо-

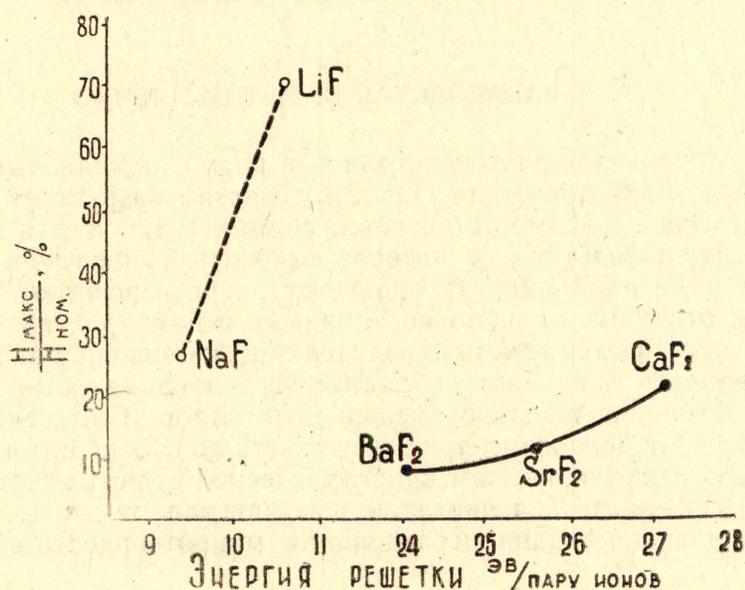


Рис. 1. Зависимость относительного изменения микротвердости фторидов от их энергии решетки. ($H_{\text{макс}}$ — значение микротвердости при выходе на насыщение в случае облучения). ($H_{\text{ном}}$ — значение микротвердости до облучения)

сти. Факт, что в LiF концентрация дефектов, наведенных γ -радиацией, значительно больше, чем в щелочноземельных фторидах, подтверждается измерениями оптического поглощения и запасенной энергии [4, 5].

В настоящее время нельзя конкретно указать на вид радиационных нарушений, ответственных за упрочнение рассматриваемых кристаллов. Согласно Надью [6], за упрочнение кристаллов LiF, облученных γ -лучами малыми дозами, ответственны F-центры, а вернее, межузельный фтор, который образуется в результате генерации пар Френкеля по механизму Варли [7]. Проведенные нами исследования (из-за ограничения размеров статьи мы не можем подробно остановиться на этих результатах) изменения микротвердости, запасенной энергии и оптического поглощения в процессе термического отжига дают основания согласиться с положениями, высказанными Надью. В другой работе [8] увеличение микротвердости кристаллов KCl после облучения γ -лучами авторы

также объясняют повышением напряжения пластического течения вследствие возникновения внедренных ионов. Вопрос о радиационных нарушениях, ответственных за увеличение микротвердости щелочноземельных фторидов, остается пока открытым.

В ряду кристаллов, имеющих один тип решетки, при равных условиях облучения микротвердость кристалла с большей энергией решетки возрастает с дозой быстрее и в области насыщения достигает относительно большего увеличения, а выход микротвердости на насыщение происходит при больших дозах облучения, чем в случае кристалла с меньшей энергией решетки (сравните NaF и LiF, BaF₂ и CaF₂, рис. 1 и рис. 2).

Как видно из рис. 2, рост микротвердости с дозой облучения отклоняется от линейной зависимости уже в начальный период облучения.

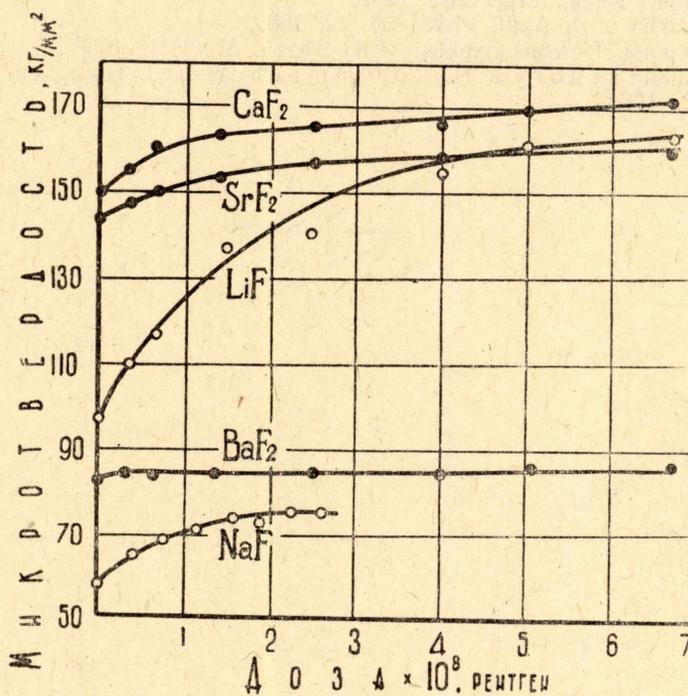


Рис. 2. Зависимость микротвердости кристаллов фторидов от дозы гамма-излучения

Обусловлено это, очевидно, тем, что процесс накопления радиационных нарушений в кристалле сопровождается процессом радиационного отжига, влияние которого усиливается с дозой облучения.

Выход микротвердости на насыщение обусловлен установлением динамического равновесия между двумя процессами—образованием дефектов и радиационным отжигом. Относительно большее изменение микротвердости в кристаллах с большей энергией решетки (для кристаллов с одним типом решетки), вероятно, следует объяснить тем, что обратные процессы—радиационный и термический отжиг—протекают медленнее, чем в кристаллах со слабой связью ионов. Остаточные явления радиационного упрочения оказываются более стабильными в CaF₂ и LiF и менее стабильными в BaF₂ и NaF. Об этом свидетельствуют результаты исследования влияния отжига на изменение микротвердости облученных кристаллов (табл. 1) и спектры выделения запасенной энергии [4].

Изменение микротвердости от дозы, а также выход ее на насыщение при облучении гамма-лучами позволяют подобрать для каждого материала оптимальные дозы облучения, необходимые в радиационной технологии для целенаправленного увеличения твердости исследуемых материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Воробьев, А. М. Трубицин. Ж. Техн. физ., 26, 330, 1956.
 2. Б. В. Будылин, А. А. Воробьев. Действие излучений на ионные структуры. Госатомиздат. М., стр. 73, 1962.
 3. И. В. Степанов, П. П. Феофилов. Сб. Рост кристаллов. Из-во АН СССР, М., стр. 229, 1957.
 4. Е. К. Завадовская, Н. М. Тимошенко. Тезисы докладов Первого совещания по радиационной физике твердого тела. Киев, стр. 35, 1965.
 5. Н. М. Тимошенко. Радиационная физика неметаллических кристаллов, труды совещания, Киев, стр. 305, 1967.
 6. I. S. Nadeau. J. Appl. Phys., 33, 12, 1962.
 7. Дж. Варли. Центры окраски. Сб. статей, М., ИЛ., 1958.
 8. T. K. Bhattacharya, H. Nonenmacher, L. J. Grossmeiner. J. Appl. Phys., 35, 1352, 1964.
-