

УДК 548.732

## ВЫХОД ФОТОЭЛЕКТРОНОВ И ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В КРИСТАЛЛАХ ФЛЮОРИТА ПРИ ДИФРАКЦИИ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ

Э. Х. Мухамеджанов, У. Ю. Юлдашев

Для изучения приповерхностных слоев монокристаллов  $BaF_2$  и  $CaF_2$  впервые использован метод стоячих рентгеновских волн. Результаты исследований свидетельствуют о достаточно высоком структурном совершенстве этих кристаллов. Сделан вывод, что толщины возможных нарушенных слоев на поверхности образцов  $BaF_2$  и  $CaF_2$  не превышают 50 и 200 Å соответственно.

В последние годы кристаллы со структурой флюорита ( $BaF_2$ ,  $CaF_2$ ) привлекают к себе все большее внимание в связи с их широким практическим использованием в оптике и спектрометрии ядерных излучений. Эти кристаллы интенсивно исследуются различными физическими методами, в том числе и эмиссионной мессбауэровской спектроскопией [1]. Как было установлено, дефекты структуры сильно влияют на различные физические свойства кристаллов. Представляет интерес исследование структурного совершенства таких кристаллов и, в частности, их приповерхностных слоев рентгенодифракционными методами. Весьма перспективным представляется использование метода стоячих рентгеновских волн (СРВ), заключающегося в регистрации выхода вторичных излучений (фотоэлектроны, флуоресцентное излучение и др.) в условиях динамической дифракции рентгеновских лучей. В этом случае непосредственно по кривым выхода можно судить о структурном совершенстве приповерхностных слоев толщиной от сотен ангстрем до нескольких микрон в зависимости от типа вторичного излучения [2].

В настоящей работе методом СРВ исследованы кристаллы  $BaF_2$  и  $CaF_2$ . Для того чтобы ответить на принципиальный вопрос, можно ли на имеющихся кристаллах реализовать динамическую дифракцию рентгеновских лучей, на первом этапе был произведен предварительный отбор образцов. С этой целью были сняты рентгеновские топограммы на отражение (рис. 1), что позволило среди образцов с разупорядоченной блочной структурой (а) выявить кристаллы, большие участки которых обладают достаточно совершенной структурой (б). Именно такие кристаллы и были исследованы методом СРВ. По топограммам на образцах выбирались наиболее крупные совершенные участки поверхности, при этом площадь засветки рентгеновским пучком устанавливалась в пределах данных участков.

Схема эксперимента изображена на рис. 2.  $CuK_\alpha$  — излучение от рентгеновской трубки выделялось и коллимировалось Si (111) монохроматором (дисперсия из-за несовпадения постоянных решеток Si и  $BaF_2$ ,  $CaF_2$  незначительна). Для регистрации фотоэмиссии исследуемый кристалл помещался внутрь специального газопроточного пропорционального детектора с энергетическим разрешением 16 % [3]. На рис. 2 представлен энергетический спектр электронов, вылетающих из кристалла  $BaF_2$  при поглощении  $CuK_\alpha$  излучения, основной вклад в который дают  $Ba L$  фото-

электроны. Флуоресцентное излучение регистрировалось полупроводниковым Si (Li) детектором.

На рис. 3, а представлена кривая дифракционного отражения, полученная на кристалле  $BaF_2$  (111) (рис. 4, а —  $CaF_2$  (111)) в условиях брэгговской дифракции (для сравнения там же приведена кривая отражения и для образца с блочной структурой). Соответствующая угловая зависимость выхода флуоресцентного излучения от атомов Ва ( $Ba L_\alpha$  линия) показана на рис. 3, б. Полученная флуоресцентная кривая наглядно

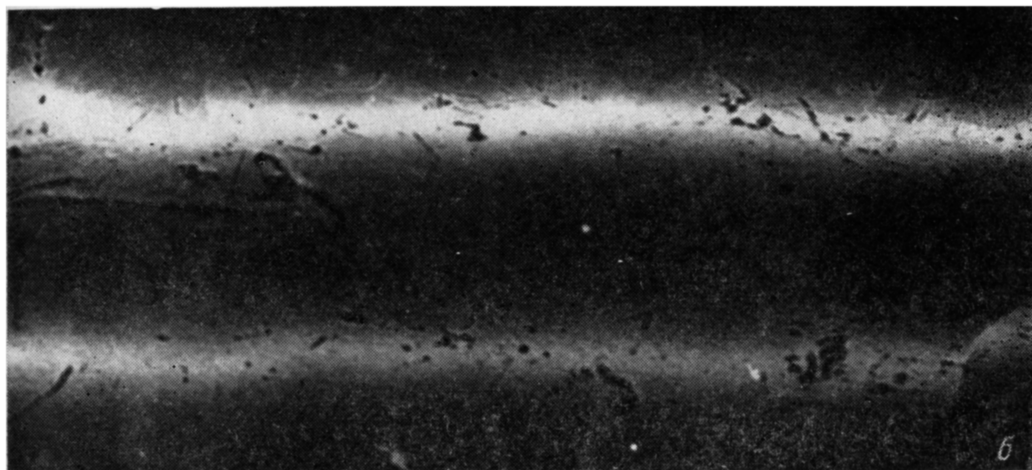
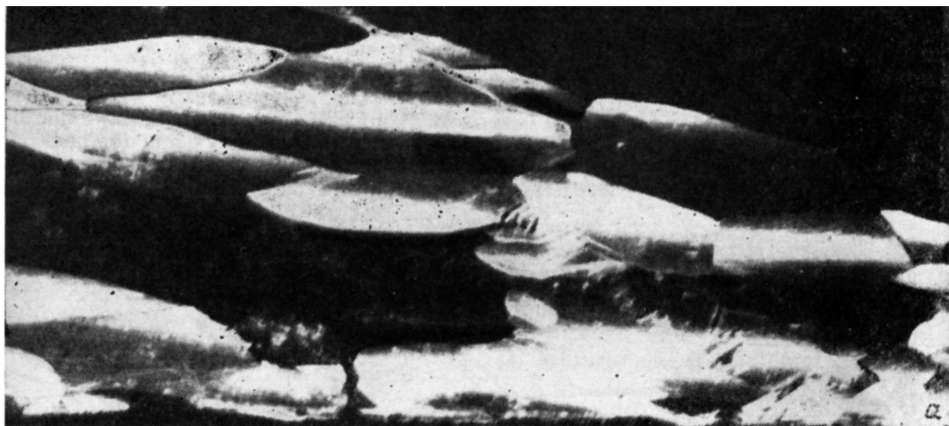


Рис. 1. Рентгеновские топограммы кристаллов  $CaF_2$ .  
а — образец с блочной структурой, б — совершенный образец.

свидетельствует о формировании в кристалле СВВ. Действительно, кривая имеет заметную асимметрию на «хвостах», связанную с изменением фазы СВВ, т. е. с различными величинами поглощения квантов из СВВ на разных краях кривой отражения. Резкое уменьшение флуоресцентного выхода в области максимального отражения, так называемый «экстинкционный провал», связано с большой глубиной выхода  $Ba L_\alpha$  излучения ( $L_{\phi, \lambda} \approx 7$  мкм, что значительно больше длины экстинкции  $L_{ex} \approx 0.6$  мкм).

Для получения структурной информации в тонком приповерхностном слое образцов  $BaF_2$  и  $CaF_2$  были измерены угловые зависимости выхода фотоэлектронов, обладающих малой глубиной выхода. Полученные кривые (рис. 3, в и 4, б соответственно) имеют ярко выраженную дисперсионную форму с четкими максимумом и минимумом, отражающую структуру

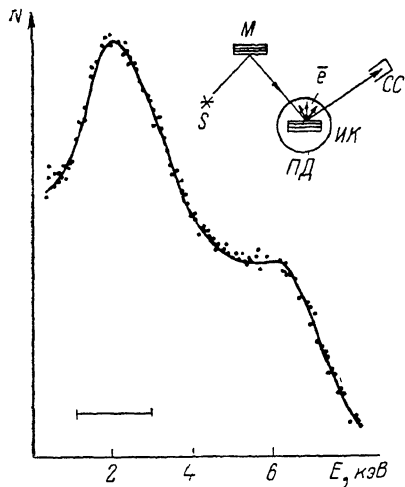


Рис. 2. Энергетический спектр фотоэлектронов, выходящих из кристалла  $BaF_2$  при поглощении рентгеновского излучения (на спектре указан энергетический интервал, выделяемый в эксперименте).

На вставке — схема эксперимента.  $S$  — рентгеновская трубка,  $M$  — кристалл-монокроматор,  $IK$  — исследуемый кристалл,  $ПД$  — пропорциональный детектор,  $СС$  — сцинтилляционный счетчик.

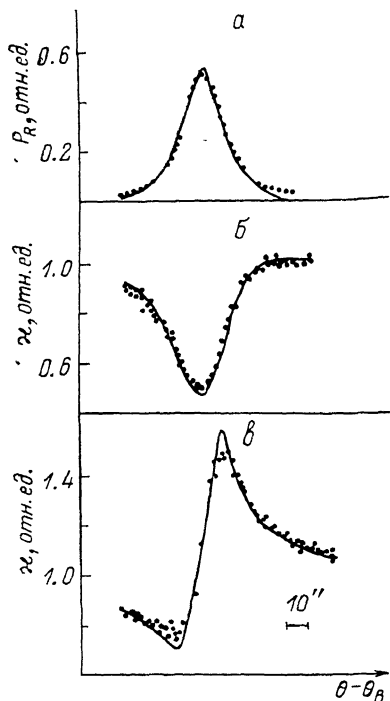


Рис. 3. Экспериментальные угловые зависимости (точки) интенсивности дифракционного отражения  $Si K_{\alpha}$  излучения (а), выхода флуоресцентного излучения от атомов Ва (б) и выхода фотоэлектронов (в).

Образец  $BaF_2$ , (111). Сплошные линии — расчет с учетом условий эксперимента.

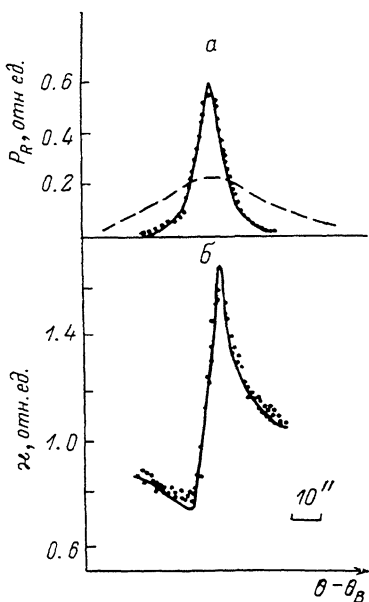


Рис. 4. Экспериментальные угловые зависимости (точки) интенсивности дифракционного отражения  $Si K_{\alpha}$  излучения (а) и выхода фотоэлектронов (б).

Образец  $CaF_2$ , (111). Сплошные линии — расчет с учетом условий эксперимента.

СРВ вблизи поверхности образца. Ввиду того что  $L_{\text{ра}} \ll L_{\text{ex}}$ , экстинкционные искажения кривых, присущие излучениям с большой глубиной выхода, отсутствуют [2].

Экспериментальные кривые хорошо коррелируют с расчетными, что позволяет говорить о достаточно высоком структурном совершенстве образцов (в пределах выбранных участков). Форма фотоэмиссионных кривых указывает на отсутствие на поверхности кристаллов заметного разупорядоченного (аморфного) слоя. Учитывая, что средняя глубина выхода Ва  $L$  фотоэлектронов в ВаF<sub>2</sub> составляет величину порядка 400 Å, а Са  $K$  фотоэлектронов в СаF<sub>2</sub> 2000 Å, можно сделать вывод, что толщины возможных нарушенных слоев на поверхности образцов ВаF<sub>2</sub> и СаF<sub>2</sub> не превышают 50 и 200 Å соответственно.

В заключение отметим, что имеется всего лишь одно исследование подобных систем методом СРВ [4], в котором изучалась тонкая эпитаксиальная пленка СаF<sub>2</sub> на подложке Si (111). Настоящая работа расширяет класс объектов, доступных исследованиям методом СРВ.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Юлдашев У. Ю. // Изв. АН УзССР, сер. физ.-мат. наук. 1987. № 5. С. 105—106.
- [2] Афанасьев А. М., Коп В. Г. // ЖЭТФ. 1978. Т. 74. С. 300—313.
- [3] Мухамеджанов Э. Х., Ле Конг Куи. // ПТЭ. 1985. № 3. С. 183—185.
- [4] Clausnitzer M., Himpfel F. J., Materlik G. Jahresbericht. Haselab am. DESY, 1986. P. 283.

Ташкентский  
политехнический институт им. Беруни  
Джизакский филиал  
Джизак

Поступило в Редакцию  
26 июля 1988 г.  
В окончательной редакции  
22 февраля 1989 г.