

лучей в точку, но в силу двойного отражения от двух кристаллов он будет мало светосилен. Подобный метод недавно разрабатывали Киркпатрик и Бэз⁵. Таким образом, мы стоим перед дилеммой — светосильный метод не даёт схождения пучка лучей в одну точку, а те методы, которые дают схождение в одну точку, не достаточно светосильны. Между тем, для целей рентгеноструктурного анализа и для некоторых вопросов рентгенофизики очень важно получить схождение пучка в одну точку. Чтобы добиться этого, Б. Я. Пинес⁶ предложил изгибать кристалл по поверхности двойкой кривизны и осуществил подобный изгиб кристаллов. Нужно сказать, что на этом пути у Б. Я. Пинеса были предшественники, но, вероятно, никому из них не удалось осуществить изгиба столь хорошо, как это удалось Б. Я. Пинесу. Б. Я. Пинес изгибает кристалл по поверхности тора. Радиус кривизны большей окружности этой поверхности равен удвоенному радиусу круга фокусировки, а малый радиус кривизны зависит от длины волны применяемого излучения и постоянной решётки кристалла. Он должен быть тем больше, чем больше постоянная решётки и чем больше брегговский угол. По подобной поверхности при высокой температуре изгибается кристалл каменной соли. Применяя изогнутые подобным образом кристаллы, Б. Я. Пинес получил очень большую интенсивность монохроматизированных рентгеновских лучей. Это позволило ему заметно снизить экспозицию при съёмке структурных рентгенограмм в монохроматическом свете по сравнению с монохроматорами других типов. Выгода нового типа монохроматора несомненна и ему нужно пожелать скорейшего распространения в наших лабораториях.

Следует отметить, что после Б. Я. Пинеса аналогичное предложение было сделано Дюмондом⁷.

Д. Б. Гогоберидзе

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Боровский и Блохин, Рентгеноспектральный анализ, 1939.
2. L. V. Namoz, Ann. d. Phys. (5), 17, 716 (1933).
3. Doleisek et Tayerle, J. de Phys. et Rad. 9, 465 (1936).
4. Д. Б. Гогоберидзе, ЖТФ 9, 2048 (1939).
5. Kirkpatrick and Baez, A. Journ. Optic Soc. Am. 38, 766 (1948).
6. Б. Я. Пинес, «Светосильные монохроматоры для рентгеновского структурного анализа». Доклад на Третьем совещании по применению рентгеновских лучей в промышленности, Ленинград, 1950 г. Сборник тезисов докладов, изд. АН СССР, 1950 г., стр. 102. Подробное сообщение см. Сборник, посвященный семидесятилетию академика А. Ф. Иоффе, стр. 448.
7. Dumond, Rev. Sci. Inst. 21, 188 (1950).

НОВОЕ В ТЕХНИКЕ ФОКУСИРОВАНИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ

В рентгеноспектральном анализе наиболее широко распространёнными методами разложения в спектр гетерогенного пучка рентгеновских лучей являются фокусирующие методы с использованием изогнутого кристалла. Принципиально эти методы делятся на две группы: с кристаллом, работающим «на просвет» и «на отражение» (рис. 1).

В первом случае отражающими плоскостями кристалла являются кристаллографические плоскости, перпендикулярные к плоскости кристаллической пластинки, во втором — ей параллельные.

В рентгеноструктурном анализе для получения интенсивных монохроматических пучков наиболее успешно также используются монохроматоры с изогнутым кристаллом, работающие по этим же принципам.

В качестве кристаллов-отражателей, как правило, используются кристаллические пластинки из кварца, слюды, гипса, топаза и других минералов.

Для придания таким пластинкам нужного радиуса изгиба они зажимаются в упруго изогнутом состоянии в специальных кристаллодержателях с соответствующими радиусами кривизны. При необходимости

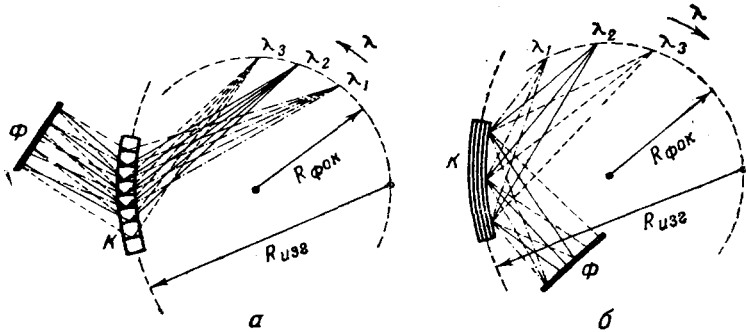


Рис. 1.

а — метод Кошуа; б — метод Иоганна; Φ — фокус трубки; К — кристалл.

изменять радиус кривизны изгиба кристаллической пластинки*) приходится иметь целый набор кристаллодержателей различных радиусов. Однако существует целый ряд неудобств в использовании кристаллодержателей такого типа, не говоря уже о том, что само изготовление кристаллодержателей с совершенно точной цилиндрической поверхностью радиусом 200—1000 мм является не простым делом.

И. Б. Боровский¹ и А. Б. Гильварг² предложили для изгиба кристаллической пластинки по цилиндру использовать тот же принцип, который был применён Е. С. Фёдоровым для изготовления чертёжного лекала с переменным радиусом кривизны («линейка Фёдорова»). Принцип ясен из рис. 2, — в теоретической механике — это случай балки, лежащей на двух опорах, с сосредоточенной нагрузкой по концам (рис. 2, а); при этом средняя часть балки изгибается точно по дуге окружности. Таким образом, если закрепить кристаллическую пластинку между четырьмя штифтами, как это указано на рис. 2, б, и сделать одну пару штифтов (например, внешнюю) подвижной, то можно плавно изменять радиус изгиба средней части пластинки.

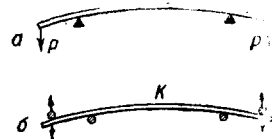


Рис. 2.

При такой схеме возможна фокусировка рентгеновских лучей только по методу «на просвет». Вустер, Рамаханدران и Лэнг³ предложили другое устройство, основанное на этом же принципе упругого изгиба, но позволяющее работать по методу «на отражение» (рис. 3). Пара средних штифтов заменяется подвижной скобой, внешние же штифты делаются неподвижными. Такое устройство удобно для применения в рентгеноструктурном анализе в качестве монохроматора, особенно при использовании светосильных (фокусирующих) камер типа Болина или Бозерта⁴ при рентгеносъемках порошков в монохроматическом излучении.

*) От радиуса изгиба ($R_{изг}$) зависит разрешающая способность прибора и радиус круга фокусировки ($R_{фок}$).

Другим примером отказа от ставших рутинными способов фокусировки является использование отражения от косых плоскостей кристалла, т. е. кристаллических плоскостей, расположенных под углом к плоскости пластинки, а не перпендикулярных (рис. 1, а) или параллельных (рис. 1, б) ей, как делается обычно. Для целей рентгеноспектрального анализа это было предложено В. Н. Протопоповым⁵ как средство устранить недостатки метода Иоганна при малых углах отражения, заключающиеся в резкой дефокусировке спектральной линии при уменьшении угла отражения и в добавочном расширении линии, обусловленном косым падением лучей на плёнку (линия λ_1 на рис. 1, б). При использовании отражения от косых плоскостей (рис. 4) весь спектр поворачивается на $15-20^\circ$, и указанные выше недостатки устраняются.

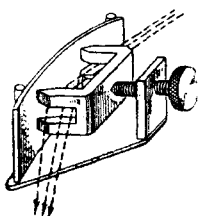


Рис. 3.

Этот метод особенно удобен в монохроматорах, используемых для получения строго монохроматических пучков при изучении рассеяния рентгеновских лучей веществом при малых углах рассеяния. В этом случае, благодаря несимметричному расположению обеих фокальных точек F_1 и F_2 (рис. 4) относительно кристалла, возможно одновременное использование малых расстояний: фокус трубки — кристалл, чем обеспечивается большая светосильность метода, и больших расстояний: исследуемый образец — плёнка (D), что позволяет существенно увеличить разрешающую способность прибора при том же угле рассеяния φ . В фокальной точке F_1 (для данной длины волны) следует установить щель Ш, назначение которой — пропускать лучи лишь тех направлений, которые могут отразиться от кристалла в силу условия Брэгга-Вульфа; это должно обеспечить хорошую монохроматизацию пучка без заметного уменьшения светосильности установки.

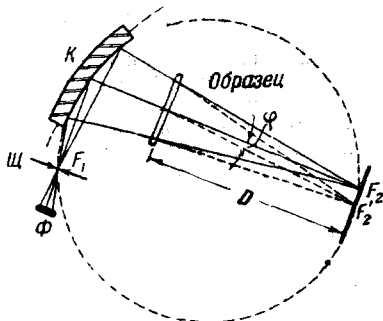


Рис. 4.

Третьим нововведением является применение изогнутых отражающих монокристаллических пластинок из металлов. В частности, Кошуа, Тидема и Бургерс⁶ провели опыты по использованию для рентгеновских спектрографов (как «на просвет», так и «на отражение») монокристаллов алюминия*), изогнутых пластически по участку цилиндрической поверхности с радиусом 200 и 400 мм. После пластической деформации кристаллическая пластинка алюминия подвергается рекристаллизующему отжигу (630°, 24 часа) для восстановления правильности решётки и травлению, — в результате изогнутая по нужному радиусу пластинка оказывается состоящей из мелких блоков, отражающие кристаллографические плоскости которых являются касательными к кругу изгиба (при методах «на отражение») или параллельными радиальным плоскостям (при методах «на просвет»). При использовании монокристаллических пластинок алюминия с отражающими плоскостями (111) авторы получили много более интенсивные (порядка 10:1) спектральные линии для Си-

*) Способ получения больших (площадью в несколько квадратных сантиметров) монокристаллических пластинок алюминия заданной ориентировки был описан одним из авторов ранее⁷.

и Мо-излучения, чем при использовании упруго изогнутых пластинок слюды; размытие же линий при использовании алюминия лишь немного больше, чем для слюды.

Б. Я. Пинес⁸ со своей стороны предложил использовать пластически деформированные монокристаллы цинка (и каменной соли) для применения в монохроматорах. Он сконструировал светосильный рентгеновский монохроматор с фокусировкой в двух плоскостях, т. е. сводящий расходящийся из одной точки рентгеновский пучок снова в точку (рис. 5). Для этого отражающие плоскости в кристалле должны иметь своей огибающей поверхностью поверхность двойной кривизны, что принципиально не может быть сделано путём упругого изгиба. После изготовления матрицы и пуансона с поверхностями в виде участка тороида монокристаллическая пластинка цинка прессуется между ними при комнатной температуре без последующего отжига; кристаллы каменной соли прессуются при температуре 680°. Уничтожение неизбежной при изгибании по цилиндру расходимости монохроматического пучка во втором направлении (вертикальном на рис. 5) путём придания пластинке двойной кривизны и возможность получения очень малых радиусов изгиба делает монохроматоры Б. Я. Пинеса очень светосильными. Для излучения Сг пластинки цинка площадью в несколько квадратных сантиметров и толщиной 1—1,5 мм изгибались с $\rho_1 = 60'$ мм и $\rho_2 = 14$ мм, что обеспечивало сходимость пучка почти в точку на расстоянии всего лишь 30 мм от кристалла; это особенно существенно для очень мягкого излучения хрома.

Наиболее целесообразно использование такого монохроматора в комбинации с рентгеновской трубкой с точечным фокусом, как это и делает Б. Я. Пинес.

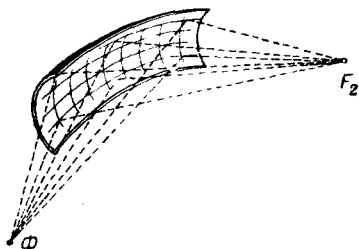


Рис. 5.

Ю. А. Багаряцкий

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. И. Б. Боровский, ДАН 72, 485 (1950).
2. А. Б. Гильварг, ДАН 72, 489 (1950).
3. W. A. Wooster, G. N. Ramachandran and A. Lang, J. Sci. Instr. 26, 156 (1949).
4. R. M. Vozorth and E. F. Haworth, Phys. Rev. 53, 538 (1938).
5. В. Н. Протопопов, Доклад на Третьем совещании по применению рентгеновских лучей к исследованию материалов. Тезисы докладов, изд. АН СССР, 1950, стр. 106.
6. I. Cauchois, T. J. Tidema et W. G. Burgers, Acta Cryst. 3, 372 (1950).
7. T. J. Tidema, Acta Cryst. 2, 261 (1949).
8. Б. Я. Пинес, Сборник, посвященный 75-летию акад. А. Ф. Иоффе, изд. АН СССР, 1950, стр. 448.