

мощью модулирующего устройства и фотоэлемента (рис. 2). Модуляция осуществляется путём перемещения решётки поперёк пространства изображения, вследствие чего свет, прошедший сквозь решётку, модулируется частотой, равной числу щелей решётки, пересекающих в одну секунду данную точку изображения. Если плоскость решётки совпадает с плоскостью изображения, то модуляция становится наиболее глубокой (кривая в нижней части рис. 2 показывает, что по мере расхождения этих плоскостей процент модуляции быстро падает). Прошедший сквозь решётку свет попадает на фотоэлемент, вследствие чего возникает фото-

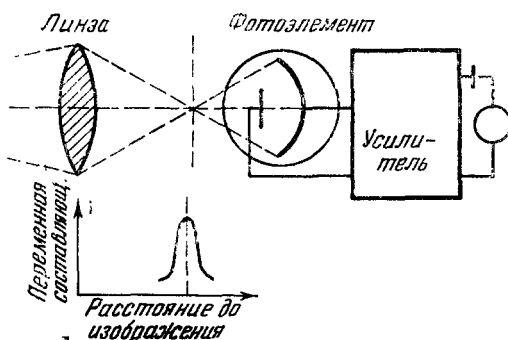


Рис. 2.

ток, переменная составляющая которого свидетельствует о присутствии в данном месте изображения. Для систематического исследования пространства изображения достаточно смещать плоскость перемещения решётки относительно фокуса линзы.

Очевидно, что в тех случаях, когда рассматривается объект равномерной яркости, занимающий всё поле зрения, модуляция отсут-

ствует. Даже если отдельные детали изображения обладают неодинаковой яркостью, всё же существует определённая вероятность отсутствия переменной составляющей фототока вследствие взаимной компенсации светового потока от различных деталей изображения.

Помимо целей локации, описанное устройство может быть применено для автоматической фокусировки кино- и телевизионных камер. Описан, также, основанный на том же принципе прибор для вождения слепых.

И. Л.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. J. Frank, Moles General Electric Review 49, 46 (1946).
2. W. W. Hansen, Trans. Amer. Inst. Electr. Eng. 67, часть I, 660 (1948).
3. Electronics № 4, 102 (1950).

РЕНТГЕНООПТИЧЕСКИЙ «МИКРОСКОП»

Стремление непосредственно видеть отдельные атомы уже давно побуждает исследователей к настойчивым поискам способа осуществить рентгеновский микроскоп. Однако устройства, предлагавшиеся до настоящего времени, не могли разрешить этой проблемы полностью (см., например, ^{1,2}). Не разрешает этой проблемы и устройство, предлагаемое

автором реферируемой работы. К тому же идея этого устройства, которое только с большими оговорками может быть названо «микроскопом», отнюдь не нова. Тем не менее оно, так же как и полученные с его помощью результаты, как нам кажется, заслуживает внимания.

Суть устройства сводится к следующему. Положим, что рассматриваемый объект расположен в фокальной плоскости P_1 линзы L_1 (рис. 1). Линза L_2 , отстоящая от линзы L_1 на расстояние $F_1 + F_2$, создаёт в своей фокальной плоскости P_2 изображение предмета, увеличенное в $\frac{F_2}{F_1}$ раз, где F_1 и F_2 — фокусные расстояния линз. Процесс образования изображения можно рассматривать как состоящий из двух стадий: 1) образование линзой L_1 дифракционного изображения предмета в плоскости P' и 2) образование линзой L_2 в плоскости P_2 дифракционного изображения плоскости P' . Это иллюстрируется на рис. 1 сплошными линиями.

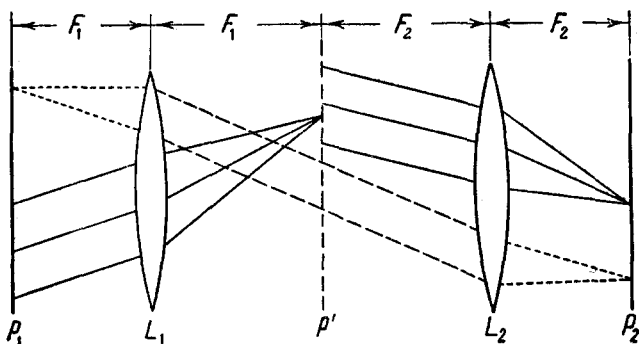


Рис. 1.

Обе стадии, вообще говоря, могут быть разделены во времени и именно, можно предварительно получить дифракционное изображение объекта в плоскости P' , а затем уже независимо получить его дифракционное изображение в плоскости P_2 . При этом, однако, необходимо не только воспроизвести распределение интенсивностей в промежуточном дифракционном изображении, но и соблюсти фазовые соотношения между его частями.

Можно, наконец, совершить дальнейший шаг, осуществляя получение вторичной дифракционной картины с помощью лучей иной длины волны. Простой расчёт показывает, что достигаемое при этом линейное увеличение равно $\frac{F_2}{F_1} \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$, где λ_1 и λ_2 — длины волн излучений, с которыми, соответственно, выполняются первая и вторая стадии получения изображения. В частности, если первую стадию осуществлять с помощью рентгеновских лучей ($\lambda_1 \sim 7 \cdot 10^{-9}$ см; автор использовал K_α -линию молибдена), а вторую — с помощью видимого света ($\lambda_2 \sim 5 \cdot 10^{-5}$ см), то при $F_1 = 5$ см и $F_2 = 200$ см увеличение составит около $3 \cdot 10^5$ крат. Таким образом, атом, размеры которого порядка $1 \text{ \AA}$, изобразится кружком диаметром около $0,03$ мм, хорошо видимым в микроскоп с небольшим увеличением. При этом разрешающая сила устройства определяется величиной λ_1 , и указанное увеличение является отнюдь не фиктивным,

Невозможность использовать для рентгеновского излучения линзы, а также осложнения, связанные с трёхмерностью рассматриваемых периодических структур (условие Вульфа-Брегга), не столь существенны, ибо с помощью общеизвестных методов рентгеноструктурного анализа может быть получена репродукция дифракционной картины, полностью имитирующая дифракционную картину, которая была бы получена с помощью линзы. Иными словами, первая стадия процесса — получение промежуточного изображения в рентгеновских лучах — может быть осуществлена без труда.

Столь же просто осуществляется и вторая стадия. Для этого служит оптическая скамья, на одном конце которой располагается точечный источник света (кварцевая лампа, закрытая непрозрачным экраном с отверстием диаметром около $30\text{ }\mu$). Свет от точечного источника превращается длиннофокусной линзой в параллельный пучок, собираемый затем второй длиннофокусной линзой на другом конце скамьи, где помещается горизонтальный микроскоп, в который и попадает световой пучок. Репродукция промежуточной дифракционной картины помещается между линзами, и окончательное изображение наблюдается (или фотографируется) в микроскоп. Однако здесь возникает принципиальное затруднение, преодолеть которое эффективным образом пока не удаётся. Как уже указывалось, для получения полноценного изображения необходимо соблюсти фазовые соотношения между различными частями промежуточной дифракционной картины. В описанном же устройстве фазовые соотношения нарушены — все части изображения оказываются синфазными. Таким образом, оптическое устройство по существу выполняет патерсоновский синтез со всеми присущими ему недочётами. (При этом приходится преодолевать ещё трудности, связанные с тем, что интерферирующие пучки проходят через плёнку диапозитива, и нужны специальные меры для устранения влияния её неоднородностей.)

Автор видит выход в том, чтобы искусственным путём воссоздавать реальные фазовые соотношения в тех случаях, когда они могут быть определены, исходя из рентгеноструктурных и кристаллографических данных. С этой целью он отказывается от использования репродукций реальной промежуточной дифракционной картины и переходит к её грубому моделированию. В качестве модели им используется непрозрачный металлический экран, в котором в тех местах, где должны были бы находиться дифракционные максимумы, просверливаются отверстия с площадью, пропорциональной амплитудам F_{hkl} , рассчитанным по рентгенографическим данным. Для получения хорошей имитации оказывается необходимым использовать от 100 до 400 отверстий в зависимости от сложности структуры. Далее, отверстия закрываются «фазосместителями», подобранными так, чтобы воспроизвести фазы, ожидаемые согласно тем или иным соображениям. В качестве фазосместителей используются тонкие листочки слюды с переменным углом поворота относительно луча. Особенно просто такое моделирование осуществляется в случае кристаллов с центросимметричной структурой, так как в этом случае фазы отдельных дифракционных максимумов отличаются на 0 или π . Одна из изготовленных автором металлических моделей дифракционной картины (рис. 2) содержала 150 отверстий, из которых 32 были закрыты слюдяными пластинками, смещавшими фазу на π . За подробностями мы отсылаем к оригинальной работе.

С помощью описанного приёма автором получены превосходные «микрофотографии» кристаллической структуры некоторых соединений (см. вклейку в конце выпуска). Отдельные атомы выступают с исключительной отчётливостью, причём наглядно видно различие в электронных плотностях, проявляющееся в различии интенсивности изображения.

Впрочем, к полученному таким путём изображению термин «микрофотография» мало применим. Это скорее «фотомонтаж» или «гравюра». С научной точки зрения его ценность невелика, ибо оно не содержит ничего, чего нельзя было бы извлечь из рентгеноструктурных данных, положенных в основу изготовления металлического макета промежуточной дифракционной картины.

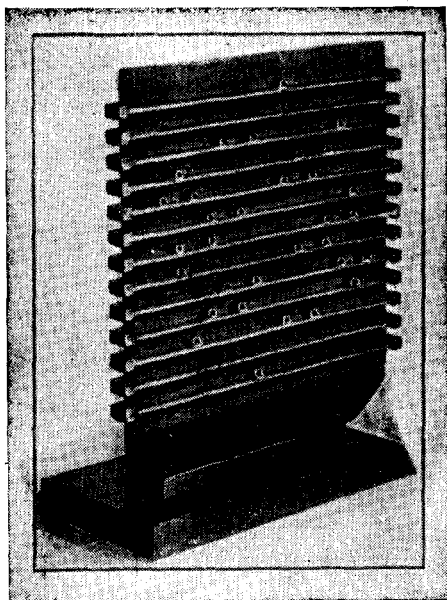


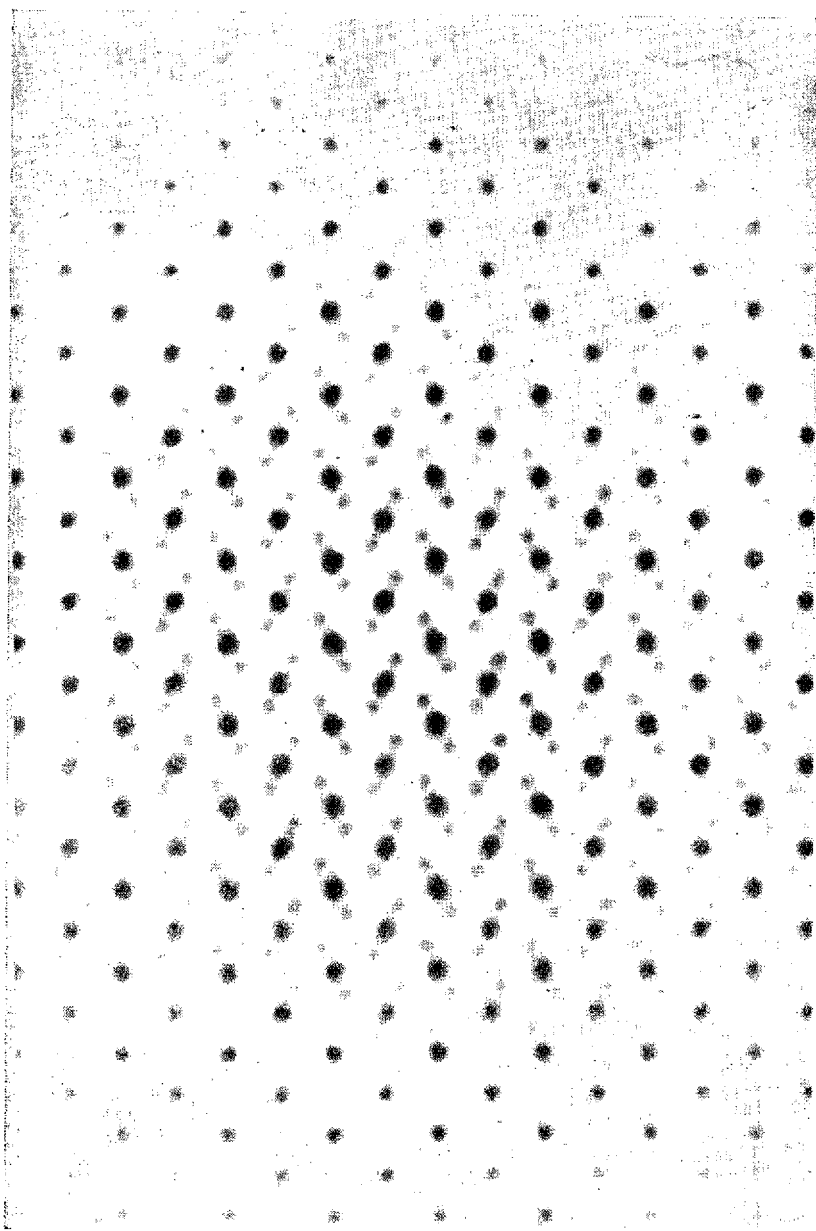
Рис. 2. Металлический макет промежуточной дифракционной картины. Часть отверстий закрыта слюдяными фазосмещателями, заключёнными в металлические оправы.

Не вполне ясно также, насколько целесообразно заменять математические подсчёты процессом изготовления макета, повидимому, довольно кропотливым и трудоёмким. Однако наглядность получаемых с помощью описанного устройства изображений говорит сама за себя и бесспорно оправдывает поиски дальнейших усовершенствований рентгено-оптического «микроскопа».

Г. Р.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. УФН 42, 577 (1950).
2. УФН 35, 595 (1948).
3. M. J. Buerger, J. Appl. Phys. 21, 909 (1950).



«Микрофотография» кристаллической решётки марказита (FeS_2).
Линейное увеличение $2,6 \cdot 10^7$. Более тёмные пятна соответствуют атомам
железа (с 26 электронами каждый), более светлые — атомам серы
(с 16 электронами каждый).