

личие от рентгеновских лучей, к-рые рассеиваются на электронной плотности атомов, рассеяние электронов, обладающих зарядом, определяется их взаимодействием с электростатич. полем атома, создаваемым как положительно заряженным ядром, так и электронной оболочкой атома. Т. о., рассеивающая способность атома зависит от его строения и у разных хим. элементов различна. Количественно она характеризуется атомной амплитудой рассеяния $f_3(\theta)$, пропорциональной атомному номеру элемента Z :

$$f_3(\theta) = \frac{m_0 e^2}{2h^2} \left(\frac{\lambda}{\sin \theta} \right)^2 (Z - f_p),$$

где $m_0 e^2 / 2h^2 = 2,38 \cdot 10^6 \text{ см}^{-1}$, f_p — атомная амплитуда рассеяния рентгеновских лучей. С ростом θ значение f_3 быстро падает: $f_3 \sim (\sin \theta)^{-2}$ (рис. 3). Атомная амплитуда рассеяния характеризует интенсивность рассеянного пучка, к-рая $\sim f_3^2$.

Электроны взаимодействуют с атомами в миллионы раз сильнее, чем рентгеновское излучение (и тем более

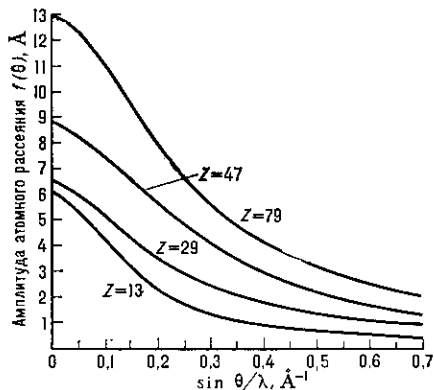


Рис. 3. Атомные амплитуды рассеяния электронов $f_3(\theta)$ для Al, Cu, Ag и Au.

нейтроны), и амплитуда рассеяния электронов более чем на три порядка превышает амплитуду рассеяния рентгеновских лучей. Соответственно интенсивность рассеянного пучка электронов на 6—7 порядков выше, чем рентгеновского. Вследствие интенсивного взаимодействия электронов с атомами дифракц. эксперименты проводят в высоком вакууме, а в качестве образцов используют плёнки толщиной ~ 10 —50 нм (в опытах

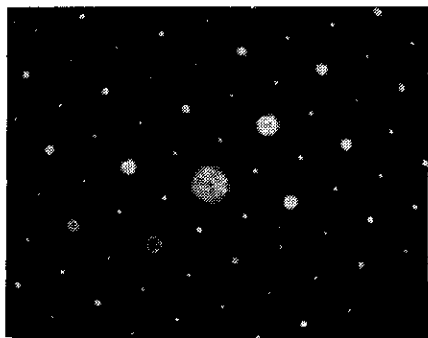


Рис. 4. Дифракционная картина, полученная при прохождении пучка электронов ($E=75 \text{ кВ}$, $\lambda=0,05 \text{ Å}$) сквозь монокристаллическую плёнку ZnSe с ориентацией (111).

на прохождении) либо применяют метод отражения, в к-ром рассеяние происходит в тончайшем поверхностном слое кристалла ~ 1 —10 нм.

Зная значения атомных амплитуд рассеяния и расположение атомов в рассеивающем объекте, можно рассчитать дифракц. картину, т. е. определить пространст-

венное распределение дифракц. максимумов и их интенсивности. Наиб. ярко Д. э. проявляется при рассеянии на кристаллах (рис. 4), т. к. в них атомы расположены упорядоченно в виде трёхмерной дифракц. решётки. При рассеянии пучка электронов на газах, жидкостях или аморфных телах, где сохраняется лишь ближний порядок, обычно наблюдается лишь несколько размытых ореолов.

Д. э. на кристаллах. Д. э. играет важную роль в исследовании структуры кристаллов. Так, симметрия дифракц. картины содержит информацию о типе кристаллич. решётки вещества. Для более подробного анализа структуры необходим расчёт интенсивностей рассеянных электронных волн с помощью динамич. теории дифракции электронов, к-рая идентична динамич. теории дифракции рентгеновского излучения в толстых кристаллах. Невозможность использования кинематич. теории для расчёта интенсивностей связана с большой величиной атомной амплитуды для электронов, вследствие чего даже в очень тонких образцах велика вероятность многократного рассеяния электронов, к-рое не учитывает кинематич. теория.

Для исследования структуры неорганич. веществ и биол. объектов служит метод просвечивающей электронной микроскопии, в к-ром используют дифракцию электронов с энергией 10^4 — 10^5 эВ. Более высокие ($\sim 10^8$ эВ) ускоряющие напряжения применяют в электронной микроскопии высокого разрешения, позволяющей анализировать структуру веществ вплоть до атомных масштабов.

До 1964 в структурных исследованиях использовали лишь дифракцию быстрых электронов. Однако для анализа поверхностных структур более эффективным оказалось использование дифракции медленных электронов с энергией 10—100 эВ. Метод дифракции медленных электронов основан на выборочной регистрации электронов, не испытавших неупругого рассеяния в веществе. Поскольку все электроны, проникающие в кристалл глубже чем на ~ 1 нм, теряют часть энергии, распределение упруго отражённых частиц даёт информацию о структуре тончайшего приповерхностного слоя. С помощью этого метода исследованы структуры атомарно-чистых поверхностей разл. кристаллов (Ge, Si, GaAs, Au, Mo, W, PbS и т. д.), адсорбированных слоёв, нач. стадий окисления, эпитаксии и т. д. Наиб. интересный результат этих исследований — открытие реконструкции поверхности полупроводников, т. е. преобразования структуры при отжиге (Ge, Si) или при изменении хим. состава (GaAs, InSb), при к-ром происходит образование поверхностных *сверхструктур*. Точный количеств. анализ данных по дифракции медленных электронов требует громоздких расчётов на ЭВМ в рамках динамич. теории.

Эффекты интерференции электронных волн в кристалле проявляются не только в виде образования характерных дифракц. картин. Дифракция внутри самого кристалла изменяет также характер неупругих процессов, происходящих при столкновениях быстрого электрона с атомами вещества (см. *Аномального пропускания эффект*). Анализ зависимости вероятности неупругих процессов от ориентации падающего на кристалл пучка электронов лежит в основе спектроскопии характеристических потерь энергии электронов, спектроскопии рентгеновского излучения.

Лит.: Пинскер З. Г., Дифракция электронов, М.—Л., 1949; Вайнштейн Б. К., Структурная электронография, М., 1956; Современная кристаллография, под ред. Б. К. Вайнштейна, т. 1, М., 1979; Каули Дж., Физика дифракции, пер. с англ., М., 1979; Мозольков А. Е., Федянин В. К., Дифракция медленных электронов поверхностью, М., 1982; Томас Г., Гориндж М. Дж., Просвечивающая электронная микроскопия материалов, пер. с англ., М., 1983. С. А. Семилетов.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ФОРМА — алгебраич. функция от дифференциалов координат. Используется в матем. анализе и дифференц. геометрии, а также в их приложениях. В физ. приложениях дифферен-