

рефлексов на электронограммах. Межплоскостное расстояние $d=L\lambda/r$, где L —расстояние от образца до фотопластинки; λ —длина волны де Бройля электрона, определяемая его энергией; r —расстояние от рефлекса до центр. пятна на электронограмме. Методы расчёта атомной структуры кристаллов в Э. близки к применяемым



Рис. 2. Кикучи-электронограмма, полученная методом «на отражение» (симметрично расположены тёмные и светлые кикучи-линии).

в рентг. структурном анализе. Так, ф-ла для распределения эл.-статич. потенциала $\varphi(x, y, z)$ аналогична ф-ле для распределения электронной плотности $\rho(x, y, z)$ в рентг. структурном анализе. Расчёт значений $\varphi(x, y, z)$, обычно проводимый на ЭВМ, позволяет установить координаты x, y, z атомов, расстояния между ними и т. д. (рис. 3).

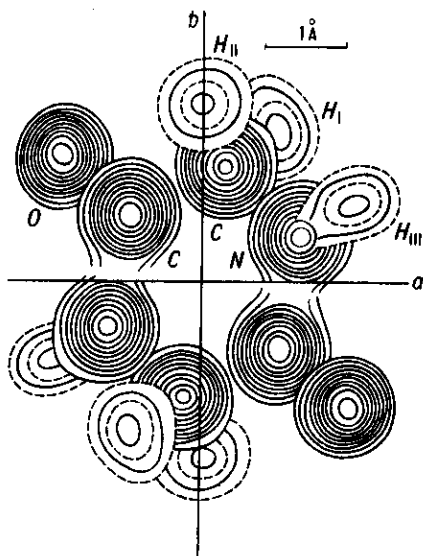


Рис. 3. Электрический потенциал молекулы дикетопиперазина в кристаллической структуре, полученный трёхмерным фурье-синтезом; a и b —оси симметрии молекулы. Сгущение линий соответствует положениям атомов.

Методами Э. были определены мн. атомные структуры, уточнены и дополнены рентгеноструктурные данные для большого числа веществ, в т. ч. мн. цепных и циклич. углеводородов, в к-рых впервые были локализованы атомы водорода, нитридов переходных металлов (Fe, Cr, Ni, W), обширного класса оксидов Nb, V, Ta с локализацией атомов N и O, а также 2- и 3-компонентных полупроводниковых соединений, глинистых минералов и слоистых структур. При помощи Э. исследуют и структуру дефектных кристаллов. В комплексе с *электронной микроскопией* Э. позволяет изучать фазовый состав и степень совершенства структуры тонких кристаллич. плёнок, используемых в разл. областях совр. техники. Для процессов эпителизации существенным является контроль степени совершенства поверхности подложки до нанесения плёнок,

к-рый выполняется с помощью кикучи-электронограмм: даже незначит. нарушения её структуры приводят к размытию кикучи-линий.

Существенное развитие получили дифракц. методы с использованием сходящегося пучка электронов, традиционно применявшиеся для установления симметрии кристаллич. вещества. Анализ двумерного распределения интенсивности в дифракц. пятне позволяет определять тройные фазовые структурные инварианты, к-рые используются в т. н. прямых методах для определения фаз структурных амплитуд (см. *Рентгеновский структурный анализ*). При определ. условиях распределение интенсивности в дифракц. пятнах может быть применено для вычисления структурных факторов и их фаз. Однако полная интерпретация такой дифракц. картины на основе теории многолучевой динамич. дифракции встречает матем. трудности и требует больших вычислит. мощностей или использования приближённых методов анализа.

Методами дифракции электронов может быть осуществлено полное исследование атомного строения твёрдого тела. Основы этой т. н. электронной кристаллографии заложены учёными Москвы. Сочетание микродифракции электронов с электронной микроскопией атомного разрешения открыло принципиально новые возможности локального анализа атомного строения и исследования реальной структуры кристаллич. вещества. *Фурье-преобразование* данных эксперимента позволяет вычислить фазы структурных амплитуд, к-рые могут быть приписаны определяемому по дифракц. картине модулям структурных амплитуд. Зная модули структурных амплитуд и фазы, можно построить пространств. распределение потенциала в исследуемом кристалле.

На электронограммах, получаемых от молекул газов, а также паров оксидов, галогенидов и др. соединений, дифракц. пучки образуют диффузные кольцевые ореолы, диаметры и интенсивность к-рых определяются расположением атомов в молекуле и дифракц. характеристиками атомов (их атомными амплитудами упругого и неупругого рассеяния). Методы газовой Э. позволяют определять структуры молекул с числом атомов до 10—20, а также характер их тепловых колебаний в широком интервале темп-р. Аналогичным методом проводят анализ атомной структуры ближнего порядка (см. *Дальний и ближний порядок*) в аморфных телах, стёклах, жидкостях.

При использовании дифракции медленных электронов, к-рые вследствие малости энергии проникают лишь в самые верх. слои кристалла, получают сведения о структуре «двумерной» решётки как атомов самого кристалла у его поверхности, так и адсорбированных кристаллом атомов газов. При дифракции медленных электронов могут также происходить *оже-эффект* и др. явления, возникающие вследствие сильного взаимодействия медленных электронов с атомами. Применение этого метода целесообразно в сочетании с *масс-спектроскопией* и *оже-спектроскопией*. Эти исследования позволяют изучать явления *адсорбции*, самые начальные стадии *кристаллизации* и др.

Лит.: Пинскер З. Г., Дифракция электронов, М.—Л., 1949; Вайнштейн Б. К., Структурная электронография, М., 1956; Звягин Б. Б., Электронография и структурная кристаллография глинистых минералов, М., 1964; Современная кристаллография, т. 1, М., 1979, с. 327.

З. Г. Пинскер.

ЭЛЕКТРОН-ФОНОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ— взаимодействие между двумя подсистемами квазичастиц в твёрдых телах, а именно, носителями заряда (*блоховскими электронами* в металлах, полупроводниках и диэлектриках или дырками в этих веществах) и тепловыми колебаниями кристаллич. решётки твёрдых тел—*фононами*. Конкретный вид гамильтониана Э.-ф. в. зависит от структуры кристалла, числа носителей заряда, характера зонного спектра и особенностей колебаний кристаллич. решётки.

Введение. В идеальной кристаллич. решётке все атомы или ионы узлов расположены строго периодически в пространстве и не двигаются (их можно считать «замороженными»).

Однако даже при темп-ре абс. нуля ионы совершают нулевые колебания. При темп-рах, отличных от нуля, воз-