

и в др. случаях, когда важна точная информация о неоднородностях в объеме тела.

Лит.: Левин Г. Г., Вишняков Г. Н., Оптическая томография, М., 1989; Физика визуализации изображений в медицине, под ред. С. Уэбба, пер. с англ., [т. 1—2], М., 1991.

В. А. Слеминг.

РЕНТГЕНОВСКАЯ ТОПОГРАФИЯ — совокупность методов получения изображений дефектов в кристаллах при помощи дифракции рентг. лучей. Во всех методах Р. т. рентг. пучок от источника направляют на кристалл так, чтобы для всего кристалла или его части выполнялось *Брэгга — Вульфа условие*; возникающие при этом дифрагиров. пучки (иногда и прошедший пучок) регистрируются фотопластинкой; зафиксировав изображение наз. рентг. топограммой.

Процесс дифракции рентг. волны в искаженном дефектами кристалле рассматривается в разл. приближениях кинематич. и динамич. теорией (см. *Дифракция рентгеновских лучей*). В обоих случаях влияние искажений атомной структуры на дифракцию описывается параметром локального отклонения положения атомных плоскостей кристалла от брэгговского: $\text{ctg}\theta \cdot \delta d/d + \delta\theta$, где θ — угол Брэгга, первое слагаемое учитывает локальное изменение δd межплоскостного расстояния d для отражающих атомных плоскостей, второе — их локальный угол поворота $\delta\theta$. Интенсивность дифрагированного и прошедшего пучков на поверхности выхода из кристалла определяется значениями этого параметра в объеме кристалла, где происходит дифракция рентг. волн. Т. о., распределение интенсивности регистрируемых пучков отображает отклонения строения кристаллич. структуры от идеальной, т. е. рентг. топограмма содержит информацию об искажениях структуры (дефектах). В зависимости от применяемого метода съемки на топограмме видны границы блоков, единичные дислокации, включения, дефекты упаковки, магн. домены, неоднородности распределения примеси, границы окисных пленок на поверхностях кристаллов и изделий из них, а также искажения, вызванные внеш. полями (напр., температурными, акустическими и т. п.). Анализ дифракц. контраста (распределения интенсивности) изображений дефектов проводится на основе динамич. теории рассеяния рентг. лучей и позволяет определять некоторые качественные (знак избыточного объема включений, направление вектора Бюргерса *дислокаций*), а в некоторых случаях и количественные характеристики дефектов (величину деформации, величину вектора Бюргерса *дислокаций* и пр.).

Как правило, в Р. т. используется только двухволновая дифракция, когда для каждого пучка излучения с длиной волны λ условие Брэгга — Вульфа выполняется только для одной системы отражающих плоскостей и возникает только один дифрагиров. пучок. В соответствии с ф-лой Брэгга расходимость дифрагиров. пучка $\delta\theta_d$ в плоскости рассеяния связана с его спектральной шириной $\delta\lambda_d$ соотношением

$$\delta\theta_d = \text{tg}\theta \cdot \delta\lambda_d / \lambda. \quad (1)$$

Если расходимость падающего на кристалл пучка велика, т. е.

$$\delta\theta_i > \text{tg}\theta \cdot \frac{\delta\lambda_i}{\lambda} \quad (2)$$

($\delta\lambda_i$ — спектральная ширина падающего на кристалл пучка), то $\delta\theta_d$ лимитируется спектральной шириной падающего на кристалл излучения в соответствии с соотношением (1); обычно этот случай реализуется при съемке в монохроматическом (напр., характеристическом) излучении. Расходимость падающей волны определяется как

$$\delta\theta_i = \delta x / l,$$

где δx — размер источника в плоскости рассеяния, l — расстояние от источника до кристалла. Напр., при

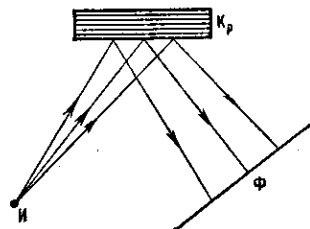


Рис. 1. Схема съемки рентгеновских топограмм по методу Шульера для исследования блочных кристаллов Кр; И — точечный источник непрерывного спектра. Повороты блоков приводят к смещению их изображения на фотопластинке Ф.

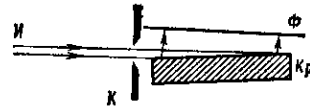


Рис. 2. Схема съемки топограмм по методу Берга — Баррета для наблюдения дефектов в тонких приповерхностных слоях кристалла: И — источник монохроматического излучения; К — коллиматор; Кр — кристалл; излучение падает на кристалл под скользким углом (1—5°).

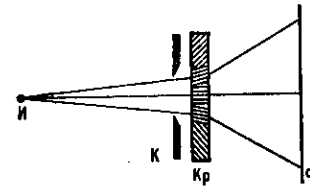


Рис. 3. Схема съемки топограмм по методу Фудживара для наблюдения блочности монокристаллов; И — микрофокусный источник излучения непрерывного спектра; К — коллиматор; съемка производится при одновременном отражении излучения от разных семейств атомных плоскостей кристалла Кр. Схема Фудживара аналогична схеме съемки *лауэграмм*, но в ней используется сильно расходившийся пучок, изучается распределение интенсивности излучения в каждом дифракционном пятне.

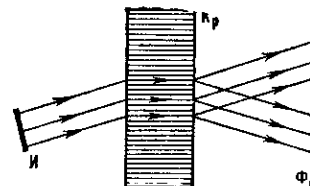


Рис. 4. Схема съемки топограмм по методу Бормана. В результате эффекта Бормана при выполнении условий Брэгга — Вульфа коэффициент поглощения идеального кристалла Кр уменьшается на два порядка. Дефекты, для которых не выполняется условие Брэгга — Вульфа, поглощают излучение источника И, что приводит к их изображению на фотопластинке Ф.

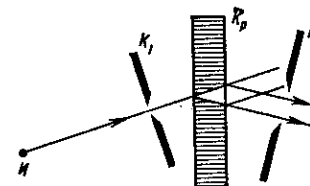


Рис. 5. Схема съемки топограмм по методу Ланга для наблюдения дефектов в высоко совершенных полупроводниковых монокристаллах. Используется характеристическое излучение $K_{\alpha 1}$ от микрофокусного источника И, которое коллимируется коллиматором K_1 так, чтобы условие Брэгга — Вульфа выполнялось для излучения $K_{\alpha 1}$ и не выполнялось для излучения $K_{\alpha 2}$. Фотопленку Ф сканируют синхронно с кристаллом Кр для получения изображения дефектов по всей длине кристалла.

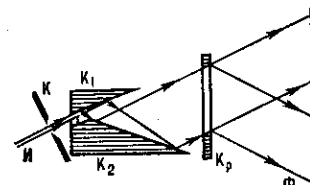


Рис. 6. Схема метода плоскостной топографии для наблюдения дефектов с особо слабыми полями искажений (от микродефектов — кластеров, дислокационных микропетель размером 1 мкм и т. д.). Отражение от кристаллов K_1 и K_2 используется для получения высокой коллимации пучка (с расходимостью 0,1—0,01°) монохроматического излучения. Кристалл Кр удерживают в определенном отражающем положении в течение десятков часов.