

ет собой камеру-обскуру (рис. 1, а), отверстие находится на малом расстоянии (S_1) от источника O и на большом (S_2) — от регистрирующего экрана \mathcal{E} или детектора. Увеличение такого проекционного Р. м. $M = S_2/S_1$, разрешение определяется диаметром отверстия d и условиями дифракции, дифракц. предел составляет $\delta \approx (\lambda S_1)^{1/2}$.

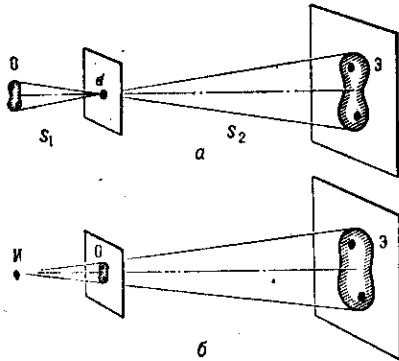


Рис. 1. Схемы проекционных рентгеновских микроскопов для исследования структуры самосветящихся (а) и просвечиваемых (б) объектов; O — объект; I — источник излучения; \mathcal{E} — экран.

В просвечивающем проекционном Р. м. (рис. 1, б) микрофокусный рентг. источник I создаёт теневое изображение объекта O на экране \mathcal{E} , регистрируемое на фотоплёнку или детектором телевиз. типа. Для источника конечного размера d разрешение такого Р. м. определяется суммой $\delta_1 = \delta + \delta'$, где $\delta' = d(S_2/S_1)$ и в обычном случае составляет ~ 1 мкм. Недостатки проекционного Р. м. — малая апертура и большая радиац. нагрузка на просвечиваемый объект.

Контактный рентгеновский микроскоп является предельным случаем проекционного Р. м. при S_2 , равном толщине образца, к-рый устанавливается в непосредств. контакте с фотоплёнкой или экраном. Этот метод иногда называют микрорадиографией. Источник I устанавливается на значит. удалении от образца O , причём размер и соответственно мощность источника могут быть значительно больше, чем в случае проекционного Р. м. Разрешение зависит от толщины образца t и контраста между «тёмными» и «светлыми» деталями объекта, в дифракц. пределе $\delta \approx (\lambda t)^{1/2}$. Напр., при $\lambda = 3$ нм и $t = 3$ мкм $\delta \approx 100$ нм. Для регистрации изображений с таким разрешением используют фоторезисты, применяемые в фотолитографии и имеющие существенно более высокое собств. разрешение (напр., для резиста ПММА — 5 нм). После проявления или травления изображение объекта увеличивается с помощью электронного или оптич. микроскопа.

Отражательный рентгеновский микроскоп может быть и изображающим, и сканирующим, с оптикой скользящего падения или нормального падения с многослойным покрытием (см. Рентгеновская оптика). Р. м. этого типа работают в области $\theta < 4$ кэВ, рассматривается возможность осуществить эту схему Р. м. для более «жесткого» излучения (в области $\theta \sim 10$ кэВ). Классич. тип отражательного Р. м. скользящего падения — микроскоп Киркпатрика — Бааза, состоящий из пары скрещённых сферич. или цилиндрич. зеркал (рис. 2). В этой схеме источник O и зеркала A и B расположены таким образом, что меридиональное O' и сагиттальное O'' астигматические промежуточные изображения источника (см. Изображение оптическое), создаваемые зеркалом A , были бы соответственно сагиттальным и меридиональным изображениями для зеркала B , к-рое благодаря обратимости объекта и изображения создаёт стигматическое увеличенное изображение источника в точке O_1 . Предельное дифракц.

разрешение таких Р. м. $\approx \lambda/20_{кр}$ ($\theta_{кр}$ — критич. угол полного внеш. отражения). Для однородных покрытий $\theta_{кр} \sim \lambda$, поэтому это отношение не зависит от λ и в области $0,1 < \theta < 4$ кэВ для наиб. плотных металлич. покрытий (напр., платины) составляет 5—7 нм. Реальное разрешение Р. м. Киркпатрика — Бааза определяется сферич. аберрацией и комой и обычно составляет

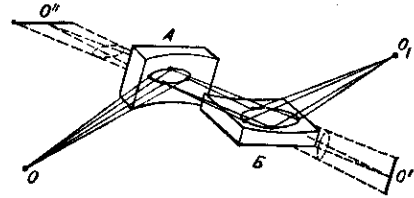


Рис. 2. Схема отражательного рентгеновского микроскопа скользящего падения Киркпатрика — Бааза; O — источник (излучающий объект); A и B — сферические или цилиндрические зеркала; O' и O'' — промежуточные астигматические изображения; O_1 — действительное изображение.

1 мкм. Оно может быть повышено только за счёт уменьшения размеров зеркал и, следовательно, светосилы, к-рая в результате не намного превышает светосилу проекционного Р. м.

Значительно большей (на 2—3 порядка) светосилой обладают отражательные Р. м. скользящего падения с зеркальными системами Вольтера, из к-рых чаще используется система гиперболоид—эллипсоид (см. рис. 2 в ст. Рентгеновская оптика). Теоретич. разрешение таких Р. м. на оптич. оси определяется соотношением $\delta \approx (1 + M)\lambda/4\sin\theta$, где M — увеличение, θ — угол скольжения, примерно равный $1/8$ апертуры. Напр., для сканирующего Р. м., дающего уменьшенное изображение источника в плоскости просвечиваемого объекта с $M = 0,3$ и $\theta = 3^\circ$, при $\lambda = 2,5$ нм $\delta = 5$ нм. Реальное разрешение зависит от точности изготовления зеркал, имеющих глубоко асферическую форму, и составляет ~ 1 мкм; необходимая для получения теоретич. разрешения точность (~ 1 нм) пока недостижима для совр. технологии. Полевые аберрации отражат. Р. м. этого типа довольно велики и ограничивают поле зрения до угл. величины $\sim 1^\circ$. Использование многослойных интерференц. покрытий позволяет увеличить угол θ и тем самым повысить светосилу отражательного Р. м. скользящего падения.

Весьма перспективен отражательный Р. м. нормального падения по схеме Шварцшильда, в к-ром используются зеркала с многослойным покрытием (рис. 3).

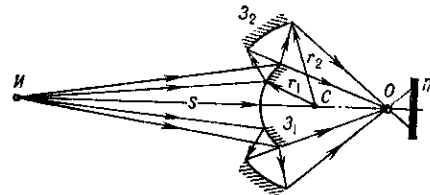


Рис. 3. Схема отражающего рентгеновского микроскопа с зеркалами нормального падения по схеме Шварцшильда; I — источник; Z_1 и Z_2 — зеркала с многослойным покрытием; O — объект; II — приёмник излучения.

Сканирующий микроскоп этого типа даёт уменьшенное изображение источника с помощью зеркал сферич. формы, расположенных почти concentрически. Для заданных параметров: числовой апертуры A , коэф. уменьшения M и расстояния от источника до первого зеркала S — существуют такие оптим. значения радиусов кривизны зеркал r_1 и r_2 и расстояния между ними, при к-рых сферич. аберрация, кома и астигма-