

полосы отражения. При изготовлении подложки из веществ, прозрачных для рентг. излучения (напр., С, Si), удаётся создать делитель рентг. пучка, эталон Фабри — Перо (рис. 5) и т. п. оптич. элементы.

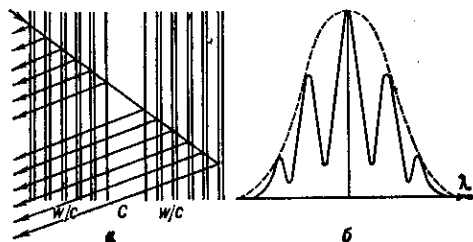


Рис. 5. Эталон Фабри — Перо для рентгеновского излучения (а), состоящий из многослойных покрытий W и C, и его кривая отражения (б).

На качество зеркал с МСП влияют погрешность формы и шероховатость поверхности подложки, межслоевые шероховатости и разброс толщин слоёв, неравномерная плотность слоёв и размытие их границ вследствие диффузии. Влияние шероховатости подложки, проявляющееся на всех слоях структуры, и шероховатостей поверхностей самих слоёв проявляется в снижении коэф. отражения МСП, к-рое описывается Дебая — Уоллера фактором:

$$R = R_0 \exp [-(2\pi\sigma/d)^2],$$

где R_0 — коэф. отражения структуры при абсолютно гладких границах слоёв, σ — эфф. высота шероховатости слоя. МСП с наиб. гладкой поверхностью слоя ($\sigma \sim 0,2-0,3$ нм) удаётся получить при напылении на хорошо отполированную подложку из кремния или плавленого кварца структур типа (Re — W) — C, Ni — C, для к-рых получены МСП с наим. периодом ($d \sim 1,2$ нм).

Отражающие и пропускающие дифракц. решётки используются в МР- и УМР-областях для монохроматизации излучения и построения спектральных изображений. Дисперсионное уравнение для отражающих дифракц. решёток (ОДР) в общем случае имеет вид

$$d \sin \gamma (\sin \alpha + \sin \beta) = m\lambda,$$

где d — период решётки, γ — угол между волновым вектором падающего пучка и нормалью на плоскость дисперсии, α и β — углы между проекциями на плоскость дисперсии волновых векторов падающего и дифрагиров. пучков и нормалью к плоскости решётки. Решётка может освещаться по классич. схеме, когда падающий пучок лежит в плоскости дисперсии, и по т. н. схеме конич. дифракции, в к-рой плоскость падения пучка почти нормальна к плоскости дисперсии, т. е. пучок падает вдоль решётки. Эффективность ОДР определяется интенсивностью дифракц. пучка, зависящей от углов дифракции, периода решётки, геометрии штриха, его освещения и коэф. отражения покрытия, к-рый, в свою очередь, зависит от угла θ между направлением пучка и плоскостью отражающей грани штриха (в большинстве случаев θ не превышает $20-30^\circ$).

Преимущество классич. схемы — более высокая дисперсия, т. к. за счёт скользящего падения видимое расстояние между штрихами решётки уменьшается в $1/\sin \theta$ раз. В то же время для схемы конич. дифракции характерна более высокая эффективность, поскольку в ней отсутствует взаимное затенение штрихов.

В рентг. области наиб. часто используют ОДР с треугольным, синусоидальным или прямоуг. штрихом; в последних может быть получена концентрация излучения в определ. порядок спектра за счёт интерференции

волн, отражённых от верхней и нижней поверхностей профиля штриха. В классич. схеме наиб. эффективностью обладают решётки с треугольным профилем штриха — эшелетты — при выполнении условия блеска, т. е. когда падающий и дифрагиров. пучки симметричны относительно нормали к отражающей грани штриха. Макс. эффективность (теоретич.) эшелеттов с золотым покрытием и частотой 600 штрихов на 1 мм достигается при угле блеска $2,5^\circ$ и $\lambda \sim 10$ нм — св. 40%; для ОДР синусоидального и прямоуг. профиля она составляет соответственно ок. 30 и 20%. С увеличением частоты штрихов, а также при больших или меньших λ эффективность падает. Кроме того, реальная эффективность ниже теоретической в 1,5–2 раза из-за несовершенства формы штрихов и шероховатости их поверхности.

По форме ОДР могут быть плоскими, сферическими или асферическими. Вогнутые ОДР могут использоваться одновременно в качестве диспергирующего и фокусирующего элементов. Для снижения значит. aberrаций, возникающих при скользящем падении, применяют особые схемы расположения источника, решётки и детектора (напр., для сферич. решётки — схема Роуленда; см. Рентгеновская спектральная аппаратура), а также переходят к асферич. форме подложки (тороидальной, эллиптической или более высокого порядка). Для получения стигматич. изображений используют также перем. шаг и кривизну штрихов, при этом могут быть построены весьма светосильные ОДР, дающие спектральные изображения с разрешением $\lambda/\Delta\lambda \sim 10^4-10^5$ [предельное разрешение обычных сферич. решёток с регулярными прямолинейными штрихами не превышает $(2-3) \cdot 10^3$].

Совр. способы изготовления ОДР — нарезка на металле (алюминий, золото) алмазным резцом на станке с управлением от ЭВМ (макс. частота 3600 штрихов на мм; возможно получение профиля штриха с малым углом наклона при ограничениях на форму подложки), а также голографич. методы с использованием УФ-лазеров и синхротронного излучения (макс. частота — до неск. десятков тысяч штрихов на мм). Для достижения оптим. профиля штрихов — треугольного или прямоугольного — и переноса голографич. рисунка решётки на более гладкую подложку применяют ионное травление. Для полученных таким способом кварцевых ОДР с прямоуг. штрихом КВ-граница составляет ок. 0,5 нм. С помощью рентгеновской литографии изготавливают рентгеновские ОДР с многослойным покрытием, к-рые могут работать с высокой эффективностью при больших θ вплоть до нормального падения, однако их область дисперсии ограничена спектральной шириной максимума отражения покрытия.

Пропускающие дифракц. решётки (ПДР) изготавливаются методами микролитографии и представляют собой тонкоплёночные структуры, обычно из Au, толщиной от неск. мкм. Макс. эффективность дифракции зависит от λ и в 1-м порядке может достигать 5–10% при плотности штрихов от неск. сотен до неск. тысяч на 1 мм. Вследствие конечной толщины структуры существует КВ-предел применения ПДР ($\sim 0,1$ нм), ниже к-рого решётка становится практически прозрачной. ПДР могут устанавливаться в сходящемся или расходящемся пучке совм. с фокусирующей Р. о., при этом для коррекции возникающих aberrаций шаг структуры делают переменным.

Зонные пластинки Френеля (ЗПФ) в рентг. диапазоне являются дифракц. аналогами обычных линз и обладают наивысшим из рентгенооптич. элементов пространственным разрешением. ЗПФ как рентгенооптич. элемент предложен в 1952 А. Баззом (А. Baez). Они служат осн. элементом в сканирующих и изображающих рентг. микроскопах с использованием синхротронного излучения. ЗПФ представляет собой искусств. микроструктуру с радиально расположенны-