

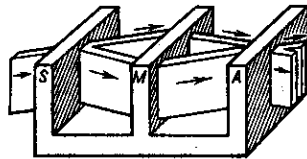
Для повышения  $R_e$ , а следовательно, и светосилы прибора за счёт нек-рого снижения разрешающей силы используют мозаичные кристаллы, состоящие из множества отд. блоков, кристаллографич. плоскости к-рых слегка развёрнуты друг относительно друга.

Рентгеноопт. элементы на основе кристаллов могут быть плоской, цилиндрич., сферич. или асферич. формы, к-рая им придаётся изгибом и полировкой в спец. оправках или наклеиванием (выращиванием) тонких кристаллов на подложки требуемой формы.

Дифракция ЖР-излучения на совершенном кристалле благодаря регулярному расположению атомов кристаллич. структуры носит динамич. характер (динамич. дифракция; см. *Дифракция рентгеновских лучей*). Это означает, что многократное рассеяние излучения на кристаллич. плоскостях сохраняет свои когерентные свойства, в результате чего амплитуда дифрагиров. волн становится сравнимой с амплитудой проходящей волны. Интерференция дифрагированных и проходящей волн приводит к образованию результирующего волнового поля в кристалле, к-рое может быть представлено в виде суперпозиции волн, получивших назв. *б л о х о в с к и х*. Эфф. длина блоховской волны в кристалле принимает значение от единиц до десятков мкм, что существенно снижает требования к изготовлению рентгеноопт. элементов.

Рентгеноопт. прибором, использующим брэгговскую дифракцию, является интерферометр Бонзе — Харта (рис. 3), состоящий из трёх пластинок с общим основанием, изготовленных из монокристалла (напр., Si). Расщеплённый на кристалле-разделителе  $S$  рентг. пучок сводится кристаллом-зеркалом  $M$  на анализаторе

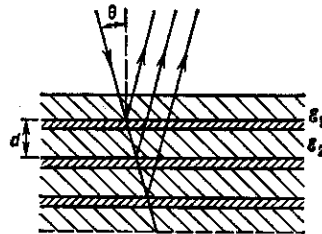
Рис. 3. Рентгеновский интерферометр Бонзе — Харта.



А. Сформированная интерференц. картина обладает исключительно высокой чувствительностью к разл. рода нарушениям. Такого типа интерферометры используются для измерений показателей преломления, структурных дефектов. Применение технологии микроструктурирования позволяет изготавливать из совершенных монокристаллов сложные типы микроинтерферометров, спектральных приборов и их элементов.

Рентгеновская оптика многослойных покрытий. В МР- и УМР-области используют зеркала с многослойными покрытиями (МСП), к-рые, в отличие от зеркал скользящего падения, могут работать при любых углах вплоть до нормального паде-

Рис. 4. Схема многослойных покрытий;  $\epsilon_1, \epsilon_2$  — диэлектрические проницаемости 1-го и 2-го материалов.



ния. Такие зеркала широко применяются в приборах для фокусировки излучения и построения изображений, спектрального анализа и поляриметрии, в резонаторах рентг. лазеров, в качестве делителей пучков и т. п. МСП (рис. 4) представляет собой периодич. структуру из чередующихся слоёв веществ с разл. значением диэлектрич. проницаемости  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$ ,

на подложку таким образом, что период  $d$  постоянен или изменяется по определ. закону. При больших углах скольжения коэф. отражения от каждой границы раздела невелик, но благодаря сложению синфазных волн, отражённых от неск. десятков или сотен слоёв, полнот. коэф. отражения покрытия может составлять десятки процентов. Условие, при к-ром достигается максимум коэф. отражения МСП для монохроматич. излучения, с точностью до отличия показателя преломления от 1 совпадает с условием Брэгга — Вульфа:  $2d \cos \varphi = m \lambda$  ( $\varphi$  — угол падения,  $m$  — порядок интерференции). Т. о., МСП представляет собой искусственный одномерный кристалл, причём, в отличие от обычных кристаллов, период структуры может быть задан произвольно в широких пределах (от сотен до единиц нм).

В МСП возможны два механизма отражения. Первый — интерференц. отражение, реализующееся, когда поглощение в обоих веществах мало и выполняется условие  $|\text{Re}(\epsilon_1 - \epsilon_2)| \gg \text{Im} \epsilon_1$ ; в этом случае величина макс. коэф. отражения МСП определяется скачком действит. части  $(\epsilon_1 - \epsilon_2)$ . Второй — отражение вследствие эффекта Бормана (см. *Аномального пропускания эффект*); в этом случае вещества подбираются так, чтобы выполнялось условие  $\text{Im} \epsilon_1 \gg \text{Im} \epsilon_2$ , и коэф. отражения определяется скачком мнимой части  $\epsilon$ . Такая структура состоит из очень тонких слоёв сильно поглощающего вещества и дополняющих их до периода  $d$  слоёв вещества со слабым поглощением. При резонансном отражении в структуре образуется стоячая волна, узлы к-рой приходятся на слои вещества с большим поглощением, и поэтому затухание в них мало. Реально в отражении участвуют в той или иной мере оба механизма, поэтому необходимо подбирать оптим. соотношение толщин слоёв в пределах заданного периода.

Отражение от зеркал с МСП, в отличие от зеркал скользящего падения, узкополосно. Разрешающая способность определяется числом эффективно отражающих слоёв, к-рое, в свою очередь, зависит от коэф. отражения и поглощения слоёв, образующих элементы структуры. По спектральному разрешению, достигающему в нек-рых случаях мн. сотен, зеркала с МСП успешно конкурируют с молекулярными кристаллами; при работе под углами, близкими к брюстеровскому (в рентг. области  $\varphi_{Br} \approx 45^\circ$ ), они являются эфф. поляризаторами излучения.

С помощью МСП может быть реализована фокусирующая и изобразяющая Р. о. нормального падения с использованием сферич. и асферич. зеркал, подложки для к-рых изготавливаются методами традиц. оптич. технологии, в то время как изготовление зеркал скользящего падения намного более сложно и трудоёмко. Ожидается, что в ближайшем будущем с помощью зеркал с МСП будет достигнуто разрешение в рентг. области, близкое к дифракционному, что в десятки раз выше достижимого в видимом диапазоне спектра. В то же время использование МСП зеркал скользящего падения, работающих в области  $\lambda < 1$  нм, даёт возможность в неск. раз увеличить углы скольжения и светосилу приборов (напр., рентг. микроскопов, микроанализаторов).

Осн. методы изготовления МСП — электронно-лучевое, магнетронное и лазерное напыления на подложку слоёв тяжёлых металлов (W/Re, Mo, Ni, Ru, Ti, Au) в сочетании со слоями лёгких элементов (C, B, Be, Si). К 1993 макс. значения коэф. отражения при нормальном падении ( $\sim 70-80\%$ ) достигнуты в УМР-области ( $\lambda \sim 13-20$  нм) для структуры Mo — Si, изготовленной магнетронным напылением; разрешающая способность таких систем составляет 10—20. Наиб. разрешение (200—300) достигнуто для структуры из 400—800 слоёв Ni — C с  $d \approx 2$  нм, напыляемой электронным пучком. Изменяя период структуры по мере напыления МСП, можно в нек-рых пределах управлять шириной