

Волнодисперсионная рентгеновская флуоресценция

Введение: Волнодисперсионные рентгеновские флуоресцентные спектрометры (ВД РФС) давно появились среди коммерческих рентгеновских спектрометров, так как метод работает без твердотельных детекторов высокого разрешения. Вместо этого, ВД РФС приборы полагаются на дифракционную оптику для придания им высокого спектрального разрешения. ВД РФС с простой схемой электронного счётчика были распространены задолго до компьютерной эры, работают до сих пор и являются ведущим исполнителем для рутинных измерений.

Оборудование: ВД РФС могут быть как относительно простыми и недорогими, так и сложными и очень дорогими в зависимости от их оптических компонентов. ВД РФС используют в непосредственное возбуждение образца излучением от рентгеновской трубки. Так как общая эффективность систем ВД РФС низка, рентгеновские трубки в больших системах, как правило, рассчитаны на 1-4 киловатт. Некоторые специализированные системы малой мощности работают при мощности от 50 до 200 Вт.

После возбуждения элемента в образце (посредством рентгеновского излучения) набор длин волн, характеристичных для элемента, покидает образец. Это вторичное излучение проходит через коллиматор (устройство для создания параллельных пучков излучения) и падает на *кристалл*, который служит анализатором спектра. Кристаллы состоят из периодически расположенных атомов (молекул), которые составляют кристаллическую решетку. В таком расположении частиц имеется много плоскостей различного направления, через которые проходят узлы кристаллической решетки (= атомы, молекулы), правда, не только горизонтальные и вертикальные, но и косые плоскости. Эти плоскости называются **плоскостями кристаллической решетки**. Все плоскости, параллельные плоскости кристаллической решетки, тоже являются таковыми. Они равноудалены друг от друга на определенное расстояние. Это расстояние называется **межплоскостным расстоянием d** . Если параллельно идущие рентгеновские лучи падают на плоскость кристаллической решетки, то каждая расположенная на ней частица действует как центр рассеяния и эмитирует вторичную волну. Ход рентгеновских лучей в кристалле изображен на рис. 5.

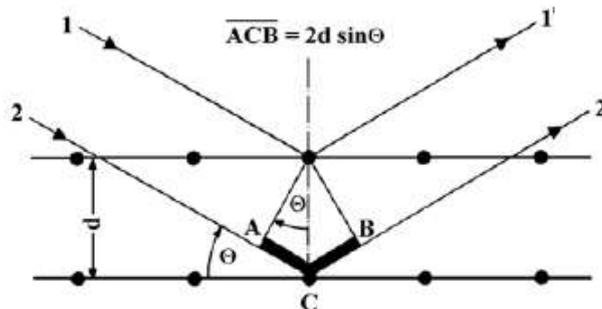


Рис. 5 Отражение рентгеновских лучей от плоскостей кристалла.

Все вторичные волны собираются вместе в отраженную волну. То же самое происходит к тому же на параллельных плоскостях кристаллической решетки, потому что в пределах межплоскостного расстояния d рентгеновские волны поглощаются очень слабо. Все эти отраженные волны **интерферируют**. Если условие усиления "Разность хода рентгеновских лучей = целое кратное длины волны" ($\Delta\lambda = n\lambda$) выполняется не точно, то отраженные волны интерферируют с ослаблением. Для оставшихся длин волн условие усиления выполняется точно. Для определенной длины волны и определенного межплоскостного расстояния оно выполняется только при заданном угле, который называется **брегговским углом**. На кристалл с межплоскостным расстоянием d падает параллельное, когерентное рентгеновское излучение (1,2) при

условии усиления и рассеивается под углом θ (тэта) ($1'$, $2'$). Часть излучения, которая рассеивается на 2-ой плоскости, будет иметь разность хода ACB по отношению к части излучения, рассеянной на 1-ой плоскости. Из определения синуса следует, что:

$$\frac{AC'}{d} = \sin \theta \quad \text{или} \quad AC' = d \sin \theta$$

Таким образом, разность хода ACB удваивается и равняется:

$$ACB = 2d \sin \theta$$

Условие усиления выполняется в том случае, когда разность хода равна целому кратному длины волны. Отсюда получается условие отражения Брэгга:

$n\lambda = 2d \sin \theta$	уравнение Брэгга
$n = 1, 2, 3 \dots$	<i>порядок отражения</i>

На основе условия отражения Брэгга становится возможным, измеряя угол θ , определять длину волны λ рентгеновского излучения при известном межплоскостном расстоянии d , и соответственно, химический элемент. В качестве кристалла для анализа спектра используется фторид лития (LiF), антимонид индия (InSb), германий (Ge) и искусственно приготовленные многослойные структуры.

Для улучшения разрешения волно-дисперсионной системы применяют коллиматоры, которые ограничивают угловой разброс рентгеновских лучей.

Так как детектор не должен обладать разрешением по длинам волн, им может быть пропорциональный счетчик или другие счётчики с низким разрешением, которые могут обнаруживать миллион и более импульсов в секунду.

Коллиматор, анализатор спектра и детектор могут быть установлены в форме фиксированного волнодисперсионного канала, идеально подходящего для анализа одного элемента.

Некоторые многоволновые анализаторы имеют ряд каналов, которые формируют круг вокруг образца с рентгеновской трубкой посередине. Другие волнодисперсные анализаторы используют гониометр для изменения угла так, чтобы можно было анализировать последовательно элемент за элементом. Так работает последовательный тип волнодисперсного анализатора. Кроме того, существуют также комбинированные и последовательные конструкции.

Область применения: волнодисперсные рентгенофлуоресцентные анализаторы используются очень широко. Их используют для анализов практически всех элементов от натрия до плутония, некоторые приборы могут проводить качественный и полуколичественного анализы даже для элементов легче натрия. Измеряемые концентрации элементов от нескольких ppm до почти 100 процентов.

ВД РФС широко используются при производстве строительных материалов (цемент, стекло, керамика и т.д.), стали, цветных металлов, нефтепродуктов, в химической промышленности, но особенно популярны при разработке полезных ископаемых и в геологии.