

## БРЭГГОВСКОЕ РАССЕЯНИЕ СВЧ-ВОЛН НА МОДЕЛИ КРИСТАЛЛА

**Цель работы:** Изучение явления дифракции электромагнитной волны СВЧ диапазона на модели кристалла. Нахождение амплитуды рассеянной волны при различных ориентациях "кристалла" к падающей волне.

**Краткая теория:** Электромагнитная волна, проходящая через трехмерную дифракционную решетку, вызывает эффект интерференции вторичных волн, рассеянных узлами этой решетки без изменения длины волны. Это явление впервые было открыто М.Лауэ в 1913 г. при рассеянии рентгеновских лучей на кристалле. Кристалл является естественной трехмерной дифракционной решеткой для рентгеновских лучей, т.к. расстояние между рассеивающими центрами (атомами) в кристалле - одного порядка ( $10^{-8}$  см) с длиной волны рентгеновских лучей. Открытие дифракции рентгеновских лучей на кристалле явилось началом развития рентгеноструктурного анализа, который лег в основу важнейших заключений молекулярной физики и физики твердого тела.

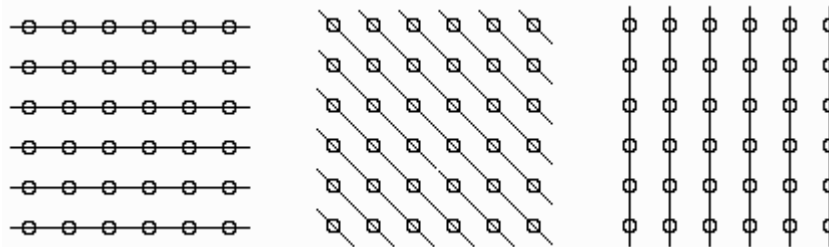


Рис.1. Примеры кристаллографических плоскостей

В кристалле можно выделить ряд параллельных кристаллографических плоскостей, проходящих через узлы решетки (рис.1). Пусть плоская монохроматическая волна падает на одну такую

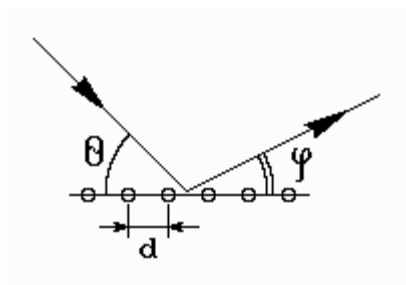


Рис.2. Отражение волны от кристаллографической плоскости

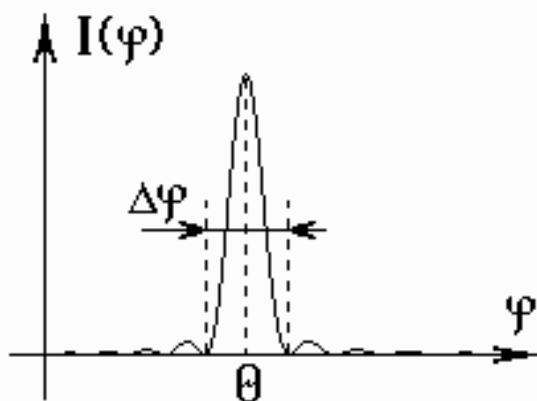


Рис.3. Зависимость интенсивности от угла отражения

плоскость под углом  $\theta$ , расстояние между узлами в которой  $d$ . Будем считать, что рассеивающие центры, расположенные в узлах решетки, много меньше длины волны. Тогда зависимость интенсивности отраженной волны от угла  $\varphi$  (рис.2) может быть найдена суммированием волн от каждого рассеивающего центра, приходящих в точку наблюдения. Аналогичная задача решается в случае дифракции света на решетке. Ее решение имеет вид:

$$I = I_0 \frac{\sin^2[Nkd(\sin \theta - \sin \varphi)/2]}{\sin^2[kd(\sin \theta - \sin \varphi)/2]}$$

С увеличением числа узлов  $N$  интенсивность при угле  $\varphi = \theta$  возрастает, а ширина главного лепестка  $\Delta\varphi \rightarrow 0$  (рис.3). Таким образом, для большого  $N$  можно считать, что рассеяние волны лежит под углом равным углу падения, и поэтому можно заменить

рассеяние на узлах рассеянием от сплошной плоской поверхности. На этом основывается теория Брэгга-Вульфа, по которой появление дифракционных максимумов может быть истолковано как отражение лучей от системы параллельных кристаллографических плоскостей. Отражение наблюдается лишь в том случае, когда лучи, отраженные параллельными плоскостями, имеют разность хода равную целому числу длин волн. Отсюда условие Брэгга-Вульфа записывается в виде

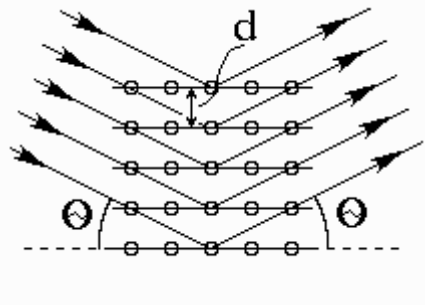


Рис.4. К условию Брэгга-Вульфа

$$2d \sin \theta = m \lambda \quad (1)$$

где  $d$  - межплоскостное расстояние;

$\theta$  - угол между отражающей поверхностью и падающим лучом;

$\lambda$  - длина волны;

$m$  - порядок отражения (целое число). (рис.4).

**Описание установки:** В данной работе в качестве модели кристалла используется пенопластовый куб, в узлах прямоугольной решетки которого помещены проводящие сплошные цилиндры диаметром 3мм и высотой 4мм. Оси цилиндров направлены по вертикали.

Источником электромагнитной волны служит СВЧ генератор с частотой 18-28 ГГц. Излучаемая рупором волна имеет линейную поляризацию и вектор ее электрического поля направлен по вертикали соосно с осями цилиндров "кристалла". Управление ориентацией куба относительно направления падения волны (угол  $\alpha$ ) осуществляется с помощью ЭВМ (рис.5). Положение детектора рассеянной волны (угол  $\beta$ ) задается вручную. Интенсивность рассеянной волны измеряется СВЧ диодом и ее значение, обработанное АЦП, регистрируется ЭВМ. При этом регистрация происходит через каждый градус угла поворота "кристалла"  $\alpha$  относительно направления падения волны. Таким образом, регистрируется зависимость  $I = I(\alpha)$  для каждого фиксированного угла  $\beta$ .

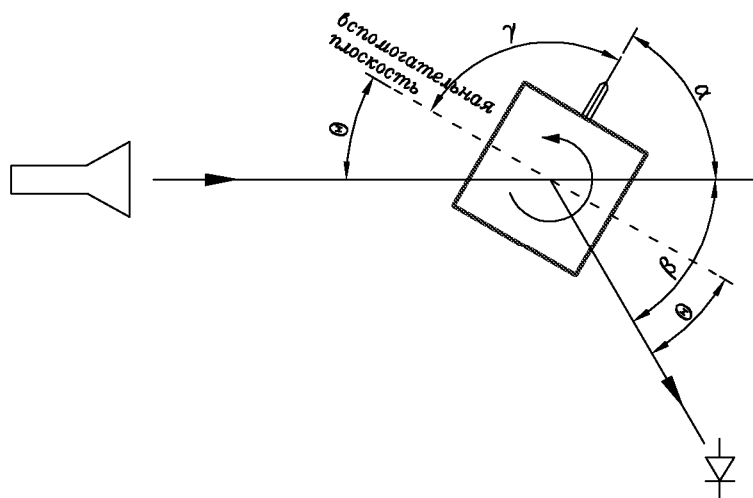


Рис.5. Схема измерений и углов

Результатом измерения угловых зависимостей интенсивности для ряда углов  $\beta$  будет функция от двух угловых переменных  $\alpha$  и  $\beta$ . Для структурного анализа удобно перейти от этих углов к новым углам (рис.5):

$$\gamma = -\beta/2 - \alpha$$

-угол между ориентирующим направлением куба и условной вспомогательной плоскостью, проходящей перпендикулярно плоскости вращения куба;

$$\theta = \beta/2$$

-угол падения и отражения от вспомогательной плоскости.

Имея зависимость  $I(\theta)$  при заданном  $\gamma$ , можно определить расстояние между узлами решетки. Для этого нужно выбрать угол  $\gamma$  такой, чтобы вспомогательная плоскость проходила через одну из кристаллографических плоскостей (например при  $\gamma=0$ ,  $\arctg(0.5)\approx 30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ), тогда максимумы зависимости  $I(\theta)$  будут удовлетворять условию Брэгга-Вульфа (1), в котором  $d$  есть расстояние между этими плоскостями.

**Выполнение работы:** Включите питание блока генератора СВЧ волн. Настройте генератор на частоту 20-23 ГГц (см. Примечание). Детектор установите по направлению излучаемой волны (угол  $\beta=0$ ). Вызовите программу «cube\_main» и запустите ее, нажав верхнюю кнопку панели, рис.6. По запуску в диалоговом окне введите имя выходного файла, в который программа будет записывать измеряемые данные. Запустите двигатель вращения, нажав кнопку «measure» или механическую кнопку расположенную на блоке двигателя, и проведите несколько первых пробных измерений. По каждому нажатию кнопки запускается цикл записи сигнала детектора, соответствующий полному обороту куба. При правильной настройке генератора сигналы должны получаться с амплитудой более 100 единиц шкалы при коэффициенте усиления 10. После настройки и получения пробных измерений приступайте к основным измерениям. Для этого установите угол детектора строго на 0 и сбросьте кнопкой «reset» показания этого угла на панели программы. Каждый цикл измерения проводите последовательно увеличивая угол детектора  $\beta$  на 1 градус. Программа автоматически инкрементирует показания этого угла после очередного цикла. Измерения проведите для углов  $\beta=0..170$  градусов. По окончании измерений нажмите кнопку «exit» и закройте панель программы.

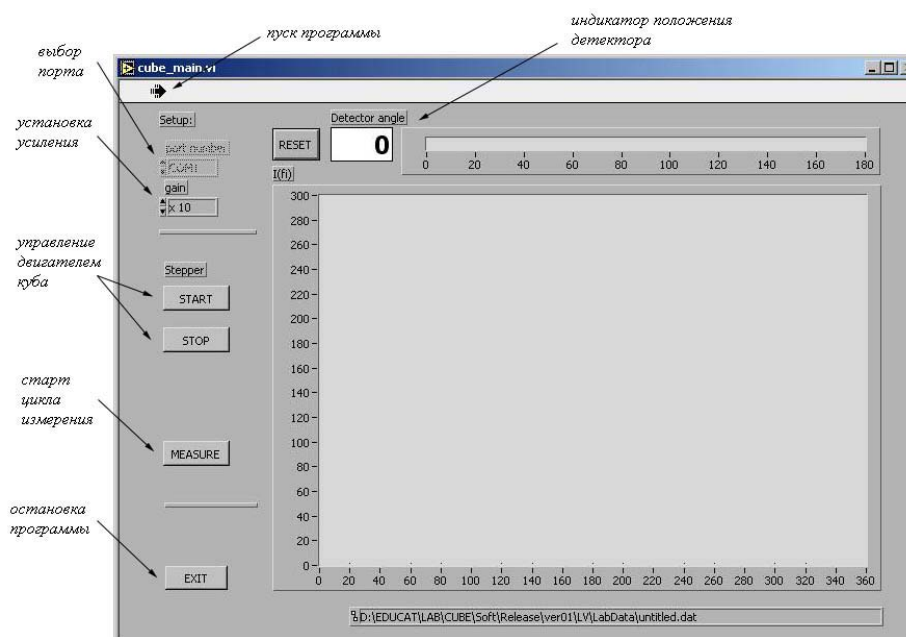


Рис.6. Панель программы измерений

Программа для обработки называется «cube\_translate» (рис.7). Запустите ее также верхней кнопкой на панели и выберите файл с полученными данными. На графике будет отображаться зависимость интенсивности  $I(\theta)$ . Угол  $\gamma$  задается элементом управления «Gamma». Наиболее интересные для Вас графики можете записать в текстовый файл, нажав кнопку «Save to File». Используя условие Брегга-Вульфа и имея зависимости  $I(\theta)$  при  $\gamma=0, 45^\circ, 90^\circ$ , определите расстояние между узлами решетки "кристалла".

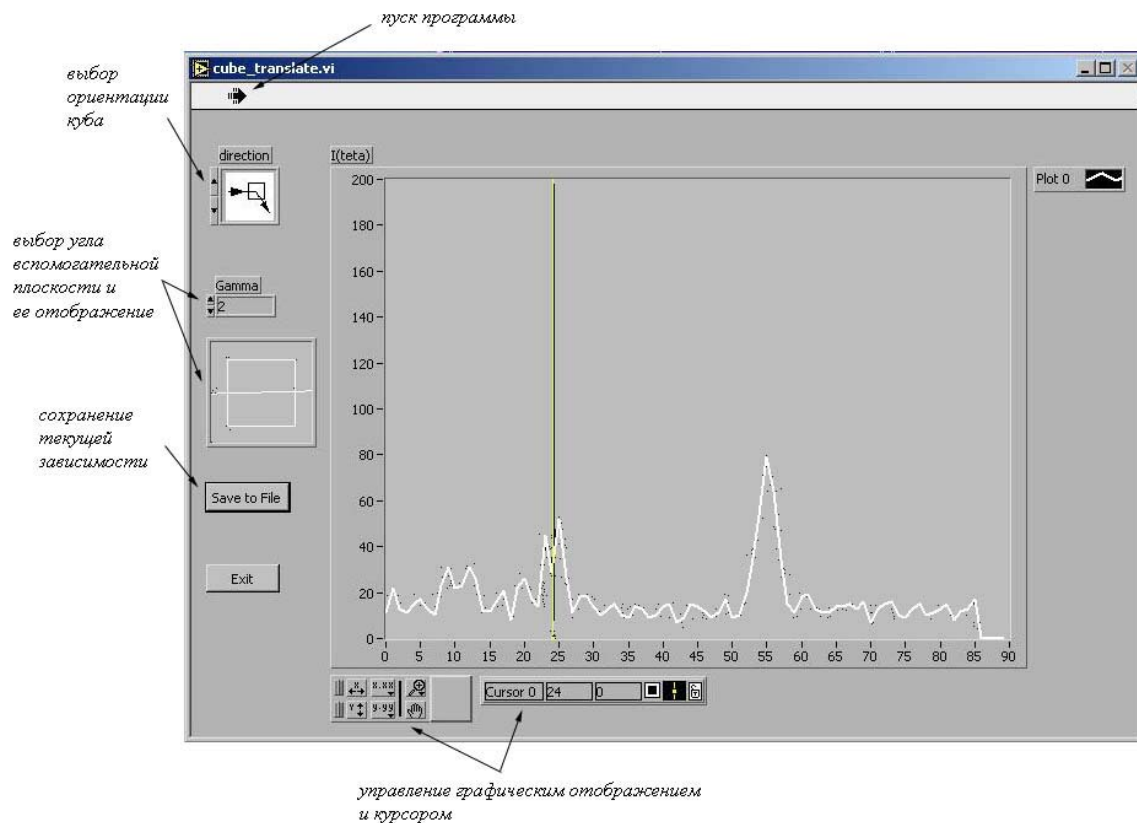


Рис.7. Панель программы обработки