

ОБНАРУЖЕНИЕ АНОМАЛИИ В УГЛОВОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*В.П.Афанасенко, В.Г.Барышевский, С.В.Гациха,
Р.Ф.Зуевский, М.Г.Лившиц, А.С.Лобко,
В.И.Мороз, В.В.Панов, И.В.Поликарпов
В.П.Поцилуйко, П.Ф.Сафронов, А.О.Юрцев*

Обнаружен узкий и мощный пик в угловом распределении параметрического рентгеновского излучения (ПРИ), обусловленный многоволновым механизмом генерации. Определены интенсивность и угловая ширина пика в сравнении со случаем двухволновой генерации.

Как известно, заряженная частица, движущаяся с постоянной скоростью в однородной среде, не может излучать в рентгеновском диапазоне, поскольку показатель преломления среды в этом случае меньше единицы. Однако, в кристалле в условиях динамической дифракции излучаемых квантов возможно выполнение неравенства

$$n(\alpha, \omega) \geq 1, \quad (1)$$

и как следствие, возникновение параметрического рентгеновского излучения (ПРИ), здесь n — показатель преломления среды, ω — частота излучаемого кванта ПРИ, $\alpha = [(2k\vec{\tau} + \vec{\tau}^2)/k^2]$ — параметр расстройки от точного условия Вульфа—Брэгга, k — волновой вектор кванта ПРИ, $\vec{\tau}$ — вектор обратной решетки кристалла. В случае двухволновой дифракции условие излучения (1) выполняется вдали от точки выполнения условия Вульфа—Брэгга ($\alpha = 0$), при этом амплитуда дифрагированной волны достаточно мала. Кванты ПРИ, регистрируемые в дифракционном направлении, распространяются в узком конусе с угловым раствором $\Delta\theta \sim \sqrt{\gamma^2 + |\chi'_0|}$ и имеют разброс по энергиям $\frac{\Delta\omega}{\omega} \sim \sqrt{\gamma^2 + |\chi'_0|}$, где γ — лоренц-фактор заряженной частицы, χ'_0 — действительная часть поляризуемости кристалла ¹.

Развитие исследований ПРИ направлено на поиск объектов, в которых выход излучения максимален. Одним из перспективных объектов является монокристалл GaAs ². Как указывалось ранее ¹ важную роль в процессе образования ПРИ играют эффекты, возникающие при многоволновой дифракции образующихся рентгеновских квантов, т.е. в режиме многоволновой генерации, которая недавно обнаружена экспериментально ³. Спектрально-угловое распределение ПРИ зависит от эффективного показателя преломления в кристалле и длины поглощения (обратно пропорциональной линейному коэффициенту поглощения). В условиях многоволновой дифракции неравенство (1) для части показателей преломления кристалла выполняется ближе к точке $\alpha = 0$. При этом амплитуды дифрагированных волн могут существенно возрасти по сравнению с двухволновым случаем. Кроме того, в многоволновой геометрии генерации может значительно уменьшаться линейный коэффициент поглощения ⁴. Поэтому, учитывая относительно небольшой угловой и энергетический разброс квантов ПРИ, можно ожидать, что режим многоволновой генерации приведет к заметному изменению (увеличению) угловой плотности ПРИ в узком угловом диапазоне $\sim \sqrt{|\chi'_r|}$, где χ'_r — фурье компонента разложения поляризуемости кристалла по векторам обратной решетки.

В настоящей работе представлены результаты исследования угловых распределений ПРИ, возникающего в кристалле GaAs при прохождении электронов с энергией 900 МэВ. Обнаружено, что на фоне обычного двухволнового распределения существует узкий пик, обусловленный многоволновой генерацией. Проведено сравнение угловых полуширин и интенсивностей двухволнового распределения и многоволнового пика.

Эксперимент проводился на томском синхротроне. Монокристалл GaAs толщиной 400 мкм устанавливался в гониометре таким образом, что электроны двигались вблизи направления кристаллографической оси $\langle 110 \rangle$. Выбранная геометрия характерна тем, что для энергии рентгеновских квантов 6,2 кэВ возбуждается вырожденная восьмилучевая генерация (000) (022) $(0\bar{2}\bar{2})$ (040) (202) $(20\bar{2})$ (400) , т.е. одновременно "работают" два четырехлучевых случая (000) (022) $(0\bar{2}\bar{2})$ (040) и (000) (202) $(20\bar{2})$ (400) . Регистрация велась под углом $2\theta_B = 90^\circ$ в направлении двухволнового рефлекса (400) линейным координатным пропорциональным детектором РКД-1 с окном 2×50 мм и пространственным разрешением 200 мкм. Детектор перемещался с шагом 2 мм в горизонтальном направлении в плоскости, перпендикулярной волновому вектору регистрируемых квантов. Расстояние от кристалла до окна детектора составляло 710 мм.

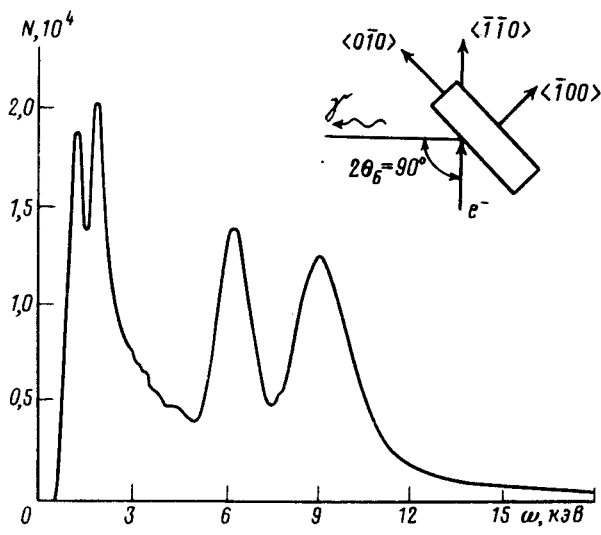


Рис. 1. Спектр ПРИ электронов с энергией 900 МэВ при генерации на плоскостях (400) в GaAs. На врезке – геометрия эксперимента

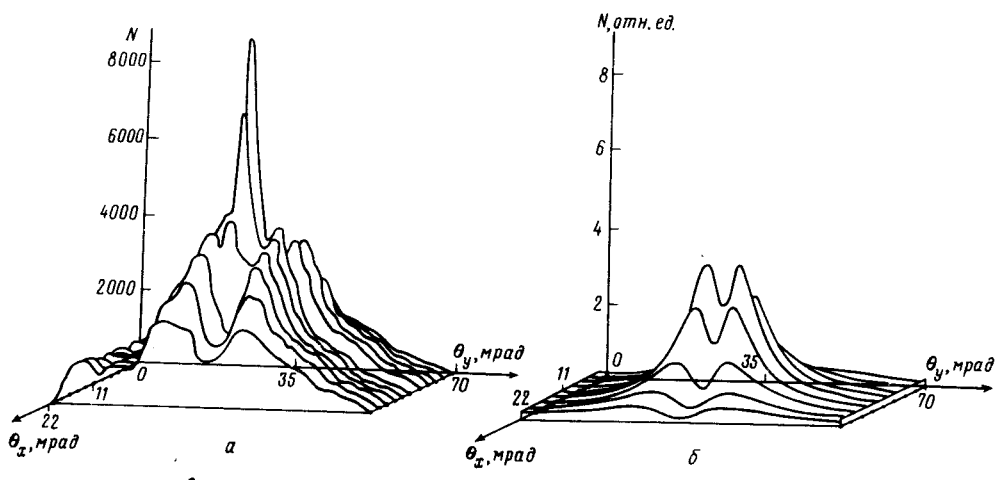


Рис. 2. Угловые распределения ПРИ электронов с энергией 900 МэВ в GaAs: а – экспериментальные – в условиях многоволновой генерации; б – теоретические – для двухволновой генерации рефлекса (400)

На рис. 1 представлен типичный спектр излучения. На нем отчетливо различаются пик ПРИ с энергией $6,4 \pm 0,6$ кэВ и пик характеристического излучения с энергией $9,3 \pm 0,9$ кэВ. На врезке рис. 1 изображена геометрия эксперимента. При измерении угловых распределений ПРИ пороги дискриминатора выбирались таким образом, чтобы регистрировались только те кванты, энергия которых попадает в пик ПРИ. На рис. 2а представлены угловые распределения ПРИ, измеренные с шагом по оси θ_x равным 2,8 мрад. На рис. 2б представлены угловые распределения, теоретически рассчитанные для случая двухволновой генерации⁵. В целом наблюдается качественное совпадение обоих распределений, за исключением области в центре рефлекса, где в экспериментальных распределениях наблюдается четко выраженный пик, обусловленный многоволновым механизмом генерации ПРИ. Интенсивность излучения в пике в 2,5 раза больше, а угловая ширина пика в 4 раза меньше соответствующих величин основного (400) рефлекса ПРИ для двухволновой генерации.

Полученные результаты показывают, что режим многоволновой генерации действительно может приводить к увеличению спектральноугловой плотности ПРИ и является перспективным для создания источника квазимонохроматического рентгеновского излучения.

Литература

1. Барышевский В.Г. Каналирование, излучение и реакции в кристаллах при высоких энергиях. Минск: БГУ, 1982.
2. Афанасенко В.П. и др. Письма в ЖТФ, 1988, 14, 57.
3. Афанасенко В.П. и др. Письма в ЖТФ, 1989, 15, 33.
4. Чжан Ши Лин. Многоволновая дифракция рентгеновских лучей в кристаллах. М.: Мир, 1987.
5. Барышевский В.Г. и др. ЖЭТФ, 1988, 94, вып. 5, стр. 51.

Поступила в редакцию
5 декабря 1989 г.

Научно-исследовательский институт ядерных проблем
Белорусского государственного университета

После переработки
24 января 1990 г.