

ВЛИЯНИЕ МОЗАИЧНОСТИ КРИСТАЛЛОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

И.Е. Внуков, В.В. Колодочкин, А.С. Склярова, Шаблов Ю.С.

НИУ «БелГУ», Белгород, Россия

Аннотация

Для определения физической причины подавления выхода жесткой компоненты излучения ($\omega = 800$ МэВ) при движении электронов с энергией 890 МэВ под малыми углами к плоскости (002) мозаичного кристалла пиролитического графита проведена обработка результатов цикла измерений ориентационных зависимостей выхода мягкой компоненты излучения ($\omega \leq 10-15$ МэВ) и полной энергии излучения генерируемой электронами с энергией 890 МэВ и 850 МэВ в мозаичных кристаллах пиролитического графита для нескольких углов наблюдения. Обнаружено увеличение выхода излучения в направлении плоскости кристалла, не объясняемое теорией многократного рассеяния. Обсуждаются возможные причины и способы применения наблюдаемых эффектов.

В эксперименте /1/ было обнаружено тридцати процентное подавление интенсивности жесткой компоненты коллимированного излучения ($\theta = 0.6$ мрад) при движении электронов с энергией 890 МэВ под малыми углами к кристаллографической плоскости (002) мозаичного кристалла пиролитического графита (см. рис. 1).

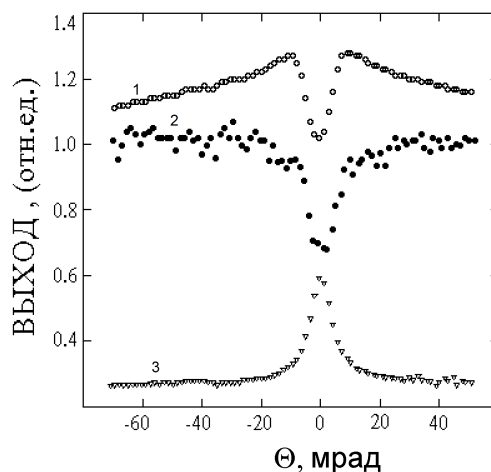


Рис. 1: ОЗ коллимированного излучения /1/. $E = 890$ МэВ, $\theta_c = 0.6$ мрад, $\sigma_m \sim 3$ мрад. 1- полный выход излучения, 2 - $\omega = 800$ МэВ, 3 - $\omega \leq 10-15$ МэВ

Из представленных на рисунке ориентационных зависимостей (ОЗ) выхода излучения хорошо видно, что для движения электронов под малыми углами к плоскости, о чем свидетельствует максимум выхода мягкой компоненты излучения, обусловленного излучением при плоскостном каналировании электронов, (кривая 3), наблюдается подавление выхода жесткой компоненты и полной энергии излучения. Необходимо подчеркнуть, что кристаллах с более совершенной структурой этого никогда не наблюдалось.

Для определения причины наблюдаемого эффекта на Томском синхротроне был проведен цикл измерений зависимости выхода мягкой компоненты и полной энергии коллимированного излучения для нескольких углов относительно направления электронного пучка, падающего на кристалл. Схема измерений приведена на рисунке 2.

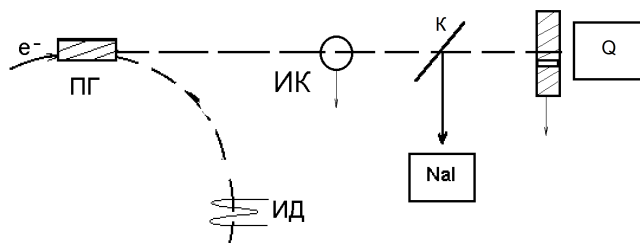


Рис. 2: Схема эксперимента. ПГ - пиролитический графит, ИК - ионизационная камера, К - конвертор, NaI - детектор для регистрации мягкой компоненты излучения, Q - квантометр

Ускоренные электроны проходили через кристалла графита, установленный в гониометре, и сбрасывались на стенки ускорительной камеры синхротрона. Плоскость (002) установлена вертикально с погрешностью не хуже нескольких градусов. Мягкая компонента излучения регистрировалась цилиндрической ионизационной камерой с размерами \varnothing 4 мм и длиной 200 мм, установленной на расстоянии 4.5 м от кристалла. Полная интенсивность излучения регистрировалась квантометром, перед которым устанавливалась защита из свинца толщиной 10 см с вертикальной щелью шириной 6 мм. Для измерения выхода излучения под углом к направлению электронов камера и целевой коллиматор перед квантометром перемещались относительно направления электронного пучка в перпендикулярной плоскости на требуемое расстояние.

Для отчета углов разориентации плоскости относительно направления электронного пучка использовалось излучение при плоскостном каналировании электронов регистрируемое по увеличению выхода комптоновских фотонов в одном случае и конвертора (К), установленного на пучке излучения, и фотонов ХРИ свинца из узкой пластинки толщиной 0.4 мм и шириной 5 мм в другом с помощью детекторов NaI толщиной 63 мм и 1 мм, соответственно. Регистрация комптоновских фотонов использовалась в эксперименте по измерению мягкой компоненты излучения, а фотонов ХРИ при исследовании выхода полной энергии коллимированного излучения.

Угол коллимации мягкой компоненты излучения в направлении перпендикулярном плоскости (002) составлял ~ 0.5 мрад. Коллимация излучения вдоль плоскости (002) практически отсутствовала. Использовались мишени толщиной 6 мм и 4.5 мм вдоль направления электронного пучка с мозаичностью $\sigma \sim 4$ мрад. Методика измерений мягкой компоненты излучения с помощью прутковой ионизационной камеры совпадает с приведенной в /2/.

Измерения показали, что как и для кристаллов с малой мозаичностью (см., например /2/) положение максимумов в ОЗ выхода мягкой компоненты совпадает с углом расположения камеры относительно направления электронного пучка, то есть максимумы обусловлены излучением при движении электронов по малыми углами к плоскостям микроблоков кристалла, распределенных около основного направления (здесь и далее направление плоскости кристалла) по нормальному распределению. Тогда как зависимость амплитуд этих максимумов от угла наблюдения, приведенная на рисунке 3 (кружки) в отличии от результатов /2/ не совпадает с оценками по теории многократного рассеяния.

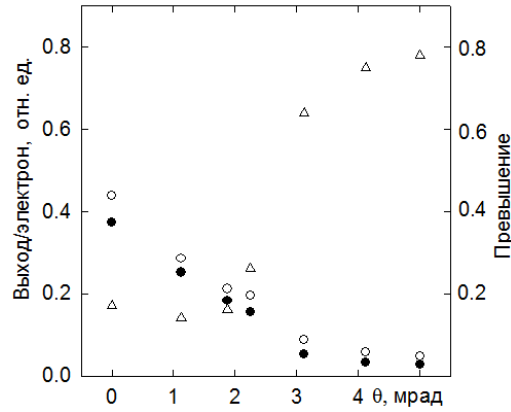


Рис. 3: Зависимость выхода излучения от угла наблюдения. \circ - плоскость, \bullet - разориентированный кристалл, \triangle - $(J_{pl}-J_r)/J_r$

Рельефность ОЗ (отношение пик/подложка - треугольники) остается практически постоянной вплоть до угла наблюдения ≈ 2.5 мрад, а затем растет с увеличением угла наблюдения. То есть для больших углов наблюдения вдоль направления плоскости движется больше электронов, чем в разориентированном кристалле и как это следует из теории многократного рассеяния электронов в веществе.

Измерения ОЗ полной энергии коллимированного излучения (рисунок 4, кривая 1) показали, что здесь тоже наблюдаются максимумы, положение которых совпадает с углом наблюдения. В данном случае речь идет не об излучении при каналировании, а об увеличении числа электронов, движущихся в кристалле под малыми углами к плоскости кристалла. Для угла наблюдения 5 мрад ($\sim 2\sigma$, где σ среднеквадратичный угол многократного рассеяния электронов в кристалле графита) при повороте плоскости на детектор выход излучения по сравнению с разориентированным кристаллом увеличился в почти два раза.

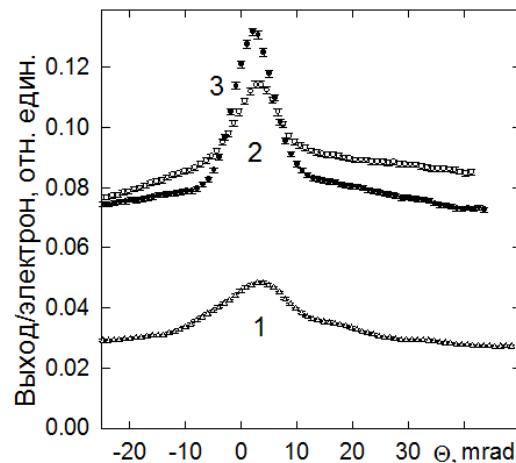


Рис. 4: Измерения полной энергии излучения с составной мишенью. $\theta=5\pm 0.4$ мрад. 1 - графит, 2 - свинец (0.4 мм) + графит, 3 - графит + свинец (0.4 мм)

Для проверки вывода о "фокусировке" части электронов вдоль преимущественного направления плоскостей мозаичного кристалла мы провели измерения с составными ми-

шенями свинец+графит, графит+свинец и сравнили результаты с ОЗ для графита без дополнительного радиатора для угла наблюдения 5 мрад. Если увеличение интенсивности связано исключительно с излучением в кристалле, то свинцовый радиатор должен только увеличить подложку ОЗ, а интенсивность в пике может только упасть из-за поглощения в случае мишени графит-свинец и уменьшения доли электронов движущихся под малыми углами к плоскостям для мишени свинец-графит. Измерения показали, что использование радиатора увеличило интенсивность в пике ОЗ более чем в три раза для мишени графит+свинец и в два раза для мишени свинец+графит. Ясно, что для мишени графит-свинец рост интенсивности излучения обусловлен увеличением количества электронов, двигающихся в свинце в направлении на детектор при совпадении угла наблюдения с направлением плоскости кристалла примерно в полтора раза. Для мишени свинец-графит увеличение выхода излучения происходит непосредственно в графите и может быть объяснено только увеличением количества электронов двигающихся в кристалле под малыми углами к направлению плоскости кристалла примерно в два раза.

Заключение

Рассеяние электронов около плоскостной ориентации мозаичных кристаллов не описывается теорией многократного рассеяния. На малых толщинах электроны испытывают повышенное рассеивание притягиваясь к плоскостям микроблоков кристалла (преломляясь на них), поэтому в направлении прямо-вперед интенсивность излучения существенно снижена. Для углов многократного рассеяния сопоставимых с характерным углом мозаичности этот же эффект срабатывает в обратную сторону. Электроны группируются около основного направления блоков мозаики. Для углов многократного рассеивания существенно превышающих мозаичность кристалла возможен эффект "эффективного" подавления многократного рассеивания, а, следовательно, увеличения угловой плотности тормозного излучения.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Amosov S.Yu., Kalinin B.N., Naumenko G.A. et al.// NIM B 119 (1996), p. 103.
2. Амосов К.Ю., Андряшкин М.Ю., Внуков И.Е. и др.// Изв. ВУЗов, Физика, 1991, N 6., с. 70.