

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P1-85-671

ИССЛЕДОВАНИЕ
КОГЕРЕНТНОГО ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ И ПОЗИТРОНОВ
В ТОНКИХ МОНОКРИСТАЛЛАХ КРЕМНИЯ

Направлено в "Журнал экспериментальной
и теоретической физики"

1985

Н.К.Булгаков, А.С.Водопьянов, И.Войтковска, В.М.Головатюк,
Э.Гузик, Н.И.Зимин, И.М.Иванченко, Р.Б.Кадыров, Т.С.Нигманов,
В.Д.Рябцов, И.А.Тяпкин, Н.А.Филатова, Э.Н.Цыганов,
М.Д.Шафранов, А.Форычки
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

И.Н.Ивахненко, Ю.В.Нильсон, Б.А.Юрьев
НИИЯФ МГУ, Москва

Р.Карриган /мл./, Т.Туит
Национальная ускорительная лаборатория им.Э.Ферми,
Батавия, США

У.Гибсон, Ч.Сан, Р.Вонг
Университет штата Нью-Йорк, Олбани, США

Предсказание спонтанного излучения релятивистских электронов и позитронов при каналировании^{/1/} стимулировало исследование пределов применимости теории когерентного тормозного излучения (КТИ) при малых углах влёта частиц относительно кристаллографических осей и плоскостей^{/2,3,4/}.

В настоящей работе приведены результаты экспериментального исследования излучения электронов и позитронов с энергией 10 ГэВ при их движении под малыми углами относительно плоскости (110) и оси <111> в монокристалле кремния.

Экспериментальная установка и её основные характеристики описаны в работе^{/5/}. Методика обработки экспериментальных данных изложена в работах^{/6,7/}.

Разрешение установки по углу влёта частиц в кристалл составило около 7 мкрад, по углу вылета – около 30 мкрад. Импульс рассеянных позитронов определялся по отклонению их траекторий в анализирующем магните с точностью не хуже 1%. Для идентификации частиц использовались черенковские счётчики полного поглощения с радиаторами из свинцового стекла. Энергия гамма-квантов измерялась сцинтилляционным детектором на основе кристалла CsJ (Tl). Апертура коллиматора (80 x 80 мм²), расположенного перед гамма-спектрометром, позволяла измерять излучение в пределах ± 1 мрад. Пучок позитронов (электронов) с импульсом 10 ГэВ/с, импульсным разбросом около 1,3% имел примесь адронов не более 0,5%. Кристаллографические оси и плоскости идентифицировались по максимуму выхода гамма-квантов при вращении кристалла в гониометре. При обработке данных отбирались события, в которых зарегистрирован γ -квант с энергией выше 5 МэВ. Требовалось, чтобы продолжение входного трека частицы попадало в апертуру коллиматора, а также чтобы суммарная энергия γ -кванта и рассеянного позитрона (электрона) соответствовала энергии падающей частицы.

Для генерации γ -излучения позитронов использовалась кремниевая мишень толщиной 113 мкм. Толщина мишени при исследовании излучения электронов составляла 41 мкм. Систематическая погрешность измерений, определяемая в основном нестабильностью загрузки гамма-спектрометра^{/6/}, по нашим оценкам, составила примерно 10%. Экспериментальные результаты нормированы на одну падающую частицу и пересчитаны на толщину кристалла 1 см.

На рис. 1-3 представлена спектральная плотность излучения электронов и позитронов с различными углами влёта θ_y относительно плоскости (110). Углы влёта частиц относительно оси $\langle 111 \rangle$ заключены в интервале 500-1000 мкрад. Сплошной линией показана спектральная плотность излучения, рассчитанная по теории КТИ [8,9]. Методика расчёта изложена в [3]. Пунктирной линией приведена спектральная плотность тормозного излучения из алюминиевой мишени.

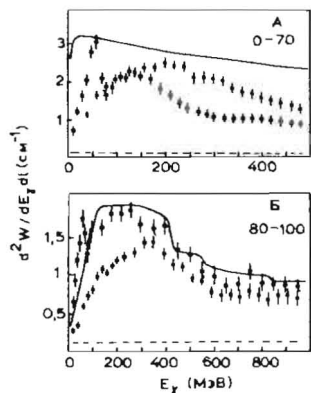


Рис. 1. Спектральная плотность излучения электронов (\bullet) и позитронов (\circ) в зависимости от энергии γ -квантов. Границы интервала (мкрад) углов влёта частиц в кристалл относительно плоскости (110) указаны цифрами справа. Сплошная линия - результат расчета по теории КТИ. Пунктирной линией показана спектральная плотность тормозного излучения из алюминиевой мишени.

Экспериментальные спектры излучения электронов и позитронов с углами влёта θ_y в интервалах 0-70 мкрад, 80-100 мкрад (рис.1) в низкоэнергетичной части качественно различаются как между собой, так и с расчётным. Превышение экспериментальных значений спектральной плотности излучения позитронов в интервале 80-100 мкрад над теоретическими, по-видимому, объясняется захватом частиц в режим каналирования за счёт многократного рассеяния с последующим излучением в канале. Критический угол каналирования (угол Линдхарда) в нашем случае примерно равен 65 мкрад.

Излучение позитронов, начиная с энергии гамма-квантов 100 МэВ и выше, удовлетворительно описывается теорией КТИ, тогда как излучение электронов подавлено до энергии гамма-квантов 300-400 МэВ, что, возможно, объясняется неодинаковым влиянием оси $\langle 111 \rangle$ на движение e^+ и e^- до излучения. При значениях θ_y в интервалах 100-150 мкрад и 150-200 мкрад (рис. 2) экспериментальные спектры излучения электронов и позитронов в пределах точности измерений соответствуют расчётному. При больших углах ориентации (200-250 мкрад, 250-300 мкрад, рис.3) результаты расчёта по теории КТИ согласуются с экспериментальными данными.

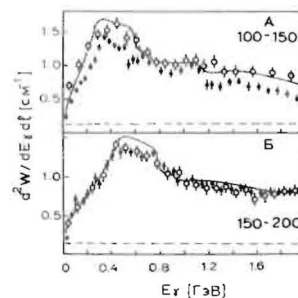


Рис. 2. То же, что на рис.1, для частиц с углами влёта до трёх углов Линдхарда.

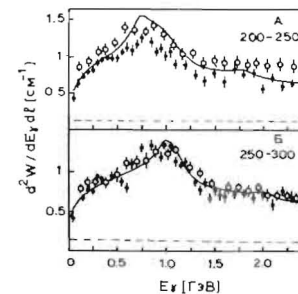


Рис. 3. То же, что на рис.1, для частиц с большими углами влёта в кристалл.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kumakhov M.A. Phys. Lett., 1976, 57A, p. 17.
2. Ахизезер А.И. и др. ЖЭТФ, 1979, 76, с.1244.
3. Эммин Н.И. ОИЯИ, Р1-83-294, Дубна, 1983.
4. Булгаков Н.К. и др. ОИЯИ, I-84-372, Дубна, 1984.
5. Водопьянов А.С. и др. ОИЯИ, Р13-82-547, Дубна, 1982.
6. Булгаков Н.К. и др. ОИЯИ, Р1-83-621, Дубна, 1983.
7. Булгаков Н.К. и др. ОИЯИ, Р1-83-640, Дубна, 1983.
8. Тер-Микаэлян М.Л. ЖЭТФ, 1953, т.25, с. 296.
9. Dyson F., Uberall H. Phys. Rev., 1955, v. 99, p. 604.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 сентября 1985 года.