

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

1-84-639

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ
ПРОХОЖДЕНИЯ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ
ЧЕРЕЗ ТОЛСТЫЕ МОНОКРИСТАЛЛЫ
ПОД МАЛЫМИ УГЛАМИ
К НАПРАВЛЕНИЮ
КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЙ ОСИ $\langle 111 \rangle$

Направлено в "Письма в ЖЭТФ"

1984

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

М.Д.Бавижев
Филиал Ставропольского политехнического института, Черкесск

И.Н.Ивахненко, Ю.В.Нильсен, Б.А.Юрьев
Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ

Г.Д.Коваленко, Б.И.Шраменко
Харьковский физико-технический институт

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

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

Значительный интерес к исследованию процессов взаимодействия релятивистских заряженных частиц с монокристаллами объясняется обнаружением ряда новых явлений. Среди них следует отметить экспериментальное подтверждение возможности контролируемого отклонения пучка релятивистских протонов при помощи изогнутого монокристалла/1/, что было теоретически предсказано в/2/, а также обнаружение/3/ предсказанного в/4/ нового типа электромагнитного излучения. Детальное исследование этого излучения и особенностей движения частиц в кристаллах проводилось на электрон-позитронном пучке/5/ ускорителя ИФВЭ /Серпухов/ с помощью установки "Кристалл"/6/.

Монокристаллы размещались в дистанционно управляемом гониометре и ориентировались так, чтобы направление кристаллографической оси $\langle 111 \rangle$ совпадало с направлением падающего пучка электронов. С помощью четырех блоков дрейфовых камер измерялись угловые характеристики частиц, при этом среднеквадратичная точность определения углов входа электронов в кристалл кремния толщиной 0,8 мм была не больше 6 мкрад, а углов выхода - не больше 40 мкрад /с учетом многократного рассеяния в монокристалле и в веществе дрейфовой камеры, расположенной непосредственно после мишени/. Энергия γ -квантов измерялась спектрометром на основе кристалла CsJ(Tl). Детектор был окружен счетчиками антисовпадений и свинцовой защитой. Разрешение прибора для γ -квантов с энергией 100 МэВ было ~3% /полная ширина распределения на половине высоты/. Идентификация электронов производилась с помощью черенковского счетчика полного поглощения с радиатором из свинцового стекла. Энергия электронов, прошедших кристалл, определялась по отклонению в анализирующем магните. Количество фонового вещества установки составляло около 5×10^{-4} радиационных длин. Спектрометр запускался системой сцинтилляционных счетчиков совпадений и антисовпадений и работал на линии с ЭВМ ЕС-1040. В ходе набора статистики регулярно производились тестовые запуски с целью контроля стабильности работы функциональных узлов установки.

Ниже приводятся результаты исследования динамики потока и особенностей многократного рассеяния электронов с энергией 10 ГэВ, движущихся под малыми углами к оси $\langle 111 \rangle$ в монокристаллах кремния толщиной 0,8 и 3,0 мм и в монокристалле германия толщиной 0,5 мм.

Результаты исследования динамики потока электронов с энергией 10 ГэВ в тонком /41 мкм/ монокристалле кремния/7/ показали, что частицы, падающие на кристалл под малыми углами к оси, испыты-

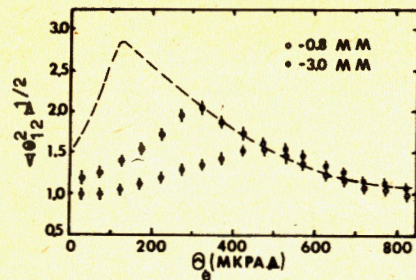


Рис.1. Зависимость среднеквадратичного угла многократного рассеяния частиц, прошедших толстые монокристаллы кремния /в единицах среднеквадратичного угла многократного рассеяния в аморфной среде/, от полярного угла входа относительно оси.

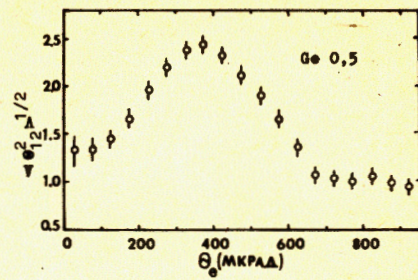


Рис.2. Зависимость среднеквадратичного угла многократного рассеяния частиц, прошедших монокристаллы германия толщиной 0,5 мм, от полярного угла входа относительно оси $\langle 111 \rangle$.

вают сильное рассеяние в направлениях, перпендикулярных направлению кристаллографической оси. Наибольшее рассеяние в тонком монокристалле испытывают электроны, падающие на кристалл под углами, близкими по величине к углу Линдхарда. На рис.1 показана зависимость среднеквадратичного угла многократного рассеяния электронов, прошедших монокристаллы кремния толщиной 0,8 и 3,0 мм, от полярного угла входа относительно оси /в единицах среднеквадратичного угла многократного рассеяния в аморфной мишени/. Пунктирная кривая соответствует случаю тонкого кристалла. Из этого рисунка видно, что в образцах толщиной 0,8 и 3,0 мм максимальное рассеяние испытывают электроны с углами входа относительно оси, значительно превышающими критический угол Линдхарда. Аналогичное распределение для монокристалла германия толщиной 0,5 мм приведено на рис.2. Смещение максимума в этих распределениях может указывать на то, что в этих образцах в процесс каналирования вовлекается некоторая доля надбарьерных частиц. Наличие подобного эффекта объясняется, по-видимому, тем, что вследствие многократного рассеяния угол между направлением оси и скоростью частицы /на определенной глубине в кристалле/ может стать меньше критического, в этом случае возможен захват в процесс каналирования деканализовавшихся и надбарьерных частиц /так называемый "объемный захват"/. Аномально большое рассеяние надбарьерных частиц было использовано нами для определения точного положения оси кристаллов. На рис.3 представлено двумерное распределение углов входа (θ_{x1} ; θ_{y1}) частиц в монокристалл кремния толщиной 0,8 мм для событий с углами рассеяния больше 200 мкрад; этот рисунок отчетливо указы-

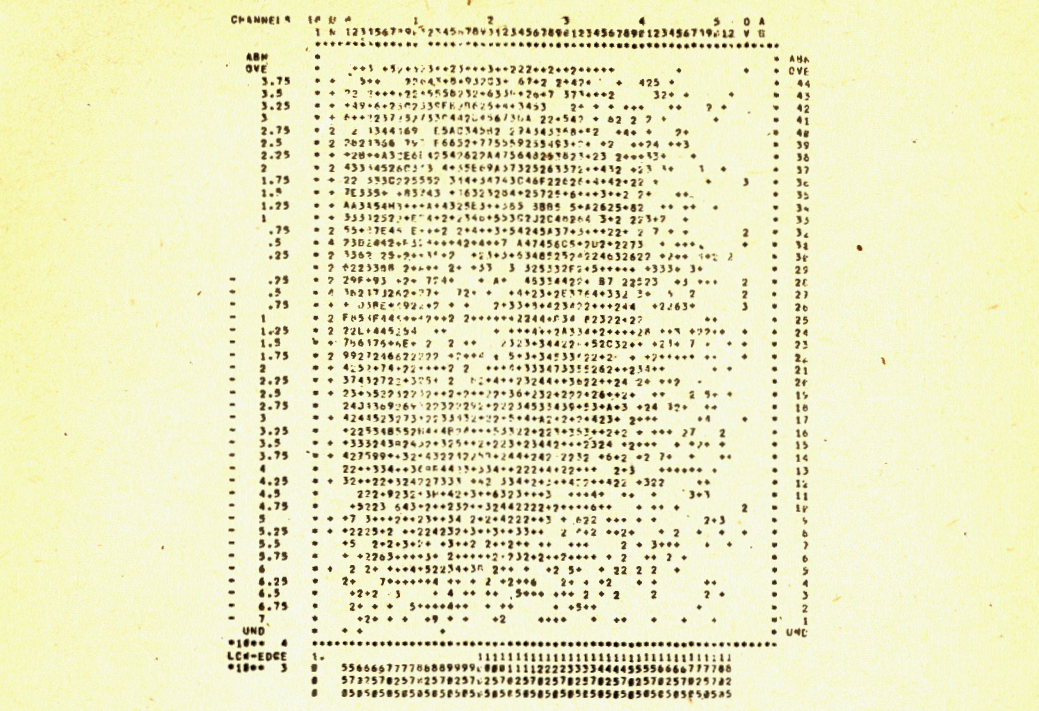


Рис.3. Двумерное распределение входных углов электронов в монокристалл кремния толщиной 0,8 мм для событий с углами рассеяния больше 200 мкрад.

вает положение осевого канала. Характерный провал в представленном на рис.4 распределении горизонтальной проекции углов входа в кристалл для этих частиц соответствует положению оси. Особый интерес вызывает процесс перераспределения потока частиц, прошедших монокристалл кремния толщиной 0,8 мм под малыми углами к оси. На рис.5 приведено распределение вертикальной проекции углов выхода θ_{y2} электронов из монокристалла кремния толщиной 0,8 мм для событий с углами входа θ_{x1} от -150 мкрад до 150 мкрад. Пунктирная кривая соответствует распределению углов входа θ_{y1} для тех же событий. Приведенный рисунок иллюстрирует влияние цепочки атомов на характер движения частиц в толстых монокристаллах, приводящее к перераспределению частиц по поперечной энергии. Аналогичный эффект для положительных частиц был впервые отмечен в/8/.

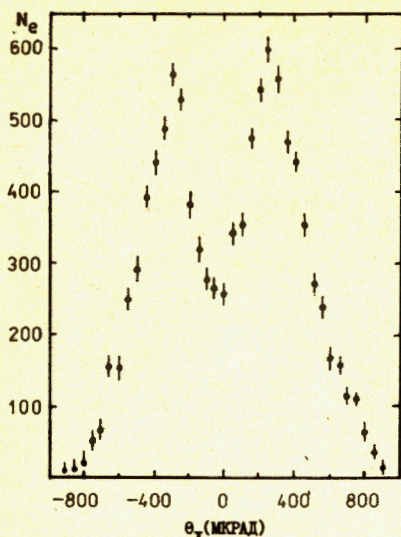
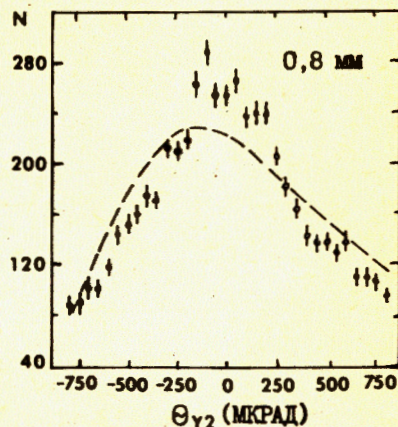


Рис.4. Горизонтальная проекция углов входа электронов в монокристалл кремния толщиной 0,8 мм для тех же событий, что и на рис.3.

Рис.5. Вертикальная проекция углов выхода электронов из монокристалла кремния толщиной 0,8 мм. Пунктирная кривая соответствует проекции углов входа для тех же событий /для которых угол входа в горизонтальной проекции лежит в интервале от -150 мкрад до 150 мкрад/.



В заключение авторы выражают благодарность академикам Н.Н.Боголюбову и А.М.Балдину, профессору Н.Е.Тюрину за поддержку данной работы, В.А.Базылеву, В.И.Глебову, Э.И.Денисову, М.А.Кумарову и В.И.Туманову - за помощь в работе и обсуждения, а также коллективам Лаборатории высоких энергий ОИЯИ и персоналу ускорителя ИФВЭ в Серпухове за помощь при проведении исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Водопьянов А.С. и др. Письма в ЖЭТФ, 1979, т.30, с.474.
2. Tsyganov E.N. Fermilab, TM-682, TM-684, Batavia, 1976.
3. Мирошниченко И.И. и др. Письма в ЖЭТФ, 1979, т.29, с.786.
4. Kumakhov M.A. Phys.Lett., 1976, 57A, p.167.
5. Бавижев М.Д. и др. Препринт ИФВЭ, 82-74-ОП, 1982.
6. Водопьянов А.С. и др. ОИЯИ, P13-82-547, Дубна, 1982.
7. Булгаков Н.К. и др. ОИЯИ, 1-83-621, Дубна, 1983.
8. Sun C.R. et al. Nucl.Instr.and Meth., 1982, vol.194, p.125.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 сентября 1984 года.

Булгаков Н.К. и др.

1-84-639

Исследование особенностей прохождения релятивистских электронов через толстые монокристаллы под малыми углами к направлению кристаллографической оси <111>

Приведены результаты исследования динамики потока электронов, прошедших толстые монокристаллы кремния и германия под малыми углами к направлению кристаллографической оси <111>. Полученные данные указывают на существенные отличия в рассеянии частиц в аморфных веществах и монокристаллах.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Bulgakov N.K. et al.

1-84-639

Investigation of Special Features of Passage Relativistic Electrons through Thick Monocrystals at Small Angles to the Direction of Crystallographic Axis <111>

The results of investigation of the dynamics of electron flux having passed through thick monocrystals of silicon and germanium at small angles to the direction of crystallographic axis <111> are presented. The data obtained point to essential differences in particle scattering in amorphous matter and monocrystals.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984