

- [8] Сигал М.А. – УФЖ, 1983, т. 28, № 2, с. 242–248.  
[9] Сигал М.А., Костенко В.И. – ФТТ, 1980, т. 22, № 1, с. 117–121.

Поступило в Редакцию  
1 сентября 1987 г.  
В окончательной редакции  
10 ноября 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 1 12 января 1988 г.

### ОБНАРУЖЕНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МОНОКРИСТАЛЛА АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

В.П. Афанасенко, В.Г. Барышевский,  
О.Т. Градовский, М.Г. Лившиц,  
А.С. Лобко, В.И. Мороз, В.В. Панов,  
И.В. Поликарпов, П.Ф. Сафронов

Параметрическое рентгеновское излучение (ПРИ), возникающее при равномерном движении релятивистских заряженных частиц в кристаллах [1], благодаря своей малой угловой расходимости и высокой монохроматичности становится важным объектом исследований. В настоящее время уже получено ПРИ кристаллов алмаза [2, 3] и кремния [4].

В данной работе рассматривается эксперимент по обнаружению ПРИ совершенного монокристалла *GaAs* под углом  $90^\circ$  к направлению скорости электронов.

Существенным соображением в выборе кристалла-мишени послужил тот факт, что у *GaAs* характеристическое рентгеновское излучение (серия  $K_\alpha$ ) имеет энергии  $\sim 9.3$  и  $10.6$  кэВ, что позволяет регистрировать его одновременно с ПРИ в используемой геометрии эксперимента. Измерение характеристического излучения мишени позволяет более корректно определять число электронов, участвовавших во взаимодействии, по сравнению с предшествующими экспериментами, в которых нормировка производилась по измеренной квантометром полной энергии неколлимированного пучка тормозного  $\gamma$ -излучения [2, 4].

Измерения проводились на синхротроне „Сириус“. В качестве мишени использовался совершенный монокристалл арсенида галлия толщиной 0.4 мм в брэгговской геометрии. Производился поиск ПРИ от системы плоскостей (400) под углом  $90^\circ$  к вектору скорости электронов. Теоретическое значение энергии квантов ПРИ первого порядка дифракции [1] под углом  $45^\circ$  ( $\hbar = c = 1$ ):

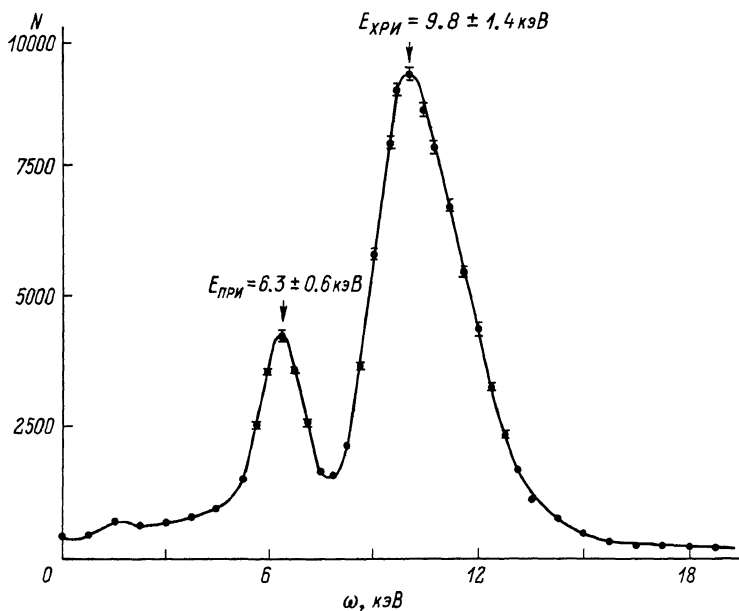


Рис. 1. Спектр ПРИ арсенида галлия для энергии электронов 250 МэВ при дифракции на плоскостях (400).

$$\omega = \frac{\pi}{d \cos \theta_B} = 6.2 \text{ кэВ}, \quad (1)$$

где  $d$  – межплоскостное расстояние,  $\theta_B$  – угол Брэгга.

Предварительно кристалл юстировался таким образом, чтобы ось  $\langle 100 \rangle$  была параллельна электронному пучку. Методика юстировки тождественна описанной в работе [5]. Далее кристалл доворачивался на угол  $\theta_B = 45^\circ$  так, чтобы рефлекс ПРИ выводился через патрубок вакуумной камеры ускорителя под углом  $2\theta_B = 90^\circ$  к оси пучка.

Спектральный состав рентгеновского излучения измерялся пропорциональным детектором с ксеноновым наполнением (эффективность 95% в диапазоне 3–15 кэВ, разрешение 18% по линии  $FeK_\alpha$ ), помещенным в свинцовую защиту толщиной  $\sim 20$  см. Угловой размер детектора составлял  $70 \text{ мрад}^2$ , что было достаточно для захвата всего рефлекса ПРИ.

На рис. 1 приводится экспериментальный спектр излучения, в котором четко выделяются два пика с энергией  $E_{ПРИ} = 6.3 \pm 0.6 \text{ кэВ}$  и  $E_{ХРИ} = 9.8 \pm 1.4 \text{ кэВ}$ . В пике характеристического рентгеновского излучения (ХРИ) не разделены линии  $GaK_\alpha$  и  $AsK_\alpha$  из-за недостаточного разрешения детектора. Отметим, что ширина наблюдаемого пика превышает разрешение детектора, составляющее для указанной энергии  $\sim \pm 0.7 \text{ кэВ}$ . Измеренные значения энергий излучения

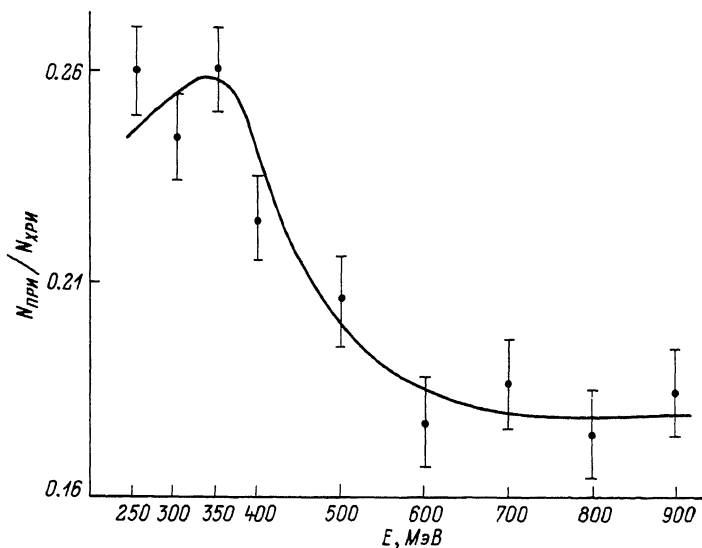


Рис. 2. Энергетическая зависимость отношения интенсивности ПРИ к интенсивности ХРИ.

хорошо согласуются с расчетными. При коллимации детектора интенсивность пика ХРИ значительно уменьшалась, в то время как интенсивность ПРИ изменялась не существенно, что обусловлено различными угловыми распределениями излучений и является косвенным подтверждением их происхождения.

На рис. 2 приведена зависимость интенсивности ПРИ от энергии электронного пучка в диапазоне 250–900 МэВ. Нормировка энергетической зависимости ПРИ производилась по интенсивности характеристического излучения. При расчетах была учтена зависимость выхода ХРИ от энергии электронов.

Интегральный выход ПРИ, оставаясь практически постоянным в области 600–900 МэВ, возрастает примерно на треть в районе 350 МэВ, что обусловлено вкладом многократного рассеяния [6], которое для *GaAs* значительно больше, чем для ранее изученных кристаллов [2, 3].

Таким образом, в настоящей работе впервые обнаружено ПРИ кристалла *GaAs* и измерена его энергетическая зависимость. Представляются интересными дальнейшие исследования различных монокристаллов с целью получения максимальных выходов ПРИ и изучения его характеристик.

Авторы выражают глубокую благодарность Ю.Н. Адیشهву, С.А. Воробьеву, А.П. Поталицину, Г.А. Плешкову, С.Р. Углову за помощь в проведении экспериментов и обработке результатов.

## Л и т е р а т у р а

- [1] B a r y s h e v s k i i V.G., F e r a n c h u k I.D. – J. Physique, 1983, v. 44, N 8, p. 913–922.
- [2] Адیشهв Ю.Н., Барышевский В.Г., Воробьев С.А. и др. – Письма в ЖЭТФ, 1985, т. 41, в. 7, с. 295–297.
- [3] Авакян Р.О., Аветисян А.Э., Адیشهв Ю.Н. и др. – Письма в ЖЭТФ, 1987, т. 45, в. 1, с. 313–316.
- [4] Адیشهв Ю.Н., Воробьев С.А., Мун В.В. и др. – Письма в ЖТФ, 1987, т. 13, в. 2, с. 83–85.
- [5] Воробьев С.А., Калинин Б.Н., Пак С., Потылицыи А.П. – Письма в ЖЭТФ, 1985, т. 41, в. 1, с. 3–6.
- [6] Барышевский В.Г., Грубич А.О., Ивашин А.В., Феранчук И.Д. – В кн.: Материалы ХУ1 Всес. совещ. по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами. М.: МГУ, 1987, с. 111–113.

Научно-исследовательский  
институт ядерных проблем  
при Белорусском  
государственном университете  
им. В.И. Ленина

Поступило в Редакцию  
24 августа 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 1

12 января 1988 г.

## ГИСТЕРЕЗИСНЫЕ ПОТЕРИ В СВЕРХПРОВОДЯЩИХ КОМПОЗИТАХ СО СВЕРХТОНКИМИ ЖИЛАМИ

В.А. А л ь т о в, А.В. И о н о в, В.В. К у р г у з о в,  
В.В. С ы ч е в

Уменьшение поперечного размера сверхпроводящих элементов в композиционных сверхпроводниках является эффективным способом снижения гистерезисных потерь в переменном магнитном поле, т. е. потерь энергии на перемагничивание жесткого сверхпроводника II рода [1]. При достижении в современных композиционных материалах микронных и субмикронных значений диаметров сверхпроводящих жил  $d$  (сверхтонкие жилы) с характерным расстоянием между ними  $b \sim 100$  нм (т. е. порядка длины когерентности в материале матрицы) оказалось, что экспериментально измеряемые гистерезисные потери существенно превышают расчетные, получаемые на основе