

05; 10

РАДИАЦИОННЫЕ ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОНОВ  
И ПОЗИТРОНОВ В МОНОКРИСТАЛЛЕ КРЕМНИЯ

В.И. В и т ь к о, Г.Д. К о в а л е н к о

Одним из основных вопросов, возникающих при исследовании прохождения электронов и позитронов через вещество, является вопрос о преобразовании энергии заряженных частиц в энергию гамма-излучения. Для аморфных веществ этот процесс изучен достаточно полно как теоретически, так и экспериментально (см., например, [1]). В монокристаллических веществах при определенных условиях за счет когерентных эффектов и явления каналирования коэффициент преобразования энергии начальных частиц в энергию фотонов может заметно отличаться от коэффициента преобразования в аморфном веществе. Для электронов и позитронов вышеуказанные эффекты проявляются по-разному.

В настоящей работе исследуются ориентационные зависимости радиационных потерь энергии электронов и позитронов в монокристаллах кремния различной толщины.

Экспериментальные исследования были проведены на ускорителе электронов ЛУ-2 ГэВ ХФТИ АН УССР. Пучок электронов (позитронов) с начальной энергией 1 ГэВ расходимостью  $10^{-4}$  рад и размером 8 мм направлялся на монокристаллическую мишень кремния толщиной 190, 640, 1930 и 3680 мкм. После прохождения кристалла электроны (позитроны) отворачивались магнитом. Интенсивность потока энергии гамма-излучения регистрировалась гаусс-квантометром, эффективность которого постоянна в диапазоне энергий 3–5000 МэВ и в малой степени зависит от формы спектра излучения [2], что особенно важно при регистрации излучения из кристалла. Ток начального пучка частиц измерялся монитором вторичной эмиссии, калиброванным по цилиндру Фарадея. Во время измерения потока энергии из кристалла монитор вторичной эмиссии из-под пучка убирался.

Для определения постоянной квантометра использовалась аморфная алюминиевая мишень толщиной 500 мкм. Поток излучения из алюминиевой мишени в телесном угле  $\Omega = 10^{-4}$  ср измерялся квантометром, и эта величина сравнивалась с расчетной величиной, полученной в борновском приближении [1]. Из сравнения теоретических и экспериментальных результатов определялась постоянная квантометра.

Монокристаллические мишени были помещены в гониометрическое устройство, которое позволяло поворачивать кристалл вокруг двух взаимно перпендикулярных осей с точностью отсчета угла поворота  $5 \cdot 10^{-5}$  рад и вокруг оси пучка с точностью  $10^{-3}$  рад.

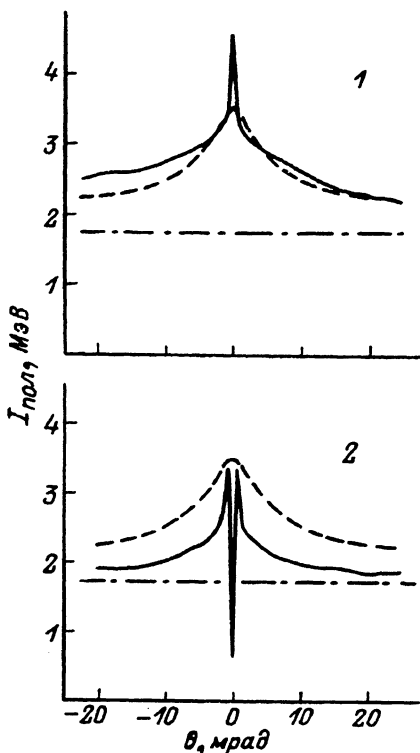


Рис. 1. Ориентационные зависимости полного потока гамма-излучения для электронов (1) и позитронов (2) в монокристалле кремния толщиной 190 мкм: штриховая линия – расчет по КТИ, сплошная – некогерентная часть излучения (расчет).

Ориентирование кристаллов, т.е. совмещение кристаллографической оси  $[110]$  с направлением пучка частиц, проводилось по методике, описанной в работе [3]. Ориентационные зависимости полного потока энергии излучения электронов (позитронов) записывались с помощью двухкоординатного самопишущего потенциометра, на один вход которого подавался сигнал, пропорциональный углу поворота кристалла, а на другой – сигнал, пропорциональный потоку энергии.

На рис. 1, 2 приведены ориентационные зависимости полного потока энергии фотонов для кристаллов кремния толщиной 190 и 3680 мкм для электронов и позитронов. Ошибка экспериментальных результатов не превышает по абсолютной величине 10%.

На этих же рисунках приведены расчетные кривые, выполненные в соответствии с теорией когерентного тормозного излучения (КТИ) [4]. В расчетах учитывались начальная расходимость пучка заряженных частиц и его многократное рассеяние в мишени. Многократное рассеяние в кристалле принималось равным рассеянию в аморфном веществе. Когда ось кристалла кремния  $[110]$  совпадает с

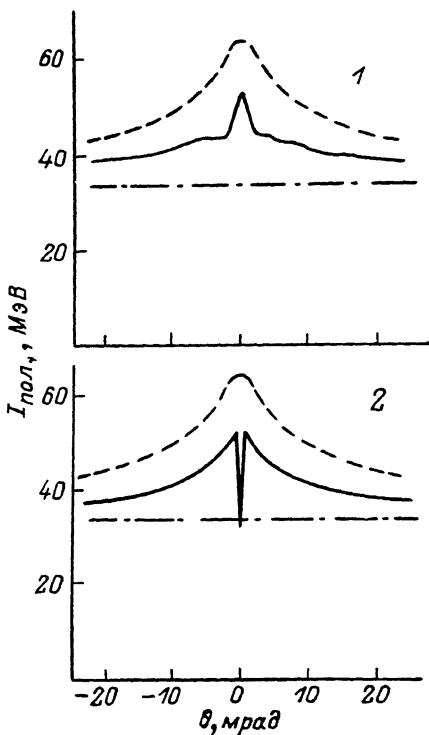


Рис. 2. То же, что и на рис. 1 для монокристалла кремния толщиной 3780 мкм.

направлением пучка позитронов, поток энергии излучения резко уменьшается. Это уменьшение обусловлено захватом позитронов в режим каналирования, в результате которого частицы движутся вдали от атомных ядер, и общая интенсивность излучения уменьшается. С увеличением толщины кристалла доля каналированных частиц уменьшается, и интенсивность излучения увеличивается. Канализованные позитроны движутся вдали от атомных ядер, поэтому интенсивность излучения „жестких” фотонов ( $\omega \sim 1$  ГэВ) подавлена, но увеличена интенсивность излучения „мягких” фотонов ( $\omega \sim 5$  МэВ). Общая же интенсивность излучения меньше, чем в аморфном веществе.

Для углов ориентации больше критического угла осевого каналирования и малых толщин отличие экспериментальных и расчетных кривых обусловлено плоскостным каналированием позитронов. Для кристалла толщиной 3680 мкм наблюдается уменьшение экспериментальных значений по сравнению с расчетами как для электронов, так и для позитронов во всей области углов. Такое различие обусловлено коллимацией фотонного излучения, которое в расчетах не учитывалось и для меньших толщин не играет существенной роли.

Толщина кристалла, см	Угол ориентации $\theta$ , мрад	Полный поток энергии, МэВ/см			Коэффициент преобразования, %	
		Эксперимент		Расчет по КТИ	Электр.	Позитр.
		Электроны	Позитроны			
0.019	0	242	30	184	0.46	0.060
	20	136	100	120	0.26	0.19
0.023 (5)	0	242	33	184	0.56	0.08
	20	124	89	120	0.28	0.2
0.064	0	200	40	184	1.28	0.260
	20	128	126	120	0.82	0.81
0.193	0	-	60	182	-	1.16
	20	-	100	120	-	1.93
0.368	0	142	86	174	5.2	3.2
	20	104	104	120	3.8	3.8

При выполнении условий осевого каналирования для электронов ( $\theta = 0$ ) наибольшее различие между экспериментом и расчетом наблюдается для толщины 190 мкм. Это различие можно объяснить каналированием электронов, но в отличие от позитронов, электроны при каналировании движутся вблизи ядер мишени, поэтому интенсивность излучения „жестких“ и „мягких“ фотонов возрастает. С увеличением толщины кристалла за счет эффекта деканалирования вклад в интенсивность излучения от каналированных частиц уменьшается.

В таблице приведены экспериментально и теоретически полученные значения радиационных потерь энергии на единицу длины для электронов и позитронов и коэффициенты преобразования энергии заряженных частиц в энергию фотонов. В этой же таблице приведены данные из работы [5] для кристалла кремния толщиной 230 мкм.

Как следует из приведенных в таблице данных, коэффициенты преобразования энергии заряженных частиц в энергию фотонов зависят от ориентации кристалла и знака заряда. Величина коэффициента преобразования в ориентированном кристалле  $\theta = 0$  для электронов выше, а для позитронов ниже, чем в аморфной мишени.

Таким образом, для преобразования энергии электронов в энергию фотонов кристаллическая мишень является предпочтительней, чем аморфная, даже для толщин  $\sim 4$  мм.

- [1] К о с н Н.В., М о т з J.W. // Rev. Mod. Phys. 1959. V. 31. N 4. P. 920.
- [2] К о м а р А.П., К р у г л о в С.П., Л о п а т и н И.В. Измерение полной энергии пучков тормозного излучения от электронных ускорителей. Л.: Наука, 1972. 174 с.
- [3] М о р о х о в с к и й В.Л., К а с и л о в В.И., К о в а л е н к о Г.Д., Ф и с у н А.Н. // ПТЭ. 1973. № 3. С. 36.
- [4] L u t z G., T i m m U.Z. // Naturf. 1966. V. 21a. P. 1976.
- [5] Б о ч е к Г.Л., В и т ь к о В.И., Г р и ш а е в И.А. и др. // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Общая и ядерная физика, ХФТИ, 1978. В. 1(1). С. 71.

Харьковский  
физико-технический  
институт АН УССР

Поступило в Редакцию  
18 ноября 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 3

12 февраля 1989 г.

### МУЛЬТИСТАБИЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ ДИССИПАТИВНО СВЯЗАННЫХ ФЕЙГЕНБАУМОВСКИХ СИСТЕМ

В.В. А с т а х о в, Б.П. Б е з р у ч к о,  
Ю.В. Г у л я е в, Е.П. С е л е з н е в

В последнее время большое внимание уделяется исследованию динамики связанных систем, каждая из которых демонстрирует переход к хаосу через каскад удвоений периода [1-5]. Универсальные свойства подобия, присущие индивидуальному объекту (фейгенбаумовская система), имеют место и в связанных системах [2, 3]. Помимо движений с удвоенным периодом, взаимодействие порождает квазипериодические режимы с последующим их разрушением [1], не реализуемые в отдельной фейгенбаумовской системе. Для таких широко распространенных универсальных систем важно иметь полную картину поведения, связывающую воедино различные проявления взаимодействия. В данной работе подобная картина построена для двух диссипативно связанных фейгенбаумовских систем [2] с дискретной группой симметрии по отношению к временному сдвигу [6]. Численно и экспериментально исследуются закономерности в эволюции регулярных и хаотических режимов.

Для логистических отображений диссипативный тип связи в смысле [2] имеет вид

$$\begin{aligned}x_{n+1} &= \lambda - x_n^2 + k(x_n^2 - y_n^2), \\y_{n+1} &= \lambda - y_n^2 + k(y_n^2 - x_n^2),\end{aligned}\tag{1}$$