

УДК 539.1.074.5

## РЕГИСТРАЦИЯ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ КРЕМНИЕВЫМ ЛАВИННЫМ ДЕТЕКТОРОМ НА ОСНОВЕ МРП-СТРУКТУРЫ

В. Л. Кашеваров, Л. Н. Павлюченко, Г. А. Сокол

*Приведены предварительные результаты по регистрации релятивистских электронов кремниевым детектором с внутренним усилением, изготовленным на основе МРП-структуры.*

В работе [1] отмечалась возможность создания координатного многоэлементарного детектора на основе нового типа кремниевых лавинных детекторов, обеспечивающих самостабилизацию процесса лавинного усиления [2]. Применение таких лавинных детекторов в экспериментах по физике высоких энергий в качестве внутренних трековых детекторов представляется весьма перспективным, поскольку они обладают рядом очевидных преимуществ перед существующими детекторами на основе рпн-структуры. Во-первых, можно получить лавинные детекторы значительно меньшей полной толщины (50 мкм), чем рпн-детекторы (300 мкм). Далее, наличие внутреннего усиления (до  $10^5$ ) и малая глубина чувствительного слоя лавинного детектора (2 мкм) обеспечивают высокий уровень сигналов от регистрируемых частиц и отсутствие "кластеров" (срабатывания нескольких элементов при прохождении через детектор одной частицы). В силу этих обстоятельств возможен переход на логическую электронику, что существенно упрощает и удешевляет систему сбора и обработки информации с детектора.

В то же время, малая глубина чувствительной области лавинного детектора приводит к определенным проблемам при регистрации релятивистских частиц. Прежде всего, это малая величина первичной потери энергии в чувствительном слое и связанное с этим возможное отличие эффективности регистрации от 100%, обусловленное как прохождением чувствительного объема без взаимодействия [3], так и порогом в канале регистрации для дискриминации от шумов детектора.

Возникают, таким образом, более жесткие требования к лавинным структурам, как в отношении собственных шумов, так и в отношении коэффициента умножения структуры. В этой связи представляется необходимым экспериментально исследовать возможность регистрации релятивистских электронов кремниевым лавинным детектором (КЛД).

Измерения проводились с КЛД, изготовленным на основе МРП-структур (металл – резистивный слой – полупроводник). Особенностью технологии являлось создание на поверхности кремния р-типа регулярных неоднородностей в виде отдельных областей п-типа проводимости [4]. Основная идея состояла в локализации лавинного процесса, т.е. отделения области умножения носителей заряда от области поглощения ионизирующей частицы, светового или рентгеновского кванта. Такое разделение приводит к преимущественному умножению носителей только одного знака и уменьшению темнового тока. Кроме того, устраняются микроплазменные явления, которые характерны для однородных лавинных структур. Именно эти особенности технологии позволили существенно увеличить коэффициент умножения структуры (до  $10^5$ ), улучшить их стабильность и увеличить срок службы.

Используемый в измерениях КЛД обладал следующими характеристиками: площадь чувствительной поверхности 1,8 мм ( $\varnothing = 1,5$  мм); глубина чувствительной области 2 мкм; полная толщина детектора 300 мкм; коэффициент умножения (при  $V = 39,4$  В)  $5 \cdot 10^3$ ; темновой ток (при  $V = 20$  В)  $5 \cdot 10^{-6}$  А; емкость структуры 150 пФ.

Коэффициент умножения структуры определялся с помощью сфокусированного светового луча от красного светодиода ( $\lambda = 850$  нм) как отношение сигнала структуры в режиме лавинного умножения к сигналу в режиме до лавинного умножения (при  $V = 20$  В). Оптимальное напряжение смещения структуры, при котором шумы составляли не более 5% от усиленного импульса, для данного детектора составляло 35–40 В. При измерениях на структуру подавалось напряжение 39,4 В.

КЛД помещался в калибровочный пучок электронов ускорителя "Пахра" Физического института им. П. Н. Лебедева РАН. Энергия электронов могла меняться от 15 до 650 МэВ с помощью магнитного поля. Направление пучка электронов выделялось с помощью двух сцинтилляционных счетчиков  $C1$  и  $C2$ , размером  $15 \times 15$  мм<sup>2</sup>, отстоящих друг от друга на расстоянии 0,5 м. КЛД помещался между  $C1$  и  $C2$ .

Измерялся амплитудный спектр КЛД в трех режимах: 1) при двойных совпадениях  $C1 \times C2$ , 2) при тройных совпадениях  $C1 \times C2 \times$  КЛД, 3) без совпадений. В первом режиме автоматически осуществлялось измерение эффективности регистрации детектором

релятивистских электронов. Амплитудный спектр в третьем режиме представлен на рис. 1. Спектры импульсов от электронов, полученные в режимах 1 и 2, практически не отличаются от приведенных на рис. 1. Превышение амплитуд от электронов над шумами КЛД позволяет сделать вывод о возможности использования КЛД для регистрации релятивистских частиц.

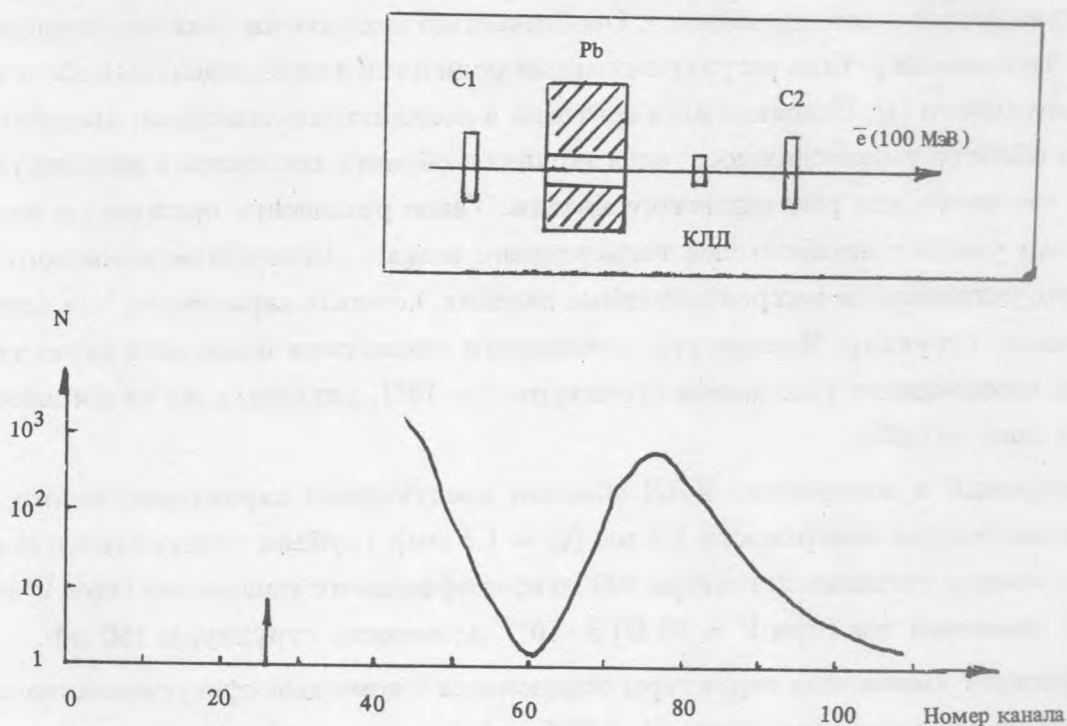


Рис. 1. Амплитудный спектр электронов (100 МэВ), регистрируемых кремниевым лавинным детектором на основе МРП-структуры. Стрелкой показана средняя амплитуда шумового спектра. Схема эксперимента показана на вставке.

Как видно из рис. 1, амплитудный спектр обладает характерным распределением (типа Ландау) для потерь энергии в тонких слоях вещества [3] и характеризуется полной шириной  $\sim 84\%$ .

Как следует из рис. 1, шумы КЛД довольно велики, так что соотношение сигнал/шум оказалось равным трем (по средним значениям амплитуд). Соотношение

сигнал/шум для минимальных потерь энергии, естественно, существенно меньше, и желательно его улучшить. В этой связи следует иметь в виду, что при переходе к детектору, имеющему малые размеры регистрирующей ячейки, соотношение сигнал/шум должно быть лучше, поскольку шумы пропорциональны корню из площади. Кроме того, желательно иметь детектор с глубиной чувствительной области 5-7 мкм. Наши усилия в настоящее время направлены на создание таких детекторов.

Таким образом, экспериментально показана возможность регистрации релятивистских электронов кремниевыми лавинными детекторами, изготовленными на основе МРП-структуры. Эффективность регистрации в пределах статистической точности (1%) равна 100%.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Сокол Г. А., Шубин В. Э. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 7, 3 (1991).
- [2] Гольбрайх Н. И., Плотников А. Б., Шубин В. Э. Квантовая электроника, 2, 2624 (1975).
- [3] Bichsel H. Nucl. Instr. Meth., **B52**, 136 (1990).
- [4] Гасанов А. Г. и др. Письма в ЖЭТФ, 14, 706 (1988).

Поступила в редакцию 25 января 1993 г.