

P13-2010-136

В. Б. Бруданин<sup>1</sup>, Ю. Б. Гуров<sup>2</sup>, В. Г. Егоров<sup>1</sup>, Б. Райхель<sup>3</sup>,  
Д. Борович<sup>1,3</sup>, С. В. Розов<sup>1</sup>, В. Г. Сандуковский<sup>1</sup>,  
Я. Юрковски<sup>1,3</sup>

**МАССИВНЫЕ HPGe-ДЕТЕКТОРЫ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ  
РЕДКИХ СОБЫТИЙ С НИЗКИМ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЕМ**

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

---

<sup>1</sup>Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

<sup>2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
Москва

<sup>3</sup>Институт ядерной физики Польской академии наук, Краков, Польша

Бруданин В. Б. и др.

P13-2010-136

Массивные HPGe-детекторы для регистрации редких событий с низким энерговыделением

В работе представлена методика изготовления и основные характеристики HPGe-детекторов большого объема с емкостью порядка 0,5 пФ. Разработанная методика позволила изготовить детектор, который по массе сопоставим с коаксиальным HPGe-детектором, а его энергетическое разрешение и порог регистрации близки к значениям, характерным для маленьких HPGe-рентгеновских детекторов.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем им. В.П. Дзелепова ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2010

Brudanin V. B. et al.

P13-2010-136

Large-Volume HPGe Detectors for Registration of Rare Events with Low Energy

Techniques of fabrication and main characteristics of large-volume HPGe detectors with capacitance about 0.5 pF are presented. The elaborated methods have allowed making a detector with a mass similar to coaxial HPGe detectors. Its energy resolution and threshold are close to typical parameters of small X-ray HPGe detectors.

The investigation has been performed at the Dzhelepov Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2010

Исследования свойств и взаимодействий нейтрино являются фундаментальными задачами физики элементарных частиц. Заметный прогресс в этой области в последнее время (эксперименты с солнечными атмосферными нейтрино и реакторными нейтрино свидетельствуют о существовании эффекта нейтринных осцилляций) стимулирует дальнейшие экспериментальные исследования и разработку новых детекторов и новых методик для поиска и наблюдения магнитного момента нейтрино, когерентного рассеяния нейтрино и частиц «темной материи». Такие детекторы должны иметь минимально возможный энергетический порог регистрации (ниже 500 эВ), хорошее энергетическое разрешение (200–400 эВ для энергии  $\sim 6$  кэВ) и большую собственную массу (от  $\sim 1$  до  $\sim 100$  кг).

Наиболее адекватными приборами для решения подобных задач в настоящее время являются полупроводниковые детекторы из особо чистого германия (HPGe-детекторы). Однако современные большие коаксиальные HPGe-детекторы (более 200 г) имеют за счет собственной большой электрической емкости (20–50 пФ) энергетический порог регистрации выше 3 кэВ, что не позволяет продвинуться в решении вышеназванных проблем.

В Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ в г. Дубне накоплен большой многолетний опыт по разработке и созданию различных типов HPGe-детекторов [1, 2], а также многокристалльных спектрометров на их основе с чувствительной массой более 10 кг [3, 4].

В настоящей работе представлена методика изготовления и характеристики так называемого «полупланарного» детектора из германия  $p$ -типа проводимости с массой 250 г и электрической емкостью  $\leq 0,5$  пФ, позволяющей снизить энергетический порог регистрации до уровня ниже 500 эВ.

### МЕТОДИКА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТЕКТОРА

Для изготовления детектора был выбран монокристалл германия диаметром 52 мм и толщиной 23 мм  $p$ -типа проводимости с разностной концентрацией легирующих примесей  $|N_a - N_d| \cong 0,56 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$ . При этом разброс этого параметра в объеме кристалла не превышал 2%. Структура HPGe-полупроводникового детектора (п. п. д.) представлена на рис. 1. Закругления на краях детектора и высокая однородность разностной концентрации необходимы для эффективного собирания носителей заряда, которые образуются при регистрации частиц и ядер отдачи.

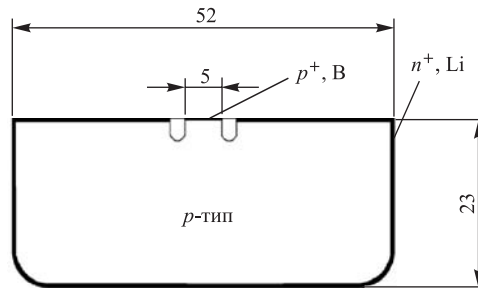


Рис. 1. Структура HPGe-п. п. д. (размеры представлены в миллиметрах)

На первом этапе при термодиффузии лития (Li) изготавливался  $n^+$ -контакт толщиной  $\sim 0,5$  мм, который покрывал практически всю поверхность образца (рис. 1), за исключением центральной части торца диаметром 10 мм. В этом месте вырезалась канавка (охранное кольцо) глубиной и шириной 2,5 мм, которая несколько раз травилась в смеси кислот  $\text{HF}:\text{HNO}_3$  и отмывалась в деионизованной воде. На втором этапе создавался  $p^+$ -контакт (диаметром 5 мм) с помощью ионной имплантации бора (В), которая проводилась последовательно при энергиях 25 и 17 кэВ; внедренные дозы составили  $10^{13}$  и  $5 \cdot 10^{14}$   $\text{см}^{-2}$  соответственно. Отжиг дефектов после внедрения бора не проводился. Завершающий этап изготовления детектора включал в себя кратковременное травление охранного кольца и промывку в метиловом спирте. Перед этими операциями имплантированная бором поверхность защищалась кислотостойкой пленкой. Толщина защитной оксидной пленки, полученной пассивацией, составляла 0,1 мкм [5].

### ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕТЕКТОРА

Основными эксплуатационными характеристиками изготовленного детектора являются: значения емкости, величина «темнового» тока при напряжении полного обеднения, диапазон рабочих напряжений, величина эффективности регистрации, энергетическое разрешение.

На рис. 2 показаны вольт-амперная характеристика (рис. 2, а) и зависимость относительной эффективности (ОЭ, %) регистрации (рис. 2, б)  $\gamma$ -квантов  $^{60}\text{Co}$  (энергия  $E_\gamma = 1,33$  МэВ). Видно, что полное обеднение для детектора наступает при напряжении  $U_{\text{д}} = 800$  В, а для всего диапазона рабочих напряжений (800–2000 В) величина ОЭ составляет 9%. Это значение согласуется с расчетным для германиевого детектора с чувствительным объемом  $\sim 50$   $\text{см}^3$ .

Измерения показали, что в отличие от ранее выполненных разработок [6, 7] выбранная нами геометрия электродов детектора позволила полу-

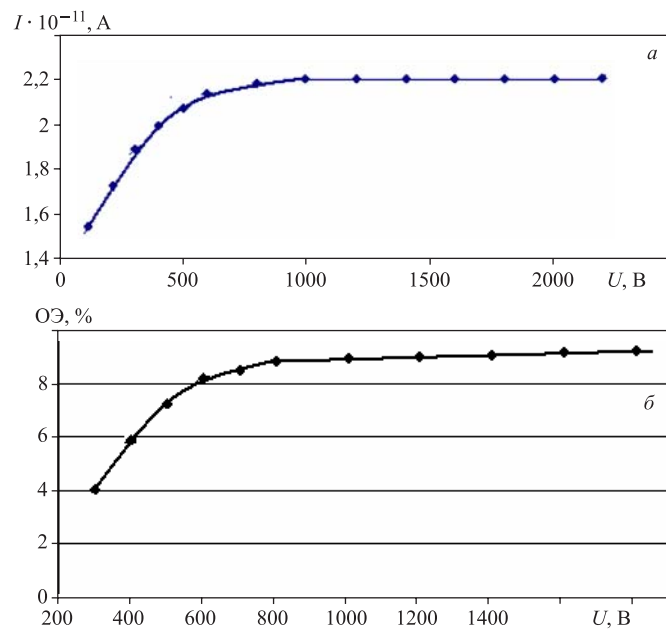


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика (а) и зависимость относительной эффективности (ОЭ, %) регистрации (б)  $\gamma$ -квантов  $^{60}\text{Co}$  (энергия  $E_\gamma = 1,33$  МэВ)

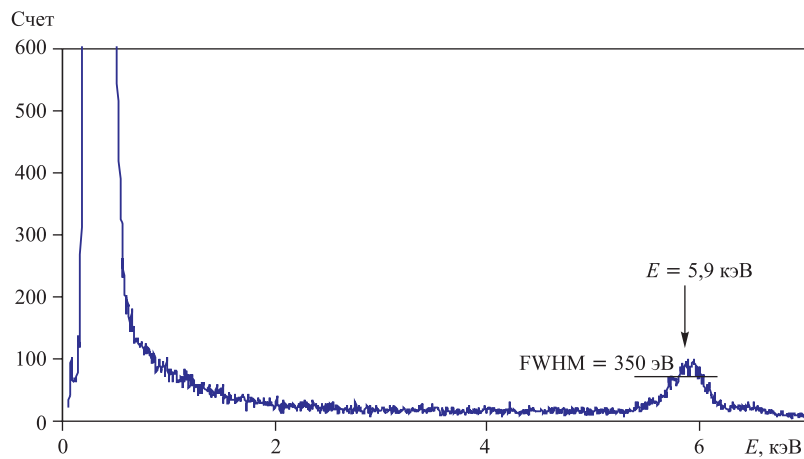


Рис. 3. Энергетический спектр источника  $\gamma$ -квантов  $^{55}\text{Fe}$ , измеренный с помощью HPGe-п. п. д. объемом  $\sim 50$  см<sup>3</sup>

чить емкость ( $C_D$ ) при полном обеднении не более 1 пФ. Достигнутое значение емкости позволило получить энергетическое разрешение  $\text{FWHM} = 350$  эВ при регистрации  $\gamma$ -квантов с энергией 5,9 кэВ (рис. 3), что значительно лучше, чем у стандартного коаксиального детектора такой же массы.

Следует отметить, что основной вклад в полученные энергетические порог и разрешение вносят шумы, инициализируемые входной емкостью предусилителя (ПУ) с полевым транзистором 2N4416 (фирмы «Texas Instruments»). Емкость 2N4416 равна  $C_T = 4,2$  пФ, что значительно больше  $C_D$ . Снижение порога и улучшение энергетического разрешения возможно, если использовать полевой транзистор с более низкой входной емкостью, например EuriFET ER105 фирмы «Canberra» с емкостью 0,9 пФ. Используя ПУ с входной емкостью меньше 1 пФ, можно для больших HPGe-детекторов (массой  $\sim 250$ –500 г) получить энергетическое разрешение  $\text{FWHM} \sim 150$  эВ, которое будет соответствовать уровню шума и энергетическому порогу для рентгеновских HPGe-детекторов массой  $\sim 5$  г.

Таким образом, показана возможность создания HPGe-детекторов большого объема с емкостью порядка 0,5 пФ. Разработанная методика позволила изготовить детектор, который по массе сопоставим с коаксиальным HPGe-детектором, а его энергетическое разрешение и порог регистрации близки к значениям, характерным для маленьких HPGe-рентгеновских детекторов. Очевидно, что для улучшения параметров представленных детекторов необходимо в ПУ, предназначенных для съема сигнала с п.п.д., использовать полевые транзисторы с емкостью не более 1 пФ.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 09-02-12363-офи\_м.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вылов Ц., Осипенко Б. П., Сандуковский В. Г., Юрковски Я. Сообщение ОИЯИ 13-85-677. Дубна, 1985.
2. Горнов М. Г., Гуров Ю. Б., Осипенко Б. П. и др. // ПТЭ. 1990. №4. С. 83.
3. Brianson Ch., Brudanin V. B., Egorov V. G. et al. // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A. 1996. V. 372. P. 222.
4. Бруданин В. Б., Рухадзе Н. И., Бриансон Ш. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 2003. Т. 67, №5. С. 618.
5. Гуров Ю. Б., Карпунин В. С., Розов С. В. и др. // ПТЭ. 2009. №1. С. 151.
6. Luke P. N. // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A. 1988. V. 271. P. 567.
7. Luke P. N., Goulding F. S., Madden N. W., Pehl R. H. // IEEE Trans. Nucl. Sci. 1989. V. 36. P. 926.

Получено 2 декабря 2010 г.

Редактор *А. И. Петровская*

Подписано в печать 03.03.2011.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,43. Уч.-изд. л. 0,5. Тираж 315 экз. Заказ № 57258.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: [publish@jinr.ru](mailto:publish@jinr.ru)

[www.jinr.ru/publish/](http://www.jinr.ru/publish/)