

УДК 539.1.07

МАССИВНЫЕ HPGe-ДЕТЕКТОРЫ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ РЕДКИХ СОБЫТИЙ С НИЗКИМ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЕМ

© 2011 г. В. Б. Бруданин*, Ю. Б. Гуров**, В. Г. Егоров*, В. Rajchel***, D. Borowicz*, ***, С. В. Розов*, В. Г. Сандуковский*, J. Yurkowski*, ***

*Объединенный институт ядерных исследований

Россия, 141980, Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, 6

**Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Москва, Россия

*** Institute of Nuclear Physics Polish Academy of Sciences, Poland, Krakow

Поступила в редакцию 21.12.2010 г.

Описана методика изготовления и основные характеристики HPGe-детекторов большого объема с емкостью ~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.

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 методик для поиска и наблюдения магнитного момента нейтрино, когерентного рассеяния нейтрино и частиц “темной материи”. Такие детекторы должны иметь минимально возможный энергетический порог регистрации (<500 эВ), хорошее энергетическое разрешение (200–400 эВ для энергии ~6 кэВ) и большую собственную массу (от ~1 до ~100 кг).

В настоящее время наиболее удовлетворяют этим условиям полупроводниковые детекторы (п.п.д.) из особо чистого германия (HPGe). Однако у современных больших коаксиальных HPGe-детекторов (более 200 г) из-за большой собственной электрической емкости (20–50 пФ) энергетический порог регистрации превышает 3 кэВ, что не позволяет продвинуться в решении выше-названных проблем.

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

В данной работе описаны методика изготовления и характеристики так называемого “полуплоского” детектора из германия *p*-типа проводимости с массой 250 г и электрической емкостью ≤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 $|N_a - N_d| \cong 0.56 \times 10^{10} \text{ см}^{-3}$. При этом разброс этого параметра в объеме кристалла не превышает 2%. Структура HPGe-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.

На первом этапе термодиффузией лития (Li) изготавливался n^+ -контакт толщиной ~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, которую несколько раз травили в смеси кислот HF:HNO₃ и отмывали в деионизо-

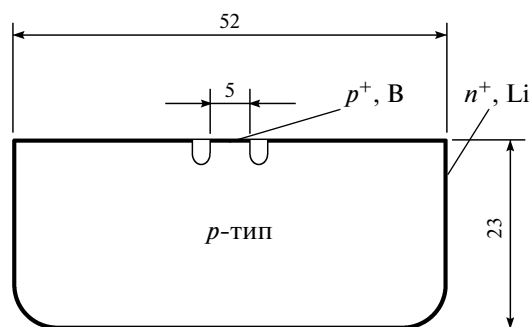


Рис. 1. Структура HPGe-п.п.д. (размеры даны в миллиметрах).

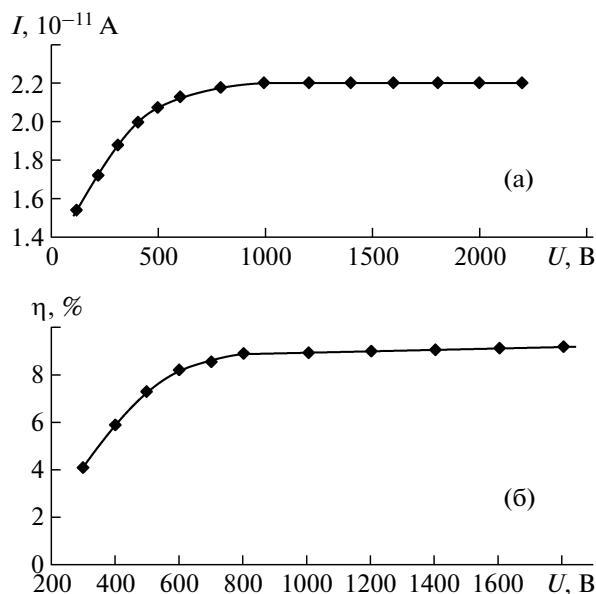


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика детектора (а) и зависимость относительной эффективности η регистрации п.п.д. γ -квантов ^{60}Co (энергия $E_\gamma = 1.33$ МэВ) от напряжения смещения (б).

ванной 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 $5 \cdot 10^{14}$ 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 имплантированную бором поверхность защищали кислотостойкой пленкой. Толщина защитной оксидной пленки, полученной пассивацией, составляла 0.1 мкм [5].

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕТЕКТОРА

Основными эксплуатационными характеристиками изготовленного детектора являются: емкость, величина “темнового” тока при напряжении полного обеднения, диапазон рабочих напряжений, эффективность регистрации и энергетическое разрешение.

На рис. 2 показаны вольт-амперная характеристика детектора (рис. 2а) и зависимость относительной эффективности регистрации п.п.д. γ -квантов ^{60}Co (энергия $E_\gamma = 1.33$ МэВ) (рис. 2б) от напряжения смещения. Видно, что полное обеднение для детектора наступает при напряжении $U_d = 800$ В, а для всего диапазона рабочих напряжений (800–2000 В) величина относительной эффективности составила 9%. Это значение согласуется с расчет-

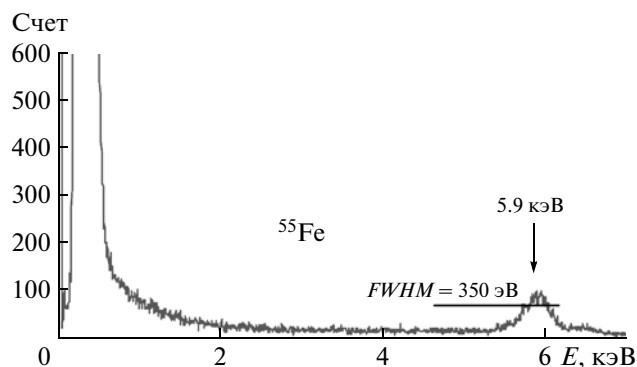


Рис. 3. Энергетический спектр источника γ -квантов ^{55}Fe , измеренный с помощью HPGe-п.п.д. объемом ~ 50 см^3 .

ным для германиевого детектора с чувствительным объемом ~ 50 см^3 .

Измерения показали, что в отличие от ранее выполненных разработок [6, 7] выбранная нами геометрия электродов детектора позволила получить емкость (C_d) при полном обеднении не более 1 пФ. Достигнутое значение емкости обеспечило энергетическое разрешение $FWHM = 350$ эВ при регистрации γ -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 с полевым транзистором 2N4416 (фирмы Texas Instruments). Емкость 2N4416 равна $C_T = 4.2$ пФ, что значительно больше C_d . Снизить порог и улучшить энергетическое разрешение можно, если использовать полевой транзистор с более низкой входной емкостью, например Eu-giFET ER105 фирмы Canberra с емкостью 0.9 пФ. Используя предусилитель с входной емкостью < 1 пФ, можно для больших HPGe-детекторов (массой ~ 250 –500 г) получить энергетическое разрешение $FWHM \sim 150$ эВ, которое будет соответствовать уровню шума и энергетическому порогу рентгеновских HPGe-детекторов массой ~ 5 г.

Таким образом, показана возможность создания HPGe-детекторов большого объема с емкостью ~ 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 описанных детекторов необходимо в предусилителях, 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вылов Ц., Осипенко Б.П., Сандуковский В.Г., Юрковски Я.* // Сообщения 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. Instrum. and. Methods in Phys. Res. 1996. V. A372. 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., Карпухин В.С., Розов С.В. и др.* // ПТЭ. 2009. № 1. С. 151.
6. *Luke P.N.* // Nucl. Instrum. and Methods in Phys. Res. 1988. V. A271. P. 567.
7. *Luke P.N., Goulding F.S., Madden N.W., Pehl R.H.* // IEEE Trans. Nucl. Sci. 1989. V. 36. P. 926.