

P13-2009-103

Ю. Б. Гуров^{1,2}, С. Л. Катулина¹, С. В. Розов^{1,*},
В. Г. Сандуковский¹, Я. Юрковски^{1,3}

**ПЛАНАРНЫЕ Si(Li)-ДЕТЕКТОРЫ
С БОЛЬШИМ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫМ ОБЪЕМОМ**

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

¹Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

²Московский инженерно-физический институт (государственный университет), Москва

³Институт ядерной физики ПАН, Краков, Польша

*E-mail: rozovs@jinr.ru

Гуров Ю. Б. и др.

P13-2009-103

Планарные Si(Li)-детекторы с большим чувствительным объемом

Представлены результаты разработки и исследования литий-дрейфовых кремниевых детекторов с большим чувствительным объемом с глубиной чувствительного слоя 4–8 мм для многослойных спектрометров. Показаны основные характеристики детекторов. Детекторы успешно использовались в спектроскопии ядерных излучений, в частности, в экспериментах по изучению экзотических ядер на ускорителях.

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

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2009

Gurov Yu. B. et al.

P13-2009-103

Planar Si(Li) Detectors with a Large Active Volume

The results of research and development of special lithium-drifted silicon detectors with large active area (30 cm^2) and active depth of 4–8 mm for multilayer spectrometers are presented. The main detector parameters are shown. The detectors were successfully used in the spectroscopy of ionizing radiation, in particular, in experimental studies of exotic light nuclei at accelerators.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2009

В ядерно-физических экспериментах для регистрации длиннопробежных заряженных частиц широко применяются спектрометры на основе кремниевых полупроводниковых детекторов (Si-п. п. д). Выбор кремния в качестве материала детекторов обусловлен возможностью работы Si-п. п. д при комнатной температуре (в отличие от детекторов из германия), что особенно важно при создании многослойных полупроводниковых спектрометров заряженных частиц (п. п. д.-телескопов) сложной конфигурации [1].

Несмотря на ряд достоинств, развитие полупроводниковой спектрометрии частиц сдерживается технологическими трудностями получения монокристаллов кремния большого объема с необходимыми электрофизическими параметрами для создания детекторов. До сих пор единственным способом получения кремниевых детекторов частиц с большим чувствительным объемом остается метод компенсации кремния *p*-типа проводимости ионами лития.

В Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований (ЛЯП ОИЯИ) ведутся работы по созданию кремниевых телескопов с большой активной площадью (апертурой регистрации) и предельно достижимым энергетическим разрешением, которые имели бы при этом высокую надежность при их длительном использовании в эксперименте. В настоящей работе представлены Si(Li)-детекторы (рис. 1 и 2), изготовленные в ЛЯП ОИЯИ, отличительными особенностями которых являются большая активная площадь ($\approx 30 \text{ см}^2$) и протяженная чувствительная толщина (от 4 до 9 мм).

Исходным материалом для получения Si(Li)-детекторов служил монокристаллический кремний *p*-типа проводимости, выращенный методом бесте-

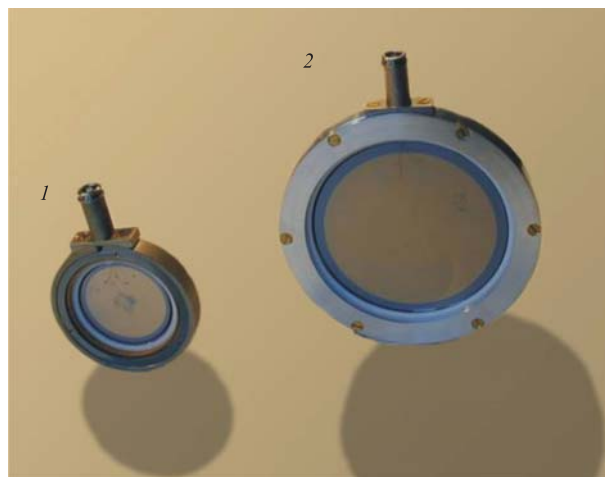


Рис. 1. Фотография Si(Li)-детекторов с диаметром активной площади 32 мм (1) и диаметром 60 мм (2)

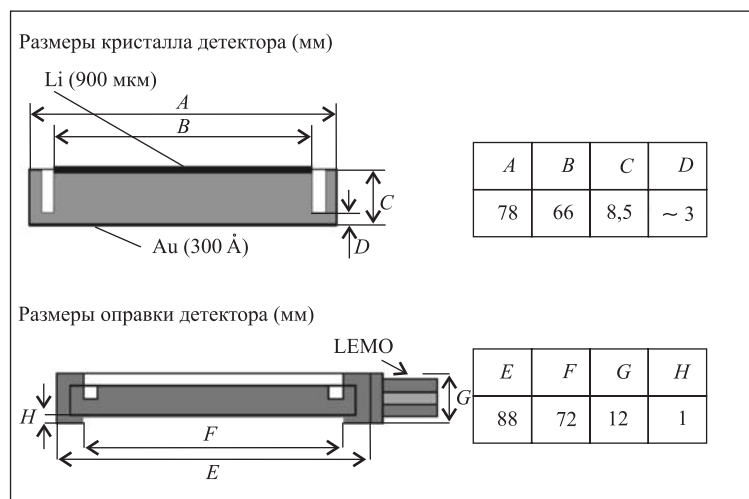


Рис. 2. Структура Si(Li)-детектора

гельной зонной плавки. Кристаллы имели следующие параметры: диаметр 78 мм, удельное сопротивление $\sim 400 \div 600 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, время жизни неосновных носителей заряда $\sim 1 \text{ мс}$ и плотность дислокаций ниже 10 см^{-2} .

После напыления лития на подготовленный образец монокристалла кремния, последовательно проводились термодиффузия лития, так называемые «горячий» и «холодный» дрейф ионов лития в условиях приложенного к образцу электрического поля. Необходимо отметить высокую скорость дрейфа в отобранном материале. Было установлено, что толщина области компенсации D [мм] связана со временем дрейфа t [сут] соотношением $D = 0,4t^{0,85}$. Так, например, для создания области обеднения толщиной 6 мм необходимо проводить «горячий» дрейф в течение 24 сут. Последующий «холодный» дрейф при напряжении 1500–2000 В позволял добиться равномерной компенсации донорами акцепторов по всему объему и получить удельное сопротивление кремния, близкое к собственному. Специально разработанные методы проведения и контроля процессов дрейфа ионов лития (ноу-хау) позволили получить однородные Si(Li)-структуры с диаметром более 60 мм и толщиной 4–9 мм.

Si(Li)-детекторы со стороны литиевого контакта имели кольцевую канавку диаметром 60 мм и глубиной $\sim 2/3$ от толщины образца. Такая структура детектора позволяет зафиксировать область p - n -перехода и одновременно уменьшить токи утечки.

Энергетическое разрешение детекторов ΔE (полная ширина на полувысоте) при комнатной температуре исследовалось с помощью α -частиц (источ-

Результаты измерений разрешения (ΔE_α , ΔE_β) с указанием полной толщины детекторов (W), толщины мертвых слоев (w_{mc}) и рабочего напряжения детекторов (U_d)

W , мм	w_{mc} , мм	U_d , В	ΔE_α , кэВ	ΔE_β , кэВ	$\delta(\Delta E_\alpha)$, %	δN_α , %
4,5	0,38	400	89	75	$\leq 3,0$	$\leq 0,2$
6,5	0,54	600	84	68	$\leq 3,5$	$\leq 0,2$
8,5	0,9	800	117	96	$\leq 3,5$	$\leq 0,2$

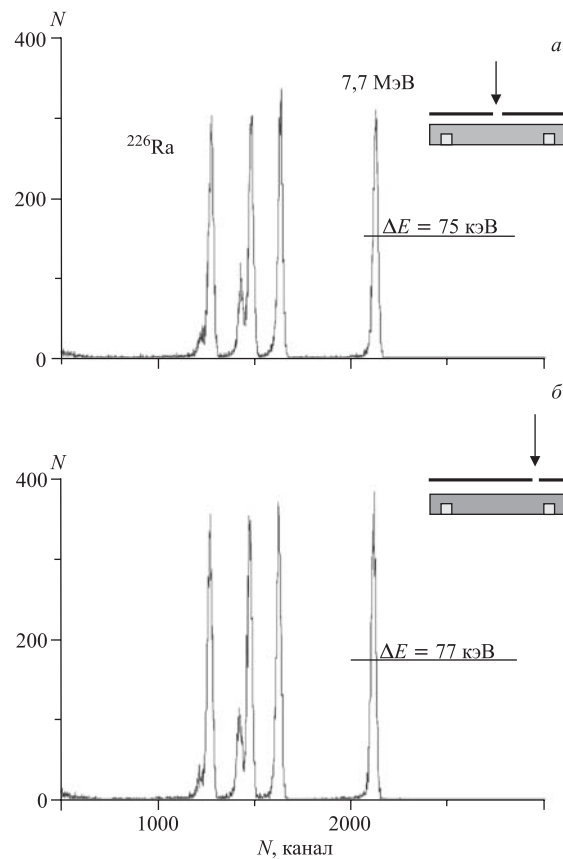


Рис. 3. Спектры α -частиц ^{226}Ra , измеренные с помощью детектора с чувствительной площадью 34 см^2 и чувствительной глубиной $8,2 \text{ мм}$. Облучение производилось в центре (а) и на краю (б) детектора

ник ^{226}Ra) и электронов внутренней конверсии (источник ^{207}Bi). На первом этапе облучение проводилось на всю поверхность детектора. Результаты измерений разрешения (ΔE_α , ΔE_β) представлены в таблице, где также приведены полные толщины детекторов (W), толщины мертвых слоев (w_{mc}) и

рабочее напряжение детекторов (U_d). Затем с целью определения разброса в величине разрешения были выполнены измерения с помощью коллимированного α -источника (диаметр коллиматора 5 мм). Детекторы сканировались со стороны омического контакта с шагом 5 мм на диаметре 60 мм в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. Для каждой точки измерялись энергетическое разрешение (ΔE_α) и положение α -пика в каналах (N_α). Контроль за стабильностью электронного тракта осуществлялся с помощью генератора точной амплитуды.

На рис. 3 показаны спектры, полученные на Si(Li)-детекторе (толщиной 8 мм) с помощью коллимированного источника ^{226}Ra (диаметром 2 мм) при облучении по центру (а) и на краю (б). На основе имеющихся данных были сделаны оценки флуктуации энергетического разрешения ($\delta(\Delta E_\alpha)$) и собирания заряда (δN_α), которые рассчитывались как отношение максимального изменения указанных параметров (ΔE_α , N_α) к его минимальному значению.

Полученные значения $\delta(\Delta E_\alpha)$ и δN_α указывают на высокую однородность компенсированной литием обедненной области детекторов, равномерное распределение электрического поля в зоне p - n -перехода и высокое время жизни электронно-дырочных пар, образующихся при регистрации частиц. В целом это демонстрирует качество отобранного материала и используемой технологии изготовления.

Для детекторов толщиной 6,5 и 8,5 мм было определено энергетическое разрешение при температуре жидкого азота (77 К). Измерения выполнялись с помощью α -источника ^{238}Pu и γ -источника ^{57}Co при облучении на всю активную область образцов. Величины FWHM при охлаждении детекторов составили 16 и 6 кэВ соответственно. Эти значения разрешения также указывают на высокую однородность изготовленных детекторов.

Следует отметить, что разброс в энергетическом разрешении для детекторов с одинаковой чувствительной толщиной не превышает 5%.

Вышеописанные детекторы нашли успешное применение для спектроскопии ионизирующих излучений, в частности, в экспериментальных исследованиях экзотических легких ядер на ускорителях [2, 3].

Работа выполнена при поддержке гранта «Ведущая научная школа» (НШ-3489.2008.2) и гранта для молодых ученых и специалистов ОИЯИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gornov M. G., Gurov Yu. B., Lapushkin S. V. et al. // NIM in Phys. Res. A. 2000. V. 446. P. 461.
2. Ter-Akopian G. M., Rodin A. M., Fomichev A. S. et al. // Phys. Lett. B. 1998. V. 426. P. 251–256.
3. Golovkov M. S., Oganessian Yu. Ts., Bogdanov D. D. et al. // Phys. Lett. B. 2003. V. 566. P. 70–75.

Получено 6 июля 2009 г.

Редактор *А. И. Петровская*

Подписано в печать 27.07.2009.

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

Усл. печ. л. 0,43. Уч.-изд. л. 0,52. Тираж 305 экз. Заказ № 56670.

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

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/