

12

## Разработка Si(Li) детекторов ядерного излучения методом импульсного электрического поля

© Р.А. Муминов, С.А. Раджапов, А.К. Саймбетов

Физико-технический институт НПО „Физика–Солнце“ АН РУз,  
Ташкент, Узбекистан  
E-mail: detector@uzsci.net

Поступило в Редакцию 2 марта 2009 г.

Рассматривается изготовление Si(Li) детектора методом дрейфа ионов лития в режиме импульсного электрического поля. Определены его оптимальные режимы параметров: амплитуды, длительности и периоды импульса. Результаты показали, что проведение процесса дрейфа в импульсном режиме электрического поля позволяет в 2–4 раза сократить время компенсации объема полупроводника и значительно повысить его эффективность.

PACS: 78.40.Fy, 29.40.-n

Разработка полупроводниковых детекторов (ППД) ядерного излучения с высокими энергетическими и позиционными разрешениями, линейностью сигнала в широком диапазоне энергий для различных типов частиц тесно взаимосвязана со свойствами исходного кристалла, в частности с наличием примесных неоднородностей в объеме кристалла. Одним из важных технологических этапов получения необходимых ППД структур является процесс диффузии и последующий процесс компенсации примесными атомами объема таких структур [1–4]. Одним из решений такого вопроса является изучение особенностей воздействия импульсных электрических полей (ИЭП) непосредственно на технологические процессы формирования высокоэффективных ППД структур [5–7].

В настоящей работе рассматриваются физико-технологические особенности изготовления Si(Li) детекторов ядерного излучения, когда для формирования необходимой Si(Li) структуры используется новый метод проведения процесса дрейфа ионов лития при помощи воздействия импульсным электрическим полем [8].

Для изготовления Si(Li)  $p-i-n$ -структур нами из промышленного кремния  $p$ -типа с удельным сопротивлением  $\rho = 1-5 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$ , временем жизни носителей тока  $t \geq 300 \mu\text{s}$  и концентрацией кислорода  $N_{\text{O}_2} \sim 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  вырезали пластины толщиной 4–5 mm. Диффузию лития проводили на одну из сторон в вакууме ( $\sim 10^{-5} \text{ Torr}$ ) при температуре  $450^\circ\text{C}$  на глубину  $320 \div 350 \mu\text{m}$  в течение  $\sim 1.5 \text{ min}$ , затем на другую сторону пластины проводили ту же операцию.

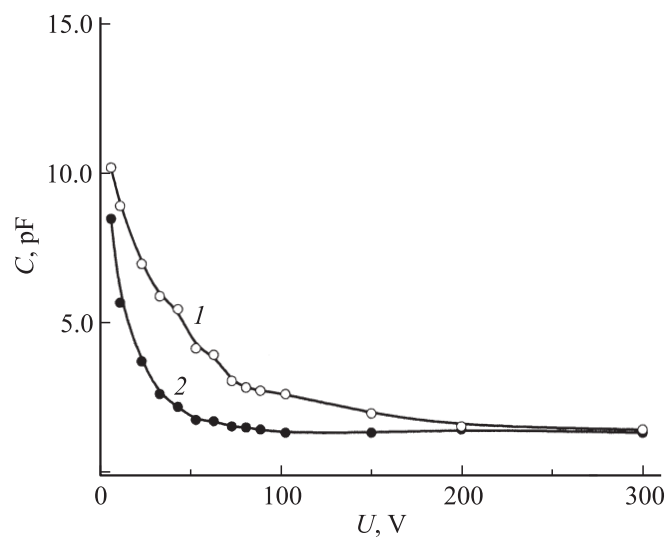
После химико-технологических операций обеим сторонам пластины придали Т-образную форму  $n^+ - p - n^+$ -структур, чтобы уменьшить диаметр  $i$ -области и тем самым исключить в процессе дрейфа выход ионов лития на боковую поверхность кристалла. Далее, в  $n^+ - p - n^+$ -структурах провели процесс дрейфа ионов лития в строго прямоугольном импульсном электрическом поле при температуре  $80-85^\circ\text{C}$ . Длительность платы амплитуды импульса соответствовала 7 s, величина амплитуды импульса 300 V, период импульсов составлял 14 s, а время фронта нарастания и спадания импульса не превышало  $2-3 \mu\text{s}$ . Температурные режимы и импульс электрического поля контролируются специальным электронным блоком.

Процесс дрейфа на толщину 4 mm в импульсном электрическом поле длится  $\sim 10$  суток (240 h), в то время как по традиционной методике данный процесс длится 350–400 h. После проведения полной компенсации одна из диффузионных  $n^+$ -областей сошлифовывается на глубину  $\sim 400 \mu\text{m}$ . Затем весь кристалл подвергается химико-технологической обработке. К готовой структуре напыляются металлические контакты, Ni ( $\sim 1000 \text{ \AA}$ ) и Au ( $\sim 200 \text{ \AA}$ ) на  $n^+$ -область и  $i$ -область соответственно. Полученные вышеуказанным способом Si(Li) детекторы имеют улучшенные характеристики относительно детекторов, полученных традиционным способом, а именно при напряжении обратного смещения 200 V детекторы с толщиной чувствительной области  $W_1 = 4 \text{ mm}$  имеют величину темнового тока  $I \sim 0.5 \mu\text{A}$ , электрическую емкость  $C = 1.5-2.2 \text{ pF}$ , энергетический эквивалент шума  $E_n \sim 12-15 \text{ keV}$ .

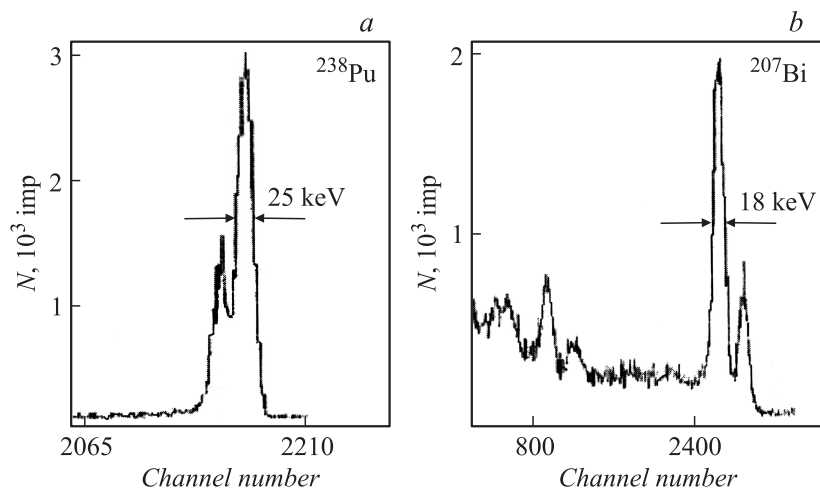
Сравнительные характеристики Si(Li) детекторов, полученных традиционным и предлагаемым нами способом, приведены в таблице.

На рис. 1 представлена вольт-фарадная характеристика Si(Li) детекторов для образцов с толщиной чувствительной области  $W_i = 4 \text{ mm}$ . Как видно из рисунка, рабочее напряжение смещения, обеспечивающее насыщение емкости, уменьшается с 200 до 30 V.

Наименование параметров	По предложенной нами методике	По традицион- ной методике
Время, компенсация, h	~ 240	~ 350–400
Наименьшее и наибольшее значение рабочего напряжения, V	100–600	250–600
Темновой ток, $\mu\text{A}$	0.5–1.0	0.8–2.0
Энергетический эквивалент шума, keV	12–15	15–30
Энергетические разрешения, keV:		
по $\alpha$ -частицам $^{238}\text{Pu}$ с энергией $E_\alpha = 5.5 \text{ MeV}$	25–30	40–50
по $\beta$ -частицам $^{207}\text{Bi}$ с энергией $E_\beta = 1 \text{ MeV}$	18	25



**Рис. 1.** Вольт-фарадная характеристика Si(Li) детекторов с толщиной чувствительной области  $W_i = 4 \text{ mm}$  при температуре  $T = 300 \text{ K}$ , изготовленных: 1 — традиционным методом, 2 — методом импульсного электрического поля.



**Рис. 2.** Спектрометрические характеристики Si(Li) детекторов с толщиной чувствительной области  $W_i = 4$  mm при температуре  $T = 300$  K: *a* — по  $\alpha$ -частицам  $^{238}\text{Pu}$  ( $E_\alpha = 5.5$  MeV), *b* — по  $\beta$ -частицам  $^{207}\text{Bi}$  ( $E_\beta = 1$  MeV).

На рис. 2 представлены типичные спектрометрические характеристики Si(Li) детекторов, полученных на основе использования импульсного электрического поля для проведения процесса дрейфа ионов лития. Там же представлены энергетические разрешения по  $\alpha$ -частицам от источника  $^{238}\text{Pu}$  ( $E_\alpha \sim 5.5$  MeV)  $R_\alpha = 25$  keV и по  $\beta$ -частицам от источника  $^{207}\text{Bi}$  ( $E_\beta \sim 1$  MeV)  $R_\beta = 18$  keV при  $T = 300$  K.

Процесс дрейфа в импульсном электрическом поле с оптимальными параметрами (длительности, периоды и амплитуды импульса) импульса происходит без существенного оседания атомов лития на микродефектах и дислокациях, а также относительно малым количеством комплексообразования LiO в объеме кристалла. В результате Si(Li) детекторы, полученные предлагаемым нами методом, имеют улучшенные электрофизические и радиометрические характеристики относительно таких же детекторов, полученных традиционным способом.

## Список литературы

- [1] Азимов С.А., Муминов Р.А., Шамирзаев С.Х., Яфасов А.Я. Кремний-литиевые детекторы ядерного излучения. Ташкент: Фан, 1981. С. 257.
- [2] Раджапов С.А. // Уз. физ. журн. 2007. Т. 9, № 3. С. 190–194.
- [3] Болтакс Б.И. Диффузия и точечные дефекты в полупроводниках. Л.: Наука, 1972. С. 153.
- [4] Муминов Р.А. и др. // Атомная энергия. 2005. Т. 98. № 1. С. 76–78.
- [5] Акимов Ю.К., Калинин А.И., Кушнирук В.Ф., Юнгклауссен Х. Полупроводниковые детекторы ядерных частиц и их применение. М.: Атомиздат, 1967. С. 42.
- [6] Муминов Р.А., Байзаков Б.Б., Пиндюрин Ю.С., Раджапов С.А. // Межд. конф. „Фундаментальные и прикладные вопросы физики“. Ташкент, 26–27 октября 2006 г. С. 261.
- [7] Muminov R.A., Radjapov S.A., Saymbetov A.K., Tursunkulov O.M., Pindurin Yu.S. // Fifth International Conference „Magnetic and Superconducting materials“. Uzbekistan, Khiva, 25–30th September 2007. P. 58.
- [8] Муминов Р.А. и др. Способ изготовления Si(Li)  $p-i-n$ -структур. Патент. (Принято патентным ведомством РУз, № IAP 20060489).