

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

2322 / 82

12/v-82

13-82-91

Е.Бельцаж, Б.П.Осипенко, В.Г.Сандуковский

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ  
РАДИАЛЬНОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО  
ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ДЕТЕКТОРА  
С ЛИНЕЙНЫМ ОТКЛИКОМ

1982

Полупроводниковые детекторы ядерных излучений, позволяющие получать информацию о координатах падающих частиц, приобретают все более широкое применение в практике физического эксперимента. При использовании однородных резистивных слоев такие детекторы /одно- или двухкоординатные/ дают отклик, линейно зависящий от координаты частицы. Определенный интерес для ряда задач представляют приборы с радиальной позиционной чувствительностью /1,2/. Этот тип детектора может найти применение в экспериментах, где использование телесного угла при рассеянии частиц вперед или назад производится в ограниченном диапазоне.

Недостатком таких приборов является то, что они не дают линейного позиционного отклика, если используется однородный резистивный слой между внутренним и внешним контактами /рис. 1а/. Отклик детектора будет:

$$Q(r) = Q_0 \cdot \ln \left( \frac{r}{r_0} \right) / \ln \left( \frac{r_B}{r_0} \right),$$

где  $Q_0$  - заряд, созданный падающей частицей в объеме детектора;  $r_0$  и  $r_B$  - внутренний и внешний радиусы рабочей области;  $r$  - радиус падения частицы.

В настоящей работе показана возможность получения линейного отклика радиального детектора с неоднородным по радиусу резистивным слоем, изготовленным методом диффузии лития в кремний.

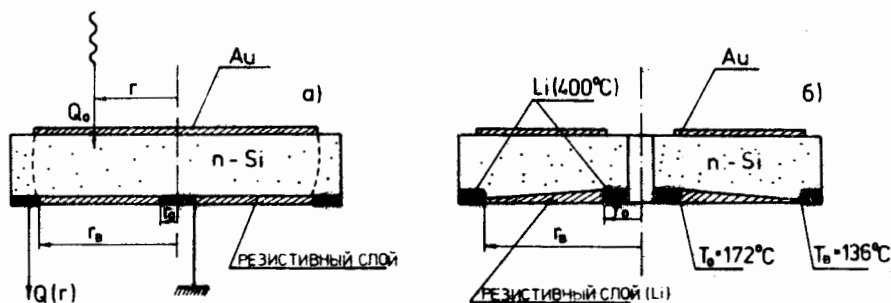


Рис. 1. Структура радиального позиционно-чувствительного детектора: а/ с однородным резистивным слоем; б/ с резистивным слоем, изготовленным методом диффузии лития при градиенте температуры вдоль радиуса детектора.

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТЕКТОРА

В основу радиального детектора, способного давать линейный отклик, положено создание резистивного слоя в образце кремния методом низкотемпературной диффузии лития <sup>3</sup> с градиентом температуры вдоль радиуса образца /рис.16/.

Расчеты, позволяющие выбрать необходимый градиент температур, приведены в Приложении.

Детектор изготавливался из  $n$ -кремния с удельным сопротивлением  $\rho = 2000 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ .

Размеры рабочей области детектора:  $r_0 = 3,5 \text{ мм}$ ,  $r_B = 19 \text{ мм}$ , толщина образца  $570 \text{ мкм}$ .

После необходимой шлифовки и предварительного травления проводилась диффузия лития при температуре  $400^\circ\text{C}$  в течение пяти минут для создания контактов к резистивному слою.

Затем методом диффузии создавался литиевый резистивный слой. Требуемый температурный градиент поддерживался в течение необходимого времени с помощью специального нагревательного прибора /рис.2/. При этом осуществлялся непрерывный контроль температуры в центре образца и по образующей кремниевого диска с точностью  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ . Далее резистивный слой защищался кислотостойким материалом и проводилось окончательное травление. Выпрямляющий контакт и контакты к резистивному слою изготавливались по традиционной технологии /4/.

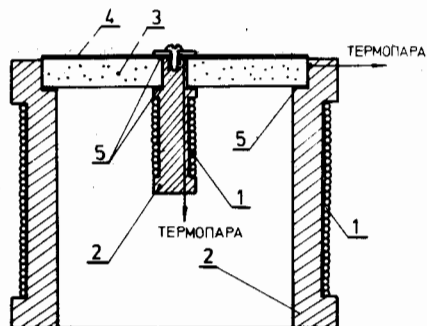


Рис.2. Нагревательный прибор для проведения диффузии лития. 1 - нагревательная спираль; 2 - корпус из меди; 3 - образец из  $n$ -кремния; 4 - слой лития, напыленного в вакууме; 5 - прокладки из индия.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕТЕКТОРА

Полное сопротивление резистивного слоя после диффузии было  $R_{\Pi} = 3200 \text{ Ом}$ , что на 10% отличалось от расчетной величины. С целью уменьшения емкости детектора /что важно при спектрометрических испытаниях/ образец был разрезан вдоль диаметра на две части. Емкость детектора стала  $C = 247 \text{ пФ}$ , сопротивление резистивного слоя  $R_{\Pi} = 6400 \text{ Ом}$ .

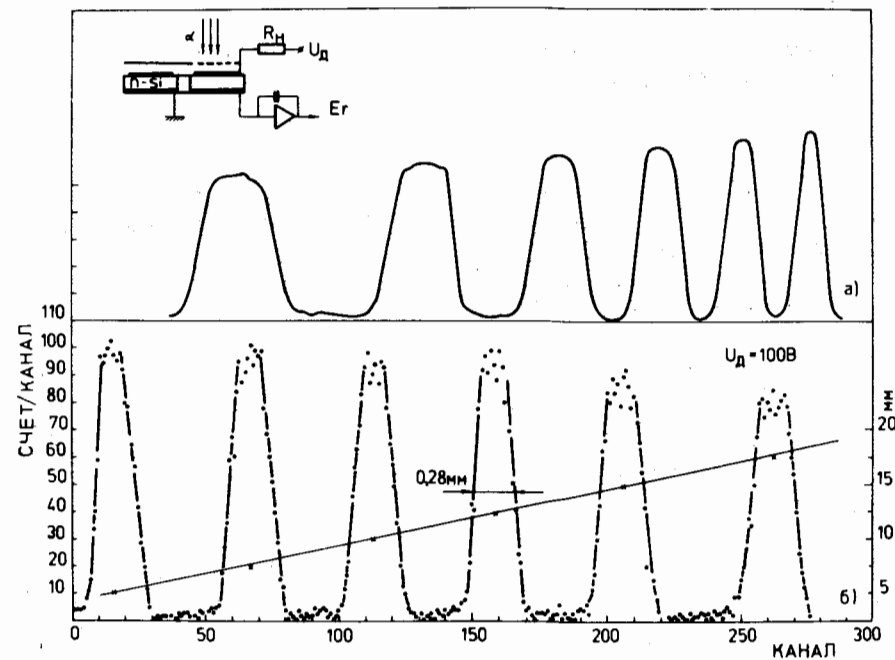


Рис.3. позиционные спектры  $\alpha$ -частиц, полученные через коллиматор с помощью радиальных детекторов: а/ однородный резистивный слой; б/ резистивный слой изготовлен методом диффузии Li при радиальном градиенте температуры.

Обратный ток детектора при напряжении смещения  $100 \text{ В}$  составлял при комнатной температуре  $1,4 \text{ мкА}$ . Измерения линейности и позиционного разрешения проводились с помощью  $\alpha$ -частиц  $^{241}\text{Am}$  через коллиматор, имеющий 6 отверстий диаметром  $1 \text{ мм}$ , расположенных по радиусу с интервалом  $2,5 \text{ мм}$  между центрами.

На рис.3б представлен полученный спектр, показывающий линейный отклик детектора /корреляционный коэффициент, рассчитанный по методу наименьших квадратов  $r = 0,9996$ /. Для сравнения на рис.3а показан спектр аналогичного по размерам детектора с однородным резистивным слоем. Полученные результаты хорошо совпадают с расчетами и позволяют утверждать, что, создавая необходимый температурный градиент, на пластине полупроводника можно получать диффузионные резистивные слои с сопротивлением, пропорциональным радиусу детектора, т.е. изготавливать радиальные детекторы, имеющие линейную функцию отклика.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Заряд, собранный с внешнего контакта резистивного слоя радиального детектора, будет

$$Q(r) = Q_0 \frac{R(r)}{R_{II}}, \quad /1/$$

где  $R(r)$  - сопротивление резистивного слоя между внутренним контактом и точкой падения частицы;  $R_{II}$  - сопротивление резистивного слоя между контактами.

В нашем случае при диффузии лития в образец с градиентом температуры вдоль радиуса образца, имеем:

$$R(r) = \frac{1}{2\pi} \int_{r_0}^r \frac{\rho(r)}{x_{\text{эфф}}(r)} \frac{dr}{r}, \quad /2/$$

$$R_{II} = \frac{1}{2\pi} \int_{r_0}^{r_B} \frac{\rho(r)}{x_{\text{эфф}}(r)} \frac{dr}{r}. \quad /3/$$

Из работ /3,4/ имеем:

$$x_{\text{эфф}} = 2 \sqrt{D \cdot t} \int_0^{Z_j} \operatorname{erfc} Z dZ = 2 [2,5 \cdot 10^{-3} \exp(-\frac{0,655}{kT} \cdot t)]^{1/2} \int_0^{Z_j} \operatorname{erfc} Z \cdot dZ \quad /4/$$

$$\rho = (1 + 0,0018 T) \exp(12,936 - 0,0308 T) + 0,1274, \quad /5/$$

где  $T$  - температура диффузии лития,  $t$  - время диффузии.

Предположим, что при некотором распределении температуры диффузии по радиусу детектора можно получить линейную зависимость  $R = f(r)$ . Решение уравнения теплопроводности Фурье для случая полого цилиндра дает ход изменения температуры вдоль радиуса:

$$T(r) = T_0 - \frac{T_B - T_0}{\ln \frac{r_B}{r_0}} \ln \frac{r}{r_0}, \quad /6/$$

где  $T_0$  и  $T_B$  - температура внутренней и внешней стенки цилиндра соответственно ( $T_B > T_0$ );  $r_0$  и  $r_B$  - внутренний и внешний радиусы цилиндра.

При этом не учитывается излучение с торцов цилиндра /в нашем случае с поверхности детектора/.

Подставляя /6/ в /4/ и /5/, а затем в /2/, получим выражение зависимости сопротивления диффузионного резистивного слоя от радиуса детектора с параметрами  $T_0$ ,  $T_B$  и  $t$ .

С помощью ЭВМ были найдены значения этих параметров, при которых сопротивление резистивного слоя линейно зависит от радиуса. Семейство зависимостей  $R = k \cdot r$  для различных значений  $T_0$ ,  $t$  и  $\Delta T = T_B - T_0$  приведены на рис.4. Как показано

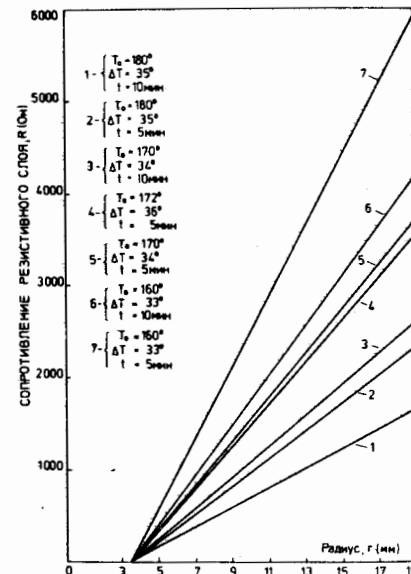


Рис.4. Зависимость величин сопротивлений резистивного слоя от радиуса детектора для различных  $T$ ,  $\Delta T$  и  $t$ .

выше, экспериментальные результаты хорошо совпали с расчетными значениями, которые были получены без учета теплового излучения с поверхности детектора во время диффузии. Полученные величины сопротивлений резистивных слоев удовлетворяют требованиям линейности /3/, накладываемым на реальные позиционно-чувствительные детекторы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Owen R.B., Awcock M.L. IEEE Trans. on Nucl.Sci., 1968, NS 15, p.290.
2. Feuerstein A., Kalbitzer S. Nucl.Instr. and Meth., 1973, 109, p.601.
3. Бельцаж Е., Осипенко Б.П., Сандуковский В.Г. ОИЯИ, 13-11355, Дубна, 1978.
4. Бельцаж Е., Осипенко Б.П., Сандуковский В.Г. ОИЯИ, 13-12766, Дубна, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел  
4 февраля 1982 года.

Бельцаж Е., Осипенко Б.П., Сандуковский В.Г.

13-82-91

О возможности получения радиального полупроводникового позиционно-чувствительного детектора с линейным откликом

Показана возможность изготовления кремниевого радиального позиционно-чувствительного детектора, имеющего линейный отклик. В основу детектора положено создание резистивного слоя методом диффузии лития при градиенте температуры диффузии вдоль радиуса образца. Диаметр детектора 38 мм, толщина 570 мкм. Позиционное разрешение детектора для альфа-частиц  $^{241}\text{Am}$  - 0,28 мм. Сделаны расчеты температурных режимов диффузии лития в кремний. Получено хорошее совпадение экспериментальных результатов с расчетными значениями. Нелинейность позиционного отклика  $\leq 1\%$ .

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Beltsazh E., Osipenko B.P., Sandukovsky V.G.

13-82-91

On a Possibility to Obtain a Radial Semiconductor Position-Sensitive Detector with the Linear Response

A possibility to fabricate the Si radial position-sensitive detector with the linear response is shown. The detector is based on the graded resistive layer obtained by the lithium diffusion at the diffusion temperature gradient along the sample radius. The detector diameter is 38 mm and thickness 570 m. The detector position resolution for  $\alpha$ -particles of  $^{241}\text{Am}$  is 0.28 mm. The temperature conditions of the lithium diffusion into silicon are calculated. A good agreement of the experimental results with the calculated values is obtained. The nonlinearity of the detector response is  $\leq 1\%$ .

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.