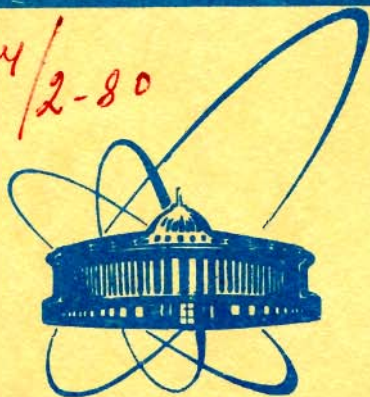


У74/2-80



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

У/2-80
13 - 12766

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

ОДНОКООРДИНАТНЫЕ

Si(Li) ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ

ДЕТЕКТОРЫ

1979

13 - 12766

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

ОДНОКОординатные
Si(Li) позиционно-чувствительные
детекторы

Бельцаж Е., Осипенко Б.П., Сандуковский В.Г. 13 - 12766

Однокоординатные Si(Li) позиционно-чувствительные детекторы

Описана методика изготовления Si(Li) позиционно-чувствительных детекторов, резистивный слой которых создавался с помощью низкотемпературной диффузии лития в i-область. Дан метод расчета параметров диффузии. Показано хорошее совпадение расчетных и измеренных величин сопротивлений резистивных слоев. Нелинейность описанных детекторов $\leq 1\%$, позиционное разрешение не хуже 0,5 мм.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований, Дубна 1979

Belcarz E., Osipenko B.P., Sandukovsky V.G. 13 - 12766

Monocoordinate Si(Li) Position-Sensitive Detectors

The technique of fabrication of Si(Li) position-sensitive detectors is described, the resistive layer of which has been produced by the low-temperature diffusion of lithium into the i-region. The method of calculating diffusion parameters is given. A good agreement of the calculated and measured values of the electric resistance of these layers is shown. Nonlinearity of the above detectors is $\leq 1\%$, and the position resolution is not worse than 0.5 mm.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

Изготовление позиционно-чувствительных детекторов путем создания резистивных слоев на $\text{Si}(\text{Li})$ -детекторах дает возможность за счет малой емкости счетчиков значительно уменьшить влияние баллистического дефицита ^{1,2/} на линейность прибора. Первая попытка получения $\text{Si}(\text{Li})$ позиционно-чувствительных детекторов была сделана в работе ^{3/}, в которой резистивным слоем служил напыленный на противоположную литию сторону никром. Недостатком таких детекторов были относительно большие обратные токи. В работе ^{4/} резистивным электродом являлся частично снятый диффузионный слой литий-дрейфового детектора. Такая методика накладывает жесткие требования на равномерность снятия диффузионного слоя. В настоящем сообщении описывается способ создания $\text{Si}(\text{Li})$ -позиционно-чувствительных детекторов с резистивными слоями, полученными методом низкотемпературной диффузии лития в i -область.

Дается способ расчета предполагаемой величины сопротивления резистивного контакта.

1. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТЕКТОРОВ

$\text{Si}(\text{Li})$ позиционно-чувствительные детекторы изготавливались из кремния p -типа с удельным сопротивлением $\rho = 2 \text{ кОм}\cdot\text{см}$ по известной технологии дрейфа ионов лития в электрическом поле. Размеры образцов составляли $40 \times 12 \times 1,5 \text{ мм}$. Параметры диффузии и дрейфа были следующими:

температура диффузии	- 320°C ,
время диффузии	- 25 мин,
температура дрейфа	- 110°C ,
напряжение дрейфа	- $100 \div 300 \text{ В}$.

Восстановительный дрейф проводился при температуре 80°C и напряжении 200 В в течение 2 суток.

Вначале была исследована возможность получения резистивного электрода путем снятия части диффузионного литиевого слоя шлифовкой с последующим травлением. Выпрямляющий

контакт создавался термическим испарением золота на обнаженную *i*-область. Структура детектора показана на рис. 1а.

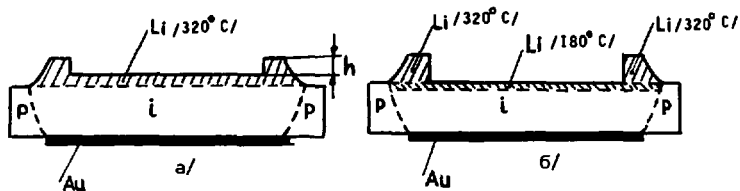


Рис. 1. Структуры однокоординатных Si(Li) позиционно-чувствительных детекторов с резистивными электродами, полученными различными способами: а/ путем снятия части диффузионного литиевого слоя, б/ методом низкотемпературной диффузии лития в *i*-область.

Необходимая глубина снятия литиевого слоя *h*, получаемая в процессе шлифовки и травления, предварительно оценивалась исходя из требуемой величины сопротивления резистивного слоя *R* по следующей формуле:

$$R = \rho_h \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{h}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \cdot \ell / s \cdot \int_h^{X_0} \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) dx, \quad //1/$$

где ρ_h - удельное сопротивление кремния, соответствующее концентрации лития на глубине *h*; ℓ и *s* - длина и ширина резистивного электрода; *D* - коэффициент диффузии лития в кремнии; *t* - время диффузии; X_0 - глубина залегания перехода.

На рис. 2 показана зависимость сопротивления резистивного электрода /для случая $\ell = s$ / от глубины снятия *h*, рассчитанная с помощью ЭВМ.

Расчеты показывают, что условие линейности детектора не хуже 99% накладывает жесткие требования на равномерность снятия слоя. Так, для детектора с резистивным слоем длиной 30 мм расхождение в глубине снятия на концах слоя не должно превышать $1 \div 2$ мкм. Обеспечение контроля глубины снятия с такой точностью /особенно после травления/ создает определенные трудности в изготовлении позиционно-чувствительных детекторов по подобной методике.

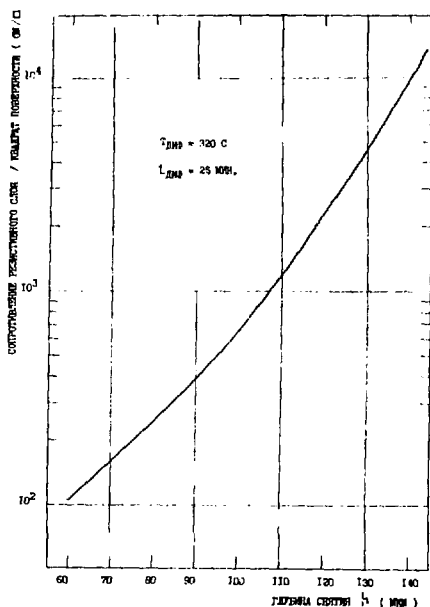


Рис. 2. Изменение сопротивления резистивного электрода в зависимости от глубины снятия литиевого слоя /рассчитано для случая $l = s$ /.

Поэтому были изготовлены детекторы, в которых резистивный слой создавался с помощью низкотемпературной диффузии лития в i -область. В этом случае диффузионный литиевый слой Si(Li)-детектора полностью сошлифовывался до i -области и после травления проводилась диффузия лития в течение $5 \div 10$ мин при температуре $170 \div 200$ °С.

Температура и время диффузии выбирались в зависимости от требуемой величины сопротивления резистивного электрода /см. Приложение/. Выпрямляющий контакт создавался так же, как и в первом случае /рис. 16/. После упаковки детекторов в тефлоновую оправку проводился восстановительный дрейф при температуре 80 °С и напряжении 200 В в течение 1÷2 суток.

В табл. 1 приведены значения рассчитанных и измеренных величин сопротивлений резистивных электродов, изготовленных различными способами.

Таблица 1

№ детектора	Тип резист. слоя*	$R_{изм.}$ /Ом/	$R_{расч.}$ /Ом/	$T_{диф.}$ /С/	$t_{диф.}$ /с/	h /мкм/
53а	I	3230	3400	-	-	105
56	I	10270	9600	-	-	120
53б	II	12000	12932	180	360	
55	II	8520	8456	190	360	

* I - резистивные слои, полученные снятием части литиевого слоя, II - полученные методом низкотемпературной диффузии.

2. ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТЕКТОРОВ

Все измерения проводились при комнатной температуре. В табл. 2 в качестве примера приведены значения обратных токов детекторов, измеренных при рабочих напряжениях.

Таблица 2

№ детектора	Тип резист. слоя	Размер чувств. области /мм/	$V_{дет}$ /В/	$J_{дет}$ /мкА/
53а	I	32x8x1	400	3
53б	II	32x8x1	400	2,5

Измерения линейности, позиционного и энергетического разрешения проводились с помощью α -частиц ^{241}Am и конверсионных электронов ^{207}Bi . Для измерения линейности использовался щелевидный коллиматор /ширина щелей - 1 мм, расстояние между центрами щелей - 2,5 мм/. Схемы измерений приведены на рис. 4,5. На рис. 4 показан спектр α -частиц, падающих через коллиматор на Si(Li) позиционно-чувствительный детектор с резистивным электродом, полученным снятием части диффузионного литиевого слоя. Хорошо видна нелинейность

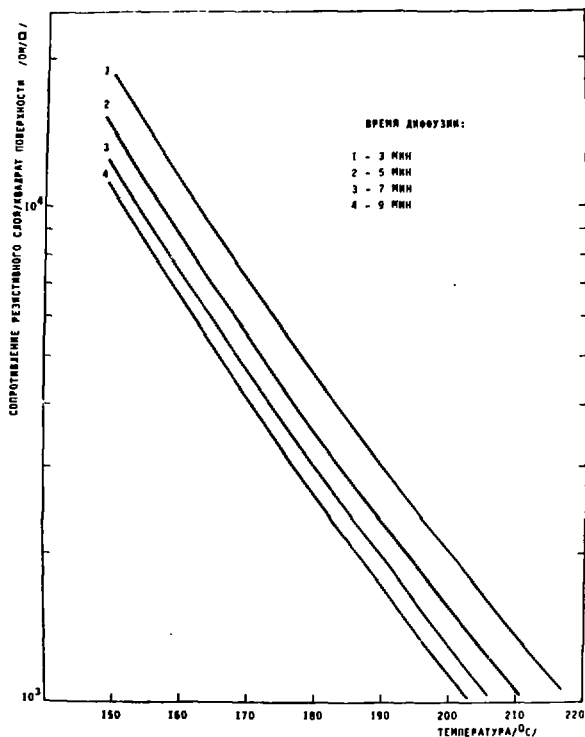


Рис. 3. Зависимости величин сопротивлений резистивных слоев ($l=s$), полученных методом диффузии лития, от температуры и времени диффузии.

позиционного сигнала /расхождение в глубине снятия h в центре и на концах слоя составляло ~ 3 мкм/. Энергетическое разрешение детектора равнялось 26 кэВ для α -частиц ^{241}Am .

На рис. 5 представлен позиционный спектр α -частиц, полученный при использовании Si(Li)-детектора, у которого

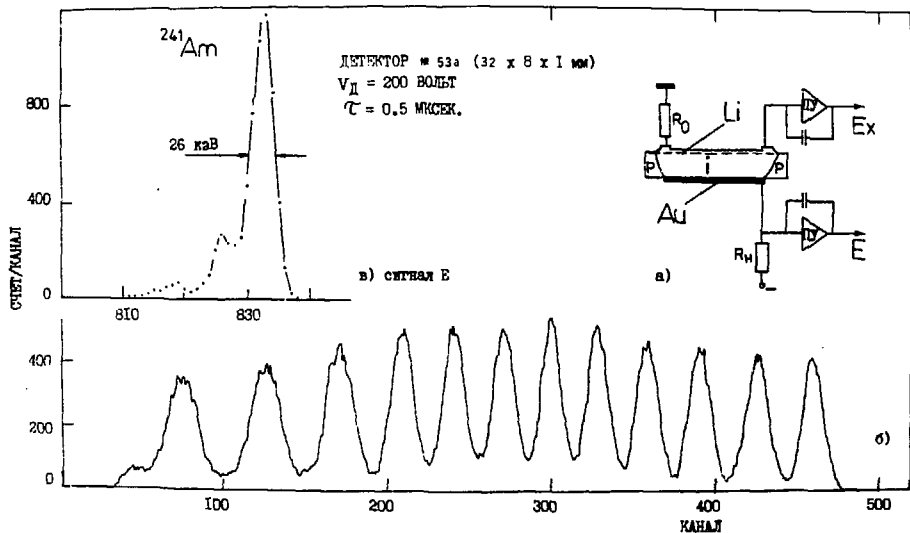


Рис. 4. Спектр α -частиц ^{241}Am , полученный с помощью позиционно-чувствительного детектора № 53а. Резистивный электрод изготовлен путем снятия части литиевого слоя /105 мкм/; а - схема снятия сигналов с детектора; б - позиционный спектр, снятый через щелевидный коллиматор /ширина щелей - 1 мм, расстояние между центрами щелей - 2,5 мм/; в - энергетический спектр.

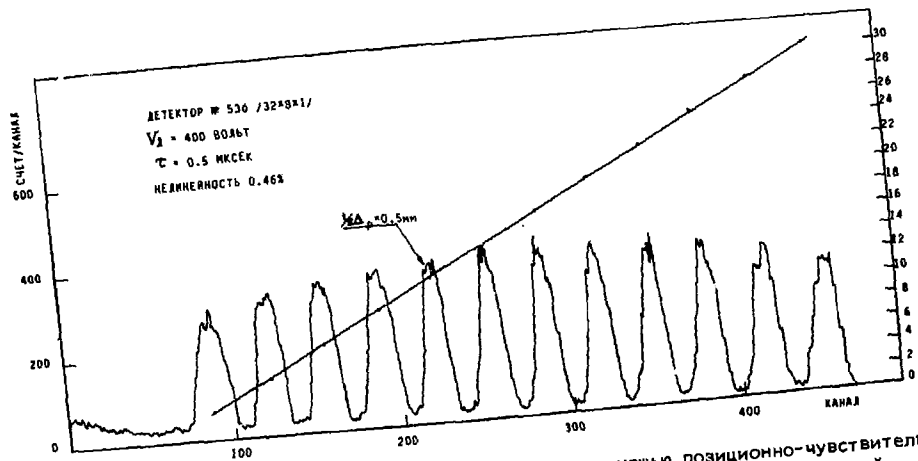


Рис. 5. Позиционный спектр α -частиц ^{241}Am , полученный с помощью позиционно-чувствительного детектора № 536. Резистивный электрод изготовлен методом диффузии лития в i-слой.

резистивный электрод изготовлен с помощью низкотемпературной диффузии лития. Нелинейность детектора $\leq 1\%$. Позиционная разрешающая способность - 0,5 мм.

На рис. 6 показан спектр электронов внутренней конверсии ^{207}Bi для этого же детектора. Разрешение для энергии $E_e = 1063,4$ кэВ составляет 16 кэВ при постоянных формированиях основного усилителя $\tau_{\text{и}} = \tau_{\text{д}} = 0,5$ мкс.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Расчет величины сопротивления резистивного слоя

Известно, что в случае диффузии из постоянного источника в полуограниченное тело распределение концентрации диффузанта подчиняется уравнению^{15/}

$$C_x = C_s \cdot \operatorname{erfc} z, \quad /2/$$

где $z = \frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}}$, C_x - концентрация /в нашем случае лития/ вдоль направления диффузии; C_s - поверхностная концентрация лития, соответствующая его растворимости при температуре диффузии T ; t - время диффузии; D - коэффициент диффузии лития в кремний^{16/},

$$D = 2,5 \cdot 10^{-8} \exp\left(-\frac{0,655}{k T}\right), \quad /3/$$

где k - постоянная Больцмана; T - абсолютная температура. Сопротивление диффузионного резистивного слоя оценивается по формуле

$$R = \rho_s \frac{l}{X_{\text{дф}} \cdot s}, \quad /4/$$

где ρ_s - удельное сопротивление кремния, соответствующее растворимости лития в кремнии при температуре T ; l и s - длина и ширина резистивного слоя; $X_{\text{дф}}$ - некоторая величина глубины диффузии, которая получается из уравнения

$$X_{\text{дф}} \cdot C_s = \int_0^{z_J} C_x dz, \quad /5/$$

т.е.

$$X_{\text{дф}} = 2\sqrt{D \cdot t} \int_0^{z_J} \operatorname{erfc} z \cdot dz, \quad /6/$$

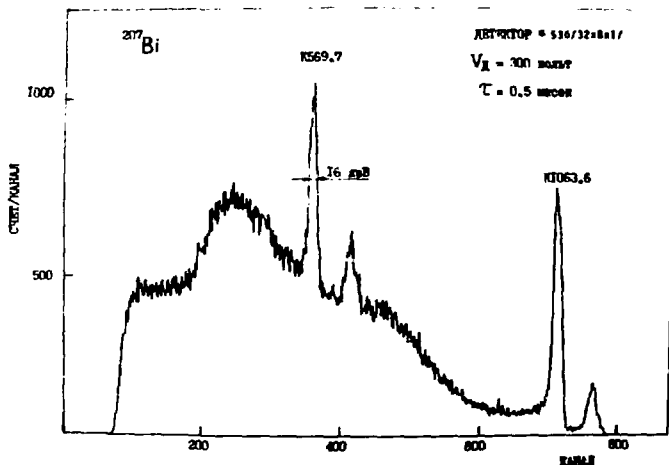


Рис.6. Спектр электронов внутренней конверсии ^{207}Bi , полученный с помощью позиционно-чувствительного детектора № 53 6.

где $Z_J = \frac{X}{2\sqrt{D \cdot t}}$ - глубина залегания α - β -перехода, определяемая из равенства

$$C_A = C_B \cdot \operatorname{erfc} \frac{X_J}{2\sqrt{D \cdot t}} \quad /7/$$

где C_A - значение равномерно распределенной исходной концентрации акцепторов в кремнии.

По известным табличным значениям зависимости удельного сопротивления кремния ρ_B от концентрации в нем лития C_B и значениям зависимости концентрации лития в кремнии /растворимости/ от величины абсолютной температуры с помощью ЭВМ было найдено описание зависимости

$$\rho_B = f(T) = (1 + 0,0018T) \exp(12,936 - 0,0308T) + 0,1274 \quad /8/$$

Точность описания в требуемом диапазоне температур /423-503К/ составляет $\leq 2\%$.

Используя /3/-/8/, получаем:

$$R = [(1 + 0,0018T) \exp(12,936 - 0,0308T) + 0,1274] \cdot l / s \cdot \int_0^{Z_J} \operatorname{erfc} z \, dz \quad /9/$$

Таким образом, задавая температуру T и время t диффузии, можно рассчитать величину сопротивления резистивного диффузионно-литиевого слоя. На рис. 3 показаны зависимости сопротивления R резистивных слоев ($l=s$) от температуры и времени диффузии.

Аналогичным способом получена формула /1/ для оценки величины сопротивления резистивного электрода, полученного путем снятия части диффузионного литиевого слоя. Измерения показали, что отклонение величин сопротивлений изготовленных резистивных слоев не превышает 5% от величин, рассчитанных по /1/ и /9/. Расчеты были выполнены с помощью ЭВМ CDC-6500.

Нелинейность позиционно-чувствительного спектрометра $\leq 1\%$ получается при условии /1,2/

$$RC \leq A \cdot r,$$

/10/

где R - сопротивление однородного резистивного электрода, C - емкость детектора, r - постоянная времени формирования основного усилителя ($r=r_{и}=r_{д}$), A - коэффициент, определяемый конструкцией формирующих цепей усилителя ($A=1 \div 3$). Из /10/ определялась верхняя допустимая величина сопротивления резистивного электрода.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить С.Магродиева за помощь в работе на ЭВМ, а также В.Жукову за подготовку образцов кремния для Si(Li)-детекторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kalbitzer S., Melzer W. Nucl.Instr.&Meth.,1967,56,p.301.
2. Doehring A., Kalbitzer S., Melzer W. Nucl.Instr. and Meth., 1968, 59, p.40.
3. Ludwig E.L. Rev.Sci.Instr.,1965, 36, p.1175.
4. Gigante J.R. Nucl.Instr.& Meth.,1973, 111, p.345.
5. Болтакс Б.И. Диффузия в полупроводниках. Физматгиз, М., 1961, с.137.
6. Pell E.M. Phys.Rev., 1960, 119, p.1014.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 сентября 1979 года.

