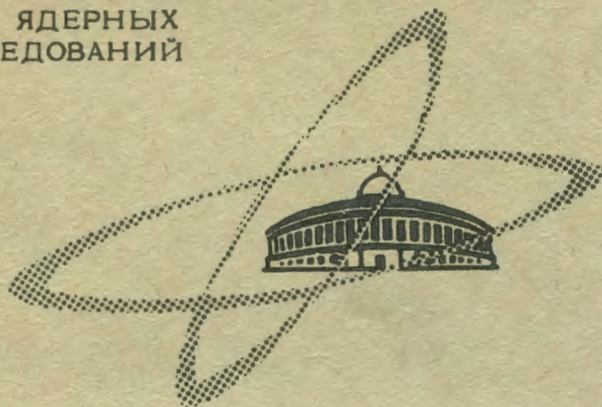


К-647

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

13 - 3722



А.А.Конова, Б.П.Осипенко

ЛИБРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ  
КРЕМНИЕВЫХ p-i-n ДЕТЕКТОРОВ

1968

13 - 3722

А.А.Конова, Б.П.Осипенко

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ  
КРЕМНИЕВЫХ p-i-n ДЕТЕКТОРОВ

7255/3

В опытах, связанных с регистрацией и спектроскопией длинно-пробежных ядерных частиц, в настоящее время широко применяются кремниевые детекторы с р-і-п-структурой<sup>/1,2/</sup>. Чувствительной областью такого детектора служит высокоомный і-слой, толщина W которого определяет ряд параметров детектора и является его важной характеристикой.

Обычно толщину і-слоя определяют на основании измерений емкости перехода детектора, предполагая, что эта емкость может быть рассчитана по формуле  $C = \frac{\epsilon S}{4\pi W}$ , где  $\epsilon = 11,8$  - диэлектрическая постоянная кремния, S - площадь перехода. Однако опыт показывает<sup>/3,4/</sup>, что результаты таких измерений часто дают неверные сведения о ширине чувствительной области детектора. Имеется ряд причин, препятствующих надежному определению W, например, трудность определения "эффективной" площади S, зависимость W от приложенного обратного напряжения, влияние инверсионных слоев<sup>/3/</sup> и т.д.

Кроме описанного способа проявления структуры переходов, используются химические методы, позволяющие визуально наблюдать распределение слоев различной проводимости<sup>/5-7/</sup>. Широкое применение нашли методы, связанные с гальваническим осаждением какого-либо металла (обычно меди) на предварительно шлифованный или протравленный торец перехода.

Другой метод выявления структуры перехода основан на использовании электростатического поля, возникающего вблизи перехода при подаче на него смещения в обратном направлении. Поверхность торца натирается электрофотографическим порошком. Если для проявления используется

позитивный проявитель, то частицы порошка, будучи положительно заряженными, отлагаются на  $p$ -области перехода<sup>/8/</sup>. Если проявление осуществляется негативным проявителем, то отрицательно заряженные частицы порошка садятся на другую сторону перехода.

В работах<sup>/9,10/</sup> было показано, что при перемещении светового пятна по линии, пересекающей  $n-p$ -переход, фото-ЭДС (или фототок) закономерно зависит от положения пятна. Максимальный фотоответ наблюдался при попадании светового зонда непосредственно на переход - оптический метод.

Измеряя распределение потенциала на торцевой поверхности детектора<sup>/11/</sup>, можно определить место  $p-n$ -перехода.

Так как основное падение потенциала у кремниевых  $p-i-n$ -детекторов происходит на  $i-p$ -переходе, а  $n$ -область не изменяет практически свою толщину во время дрейфа, то, измеряя глубину залегания  $i-p$ -перехода, можно определить один из самых важных параметров кремниевых  $p-i-n$ -детекторов - ширину компенсированной области  $W$ .

В настоящей работе показана возможность измерять ширину компенсированной области  $W$  и визуально наблюдать структуру толстых  $p-i-n$ -детекторов в процессе обработки торцевых поверхностей, которая применяется для защиты и стабилизации их поверхностных свойств.

В работе<sup>/12/</sup> был описан метод оксидации торцов тонких  $p-i-n$ -кремниевых детекторов. Оксидация проводилась после электролитической полировки в водных растворах  $HF$  кислоты.

Этот же метод был использован для оксидирования толстых кремниевых  $p-i-n$ -детекторов.

Образец зажимается в оправе, как показано на рис. 1, погружается в электролит - 1% водный раствор  $HF$  кислоты с добавлением глицерина, после чего производится электрополировка и последующая оксидация при соответствующих значениях плотности тока оксидации (положительный потенциал прикладывается к  $n$ -области детектора).

В работе<sup>/13/</sup> показано, что при положительных потенциалах, меньших 0,1 в, анодное поведение кремния  $n$ -типа и  $p$ -типа идентично. При более высоких потенциалах анодный процесс становится

зависимым от типа проводимости. Из анализа кривых "напряжение - ток" для кремния  $n$ -типа и  $p$ -типа<sup>/14/</sup> видно, что область электрополировки кремния  $p$ -типа начинается при "критических" потенциалах и плотности тока более низких, чем для кремния  $n$ -типа и охватывает широкий интервал напряжения. Путем увеличения напряжения выше определенного "критического" значения процесс электрополирования переходит в процесс оксидирования. Процесс оксидирования  $n$ -кремния начинается при более низких потенциалах, чем процесс оксидирования  $p$ -кремния.

В процессе анодной обработки торцевых поверхностей толстых кремниевых  $p-i-n$ -детекторов  $p$ -область всегда находится при более низких потенциалах, чем  $n-i$ -область. Тогда, естественно, можно найти такое значение потенциала, при котором  $n-i$ -область уже оксидируется, а  $p$ -область электрополируется.

И, действительно, перед полированием торцы детектора травились в  $CP-4$  и в течение нескольких минут выдерживались в электролите без напряжения. После этого включалось напряжение, которое медленно поднималось через "критическое" для электрополировки  $n-i$ -области до значения чуть выше "критического" для оксидации  $n-i$ -области 20-30 в.

Начало процесса оксидации характеризуется появлением на поверхности  $n-i$ -области радужной пленки. Пока  $n-i$ -область оксидируется 5 - 10 мин,  $p$ -область имеет более низкий положительный потенциал и находится еще в процессе электрополировки. После выноса образца из ванны ясно заметно очертание  $i-p$ -перехода (рис. 2).

Была проявлена структура  $p-i-n$ -перехода другими методами: методом распределения потенциала по поверхности торца, методом светового зонда, гальваническим методом осаждением меди и анодной оксидацией  $n-i$ -области. Результаты показаны в табл. 1.

Из таблицы видно, что результаты, полученные всеми методами, довольно хорошо совпадают.

Удобство этого метода проявления структуры перехода в том, что он является промежуточным этапом при обработке торцевых поверхностей для защиты и стабилизации характеристик детекторов. После измерения ширины перехода образец можно снова погрузить в электролит и через несколько минут проводить процесс электрополировки и оксидации.

## Л и т е р а т у р а

1. H.Hick, K.Rimpold, P.Weinzierl. *Nucl. Instr. and Meth.*, 24, 253 (1963).
2. H.M.Mann, J.H.Haslett and F.J.Janareijk. *IRI Transactions on Nucl. Sci.*, NS-9, 4, 43 (1962).
3. E.M.Pell. *J.Appl. Phys.*, 31, N 2, 291 (1960).
4. G.L.Miller, B.D.Pate and S.Wagner. *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, NS-10, 220 (1963).
5. J.W.Mayer. *J.Appl. Phys.*, 33, N 9 (1962).
6. P.Ailles and P.J.Coppen, *Brit. J.Appl. Phys.* 11, N 5, 177 (1960).
7. D.R.Turner. *J.Electrochem. Soc.*, 106, 701 (1959).
8. А.С.Антонов и Л.Г.Юскеселиева. Препринт ОИЯИ, Р-2232, Дубна 1965.
9. F.S.Goucher, G.L.Pearson, M.Sparks, Teal G.R. and W.Shockley. *Phys. Rev.*, 81, 631 (1951).
10. В.С.Василев, Б.М.Головия, Б.П.Осипенко, А.Червоненко. Препринт ОИЯИ Р-1694, Дубна 1964.
11. В.С.Василев, Б.П.Осипенко, С.В.Пакева. Препринт ОИЯИ Р-2875, Дубна 1966.
12. А.А.Конов, Б.П.Осипенко. Препринт ОИЯИ Р-3429, Дубна 1967.
13. Е.А.Ефимов, И.Г.Ерусалимчик. *Ж.Ф.Х.*, 35, 384 (1961).
14. Т.К.Иванова, А.С.Лютвич. "Физические свойства особо чистых металлов и полупроводников", Ташкент, 1966.

Рукопись поступила в издательский отдел

21 февраля 1968 года.

Таблица 1

Образец	Методы	Оптический метод	Метод распределения потенциала по поверхн.	Гальванический метод осаждения меди	Электрополировка и окислация
№ 1	п (мм)	0,5	5,50 (п + 1)	6,00 (п + 1)	5,80 (п + 1)
	i (мм)	4,8			
№ 2	Р (мм)	3,2	3,0	2,50	2,70
	п (мм)	0,45			
№ 3	i (мм)	1,75	3,50 (п + 1)	3,30 (п + 1)	3,50 (п + 1)
	Р (мм)	6,30	5,00	5,20	5,00
№ 3	п (мм)	0,60			
	i (мм)	4,50	5,00 (п + 1)	5,30 (п + 1)	5,00 (п + 1)
Р	(мм)	3,40	3,50	3,40	3,50

1.

2.

3.

4.

5.

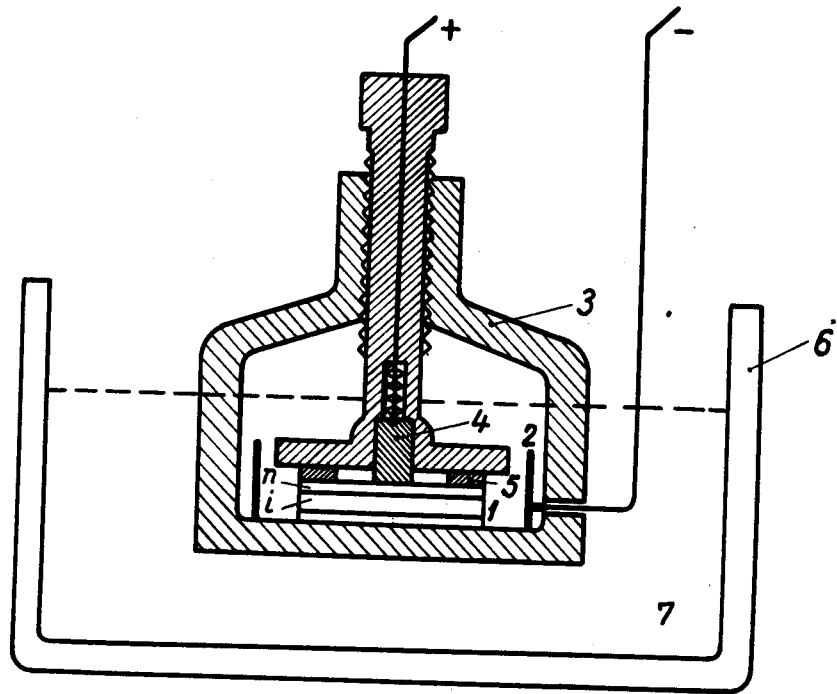
6.

7.

8.

8.

1.



*Рис. 1.*



*Рис. 2.*