

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



8919

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛ

P13 - 8919

В.Ф.Кушнирук, Р.А.Никитина, Ю.П.Харитонов

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ  
ПОВЕРХНОСТНО-БАРЬЕРНЫХ ДЕТЕКТОРОВ  
ИЗ ВЫСОКООМНОГО ДЫРОЧНОГО КРЕМНИЯ

1975

P13 - 8919

В.Ф.Кушнирук, Р.А.Никитина, Ю.П.Харитонов

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ  
ПОВЕРХНОСТНО-БАРЬЕРНЫХ ДЕТЕКТОРОВ  
ИЗ ВЫСОКООМНОГО ДЫРОЧНОГО КРЕМНИЯ

В работе<sup>/1/</sup> описана методика изготовления поверхностно-барьерных детекторов из кремния р - типа и приведены результаты, которые характерны, в основном, для детекторов, изготовленных из сравнительно низкоомного материала. В данной работе описываются некоторые детали, касающиеся поведения детекторов, изготовленных из высокоомного кремния р - типа.

Детекторы изготавливались из кремния р - типа с удельным сопротивлением  $\rho = 20 \div 28 \text{ кОм.см}$  и временем жизни избыточных носителей тока  $\tau \approx 1000 \text{ мксек}$ . Отличие от технологии, описанной в работе<sup>/1/</sup>, заключалось лишь в том, что для некоторого числа детекторов производилось напыление пленки германия вместо пленки кремния. Это обусловлено тем, что германий распыляется значительно легче, чем кремний, имеющий более высокую температуру плавления и активно реагирующий с материалом испарителя. Разницы в характеристиках и поведении детекторов с пленками кремния или германия практически обнаружено не было.

Для детекторов, изготовленных из высокоомного кремния, наблюдались спектры  $\alpha$ -частиц, форма которых значительно отличалась от формы, типичной для полупроводниковых детекторов. Были обнаружены хвосты или отдельные пики со стороны больших энергий, которые с увеличением напряжения смещения уменьшаются постепенно или совсем исчезают. Примером, свидетельствующим о таком поведении, могут служить спектры  $\alpha$ -частиц от источника  $^{241}\text{Am} + ^{244}\text{Cm}$ , изображенные на рис. 1.

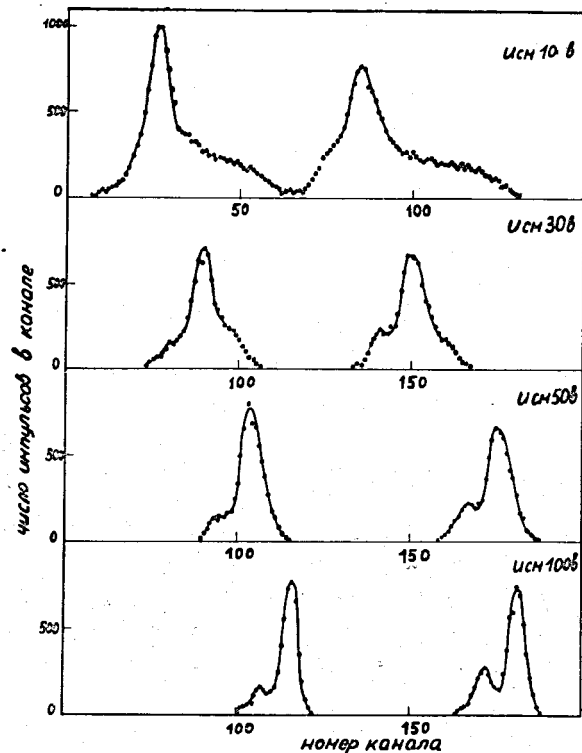


Рис. 1. Спектры  $\alpha$ -частиц  $^{241}\text{Am}$  и  $^{244}\text{Cm}$  в зависимости от напряжения смещения при облучении детектора по всей поверхности.

Раздвоение пиков в спектре  $\alpha$ -частиц, появление хвостов со стороны больших энергий и улучшение формы линий с увеличением обратного смещения как будто указывает на существование участков с различным собиранием зарядов. Однако исследования с помощью коллиматора чувствительности этих детекторов к  $\alpha$ -частицам в пределах поверхности, покрытой алюминием, не подтвердили это предположение. Наблюдалось лишь некоторое ухудшение разрешения с увеличением диаметра коллиматора при облучении детектора  $\alpha$ -частицами; форма линий при этом оставалась правильной, ни хвостов, ни отдельных пиков со стороны больших энергий не воз-

никало. Этот факт говорит о том, что незначительная неоднородность в собирании зарядов действительно существует. Но она имеет равномерное распределение по всей рабочей поверхности детекторов и не объясняет неправильную форму линий и появление дополнительных пиков.

Поверхность детектора из р-кремния /см. работу /1/ / представляет собой слой алюминия толщиной 20-30  $\text{мкг}/\text{см}^2$ , напыленный на кремниевую или германиевую пленку такой же толщины, но большей площади. Было обнаружено, что помимо части детектора, покрытой алюминием, чувствительной к излучениям является часть детектора, покрытая кремниевой или германиевой пленкой. Импульсы, поступающие с этой части детектора, искажают форму спектра. На рис. 2 приведены спектры

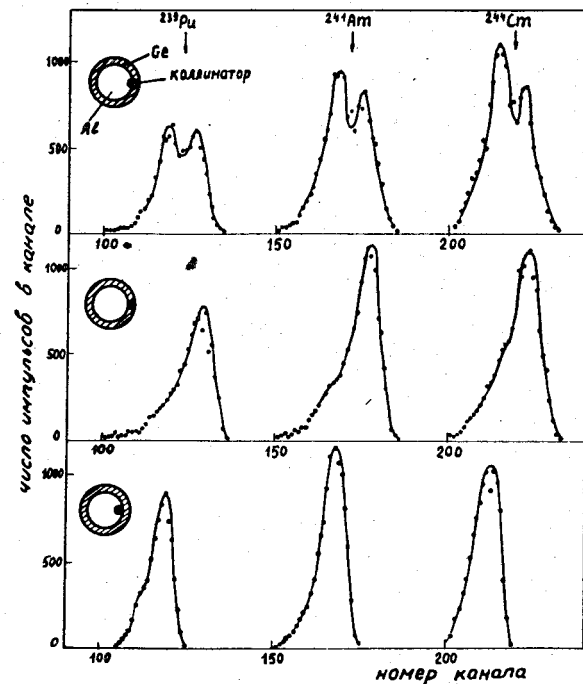


Рис. 2. Спектры  $\alpha$ -частиц  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  и  $^{244}\text{Cm}$  в зависимости от положения коллиматора. Напряжение смещения - 100 В.

$\alpha$ -частиц от источника  $^{241}\text{Am} + ^{239}\text{Pu} + ^{244}\text{Cm}$ , снятые с использованием коллиматора с участков, расположенных на поверхности алюминия, пленки кремния или германия и с участка, включающего их границу. Спектры сняты при постоянных коэффициентах усиления электронного тракта и напряжении смещения.

Можно было бы предположить, что наблюдаемая особенность связана просто с расширением чувствительной области за пределы слоя алюминия при увеличении смещения. Но то обстоятельство, что интенсивность импульсов, поступающих с участков поверхности, покрытой пленкой германия или кремния, не зависит от напряжения смещения, противоречит указанному предположению. Остается лишь предположить, что единственной причиной искажения формы спектров является чувствительный к излучениям слой, который появляется при напылении пленки кремния или германия на протравленную поверхность высокоомного  $p$ -кремния. Подтверждением этому может служить также фоточувствительность детекторов без алюминиевого покрытия при нулевом напряжении смещения. Появление чувствительной области под пленкой кремния или германия, по-видимому, связано с положительным зарядом, локализованным в пленке<sup>/2/</sup>, который индуцирует обедненный слой в  $p$ -кремнии.

Различие между детекторами из низкоомного и высокоомного  $p$ -кремния обусловлено тем, что в случае низкоомного кремния плотность поверхностного положительного заряда недостаточна, чтобы индуцировать появление чувствительного к излучениям слоя. Следует также отметить, что наблюдаемое искажение формы спектральных линий для разных детекторов проявлялось в разной степени, что, вероятно, зависит от предыстории подготовки поверхности полупроводника и неконтролируемых особенностей напыления на нее слоев кремния или германия и алюминия. В частности, важное значение может иметь проводимость напыляемой пленки кремния или германия. В тех случаях, когда сопротивление пленки велико, электрическое поле слабее проникает в область, расположенную за алюминиевым электродом, в след-

ствие чего наблюдается более быстрое сближение амплитуд с обоих участков детектора. Наоборот, в случае низкого сопротивления пленки хорошее собирание заряда обеспечивается в обеих областях, что приводит к более медленному сближению амплитуд.

Предложенное объяснение хорошо согласуется с результатами измерений вольт-фарадных характеристик, приведенных на рис. 3. Как видно из рисунка, наклон

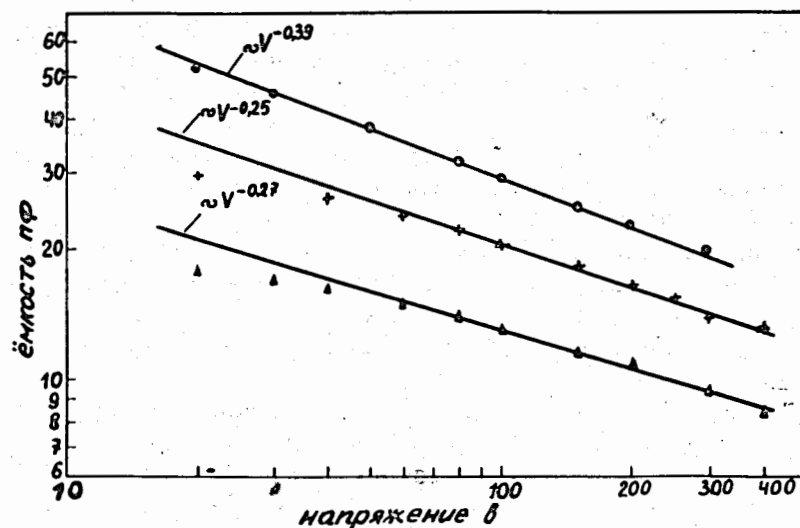


Рис. 3. Вольт-фарадные характеристики некоторых детекторов.

кривых на линейном участке зависимости  $\lg C = f(\lg U)$  изменяется от  $-0,25$  до  $-0,40$  для разных детекторов. Причем, для одного и того же детектора также наблюдается изменение наклона в зависимости от величины напряжения смещения - наклон увеличивается с увеличением напряжения смещения.

Емкость таких детекторов можно представить как сумму емкостей двух составляющих. Одна из них - емкость поверхностно-барьерного детектора, площадь которого ограничена площадью алюминиевого электрода.

Эта составляющая зависит от напряжения смещения как  $U^{-0,5}$ , т.е. наклон зависимости  $\lg C = f(\lg U)$  равен  $-0,5$ . Вторая - связана с емкостью инверсионного слоя, индуцированного положительным поверхностным зарядом в пленке за алюминиевым электродом. Эта составляющая слабо зависит от напряжения смещения, особенно при небольших его значениях, что оказывает существенное влияние на ход зависимости емкости от напряжения смещения.

Такое представление о емкости детекторов хорошо согласуется с наблюдаемым уменьшением наклона при уменьшении рабочей поверхности детектора. Для детекторов меньшей площади, т.е. детекторов, имеющих меньшую емкость, вклад емкости инверсионного слоя, индуцированного положительным поверхностным зарядом, в общую емкость больше, чем для детекторов большей площади. Небольшая прибавка слабо зависящей от напряжения смещения емкости инверсионного слоя к небольшой собственной емкости детектора приведет к заметному изменению наклона вольт-фарадной характеристики.

Таким образом, наблюдаемые аномалии в спектральных и вольт-фарадных характеристиках поверхностно-барьерных детекторов из высокоомного р-кремния обусловлены положительным зарядом, индуцирующим инверсионный слой за алюминиевым электродом. Положительный заряд, зафиксированный в напыляемой пленке германия или кремния, способствует возникновению поверхностного барьера и объясняет высокую стабильность детекторов.

В заключение рассмотрим вопрос о том, почему на спектрах, показанных на рис. 1 и 2, амплитуды импульсов, поступающих из области за алюминиевым электродом, больше, чем амплитуды импульсов, обусловленных попаданием  $\alpha$ -частиц в пределах алюминиевого электрода. Очевидно, что это различие не связано с дополнительной толщиной напыляемых пленок:  $15 \div 20 \text{ мкг/см}^2$  дополнительного слоя алюминия не могут обеспечить наблюдаемой разницы в амплитудах. При больших напряжениях пики практически совпадают, что полностью исключает

объяснения, связанные с различной толщиной напыляемых слоев. Трудно также предположить, что большая амплитуда импульсов, поступающих с участка детектора за алюминиевым электродом, обусловлена лучшим сбором генерированного частицей заряда. Лучшее собрание могло бы быть обусловлено более высоким электрическим полем. Однако из-за меньшей, чем у металлической пленки, проводимости напыляемой пленки кремния или германия имеется заметное падение приложенного напряжения вдоль этой пленки, что приведет к уменьшению нормальной составляющей электрического поля, следовательно, и к ухудшению сбора заряда.

Наблюдаемое различие в амплитудах импульсов может быть объяснено, если предположить, что под напыленной пленкой кремния или германия в монокристалле р-кремния существует заметный нечувствительный к излучению слой. Причем толщина этого нечувствительного слоя больше на рабочей поверхности детектора, чем за его пределами и сильно зависит от напряжения смещения. О существовании "мертвого слоя", зависящего от напряжения смещения, сообщалось в работе<sup>/3/</sup>.

Другой возможной причиной, приводящей к различию амплитуд импульсов, поступающих с разных участков поверхности детектора, может быть различие в форме импульса, подобно тому, что имеет место в позиционно-чувствительном детекторе<sup>/4/</sup>, а не различие в величине заряда, генерированного частицей в чувствительном слое детектора. Последнее предположение находит некоторое подтверждение в том, что при непосредственном наблюдении формы импульсов на экране осциллографа после предусилителя обнаруживается некоторое количество импульсов, имеющих более длинный, по сравнению с остальными импульсами, фронт. Для выяснения причин, приводящих к наблюдаемым эффектам, требуются дальнейшие исследования.

Авторы благодарны академику Г.Н.Флерову за постоянный интерес к работам по полупроводниковым детекторам, О.А.Матвееву, А.Х.Хусанову за весьма полезные обсуждения, Н.М.Прахову за предоставление образцов кремния.

### Литература

1. В.Ф.Кушнйрук, Р.А.Никишина, Ю.П.Харитонов. ФТП, 7, 1396 /1973/; Препринт ОИЯИ, P13-6578, Дубна, 1972.
2. Физика тонких пленок. т. 3, перевод с англ. под ред. В.Б.Сандомирского, М., Мир, 1968.
3. G.Forcinal, P.Stiffert and A.Coche. IEEE Trans. NS15, No. 3, 275 (1968).
4. В.Ф.Кушнйрук, Р.А.Никишина. Сообщение ОИЯИ, 13-4612, Дубна, 1969.

Рукопись поступила в издательский оидел  
26 мая 1975 года.