

25/4-71

К-788

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

3664/2-71

13-6016



И. Крацикова, Ли Чен Сон, Лим Хен Тхек,
Б.П. Осипенко, Л.А. Пермякова

ЗАЩИТНОЕ ПОКРЫТИЕ ДЛЯ КРЕМНИЕВЫХ
ПОВЕРХНОСТНО-БАРЬЕРНЫХ ДЕТЕКТОРОВ
ЯДЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1971

13-6016

И. Крацкова, Ли Чен Сон, Лим Хен Тхек,
Б.П. Осипенко, Л.А. Пермякова

ЗАЩИТНОЕ ПОКРЫТИЕ ДЛЯ КРЕМНИЕВЫХ
ПОВЕРХНОСТНО-БАРЬЕРНЫХ ДЕТЕКТОРОВ
ЯДЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

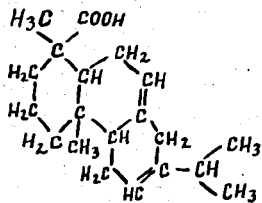
Направлено в ПТЭ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Хорошо известна роль, которую играют защитные слои в технологии изготовления кремниевых поверхностно-барьерных детекторов ядерного излучения^{/1/}. Разработанные нами ранее способы стабилизации поверхности *p-i-n*-кремниевых детекторов плоской конструкции силированием и оксидированием^{/2,3/} предполагают использование зажимов с прокладками для предохранения металлических электродов от воздействия защитного реагента. Эти методы оказались неудобными для поверхностно-барьерных счетчиков, так как очень трудно защитить золотой электрод, не повредив его и не загрязнив поверхность.

Проведенные нами исследования некоторых защитных покрытий из веществ органической природы показали, что более удобным и простым способом защиты поверхности кремниевых поверхностно-барьерных счетчиков является покрытие перехода канифолью^{x/}.

^{x/} Канифоль представляет собою смесь смоляных кислот состава $C_{19}H_{29}COOH$ из класса производных терпенов. Основная из них - абнетиновая кислота - содержит три шестичленных кольца:



Температура плавления канифоли колеблется в пределах 60-70°C.

Одним из преимуществ канифольного покрытия перед эпоксидными и кремнийорганическими смолами, лаками, обычно применяемыми для целей защиты, является отсутствие вредных добавок в виде отверждающих агентов, наполнителей, растворителей, пигментов, загрязняющих поверхность полупроводника.

Описание метода

Использовался насыщенный раствор канифоли в дважды перегнанном этиловом спирте. Эксперименты проводились на диффузионно-дрейфовых поверхностно-барьерных счетчиках, а также на счетчиках, изготовленных из кремния *n*-типа с удельным сопротивлением от 300 до 20000 ом.см и временем жизни неосновных носителей тока порядка 500 мксек. После изготовления детекторов по известной технологии^{1/} измерялись вольтамперные характеристики образцов и проводилась обработка их канифолью. Спиртовой раствор канифоли тонким слоем наносился на поверхность образца. После выдерживания в течение нескольких часов на воздухе образец сушился. Сушка проводилась в двух режимах:

1 - при температуре 40⁰С в течение суток в застойной атмосфере воздуха;

2 - при температуре 60-70⁰С в течение 1-2 часов с продувкой воздуха.

В результате проведенных испытаний был выбран второй способ сушки как менее продолжительный и дающий более надежное покрытие. Канифоль при 60-70⁰С находится в размягченном состоянии, не препятствуя выходу паров спирта. В первом случае пленка канифоли имела дефекты в виде пузырьков (паров спирта, скопившихся под пленкой), которые легко вскрываются при механическом воздействии, нарушая целостность покрытия.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Сразу после нанесения на образец канифоли обратный ток $p-n$ -перехода резко возрастает, проявляя нестабильность даже при низких напряжениях смещения. После выдержки образцов на воздухе в течение нескольких часов наблюдается некоторое снижение обратных токов (рис. 1). Выдержка при температуре сушки возвращает обратные токи к своим прежним значениям или делает их меньше исходных (рис. 1,2). Дальнейшее заметное понижение обратных токов происходит в течение первых 3-5 дней после нанесения защитного покрытия (рис. 2). Особенно значительное снижение обратных токов наблюдалось у приборов, изготовленных из низкоомного n -кремния (рис. 3).

Стабильность обратных токов и повышение напряжения пробоя образцов с канифольным покрытием дало возможность существенно улучшить разрешающую способность кремниевых поверхностно-барьерных счетчиков. На рис. 4 показан спектр от α -частиц ^{238}Pu , снятый с кремниевым счетчиком при комнатной температуре до и после покрытия его поверхности канифолью. Вольтамперные характеристики этого образца представлены на рис. 2.

В процессе измерения энергетического разрешения при низких температурах (до -100°C) наблюдалось растрескивание защитной пленки из-за разницы в коэффициентах термического расширения кремния и канифоли. Вольтамперные характеристики при этом оставались без видимых изменений (рис. 5). В целях предотвращения возможных нестабильностей обратного тока, связанных с разрывом пленки, образцы покрывались поверх канифоли тонким слоем эпоксидной смолы (нанесение эпоксидной смолы непосредственно на незащищенный $p-n$ -переход приводит к необратимому увеличению обратного тока). Эпоксидный клей обеспечивает дополнительную механическую защиту $p-n$ -перехода. Вольтамперная характеристика и разрешающая способность счетчиков при этом остаются без изменений (рис. 5,6).

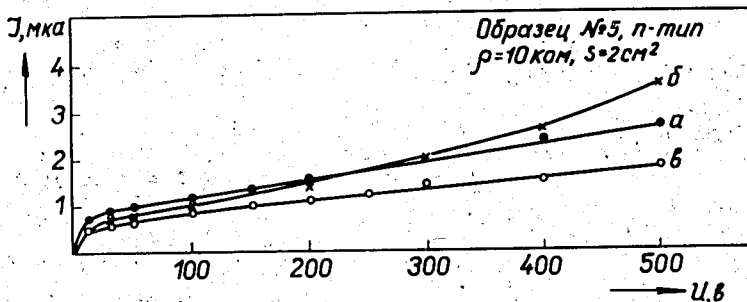


Рис. 1. Обратные вольтамперные характеристики кремниевого счетчика №5 после различных обработок: а - после травления; б - после защиты канифолью и 24 часов на воздухе; в - после сушки при 40°C.

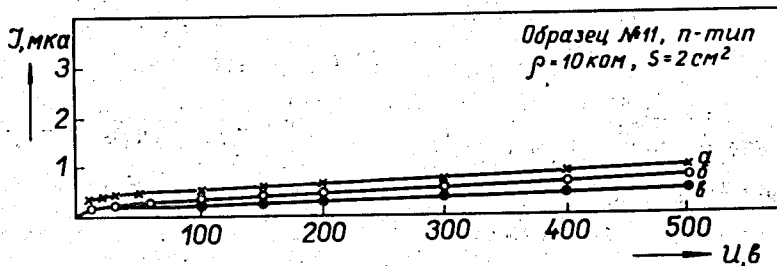


Рис. 2. Обратные вольтамперные характеристики кремниевого поверхностно-барьерного счетчика №11: а - после травления; б - после защиты канифолью и сушки; в - после 5-дневного хранения на воздухе.

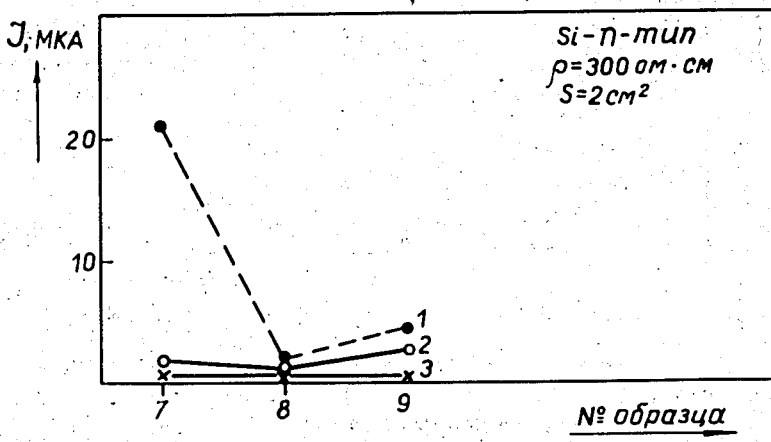


Рис. 3. Значения обратного тока трех образцов из *p*-кремния с $\rho = 300 \text{ ом} \cdot \text{см}$, снятые при 100 в - до защиты канифолью (кривая 1); при 200 в - после защиты канифолью (кривая 2); при 200 в - после недели хранения (кривая 3).

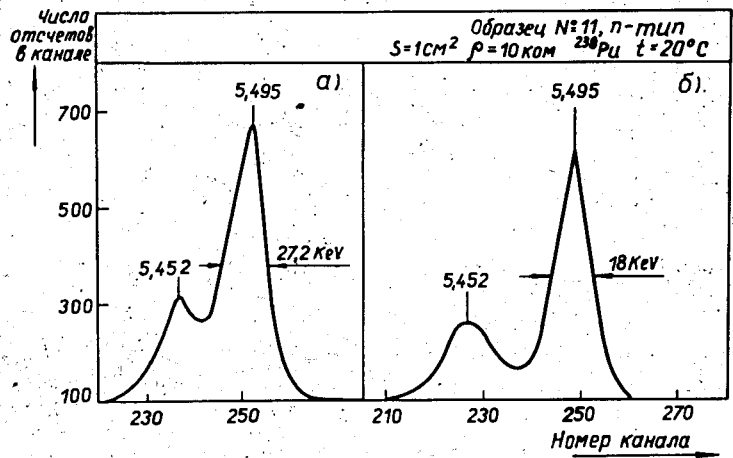


Рис. 4. Спектр α -частиц ^{238}Pu , снятый с кремниевым поверхностно-барьерным счетчиком №11 при комнатной температуре; а - до покрытия канифолью; б - после покрытия канифолью.

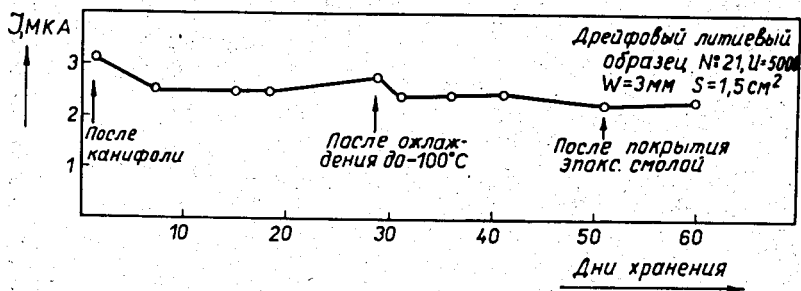


Рис. 5. Измерения обратного тока образца №21 в процессе хранения.

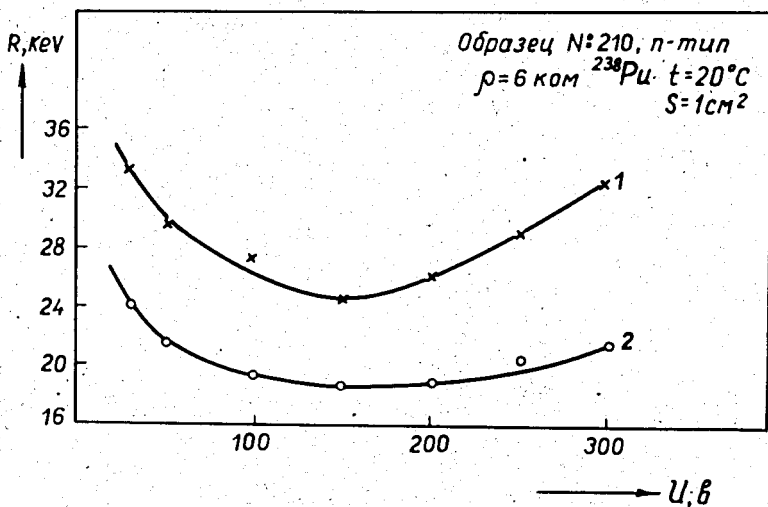


Рис. 6. Зависимость энергетического разрешения от напряжения смещения на детекторе: 1 - до защиты канифолью; 2 - после защиты канифолью и эпоксидной смолой.

Наблюдение за образцами в течение полутора лет показало, что обратные токи в них остались без существенных изменений (рис. 7).

Стабилизирующее свойство канифоли можно объяснить, если учесть, что выпрямляющие характеристики поверхностного барьера контролируются, в основном, поверхностными состояниями как быстрыми, так и медленными (их типом, донорным или акцепторным, плотностью, энергетическим положением)^{/4/}.

Поверхностные состояния определяют поверхностный потенциал полупроводника не только под металлическим электродом, но и на свободной поверхности. Окружающая среда, являясь причиной изменений медленных поверхностных состояний, меняет изгиб энергетических зон у поверхности, что, в свою очередь, влияет на плотность быстрых состояний. Тот факт, что у большинства приборов, покрытых канифолью, изменения обратных токов пренебрежимо малы, говорит о том, что канифоль воздействует на медленные состояния, создавая на поверхности стабильный оптимальный заряд. Из-за сложности состава канифоли трудно установить механизм этого воздействия. Наиболее вероятно, что процесс сушки сопровождается окислением двойных связей в молекулах канифоли. В окислении может участвовать как кислород воздуха, так и кислород, адсорбированный на поверхности кремения и определяющий, в основном, заряд в медленных состояниях. Возможно также, что стабилизирующее влияние канифоли на поверхностный потенциал связано с присутствием в составе канифольного покрытия полярных функциональных группировок (карбонильной $-\text{C} \begin{matrix} \text{=} \text{O} \\ \text{-} \text{OH} \end{matrix}$), которые могут сильно изменить состояние поверхности полупроводника.

Проведенные исследования позволяют рекомендовать использование канифоли для повышения надежности кремниевых поверхностно-барьерных счетчиков.

Л и т е р а т у р а

1. Дж. Дирили, Д. Нортроп. Полупроводниковые счетчики ядерных излучений. Перевод с английского под редакцией В.С. Вавилова. Москва, 1966.
2. И. Крацикова, Б.П. Осипенко, Л.А. Пермьякова. Препринт ОИЯИ 13-4531, Дубна, 1969.
3. А.А. Конова, Б.П. Осипенко. Препринт ОИЯИ 12-3429, Дубна, 1967.
4. Поверхностные и контактные явления в полупроводниках. Ответственный редактор проф. В.А. Преснов. Томск, 1964.

Рукопись поступила в издательский отдел
31 августа 1971 года.

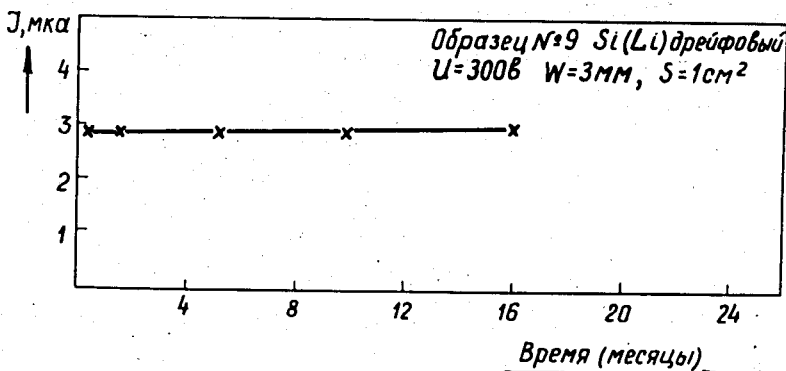


Рис. 7. Изменения обратного тока кремниевого дрейфового образца №9 во времени.