

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



СЗ44.1м
Г-947

13 - 7341

4033/2-73

Л.Гумнерова, Б.П.Осипенко, Л.А.Пермякова,
Н.М.Прахов

КРЕМНИЕВЫЕ ПОВЕРХНОСТНО-БАРЬЕРНЫЕ
ДЕТЕКТОРЫ С НИЗКИМИ ТОКАМИ УТЕЧКИ

1973

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

13 - 7341

Л.Гумнерова, Б.П.Осипенко, Л.А.Пермякова,
Н.М.Прахов

КРЕМНИЕВЫЕ ПОВЕРХНОСТНО-БАРЬЕРНЫЕ
ДЕТЕКТОРЫ С НИЗКИМИ ТОКАМИ УТЕЧКИ

Направлено в ПТЭ

Достижения в производстве отечественного n -кремния с высоким удельным сопротивлением дают возможность изготавливать кремниевые поверхностно-барьерные детекторы с толщиной чувствительной области до 4 мм, что вполне достаточно для решения многих задач β - и γ -спектрометрии.

Такие приборы намного проще по технике изготовления $Si(Li)$ – поверхностно-барьерных детекторов и их можно использовать в условиях заметного нейтронного фона.

Важной особенностью детекторов из высокоомного $n-Si$ являются высокие обратные напряжения, которые можно приложить к счетчику без значительных токов утечки и без пробоя.

В настоящей работе описана технология изготовления поверхностно-барьерных детекторов из $n-Si$ с высоким удельным сопротивлением, обеспечивающая практически 100%-ный выход рабочих приборов с высоким энергетическим разрешением, низкими обратными токами порядка 1 мкА при 1000 В, рабочими напряжениями 250 и 600 В при температурах 20°С и -100°С соответственно. Предлагается способ ускоренного формирования поверхностного барьера и повышения прочности соединения золотого контакта с травленной поверхностью кремния, позволяющий получать приборы с воспроизводимыми стабильными во времени характеристиками.

В работе использовался кремний n -типа с удельным сопротивлением от 7 до 100 кОм·см, временем жизни неосновных носителей тока порядка 1000 мксек, плотностью дислокаций 10^4 см⁻². Детекторы имели диаметр 20 мм при толщине чувствительной области от нескольких сот мкм до 4 мм в зависимости от удельного сопротивления исходного материала и приложенного напряжения. Рабочая поверхность составляла 1 см².

1. ТРАВЛЕНИЕ

После шлифовки образцы отмывались в ультразвуковой ванне в подогретых до 50°C трихлорэтилене, этиловом спирте, горячей деионизованной воде, а затем травились в смеси $1:3:0,5 - \text{HF} : \text{HNO}_3 : \text{CH}_3\text{COOH}$ /49%, 72%, ледяной соответственно/.

Существует эмпирическое правило, по которому травление ведется до получения зеркальной поверхности, а иногда и вдвое большее время, чем это необходимо для получения "зеркала" ^{/1/}.

Согласно ^{/2/}, пластинка кремния отбрасывается, если ее поверхность не протравливается до зеркальной как непригодная для изготовления счетчика.

В нашем случае шлифовка образцов оканчивалась после М-14, а травление прерывалось на стадии получения зеркально-маатовой поверхности. Полученная таким образом поверхность должна иметь лучшее качество сцепления с золотым электродом по сравнению с зеркально-полированной. Время травления пластины с двух сторон составляло 1 мин. при комнатной температуре и велось до появления паров двуокиси азота. На один образец использовалось 100 мл травителя. Реакция травления гасилась постепенным добавлением струи деионизованной воды /15 Мом/. Время отмывки - 5 мин, количество расходуемой воды на образец - 3 л.

По окончании травления пластинка сушилась струей сухого воздуха.

2. ОКИСЛЕНИЕ ТРАВЛЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ

Поскольку механизм формирования поверхностного барьера Au-Si остается до конца не выясненным, существуют весьма разнообразные рекомендации относительно выбора среды и времени окисления ^{/1,3/}. В выборе режима окисления мы основывались на изменении контактной разности потенциалов /КРП/ травленной поверхности кремния во времени в процессе хранения на воздухе при влажности 30-40% ^{/4/}. Было показано, что основные изменения в КРП происходят в первые сутки после трав-

ления и продолжают в меньшей степени в последующие 3-4 дня, а затем КРП остается практически постоянной. Поэтому мы в своей практике напыляем золотой электрод через 5-6 дней после травления. В ряде случаев время выдерживания образцов на воздухе доходило до месяца. При этом мы не наблюдали заметных отклонений в характеристиках счетчиков.

3. НАПЫЛЕНИЕ ЗОЛОТОГО ЭЛЕКТРОДА

Наш опыт показывает, что стабильность работы кремниевых поверхностно-барьерных детекторов, особенно в условиях высокого вакуума, в значительной степени определяется качеством изготовления золотого контакта. Как правило, такой контакт получается термическим испарением металлического золота в вакууме 10^{-3} мм рт.ст. Толщина напыленного слоя составляет 20-100 мкг/см² в зависимости от специфических требований, предъявляемых к детектору.

Свеженанпыленный золотой электрод, осажденный на кремниевую подложку при комнатной температуре без специальной обработки, очень непрочен. Он легко повреждается при стандартных измерениях характеристик детекторов с использованием прижимных контактов. Это создает опасность нарушения стабильности работы прибора. В результате изготовитель не в состоянии правильно контролировать ход изменений характеристик прибора в процессе длительной эксплуатации.

Следует отметить также нестабильность тонких золотых пленок.

При хранении на воздухе непрерывно увеличивается электрическое сопротивление пленок под влиянием окружающей среды /химическое воздействие или поглощение атмосферных газов и паров /^{15/}.

Одной из возможностей получения стабильных и прочных пленок является их температурная обработка или нанесение пленки на заранее разогретую поверхность. В случае спектрометрических детекторов высокотемпературные обработки нежелательны из-за возможного увеличения толщины входного "окна" вследствие впавления золота в кремний /температура эвтектики $Ag-Si$ равна

370 °C /¹⁶/ и ухудшения качества исходного материала.

С целью повышения качества сцепления золотой пленки с травленной поверхностью кремния мы использовали такой режим напыления золота, когда температура образца немного превышает 100 °C. Для этого золото распылялось в вакууме 10^{-5} мм рт.ст с вольфрамовой лодочки /30 x 5/ мм². Время испарения золота - 20 сек. После испарения золота лодочка продолжала разогреваться в течение последующих 4 минут до ослепительного белого цвета каления, что соответствует температуре более 1500 °C. При таком режиме напыления кремниевая шайба с золотой пленкой прогревалась и одновременно облучалась интенсивным световым потоком излучения от лодочки. При этом вакуум падал до 10^{-3} - 10^{-2} мм рт.ст. После снятия нагрева вакуумная камера немедленно наполнялась воздухом. На рис. 1 показано изменение температуры образца в процессе напыления в зависимости от расстояния образца до лодочки. Расстояние 5-6 см от места нагрева устанавливается в случае напыления золота. Нижний контакт из алюминия напыляется с расстояния 3 см /температура образования эвтектики Al-Si составляет 577 °C/.

Общее время получения контакта составляет 6 мин. Полученные таким способом золотые и алюминиевые пленки имеют повышенное сцепление с поверхностью кремния и не поддаются механическому стиранию ватным тампоном.

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Обычно поверхностно-барьерные диоды с золотом, напыленным в вакууме 10^{-5} мм рт.ст., сразу после напыления имеют большие обратные токи, которые после выдержки от нескольких дней до месяца на воздухе заметно уменьшаются, после чего остаются постоянными. Это связывают с адсорбцией кислорода через тонкую пленку золота и доформированием поверхностного барьера.

Поверхностно-барьерные диоды, изготовленные по описанной технологии, имели низкие и воспроизводимые

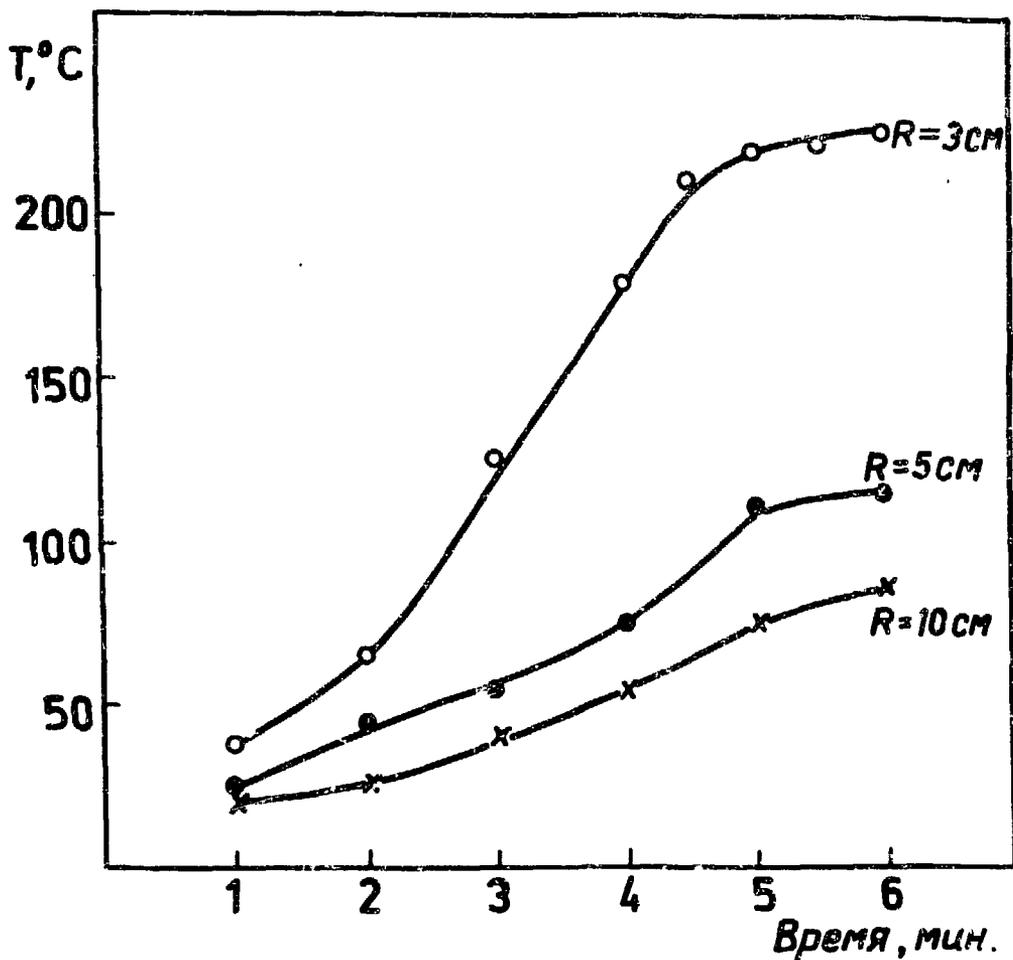


Рис. 1. Изменение температуры кремниевого образца в процессе напыления золотого электрода в зависимости от расстояния до лодочки (R).

обратные токи без каких-либо дополнительных поверхностных обработок /рис. 2/. Следует отметить, что обратный ток таких детекторов стабилизируется сразу после изготовления контакта, что свидетельствует о благоприятных условиях для быстрого формирования поверхностного барьера в процессе напыления золота.

Такие условия, по-видимому, создаются в условиях пониженного вакуума $/10^{-3} - 10^{-2}$ мм рт.ст./ при повышенной температуре за счет взаимодействия кислорода с золотом непосредственно в момент напыления

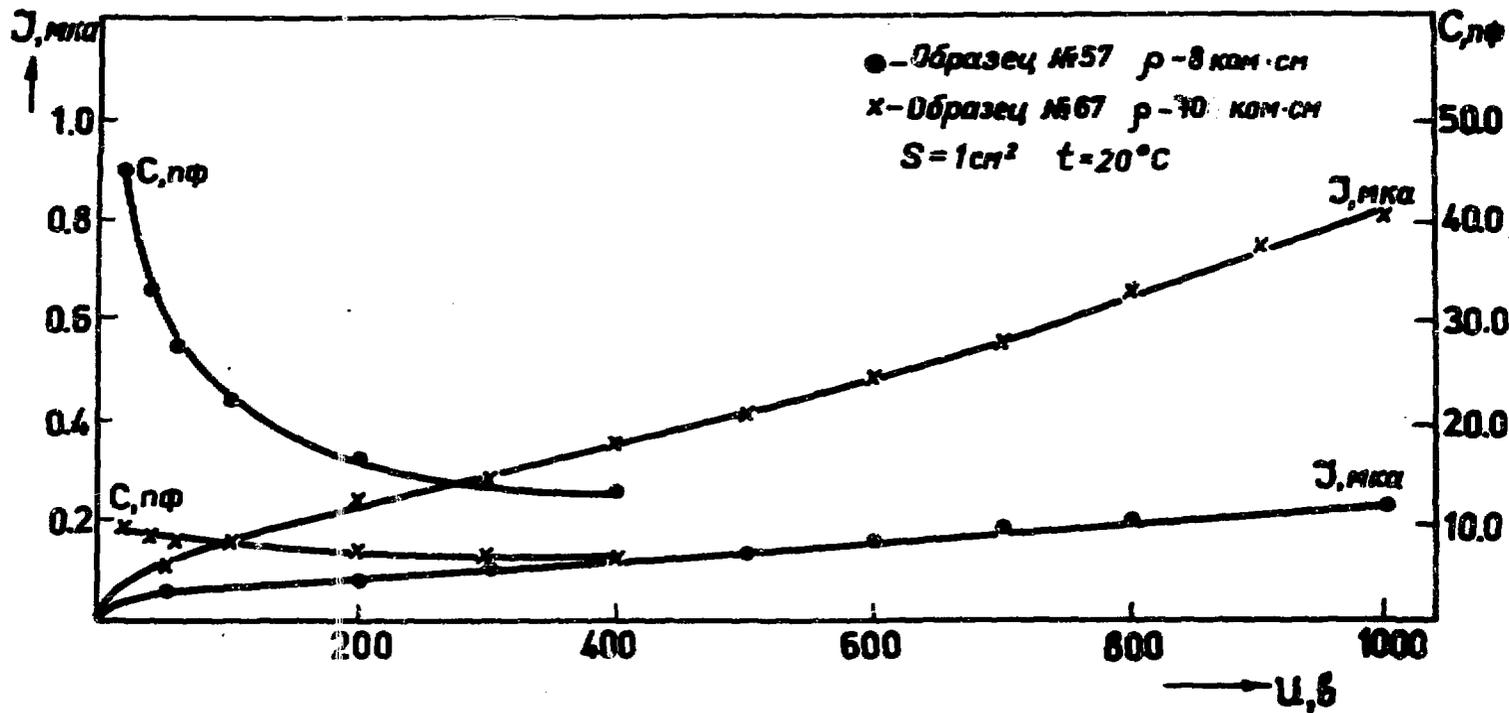


Рис. 2. Вольт-амперные и вольт-емкостные характеристики 2-х кремниевых поверхностно-барьерных детекторов.

золотого электрода, что согласуется с результатами работы /7/.

Можно предположить также озонирование молекул кислорода в этих условиях под действием ультрафиолетовой компоненты свечения от вольфрамовой лодочки. Обладая сильными окислительными свойствами, озон должен способствовать более быстрому формированию поверхностного барьера по сравнению с кислородом.

Механизм ускоренного формирования поверхностного барьера золото-кремний в описанных условиях представляет большой интерес и требует дополнительных исследований.

Энергетическое разрешение детекторов, полученных по описанной технологии, составляло при комнатной температуре 15-20 кэВ для α -частиц с энергией 5 МэВ и 9-12 кэВ - для β -частиц с энергией 1 МэВ /рис. 3/.

Образцы эксплуатировались в течение 2-х лет.

Авторы благодарят Б.М.Головина за полезные обсуждения, Ц.Вылова, В.Г.Сандуковского за измерение спектров, а также Л.Ермолину за помощь в изготовлении детекторов.

Литература

1. C.P.Goradia, J.Reynolds. *IEEE Trans.Nucl.Sci.*, 15, No. 3, 281 (1968).
2. G.Dearnaly, A.B.Whitehead. *Nucl. Instr. & Meth.*, 12, 205 (1961).
3. A.Torreiter, P.Siffert. *Proceeding of the Symposium on Semiconductor Detector for Nuclear Radiation. Munich, 1970.*
4. В.С.Васильев, Л.А.Пермякова. *Препринт ОИЯИ, 2798, Дубна, 1966.*
5. H.Domany *Compt.Rend.*, 250, No. 9, 615 (1960).
6. Патент США, № 158.504, КЛ.117-213 от 7.10.60.
7. N.J.Hansen, R.G.Scott, D.J.Henderson. *Nucl.Instr. & Meth.*, 104, 333 (1972).

Рукопись поступила в издательский отдел
23 июля 1973 года.

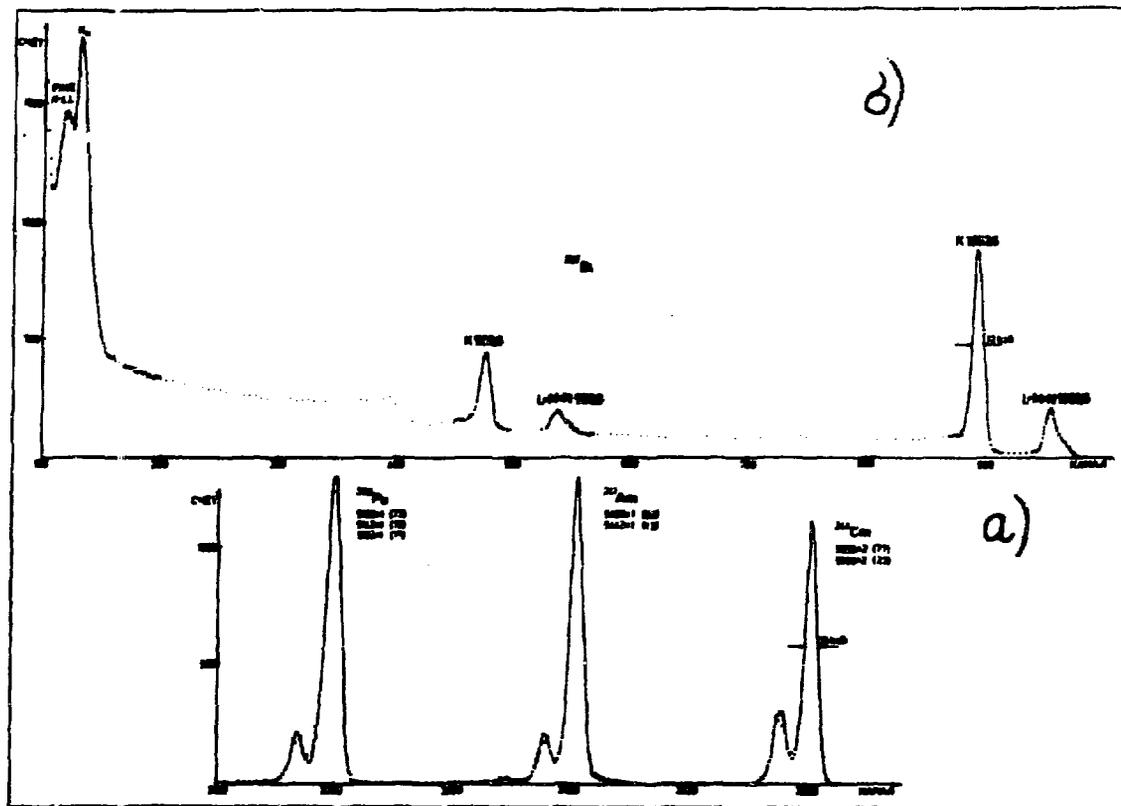


Рис. 3а. Альфа-спектры, снятые с помощью кремниевого поверхностно-барьерного детектора №57 / $\rho = 8$ кОм.см/.
 б. Спектр конверсионных электронов, снятый с кремниевым поверхностно-барьерным детектором № 67 / $\rho = 70$ кОм.см/.