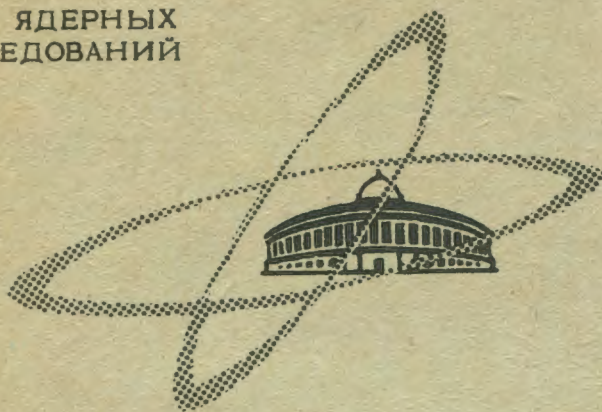


ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

13 - 3723



А.А.Конова, Б.П.Осипенко

СТАБИЛИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК
КРЕМНИЕВЫХ $p-i-n$ ДЕТЕКТОРОВ В УСЛОВИЯХ
ПОВЫШЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ ПУТЕМ
ОКСИДИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

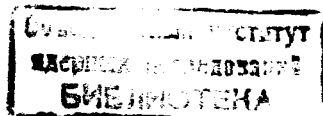
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1968

13 - 3723

А.А.Конова, Б.П.Осипенко

СТАБИЛИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК
КРЕМНИЕВЫХ р -i-n ДЕТЕКТОРОВ В УСЛОВИЯХ
ПОВЫШЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ ПУТЕМ
ОКСИДИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ



Хорошо известно, что поверхность Si очень чувствительна к парам воды и окружающей среде. По этой причине подавляющее большинство кремниевых полупроводниковых приборов требует защиты от воздействия окружающей среды.

Проведенная работа по стабилизации характеристик кремниевых детекторов ядерных излучений показала, что защита поверхности в виде покрытия лаком, пассивации, герметичного капсулирования, оксидирования и т.д. является не менее сложной проблемой, чем создание самих электронно-дырочных переходов.

В нашей лаборатории разработаны методы получения оксидных и лаковых покрытий торцов кремниевых p-i-n-детекторов ядерных излучений.

В настоящей статье излагаются результаты работы по исследованию защитного действия оксидных пленок на p-i-n-переходах кремниевых детекторов от воздействия влаги. Существует несколько способов оксидирования кремния. Наиболее широко используется термическое^{/1/} и электрохимическое^{/2/} оксидирование.

Нами было использовано электролитическое полирование и последующее в непрерывном процессе анодное оксидирование боковых поверхностей-торцов кремниевых p-i-n-детекторов^{/3/} в водных растворах плавиковой кислоты.

Экспериментальные результаты

Проводились исследования кремниевых детекторов p-i-n-структуры, обработанных двумя методами. Один из методов обработки боковой поверхности состоит в травлении в так называемом травителе CP-4,

а другой - в анодном оксидировании в 1% водном растворе HF кислоты с добавлением глицерина.

Все детекторы имели площадь 2-3 см² и толщину 0,4-0,5 см.

Нами было исследовано поведение детекторов в атмосфере с различным процентом влажности и временем выдержки под напряжением при определенной влажности.

Как было показано ранее в работе/3/, обратные токи всех оксидированных образцов уменьшались или сохраняли свои значения в течение нескольких месяцев хранения. Они хранились в обыкновенных комнатных условиях без напряжения.

Две партии образцов - с травленными и оксидированными торцами хранились при 18 и 88% влажности в эксикаторе без напряжения. В течение двух месяцев у них регулярно измерялись вольт-амперные характеристики в камере с 20% влажностью.

Все оксидированные образцы показали значительную стабильность обратных токов и вольт-амперных характеристик по сравнению с травленными образцами. Кроме того были исследованы вольт-амперные характеристики травленых и оксидированных образцов в атмосфере с различной влажностью при приложенном запорном напряжении во время хранения.

На рис. 1 показаны вольт-амперные характеристики детекторов с травленным торцом. Все кривые сняты после 10 мин выдержки под напряжением $U_{кр} = 150$ в в атмосфере с соответствующей влажностью. До определенного "критического" положения вольт-амперные характеристики подчиняются закону $i = k U^a$, где $0,20 \leq a \leq 0,35$. Чем выше влажность, тем выше a , но в процессе хранения под напряжением и при определенной влажности a понижается, приближаясь к 0,20. "Критическое" напряжение зависит от влажности и от состояния поверхности, например, "критическое" напряжение понижается при промывке детектора водопроводной водой. Во всех случаях после $U_{кр}$ вольт-амперные характеристики меняются по закону $i = k U^a$, где a для травленых образцов всегда больше 0,50. При более длительном хранении под напряжением a меняется - увеличивается или уменьшается в зависимости от обработки или состояния поверхности торца детектора.

На рис. 2 показаны вольт-амперные характеристики детектора оксидированным торцом при разной влажности и соответствующей обработке поверхности оксидной пленкой. Как видно из рис. 2, ход кривых до и после определенного "критического" напряжения различны. До "критического" напряжения $i = k U^{0,25}$, абсолютное значение обратного тока мало зависит от влажности или дополнительной обработки поверхности оксидной пленкой. После "критического" напряжения вольт-амперные характеристики подчиняются закону $i = k U^{0,5}$.

Обратные токи сохраняют свои значения в течение 8-часовой выдержки под напряжением и при высокой влажности.

Были предприняты эксперименты по определению оптимальных условий оксидации торцов.

Оксидирование производилось так, как описано в работе/3/. С увеличением времени оксидации пропорционально увеличивается толщина оксидной пленки/4/. После оксидации торцов детектора в некоторых случаях снималась часть оксидной пленки путем стравливания в слабом травителе $1 HF : 10 HNO_3$.

Как видно из рис. 2, толстая оксидная пленка с протравленной поверхностью обладает лучшими защитными свойствами по сравнению с непротравленной.

С уменьшением толщины оксидной пленки вольт-амперные характеристики детекторов уменьшают свою стабильность во время хранения под напряжением во влажной атмосфере. Рис. 3 иллюстрирует защитные свойства оксидной пленки. На том же рисунке заметен дрейф обратного тока в течение времени хранения под напряжением. Значительный дрейф наблюдается у детекторов с травленными или защищенными тонкими оксидными пленками торцами. У детекторов с толстой оксидной пленкой дрейф незначительный. У плохо протравленных детекторов или детекторов, имеющих неоднородное оксидное покрытие, хранение под напряжением в условиях повышенной влажности приводит к дрейфу и нарастанию обратных токов без насыщения.

Объяснение результатов

Рассмотрим кремниевый $p-i-n$ -детектор с оксидированным торцом, к которому приложено запирающее напряжение U . В отсутствие заряда на поверхности детектора обратный ток, в основном, является током генерации в области объемного заряда. Распределение потенциала на поверхности оксидированного торца повторяет распределение потенциала в объеме. С увеличением толщины оксидной пленки на торце детектора кривая падения потенциала на поверхности перехода становится более пологой. Поверхностное поле уменьшается с увеличением толщины пленки.

Если образец находится в атмосфере с высокой влажностью, то до приложения запирающего напряжения оксидная поверхность с адсорбированным на ней слоем воды находится в равновесии с влажной атмосферой. Пользуясь моделью Atalla и др.^{5/}, допустим, что n_0 - плотность ионных пар на поверхности. Если приложим к образцу запирающее напряжение, то положительные заряды будут двигаться к p -области, а отрицательные - к n -области. Сепарация ионов будет пропорциональна

$$n_0 (\mu_+ + \mu_-) \frac{\partial E}{\partial x}, \quad (1)$$

где μ_+ и μ_- - поверхностная подвижность положительных и отрицательных ионов соответственно, а $\frac{\partial E}{\partial x}$ - градиент поля. На рис. 4 показано схематическое распределение ионов-зарядов на поверхности $p-n$ -перехода. Возможность такого распределения показана в работе^{6/}. Силовые линии поверхностных зарядов заканчиваются частично на зарядах поверхности, а частично - на индуцированных ими зарядах на внутренней поверхности перехода. Эти индуцированные заряды расширяют область объемного заряда перехода. - А если поверхностные заряды достаточно велики, то инверсионные слои образуются с обеих сторон перехода. В этом случае обратный ток $i = k U^a$, где $a \geq 0,5$.

С помощью этой модели можно объяснить наши результаты, несмотря на то, что используемые нами детекторы имеют $p-i-n$ -структуру. Так как основное падение потенциала происходит на $i-p$ -переходе, то предполагаемую модель относим к нему.

Предположение, что нарастание обратных токов при повышенной влажности связано с поверхностными утечками, маловероятно, так как в противном случае нельзя объяснить результаты, показанные на рис. 3 (кривая 1). На этом рисунке видно, что замена атмосферы с 88% влажностью на 12% влажность при сохранении обратного напряжения мало изменяет обратный ток оксидированного образца. M. Atalla и др. предполагают рассматривать оксидную пленку как диэлектрик между поверхностными и индуцированными зарядами. В этом случае можно объяснить кривые на рис. 3.

С понижением влажности с 88 до 12% десорбция воды понижает поверхностную миграцию и первоначально скопленные заряды-ионы окажутся изолированными на своих местах. В зависимости от толщины пленки, напряжения, при котором хранились образцы, и времени релаксации зарядов обратный ток на травленных и оксидированных образцах меняется во времени по-разному.

Адсорбированная пленка на поверхности образца, существующая во влажной атмосфере, по-видимому, является только причиной подвижности ионов под действием горизонтальной составляющей поля на поверхности. Иначе нельзя объяснить тот факт, что на травленных образцах до "критического" напряжения α понижается при выдержке образца под напряжением и при определенной повышенной влажности. Понижение α можно объяснить, имея в виду маленькую постоянную релаксацию у оксидной пленки на травленных торцах.

После "критического" напряжения на плохо протравленных образцах заметно увеличение α при выдержке под напряжением и повышенной влажности. Вероятно, причиной увеличения α являются локальные пробой и тепловой разогрев. При снятии шумовых характеристик на плохо протравленных образцах и на образцах с тонкой оксидной пленкой мелкие пробои наблюдались только в первом случае.

Экспериментальные результаты на рис. 1 и 2 показывают, что анодное ползание и последующее анодное оксидирование торцов кремниевых $p-i-n$ -детекторов является удачным методом защиты поверхности детектора от образования инверсионных слоев и каналов на поверхности в условиях повышенной влажности. Опыт показывает, что лучшими защитными свойствами обладает толстая оксидная пленка, протравленная сверху,

а анодное полирование является хорошим методом очистки поверхности торца от посторонних примесей и загрязнений.

Л и т е р а т у р а

1. M.M. Atalla, E.A. Tannenbaum, E.J. Scheibner. *Bell. Syst. Techn. J.*, 38, 749 (1959).
2. P.F. Schmidt, W. Michel, *J. Electrochem. Soc.*, 104, 230 (1957).
3. А.А. Конова, Б.П. Осипенко. Препринт ОИЯИ, 12-3429, Дубна 1967.
4. С.П. Маминова, Л.Л. Одынец. "Электрохимия" том. 2 вып. 3 (1966).
5. M.M. Atalla, A.R. Bray, R. Lindner. *Proc. IEE*, vol. 106, Part B Supplement n 17, 1130 (1959).
6. W. Schockley, H.J. Queisser, W.W. Hooper. *Phys. Rev. Letters*, vol. 11, N 11, (1963).

Рукопись поступила в издательский отдел
21 февраля 1968 года.

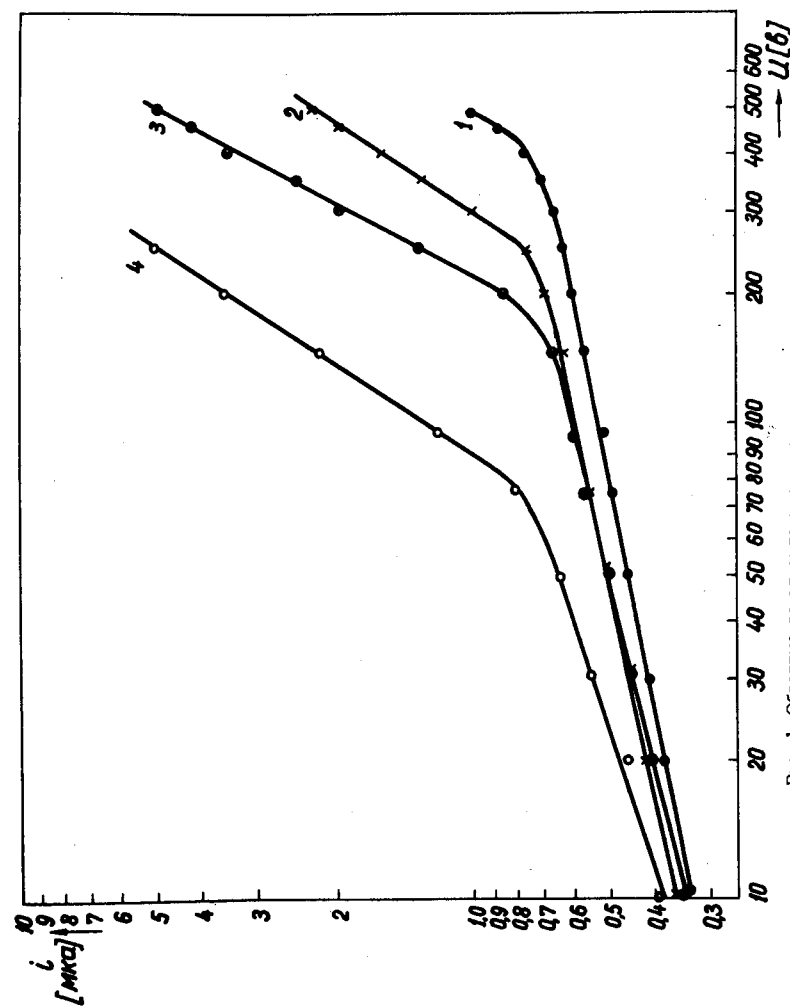


Рис. 1. Обратные вольт-амперные характеристики кремниевого р-р-р-детектора с травленным торцом. Кривая 1 - U = 150 В после 10 мин выдержки под напряжением в атмосфере с 2% влажностью, t = 17°C; кривая 2 - U = 150 В после 10 мин выдержки под напряжением в атмосфере с 32% влажностью, t = 17°C; кривая 3 - то же, что и кривая 2, но после травления образцов промывался водопроводной водой; кривая 4 - U = 50 В после 10 мин выдержки под напряжением в атмосфере с 86% влажностью.

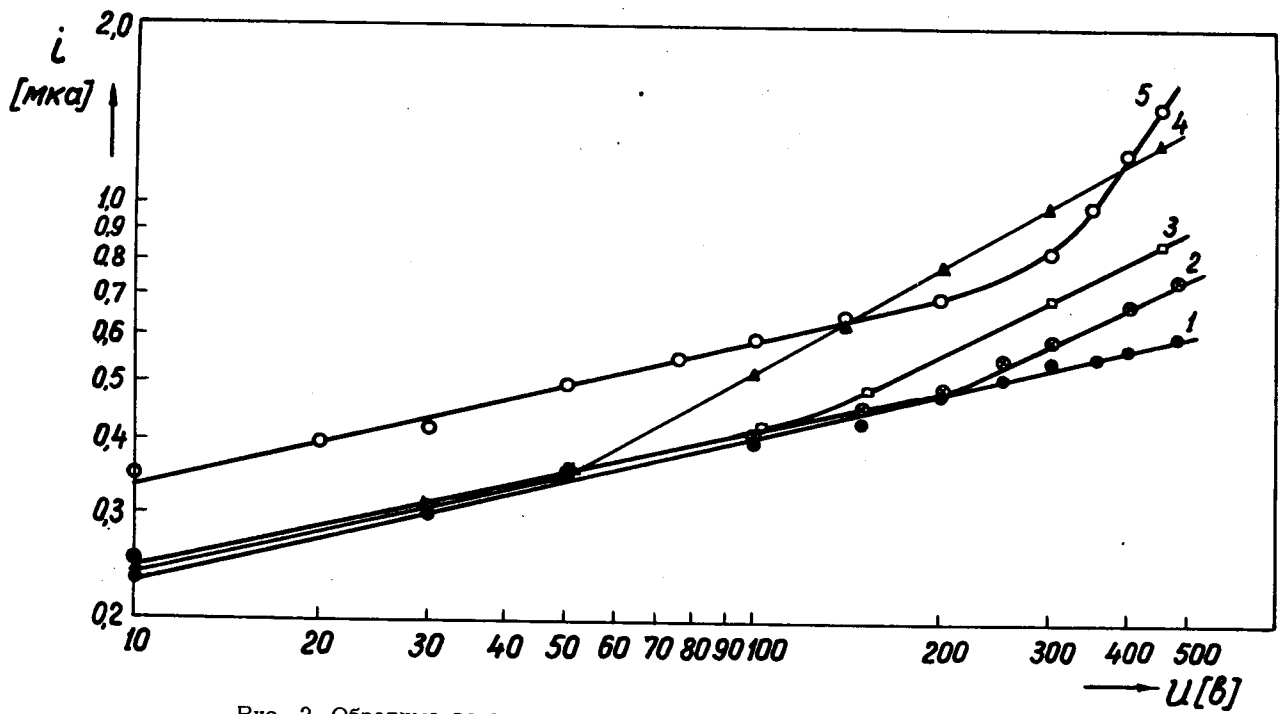


Рис. 2. Обратные вольт-амперные характеристики кремниевого p-i-n-детектора с анодно-оксидированным торцом. Кривая 1 - толстая оксидная пленка, протравленная сверху, $U = 150$ после 10 мин выдержки под напряжением в атмосфере с 2% влажностью; кривая 2 - то же, что и кривая 1, но в атмосфере с 88% влажностью; кривая 3 - то же, что и кривая 2, но после травления образец промывался водопроводной водой; кривая 4 - то же, что и кривая 2, но после оксидации образец не травился, промывался водопроводной водой; кривая 5 - травленный образец в атмосфере с 2% влажностью после выдержки 10 мин под напряжением 150 в.

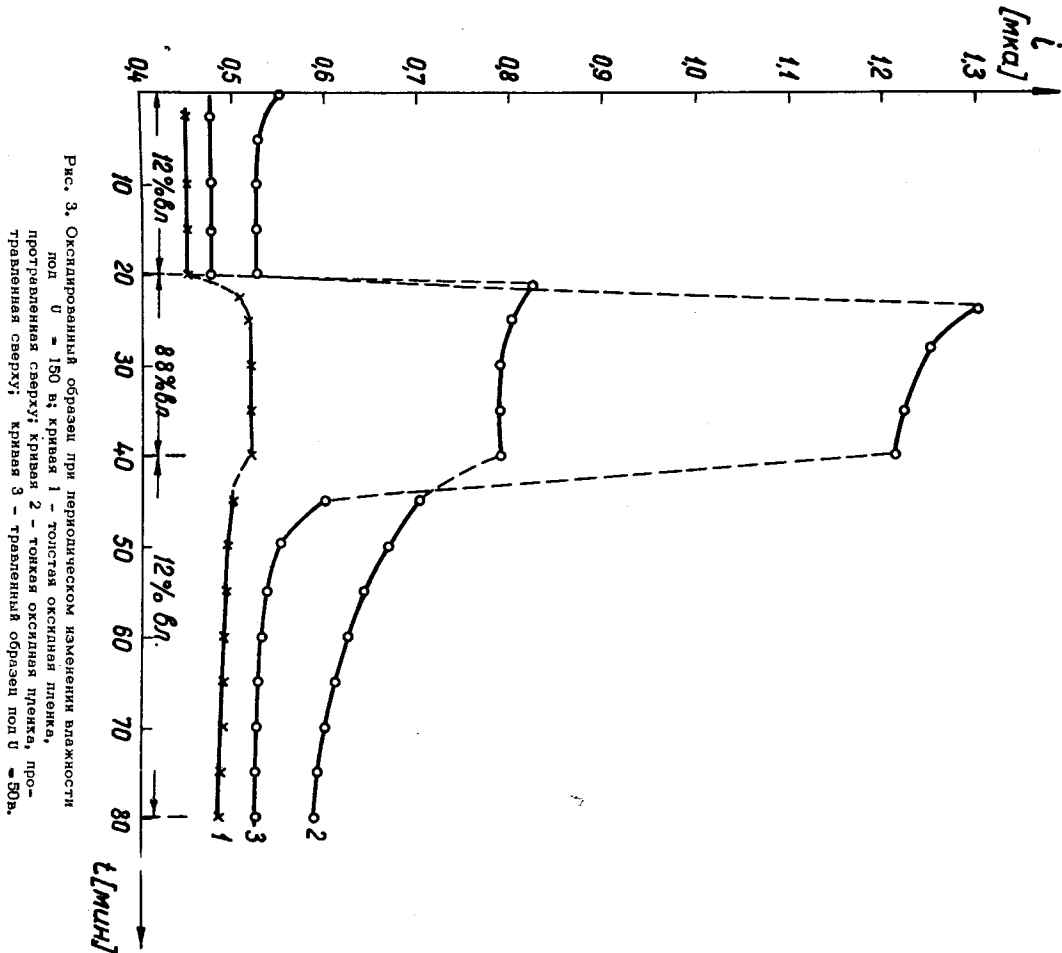


Рис. 3. Оксидированный образец при периодическом изменении влажности под $U = 150$ в; кривая 1 - толстая оксидная пленка, протравленная сверху; кривая 2 - тонкая оксидная пленка, протравленная сверху; кривая 3 - травленный образец под $U = 50$ в.

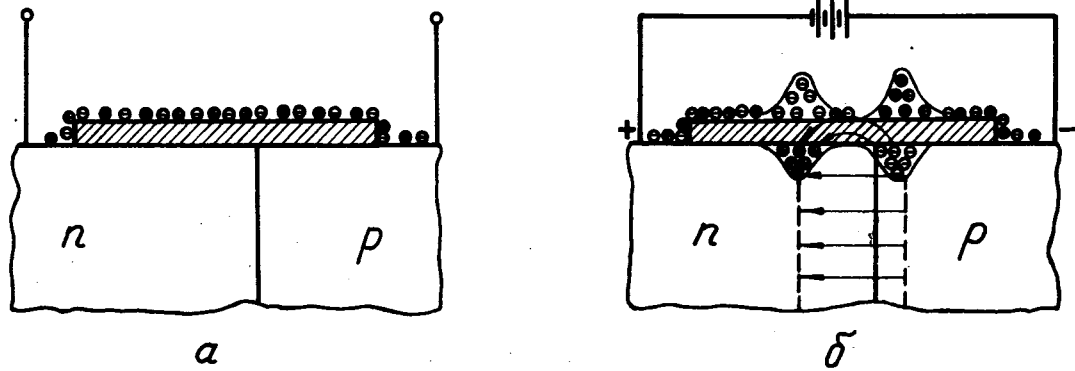


Рис. 4. Модель состояния поверхности оксидированного перехода; а - без напряжения во влажной атмосфере; б - при приложенном напряжении во влажной атмосфере.