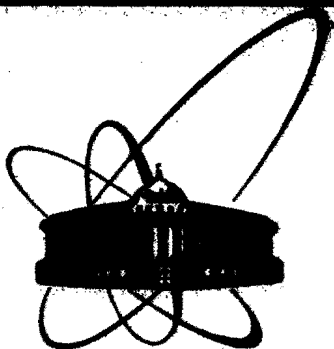


86-153



СООБЩЕНИЕ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

13-86-153

Е.Бельцаж, И.Брыловска*, М.Валериан,
В.М.Голиков, Л.Грубчин, И.Н.Егошин, Ю.Жук*,
Ким Чан Хван, Нгуен Тхань Хань, Б.П.Осипенко,
А.В.Ревенко, М.Трачек

ОКИСНЫЕ ПЛЕНКИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПЕРЕХОДОВ
КРЕМНИЕВЫХ ДЕТЕКТОРОВ
ОТ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

* Университет им. Марии Кюри - Склодовской,
Люблин, Польша

1986

В сложных экспериментальных установках не всегда можно создать благоприятные условия для работы полупроводниковых детекторов /ППД/, поэтому возникает необходимость повысить их надежность, сделать ее сравнимой с надежностью других радиоэлектронных элементов, работающих совместно с ППД.

Для этого необходимо:

- защитить переход ППД от влияния внешней среды;
- повысить надежность переходов и электрических вводов.

Стабильность параметров ППД в значительной степени определяется процессами, происходящими на поверхности в том месте, где открывается переход.

В реальных условиях поверхность кремния всегда окислена. Кроме того, на ней адсорбируются различные ионы. В результате валентные связи поверхностных атомов всегда оказываются заполненными. Обычно на поверхности существуют одновременно как донорные, так и акцепторные состояния. Преобладание того или иного типа зависит от условий окружающей среды. Окисные пленки на кремнии, образующиеся в обычных условиях, не имеют кристаллического строения, пористы, способны впитывать влагу и ионы различных металлов /1/.

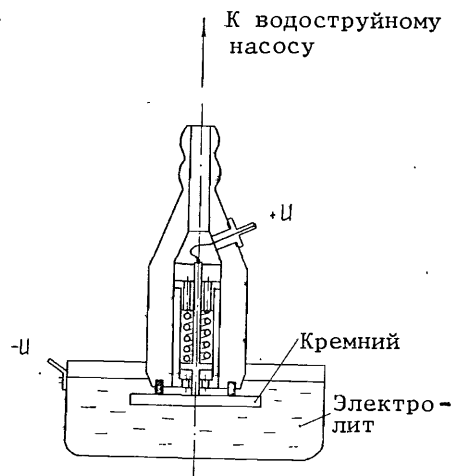
Цель данной работы - найти способ формирования пленок на поверхности кристалла кремния, уменьшающих вероятность образования поверхностных состояний и надежно защищающих переходы от влияния внешней среды.

ПОЛУЧЕНИЕ ОКИСНЫХ ПЛЕНОК, ИХ СВОЙСТВА

В процессе обработки кремниевых кристаллов при повышенной температуре в потоке кислорода удается создать плотную защитную пленку нелетучей двуокиси кремния толщиной от 500 до 5000 Å. Такая пленка аморфна по структуре, имеет диэлектрическую проницаемость $\epsilon = 4$ и удельное сопротивление порядка 10^{16} Ом·см. Медленные состояния на поверхности кремния, покрытой такой пленкой, практически отсутствуют /1/. Однако при изготовлении ППД термическая обработка выше 400°С нежелательна, т.к. приводит к ухудшению параметров исходного материала, а следовательно, к снижению качества изготовленных из этого материала ППД.

Электрохимическое окисление кремния не требует высокотемпературной обработки. В работах /2,3/ описан метод получения окисной пленки путем анодного окисления кремния в электролите из этиленгликоля с добавкой KNO_3 . Этот метод был взят нами

за основу. На рис.1 приведена схема установки для электрохимического окисления кремния. В качестве электролита использовался чистый этиленгликоль с добавкой 4 г KNO_3 на литр этиленгликоля. Удельное сопротивление используемого в работе кремния составляло от 200 до 50000 Ом·см. Электроды к кремниевым пластинам изготавливались путем напыления алюминия в вакууме. Толщина окисной пленки зависит от величины приложенного напряжения.



Для повышения плотности полученной окисной пленки и упорядочения ее структуры необходимо проводить термическую обработку. Для наших условий оказался оптимальным отжиг в атмосфере воздуха при температуре $400^\circ C$ в течение двух часов. Полученные таким образом окисные пленки имеют толщину от 900 до 1500 Å для разных образцов; диэлектрическая проницаемость $3,2 \div 3,5$, плотность подвижных зарядов $2 \div 4 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-2}$, напряженное пробоя $> 10^7 \text{ В/см}$.

Для повышения плотности полученной окисной пленки и упорядочения ее структуры необходимо проводить термическую обработку. Для наших условий оказался оптимальным отжиг в атмосфере воздуха при температуре $400^\circ C$ в течение двух часов. Полученные таким образом окисные пленки имеют толщину от 900 до 1500 Å для разных образцов; диэлектрическая проницаемость $3,2 \div 3,5$, плотность подвижных зарядов $2 \div 4 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-2}$, напряженное пробоя $> 10^7 \text{ В/см}$.

Рис.1. Схема установки для электрохимического окисления кремниевых пластин.

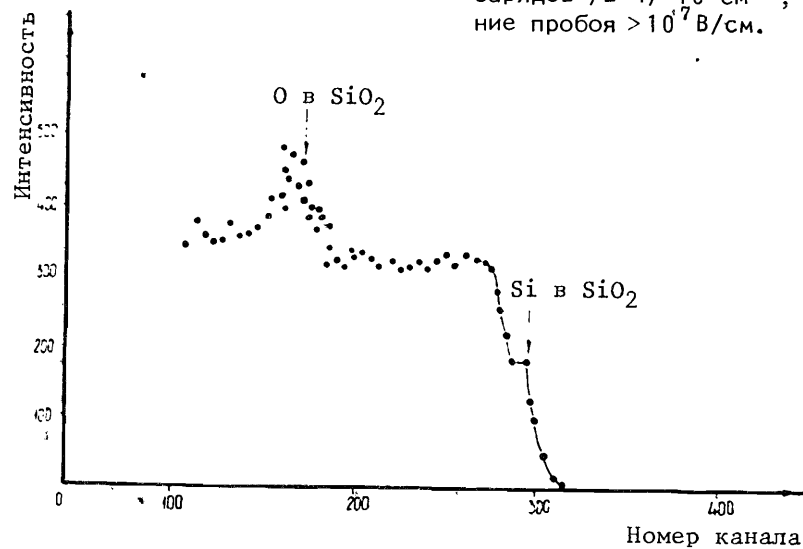


Рис.2. Спектр обратного рассеяния α -частиц при облучении окисной пленки α -частицами с энергией 2,5 МэВ под углом 135° .

Для определения свойств пленки использовались метод обратного рассеяния α -частиц (RBS) и метод вольт-фарадных характеристик. Состав окисных пленок определялся из спектров RBS, полученных при облучении окисных пленок α -частицами с энергией 2,5 МэВ под углом 135° на электростатическом ускорителе Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ. Анализ спектров проводился аналогично тому, как описано в [4]. Обработка спектров показала, что отношение атомов кислорода к атомам кремния в исследуемых пленках близко к двум. Для иллюстрации на рис.2 приведен спектр RBS.

Результаты данной работы показывают, что окисные пленки, полученные путем электрохимического окисления, после соответствующей термической обработки с успехом могут быть использованы для изготовления кремниевых ППД с защитными переходами.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТЕКТОРОВ С ЗАЩИТНОЙ ОКИСНОЙ ПЛЕНКОЙ, ИХ СВОЙСТВА

Защитные свойства окисных пленок, полученных путем электрохимического окисления исходного кремния, проверялись на поверхностно-барьерных детекторах.

Технология изготовления детекторов традиционная. Отметим лишь те операции, которые появились в результате использования кремниевых заготовок с окисленной поверхностью. Используемый кремний n -типа имел удельное сопротивление от 200 до 500 Ом·см. Рабочая поверхность детекторов с окисленной поверхностью и без нее /контрольные/ составляла $0,5 \text{ см}^2$.

После окисления заготовки кремния тщательно отмывались в деионизированной воде и отжигались. Окисленная поверхность образца защищалась кислотостойкой лентой с тонким липким покрытием, в которой вырезалось "окно" диаметром 8 мм. Окисная пленка вытравливалась в "окне" с помощью смеси плавиковой кислоты с водой /1:30/, и проводилось короткое /несколько секунд/ травление вскрытого "окна" в стандартном травителе с целью формирования нужной поверхности. После соответствующей выдержки, не снимая защитного кислотостойкого покрытия, на травленую поверхность напыляли золото, защитное покрытие снимали после предварительного отмачивания в чистом этиловом спирте. Полученные таким образом детекторы имели энергетическое разрешение от 16 до 20 кэВ для α -частиц 5,5 МэВ. Одновременно, в одинаковых условиях, было изготовлено несколько контрольных образцов, которые имели характеристики, аналогичные детекторам с защитным покрытием. Для иллюстрации на рис.3,4 приведены наиболее типичные характеристики изготовленных детекторов как с окисной пленкой /рис.3/, так и без нее /рис.4/.

Для проверки стабильности детекторы с окисной пленкой и контрольные помещались в эксикатор, в котором вместо силикогеля находилась вода, и выдерживались 48 часов. После сушки струей сухого воздуха измерялись вольт-амперные характеристики, и энерге-

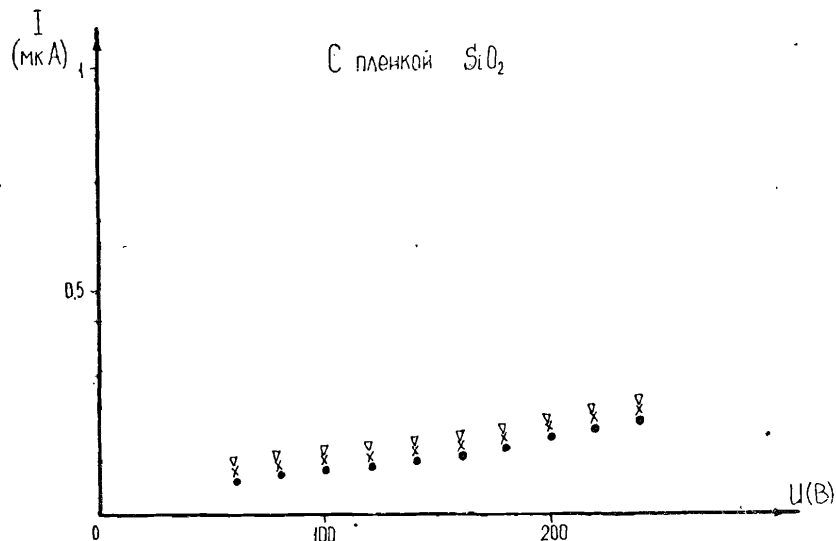


Рис.3. Вольт-амперные характеристики поверхностно-барьерного детектора с защитной окисной пленкой, снятые: x - через 24 ч после изготовления, • - через 6 месяцев и ∇ - после хранения во влажной атмосфере.

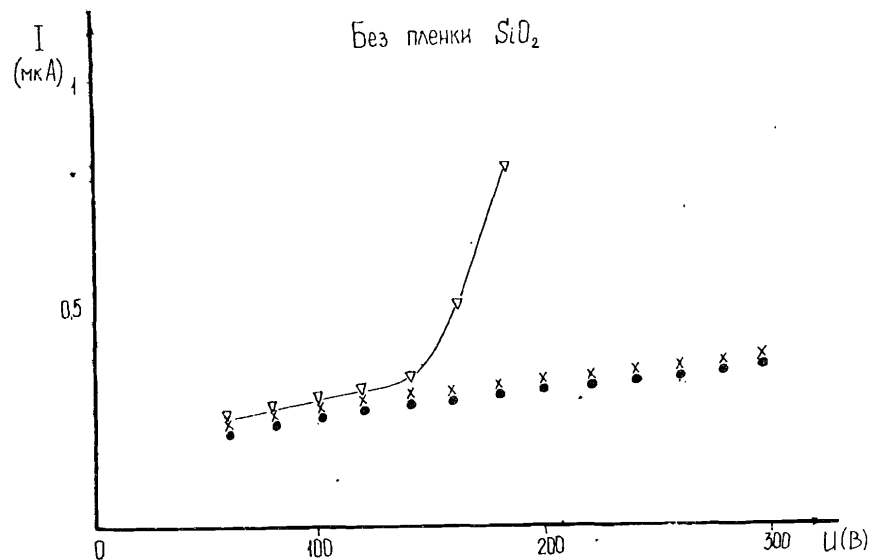


Рис.4. Вольт-амперные характеристики поверхностно-барьерного детектора без защитной окисной пленки, снятые: x - через 24 ч после изготовления, • - через 6 месяцев и ∇ - после хранения во влажной атмосфере.

тическое разрешение. Детекторы с окисной пленкой сохранили свои характеристики, контрольные - сильно ухудшили. Результаты измерений одной партии приведены на рис.5.

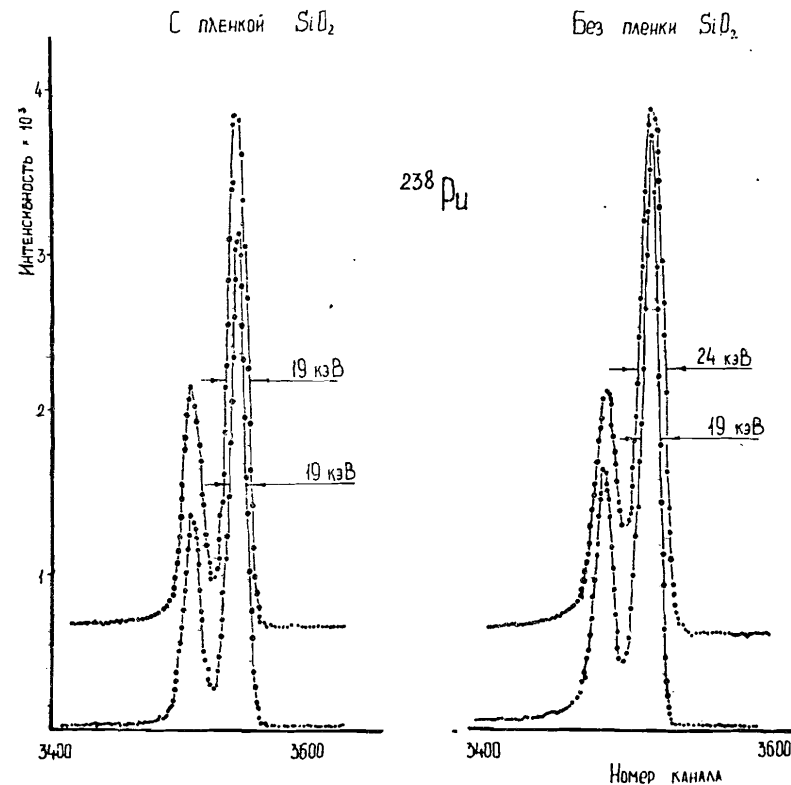


Рис.5. Энергетические спектры α -частиц ^{238}Pu , снятые с помощью детекторов с защитной окисной пленкой и без нее. Нижний спектр снят сразу после изготовления детектора, верхний - через 6 месяцев при хранении во влажной атмосфере.

Образцы, которые проходили испытание на длительное хранение в обычных комнатных условиях, показали хорошие результаты. После шестимесячного хранения образцы с защитной окисной пленкой полностью сохранили свои первоначальные характеристики, контрольные - ухудшили энергетическое разрешение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные результаты подтверждают, что окисная пленка на кремнии, полученная электрохимическим путем, после термической обработки может быть с успехом использована при изготовлении детекторов для их защиты от влияния внешней среды. Для формирования таких пленок не требуется сложного оборудования.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить искреннюю благодарность Осетинскому Г.М. и его сотрудникам за оказанное содействие и помощь в облучении α -частицами образцов кремния с окисными пленками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федотов Я.А. Основы физики полупроводниковых приборов. "Советское радио", М., 1969.
2. Duffet E.F., Benjamini E.A., Mylroie G. Electrochem. Technology, 1965, 3, p.75.
3. Jain G.C., Prasad A., Chakravarty B.C. J. Electrochem Soc., 1979, 126, p.89.
4. Chu W.K., Mayer J.W. Backscattering Spectrometry, New York, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 марта 1986 года.

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

| Индекс | Тематика |
|--------|--|
| 1. | Экспериментальная физика высоких энергий |
| 2. | Теоретическая физика высоких энергий |
| 3. | Экспериментальная нейтронная физика |
| 4. | Теоретическая физика низких энергий |
| 5. | Математика |
| 6. | Ядерная спектроскопия и радиохимия |
| 7. | Физика тяжелых ионов |
| 8. | Криогеника |
| 9. | Ускорители |
| 10. | Автоматизация обработки экспериментальных данных |
| 11. | Вычислительная математика и техника |
| 12. | Химия |
| 13. | Техника физического эксперимента |
| 14. | Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами |
| 15. | Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях |
| 16. | Дозиметрия и физика защиты |
| 17. | Теория конденсированного состояния |
| 18. | Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники |
| 19. | Биофизика. |

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

| | | |
|---------------|--|-------------|
| D17-81-758 | Труды II-Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981. | 5 р. 40 к. |
| P18-82-117 | Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981. | 3 р. 80 к. |
| D2-82-568 | Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982. | 1 р. 75 к. |
| D9-82-664 | Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982. | 3 р. 30 к. |
| D3,4-82-704 | Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982. | 5 р. 00 к. |
| D11-83-511 | Труды совещания по системам и методам, аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982. | 2 р. 50 к. |
| D7-83-644 | Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983. | 6 р. 55 к. |
| D2,13-83-689 | Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983. | 2 р. 00 к. |
| D13-84-63 | Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия. 1983. | 4 р. 50 к. |
| D2-84-366 | Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984. | 4 р. 30 к. |
| D1,2-84-599 | Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984. | 5 р. 50 к. |
| D17-84-850 | Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/ | 7 р. 75 к. |
| D10,11-84-818 | Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983 | 3 р. 50 к. |
| | Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984 /2 тома/ | 13 р. 50 к. |
| D4-85-851 | Труды Международной школы по структуре ядра, Алушта, 1985. | 3 р. 75 к. |

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Бельцак Е. и др.

13-86-153

Оксидные пленки для защиты переходов кремниевых детекторов от влияния внешней среды

Показано, что для защиты кремниевых детекторов ядерных излучений можно использовать оксидные пленки, полученные путем электрохимического окисления поверхности кремния с последующим низкотемпературным отжигом. Такие оксидные пленки имеют характеристики, близкие к параметрам оксидных пленок, полученных в результате обработки кремниевых заготовок при повышенной температуре в потоке кислорода. Для определения свойств оксидных пленок, полученных путем электрохимического окисления, использовались метод обратного рассеяния α -частиц и метод вольт-фарадных характеристик. Защитные свойства таких пленок проверялись на поверхности-барьерных детекторах. Испытание поверхности-барьерных детекторов с защитной оксидной пленкой показало, что они сохранили свои характеристики в процессе длительного хранения в комнатных условиях и при хранении их во влажной атмосфере. Детекторы без защитной пленки значительно ухудшили свои характеристики.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Beltsash E. et al.

13-86-153

Oxide Layers for Silicon Detector Protection Against Environment Effects

It is shown that for protection of silicon detectors of nuclear radiations oxide layers could be used produced by electrochemical oxidation of silicon surface with the following low-temperature annealing. These layers have characteristics similar to those for oxide layers produced by treatment of silicon samples at elevated temperature in oxygen flux. To determine properties of oxide layers produced by electrochemical oxidation the α -particle back-scattering method and the method of volt-farad characteristics were used. Protection properties of such layers were checked on the surface-barrier detectors. It was shown that protection properties of such detectors were conserved during long storage at room temperature and during their storage under wet-bulb temperature. Detectors without protection layer have worsened their characteristics.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986