

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени М.В.Ломоносова

Для служебного пользования

Экз. № 117

С.Г. БЕЛИЦКАЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ ОКИСЛЕНИЯ КРЕМНИЯ В
СВЯЗИ С ЗАЩИТОЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель -
доктор химических наук
профессор И.Л. РОЙХ

Одесса - 1967

Автореферат
543

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени М.В.Ломоносова

Для служебного пользования

Экз. № 117

С.Г. БЕЛИЦКАЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ ОКИСЛЕНИЯ КРЕМНИЯ В
СВЯЗИ С ЗАЩИТОЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ОНАХТ 29.09.10

Исследование окислен



v017888

017888

ический

сова

Научный руководитель -
доктор химических наук
профессор И.Л. РОЙХ

БИБЛИОТЕКА

Сдесса - 1967

Одесский технологический институт имени М.В.Ломоносова направляет Вам для ознакомления автореферат диссертационной работы С.Г.Белицкой на тему „Исследование окисления кремния в связи с защитой полупроводниковых приборов“, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Защита состоится , 22 - сентября 1987 года.

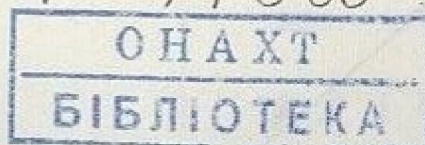
Ваши отзывы и замечания в 2-х экземплярах просим направлять по адресу: г. Одесса, ул. Свердлова, 112, Одесский технологический институт.

Работа выполнена в Одесском технологическом институте имени М.В.Ломоносова.

Ученый секретарь Совета

Л.А.ЗАПОРОЖЕЦ

✓ 017888



Характерной чертой развития техники на современном этапе является массовый переход на автоматизацию производственных процессов и как следствие — расширение областей применения и усложнение радиоэлектронной аппаратуры. Широкое развитие получила полупроводниковая электроника. С помощью полупроводниковых приборов можно по новому решать целый ряд задач современной техники, получать малогабаритные, надежные и долговечные установки и устройства. Особенно остро вопрос о надежности и стабильности работы приборов стоит в связи с использованием их в современных электронных вычислительных машинах, сложных автоматических системах, спутниках связи, электронной аппаратуре боевых ракет и космических кораблей.

Многие свойства полупроводниковых приборов связаны с процессами, протекающими на их поверхности. Если не изолировать поверхность от влияния внешней среды, то происходящие на ней непрерывно химические реакции и процессы адсорбции — десорбции будут приводить к изменению поверхностного заряда, образованию инверсионных слоев, понижению напряжения пробоя, нестабильности параметров прибора и появлению избыточных шумов. Адсорбированная на поверхности влага приводит к увеличению обратных токов и их дрейфу во времени.

Одним из основных направлений в создании стабильных полупроводниковых приборов является создание на поверхности полупроводника тонкого защитного слоя.

Основной задачей данной работы являлось исследование поведения реальной поверхности монокристаллов кремния при экспозиции на воздухе и выяснение факторов, вызывающих нестабильность поверхности в этих условиях.

Вторая часть работы посвящена выяснению оптимальных условий нанесения защитных покрытий из окислов крем-

ния при низкой температуре.

I. Оптический поляризационный метод исследования реальной поверхности кремния

Основным методом исследования роста поверхностных пленок на кремнии в настоящей работе являлся оптический поляризационный метод. Он основан на изучении эллиптической поляризации света, отраженного от исследуемой поверхности. Если луч монохроматического света, поляризованный в плоскости под углом 45° к плоскости падения, падает на поверхность полупроводника, то две составляющие, на которые он разлагается в плоскостях, параллельной и перпендикулярной плоскости падения, претерпевают различное отставание фаз и уменьшение амплитуды при отражении, т.е. свет становится эллиптически поляризованным. Отношение коэффициентов отражения этих составляющих 2ψ и разность фаз Δ между ними зависят от угла падения света, оптических констант подложки, толщины и оптических констант пленки на поверхности. Параметры 2ψ и Δ чистой поверхности полупроводника и поверхности, покрытой пленкой, можно экспериментально определить. Расчет толщины поверхностной пленки проводился по формулам Арчера. Применение электронного фотометра для регистрации сигнала позволило значительно повысить точность измерения.

Возможность определять кинетику изменения толщины поверхностных пленок с точностью до единиц ангстрем делает эллипсометрический метод очень ценным при исследовании поверхностных пленок на полупроводниках.

II. Фотографический метод изучения атмосферной коррозии кремния

Параллельно с оптическим поляризационным методом для исследования ранних стадий роста поверхностной пленки на шлифованной поверхности кремния использовался высокочувствительный фотографический метод. Было обнаружено, что свежезачищенная поверхность кремния при экспозиции на

воздухе вызывает почернение предварительно гиперсенсibilизированной фотопластинки. Оптическая плотность почернения D зависит от времени экспозиции образца. Наиболее чувствительные микрохимические реакции на H_2O_2 позволили обнаружить перекись водорода на свежезачищенной поверхности кремния:

а) после полуторачасовой экспозиции образца на фильтровальной бумаге, смоченной спиртовым раствором гваяковой смолы и солодовым экстрактом, наблюдалось характерное для H_2O_2 окрашивание в голубой цвет;

б) реакция со смесью одинаковых объемов 0,4% раствора хлорного железа и 0,8% раствора ферроцианида калия дала яркое синее окрашивание после 10-секундной экспозиции;

в) аналогичная реакция с феррицианидом калия привела к отбеливанию смоченной фильтровальной бумаги;

г) коричневая окраска отфиксированной фотобумаги, предварительно пропитанной 0,05% раствором уксуснокислого свинца и сероводородом, заметно посветлела после 30-минутного пребывания на ней кремния.

Предполагается, что фотографическое действие кремния обусловлено H_2O_2 . По разработанному в нашей лаборатории методу оптическая плотность почернения фотопластинки D была пересчитана в абсолютное количество H_2O_2 , выделяемой при экспозиции кремния на воздухе. Однако не все молекулы H_2O_2 успевают десорбироваться и могут быть зафиксированы фотографическим методом. Для выяснения доли выделяющейся H_2O_2 от общего количества образующейся исследовалось разложение паров перекиси водорода на свежезачищенной поверхности кремния. Как показали наши опыты, поверхность кремния разлагает 98,2% адсорбированной H_2O_2 . Причем, процент разложения паров перекиси водорода несколько выше у кремния п-типа, чем у кремния р-типа. Таким образом, установлено, что атмосферное окисление кремния, подобно металлам, сопровождается образованием перекиси водорода и значительным ее разложением на поверхности.

III. Влияние внешних условий на рост поверхностной пленки

Одним из серьезных вопросов технологии полупроводникового производства является исследование поведения реальной поверхности монокристаллов кремния при экспозиции на воздухе. Так, при изготовлении кремниевых диодов между моментом окончания предварительной обработки кремниевой пластины и сплавлением п-р перехода пластина может некоторое время находиться на воздухе. При этом поверхность ее не остается неизменной, она покрывается пленкой, параметры которой зависят от условий окружающей среды. На поверхности адсорбируется влага, которая изменяет свойства поверхности и резко ухудшает параметры приборов. Параметры поверхности изменяются также вследствие химического окисления кремния кислородом воздуха, кроме того, возможно протекание электрохимической реакции в тонкой пленке адсорбированной влаги. За счет гетерогенности поверхности на границе раздела твердое тело — электролит могут протекать 2 реакции — анодная и катодная. Предполагается, что коррозия кремния под очень тонкой пленкой влаги при обычной влажности воздуха идет в соответствии со смешанным катодно-анодно-омическим контролем.

Перед исследованием процесса окисления поверхность монокристаллов кремния, ориентированная в плоскости (111), подвергалась предварительной обработке. После механической и химической обработки образцы промерялись на гониометре, определялись начальные значения Δ и 2ψ для травленной поверхности. Толщина начальной пленки составляла 30–40 Å. Затем образцы помещались в предварительно заряженные эксикаторы с влажностью $H = 0\%, 30\%, 50\%, 70\%, 90\%$ и 98% . В атмосфере с резко пониженной влажностью ($P_{H_2O} \sim 2 \cdot 10^{-5}$ тор) скорость роста пленки очень мала. Окисление подчиняется логарифмическому закону: $\delta L = a + b \lg t$. Адсорбционные свойства такой пленки не меняются с ростом ее толщины. С ростом влажности увеличивается толщина окисной пленки L_1 и пленки физически адсорбированной влаги L_2 . Для определения толщины каждого из слоев в отдельности

выведены формулы расчета толщин двухслойных пленок, для которых экспериментально определялись параметры эллиптической поляризации отраженного света. Получена система двух уравнений с двумя неизвестными:

$$\Delta - \bar{\Delta} = \frac{M\alpha + K\gamma}{K^2 + \alpha^2}$$

$$\Psi - \bar{\Psi} = \left(\frac{MK - N\alpha}{K^2 + \alpha^2} - 1 \right) \cdot 2 \sin 2\bar{\Psi},$$

которая может быть решена относительно L_1 и L_2 .

По измеренным значениям $\Delta - \bar{\Delta}$ были рассчитаны толщины слоев и построены изотермы адсорбции для образцов кремния, экспонировавшихся при определенной влажности, и кривые зависимости толщины слоя окисла от влажности воздуха для тех же образцов.

На основании приведенной изотермы адсорбции можно сделать вывод, что при экспозиции реальной поверхности кремния на воздухе имеет место значительная адсорбция паров воды. Количество адсорбированной влаги составляет порядка 30 монослоев при влажности окружающего воздуха 98%.

Рост пленки окисла в значительной степени определяется влажностью окружающего воздуха. Это позволяет предположить, что коррозия кремния протекает одновременно по химическому и электрохимическому механизмам. С повышением влажности роль второго механизма должна возрастать.

С повышением температуры увеличивается скорость роста поверхностной пленки.

1У. Зависимость роста поверхностной пленки от параметров кремния

Для выяснения влияния удельного сопротивления на поведение свежепротравленной поверхности кремния при экспозиции на воздухе была изучена кинетика роста поверхностной пленки на кремнии п-типа с удельным сопротивлением 2,5 Ом.см;

15 ом.см; 210 ом.см и на кремнии р-типа с $\rho = 0,4$ ом.см и 12 ком.см. Резкого различия в поведении образцов с различным удельным сопротивлением не обнаружено.

Скорость процесса несколько выше в случае образцов п-типа. Это можно объяснить наличием катодного контроля реакции. Проведенное измерение работы выхода показало, что на кремнии р-типа работа выхода на 0,04 эв выше, чем на кремнии п-типа. Возможно, катодная стадия процесса идет с участием свободных электронов.

Исследовалось также влияние плотности дислокаций на рассматриваемый процесс. Известно, что с кристаллографическими дефектами, в частности, дислокациями связана избыточная энергия. Поэтому следует ожидать, что энергия активации адсорбции и коррозии в местах выхода дислокаций на поверхность окажется ниже, чем на поверхности совершенного кристалла.

Была изучена кинетика роста поверхностной пленки на образцах с $N_D = 8 \cdot 10^3$ см⁻² и $3 \cdot 10^5$ см⁻². Плотность дислокаций определялась путем подсчета ямок травления. Как и предполагалось, скорость роста поверхностной пленки на образцах с большей плотностью дислокаций выше.

У. Действие излучений на монокристаллы кремния

Изучалось влияние радиационных дефектов, возникающих при гамма-облучении кремния на скорость роста поверхностных пленок. Источником гамма-квантов служил Co^{60} с интенсивностью $2,5 \times 10^4$ рентген/час. Исследование проводилось на монокристаллах кремния п-типа, выращенных по методу Чохральского в гелиевой среде. Помимо легирующей примеси (фосфор), образцы содержали кислород $N_O = 8 \cdot 10^{17}$ см⁻³. В условиях опыта (энергия гамма-квантов порядка 1,17 - 1,33 мэв) основную роль играют точечные дефекты Френкеля (вакансия - атом в междоузлии), возникающие под действием комптоновских электронов. При комнатной температуре обра-

зуются устойчивые комплексы вакансий с примесями, так называемый А-центр с энергией $E_c - 0,17$ эв и ξ -центр с энергией $E_c - 0,40$ эв. Положение указанных акцепторных уровней не зависит от интенсивности источника и интегральной дозы облучения. Доза облучения варьировалась от 3 до 70 млн рентген. Для максимальной интегральной дозы облучения, как показали измерения эффекта Холла, уменьшение концентрации свободных электронов $\frac{\Delta n}{n}$ составило 26%. Измерение работы выхода на облученных и контрольных образцах показало, что с ростом дозы облучения растет работа выхода исследуемых образцов.

После облучения образцы подвергались механической и химической обработке с тем, чтобы снять поверхностный слой кристалла. Затем проводилось исследование роста поверхностной пленки. По мере увеличения дозы облучения скорость роста пленки уменьшалась. Двухстадийный отжиг радиационных дефектов в вакууме показал, что центры обоих типов ответственны за торможение процесса. При малых дозах сильнее сказывается влияние ξ -центров. С ростом дозы увеличивается роль А-центров в процессе торможения.

Замедление процесса роста поверхностной пленки с ростом поверхностного потенциала и понижением уровня Ферми свидетельствует о том, что одной из лимитирующих стадий процесса является катодная стадия, протекает она на кремнии п-типа с участием электронов зоны проводимости.

Исследовалось также влияние ультрафиолета (энергия кванта 3,96–4,68 эв) на поведение реальной поверхности кремния в атмосферных условиях. Рост толщины поверхностной пленки регистрировался оптическим поляризационным гониометром. Освещение кремния ультрафиолетом приводило к снижению скорости роста поверхностной пленки. При этом эффект выражен резко на образцах р-типа. Измерения контактной разности потенциалов показали, что на облученных образцах работа выхода увеличивается. Наблюдаемое уменьшение скорости роста поверхностной пленки при освещении может быть объяснено фотодесорбцией молекул воды. Кроме

того, под действием ультрафиолета происходит фотодиссоциация связи Si-OH и возникающие на поверхности ненасыщенные валентности становятся центрами адсорбции для молекул кислорода. Адсорбированные молекулы присоединяют электроны и переходят в заряженное состояние O_2^- . Поверхность образца при этом заряжается отрицательно, работа выхода увеличивается.

На образцах кремния p -типа, подвергавшихся предварительному гамма-облучению, наблюдалось изменение знака фотоадсорбционного эффекта. Наблюдаемый эффект по знаку и величине совпадает с выводами теории фотоадсорбционного эффекта на полупроводниках.

У1. Защита p - n переходов химически выращенными пленками окисла

Во второй части работы рассмотрены два метода нанесения защитных покрытий на полупроводниковые приборы: химическое окисление и нанесение пленок SiO_2 в аргоно-кислородной плазме.

Химическое окисление позволяет получать тонкие пленки окисла при температурах $100-120^\circ\text{C}$. После предварительной механической и химической обработки кристаллы кремния травялись в смеси кислот $\text{HF} : \text{HNO}_3 = 1:1$, а затем в кипящей 10% или 30% азотной кислоте. Затем следовала тщательная промывка и сушка в вакууме при $p = 1 \cdot 10^{-3}$ тор и $t = 180^\circ\text{C}$ в течение трех часов. Толщина поверхностной пленки после каждого этапа обработки контролировалась оптическим поляризационным методом. Общее изменение параметров эллиптической поляризации отраженного света в результате окисления соответствовало $L = 170-200 \text{ \AA}$. Испытания МОП-структуры на пробой указывают на малую пористость пленки. Повышение концентрации азотной кислоты от 10% до 30% очень мало сказалось на толщине пленки. Понижение начальной температуры смеси кислот уменьшает разброс значений δL от образца к образцу. Оптимальное время травления в смеси кислот 15 секунд, в азотной кисло-

те - 1 минута. Химическое окисление успешно применяется для пассивации поверхности кремниевых приборов.

У II. Катодное распыление кремния с реакцией

Одним из перспективных методов нанесения защитных покрытий на полупроводники является катодное распыление кремния в аргоно-кислородной плазме. Сущность метода заключается в распылении катода ионизированными молекулами газа, при этом часть выбитых из катода атомов оседает на подложке, служащей анодом. Реакционный газ (смесь аргона с кислородом) вводится в камеру для получения окисной пленки. Этим методом можно наносить защитные пленки на любые материалы, процесс нанесения пленки происходит при достаточно низких температурах ($150-200^{\circ}\text{C}$).

В работе использовалась диодная схема реактивного распыления кремния в атмосфере кислорода. Была создана экспериментальная установка, состоящая из рабочей камеры, в которой осуществлялось напыление; шлюзовой камеры предназначенной для предварительного обезгаживания образцов перед подачей в рабочий объем; магнитных катушек для фокусировки плазмы; системы подачи и осушки газовой смеси. Напыление окисных пленок проводилось на кремниевые пластины. Контроль качества предварительной обработки поверхности образцов проводился на оптическом поляризационном гониометре.

Были сняты вольт-амперные характеристики разряда для всех режимов напыления, определялось положение границы темного катодного пространства.

У III. Методика измерения параметров напыляемых пленок и результаты исследований

Для измерения толщины пленок, нанесенных методом катодного распыления с реакцией применялся интерференционный метод, поскольку измеряемые толщины лежали в интервале $1000-10000 \text{ \AA}$.

Измерения проводились на каждом образце дважды: на металлизированной и неметаллизированной поверхностях окисла. Это позволяло определять значение показателя преломления пленки. Травление исследуемых пленок проводилось в стандартном P-травителе. Известно, что скорость растворения зависит от способа получения окисла, так как она определяется стехиометрическим составом, пористостью, наличием примесей и внутренних напряжений в пленке. Наиболее качественные пленки SiO_2 имеют низкую скорость травления $V_{\text{тр}} = 2 \text{ \AA}/\text{сек}$. В наших опытах $V_{\text{тр}}$ изменялась от 2 до $4,8 \text{ \AA}/\text{сек}$.

Для обнаружения пор использовался электрохимический метод осаждения меди в порах и проверка МОП-структур на пробой. Ни один из указанных методов не позволил обнаружить поры в исследуемых пленках. Низкое значение $V_{\text{тр}}$ также свидетельствует об очень малой пористости образцов.

Рентгеноструктурный анализ показал, что полученные окисные пленки аморфны; на отдельных рентгенограммах наблюдались линии, соответствующие кристаллической SiO_2 . Исследованы зависимость скорости нанесения покрытия от положения напыляемой пластины по отношению к границе темного катодного пространства, от давления газа, плотности разрядного тока и состава газовой смеси. Изучена зависимость толщины нанесенной пленки от времени катодного распыления для двух составов газа $40\% \text{ N}_2 + 60\% \text{ O}_2$ и $100\% \text{ O}_2$ при $p = 5 \cdot 10^{-2}$ тор, $i = 1,0 \text{ ма}/\text{см}^2$, $U = 1200 \text{ в}$. В условиях эксперимента предельного значения L не получено. Скорость максимальна в первый час напыления, затем уменьшается.

При всех режимах напыления температура подложки не превышала $170 - 200^\circ\text{C}$. Проведенные исследования показали, что пленки SiO_2 , полученные методом катодного распыления с реакцией обладают рядом ценных качеств. Поэтому целесообразно было проверить возможность стабилизации поверхности полупроводниковых приборов покрытиями из SiO_2 , полученными указанным методом. Это было выполнено для

триодных тиристорных структур.

Исследовались температурные зависимости основных параметров структуры: напряжения переключения $U_{пер}$, прямой ток утечки $J_{ут}$, обратный ток утечки $J_{ут.обр}$. Изучение этих параметров проводилось в диапазоне температур 25–150°C. Кроме того, исследовалась стабильность тиристоров в „ждущем“ режиме. Испытания проводились при подаче прямого напряжения 80 в. Время испытаний 100 часов. Испытания проводились дважды при температуре + 100°C и + 120°C. Во всех случаях температура корпуса поддерживалась постоянной с точностью $\pm 3^\circ\text{C}$ с помощью тепловой панели. Установлено, что использование защитных покрытий из SiO_2 позволяет расширить температурный диапазон тиристорных структур, изготовленных методом сплавления-диффузии, до +120°C без каких-либо существенных изменений технологического процесса на предыдущих и последующих этапах. Значительно выше стабильность тиристорных структур защищенных SiO_2 при испытаниях в „ждущем“ режиме при +120°C.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. В данной работе проведено исследование поведения реальной поверхности монокристаллов кремния при экспозиции на воздухе и выяснение факторов, вызывающих нестабильность поверхности в условиях эксперимента. Основным методом исследования роста поверхностных пленок на кремнии в настоящей работе являлся оптический поляризационный метод. В некоторых случаях параллельно использовались другие методы: высокочувствительный фотографический метод, определение кривизны методом вибрирующего электрода, исследование МОП-структур и др.

2. Впервые установлено фотографическое действие шлифованной поверхности кремния на предварительно гиперсен-

сенсибилизированный фотослой. С помощью микрохимических реакций на перекись водорода доказано выделение H_2O_2 при экспозиции кремния на воздухе. Предполагается, что фотографическое действие кремния обусловлено выделением H_2O_2 .

3. Изучена кинетика окисления реальной поверхности кремния в атмосфере с резко пониженной влажностью. Рост пленки подчиняется логарифмическому закону $\delta L = a + b \lg t$, что хорошо согласуется с теорией Кабрера-Мотта. Экспозиция окисленной поверхности во влажной атмосфере приводит к значительной адсорбции влаги. Причем, гидратированные пленки окисла обладают большей адсорбционной способностью.

4. Выведены формулы для расчета толщины 2-х слойной пленки для случая физически адсорбированной пленки влаги (L_1) на слое окисла (L_2), подложка - кремний. Для параметров эллиптической поляризации света, отраженного от такой пленки, получена система двух уравнений с двумя неизвестными:

$$\Delta - \bar{\Delta} = \frac{M\lambda + KN}{K^2 + \lambda^2}$$

$$\psi - \bar{\psi} = \left(\frac{MK - N\lambda}{K^2 + \lambda^2} - 1 \right) 2 \sin 2\bar{\psi},$$

которая может быть однозначно решена относительно L_1 и L_2 .

5. На основании данных эксперимента и полученных формул были построены изотермы адсорбции и кривые роста окисных пленок на кремнии в зависимости от влажности окружающей среды. Предполагается, что коррозия кремния на воздухе протекает одновременно по химическому и электрохимическому механизмам. С повышением влажности роль второго механизма возрастает.

6. С ростом температуры наблюдается ускорение процесса роста поверхностной пленки, это можно объяснить ускорением катодной стадии процесса. Предполагается, что коррозия кремния под очень тонкой пленкой влаги идет в

соответствии со смешанным катодно-анодно-омическим контролем.

7. Исследование процесса окисления образцов кремния с разным удельным сопротивлением показало, что концентрация легирующей примеси в кремнии не является существенным фактором, определяющим скорость роста поверхностной пленки.

Увеличение плотности дислокаций приводит к ускорению процесса роста поверхностной пленки.

8. В результате гамма-облучения γ п-типа возникают акцепторные центры (комплексы вакансия - кислород и вакансия - фосфор), которые приводят к замедлению роста поверхностной пленки.

Обезжелезивание кремния ультрафиолетом также приводит к снижению скорости роста поверхностной пленки. Эффект выражен более резко на образцах р-типа. Наблюдаемый эффект по знаку и величине совпадает с выводами теории фотоадсорбционного эффекта на полупроводниках.

9. Вторая часть работы посвящена выяснению оптимальных условий нанесения защитных покрытий из оксидов кремния при низкой температуре. Исследованы пленки оксида, выращенные на кремнии методом химического окисления. Изучено влияние каждой стадии процесса на толщину поверхностной пленки. Суммарная толщина оксида составляет 170 - 200 Å. Повышение концентрации азотной кислоты от 10% до 30% очень мало сказывается на толщине пленки.

10. Создана экспериментальная установка и установлены оптимальные условия для нанесения защитных покрытий методом катодного распыления с реакцией. Скорость нанесения покрытия порядка 1500 - 2000 Å/час, она в значительной степени определяется режимом напыления. Максимальная скорость нанесения пленки при $p = 5 \cdot 10^{-2}$ тор и составе газа 50 - 70% O_2 + 50 - 30% N_2 . С увеличением плотности тока скорость возрастает. Она максимальна в первый час напыле-

ния, затем падает.

11. Рентгеновским методом показано, что пленки аморфны.

Электрохимический метод осаждения меди в порах в исследование МОП-структуры не обнаружили пор в пленках окисла. Скорость селективного травления в стандартном Р-травителе составляла $2,5 - 4,8 \text{ \AA}/\text{сек}$, что также свидетельствует о малой пористости пленки.

Пробивное напряжение пленки $(1 - 5) \times 10^6 \text{ в/см}$.

Температура подложки в процессе нанесения покрытия не превышала 200°C .

12. Экспериментально установлено (совместно с Кимарским В.И., г. Запорожье), что полученные пленки целесообразно применять в качестве стабилизирующего покрытия для тиристорных структур. При этом температурный диапазон тиристорных структур, изготовленных методом сплавления-диффузии, расширяется до $+120^\circ\text{C}$ без каких-либо существенных изменений технологического процесса на предыдущих и последующих этапах. Установлено также значительное улучшение стабильности тиристорных структур, защищенных SiO_2 , при испытаниях в „ждущем“ режиме при температуре $+120^\circ\text{C}$.

Содержание диссертационной работы докладывалось автором на совместном семинаре лабораторий „Электронных явлений на поверхности полупроводников“ и „Тонкопленочных полупроводников“ ИПАН УССР (19.03.1966 г.), на Всесоюзной школе по проблеме „Физико-химия поверхности полупроводников“ (16.05.1966 г.), на семинаре физической секции научно-исследовательского института физических проблем (28.02.1967 г.), на семинаре по физико-химии полупроводников в Московском Государственном университете имени М.В. Ломоносова (3.03.1967 г.), на Всесоюзной конференции по физике, технологии и применению тиристоров (3.06.1967 г.), на

семинаре лаборатории „Поверхностных явлений“ в институте физики полупроводников СО АН СССР (26.06.1967 г.), а также на ежегодных научных конференциях Одесского технологического института имени М.В.Ломоносова.

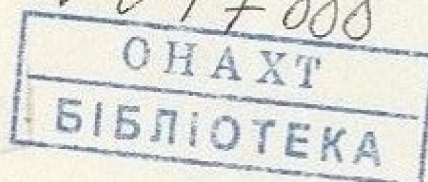
Материалы диссертации опубликованы в следующих работах:

1. И.Л.Ройх, С.Г.Белицкая. „Исследование атмосферной коррозии магния в коронном разряде“, ЖФХ, 37, 8, 1694, (1963).

2. И.Л.Ройх, С.Г.Белицкая, И.П.Болотич, В.В.Ордынская, Л.Н.Колтунова. „Разложение паров перекиси водорода на поверхности металлов и роль H_2O_2 в процессе атмосферной коррозии“, ЖФХ, 38, 6, 1988 (1964).

3. И.Л.Ройх, Л.Н.Колтунова, С.Г.Белицкая, И.П. Болотич. „Исследование атмосферной коррозии вакуумных конденсатов Zn фотографическим, оптическим и весовым методами“, ФММ, 17, 5, 784 (1964).

4. И.Л.Ройх, С.Г.Белицкая, И.П.Болотич, В.В.Ордынская, Н.А.Недзведская. „Исследование окисления кремния на воздухе оптическим поляризационным и фотографическим методами“, ЖФХ, 39, 9, 2306 (1965).



1845

Одесский технологический институт