

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОКИСЛЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК

Методические указания
к лабораторной работе 39

КУЙБЫШЕВ 1982

Министерство высшего и среднего специального образования
Р С Ф С Р

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный
институт имени академика С.П.Королева

И С С Л Е Д О В А Н И Е П Р О Ц Е С С А О К И С Л Е Н И Я
Т О Н К И Х П Л Е Н О К

Методические указания к лабораторной работе 39

Куйбышев 1982

УДК 621.382.8:621.315

Рассматривается схема образования окислов при термическом окислении полупроводников и металлических пленок; проводится групповая подгонка тонкопленочных резисторов термическим окислением. Предлагается определить диапазон и скорость подгонки, рассчитать оценки математического ожидания, разброса сопротивления резисторов по подложке.

Окислением кремниевой пластины получить пленку SiO_2 , определить ее толщину.

Рекомендуется для студентов специальности 0705.

Составитель М.Н. И г а н о в

Утверждены на редакционно-издательском совете института 16.12.1981 г.

Ц е л ь р а б о т ы - получение окисных пленок SiO_2 и подгонка тонкопленочных резисторов методом термического окисления кремния и резистивных слоев.

З а д а н и я:

1. Произвести групповую подгонку тонкопленочных резисторов.
2. Определить диапазон и скорость подгонки; рассчитать оценки математического ожидания, разброса сопротивления резисторов по подложке.
3. Получить окисную пленку SiO_2 на поверхности полупроводниковой пластины методом термического окисления.
4. Определить толщину пленки по цветовой таблице и сделать сравнение с расчетным значением.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

1.1. Сущность термического окисления

Метод термического окисления широко распространен в технологии изготовления интегральных микросхем и может быть использован для получения диэлектрических пленок тонкопленочных конденсаторов, маскирующих пленок двуокиси кремния в планарной технологии, для подгонки сопротивлений тонкопленочных резисторов к номинальному значению.

Сущность метода термического окисления сводится к окислительной обработке поверхности кремниевых пластин, проводящих, полупроводниковых или резистивных пленок в среде сухого или влажного кислорода при повышенной температуре. Процесс окисления осуществляется обычно при температурах от 900 до 1350°C.

В качестве примера рассмотрим окисление кремния. Процесс термического окисления кремния складывается из трех элементарных актов: адсорбции окислителей, диффузии окислителей через окисный слой и взаимодействия окислителей с кремнием на границе раздела кремний-окисел.

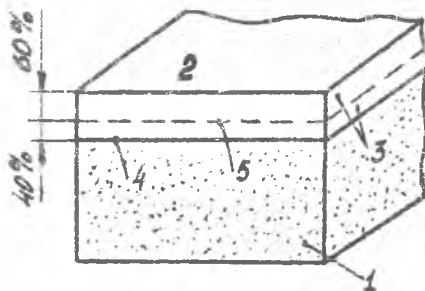
В начальный момент окисления рост толщины пленки описывается линейным законом $X = At$, где X - толщина пленки, t - длительность окисления, A - коэффициент.

В этом случае скорость роста ограничивается скоростью химической реакции на границе раздела $SiO_2 - Si$. При больших дли-

тельность процесса рост пленки описывается параболическим законом $X = \sqrt{Bt}$, где B - постоянный коэффициент.

В этом случае скорость роста ограничивается уже не химической реакцией взаимодействия окислителя с кремнием, а процессом диффузии атомов или групп окислителя через окисную пленку.

Схема образования окисла на поверхности кремния за счет реакции его окисления показана на рис. 1.



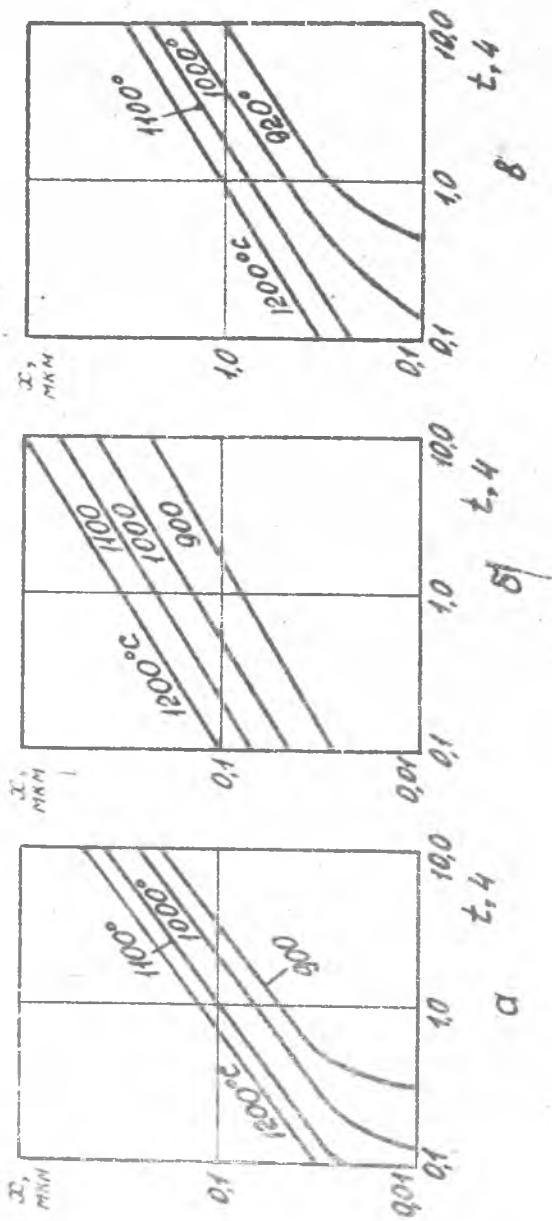
Р и с. 1. Схема образования окисла на поверхности кремниевой пластины: 1 - исходная пластина кремния; 2 - поверхность окисного слоя; 3 - окисный слой; 4 - граница раздела фаз кремний-окисел; 5 - первоначальная поверхность кремниевой пластины

Окисление в среде влажного кислорода при прочих равных условиях протекает с существенно большей скоростью, чем в среде сухого кислорода, несмотря на то, что скорость диффузии кислорода в несколько раз больше скорости диффузии паров воды в пленке двуокиси кремния. Это объясняется тем, что в условиях влажного кислорода поверхностная концентрация окислителя значительно больше, чем в условиях сухого кислорода.

Для получения более совершенной защитной пленки SiO_2 окисление ведут в атмосфере чистого кислорода. На рис. 2

представлены графики скорости роста пленки SiO_2 в чистом кислороде, очищенном воздухе и в водяном паре при атмосферном давлении в зависимости от температуры и времени. С ростом температуры скорость окисления кремния увеличивается.

Так как окисел, выращенный в осушенном кислороде, имеет более совершенную структуру (пленка однородна и аморфна), часто используют окисление в три стадии: в осушенном кислороде, в увлажненном (для ускорения наращивания окисной пленки) и вновь в осушенном. Предельная толщина термически выращенной пленки не превышает 1,5-2 мкм. Более толстые пленки вследствие различия в коэффициенте термического расширения с кремнием содержат микротрещины, по которым проникает влага. Для практических целей защиты р- n - переходов используют пленки SiO_2 толщиной от 0,2 до 1,2 мкм.



Р и с. 2. Зависимость толщины пленок SiO_2 от времени окисления в атмосфере воздуха - (а), кислорода - (б), водяного пара + (в).

Пленки двуокиси кремния, выращенные во влажном кислороде, содержат значительное количество загрязнений; в пленках, полученных окислением кремния в сухом кислороде, загрязнения отсутствуют.

Оксидные пленки, полученные термическим окислением кремния в оптимальных технологических режимах, по своим физическим и химическим свойствам близки к стекловидному кремнезему. Они растворимы только в плавиковой кислоте, имеют удельное электрическое сопротивление примерно 10^{14} Ом·м при 25°C , обладают электрической прочностью $5 \cdot 10^9 - 1 \cdot 10^9$ В/м, диэлектрической проницаемостью 3,7. Показатель светопреломления n составляет 1,458-1,462 в то время как для кварцевого стекла $n = 1,459$.

Для получения тонких пленок предпочтительнее использовать окисление в водяном паре. При получении оксидных пленок высокого качества, например, при изготовлении слоя, изолирующего затвор в полевом МДП - транзисторе, рекомендуется применять окисление в среде сухого кислорода.

Как при влажном, так и при сухом окислении следует уделять особое внимание предварительной очистке поверхности кремниевых пластин. Тщательная очистка пластин резко снижает возможность появления различных дефектов в пленке оксида.

1.2. Окисление кремния под давлением

При использовании высокого давления для получения защитных пленок возможно снижение температуры, при которой протекает процесс и увеличение скорости образования защитных пленок. Получаемые пленки имеют более совершенную структуру, чем в случае окисления при атмосферном давлении.

Окисление под давлением проводят в автоклавах, в которых можно создавать давление от 200 до 5000 Па. В качестве рабочего вещества наиболее часто используют водяной пар. Режим процесса окисления выбирается из диаграммы состояния "давление-температура", по которой определяется максимально приемлемое давление, не ведущее к образованию кремниевой кислоты в рабочем диапазоне температур. Технологический процесс получения оксидных пленок включает в себя обработку полупроводниковых пластин при температуре $400-700^{\circ}\text{C}$ в атмосфере водяных паров под давлением 200-500 Па в течение 2-5 часов. Для образования водяных паров в камеру вводят гидрат соли или соединения, образующие при нагревании воду. При проведении процесса в таких режимах образуется слой двуокиси кремния толщиной 0,2-

-0,3 мкм.

Для образования пара в качестве рабочей жидкости может быть использована смесь воды с плавиковой кислотой. Окисление в этом случае ведется при температуре 500-600°C и давлении около 98 Па. На поверхности кремниевых пластин образуется пленка двуокиси кремния толщиной до 20 мкм.

В рабочую камеру вместо водяных паров можно нагнать кислород. В этом случае давление выбирается равным нескольким паскалям, а температура 500-550°C.

Зависимость толщины пленки от давления и температуры может быть описана соотношением

$$X^2 = AP^m t \exp\left(-\frac{\Delta E}{kT}\right),$$

где P - давление пара, Па; t - время проведения процесса окисления, мин.; k - постоянная Больцмана; T - температура, °К; ΔE - энергия активации, эВ.

Энергия активации процесса лежит в пределах от 1,2 до 1,4 эВ при атмосферном давлении в диапазоне температур 850-1300°C, а $m = 0,8$.

При температуре ниже 850°C величина энергии активации составляет 2,5-2,6 эВ, а скорость роста пропорциональна давлению. В этом случае коэффициент $m = 1$.

При окислении в парах воды толщина пленки определяется из соотношения $X^2 = 2,5 \cdot 10^{15} P^{0,8} \exp\left(-\frac{1,7}{kT}\right) t$.

а при окислении в чистом кислороде

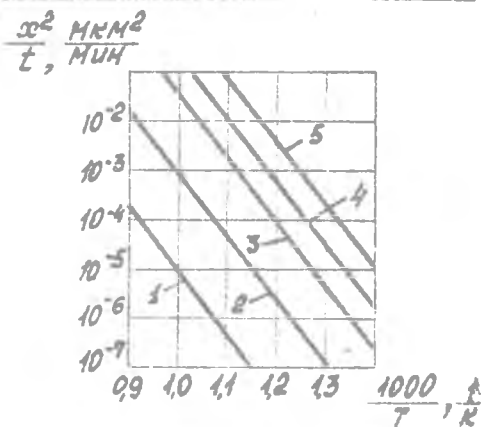
$$X^2 = 8,4 \cdot 10^{10} P^{0,8} \exp\left(-\frac{1,7}{kT}\right) t$$

На рис.3 приведена зависимость X^2/t от температуры для четырех различных величин давления.

2. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГИБРИДНЫХ МИКРОСХЕМ

2.1. Получение пленок окислов металлов

Пленки двуокиси кремния нашли наиболее широкое применение для изготовления масок при локальной диффузии рабочего диэлектрика в МОП-структурах, пассивирующих покрытий в планарной ~~технологии~~, ~~и~~



Р и с .3. Зависимость величины $\frac{x^2}{t}$ от температуры при получении пленок SiO_2 для различных давлений: 1-400; 2-450; 3-4000; 4-8000, 5 - 12000 Па.

используют пленки металлов, обладающих большим сродством к кислороду.

В ряду наиболее перспективных стоят пленки окислов редкоземельных металлов (РЗМ). Высокое удельное сопротивление, термическая устойчивость, большое значение диэлектрической проницаемости делают окислы РЗМ перспективными для изготовления изолирующих слоев в изделиях микроэлектроники.

Для получения окисных слоев производят испарение редкоземельных металлов с последующим окислением конденсата в кислородосодержащей среде при температуре 150-700°C в течение 2-30 мин. Толщина полученных диэлектрических пленок составляет 0,2-0,7 мкм. Металлические слои напыляют на подложки из ситалла, стекла, плавленого кварца, на пластины кремния.

Пленки РЗМ окисляются при температуре ниже 600°C. Металлические пленки европия, церия, самария, гадолиния, эрбия, иттербия, тулия, толщиной до 0,3 мкм окисляются полностью при температуре 350-500°C в течение 5-7 мин. Как правило, окисление пленок РЗМ проводят в сухом кислороде или на воздухе.

Пленки, полученные окислением металлического конденсата, имеют

также для изготовления слоя диэлектрика в тонкопленочных конденсаторах, вследствие простоты получения и последующей обработки. Однако, пленкам SiO_2 присущи и недостатки, такие как сравнительно невысокое значение диэлектрической проницаемости, наличие подвижного заряда, высокая температура получения (окисления). Эти недостатки ограничивают возможности применения пленок SiO_2 .

В последние годы для создания диэлектрических слоев находят применение пленки окислов, полученные термическим окислением металлических пленок. Для этого

меньшее число микроотверстий и лучшую адгезию к полупроводнику, чем пленки, изготовленные непосредственным осаждением окисла РЗМ. Концентрация дефектов уменьшается с ростом температуры окисления и толщины слоев. Так, диэлектрические пленки, полученные окислением РЗМ при температурах 300–350°C, имеют сопротивление $R = 10^3 - 10^5 \text{ Ом}$. При окислении металлических пленок при температуре 500° получают полупроводниковые окислы стехиометрического состава с высоким сопротивлением ($R > 10^{11} \text{ Ом}$).

Для получения диэлектрических пленок используют и металлические слои на основе других металлов. Процесс окисления металлических пленок в парах воды хорошо описывается линейно-параболическим законом

$$X = \frac{1}{2} \left[-K_1 + (K_1^2 + 4K_2 t)^{1/2} \right],$$

где K_1 – параметр, чувствительный к поверхностным свойствам материала; K_1 зависит от температуры, кристаллографической ориентации поверхности и других факторов; K_2 – параболическая постоянная, описывающая диффузию окисляющего агента через окисную пленку; K_2 определяется температурой, давлением газа-окислителя и структурой окисла.

При использовании метода термического окисления следует учитывать влияние температуры на ранее осажденные слои. Иногда высокая температура оказывает на них отрицательное влияние.

2.2. Применение термического окисления для подгонки пленочных элементов

В результате термической обработки пленочных резисторов происходит изменение сопротивления. Это явление может использоваться для подгонки резисторов.

При нагреве резистивной пленки на воздухе наблюдается необратимое увеличение удельного сопротивления, что является следствием интенсификации окислительных процессов на поверхности пленки. Такой метод термообработки удобен тем, что он позволяет обрабатывать одновременно большую партию резисторов (групповая подгонка). В случае необходимости он может быть автоматизирован. В некоторых случаях для окисления на воздухе используют радиационный метод нагрева. Нагрев осуществляется за счет лучистой энергии, например, от инфракрасной лампы.

К недостаткам группового нагрева пленок на воздухе следует

отнести невозможность обработки резисторов при температуре выше 500°C , так как при этих температурах может произойти деформация подложки, разрушение контактов и т.п.

Для индивидуальной подгонки резисторов используют струю кислорода или воздуха, нагретую до $1000-1200^{\circ}\text{C}$. Для этой цели применяют высокотемпературные сопла. Участок резистивного элемента, на котором происходит интенсивное окисление резистивного слоя от струи кислорода, не превышает 1 мм^2 . Точность подгонки (5-10)%.

С целью повышения точности температуру струи по мере приближения сопротивления резистора к номиналу монотонно уменьшают. При достижении точности (2-3)% подгонку прекращают, после чего резистор охлаждают. Затем производят окончательную подгонку отдельными порциями струи нагретого до 400°C кислорода. Длительность импульсов составляет 1-10 с. Окончательная точность подгонки составляет (0,1-1)%.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

1. муфельная печь;
2. термостат;
3. Образцы металлических пленок, напыленных на ситалловую подложку;
4. образцы резистивных пленок, напыленных на ситалловую подложку;
 - а. пластины кремния;
 - б. измеритель сопротивления.

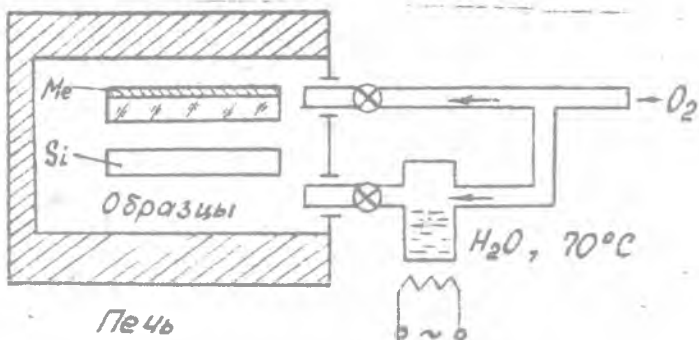
Схема лабораторной установки для термического окисления приведена на рис.4, для подгонки окисления на рис.5.

4. КОНТРОЛЬ ТОЛЩИНЫ ОКИСНОГО СЛОЯ SiO_2

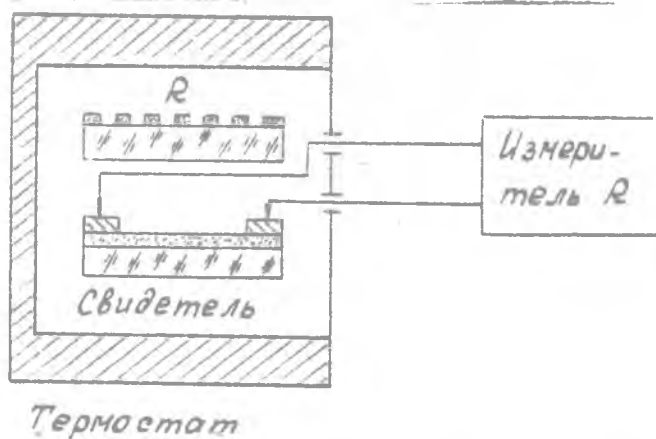
Для определения толщины окисной пленки SiO_2 можно использовать формулу

$$X = \frac{B}{2A} \left(\sqrt{1 + \frac{t}{B/4A^2}} - 1 \right),$$

где X - толщина окисного слоя, мкм;
 t - время окисления, час;
 A - постоянная линейного роста окисной пленки SiO_2 , мкм/час;



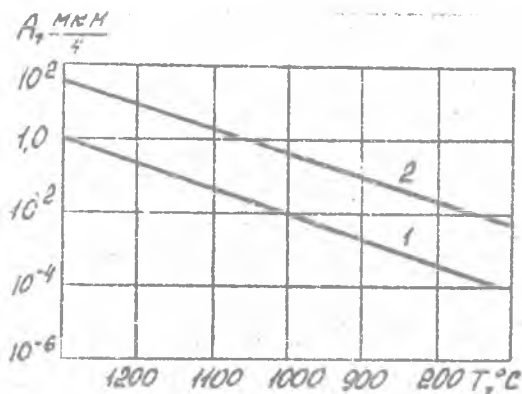
Р и с. 4. Схема термического окисления



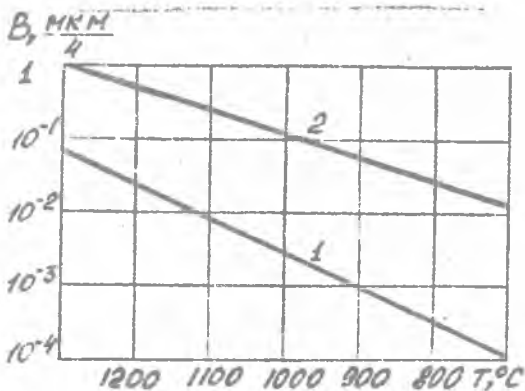
Р и с. 5. Схема подгонки тонкопленочных резисторов окислением

B - постоянная параболического роста, $\text{мкм}^2/\text{час}$.

Постоянные линейного и параболического роста определяются по графикам, представленным на рис. 6 и 7.



Р и с. 6. Зависимость постоянной линейного роста пленок SiO_2 от температуры в сухом - 1 и влажном - 2 кислороде



Р и с. 7. Зависимость постоянной параболического роста пленок SiO_2 от температуры в сухом - 1 и влажном - 2 кислороде

На практике очень часто толщину окисного слоя SiO_2 определяют по цветовой таблице, используя информацию об интерференционной окраске окисной пленки в белом нормальном свете.

Данный метод обеспечивает точность 0,05 мкм .

Соотношения между толщиной и цветом пленок SiO_2 , полученных термическим окислением кремния, приведены в табл. I.

Т а б л и ц а I

Цвета пленок SiO_2 , выращенных на кремнии методом термического окисления при наблюдении в прямом белом свете (дневное, флуоресцентное освещение)

Толщина пленки, мкм	Порядок цвета по отношению к $\lambda = 544$ нм	Цвет
1	2	3
0,05	I	Рыжевато-коричневый
0,07		Коричневый
0,1		Темно-фиолетовый с красно-фиолетовым оттенком
0,12		Ярко-синий
0,15		Светло-синий с металлическим оттенком
0,17		Между металлическим и очень светлым желто-зеленым
0,2		Светло-золотой с желтизной и легким металлическим оттенком
0,22		Золотой с легким желто-оранжевым оттенком
0,25		Оранжевый с оттенком дыма
0,27		Красно-фиолетовый
0,3		Синий с фиолетово-синим оттенком
0,31		Голубой
0,32		Между голубым и голубовато-зеленым
0,34		Светло-зеленый
0,35	Между зеленым и желто-зеленым	
0,36	II	Желто-зеленый
0,37		Зеленовато-желтый
0,39		Желтый
0,41		Светло-оранжевый
0,42		Розовой гвоздики
0,44		Фиолетово-красный
0,45		Красно-фиолетовый
0,47		Фиолетовый
0,48	Сине-фиолетовый	

1	2	3
0,49		Синий
0,50		Сине-зеленый
0,52		Зеленый (основной)
0,54		Желто-зеленый
0,55	III	Зеленовато-желтый
0,57		Между желтым и "желтоватым"
0,58		Светло-оранжевый или желтый, граничащий с розовым
0,6		Розовой гвоздики
0,63		Фиолетово-красный
0,68		Синеватый (кажется сероватым)
0,72	IV	Между синевато-зеленым (довольно широкий)
0,77		Желтоватый
0,8		Оранжевый (довольно широкий)
0,82		Оранжево-розовый
0,85		Светлый красно-фиолетовый (тусклый)
0,86		Фиолетовый
0,87		Голубовато-фиолетовый
0,89		Голубой
0,92	V	Голубовато-зеленый
0,95		Тусклый желто-зеленый
0,97		Между желтым и "желтоватым"
0,99		Оранжевый
1,0		Розовой гвоздики
1,02		Фиолетово-красный
1,05		Красно-фиолетовый
1,06		Фиолетовый
1,07		Голубовато-фиолетовый
1,10		Зеленый
1,11		Желто-зеленый
1,12	VI	Зеленый
1,18		Фиолетовый
1,19		Красно-фиолетовый
1,21		Фиолетово-красный
1,24		Между цветом розовой гвоздики и оранжево-розовым

1	2	3
1,25		Оранжевый
1,28		Желтоватый
1,32		Между небесно-голубым и зеленовато-голубым
1,40	VII	Оранжевый
1,45		Фиолетовый
1,46		Голубовато-фиолетовый
1,50	VIII	Голубой
1,54		Тусклый желто-зеленый

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

1. Каковы направления использования термического окисления в микроэлектронике?
2. При какой температуре осуществляется термическое окисление?
3. Законы роста окисной пленки SiO_2 .
4. Нарисуйте схему образования окисла на поверхности кремния.
5. В какой среде - влажной или сухой - больше скорость окисления?
6. Как влияет давление окисляющих реагентов на скорость роста окисной пленки?
7. В чем заключается сущность подгонки резисторов при использовании метода термического окисления?
8. Нарисуйте схему термического окисления.
9. Нарисуйте схему подгонки тонкопленочных резисторов окислением.

6. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получить у преподавателя задание (конечное значение сопротивления подгоняемых резисторов, ТКС резисторов, время термического окисления полупроводниковой пластины или требуемое значение толщины окисного слоя, температура окисления, тип среды окисляющего агента).

2. Ознакомиться с лабораторной установкой.
3. Поместить полупроводниковую пластину *Si* в муфельную печь.
4. Включить печь в сеть. Сетевой выключатель печи перевести в положение В к л. Ручку регулировки температуры нагрева установить в положение, соответствующее заданной температуре окисления.
5. Произвести измерение сопротивлений резисторов исследуемой подложки.
6. Поместить подложку с резисторами в термостат.
7. Включить термостат в сеть. Сетевой выключатель на основании термостата перевести в положение В к л. Ручку регулировки температуры нагрева термостата вывести в правое крайнее положение.
8. Определить момент достижения предельной температуры термостата (200°C).
9. Через каждые 5 мин. производить контроль величины сопротивления "свидетеля" исследуемой партии резисторов. При достижении требуемого значения сопротивления "свидетеля" отключить нагрев термостата, для чего сетевой выключатель перевести в положение в н к л.
10. Приоткрыть дверцу термостата. Произвести охлаждение подложки в термостате до температуры 20°C . Затем извлечь подложку из термостата и охладить ее на воздухе.
11. Через 20 мин. после извлечения подложки произвести измерение сопротивления резисторов.
12. Для каждого резистора определить величину изменения сопротивления и скорость подгонки. Полученные данные свести в таблицу. Определить разброс величины сопротивления по подложке, математическое ожидание и дисперсию сопротивления на плате после окисления.
13. По истечении требуемого времени окисления полупроводниковой пластины отключить нагрев печи. Произвести ее охлаждение. При снижении температуры до 200°C приоткрыть дверцу печи. При достижении температуры $\sim 170^{\circ}\text{C}$ извлечь пластину из печи.
14. Используя табл. I, оценить значение толщины окисной пленки. Сравнить это значение с расчетным, полученным по формуле (I).

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель лабораторных работ.

2. Структурная схема лабораторной установки.
3. Схема образования окисла кремневой пластины.
4. Графики зависимости постоянной линейного и параболического роста пленок SiO_2 от температуры. Методика определения постоянных роста.
5. Расчет толщины окисного слоя (или времени окисления, по заданию) по формуле (I).
6. Таблица экспериментальных данных значений сопротивлений до и после окисления, величин изменения сопротивления, скорости подгонки.
7. Расчет оценок математического ожидания, дисперсии, разброса сопротивления на подложке.
8. Сравнение значений толщины окисного слоя, определенных по формуле (I) и по табл. I.
9. Выводы.

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ОТЧЕТА ПО РАБОТЕ

1. Судность термического окисления.
2. Почему скорость окисления кремния в среде влажного кислорода больше, чем в среде сухого кислорода?
3. Напишите и объясните формулу зависимости толщины окисной пленки от давления и температуры.
4. Каким законом описывается процесс окисления металлических пленок?
5. Нарисуйте зависимости постоянной линейного и параболического роста пленок SiO_2 от температуры.
6. Каким методом можно оценить толщину окисного слоя?
7. Изложите порядок выполнения работы.

9. УКАЗАНИЯ ПО СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Несмещенной и состоятельной оценкой математического ожидания μ случайной величины X является среднее арифметическое \bar{X} , вычисленное по n независимым наблюдениям над этой случайной величиной

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i,$$

где X_i - результат i -го наблюдения.

Состоятельная оценка дисперсии определяется выражением

где $D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$, $X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n$ - n независимых наблюдений над случайной величиной X ;
 \bar{X} - оценка математического ожидания.

Состоятельная и несмещенная оценка дисперсии определяется по формуле

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2.$$

На практике часто вместо этой формулы применяют другую, равносильную первой

$$S^2 = \frac{n}{n-1} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i^2 - \bar{X}^2) \right]$$

которая более удобна для вычисления.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. И в а н о в - Е с и п о в и ч Н.К. Технология микросхем. Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1972. - 256 с.

2. Ч е р н я е в В.Н. Технология производства интегральных микросхем. /Под ред. А.А.Васенкова. Учебное пособие. М.: Энергия, 1977. - 376 с.

3. Ш н а р е в и ч Е.И., Р ы б и н с к и й О.А., З л о б и н В.А. Диэлектрики интегральных схем. М.: Энергия, 1975. - 120 с.

4. Б о р и с е н к о А.И. и др. Тонкие неорганические пленки в микроэлектронике. Л.: Наука, Ленингр.отделение, 1972. - 114 с.

5. К у р н о с о в А.И. Защита и герметизация полупроводниковых приборов и интегральных схем. М.: Высшая школа, 1978. - 80 с.

Содержание

1. Теоретические основы	3
1.1. Сущность термического окисления	3
1.2. Окисление кремния под давлением	6
2. Применение термического окисления для получения элементов гибридных микросхем	7
2.1. Получение пленок окислов металлов	7
2.2. Применение термического окисления для подгонки пленочных элементов	9
3. Описание лабораторной установки	10
4. Контроль толщины окисного слоя SiO_2	10
5. Контрольные вопросы для проверки подготовленности к выполнению работы	15
6. Порядок выполнения работы	15
7. Содержание отчета	16
8. Контрольные вопросы для отчета по работе	17
9. Указания по статистической обработке экспериментальных данных	17
Л и т е р а т у р а	18

Составитель Михаил Николаевич Пиганов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОКИСЛЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК
Методические указания к лабораторной работе 39

Редактор Д. С о к о л о в а

Техн. редактор Н. М. К а л е н ю к

Корректор С. П. Ч е р н о в

Подписано в печать 21.09.82 г. . Формат 60x84 1/16

Бумага сберточная белая. Печать оперативная.

Усл. п. л. 1,16. Учет.-изд. л. 1,0. Тираж 300 экз.

Заказ №286 Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный институт имени академика С.П.Королева, г.Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Офсетный участок КуАИ, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.