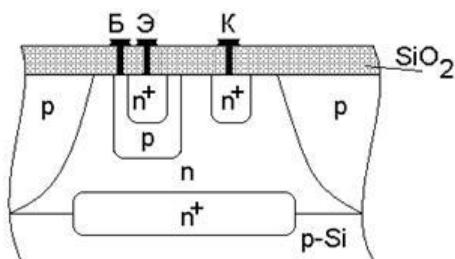


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ПРОЦЕССЫ МИКРО- И НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Методические указания
к практическим занятиям



УДК 621.315.592

Процессы микро- и нанотехнологий: методические указания к практическим занятиям/ Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: М.В. Зубков, О.А. Максимов. Рязань, 2018. 16 с.

Приведены краткие теоретические сведения об особенностях процессов диффузии, ионного легирования и окисления полупроводниковых микро- и наноструктур. Представлены графические зависимости и таблицы, необходимые для проведения расчетов распределения легирующих примесей и толщин полупроводниковых и окисных слоев.

Предназначены для студентов направления 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника».

Табл. 1. Ил. 6.

Диффузия, ионная имплантация, окисление

Печатается по решению редакционно-издательского совета Рязанского государственного радиотехнического университета.

Рецензент: кафедра микро- и наноэлектроники Рязанского государственного радиотехнического университета (зав.кафедрой проф.Т.А. Холомина)

Процессы микро- и нанотехнологий
Составители: З у б к о в Михаил Владимирович
М а к с и м о в Олег Алексеевич

Редактор М.Е. Цветкова
Корректор С.В. Макушина

Подписано в печать . Формат бумаги 60х84 1/16.

Бумага писчая. Печать трафаретная. Усл печ. л. 1,0.

Тираж 30 экз. Заказ

Рязанский государственный радиотехнический университет.

390005, Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

Редакционно-издательский центр РГРТУ.

1. Расчет диффузионных структур

Диффузия легирующих примесей в полупроводниковые монокристаллы является основным методом изготовления полупроводниковых приборов и интегральных схем (ИС). С помощью процессов диффузии создаются р-п-переходы, резистивные слои, емкости, проводящие слои. Метод диффузии состоит в миграции через кристалл, нагретый до температуры порядка 1000 °С, легирующих атомов в сторону уменьшения их концентрации.

В основу теории диффузии положена аналогия между процессами переноса в жидких растворах и тепла за счет теплопроводности. Скорость переноса вещества через сечение единичной площади J или диффузионный поток описывается следующим уравнением:

$$J = -D[C(x, t)/x], \quad (1.1)$$

где C - концентрация растворенного вещества, которая, как предполагается, зависит только от x и t ; x - ось координат, совпадающая с направлением потока вещества; t и D - соответственно время и коэффициент диффузии. Знак минус в правой части 1.1 означает, что перенос вещества осуществляется в направлении уменьшения концентрации. Уравнение (1.1) называют первым законом Фика. Предполагая равновероятное перемещение атомов легирующей примеси во всех направлениях в кристалле, 1.1 записывают в виде

$$\partial C(x, t)/\partial t = D[\partial^2 C(x, t)/\partial x^2] \quad (1.2)$$

Уравнение (1.2) называют вторым законом Фика. Общее решение (1.2) имеет сложный вид. Однако при введении определенных начальных и граничных условий решения упрощаются. В полупроводниковой технологии наибольший интерес представляют два случая распределения примесных атомов.

1.1. Диффузия из бесконечного источника

Под термином "бесконечный источник" следует понимать источник с постоянной во времени концентрацией примеси C . Таким бесконечным источником может быть газовая фаза при диффузии в открытой трубе. Начальные и граничные условия можно записать:

- 1) $C(x, 0) = 0$,
- 2) $C(0, t) = C_0$,
- 3) $C(\infty, t) = 0$.

При этих условиях решение уравнения (1.2) имеет вид

$$C(x, t) = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \right), \quad (1.3)$$

где erf – сокращенное обозначение функции ошибок Гаусса (от английского error function); x - глубина, соответствующая данной концентрации, см; t - длительность диффузии, с. В этом уравнении коэффициент диффузии D имеет размерность $\text{см}^2/\text{с}$, а поверхностная концентрация C_0 – см^{-3} .

$$C(x, t) = C_0 \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right), \quad (1.4)$$

$$\operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{Dt}} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{Dt}}} \exp(-t^2) dt .$$

Решение (1.3) может быть переписано в виде:

$$C(x, t) = C_0 \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right), \quad (1.5)$$

где $\operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{Dt}} = 1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{Dt}}$ - дополнительная функция ошибок.

Вместо erfc -функции можно использовать аппроксимацию

$$\operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \approx \exp \left[\left(-\frac{x}{2\sqrt{Dt}} + 0.3 \right)^2 \right]. \quad (1.6)$$

График функции (1.4) представлен на рис.1.1. Глубина, отсчитываемая от $x = 0$, на которой концентрация диффундирующей примеси равняется концентрации примеси в исходной пластине полупроводника C_B , называется глубиной залегания р-п перехода x_j (рис.1.1). При диффузии из бесконечного источника глубина залегания р-п перехода рассчитывается по формуле (1.7):

$$x_j = 2\sqrt{Dt} \left(\sqrt{\ln(C_0/C_B)} - 0.3 \right). \quad (1.7)$$

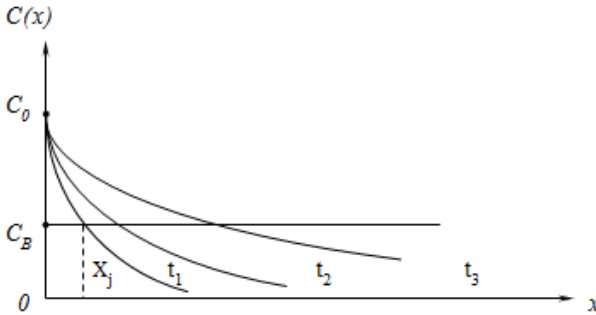


Рис. 1.1. Зависимость концентрации примеси от координаты при диффузии из бесконечного источника

1.2. Диффузия из источника с ограниченным содержанием примеси

Термин "ограниченное содержание примеси" означает, что перед началом диффузии на поверхности полупроводниковой пластины в бесконечно тонком слое содержится заданное количество атомов легирующей примеси N (см^{-2}). При этом обеспечивается условие, препятствующее испарению примеси с поверхности, так как диффузия осуществляется при высоких температурах. Примером этого является диффузия в кремний из тонкого поверхностного слоя, защищенного пленкой SiO_2 , которая представляет собой отражающую границу. Используя начальные и граничные условия:

$$1) \quad C(x, 0) = 0 ,$$

$$2) \quad C(x, \infty) = 0 ,$$

$$3) \quad N = \int_0^{\infty} C(x) dx , \quad \text{получают}$$

$$C(x, t) = \frac{N}{\sqrt{\pi Dt}} \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right) . \quad (1.7)$$

Полагая $x = 0$, определяют величину поверхностной концентрации:

$$C_0 = \frac{N}{\sqrt{\pi Dt}} . \quad (1.8)$$

Уравнение (1.8) называют гауссовым распределением. Глубина залегания р-п-перехода для этого случая:

$$x_j = 2\sqrt{Dt} \sqrt{\ln(C_0/C_B)} . \quad (1.9)$$

Для многих практических случаев глубина р-п перехода:

$$x_j \approx 6\sqrt{Dt} . \quad (1.10)$$

График функции (1.7) представлен на рис.1.2.

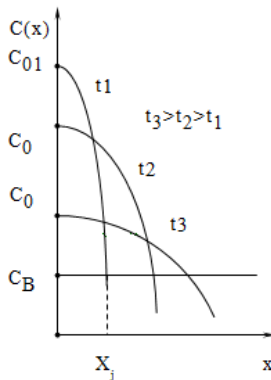


Рис. 1.2. Распределение примеси и определение глубины залегания р-п перехода при диффузии из источника с ограниченным содержанием примеси

1.3. Двухстадийная диффузия

В планарной технологии ИС, например при создании базовых областей биполярных транзисторов, диффузию проводят в две стадии. Вначале в течение короткого времени t_1 при температуре T_1 , лежащей в пределах $900-1000^\circ\text{C}$ осуществляют загонку примеси, представляющую собой диффузию из бесконечного источника с постоянной поверхностной концентрацией C_{01} .

Тонкий диффузионный слой, сформированный на первой стадии диффузии, является источником с ограниченным содержанием примеси для второй стадии – разгонки.

Разгонку проводят при более высокой температуре T_2 порядка 1150°C и времени t_2 .

Зависимость предельной растворимости основной легирующей примеси в кремнии от температуры приведена на рис 1.3.

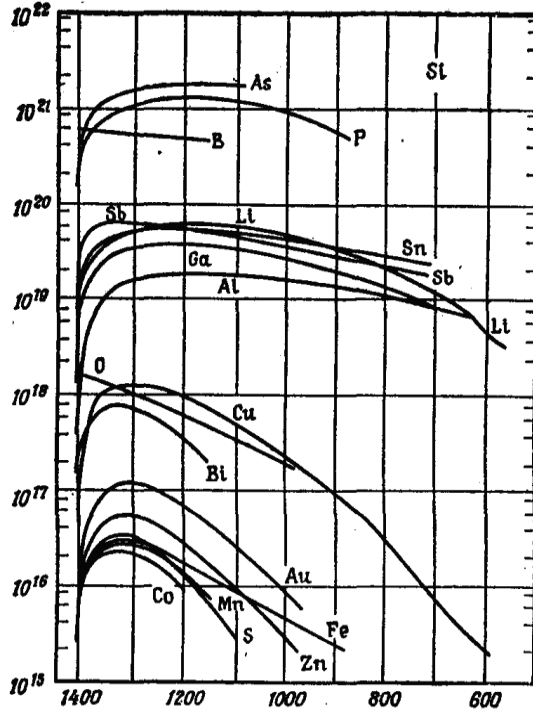


Рис 1.3. Зависимость предельной растворимости основной легирующей примеси в кремнии от температуры

1.4. Расчет коэффициента диффузии

Экспериментально установлено, что температурная зависимость коэффициента диффузии описывается уравнением:

$$D = D_0 \exp(-E/kT) , \quad (1.11)$$

где D_0 , см²/с, - постоянная диффузии;
 E , эВ, - энергия активации; T , К, - температура;
 $k = 8,63 \cdot 10^{-5}$, эВ/К - постоянная Больцмана.

При температурах диффузии величину D_0 рассматривают как не зависящую от температуры. Физический смысл энергии активации E в основном связан с энергией, необходимой для образования точечных дефектов в кристалле. Значения постоянных диффузии и энергии ионизации для примесей в кремнии приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

p - Si			n - Si		
Элемент	D_0 , см ² /с	E , эВ	Элемент	D_0 , см ² /с	E , эВ
B	10,5	3,69	P	3,85	3,66
Al	8	3,48	As	0,32	3,56
Ga	3,6	3,52	Sb	5,60	3,95
In	16,5	3,91	Bi	1033	4,65
Te	16,5	3,91	Li	0,0023	0,66

1.5. Расчет поверхностного сопротивления

Уровень легирования диффузионных слоев оценивают, измеряя их поверхностное сопротивление R_s . По данным измерений R_s определяют поверхностную концентрацию примеси в легированном слое, рассчитывают профиль распределения примеси (см. пп. 1.1-1.4) и контролируют его соответствие заданным требованиям. Поверхностное сопротивление определяется как сопротивление диффузионного резистора, толщина которого равна глубине залегания р-п перехода x_j , а длина и ширина равны друг другу и образуют квадрат со стороной l . Поэтому величину поверхностного сопротивления выражают в омах на квадрат (Ом / □).

Величину поверхностного сопротивления можно рассчитать по формуле:

$$R_s = \frac{\rho}{x_j} = \frac{1}{\sigma \cdot x_j} , \quad \text{Ом} / \square .$$

Средняя проводимость равна:

$$\sigma = \frac{q}{x_j} \int_0^{x_j} \mu(N) N(x) dx, \quad (1.12)$$

где $\mu(N)$ - исходная зависимость подвижности носителей заряда от концентрации, $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл - заряд электрона, $N(x)$ – зависимость концентрации примеси от координаты. Подвижность электронов и дырок в кремнии при 300 К в зависимости от концентрации примесей рассчитывают по формуле:

$$\mu = \mu_{\min} + \frac{\mu_{\max} - \mu_{\min}}{1 + \left(\frac{N(x)}{N_0} \right)^\alpha}, \quad \mu_n = 0.145 \left(\frac{300}{T} \right)^{2.6}, \quad \mu_p = 0.05 \left(\frac{300}{T} \right)^{2.3},$$

где $\mu_{\min}$, $\mu_{\max}$ - постоянные величины, зависящие от типа легирующей примеси.

Кривая концентрационной зависимости $N(x)$ может быть получена с использованием следующих значений параметров (табл.1.2) исходя из закона распределения примеси для данного вида диффузии.

Таблица 1.2

Параметр	Мышьяк	Фосфор	Бор
$M_{\max}$, см ² /В*с	1417	1414	470.5
$M_{\min}$, см ² /В*с	52.5	68.5	44.9
α	0.719	0.719	0.719
N_0 , м ⁻³	$9.2 \cdot 10^{22}$	$9.2 \cdot 10^{22}$	$2.23 \cdot 10^{23}$

2. Расчет структур, полученных ионной имплантацией

Метод ионной имплантации является основным в планарной технологии. При изготовлении биполярных транзисторов ионную имплантацию применяют для получения эмиттера, базы, коллектора, сильнолегированных приконтактных областей и т.д. Основными преимуществами этого метода по сравнению с диффузией являются возможность прецизионного контроля количества внедренной примеси и высокая однородность концентрации по поверхности пластины.

2.1. Основные параметры ионной имплантации

Средний нормальный пробег иона R_p и его среднеквадратичное отклонение ΔR_p представляют собой проекцию траектории пробега ионов на направление первоначальной скорости и разброс этого параметра. Величина R_p описывается нормальным законом распределения случайных чисел. Доза облучения - это количество частиц, бомбардирующих единицу поверхности за данное время. Если известны плотность ионного тока j и время t , то доза облучения N , рассчитывается по формуле:

$$N = jt/qn \quad , \quad (2.1)$$

где $n=1,2,3$ - кратность ионизации.

2.2. Распределение примеси при ионной имплантации

Если пренебречь каналированием, например, используя неориентированное внедрение, то распределение примеси, как и для случая диффузии из ограниченного источника, описывается кривой Гаусса:

$$C(x) = \frac{N}{\sqrt{2\pi} \Delta R_p} \exp \left[-\frac{1}{2} \cdot \frac{(x - R_p)^2}{(\Delta R_p)^2} \right] . \quad (2.2)$$

Максимум концентрации примеси в отличие от случая введения ее методом диффузии залегает не на поверхности, а на глубине $x = R_p$:

$$C_{\max} = 0,4N/\Delta R_p \quad . \quad (2.3)$$

В качестве примера на рис. 2.1 приведены распределения для бора, внедренного в кремний с дозой 10^{12} см^{-2} с различной энергией ионов.

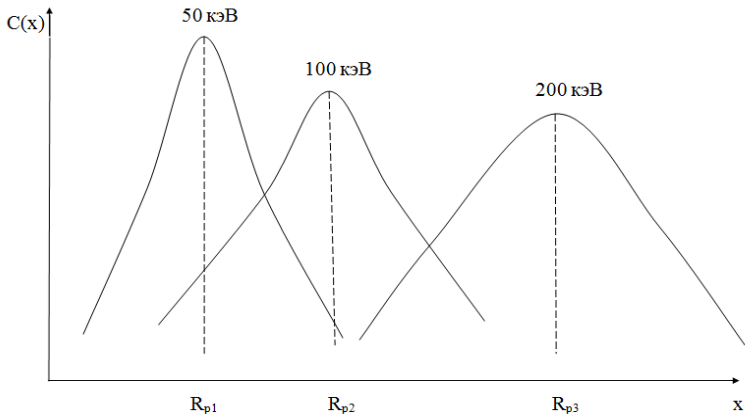


Рис. 2.1. Распределение примеси при ионной имплантации бора

3. Расчет распределения концентрации примеси при имплантации через слой оксида

3.1. Термическое окисление кремния в парах воды

Для получения защитных диэлектрических пленок на кремнии используют термическое окисление в парах воды высокой чистоты (порядка 10—20 МОм·см). Высокотемпературную реакцию кремния с водяным паром используют в том случае, когда количество пара не ограничивает скорость реакции. Для поддержания необходимого парциального давления водяных паров у поверхности кремниевых пластин воду подогревают.

Структурное формирование пленки оксида происходит за счет диффузионного переноса воды через слой оксида к поверхности кремния. На структурное формирование пленки оксида оказывает влияние водород, образующийся в процессе реакции окисления и диффундирующий в глубь пластины. Так как коэффициент диффузии водорода ($2 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$ при 1050°C) значительно больше, чем коэффициент диффузии воды ($9 \cdot 10^{-10} \text{ см}^2/\text{с}$ при 1050°C), то образование гидроксильных групп у границы раздела кремний — оксид объясняется наличием не только молекул воды, но и водорода.

При температурах процесса окисления выше 1100°C образование слоя оксида идет согласно параболическому закону и описывается выражением $x^2 = Bt$. При температурах процесса ниже

1100°C рост пленки оксида по линейному закону имеет место в том случае, когда скорость окисления ограничена скоростью химической реакции на границе кремний — оксид. На участке линейного роста скорость реакции зависит от количества свободных связей атомов кремния, которые могут реагировать с молекулами воды на границе раздела кремний— оксид. Большое влияние на скорость роста оксидной пленки оказывают ориентация подложки, тип электропроводности и концентрация примеси исходной подложки.

Высокая концентрация примеси в подложке влияет либо на скорость реакции окисления на границе раздела кремний — оксид, либо на коэффициенты диффузии окислителей. Так, наличие в исходной подложке фосфора в первую очередь оказывает влияние на скорость реакции окисления. Поверхность кристалла с высокой концентрацией фосфора окисляется значительно быстрее, чем слаболегированная поверхность. Это справедливо для низкотемпературного диапазона (600—1100 °C).

При термическом окислении растущий оксид оттесняет фосфор в глубь кристалла кремния и, таким образом, в оксидном слое концентрация фосфора весьма мала. Для бора картина обратная: растущий оксид включает в себя большое количество бора, что приводит к ускорению диффузии окисляющих веществ. Поэтому кремний с высокой концентрацией бора окисляется быстрее как в высокотемпературной, так и в низкотемпературной области.

На рис. 3.1 приведены графики зависимости изменения толщины оксида в атмосфере влажного кислорода от времени проведения процесса окисления для различных температур.

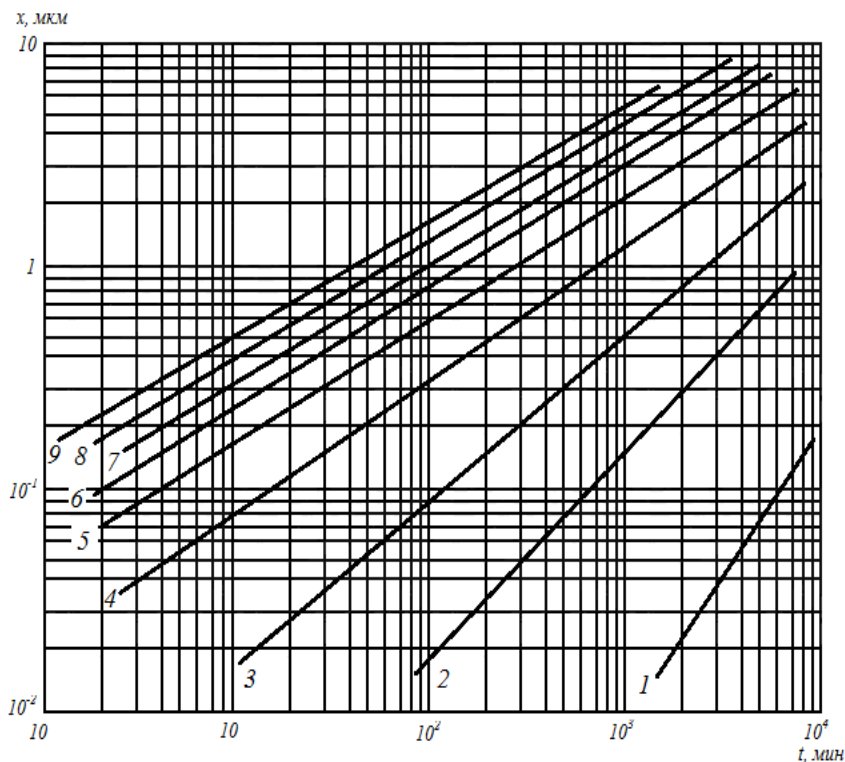


Рис. 3.1. Зависимость толщины пленки SiO_2 , выращенной в атмосфере водяного пара, от времени для температур, $^{\circ}\text{C}$:

1 — 600; 2 — 700; 3 — 800; 4 — 900; 5 — 1000; 6 — 1100; 7 — 1200; 8 — 1300; 9 — 1400

3.2. Термическое окисление кремния в сухом кислороде

Отличием метода окисления в сухом кислороде от окисления в парах воды является то, что в первом случае веществом,

диффундирующим сквозь растущую пленку оксида, является не вода, а ионы кислорода. Необходимо отметить, что коэффициент диффузии кислорода в пленке оксида ($2,8 \cdot 10^{-14}$ см²/с при 1050 °С) значительно меньше, чем у водорода и воды при тех же условиях. Поэтому скорость роста оксидной пленки в сухом кислороде меньше, чем в парах воды.

Так как в процессе образования оксидных пленок отсутствуют водород и пары воды, то в структуре выращенного оксида нет гидроксильных групп (ОН). Высокая энергия активации процесса окисления кремния в сухом кислороде и отсутствие гидроксильных групп приводят к образованию прочных связей кислорода с кремнием в структуре получаемого оксидного слоя кремния.

Как и при окислении в парах воды, кинетика окисления в области низких температур определяется в большей мере скоростью реакции на границе раздела кремний — оксид, чем диффузией кислорода. Отклонение закона роста пленки оксида в сторону линейности обычно имеет место при температурах ниже 1000 °С.

На рис. 3.2 приведены графики зависимости изменения толщины оксида в атмосфере сухого кислорода от времени проведения процесса окисления для различных температур.

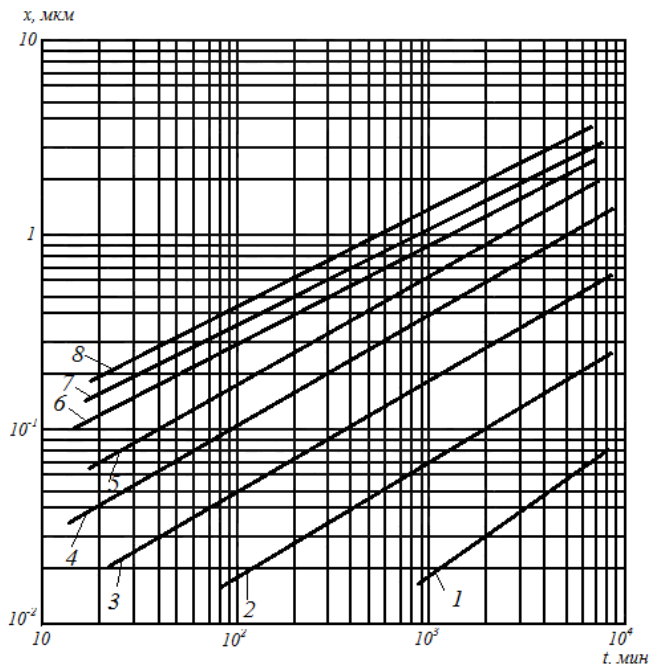


Рис. 3.2. Зависимость толщины пленки SiO_2 выращенной в атмосфере сухого кислорода, от времени для температур, $^{\circ}\text{C}$:

1 — 700 ; 2 — 800; 3 — 900; 4—1000; 5—1100; 6 — 1200; 7 — 1300; 8 — 1400

Задачи

1. Чем определяется поверхностная концентрация примеси после проведения диффузии из бесконечного источника при заданной температуре:

- 1) фоновая концентрация примеси в подложке;
- 2) доза легирования;
- 3) предельная растворимость;
- 4) время диффузии?

2. От какого параметра зависит коэффициент диффузии:

- 1) температура;
- 2) концентрация легирующей примеси;

3) давление в реакционной системе;

4) все указанные выше параметры?

3. Рассчитать профиль распределения концентрации примеси в п-р-п-структуре, полученной последовательной диффузией бора и фосфора в кремний с электропроводностью п-типа и удельным сопротивлением $0,1 \text{ Ом}\cdot\text{см}$, проводимой в режимах: 1200°C , 1 ч, 1100°C , 2 ч.

4. Рассчитать профиль распределения концентрации примеси в п-р-п-структуре, полученной последовательной диффузией бора и фосфора в кремний с электропроводностью р-типа и удельным сопротивлением $0,7 \text{ Ом}\cdot\text{см}$, проводимой в режимах: 1250°C , 1,5 ч, 1050°C , 3 ч.

5. Определить глубину залегания р-п-перехода в случае двухстадийной диффузии фосфора в кремний с электропроводностью р-типа с удельным сопротивлением $10 \text{ Ом}\cdot\text{см}$, проводимой в режиме: 1050°C , 10 мин, 1150°C , 2 ч.

6. Рассчитать распределение примеси при двухстадийной диффузии бора в кремний, проводимой в режиме: 1050°C , 10 мин, 1150°C , 2 ч.

7. Определить глубину залегания р-п-перехода в случае двухстадийной диффузии бора в кремний с электропроводностью п-типа с удельным сопротивлением $1 \text{ Ом}\cdot\text{см}$, проводимой в режиме: 1000°C , 13 мин, 1120°C , 3 ч.

8. Построить распределение примеси и рассчитать глубину залегания р-п-перехода в случае диффузии бора из источника с ограниченным содержанием примеси в кремний п-типа с удельным сопротивлением $1 \text{ Ом}\cdot\text{см}$, если диффузия проводилась в режимах: 1000°C , 1 ч, $N = 1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$.

9. Рассчитать поверхностное сопротивление диффузионного слоя для данных, приведенных в задании № 8. Сравнить аналитическую глубину залегания р-п-перехода со значением, полученным из графика профиля распределения.

10. Построить распределение примеси и рассчитать глубину залегания р-п-перехода в случае диффузии фосфора из источника с ограниченным содержанием примеси в кремний р-типа с удельным сопротивлением $4 \text{ Ом}\cdot\text{см}$, если диффузия проводилась в режимах: 1070°C , 1 ч, $N = 2,7 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$.

11. Рассчитать поверхностное сопротивление диффузионного слоя для данных, приведенных в задании № 10. Сравнить аналитическую глубину залегания р-п-перехода со значением, полученным из графика профиля распределения.

12. В кремниевую пластину вводится фосфор из газового источника при 975°C в течение 30 мин. Определить глубину перехода

а) для подложки р-типа с удельным сопротивлением $0,3\text{ Ом}\cdot\text{см}$;

б) для подложки р-типа с удельным сопротивлением $20\text{ Ом}\cdot\text{см}$.

Принять, коэффициент диффузии фосфора $10^{-13}\text{ см}^2/\text{с}$.

13. От каких технологических параметров **в основном** зависит глубина залегания р-п-перехода в диффузионных структурах?

1) температура;

2) фоновая концентрация примеси в подложке;

3) энергия иона;

4) коэффициент диффузии, время диффузии.

14. Рассчитать профиль распределения примеси в транзисторной п-р-п- структуре, полученной методом двойной ионной имплантации для следующих режимов технологического процесса: подложка Si п-типа $\rho=1\text{ Ом}\cdot\text{см}$; имплантация бора с дозой $N=2\cdot10^{11}\text{ см}^{-2}$ и энергией $E=30\text{ кэВ}$; имплантация фосфора дозой $N=2\cdot10^{12}\text{ см}^{-2}$ и энергией $E=50\text{ кэВ}$.

15. Определить глубину залегания р-п-переходов, толщину базы, поверхностное сопротивление эмиттера и базы в транзисторной п-р-п-структуре, полученной методом двойной ионной имплантации (использовать данные задания № 14).

16. Определить температуру разгонки мышьяка, предварительно внедренного с помощью ионной имплантации в кремний р-типа с удельным сопротивлением $1\text{ Ом}\cdot\text{см}$, если распределение концентрации обладает следующими параметрами: $x_j = 0,5\text{ мкм}$, $C_o = 1,5\cdot10^{20}\text{ см}^{-3}$, $t = 1\text{ ч}$.

17. Определить температуру разгонки мышьяка, предварительно внедренного с помощью ионной имплантации в кремний р-типа с удельным сопротивлением $3\text{ Ом}\cdot\text{см}$, если распределение концентрации обладает следующими параметрами: $x_j = 0,7\text{ мкм}$, $C_o = 2,5\cdot10^{19}\text{ см}^{-3}$, $t = 2\text{ ч}$.

18. Построить распределение примеси алюминия, внедренной в кремний п-типа с помощью ионной имплантации, для следующих режимов технологического процесса: $N=1\cdot10^{12}\text{ см}^{-2}$, $E=20\text{ кэВ}$, $\rho=10\text{ Ом}\cdot\text{см}$.

19. Используя данные приведенные в задании № 18, провести разгонку ионно-имплантированного слоя при температуре 1000°C в течение 1 ч. Определить глубину залегания р-п-перехода.

20. Определить поверхностное сопротивление кремния после разгонки примеси из ионно-имплантированного слоя, используя исходные данные, приведенные в заданиях 18, 19.

21. При какой температуре производят отжиг кремниевых структур после проведения операции ионной имплантации фосфора?

- 1) 100 °С;
- 2) 10000 °С;
- 3) 600 °С;
- 4) 1100 °С?

22. Определить время окисления кремния при использовании трехступенчатого способа термического окисления (сухой, влажный, сухой кислород) при температуре 1200 °С, если необходимо вырастить пленку толщиной 1 мкм.

23. В каких случаях применяют окисление в сухом кислороде:

- 1) Для создания маскирующего покрытия.
- 2) Для выращивания подзатворного диэлектрика.
- 3) Для защиты поверхности кристалла от внешних факторов
- 4) Для сокращения времени проведения процесса окисления?

24. Кремниевая пластина легируется дозой ионов фосфора, равной $3 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$, имеющих энергию 50 кэВ ($R_p=63 \text{ нм}$, $\Delta R_p=27 \text{ нм}$), с целью формирования контактов транзистора.

а) Если пластина затем окисляется, следует ли учитывать эффекты, связанные с зависимостью скорости окисления от концентрации легирующей примеси?

б) Перед окислением проводится диффузия фосфора в течение 60 мин при 1000 °С. Будет ли в этом случае играть роль зависимость скорости окисления от концентрации легирующей примеси?

в) Рассмотреть вновь пункты а и б, если легирование фосфором осуществляется при энергии ионов 150 кэВ ($R_p=180 \text{ нм}$, $\Delta R_p=64 \text{ нм}$).

25. После того как в пластину кремния п-типа вблизи ее поверхности введен бор с высокой концентрацией, часть пластины покрывается слоем поликристаллического кремния с высокой концентрацией кристаллических дефектов. Затем пластина окисляется и оказывается, что в участках, которые не были перед окислением покрыты поликремнием, глубина перехода намного больше. Объяснить этот результат.

Оператор ЭДО ООО "Компания "Тензор"

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

ПОДПИСАНО

ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ, Литвинов Владимир Георгиевич,
Заведующий кафедрой МНЭЛ

08.07.26 13:42
(МСК)

Простая подпись