

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА»

Кафедра «Микро- и наноэлектроника»

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

по дисциплине

Б1.В.04 «Технология изделий микро- и наноэлектроники»

Направление подготовки

11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Уровень подготовки

Академический бакалавриат

Квалификация выпускника – бакалавр

Формы обучения – очная

Рязань 2025 г.

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 n-p-n-структуре, полученной последовательной диффузией бора и фосфора в кремний с электропроводностью n-типа и удельным сопротивлением 0,1 Ом·см, проводимой в режимах: 1200 °C, 1 ч, 1100 °C, 2 ч.

4. Рассчитать профиль распределения концентрации примеси в n-p-n-структуре, полученной последовательной диффузией бора и фосфора в кремний с электропроводностью p-типа и удельным сопротивлением 0,7 Ом·см, проводимой в режимах: 1250 °C, 1,5 ч, 1050 °C, 3 ч.

5. Определить глубину залегания p-n-перехода в случае двухстадийной диффузии фосфора в кремний с электропроводностью p-типа с удельным сопротивлением 10 Ом·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 n-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 n-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 задаче 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 p-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 задаче 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 p-типа с удельным сопротивлением $0,3 \text{ Ом}\cdot\text{см}$;

б) для подложки p-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 n-типа $\rho = 1 \text{ Ом}\cdot\text{см}$; имплантация бора с дозой $N = 2 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ и энергией $E = 30 \text{ кэВ}$; имплантация фосфора дозой $N = 2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$ 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 задачи 14).

16. Определить температуру разгонки мышьяка, предварительно внедренного с помощью ионной имплантации в кремний р-типа с удельным сопротивлением 1 Ом·см, если распределение концентрации обладает следующими параметрами: $x_J = 0,5$ мкм, $C_o = 1,5 \cdot 10^{20}$ см⁻³, $t = 1$ ч.

17. Определить температуру разгонки мышьяка, предварительно внедренного с помощью ионной имплантации в кремний р-типа с удельным сопротивлением 3 Ом·см, если распределение концентрации обладает следующими параметрами: $x_J = 0,7$ мкм, $C_o = 2,5 \cdot 10^{19}$ см⁻³, $t = 2$ ч.

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

19. Используя данные приведенные в задаче 18, провести разгонку ионно-имплантированного слоя при температуре 1000 °С 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 задачах 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°C . 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 n-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.