

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 2022 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 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:  $1200^\circ\text{C}$ , 1 ч,  $1100^\circ\text{C}$ , 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:  $1250^\circ\text{C}$ , 1,5 ч,  $1050^\circ\text{C}$ , 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:  $1050^\circ\text{C}$ , 10 мин,  $1150^\circ\text{C}$ , 2 ч.

6. Рассчитать распределение примеси при двухстадийной диффузии бора в кремний, проводимой в режиме:  $1050^\circ\text{C}$ , 10 мин,  $1150^\circ\text{C}$ , 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:  $1000^\circ\text{C}$ , 13 мин,  $1120^\circ\text{C}$ , 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:  $1000^\circ\text{C}$ , 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 р-типа с удельным сопротивлением  $4 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ , если диффузия проводилась в режимах:  $1070^\circ\text{C}$ , 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  $975^\circ\text{C}$  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  $N = 2 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$  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,  $C_o = 1,5 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ ,  $t = 1$  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,  $C_o = 2,5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ ,  $t = 2$  ч.

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

19. Используя данные приведенные в задаче 18, провести разгонку ионно-имплантированного слоя при температуре  $1000^\circ \text{C}$  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 задачах 18, 19.

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

- 1)  $100^\circ \text{C}$ ;
- 2)  $10000^\circ \text{C}$ ;
- 3)  $600^\circ \text{C}$ ;
- 4)  $1100^\circ \text{C}$ ?

22. Определить время окисления кремния при использовании трехступенчатого способа термического окисления (сухой, влажный, сухой кислород) при температуре  $1200^\circ \text{C}$ , 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 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.