

|                                            |                           |                              |
|--------------------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| Curso:<br>Engenharia Elétrica              | Série:<br>4º/ 5º semestre | Turma:<br>A                  |
| Disciplina:<br>Materiais Eletroeletrônicos | Período:<br>NOTURNO       | Data da Prova:<br>29/06/2015 |
| Professor:<br>Msc. Cristiano Malheiro      | RA:                       | NOTA:                        |
| Nome do Aluno:                             |                           |                              |

**PROVA – Materiais Eletroeletrônicos – PROVA B**

Atenção:

- Proibido utilizar qualquer material de consulta sob pena de retirada de prova e atribuição de nota “0”. Uso permitido apenas de calculadora científica (exclui-se tablets, celulares e calculadoras gráficas).
- Tempo de prova: 90 minutos. As respostas finais devem ser apresentadas à caneta para revisão da mesma em sala de aula. Boa Prova!

**Gabarito de Respostas**

(Utilizar no mínimo 3 casas decimais nas respostas finais)

|                                            |      |                                                  |      |      |      |
|--------------------------------------------|------|--------------------------------------------------|------|------|------|
| 1. C                                       | 2. A | 3. C                                             | 4. A | 5. E | 6. C |
| 7.                                         |      |                                                  |      |      |      |
| $x_{ox} = 3,625 \times 10^{-6} \text{ cm}$ |      | $CS_{Imin} = 41,75 \text{ nF/cm}^2$              |      |      |      |
| $d_{máx} = 2,67 \times 10^{-6} \text{ cm}$ |      | $Na = 1,462 \times 10^{10} \text{ buracos/cm}^3$ |      |      |      |

1. Os espaços vazios em uma célula unitária chamamos de: (1,0 ponto)

- Estruturas cristalinas.
- Estruturas desordenadas
- ~~c) Interstícios.~~
- Estruturas aleatórias
- Interstícios aleatórios.



Anhanguera

UNIVERSIDADE ANHANGUERA DE SÃO PAULO - UNIAN

Unidade SBC: Av. Rudge Ramos, nº 1.501 • São Bernardo do Campo (SP) • 09636-000 • (11) 4362-9000

2. Quando um elétron passa de uma camada para outra, no modelo de Bohr ele emite: **(1,0 ponto)**

- ☒ a) Um fóton de energia.
- b) Uma energia intrínseca.
- c) Uma energia forte e se aniquila.
- d) Dois fótons de energia.
- e) Energia para o próton.

3. (Modificaod- Concurso-Metrô 2014) Cristal de silício dopado com átomos pentavalentes e trivalentes corresponde respectivamente a: **(1,0 ponto)**

- a) Silício Extrínseco Tipo P e Silício Extrínseco Tipo N.
- b) Silício Intrínseco Tipo P e Silício Intrínseco Tipo N.
- ☒ c) Silício Extrínseco Tipo N e Silício Extrínseco Tipo P.
- d) Silício Intrínseco Tipo N e Silício Intrínseco Tipo P.
- e) Silício Intrínseco Tipo N e Silício Extrínseco Tipo P.

4. A estrutura cristalina CCC e CFC possuem respectivamente: **(1,0 ponto)**

- ☒ a) 2 e 4 átomos na célula unitária.
- b) 4 e 2 átomos na célula unitária.
- c) 2 e 2 átomos na célula unitária.
- d) 1 e 3 átomos na célula unitária.
- e) Nenhuma das anteriores.

5. No diagrama de bandas de energia, a região onde existem o mar de elétrons e de lacunas é respectivamente nas: **(1,0 ponto)**

- a) Bandas de valência e condução
- b) Bandas de nível intrínseco e valência
- c) Bandas de condução e nível intrínseco
- d) Bandas de Fermi e valência
- ☒ e) Bandas de condução e valência

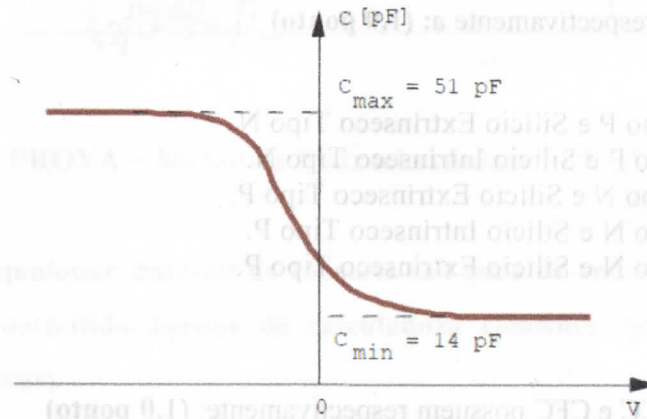
6. O capacitor encontra-se na região de depleção quando: **(1,0 ponto)**

- a) Acumula lacunas na interface Si- SiO<sub>2</sub>.
- b) Acumula elétrons na interface Si- SiO<sub>2</sub>.
- ☒ c) Acumulam elétrons e lacunas na interface Si- SiO<sub>2</sub>.
- d) Não acumula nenhum portador.
- e) Quando a capacitância é máxima.

7. Dada a curva CV abaixo, medida em um capacitor MOS quadrado de  $215\mu\text{m}$ , determinar:

- Espessura do óxido de porta ( $x_{ox}$ ) em centímetros (cm) (0,5 ponto)
- Capacitância mínima do silício ( $C_{Si\min}$ ) (0,5 ponto);
- Espessura de depleção máxima ( $d_{\max}$ ) em centímetros (cm) (1,0 ponto);
- Concentração de Aceitadores ( $N_a$ ) (1,0 ponto).

Dados: Considerar  $KT/q = 25\text{mV}$ .



Constantes a serem adotadas, caso necessário:

- Carga do elétron ( $q$ ) =  $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ;
- Permissividade do óxido: ( $\epsilon_{ox}$ ) =  $40 \times 10^{-14} \text{ F/cm}$ ;
- Permissividade do silício: ( $\epsilon_{si}$ ) =  $1,03 \times 10^{-12} \text{ F/cm}$ ;
- Densidade intrínseca de portadores SI (300K):  $n_i = 1,45 \times 10^{10} \text{ PEL/cm}^3$ ;
- Constante de Boltzman ( $K$ ) =  $8,62 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$ ;
- Adotar na primeira iteração  $N_a = 5 \times 10^{15} \text{ lacunas/cm}^3$ .

a)  $C_{ox} = \frac{\epsilon_{ox}}{x_{ox}} \cdot A$

$5 \times 10^{-12} = \frac{40 \times 10^{-14}}{x_{ox}} \cdot (215 \times 10^{-4})^2$

$\therefore x_{ox} = 3,625 \times 10^{-6} \text{ cm}$

b)  $C_{\max} = C_{ox} \cdot A \rightarrow C_{ox} = \frac{51 \times 10^{-12}}{(215 \times 10^{-4})^2} \therefore C_{ox} = 110,33 \text{ nF/cm}^2$

$$\frac{C_{\min}}{A} = \frac{C_{ox} \cdot C_{Si\min}}{C_{ox} + C_{Si\min}}$$
  

$$\frac{14 \times 10^{-12}}{(215 \times 10^{-4})^2} = \frac{110,33 \times 10^{-9} \cdot C_{Si\min}}{110,33 \times 10^{-9} + C_{Si\min}}$$

$$14 \times 10^{-12} \cdot (110,33 \times 10^{-9} + C_{jmin}) = (215 \times 10^{-4})^2 \cdot (110,33 \times 10^{-9} + C_{jmin})$$

$$1,545 \times 10^{-18} + 14 \times 10^{-12} C_{jmin} = 5,9 \times 10^{-11} C_{jmin}$$

$$C_{jmin} = 41,75 \text{ nF/cm}^2$$

$$\textcircled{C} \quad d_{max} = \frac{\epsilon_{pi}}{C_{jmin}} = \frac{1,03 \times 10^{-12}}{41,75 \times 10^{-9}} = \boxed{d_{max} = 24,67 \times 10^{-6} \text{ cm}}$$

$$\textcircled{D} \quad N_D = \frac{4 \cdot \epsilon_{pi} \cdot K \cdot T \ln\left(\frac{N_D}{n_i}\right)}{q^2 \cdot d_{max}^2}$$

$$N_D = \frac{4 \cdot 1,03 \times 10^{-12} \cdot 25 \times 10^{-3} \cdot \ln\left(\frac{5 \times 10^{15}}{1,45 \times 10^{10}}\right)}{(1,6 \times 10^{-19})^2 \cdot (24,67 \times 10^{-6})^2}$$

$$1^\circ \quad N_D = 1,348 \times 10^{16} \text{ /cm}^3$$

$$2^\circ \quad N_D = 1,454 \times 10^{16} \text{ /cm}^3$$

$$3^\circ \quad N_D = 1,461 \times 10^{16} \text{ /cm}^3$$

$$4^\circ \quad N_D = 1,462 \times 10^{16} \text{ /cm}^3$$