

PERGUNTAS E PROBLEMAS

- 19.1** (a) Calcule a condutividade elétrica de uma amostra cilíndrica de silício com diâmetro de 5,1 mm (0,2 pol.) e 51 mm de comprimento (2 pol.), através da qual uma corrente de 0,1 A passa em uma direção axial. Uma voltagem de 12,5 V é medida entre duas sondas que estão separadas por uma distância de 38 mm (1,5 pol.).
(b) Calcule a resistência ao longo de toda a extensão de 51 mm (2 pol.) da amostra.
- 19.2** Um fio de cobre com 100 m de comprimento deve experimentar uma queda de voltagem de menos de 1,5 V quando uma corrente de 2,5 A passa através dele. Usando os dados na Tabela 19.1, calcule o diâmetro mínimo que esse fio deve possuir.
- 19.3** Um fio de alumínio com 4 mm de diâmetro deve oferecer uma resistência que não seja superior a 2,5 Ω . Usando os dados na Tabela 19.1, calcule o comprimento máximo do fio.
- 19.4** Demonstre que as duas expressões para a lei de Ohm, Eq. 19.1 e 19.5, são equivalentes.
- 19.5** (a) Usando os dados na Tabela 19.1, calcule a resistência de um fio de cobre com 3 mm (0,12 pol.) de diâmetro e 2 m (78,7 pol.) de comprimento. (b) Qual seria o fluxo de corrente se a queda de potencial entre as extremidades do fio fossem de 0,05 V? (c) Qual é a densidade da corrente? (d) Qual é a magnitude do campo elétrico através das extremidades do fio?
- 19.6** Qual é a distinção entre condução eletrônica e condução iônica?
- 19.7** Como a estrutura eletrônica de um átomo isolado difere daquela exibida por um material sólido?
- 19.8** Em termos da estrutura da banda de energia eletrônica, discuta as razões para a diferença na condutividade elétrica entre os metais, os semicondutores e os isolantes.
- 19.9** Se um material metálico for resfriado através da sua temperatura de fusão a uma taxa extremamente rápida, ele irá formar um sólido não-cristalino (isto é, um vidro metálico). A condutividade elétrica do metal não-cristalino será maior ou menor do que a do seu análogo cristalino? Por quê?
- 19.10** Explique sucintamente o que se deseja dizer por velocidade de arraste e mobilidade de um elétron livre.
- 19.11** (a) Calcule a velocidade de arraste dos elétrons no germânio à temperatura ambiente e quando a magnitude do campo elétrico é de 1000 V/m. (b) Sob essas circunstâncias, quanto tempo um elétron leva para se deslocar transversalmente através de uma distância de 25 mm (1 pol.) de cristal?
- 19.12** Sabe-se que um semicondutor do tipo *n* possui uma concentração eletrônica de $3 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$. Se a velocidade de arraste do elétron é de 100 m/s em um campo elétrico de 500 V/m, calcule a condutividade desse material.
- 19.13** À temperatura ambiente, a condutividade elétrica e a mobilidade eletrônica para o cobre são de $6,0 \times 10^7 (\Omega\text{-m})^{-1}$ e $0,0030 \text{ m}^2/\text{V-s}$, respectivamente. (a) Calcule o número de elétrons livres por metro cúbico para o cobre à temperatura ambiente. (b) Qual é o número de elétrons

livres por átomo de cobre? Considere uma densidade de $8,9 \text{ g/cm}^3$ para o cobre.

- 19.14** (a) Calcule o número de elétrons livres por metro cúbico de ouro admitindo que existem 1,5 elétrons livres por átomo de ouro. A condutividade elétrica e a densidade para o Au são de $4,3 \times 10^7 (\Omega\text{-m})^{-1}$ e $19,32 \text{ g/cm}^3$, respectivamente. (b) Agora, calcule a mobilidade eletrônica para o Au.
- 19.15** A partir da Fig. 19.35, estime o valor de *A* na Eq. 19.11 para o zinco como uma impureza em ligas cobre-zinco.
- 19.16** (a) Usando os dados na Fig. 19.8, determine os valores de ρ_0 e *a* da Eq. 19.10 para o cobre puro. Admita que a temperatura *T* esteja em graus Celsius. (b) Determine o valor de *A* na Eq. 19.11 para o níquel como uma impureza no cobre usando os dados na Fig. 19.8. (c) Usando os resultados para as partes a e b, estime a resistividade elétrica para o cobre com 1,75%a Ni a 100°C .
- 19.17** Determine a condutividade elétrica de uma liga Cu-Ni que possui um limite de elasticidade de 125 MPa (18.000 psi). O uso da Fig. 7.16*b* será útil.
- 19.18** O bronze ao estanho possui uma composição de 92% Cu e 8%p Sn e, à temperatura ambiente, consiste em duas fases: uma fase α , composta por cobre com uma quantidade muito pequena de estanho em uma solução sólida, e uma fase ϵ , que contém aproximadamente 37%p Sn. Calcule a condutividade à temperatura ambiente para essa liga, de acordo com os seguintes dados:

Fase	Resistividade Elétrica ($\Omega\text{-m}$)	Densidade (g/cm^3)
α	$1,88 \times 10^{-8}$	8,94
ϵ	$5,32 \times 10^{-7}$	8,25

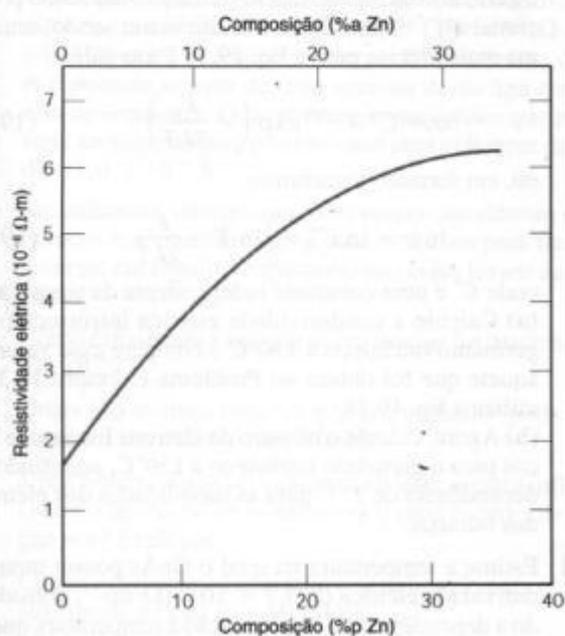


Fig. 19.35 Resistividade elétrica à temperatura ambiente em função da composição para ligas cobre-zinco. (Adaptado de *Metals Handbook: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Pure Metals*, Vol. 2, 9th edition, H. Baker, Editor-Chefe, American Society for Metals, 1979, p. 315.)

19.19 As resistividades elétricas à temperatura ambiente para o chumbo puro e o estanho puro são de $2,06 \times 10^{-7}$ e $1,11 \times 10^{-7} \Omega\cdot\text{m}$, respectivamente.

(a) Faça um gráfico esquemático da resistividade elétrica à temperatura ambiente em função da composição para todas as composições entre o chumbo puro e o estanho puro.

(b) No mesmo gráfico, plote esquematicamente a resistividade elétrica em função da composição para uma temperatura de 150°C .

(c) Explique as formas dessas duas curvas, bem como quaisquer diferenças entre elas.

19.20 Um fio metálico cilíndrico com 2 mm (0,08 pol.) de diâmetro é exigido para conduzir uma corrente de 10 A com uma queda mínima de voltagem de 0,03 V por pé (300 mm) de fio. Quais dos metais e ligas listados na Tabela 19.1 são possíveis candidatos?

19.21 (a) Calcule o número de elétrons livres e buracos que existem no germânio intrínseco à temperatura ambiente, usando os dados na Tabela 19.2. (b) Calcule agora o número de elétrons livres por átomo para o germânio e o silício (Problema-Exemplo 19.1). (c) Explique a diferença. Você irá precisar das densidades para o Ge e o Si, que são $5,32$ e $2,33 \text{ g/cm}^3$, respectivamente.

19.22 Para semicondutores intrínsecos, as concentrações de elétrons e de buracos dependem da temperatura, de acordo com a seguinte relação:

$$n, p \propto \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right) \quad (19.38)$$

ou, tirando os logaritmos naturais,

$$\ln n, \ln p \propto -\frac{E_g}{2kT}$$

Dessa forma, um gráfico de $\ln n$ (ou $\ln p$) intrínseco em função de $1/T$ (K^{-1}) deve ser linear e produzir uma inclinação de $-E_g/2k$. Usando essa informação e a Fig. 19.16, determine a energia do espaçamento entre bandas para o silício. Compare esse valor com aquele dado na Tabela 19.2.

19.23 Defina os seguintes termos na medida em que eles se relacionam aos materiais semicondutores: intrínseco, extrínseco, composto, elementar. Agora, forneça um exemplo de cada.

19.24 É possível que semicondutores compostos exibam um comportamento intrínseco? Explique a sua resposta.

19.25 Para cada um dos seguintes pares de semicondutores, decida qual irá possuir a menor energia de espaçamento entre bandas, E_g , e então cite a razão para a sua escolha: (a) ZnS e CdSe, (b) Si e C (diamante), (c) Al_2O_3 e ZnTe, (d) InSb e ZnSe, e (e) GaAs e AlP.

19.26 (a) Com suas próprias palavras, explique como as impurezas doadoras nos semicondutores dão origem a elétrons livres em números superiores àqueles que são gerados pelas excitações banda de valência-banda de condução. (b) Explique também como as impurezas receptoras dão origem a buracos em números superiores aos que são gerados pelas excitações banda de valência-banda de condução.

19.27 (a) Explique por que nenhum buraco é gerado pela excitação eletrônica envolvendo um átomo de impureza doador. (b) Explique por que nenhum elétron livre é gerado pela excitação eletrônica envolvendo um átomo de impureza receptor.

19.28 Como cada um dos seguintes elementos irá atuar, como um doador ou um receptor, quando adicionado ao material semicondutor indicado? Considere que os elementos de impureza sejam substitucionais.

Impureza	Semicondutor
N	Si
B	Ge
Zn	GaAs
S	InSb
In	CdS
As	ZnTe

19.29 (a) Qual é a posição aproximada da energia de Fermi para um semicondutor intrínseco?

(b) Qual é a posição aproximada da energia de Fermi para um semicondutor do tipo n ?

(c) Faça um gráfico esquemático da energia de Fermi em função da temperatura para um semicondutor do tipo n até uma temperatura na qual ele se torna intrínseco. Anote também nesse gráfico as posições das energias correspondentes à parte superior da banda de valência e à parte inferior da banda de condução.

19.30 (a) A condutividade elétrica à temperatura ambiente de uma amostra de silício é de $10^3 (\Omega\cdot\text{m})^{-1}$. Sabe-se que a condutividade intrínseca é de $1,0 \times 10^{23} \text{ m}^{-3}$. Usando as mobilidades para os elétrons e para os buracos no silício, as quais foram apresentadas na Tabela 19.2, calcule a concentração de buracos. (b) Com base no resultado obtido para a parte a, dizer se essa amostra é intrínseca, extrínseca do tipo n ou extrínseca do tipo p . Por quê?

19.31 Usando os dados fornecidos na Tabela 19.2, calcule as concentrações de elétrons e de buracos para o InSb intrínseco à temperatura ambiente.

19.32 O germânio ao qual foram adicionados $5 \times 10^{22} \text{ m}^{-3}$ átomos de Sb é um semicondutor extrínseco à temperatura ambiente, e virtualmente todos os átomos de Sb podem ser considerados como estando ionizados (isto é, existe um portador de carga para cada átomo de Sb). (a) Esse material é do tipo n ou do tipo p ? (b) Calcule a condutividade elétrica desse material, considerando para os elétrons e para os buracos mobilidades de $0,1$ e $0,05 \text{ m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, respectivamente.

19.33 As seguintes características elétricas foram determinadas para os fosfetos de índio (InP) intrínseco e extrínseco do tipo p à temperatura ambiente:

	$\sigma (\Omega\cdot\text{m})^{-1}$	$n (\text{m}^{-3})$	$p (\text{m}^{-3})$
Intrínseco	$2,5 \times 10^{-6}$	$3,0 \times 10^{13}$	$3,0 \times 10^{13}$
Extrínseco (tipo n)	$3,6 \times 10^{-5}$	$4,5 \times 10^{14}$	$2,0 \times 10^{12}$

Calcule as mobilidades dos elétrons e dos buracos.

- 19.34** Compare a dependência em relação à temperatura para a condutividade nos metais e nos semicondutores intrínsecos. Explique sucintamente a diferença de comportamento.
- 19.35** Usando os dados fornecidos na Tabela 19.2, estime a condutividade elétrica do GaAs intrínseco a 150°C (423 K).
- 19.36** Explique sucintamente a presença do fator 2 no denominador do segundo termo no lado direito da Eq. 19.19.
- 19.37** Usando os dados fornecidos na Tabela 19.2, estime a temperatura na qual a condutividade elétrica do GaAs intrínseco é de $4 \times 10^{-4} (\Omega\text{-m})^{-1}$.
- 19.38** As condutividades elétricas intrínsecas de um semicondutor a 20 e a 100°C (293 e 373 K) são de 1,0 e 500 $(\Omega\text{-m})^{-1}$, respectivamente. Determine a energia aproximada para o espaçamento entre bandas para esse material.
- 19.39** Abaixo estão tabuladas as condutividades elétricas intrínsecas de um semicondutor a duas temperaturas diferentes:

T (K)	σ ($\Omega\text{-m}$) ⁻¹
450	0,12
550	2,25

(a) Determine a energia do espaçamento entre bandas (em eV) para esse material.

(b) Estime a condutividade elétrica a 300 K (27°C).

- 19.40** À temperatura ambiente, a dependência das mobilidades dos elétrons e dos buracos em relação à temperatura para o germânio intrínseco é determinada como sendo proporcional a $T^{-3/2}$, para T em Kelvin; assim sendo, uma forma mais precisa para a Eq. 19.18 é a seguinte:

$$\sigma = C'' T^{-3/2} \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right) \quad (19.39a)$$

ou, em formato logarítmico,

$$\ln \sigma = \ln C'' - \frac{3}{2} \ln T - \frac{E_g}{2kT} \quad (19.39b)$$

onde C'' é uma constante independente da temperatura.

(a) Calcule a condutividade elétrica intrínseca para o germânio intrínseco a 150°C e compare esse valor com aquele que foi obtido no Problema-Exemplo 19.3, que utiliza a Eq. 19.18.

(b) Agora, calcule o número de elétrons livres e de buracos para o germânio intrínseco a 150°C, admitindo essa dependência de $T^{-3/2}$ para as mobilidades dos elétrons e dos buracos.

- 19.41** Estime a temperatura na qual o GaAs possui uma condutividade elétrica de $3,7 \times 10^{-3} (\Omega\text{-m})^{-1}$, considerando a dependência de σ em relação à temperatura que está apresentada na Eq. 19.39a. Os dados mostrados na Tabela 19.2 podem se mostrar úteis.
- 19.42** A inclinação das partes extrínsecas das curvas na Fig. 19.16 está relacionada à posição do nível receptor no

espaçamento entre bandas (Fig. 19.14). Escreva uma expressão para a dependência de p em relação à posição deste nível.

- 19.43** Observamos na Seção 13.5 (Fig. 13.21) que no FeO (wustita) os íons ferro podem existir tanto no estado Fe^{2+} como no estado Fe^{3+} . A quantidade de cada um desses tipos de íon depende da temperatura e da pressão ambiente do oxigênio. Além disso, também foi observado que, para manter a eletroneutralidade, uma lacuna de Fe^{2+} será criada para cada dois íons Fe^{3+} que forem formados; conseqüentemente, para refletir a existência dessas lacunas a fórmula da wustita é representada com freqüência como $\text{Fe}_{(1-x)}\text{O}$, onde x representa alguma pequena fração menor do que a unidade.

Nesse material $\text{Fe}_{(1-x)}\text{O}$ não-estequiométrico, a condução é eletrônica e, de fato, ele se comporta como um semicondutor do tipo p . Isto é, os íons Fe^{3+} atuam como receptores eletrônicos, sendo relativamente fácil excitar um elétron da banda de valência para um estado receptor Fe^{3+} , com a conseqüente formação de um buraco. Determine a condução elétrica de uma amostra de wustita que possui uma mobilidade dos buracos de $1,0 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, e para a qual o valor de x é de 0,060. Considere que os estados receptores estejam saturados (isto é, existe um buraco para cada íon Fe^{3+}). A wustita possui a estrutura cristalina do cloreto de sódio, com um comprimento da aresta da célula unitária de 0,437 nm.

- 19.44** Um metal hipotético possui uma resistividade elétrica de $4 \times 10^{-8} (\Omega\text{-m})$. Uma corrente de 30 A é passada através de uma amostra desse metal com 25 mm de espessura; quando um campo magnético de 0,75 tesla é imposto simultaneamente em uma direção perpendicular à da corrente, uma voltagem de Hall de $-1,26 \times 10^{-7} \text{ V}$ é medida. Calcule (a) a mobilidade dos elétrons nesse metal e (b) o número de elétrons livres por metro cúbico.
- 19.45** Uma liga metálica possui valores para a condutividade elétrica e a mobilidade eletrônica de $1,5 \times 10^7 (\Omega\text{-m})^{-1}$ e $0,0020 \text{ m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, respectivamente. Uma corrente de 45 A é passada através de uma amostra dessa liga com 35 mm de espessura. Qual é o campo magnético que precisaria ser imposto para proporcionar uma voltagem de Hall de $-1,0 \times 10^{-7} \text{ V}$?
- 19.46** Sucintamente, descreva os movimentos dos elétrons e dos buracos em uma junção p - n para os fluxos para frente e reverso; em seguida, explique como esses levam à retificação.
- 19.47** Como é dissipada a energia na reação que foi descrita pela Eq. 19.24?
- 19.48** Quais são as duas funções que um transistor pode executar em um circuito eletrônico?
- 19.49** Você esperaria que um aumento na temperatura influenciasse a operação de transistores e retificadores de junção p - n ? Explique.
- 19.50** Cite as diferenças na operação e na aplicação para os transistores de junção e os MOSFET.
- 19.51** A temperaturas entre 775°C (1048 K) e 1100°C (1373 K), a energia de ativação e a constante pré-exponencial para o coeficiente de difusão do Fe^{2+} no FeO são de 102.000 J/mol e $7,3 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$, respectivamente.

Calcule a mobilidade para um íon Fe^{2+} a 1000°C (1273 K).

- 19.52** Um capacitor de placas paralelas que utiliza um material dielétrico com uma ϵ_r de 2,5 tem entre placas um espaçamento de 1 mm (0,04 pol.). Se for usado um outro material, porém com uma constante dielétrica de 4,0, e a capacitância não for alterada, qual deve ser o novo espaçamento entre placas?
- 19.53** Um capacitor de placas paralelas com dimensões de 100 mm por 25 mm e uma separação entre placas de 3 mm deve ter uma capacitância mínima de 38 pF ($3,8 \times 10^{-11}\text{ F}$) quando um potencial CA de 500 V é aplicado a uma frequência de 1 MHz. Quais daqueles materiais listados na Tabela 19.4 são possíveis candidatos? Por quê?
- 19.54** Considere um capacitor de placas paralelas que possui uma área de 2500 mm^2 e uma separação entre placas de 2 mm, e que contém um material com constante dielétrica de 4,0 posicionado entre as placas. (a) Qual é a capacitância desse capacitor? (b) Calcule o campo elétrico que deve ser aplicado para que uma carga de $8,0 \times 10^{-9}\text{ C}$ seja armazenada em cada placa.
- 19.55** Em suas próprias palavras, explique o mecanismo segundo o qual a capacidade de armazenamento de cargas é aumentada pela inserção de um material dielétrico entre as placas de um capacitor.
- 19.56** Para o NaCl, os raios iônicos para o Na^+ e o Cl^- são de 0,102 e 0,181 nm, respectivamente. Se um campo elétrico aplicado externamente produz uma expansão do retículo equivalente a 5%, calcule o momento dipolo para cada par $\text{Na}^+\text{-Cl}^-$. Considere que esse material esteja completamente não polarizado na ausência de um campo elétrico.
- 19.57** A polarização P de um material dielétrico que está posicionado entre as placas de um capacitor de placas paralelas deve ser de $1,0 \times 10^{-6}\text{ C/m}^2$.
(a) Qual deve ser a constante dielétrica se um campo elétrico de $5 \times 10^4\text{ V/m}$ for aplicado?
(b) Qual será o deslocamento dielétrico D ?
- 19.58** Uma carga de $3,5 \times 10^{-11}\text{ C}$ deve ser armazenada em cada placa de um capacitor de placas paralelas que possui uma área de 160 mm^2 (0,25 pol.²) e uma separação entre placas de 3,5 mm (0,14 pol.).
(a) Qual a voltagem necessária se um material com constante dielétrica de 5,0 for posicionado entre as placas?
(b) Qual voltagem seria necessária se fosse utilizado o vácuo?
(c) Quais são as capacitâncias para as partes a e b?
(d) Calcule o deslocamento dielétrico para a parte a.
(e) Calcule a polarização para a parte a.
- 19.59** (a) Para cada um dos três tipos de polarização, descreva sucintamente o mecanismo segundo o qual os dipolos são induzidos e/ou orientados pela ação de um campo elétrico que é aplicado. (b) Para o titanato de chumbo sólido (PbTiO_3), o neônio gasoso, o diamante, o KCl sólido e o NH_3 líquido, qual(is) tipo(s) de polarização é(são) possível(is)? Por quê?
- 19.60** A constante dielétrica para um vidro de cal de soda, medida a frequências muito altas (da ordem de 10^{15} Hz),

é de aproximadamente 2,3. Qual fração da constante dielétrica a frequências relativamente baixas (1 MHz) é atribuída à polarização iônica? Despreze quaisquer contribuições da polarização de orientação.

- 19.61** (a) Calcule a magnitude do momento dipolo que está associado com cada célula unitária de BaTiO_3 , como está ilustrado na Fig. 19.33.
(b) Calcule a polarização máxima que é possível para esse material.
- 19.62** Explique sucintamente por que o comportamento ferroelétrico do BaTiO_3 cessa acima da sua temperatura Curie ferroelétrica.
- 19.63** Você esperaria que as dimensões físicas dos materiais piezoelétricos tais como o BaTiO_3 mudassem quando ele fosse submetido a um campo elétrico? Por que sim, ou por que não?

Problemas de Projeto

- 19.P1** Uma liga contendo 95%p Pt e 5%p Ni possui uma resistividade elétrica de $2,35 \times 10^{-7} \Omega\text{-m}$ à temperatura ambiente (25°C). Calcule a composição da liga platina-níquel que à temperatura ambiente possui uma resistividade de $1,75 \times 10^{-7} \Omega\text{-m}$. A resistividade da platina pura à temperatura ambiente pode ser determinada a partir dos dados apresentados na Tabela 19.1; considere que a platina e o níquel formam uma solução sólida.
- 19.P2** Usando as informações contidas nas Figs. 19.8 e 19.35, determine a condutividade elétrica de uma liga que contém 80%p Cu e 20%p Zn a -150°C (-240°F).
- 19.P3** É possível formar uma liga de cobre e níquel que possua um limite de resistência à tração mínimo de 375 MPa (54.400 psi) e ainda assim manter uma condutividade elétrica de $2,5 \times 10^6 (\Omega\text{-m})^{-1}$? Caso isto não seja possível, dizer por quê. Caso isto seja possível, qual é a concentração de níquel exigida? Você pode consultar a Fig. 7.16a.
- 19.P4** Especifique um tipo de impureza receptora e a sua concentração (em porcentagem em peso) que irá produzir um material à base de silício do tipo *p* com uma condutividade elétrica à temperatura ambiente de $50 (\Omega\text{-m})^{-1}$. Utilize as mobilidades intrínsecas dos elétrons e dos buracos e admita que as impurezas receptoras estejam saturadas.
- 19.P5** Um projeto de circuito integrado pede a difusão de átomos de boro para o interior de silício com pureza muito alta, a uma temperatura elevada. É necessário que a uma distância de $0,2 \mu\text{m}$ da superfície da pastilha de silício a condutividade elétrica à temperatura ambiente seja de $1,2 \times 10^4 (\Omega\text{-m})^{-1}$. A concentração de B na superfície do silício é mantida a um nível constante de $1,0 \times 10^{25} \text{m}^{-3}$; além disso, considera-se que a concentração de B no silício original seja desprezível e que à temperatura ambiente os átomos de boro estejam saturados. Especifique a temperatura na qual esse tratamento térmico por difusão deve ocorrer, se o tempo de tratamento é para ser de uma hora. O coeficiente de difusão para a difusão do B no silício é uma função da temperatura, de acordo com a seguinte relação:

$$D(\text{m}^2/\text{s}) = 2,4 \times 10^{-4} \exp\left(-\frac{347 \text{ kJ/mol}}{RT}\right)$$

- 19.P6** No Problema 19.43 foi observado que o FeO (wustita) pode se comportar como um material semiconductor em virtude da transformação de íons Fe^{2+} em íons Fe^{3+} , com a criação de lacunas de Fe^{2+} ; a manutenção da eletroneutralidade exige que para cada dois íons Fe^{3+} uma lacuna seja formada. A existência dessas lacunas está refletida na fórmula química dessa wustita não-estequiométrica, na forma de $\text{Fe}_{(1-x)}\text{O}$, onde *x* representa um número pequeno que possui um valor que é menor do que a unidade. O grau de não-estequiometria (isto é, o valor de *x*) pode ser variado através de mudanças na temperatura e na pressão parcial do oxigênio. Calcule o valor de *x* que é exigido para produzir um material $\text{Fe}_{(1-x)}\text{O}$ que possua uma condutividade elétrica do tipo *p* de $2000 (\Omega\text{-m})^{-1}$; considere que a mobilidade do buraco seja de $1,0 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{V-s}$ e que os estados receptores estejam saturados.
- 19.P7** O material semiconductor básico utilizado em virtualmente todos os circuitos integrados modernos é o silício. Entretanto, o silício apresenta algumas limitações e restrições. Faça uma redação comparando as propriedades e as aplicações (e/ou aplicações potenciais) para o silício e o arseneto de gálio.