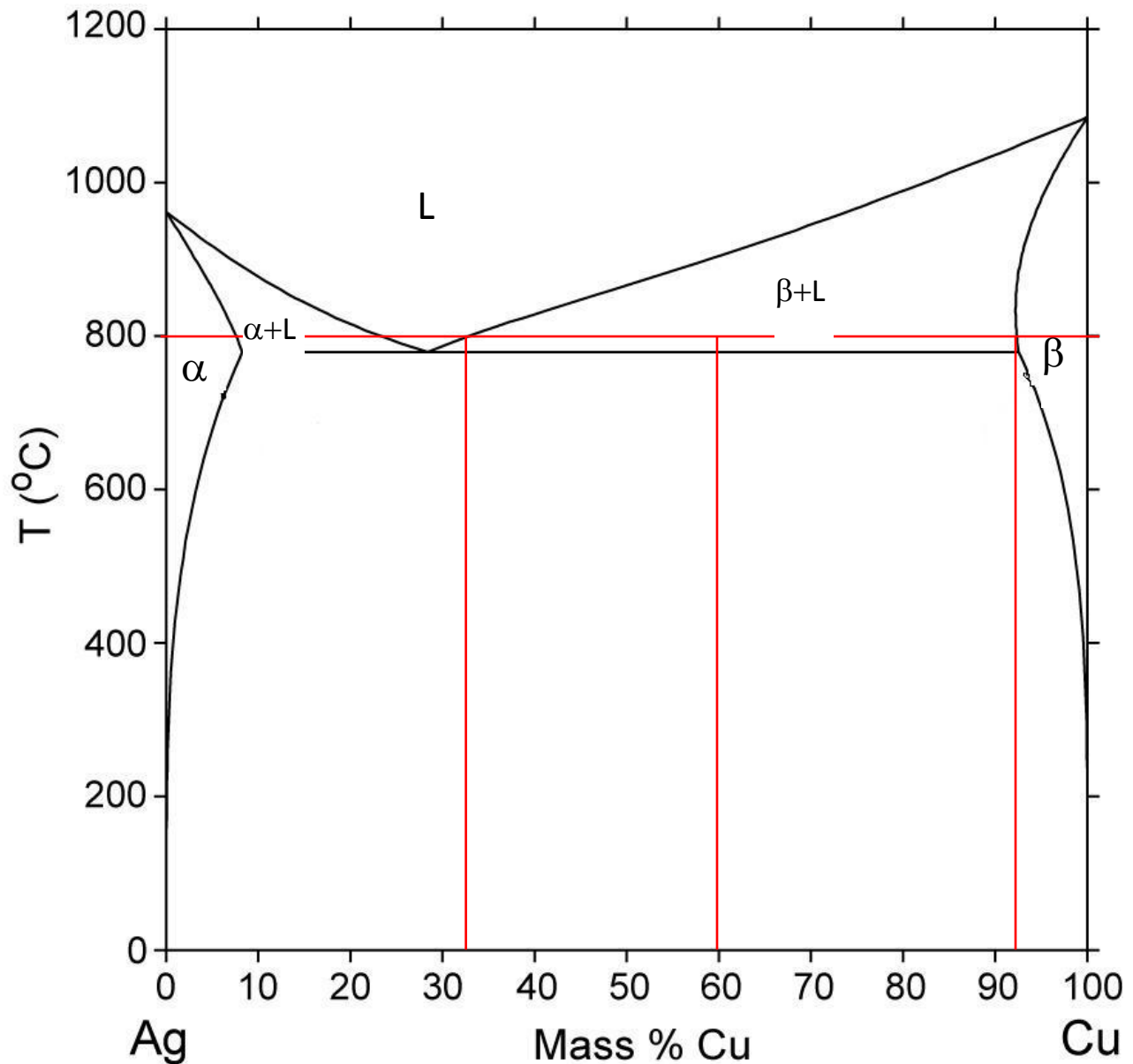


- 1) Considere a liga 40%Ag – 60%Cu e o diagrama de fases abaixo, no qual os campos monofásicos já estão identificados.



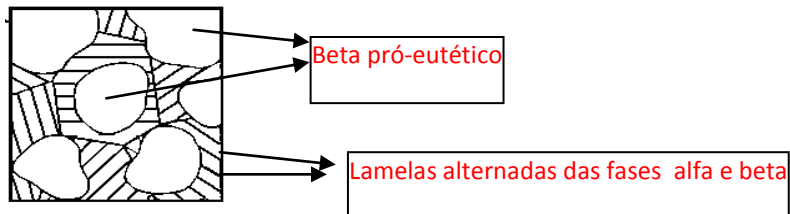
Esta liga foi aquecida a 800°C .

- (0,5) Quais são as fases presentes nesta temperatura?
- (0,5) Qual é a composição das fases nesta temperatura?
- (0,5) Qual é a porcentagem de cada fase nesta temperatura? *OBS: Monte a expressão e, se necessário, deixe indicado o resultado.*
- (0,5) Esboce a microestrutura da liga após resfriamento até a temperatura ambiente, nomeando as fases presentes.
- (0,5) Existe alguma fase pró-eutética na temperatura ambiente? Explique.
- (0,5) Qual seria a melhor liga deste sistema para ser usada em fundição? Explique.

- a. Identificando o ponto dado no enunciado percebe-se que ele se situa no campo bifásico em que coexistem as fases Líquida e Beta.
- b. As composições aproximadas podem ser obtidas pelo cruzamento da isoterma de 800 °C com as linhas de fronteira da fase líquida e da fase Beta, conforme indicado no gráfico. Assim $C_L = 32 \text{ wt\% Cu} - 68 \text{ wt\% Ag}$ e $C_\beta = 92 \text{ wt\% Cu} - 8 \text{ wt\% Ag}$

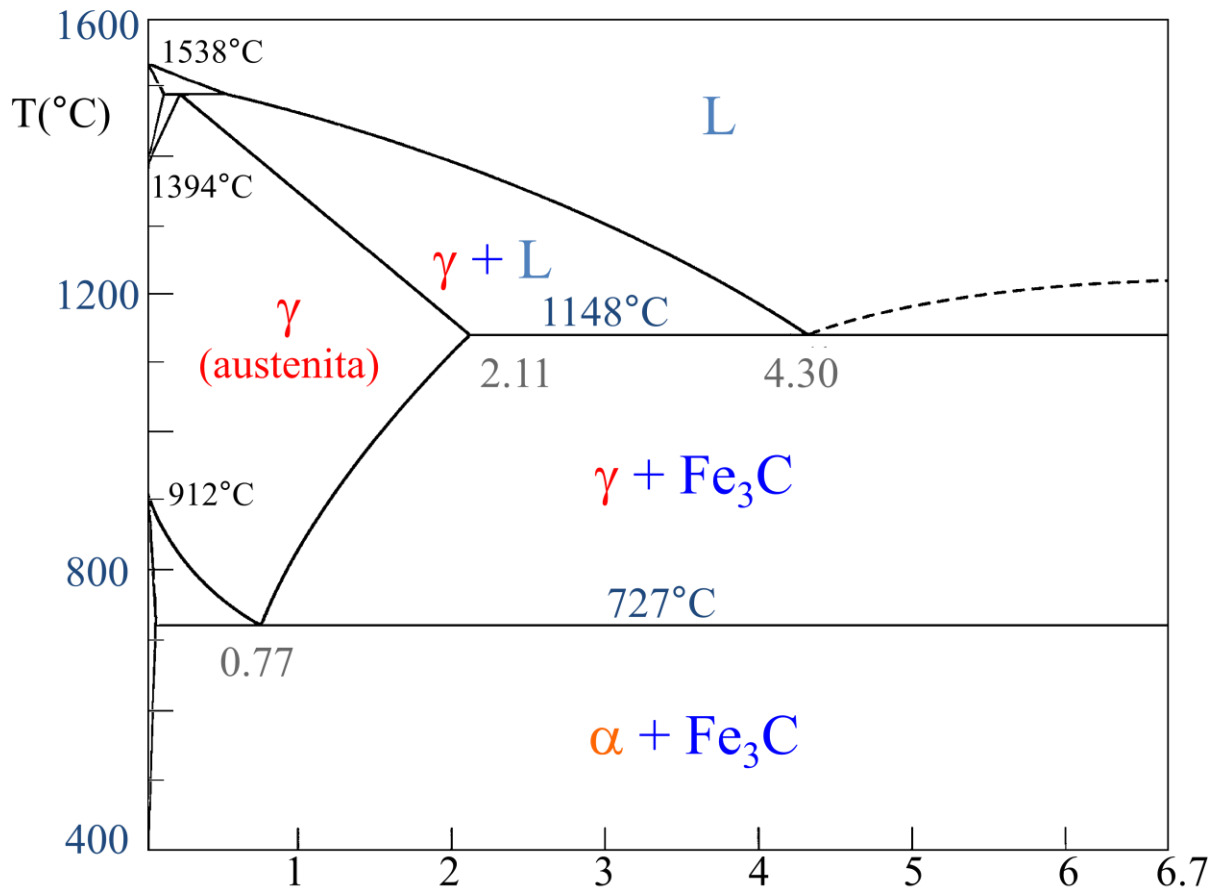
- c. Usando a regra da alavanca

$$W_L = (92-60)/(92-32) = 32/60 = 0,53 \text{ e } W_\beta = 1 - W_L = 0,47$$



- d.
- e. Sim. A fase beta pró-eutética formada acima da temperatura eutética.
- f. A liga de composição eutética, 28 wt% Cu – 72 wt% Ag, que tem ponto de fusão mais baixo do que os elementos puros e que qualquer outra composição.

- 2) Faça a análise do equilíbrio de fase (fases presentes, composições e quantidades), que ocorre nas temperaturas de 1400, 1100, 750, 600°C e ambiente durante o resfriamento de um aço hipereutetóide com 1.0% C. Utilize o diagrama Fe-C abaixo.



a) 1400°C:

- i) fases presentes: γ e líquido;
- ii) composições: $\gamma = 0.85\%C$ e $99.15\%Fe$; líquido = $2.0\%C$ e $98.0\%Fe$;
- iii) quantidades: $\gamma = 87\%$ e líquido = 13% .

b) 1100°C:

- i) 100% de γ com $1.0\%C$ e $99.0\%Fe$.

c) 750°C:

- i) fases presentes: γ e cementita (pró-eutetóide);
- ii) composições: $\gamma = 0.81\%C$ e $99.19\%Fe$; cementita = $6.67\%C$ e $93.33\%Fe$;
- iii) quantidades: $\gamma = 96.8\%$ e cementita_{pró-eutet} = 3.2% .

d) 600°C: como a composição de α sofre uma variação desprezível abaixo da reação eutetóide* e a composição de cementita não é função da temperatura, considera-se que 727°C será a última temperatura associada com uma transformação de fase sob condições de resfriamento lento (caso do exercício). Portanto, as análises em 600°C e na temperatura ambiente são idênticas e podem ser feitas imediatamente após a reação eutetóide.

e) 726°C:

- i) fases presentes: α (eutetóide), cementita (eutetóide) e cementita (pró-eutetóide) **ou simplesmente α e cementita.**
- ii) composições: $\alpha = 0.02\%C$ e $99.98\%Fe$, cementita = $6.67\%C$ e $93.33\%Fe$ e perlita = $0.77\%C$ e $99.23\%Fe$.
- iii) quantidades: perlita = 96.1% e cementita_{pró-eut} = 3.9% . **Na perlita, α (eutetóide) = 89% e cementita (eutetóide) = 11% . Então:**
- iv) $\alpha_{total} = \alpha_{eutet} = 85.4\%$ e cementita_{pró-eut} = cementita_{pró-eut} + cement_{eutet} = 14.6%

3) Considere um aço com $0,5 \text{ wt}\%C$. Responda: Qual é a maior concentração de carbono que a austenita pode conter? A que temperatura?

Trata-se de um aço hipo-eutetóide. Nestes aços, durante o resfriamento passa-se pelo campo $\alpha+\gamma$. Neste campo a concentração de carbono na austenita cresce até atingir o valor máximo de $0,77 \text{ wt}\%$ a $727 \text{ }^\circ\text{C}$.

4) Duas peças de material compósito (polímero e fibras de carbono) foram fabricadas com o mesmo formato cilíndrico e a mesma fração de fibras. A rigidez foi medida ao longo do eixo do cilindro (direção AX), e na direção transversal (direção TR). Obtiveram-se os seguintes valores:

Peça	Direção AX	Direção TR
A	$60 \times 10^3 \text{ MPa}$	$20 \times 10^3 \text{ MPa}$
B	$32 \times 10^3 \text{ MPa}$	$34 \times 10^3 \text{ MPa}$

O que podemos afirmar a partir destes dados?

(X) A peça A tem fibras contínuas e alinhadas na direção AX. A Peça B tem fibras aleatoriamente orientadas.

(X) Para a peça A, a rigidez na direção AX corresponde à condição de iso-deformação, enquanto a direção TR corresponde à condição de iso-tensão.

() A peça A tem fibras contínuas e alinhadas na direção AX. A Peça B tem fibras contínuas e alinhadas na direção TR.

() Não faz sentido testar um compósito formado por componentes com valores de rigidez muito diferentes.

5) Como a estrutura eletrônica de um átomo isolado difere daquela exibida por um material sólido?

Os átomos isolados possuem estados eletrônicos de energia discretos. Por outro lado, em materiais sólidos os elétrons se organizam energeticamente em bandas. As bandas consistem em grande número de estados eletrônicos de energia discretos, deslocados ligeiramente um em relação ao outro.

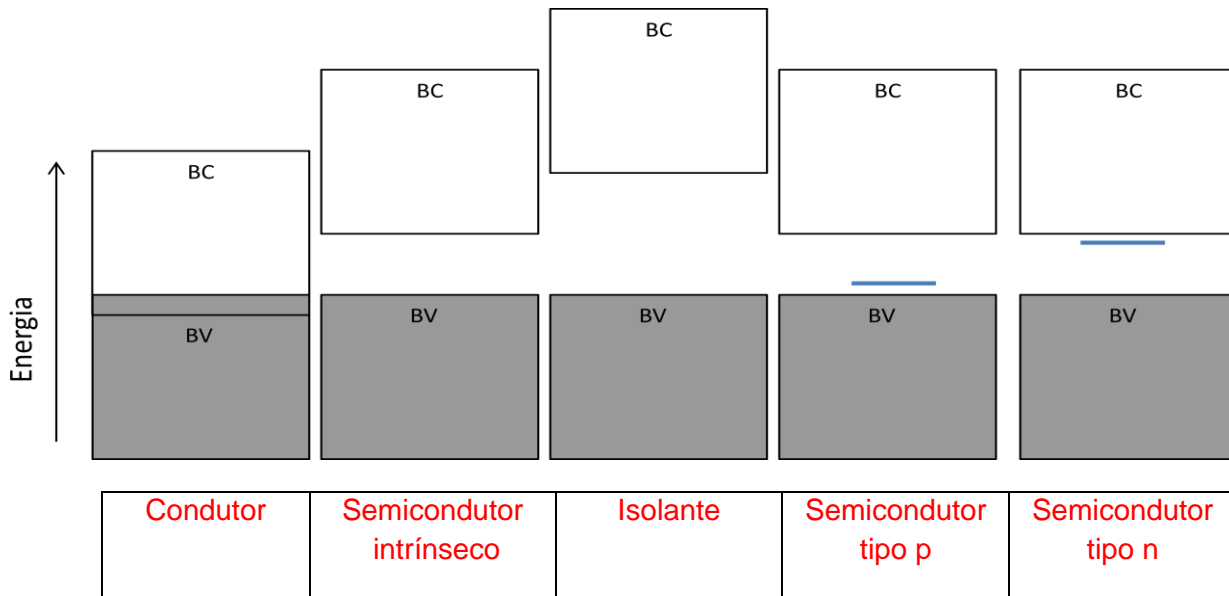
6) Explique o que são dopantes, detalhando seus tipos e suas consequências sobre as propriedades de semicondutores intrínsecos.

a) **Dopantes são impurezas substitucionais que são adicionadas em baixa concentração à rede de semicondutores puros como Si.**

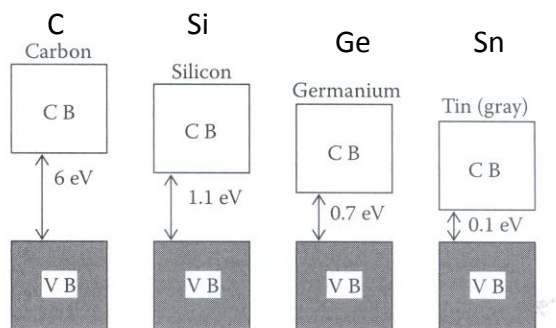
b) **Existem dopantes receptores (p.ex. B, que tem um elétron a menos do que o Si na camada de valência) e doadores (p.ex. P e As, que tem um elétron a mais na camada de valência).**

- c) Os dopantes receptores contribuem para a formação de buracos na BV enquanto os doadores fornecem elétrons para a BC. Desta forma, a condutividade do Si é aumentada.
- d) Pequenas quantidades de dopantes (tipicamente 1 ppb a 1 ppm) aumentam a condutividade em várias ordens de grandeza (p.ex. 10^5 vezes para 100 ppb).

7) Considere os diagramas de bandas de energia abaixo e associe-os às classes de materiais de acordo com sua condutividade.



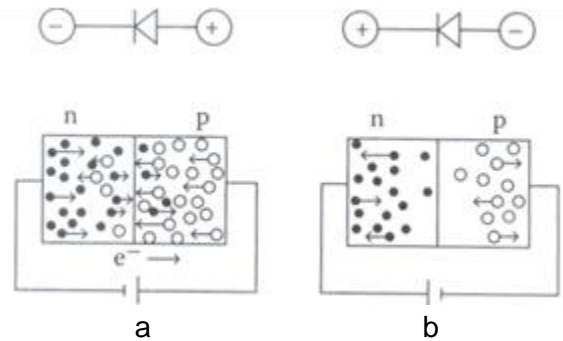
8) Com base nas informações fornecidas pela figura a seguir ordene os semicondutores do grupo IVa na ordem decrescente de suas condutividades elétricas.



$$\text{Sn} > \text{Ge} > \text{Si} > \text{C}$$

- 9) Explique o processo de emissão de luz em um LED e como é possível variar a cor da luz.
 - a) A luz é emitida quando elétrons excitados para a BC se recombinam com buracos na BV. A energia “devolvida” pelos elétrons se transforma em luz.
 - b) A cor, ou frequência, da luz, depende da diferença de energia entre a BV e a BC, ou seja, da energia do “gap”. Quanto maior o “gap”, maior a energia e a frequência da luz.
 - c) Para variar a cor da luz, portanto, deve-se variar o valor do gap. Este valor, por sua vez, depende do parâmetro da rede cristalina do material. Combinando diferentes materiais (especialmente das colunas II, III, V e VI da tabela periódica) em ligas com diferentes composições químicas, obtêm-se diversos parâmetros rede e, em consequência, diferentes valores de “gap” e de cor da luz emitida.

10) Explique o funcionamento da junção $p-n$ usada em diodos retificadores de corrente através dos seguintes desenhos esquemáticos. Justifique sua resposta através do diagrama I-V.



Se o campo elétrico externo estiver aplicado de tal modo a provocar polarização direta (desenho a), o fluxo dos portadores de carga através da junção $p-n$ aumentará devido à sua interação com o campo externo. Será produzida uma forte corrente elétrica que dependerá de forma exponencial da tensão elétrica externa aplicada.

Quando o campo externo é invertido provocando polarização reversa (desenho b), os elétrons livres fluem no sentido do lado positivo do campo elétrico externo que fica do lado do semicondutor tipo n. Deste modo, invertendo o potencial através da junção $p-n$, tem-se como o efeito uma forte redução de corrente.

Esta propriedade de permitir corrente passar apenas num sentido é chamada de retificação e é usada em adaptadores de corrente alternada para contínua.

11) Adiciona-se P ao Si intrínseco para obter uma concentração de 10^{23} m^{-3} de portadores de carga à temperatura ambiente.

- Este material é semicondutor do tipo n ou do tipo p ?
 - Calcule a condutividade elétrica desse material à temperatura ambiente, assumindo que as mobilidades dos portadores de carga sejam as mesmas exibidas pelo material intrínseco ($\mu_e = 0,14 \text{ m}^2/\text{Vs}$). Sabe-se que a carga elementar (q) é $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.
- a) O P é um elemento do Grupo V e desta forma atuará como um doador de elétrons. Dessa forma os 10^{23} m^{-3} portadores de carga serão somente elétrons introduzidos pela dopagem com P.
- b) $\sigma = nq\mu_e = 10^{23} \text{ m}^{-3} \times (1,6 \times 10^{-19} \text{ C}) \times 0,14 \text{ m}^2/\text{Vs} = 2.240 (\Omega\text{m})^{-1}$