

1-Explique como se chega à noção de “electrões quentes” num semiconductor.

2-Diga em que consiste o efeito de Gunn nos semicondutores?

3-A mobilidade dos electrões numa amostra de Si é de $1200 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ e a das lacunas é $600 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$. Aplica-se um campo eléctrico \mathbf{E} na direcção \mathbf{OX} e um campo magnético \mathbf{B} na direcção \mathbf{OY} (ambos uniformes).

a)Partindo da definição de mobilidade escreva a expressão da grandeza da força de Lorentz a que fica sujeito cada tipo de transportadores.

b)Calcular a relação das concentrações de electrões e lacunas, quando não se observa corrente na direcção \mathbf{OZ} .

4-Uma amostra de Si é dopada com As, sendo 10^{23} m^{-3} a concentração de impurezas dadoras. A amostra está à temperatura ambiente. $\Delta E = 1.12 \text{ eV}$, $m_e^* = m_h^* = 9.1 \times 10^{-31} \text{ Kg}$, $K_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$, $h/2\pi = 1.034 \times 10^{-34} \text{ J s}$, $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

a)Calcular a concentração intrínseca de electrões e compará-la com a concentração de electrões fornecidos pelas impurezas dadoras.

b)Supondo que todas as impurezas estão ionizadas, determinar a posição do nível de Fermi na amostra.

c)Discutir o efeito da adição de impurezas aceitadoras com concentração $6 \times 10^{21} \text{ m}^{-3}$ na posição do nível de Fermi.

5-Distinga entre um semiconductor intrínseco de um semiconductor extrínseco. Pode-se afirmar que um semiconductor intrínseco não contém impurezas? Justifique.

b)Comente a afirmação: “a altas temperaturas todos os semicondutores são intrínsecos”.

c)Distinga entre semiconductor de *gap* directo e semiconductor de *gap* indirecto.

6-Numa amostra de Si a mobilidade dos electrões é dupla da das lacunas e $p=4n$. Aplica-se a esta amostra um campo eléctrico \mathbf{E} segundo o eixo dos \mathbf{XX} e um campo magnético \mathbf{B} segundo o eixo dos \mathbf{YY} . Mede-se, nestas condições, a corrente na direcção do eixo dos \mathbf{ZZ} . Qual é o valor esperado?

7-Esboce o gráfico da variação da densidade de corrente \mathbf{J} com o campo eléctrico \mathbf{E} , para um semiconductor que apresente condutividade diferencial negativa.

b) Explique o mecanismo físico responsável pelo aparecimento de condutividade diferencial negativa.

8-Escrever a expressão da condutividade eléctrica de um semiconductor com electrões e lacunas.

a) Supondo iguais as mobilidades de ambos os tipos de transportadores, verificar em que condição é mínima a condutividade.

b) Calcular a variação da resistividade de uma amostra de Ge à temperatura de 300 °K, dopada com 4×10^{23} átomos de P por metro cúbico.

9-O gráfico da Fig. 1 representa a condutividade σ , de um semiconductor em função da temperatura T. Identifique neste gráfico zonas correspondentes a comportamentos típicos de semicondutores (intrínsecos e extrínsecos) e apresente uma justificação para a variação de σ com T.

10-Um dado semiconductor cristaliza numa rede do tipo da do diamante com $a=0.54$ nm, e tem comportamento intrínseco.

a) Comparar as energias de Fermi e as concentrações de transportadores a 0°K e 300°K.

b) Qual a concentração de Al que é necessário adicionar ao semiconductor para fazer baixar o nível de Fermi de 0.1 eV à temperatura de 300 °K.

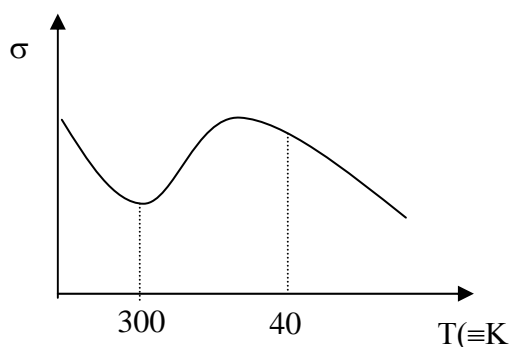
11-Considere uma junção p-n semicondutora indicando:

a) Como varia a concentração de impurezas ao longo da junção?

b) A origem das correntes de geração e recombinação

c) a condição de equilíbrio dinâmico.

13-Representar a estrutura de bandas típica de um semiconductor do tipo n e de outro do tipo p. Explicar a a variação de $n(T)$ representada na Fig.1 para um semiconductor do tipo n.



14-Uma amostra de Ge é dopada com Al(sp³) sendo a concentração do dopante 10¹⁸cm⁻³. Calcular a variação esperada para o coeficiente de Hall da amostra entre a temperatura ambiente (300 °K) e a temperatura de 500°K.

Para o Ge:

$$m_e^* = 0.6 m_o, m_h^* = 0.3 m_o, \mu_e = 4500 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}, \mu_h = 3500 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}, \Delta E = 0.67 \text{ eV},$$
$$R_H = (p \mu_h^2 - n \mu_e^2) / e(n \mu_e + p \mu_h)^2$$

15-Explique o que acontece na corrosão química do silício com KOH numa solução aquosa se pretendessemos obter uma massa rectangular perfeita depositada numa membrana de nitrato de silício.

16-Um wafer de silício (5x10²² átomos cm⁻³) contém 10⁻⁴ % de arsénico (As, grupo V) como impureza. Depois recebe um doping uniforme de 3x10¹⁶ cm⁻³ de átomos de fósforo (P, grupo V) e um doping uniforme de 10¹⁸ cm⁻³ átomos de Boro (grupo III). Um tratamento térmico activa as impurezas.

a) Qual o tipo de condutividade deste wafer (n ou p)? Justifique.

b) Qual a densidade dos transportadores maioritários?

17-Desenhe as camadas e identifique-as de um n-MOSFET (W/L=2), de acordo com a tecnologia CMOS, p-well, 2.0 um.

18-Para que serve o processo de oxidação LOCOS? É usado em Bipolar, micromaquinagem, CMOS ou BiCMOS?

19- Qual o interesse de usar num processo CMOS uma *twin-well*, isto é uma p-well e uma n-well no mesmo processo de fabrico?

20-Actualmente a INTEL desenhou o Pentium III em tecnologia CMOS 0.18 um.

a) Que vantagens traz a diminuição do tamanho do canal dos *MOSFETs*?

b) Qual é a limitação no desenvolvimento de canais com tamanhos ainda mais pequenos para os *MOSFETs*?

21-A tecnologia BiCMOS é usada com frequência em microelectrónica. Diga quais são as:

a) Vantagens.

b) Desvantagens.

22-A Fig. 1 apresenta uma função lógica.

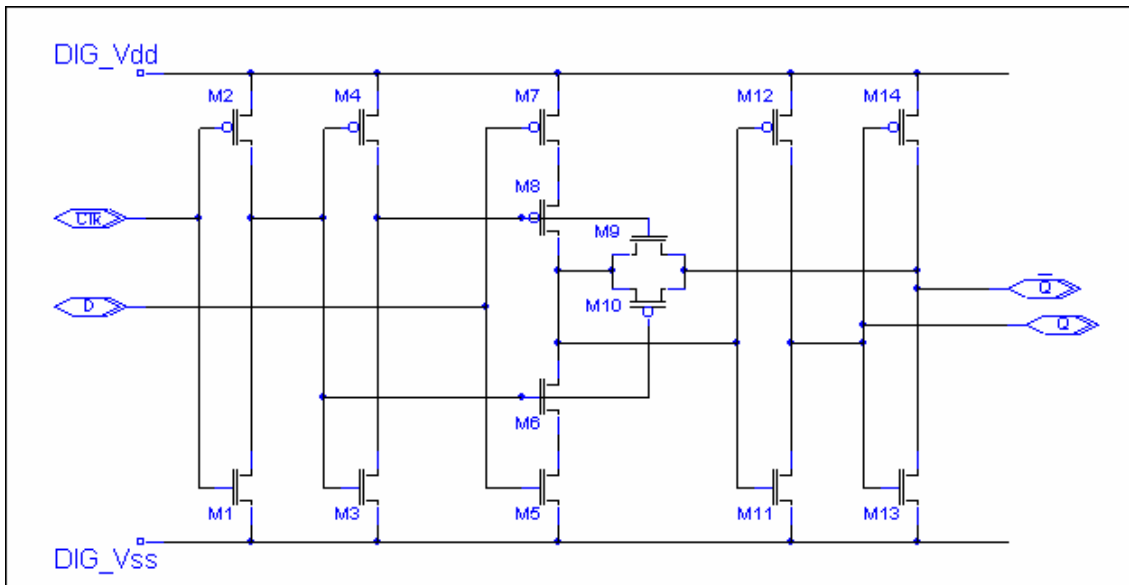


Fig. 2

- Identifique a função. Justifique, construindo a tabela de verdade.
- Explique a estratégia usada no andar do meio (M5-M8, conhecida por C²MOS) e a função da *gate* de transmissão.

23- Explicar:

- A estrutura de bandas típica de um semicondutor do tipo n e de outro do tipo p (sugestão: faça dois diagramas para cada uma das estruturas).
- A variação de $n(T)$ representada na Fig. 3 para um semicondutor do tipo n.

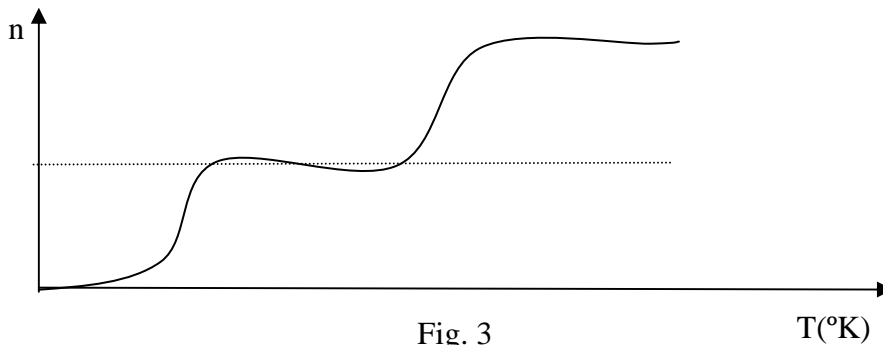


Fig. 3

24- Diga como implementaria da maneira mais simples em silício um sensor de cor?

25- Porquê o uso da máscara *Active* num processo de fabrico CMOS?

26- Porquê o uso da máscara *CB (overlayer)* num processo de fabrico CMOS?

27- Na Fig. 4 está representado o *layout* de um inversor. Identifique cada uma das camadas (ou máscaras)? Responda no próprio enunciado à frente das 10 setas.

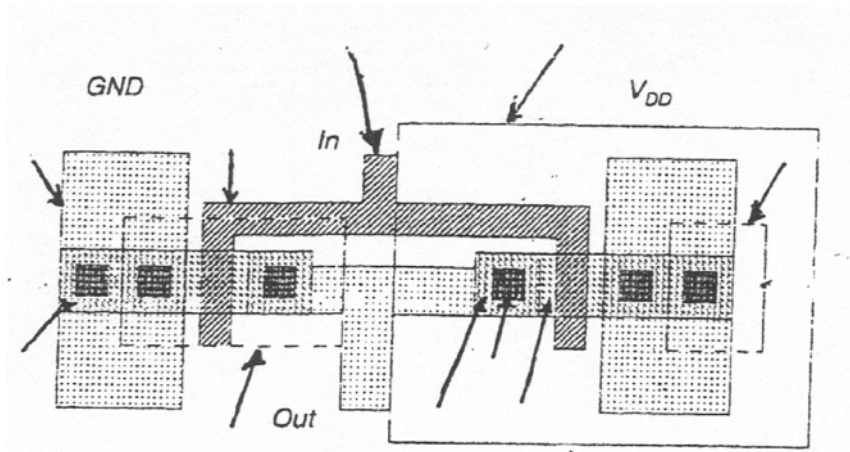


Fig. 4

28-As máscaras Contact e VIA representam o quê em termos de *layout*?

29-Desenhe a forma paralelipidica (obtenção de uma massa sobre uma membrana) obtida numa corrosão química de wafers de silício (do tipo [100] e [110]) com KOH numa solução aquosa. Porque é que o silício é corroído anisotropicamente no caso dos wafers de [100]?

30-Explique a técnica de micromaquinagem do silício conhecida por *LIGA* e diga 2 vantagens em relação a *Bulk micromachining*.

Nome _____

Número _____

1-Em que é consiste o efeito de Gunn? Refira uma aplicação deste efeito.

2-Na Fig. 1 está representado um Inversor em corte. Identifique-o e diga cada uma das camadas que o compõe? Responda no próprio enunciado à frente das setas.

3-O processo de oxidação designado por LOCOS na tecnologia CMOS é realizado com que objectivo?

4-A Fig. 2 apresenta em corte uma estrutura obtida com a corrosão química de um wafer de silício [xyz] com KOH numa solução aquosa.

a)Diga quais são os valores de x,y e z, justifique?

b)Porquê um ângulo de $54,7^\circ$ no plano (111) na corrosão química de wafers de silício com orientação [100] ?

5-Explique a técnica de micromaquinagem do silício conhecida por LIGA e diga vantagens/desvantagens em relação a Bulk-micromachining.

6-Um wafer de silício (no estado intrínseco contém 1×10^{22} átomos cm^{-3}) foi dopado com átomos de fósforo, ficando à temperatura ambiente com uma energia de Fermi de 0.56 eV. Este wafer tem dimensões apreciáveis, espessura maior que 2 mm e 50 mm de diâmetro.

a)Calcule a concentração de electrões, n, após a dopagem (se precisar, use as fórmulas e valores indicados na página 2, Exercício 6) e o estado final do wafer.

b)O silício é um semiconductor emissor de luz? Justifique.

c)Explique se é possível visualizar o fenómeno de Hall? E como obtinha um campo eléctrico de Hall?

d)A medição experimental da constante de Hall fornece-nos que tipo de informação?

7-A Fig. 3 apresenta duas estruturas frequentemente usadas funções lógicas.

a)Identifique cada uma das estruturas.

b)Explique o funcionamento de cada uma das estruturas.

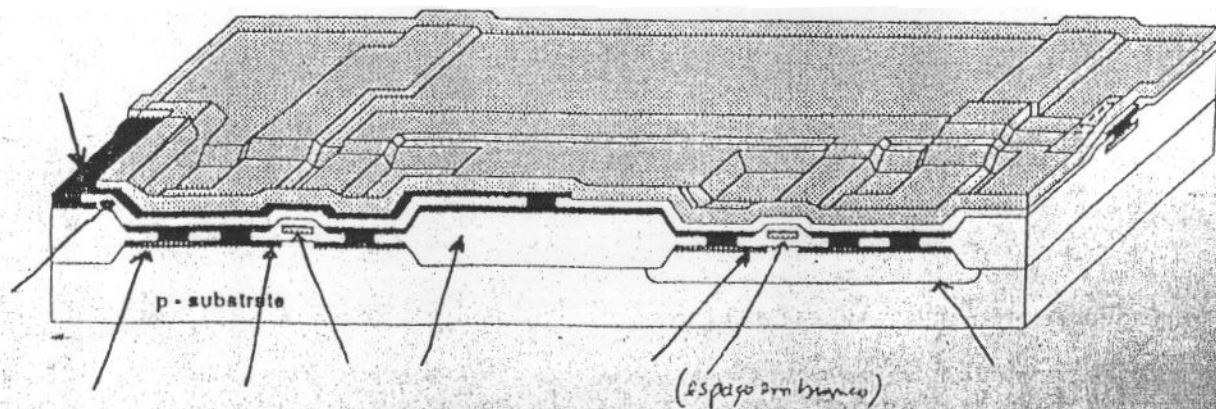


FIG. 1

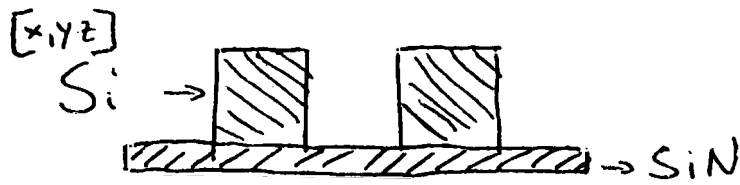


FIG. 2

FÓRMULAS E VALORES (EXERCÍCIO 6)

$$n = 2 \left(\frac{m_e^* k_B T}{2\pi \hbar^2} \right)^{3/2} \exp\left(\frac{-\Delta E}{2k_B T}\right)$$

$$n = 2 \left(\frac{k_B T}{2\pi \hbar^2} \right)^{3/2} (m_e^* m_h^*)^{3/4} \exp\left(\frac{-\Delta E}{2k_B T}\right)$$

$$m_e^* = m_h^* = 9.1 \times 10^{-31} \text{ Kg}$$

$$\hbar = 6.58 \times 10^{-16} \text{ eV} \cdot \text{s}$$

$$k_B = 8.6 \times 10^{-5} \text{ eV} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$T_{\text{ambiente}} = 300^\circ \text{K} = 27^\circ \text{C}$$

$$0^\circ \text{C} = 273^\circ \text{K}$$

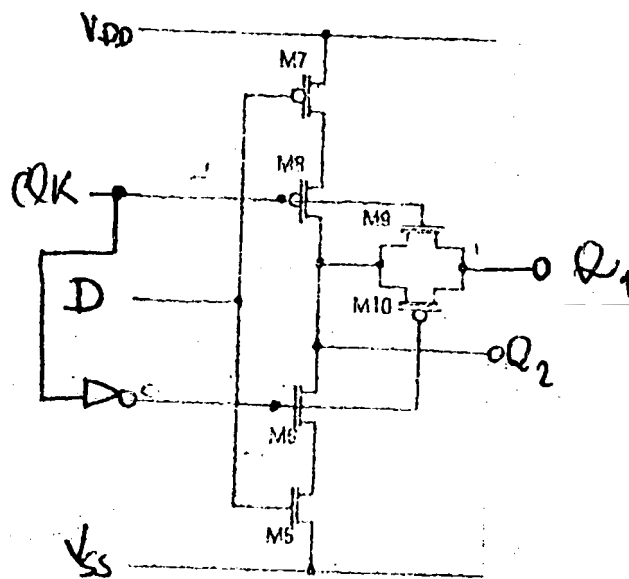


FIG. 3