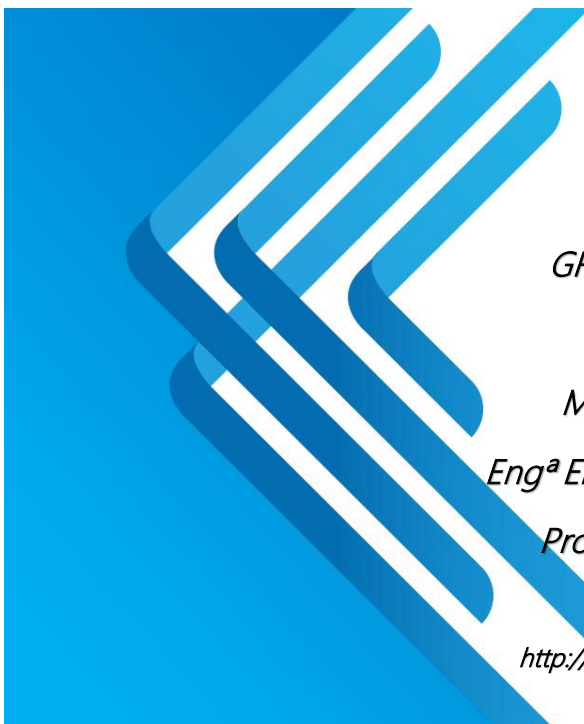




GRADUAÇÃO PRESENCIAL
1º semestre- 2015

Materiais Eletroeletrônicos
Eng^a Elétrica – 4º/ 5º semestres
Prof^o. Ms. Cristiano Malheiro

cmalheiro@anhanguera.com
<http://cristianotm.wix.com/notasdeaula>

1

Aula 9

Capacitor MOS

Prof. Ms. Cristiano Malheiro
(cmalheiro@aedu.com)

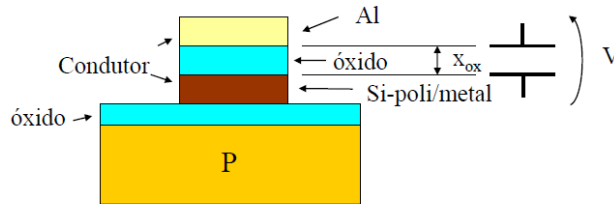
Bibliografia: Caracterização Elétrica de Tecnologia e
Dispositivos MOS- João Antonio Martino

Graduação – Junho de 2015

Aula 9

• Capacitores

Capacitância (C) Constante: adotada quando se deseja fabricar um capacitor em CI



$$C = \frac{\epsilon_{ox} A}{x_{ox}}$$

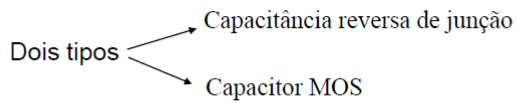
Onde: ϵ_{ox} - Permissividade do dielétrico (normalmente SiO_2)
 x_{ox} - Espessura do dielétrico (normalmente SiO_2)
 A - área do capacitor

3

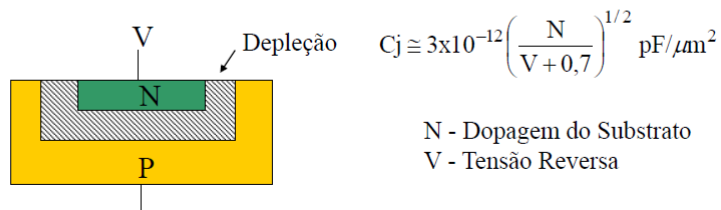
kroton
pensando por educar

Aula 9

Capacitância (C) Variável com a tensão aplicada



Capacitância Reversa de Junção



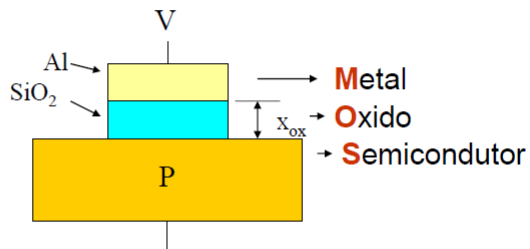
N - Dopagem do Substrato
 V - Tensão Reversa

4

kroton
pensando por educar

Aula 9

Capacitor MOS

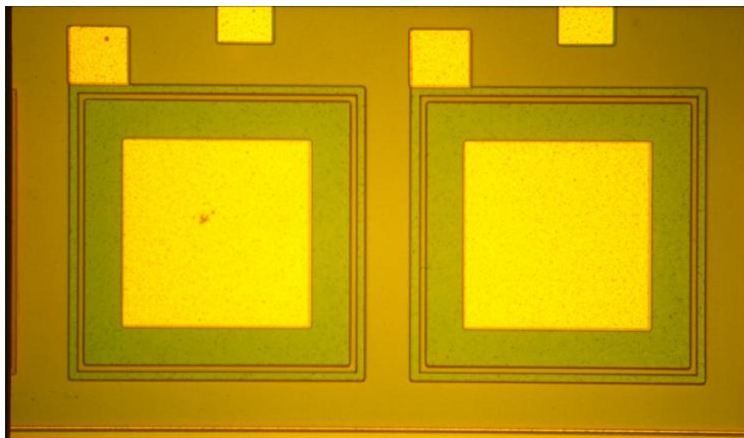


Largamente utilizado para a obtenção de características elétricas e físicas do processo de fabricação de circuitos integrados.

5

kroton
pensando por educar

Aula 9



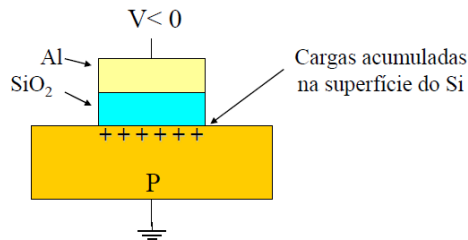
6

kroton
pensando por educar

Aula 9

Regimes de carga do capacitor MOS em função da tensão aplicada

Aplicando-se uma tensão negativa, cargas positivas são atraídas para a interface $\text{SiO}_2\text{-Si}$. Nesta situação, diz-se que a superfície do semiconductor encontra-se em **acumulação** de portadores majoritários.



Entre os terminais do capacitor, a única capacitância existente é a do óxido (C_{ox}):

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

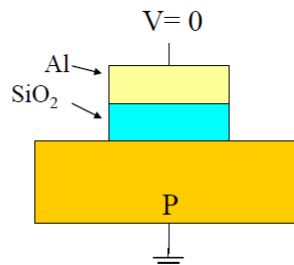
7

kroton
pensando por educar

Aula 9

Aumentando-se a tensão aplicada, as lacunas que estavam acumuladas na superfície são repelidas. A concentração de lacunas acumuladas na superfície vai reduzindo, até chegar a neutralidade da superfície.

Desprezando-se a diferença de função trabalho e a presença de cargas parasitas no óxido, esta tensão é nula.

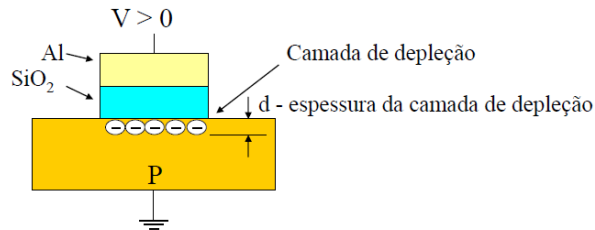


8

kroton
pensando por educar

Aula 9

Aumentando um pouco mais a tensão ($V > 0$) cargas negativas são atraídas para a superfície. Estas poucas cargas negativas recombina-se com as lacunas do substrato e formam uma região de **depleção**.



A capacitância associada à camada de depleção (C_{Si}), em analogia à do óxido:

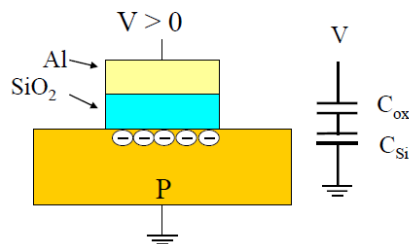
$$C_{Si} = \frac{\epsilon_{Si}}{d}$$

9

kroton
pensando por educar

Aula 9

As capacitâncias decorrentes do óxido e da camada de depleção permanecem em série. Logo, externamente, será obtido o valor equivalente:



Logo, a capacitância equivalente resulta:

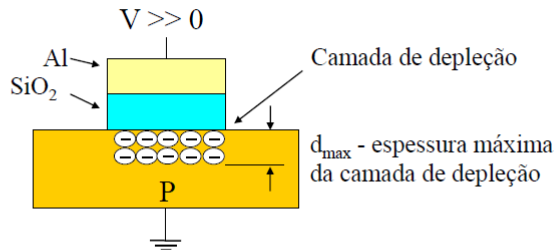
$$C = \frac{C_{ox} C_{Si}}{C_{ox} + C_{Si}}$$

10

kroton
pensando por educar

Aula 9

Quanto maior a tensão aplicada, maior a camada de depleção, até o valor máximo ($d_{\max}$)



Em seu valor mínimo ($C_{\text{Si min}}$):

$$C_{\text{Si min}} = \frac{\epsilon_{\text{Si}}}{d_{\max}}$$

11

kroton
pensando por educar

Aula 9

Com a equação da associação equivalente de capacitores:

$$\frac{C}{A} = \frac{C_{\text{ox}} C_{\text{Si}}}{C_{\text{ox}} + C_{\text{Si}}}$$

Todos os aumentos na tensão aplicada elevam o valor de d até atingir $d_{\max}$, ponto onde a capacitância atinge seu valor mínimo:

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

12

kroton
pensando por educar

Aula 9

Sabe-se que a máxima espessura da camada de depleção é obtida quando o potencial na interface Si-SiO₂ é igual a:

$$\phi_S = 2 \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{N_A}{n_i} \right)$$

Onde: k é a constante de Boltzmann

T é a temperatura absoluta

q é a carga do elétron

n_i é a concentração intrínseca de portadores (constante)

N_A é a concentração de dopantes do substrato.

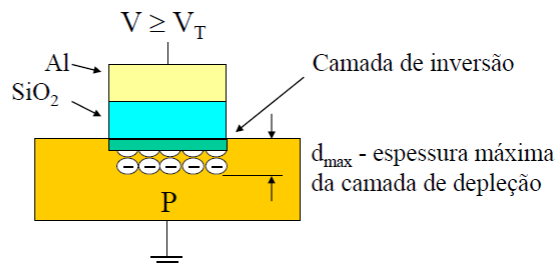
$$d_{\max} = \sqrt{\frac{4\epsilon_{\text{Si}} kT \ln \left(\frac{N_A}{n_i} \right)}{q^2 N_A}}$$

13

kroton
pensando por educar

Aula 9

Após atingir o valor máximo (d_{max}), a região de depleção não aumenta mais com a tensão aplicada. Todo o aumento de tensão se converte na atração de um grande volume de cargas negativas para a interface Si-SiO₂. Este último regime de cargas é chamado de **inversão**. A atração de cargas ocorre para uma tensão igual ou superior a tensão de limiar de inversão (V_T).



Os aumentos na tensão aplicada aumentam a quantidade de cargas negativas atraídas para a superfície.

14

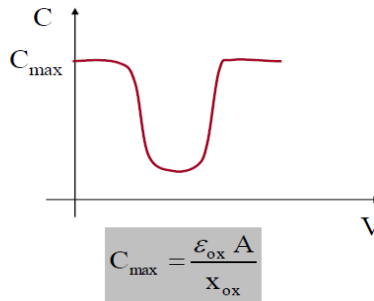
kroton
pensando por educar

Aula 9

A curva característica do capacitor MOS depende da frequência do sinal alternado aplicado

A camada de **inversão** apenas contribui capacitivamente, anulando o efeito da capacitância da região de depleção, se a frequência do sinal alternado for baixa.

1 - Baixas Frequências



Esta curva tem pouco interesse prático, pois permite a determinação apenas da espessura do óxido (x_{ox}), a partir da capacitância máxima.

15

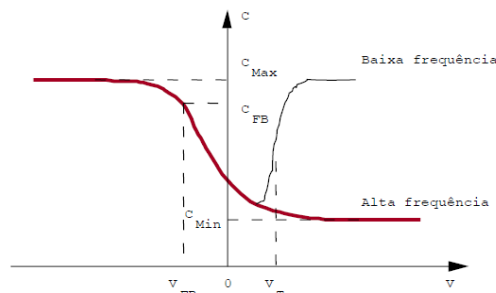
kroton
pensando por educar

Aula 9

2 - Altas Frequências

Neste caso, o efeito da capacitância da região de depleção permanece, mantendo o valor da capacitância equivalente no mínimo ($C_{\min}$).

Curva mais comumente utilizada, pois permite a determinação de diversos parâmetros, além de x_{ox} .



Para a determinação da espessura do óxido (x_{ox}) utiliza-se a capacitância máxima, tal como em baixa frequência:

$$x_{\text{ox}} = \frac{\epsilon_{\text{ox}} A}{C_{\max}}$$

16

kroton
pensando por educar

Aula 9

Conhecendo o valor da capacitância mínima da curva pode-se estimar a concentração de dopantes do substrato (N_A), por solução iterativa, combinando-se as equações:

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



$$d_{\max} = \frac{\epsilon_{\text{Si}}}{C_{\text{Si}_{\min}}}$$



$$d_{\max} = \sqrt{\frac{4\epsilon_{\text{Si}} kT \ln\left(\frac{N_A}{n_i}\right)}{q^2 N_A}}$$



$$N_A = \frac{4\epsilon_{\text{Si}} kT \ln\left(\frac{N_A}{n_i}\right)}{q^2 d_{\max}^2}$$

17

kroton
pensando por educar

Aula 9

Exercício: Projetar um capacitor MOS quadrado que tenha capacitância máxima igual a 7pF.
Considerar $x_{\text{ox}} = 40\text{nm}$ e $\epsilon_{\text{ox}} = 40 \times 10^{-14} \text{ F/cm}$.

18

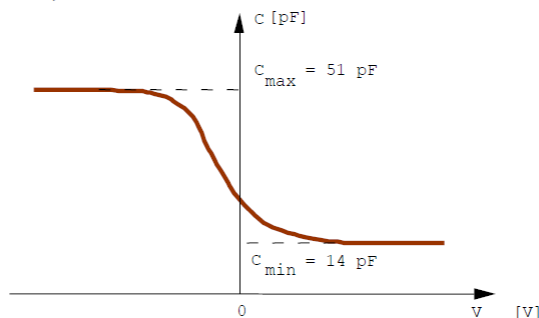
kroton
pensando por educar

Aula 9

Exercício: Dada a curva CV abaixo, medida em um capacitor MOS quadrado de lados $300\ \mu\text{m}$, determinar:

- a espessura do óxido de porta (nm);
- a concentração efetiva de dopantes no silício (cm^{-3});

Dados: $\epsilon_{\text{ox}} = 3,45 \cdot 10^{-13}\ \text{F/cm}$; $\epsilon_{\text{Si}} = 1,03 \cdot 10^{-12}\ \text{F/cm}$; $kT/q = 25\ \text{mV}$;
 $n_i = 1,45 \cdot 10^{10}\ \text{cm}^{-3}$;



19

kroton
 paixão por educar

kroton
 paixão por educar

Bibliografia desta aula:

- Caracterização Elétrica de Tecnologia e Dispositivos MOS – Marcelo Antônio Pavanello e João Antônio Martino, Editora Thomson, 2003.
- Materiais, Dispositivos e Componentes. Autor: Sérgio Rezende.

20

