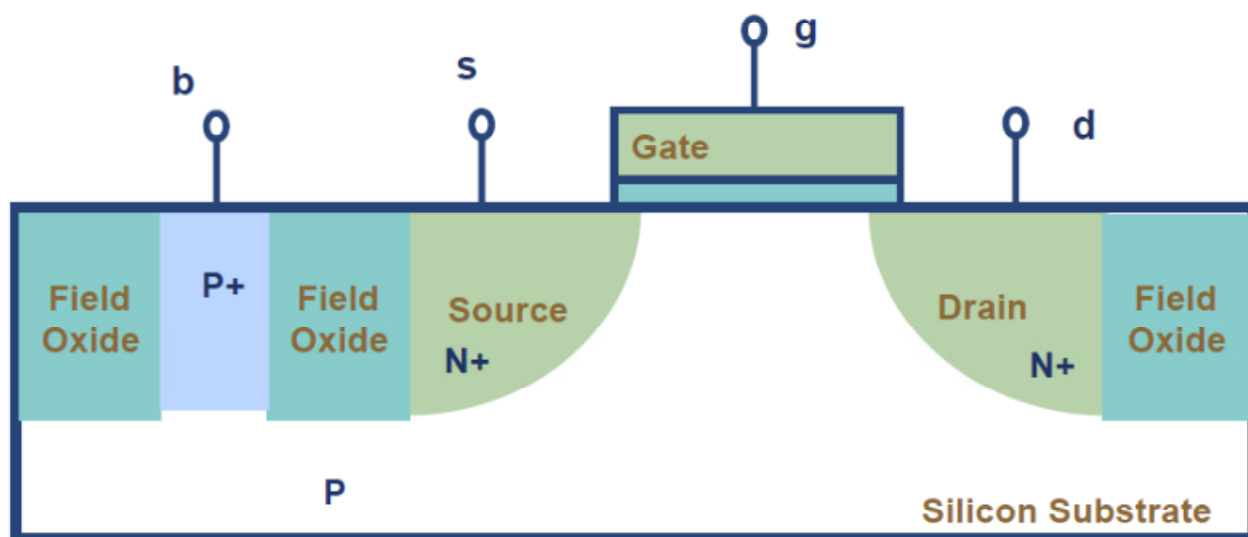


# MOSFET NA VISOKIM UČESTANOSTIMA

Na visokim učestanostima se gotovo isključivo koriste N-kanalni MOSFET-ovi jer je na sobnoj temperaturi pokretljivost elektrona oko 2.5 puta veća od pokretljivosti šupljina.

Nazivi elektroda su:

G = gejt	g = gate
S = sors	s = source
D = drejn	d = drain
B = osnova	b = bulk



## IZLAZNE KARAKTERISTIKE MOSFETA

Struja drejna MOSFET-a u omskoj i triodnoj oblasti je:

$$i_D = B \left[ (v_{GS} - V_T)v_{DS} - \frac{v_{DS}^2}{2} \right]$$

$$v_{GS} \geq V_T$$

$$v_{GD} \geq V_T$$

$$v_{GS} - V_T \geq v_{DS}$$

Struja drejna u oblasti zasićenja je:

$$i_D = \frac{B}{2} (v_{GS} - V_T)^2 (1 + \lambda v_{DS})$$

$$i_D \cong \frac{B}{2} (v_{GS} - V_T)^2$$

$$v_{GS} \geq V_T$$

$$v_{GD} < V_T$$

$$v_{DS} \geq v_{GS} - V_T$$

gde je:

$$B = \frac{\mu_n C_{ox} W}{L}$$

$\mu_n$  = pokretljivost elektrona (slobodnih nosilaca naelektrisanja)

$C_{ox}$  = površinska kapacitivnost gejta

$W$  = širina kanala

$L$  = dužina kanala

$V_T$  = napon praga

$$C_{ox} = \frac{\epsilon_{ox}}{t_{ox}} = \frac{C_{gk}}{S_g}$$

$\epsilon_{ox}$  = dielektrična konstanta (permitivnost) oksida

$t_{ox}$  = debljina oksida

$C_{gk}$  = kapacitivnost između gejta i kanala

$S_g$  = površina gejta

### MODEL ZA MALE SIGNALE MOSFETA

Parametri MOSFET-a u modelu za male signale su:

$g_m$  = transkonduktansa

$r_{ds}$  = izlazna otpornost

$g_{mb}$  = modulacija transkonduktanse usled modulacije napona praga

$$g_m = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{GS}} \right|_{v_{DS} = V_{DSQ} = \text{const}} \cong B(v_{GS} - V_T) = B \sqrt{\frac{2i_D}{B}}$$

$$g_m = \sqrt{2Bi_D}$$

$$r_{ds} = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{DS}} \right|_{v_{GS} = V_{GSQ} = \text{const}} = \frac{B}{2}(v_{GS} - V_T)^2 \lambda = \frac{\lambda i_D}{1 + \lambda v_{DS}} = \frac{i_D}{\frac{1}{\lambda} + v_{DS}}$$

$$r_{ds} \cong \lambda i_D$$

$$V_T(V_{BS}) = V_{T0} + \gamma \left( \sqrt{2\phi_p - V_{BS}} - \sqrt{2\phi_p} \right)$$

$$\gamma = \frac{\sqrt{2q\epsilon_{ox}N_A}}{C_{ox}}$$

$\phi_p$  = potencijal površine

$q$  = elementarno naelektrisanje elektrona

$N_A$  = koncentracija akceptora u osnovi (supstratu)

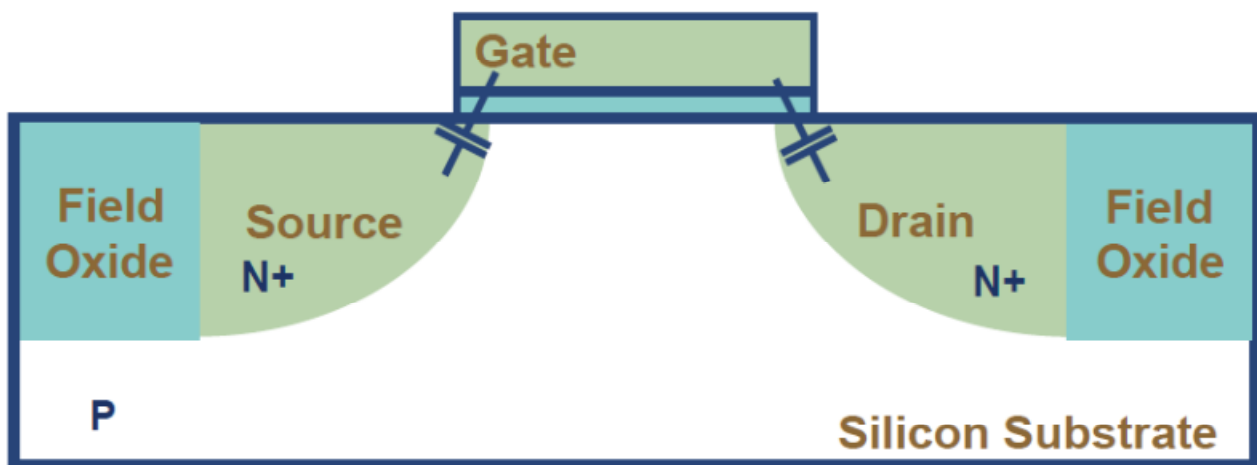
$$g_{mb} = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{BS}} \right|_{\substack{v_{GS} = V_{GSQ} = \text{const} \\ v_{DS} = V_{DSQ} = \text{const}}} = B(v_{GS} - V_T) \left. \frac{\partial V_T}{\partial v_{BS}} \right|_{\substack{v_{GS} = V_{GSQ} = \text{const} \\ v_{DS} = V_{DSQ} = \text{const}}}$$

$$g_{mb} = B(v_{GS} - V_T) \frac{-\gamma}{2\sqrt{2\phi_p - V_{BSQ}}} = \frac{-\gamma \cdot g_m}{2\sqrt{2\phi_p - V_{BSQ}}}$$

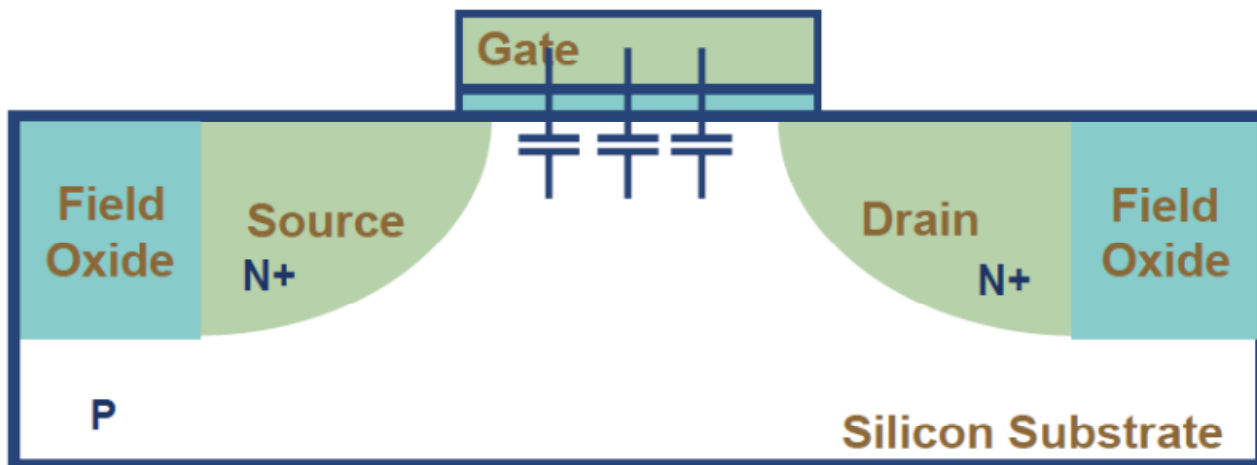
Parazitarne kapacitivnosti su:

$C_{gs}$  = parazitna kapacitivnost koja potiče od preklapanja gejta i sorsa

$C_{gd}$  = parazitna kapacitivnost koja potiče od preklapanja gejta i drejna

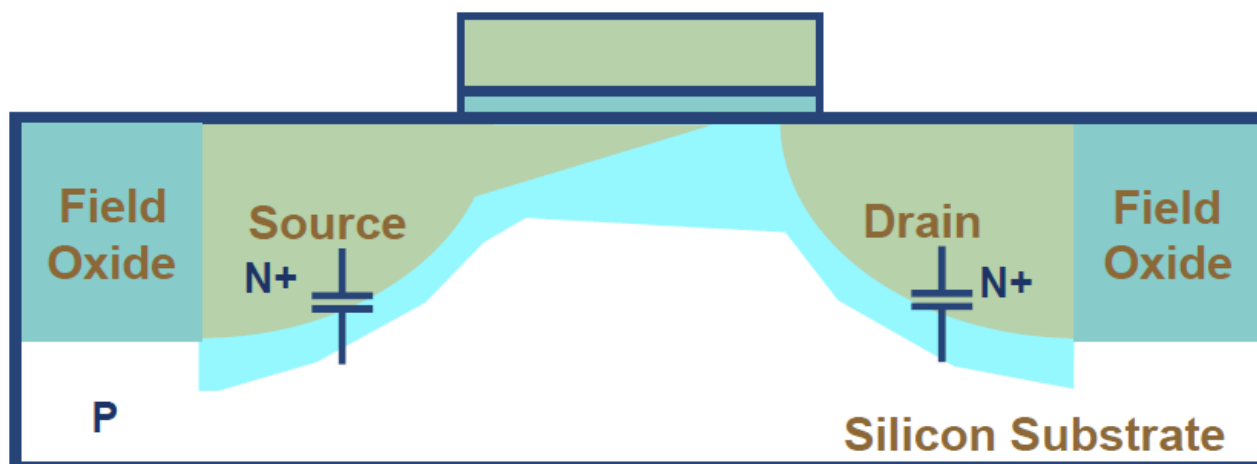


$C_{gb}$  = parazitna kapacitivnost između gejta i osnove (supstrata)

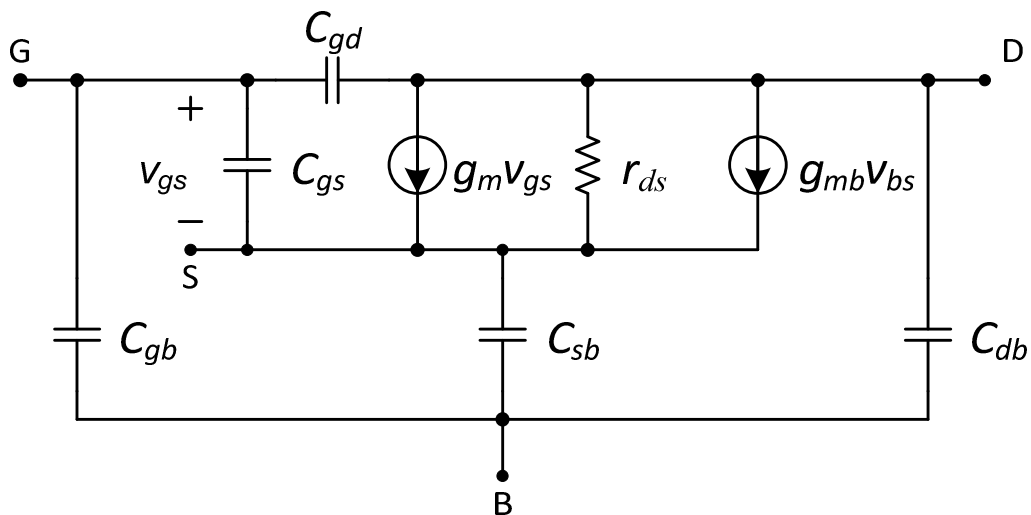


$C_{sb}$  = parazitna kapacitivnost oblasti prostornog tovara sorsa i osnove (supstrata)

$C_{db}$  = parazitna kapacitivnost oblasti prostornog tovara drejna i osnove (supstrata)



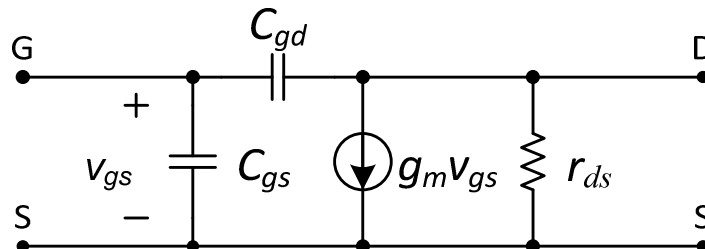
Kompletan model za male signale MOSFET-a je:



Parazitarne kapacitivnosti  $C_{gb}$ ,  $C_{sb}$  i  $C_{db}$  koji potiču od efekta osnovne (supstrata) nisu od značaja pri radu MOSFET-a na visokim učestanostima i koriste se samo kada sors nije vezan za supstrat.

Strujni izvor  $g_{mb}v_{bs}$  koji potiče od efekta osnovne (supstrata) se takođe koristi samo kada sors nije vezan za supstrat.

Pojednostavljen model za male signale je:



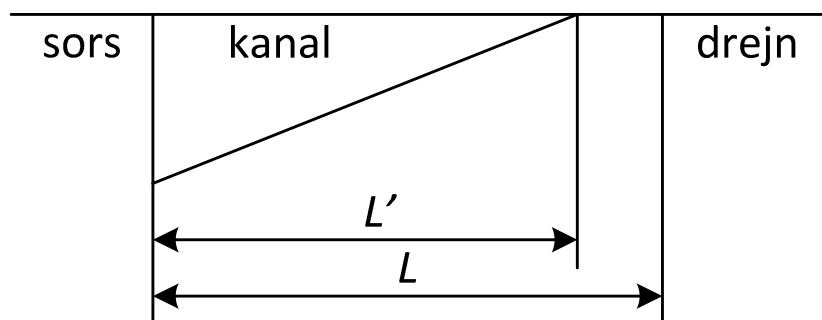
S obzirom da su svi parametri modela za male signale nezavisni od učestanosti, zaključak bi bio da je MOSFET pogodan za rad na visokim učestanostima, ali tada se javljaju drugi problemi:

$t_p$  = vreme preleta slobodnih nosilaca naelektrisanja kroz kanal

$$\omega_g = \frac{1}{t_p} = 2\pi f_g = \text{maksimalna radna učestanost}$$

U početku razvoja elektronike su se za rad na visokim učestanostima više koristili bipolarni tranzistori. MOSFET je mogao da radi na visokim učestanostima tek kasnije sa poboljšanjem tehnoloških procesa proizvodnje i postepenim skraćivanjem dužine kanala sa 20  $\mu\text{m}$  1960. godine na svega 3 nm u 2003. godini, korišćenjem Si tehnologije, uz povremeno korišćenje drugih materijala kao što su GaAs i GaN na dijamantu koji mogu da rade i na THz učestanostima.

Iako u režimu zasićenja dolazi do skraćivanja kanala pri drejnu, slobodni nosioci (elektroni) moraju da pređu ceo kanal dužine  $L$ .



Vreme preleta  $t_p$  slobodnih nosilaca naelektrisanja kroz kanal je moguće proceniti:

$$|E| = \frac{V_K}{L}$$

$E$  = električno polje u kanalu

$V_K$  = napon duž kanala na dužini  $L'$

$L$  = ukupna dužina kanala

$L'$  = dužina skraćenog kanala

$$\bar{v} = \mu_n |E|$$

$\bar{v}$  = srednja brzina slobodnih nosilaca naelektrisanja (elektrona) u kanalu

$\mu_n$  = pokretljivost slobodnih nosilaca naelektrisanja (elektrona)

$$t_p = \frac{L}{\bar{v}}$$
$$t_p = \frac{L}{\mu_n |E|} = \frac{L}{\mu_n \frac{V_K}{L}}$$
$$t_p = \frac{L^2}{\mu_n V_K}$$

U omskoj i triodnoj oblasti važi:

$$V_K = V_{DS}$$
$$t_p = \frac{L^2}{\mu_n V_{DS}}$$

U oblasti zasićenja važi:

$$V_K = V_{GS} - V_T$$
$$t_p = \frac{L^2}{\mu_n (V_{GS} - V_T)} = \frac{L^2}{\mu_n \frac{g_m}{B}} = \frac{BL^2}{\mu_n g_m} = \frac{\mu_n C_{ox} W}{L} \frac{L^2}{\mu_n g_m} = \frac{C_{ox} WL}{g_m}$$
$$t_p = \frac{C_{gk}}{g_m}$$

Imajući u vidu da je:

$$\omega_g = \frac{1}{t_p} = 2\pi f_g$$

$$\omega_g = \frac{g_m}{C_{gk}}$$

Moguće je zaključiti sledeće:

$$\mu_n \uparrow \Rightarrow t_p \downarrow \Rightarrow \omega_g \uparrow$$

$$L \downarrow \Rightarrow t_p \downarrow \Rightarrow \omega_g \uparrow$$

$$g_m \uparrow \Rightarrow t_p \downarrow \Rightarrow \omega_g \uparrow$$

$$C_{gk} \downarrow \Rightarrow t_p \downarrow \Rightarrow \omega_g \uparrow$$