

Tranzistoare cu efect de câmp pe GaAs

Tranzistorul cu efect de câmp (FET) este un dispozitiv semiconductor a cărui curent este controlat printr-un câmp electric. El este un dispozitiv unipolar deoarece curentul este purtat de un singur tip de purtători, și anume purtătorii majoritari ai semiconductorului, care se deplasează în lungul elementului sub acțiunea unui câmp electric aplicat la capetele acestui element. Acest câmp electric se aplica prin contacte ohmice numite drenă și sursă. Efectul de control al câmpului electric este realizat la o jonctiune numită grilă. Această grilă poate fi un contact Schottky (MESFET), jonctiune p-n (JFET), metal pe un strat de oxid (MOSFET).

Cele mai multe FET-uri de microunde sunt fabricate folosind ca semiconductor materialul GaAs, deoarece acest material are o mobilitate a electronilor mai mare și o viteză maximă de drift a electronilor mai mare decât în cazul Si. Aceste proprietăți permit un factor de zgomot mai mic, un câștig mai mare și o frecvență de tăiere mai mare, toate fiind caracteristici importante pentru tranzistoarele de microunde. În fig.1 este prezentat tranzistorul MESFET pe GaAs, cel mai utilizat tip de tranzistor în domeniul microundelor deoarece cele două dimensiuni critice – lungimea porții și grosimea canalului – pot fi cu precizie controlate prin fotolitografie, implantare ionică și epitaxie moleculară.

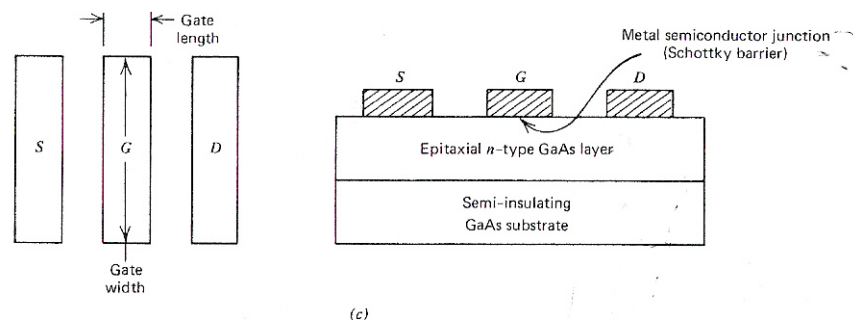


Fig.1. Tranzistor MESFET (fig3.12c)

Circuitul echivalent de semnal mic

Circuitul echivalent de semnal mic pentru GaAs MESFET poate fi reprezentat prin elemente concentrate pînă în jur de 12 GHz pentru partea extrinsecă și pînă la 14 GHz pentru modelul intrinsec, așa cum este prezentat în fig.2.

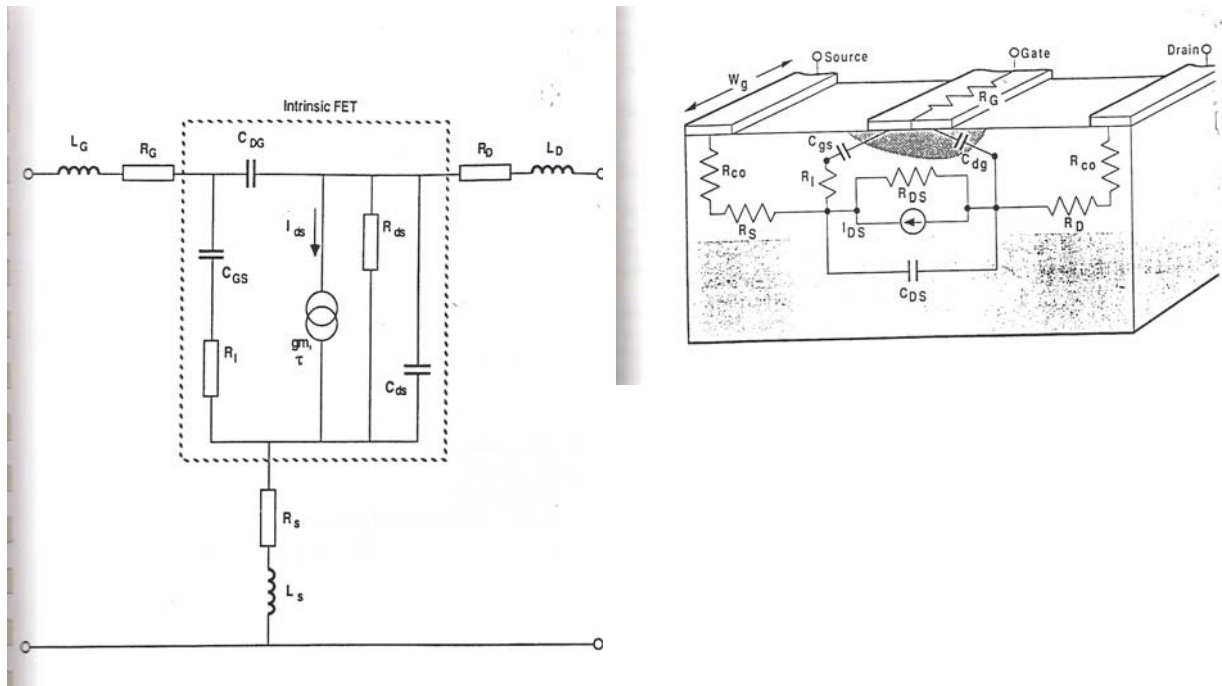


Fig.2 (fig.3.14)

În modelul intrinsec, capacitatea stratului sărăcit de sub poartă este desemnată prin capacitatea grilă-sursă C_i și rezistența de încărcare a ei prin canal R_i ; C_f reprezintă capacitatea de margine dintre drenă și poartă, iar R_0 modelează efectul rezistenței canalului drenă – sursă. R_s , R_g , R_d , L_s , L_i , C_0 și L_0 reprezintă elementele parazite extrinseci. Transconductanța $g_m = g_{m0} e^{-i\omega\tau_0}$, unde g_{m0} este independentă de frecvență și τ_0 este o întârziere de fază. Această întârziere corespunde cu timpul necesar pentru electroni de a traversa lungimea porții cu viteza maximă limitată de împrăștiere. Pentru un MESFET cu poartă de $0.5\mu\text{m}$, $\tau_0 \approx L_g/v_s = 0.5 \times 10^{-4} \text{ cm} / 2 \times 10^7 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1} = 2.5 \text{ psec}$.

Funcționarea FET este determinată prin frecvența maximă de oscilație ω_{\max} la care FET-ul devine pasiv. Considerînd modelul intrinsec al FET, matricea admitanță Y este dată de :

$$Y = \begin{bmatrix} \frac{\omega^2 \tau_i C_i}{1 + \omega^2 \tau_i^2} + j\omega(C_i + C_f) & \frac{g_m}{1 + \omega^2 \tau_i^2} - j\omega(g_m \tau_i + C_f) \\ -j\omega C_f & G_0 + j\omega C_f \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

Unde $\tau_i = C_i R_i$ și $G_0 = 1/R_0$. Dacă FET-ul este pasiv, atunci $Y + Y^{T*} \geq 0$. Acest lucru înseamnă că determinantul matricii este nenegativ, adică

$$\frac{4\omega^2 \tau_i C_i G_0}{1 + \omega^2 \tau_i^2} - \frac{g_m^2}{(1 + \omega^2 \tau_i^2)^2} - \omega^2 g_m^2 \tau_i^2 \geq 0 \quad (1.2)$$

În practică, $\omega_{\max}^{-1} \gg \tau_i$ și relația (1.2) poate fi aproximată :

$$4\omega^2\tau_i C_i G_0 - g_m^2 - \omega_{\max}^2 g_m^2 \tau_i^2 \geq 0 \quad (1.3)$$

Ceea ce înseamnă

$$\omega_{\max} \approx g_m \left(4\tau_i C_i G_0 - g_m^2 \tau_i^2 \right)^{-1/2} \quad (1.4)$$

Pentru un GaAs MESFET cu o poartă de lungime $1\mu\text{m}$, frecvența maximă de oscilație este în jur de 30 – 40 GHz.

Pentru FET-ul extrinsec, elementele parazite reduc ω_{\max} considerabil, Cîștigul de putere maxim disponibil a modelului extrinsec poate fi aproximat prin relația :

$$G_{a,\max} \approx \alpha \left(\frac{\omega_T}{\omega} \right)^2 \quad (1.5)$$

Unde

$$\omega_T = \frac{g_m}{C_i + C_f} \quad (1.6)$$

$$\alpha = \frac{1}{4G_0 \left(R_i + R_S + \frac{1}{2} \omega_T L_S \right) + 2\omega_T C_f \left(R_i + R_S + \frac{1}{2} \omega_T L_S \right)} \quad (1.7)$$

Din relația (1.5) vedem că un MESFET are un cîștig cu o pantă de cădere de 6dB/octavă. În domeniul uzul de frecvență capacitatea de reacție C_f este mult mai mică decît C_i și prin urmare tranzistorul are S_{12} foarte mic comparativ cu S_{21} ; prin urmare , în proiectare se poate presupune $S_{12} = 0$, ceea ce înseamnă tranzistor necondiționat stabil.

Plessey Foundry

Dispozitivele FET sunt realizate pe GaAs cu lungimi de grila de pina la $0.5\mu\text{m}$ si impapintare prin VIA. Aplicatiile pot fi la frecvente de peste 20 GHz.

Structura de bază MESFET este structura cu poartă- π , ca in fig.3. Numarul de benzi ale porții (N) poate fi 1, 2, 4, 6, iar lățimea fiecărei benzi (W) poate varia între $50\mu\text{m}$ și $175\mu\text{m}$, în pași de $1\mu\text{m}$. Eisă umite confiurații standadesemnate prin numul de nzi și ltimea unei benzi. D exemplu, 4 x 75 FET este un FET care are 4 benzi de poart, fiecare avnd o lțme de $75\mu\text{m}$, ceea ce ne dă o lungime periferică totală de $300\mu\text{m}$. Aceste configurații standard sunt folosite ca celule standard în librăria de celule.

Modelele de semnal mic pentru FET sunt prezentate in diverse forme :

- Circuite echivalent cu valori fixe pentru o geometrie dată și la un punct fix de polarizare (I_{dss} , 50% I_{dss} , 20% I_{dss} pentru $V_{ds} = 5V$).

- Modele liniare, scalabile, dependente de polarizare. Aceste modele acoperă dispozitivele cu 1, 2, 4 sau 6 benzi de grilă. Unitatea are o lățime ce poate varia între $50\mu\text{m}$ și $175\mu\text{m}$, și curentul de polarizare poate varia între 10% și 100% din I_{dss} . V_{ds} este fixat la 5V.

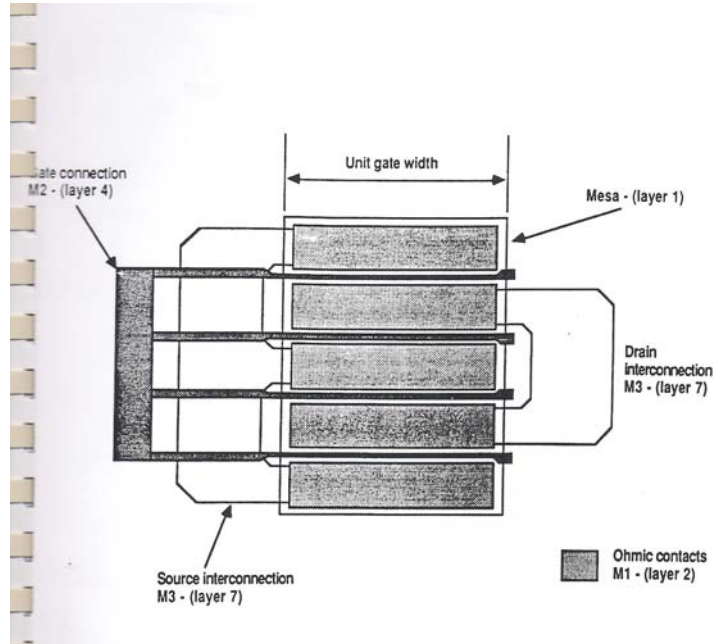


Fig.3. 4 x 75 FET

Layout-ul FET-ului cu geometrie a grilei în π este prezentat în fig. 4.

Aria activă a FET este definită în layer 1 mesa, cu contacte ohmice de drenă și sursă realizare la nivelul M1 de metalizări (layer 2). Grila este definită în metalizările M2 (layer 4). FET-ul este pasivizat cu nitrură (layer 5). Interconexiunile de la contactele ohmice, sursă și drenă și poartă sunt făcute utilizând metalizarea M3 (layer 7).

Setul tipic de caracteristici I/V ale unui FET de $300\mu\text{m}$ sunt prezentate în fig.5, iar în fig6 este prezentată dependența transconductanței de curentul de drenă.

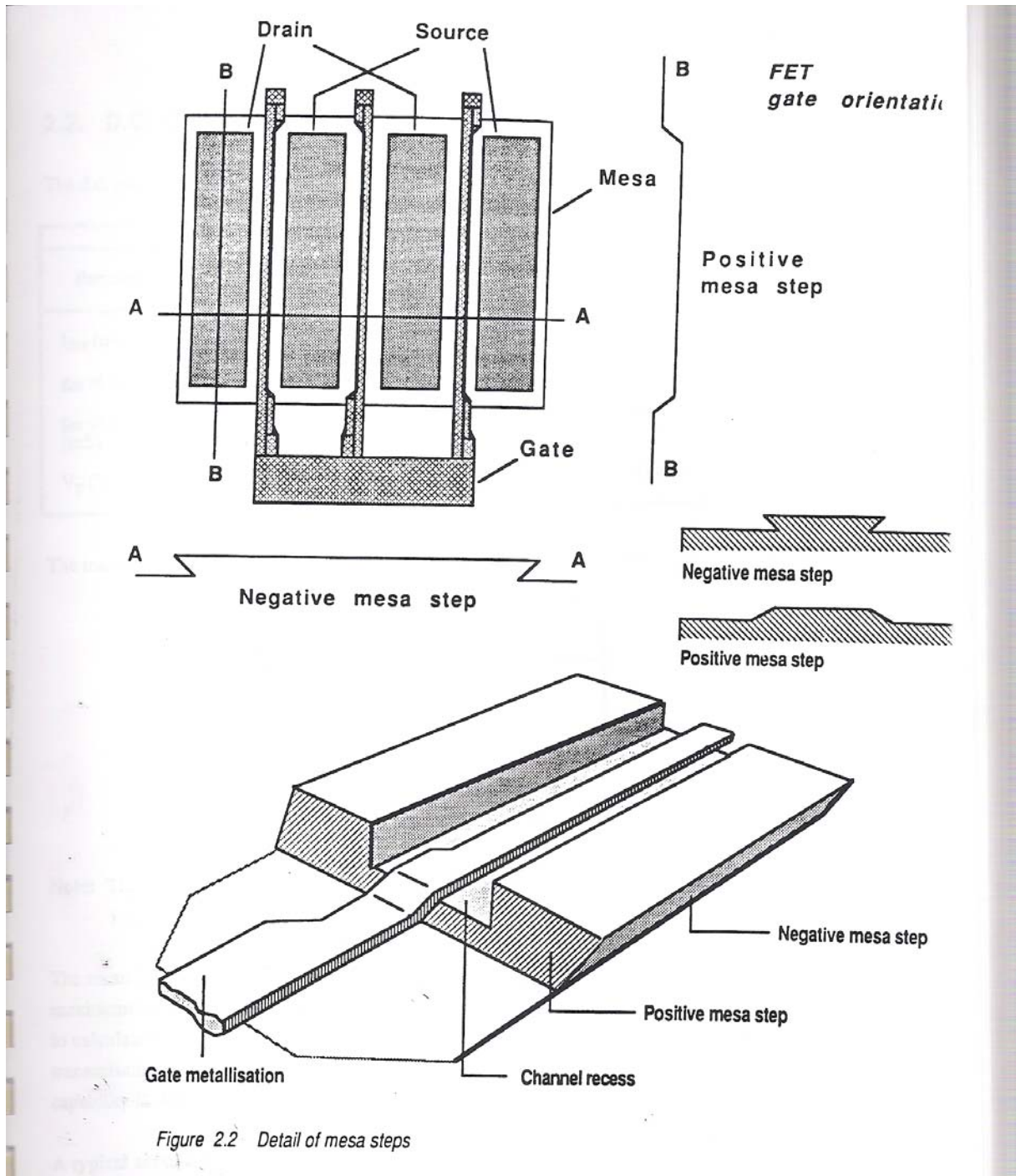


Figure 2.2 Detail of mesa steps

Fig.4. Detaliu de layout MESFET

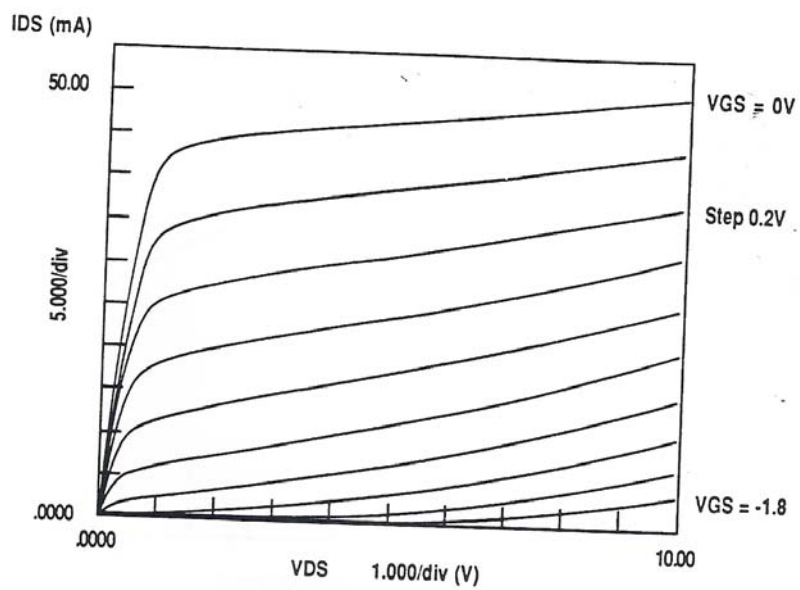


Fig.5. FET de $300 \mu m$

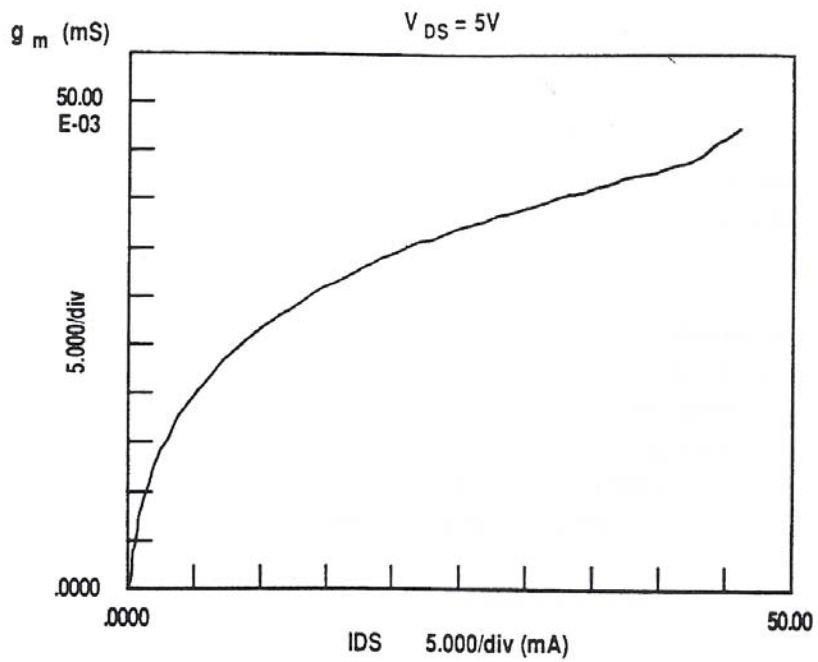


Fig.6. Dependența transconductanței de curentul de drenă

Descriere Layer

Layer 1 (Mesa)	Izolarea electrică a ariilor active (FETuri Si rezistoare)
Layer 2 (M1)	Metalizarea pt contactele ohmice . NU SE FOLOSESTE PENTRU INTERCONEXIUNI
Layer 3 (Mesa)	Rezistoare Mesa
Layer 4 (M2)	Metalizarea Schottky pentru grila FET, electrodul inferior pentru condensatoare MIM, primul nivel de interconexiuni, condensatoare interdigitale
Layer 5 (Nitride 1)	Pasivizarea ariilor active a FET, dielectricul condensatoarelor MIM
Layer6 (Polyimide)	Dielectricul interstraturi pt trecerile metalizate, dielectricul din condensatoarele MIM
Layer7(M3)	Al doilea nivel de interconexiuni, bobinele, electrodul superior al condensatoarelor MIM, liniile de transmisiune, padurile de margine
Layer8(Nitride2)	Incapsularea intregului circuit cu ariile de paduri exterioare lasate libere
Layer9	Definirea geometriei de poarta pentru FET de 0.5/0.7 μ m
Layer10	Defineste extinderea ariei active a circuitului
Layer11(via)	Defineste trecerile VIA prin GaAs
Layer12 (Aliniere)	Doar implantare selectiva pentru a defini amplasarea corecta a implantarilor ulterioare
Layer13(Implant1)	Defineste aria pentru prima implantare selectiva
Layer14(Implant2)	Defineste aria pentru a doua implantare selectiva