

mise au point sur les

— TRANSISTORS

CLASSIFICATION des TRANSISTORS

à effet de champ monojonction

et structures MOS-TEC

21. SYMBOLES DE LA LITTÉRATURE TECHNIQUE

Le paragraphe 1.3, précédant celui-ci, a brossé un tableau en trois volets (les artistes diraient un « triptyque »), qu'il nous faut rappeler ici pour fixer les idées ; nous avons ainsi

établi un pré-classement portant sur :

a) : (131). **Les transistors unipolaires, donc à monojonction (et non à unijonction) ou transistors à effet de champ à jonction (T.E.C. - J.).**

Les Anglo-Saxons les nomment J.F.E.T. (soit junction field effect transistors) qui,

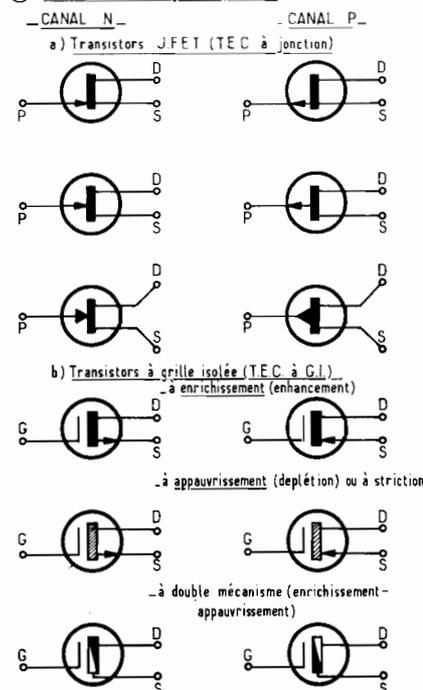
aujourd'hui, rassemblent, surtout, des éléments laminaires à canal obtenu directement en fabrication par diffusion des agents chimiques dopants convénables.

b) : (132). **Les transistors à effet de champs à porte (ou à grille) isolé (T.E.C. - G.I.).** Les technologies actuelles retiennent les pro-

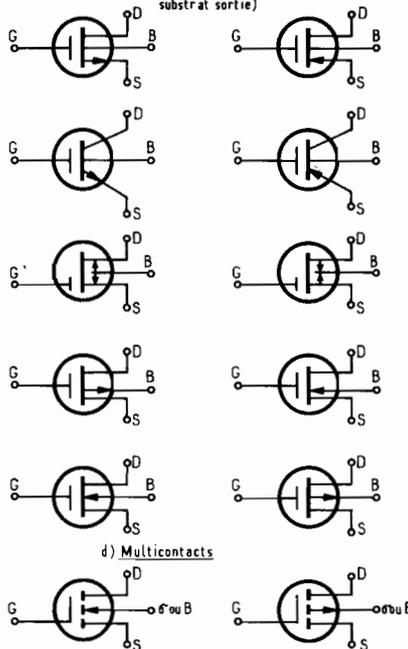
cédés M.O.S. (métal - oxyde - semi-conducteur) et M.I.S. (metal insulated semi-conductor ; semi-conducteur à contact métallique isolé).

c) : (133). **Les tétrodes à effet de champ.** Ce sont là les « prototypes » des structures modernes, dérivant des procédés mis au point pour les composants du

① TRIPODES (Montages tripolaires)



c) Grille isolée (avec connexion de substrat sortie)



② TETRODES (Montages quadripolaires)

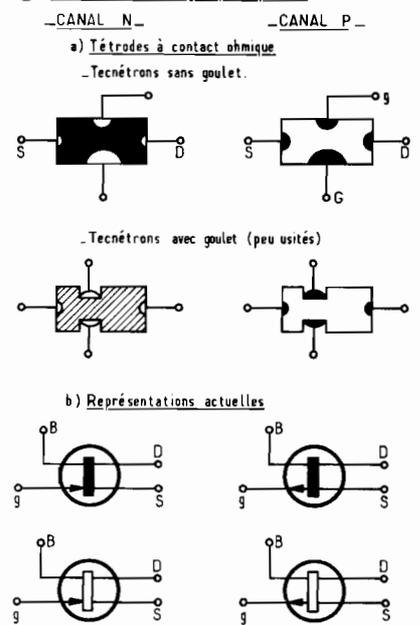
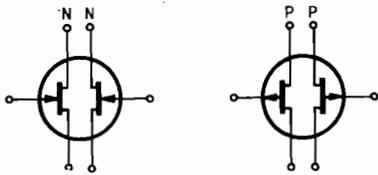
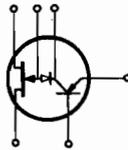


Fig. 2-1

III) Montages différentiels.



IV) Hybrides : association avec un transistor.



V) Montages complémentaires (tétrades COS-MOS)

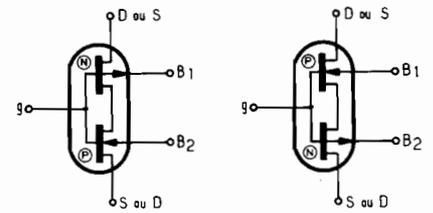


Fig. 2-1

paragraphe b (132). On y retrouve les M.O.S. - T.E.C., les C.O.S. - M.O.S. (complementary symmetry metal - oxyde - semi-conductor : M.O.S. à symétrie complémentaire S. CO.), mais aussi les S.O.S. - M.O.S. (S.O.S. : silicium ou saphire ; dépôt de silicium épitaxial sur saphir) ainsi que les LOCOS-M.O.S. (local oxydation semi-conductor, dont la traduction nous semble superflue).

La majeure partie de ces montages s'explique à partir des théories fondamentales de Shockley, reprises par Dacey et Ross, ajustées par Tetzner, par Martin, par Le Mée, par Tribes et par Motsch à leurs dispositifs particuliers (tecnétron, gridistor, alcatron). En ce qui concerne les M.O.S. - F.E.T., une pluie innombrable de comptes-rendus a envahi les bibliothèques. Kahng, Attalla, Hofstein, Heiman, Lindner, Terman travaillèrent la question avec Lehovec, Slobodskoy, Nicollian et

Goetzberger, pionniers des investigations dans ce domaine.

Les études entreprises démontrent que l'on a affaire à une **structure unipolaire** (alors que les transistors classiques à **deux jonctions** forment des **dispositifs bipolaires**).

Plusieurs symboles graphiques ont été proposés pour représenter les T.E.C. dans les schémas. La figure 2-1 en reprend quelques-uns parmi ceux qui sont les plus répandus. A noter la notion de substrat (6) à appauvrissement (déplétion) et à enrichissement (enhancement) que nous expliquerons plus bas, en parlant des **modes de fonctionnement** (§.2.2.).

La classification doit tenir compte du nombre de connexions (**tripodes** : ... à « trois pattes » ; **tétrodes** : ... à « quatre pattes ») puis à schématiser les genres « différentiels », « hybrides » (avec un transistor bipolaire incorporé dans le boîtier, ou implanté sur le même substrat) et

enfin les complémentaires C.O.S. - M.O.S. basés sur le principe de l'inversion des canaux N et P. En effet, il convient de préciser la systématique **et par la nature de la voie de transfert et par l'obtention de celle-ci** (induite électrostatiquement ou diffusée en fabrication). De plus, il est **opportun** de montrer, graphiquement, les grilles isolées (exemple : fig. 2.1. §.b) ou non (voir fig. 2.1. §. a).

Les plus récentes formules de réalisation acceptées par les constructeurs découlent du procédé d'**implantation ionique**, grâce à des canons à ions qui insèrent, sous forte tension accélératrice (donc à haute énergie) les ions dopeurs dans la masse cristalline où ils se glissent, constituant des sites qui déforment la texture intime du matériau ; l'ensemble de ces sites, placés dans les mêmes plans réticulaires, s'empilant sur une profondeur donnée, forme ainsi le canal.

2.2. LES TROIS MODES DE FONCTIONNEMENT

Entre les électrodes (source S, porte ou grille G, drain ou plaque D) existent des tensions [V] qui font naître une circulation de charges mobiles (électrons, dopage N, trous, dopage P) qui donnent naissance à différents courants qui, cheminent alors dans le substrat et sont récupérés en sortie. Sans encore entrer dans le détail de ces forces ni de ces flux (voir plus loin les tableaux I, II, III, inclus dans le paragraphe 3) définissons ici leurs principales données valables autant pour les T.E.C.-J que pour les M.O.S.-T.E.C. ; nous avons :

$\pm V_{DS}$, tension appliquée entre le drain (D) et la source (S) ;

$\pm V_{GS}$, tension aux bornes grille (G) et source (S) ;

$\pm I_D$, intensité de drain, en [μ A] ou en [mA].

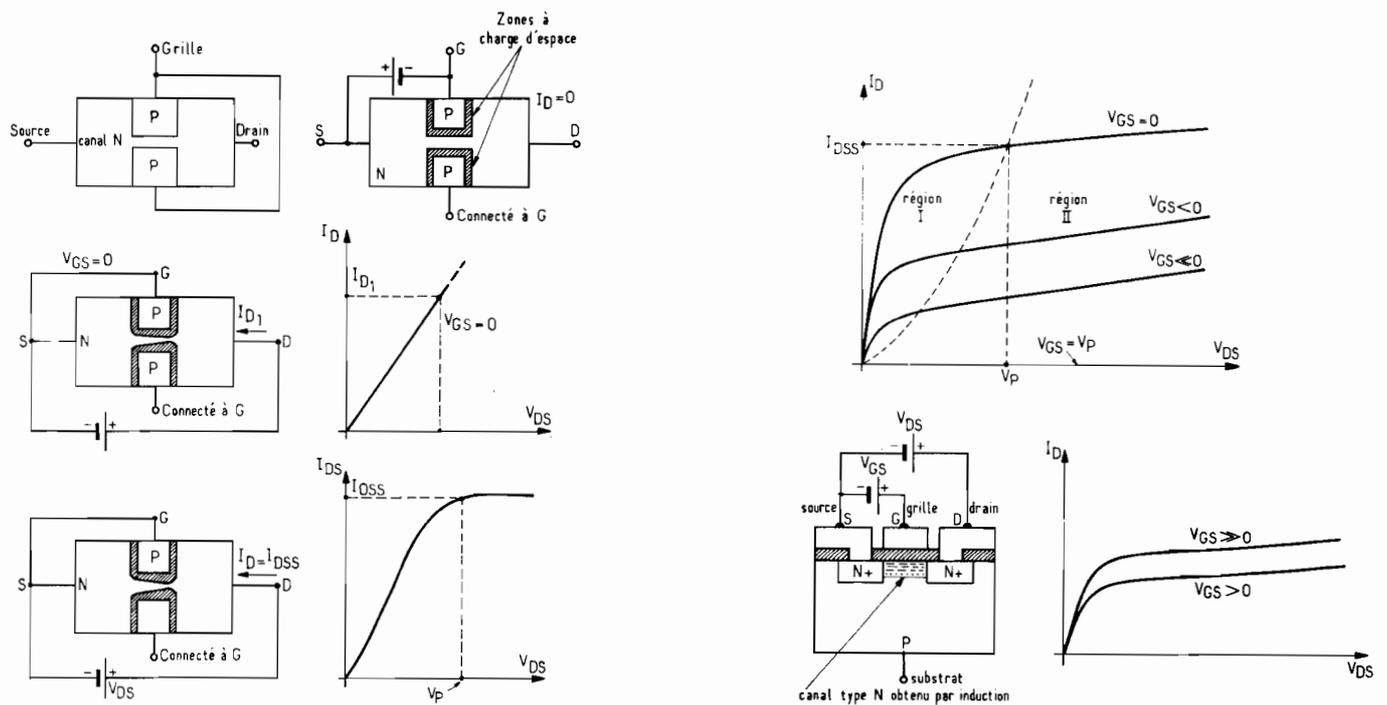


Fig. 2-2

TYPE A

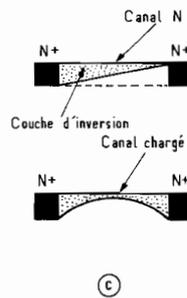
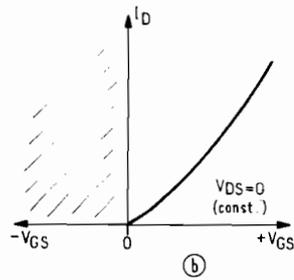
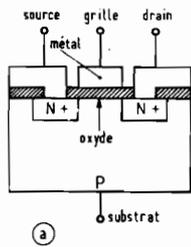


Fig. 2-3

TYPE B

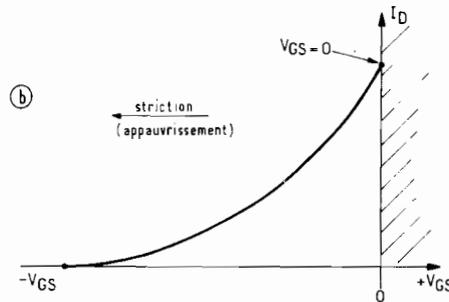
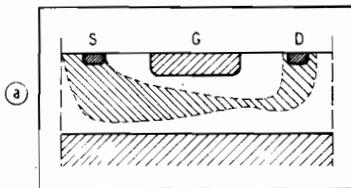


Fig. 2-4

TYPE C

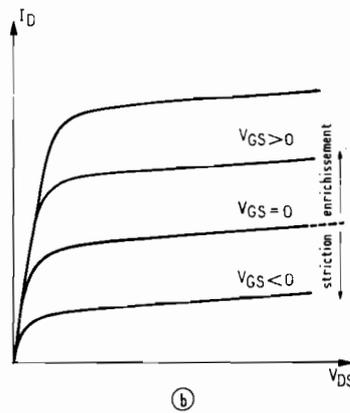
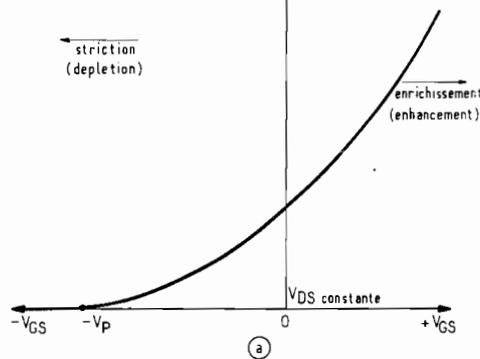


Fig. 2-5

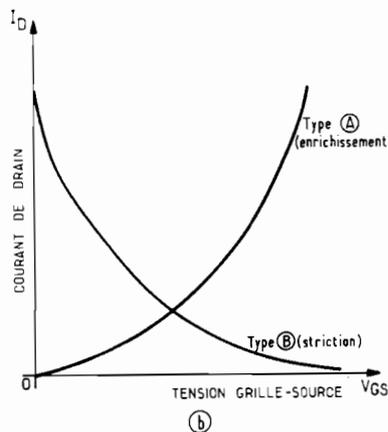
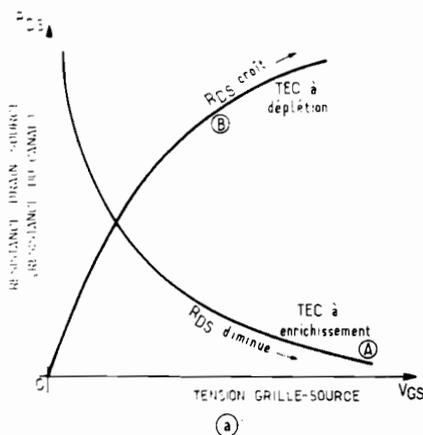


Fig. 2-6

2.2.1. T.E.C. à jonction

Le principe de fonctionnement a été souligné au paragraphe I. Les variations de tension de porte (laquelle est polarisée en inverse, $-V_{GS}$ pour un canal N, $+V_{DS}$, pour un canal P) agissent sur I_D et il en résulte une variation de tension dans la résistance de charge R_L (L, de load : charge). Les caractéristiques de transfert $I_D = f(V_{DS})$ sont connues et possèdent trois domaines bien identifiés (voir plus bas fig. 2-2).

Une tension inverse $-V_{GS}$ est appliquée aux jonctions PN grille et source afin d'augmenter la résistance drain-source « r_{DS} » et de diminuer la section « A » du canal N. Pratiquement, aucun courant ne peut circuler à travers ces zones à charge d'espace à l'exception d'un courant de fuite des diodes polarisées en inverse.

Une tension positive $+V_{DS}$ appliquée entre drain et source provoque le passage d'un courant I_D qui se dirige vers la source S. En raison de la chute de tension $I_D \cdot R$ le long du canal, la tension inverse aux bornes de la jonction de la grille est plus grande que du côté drain ; ainsi la zone à charge d'espace du côté drain est plus grande. R représente la résistance du canal. (fig. 2.2).

En augmentant la tension V_{DS} , on obtient une section du canal égale à zéro ; ceci correspond à I_{DSS} et V_p , le PINCEMENT⁽¹⁾. A ce point, la résistance différentielle source drain :

$$\frac{\Delta V_{DS}}{\Delta I_D}$$

est très grande.

Dans la figure 2.2 toutes les courbes sont comprises entre deux limites :

- la courbe $V_{GS} = 0$
- la courbe $V_{GS} = V_p$

Pour $|V_{GS}| > |V_p|$ le courant drain I_D est nul. La courbe qui sépare les deux régions de fonctionnement correspond aux conditions suivantes :

$V_{DS} + |V_{GS}| = V_p$
Dans la région I (région ohmique) on a :

$$V_{DS} + |V_{GS}| < V_p$$

Dans la région II (région de pentode) on a :

$$V_{DS} + |V_{GS}| > V_p$$

où V_p est la tension de pincement.

Le mécanisme du pincement sera expliqué au paragraphe 3.

2.2.2. Principe de fonctionnement d'un transistor à effet de champ (T.E.C.) à grille isolée (G.I.), du type M.O.S.

Il faut d'abord savoir qu'un

substrat de type P (respectivement N) est employé pour fabriquer un transistor à grille isolée doté d'un canal N (ou respectivement P).

Nous adoptons ici la première hypothèse : substrat P, canal « induit » ou canal diffusé (en fabrication) de type N. (fig. 2.3.).

Dans cette catégorie de dispositifs, on peut distinguer les types suivants :

1) Les T.E.C. C.I. à enrichissement à canal P ou à canal N.

La technologie de réalisation des transistors à effet de champ type MOS fait appel aux procédés communs de diffusion et de masquage par des couches d'oxyde. La forme la plus simple de la coupe d'un transistor T.E.C.G.I. à canal N est donnée ci-après :

2) Les T.E.C. G.I. à striction (depletion), associé avec une diminution de la conductivité, et à enrichissement (enhancement), associé avec une augmentation de la conductivité, à canal P ou à canal N.

2.2.2.1. Genre A : T.E.C.-G.I. à enrichissement (fig. 2.3).

Il n'existe pas de canal de conduction de source à drain, et en l'absence d'une tension $V_{GS} > 0$ le transistor est non conducteur ou bloqué. Pour une tension $+V_{DS}$, le courant drain correspond au courant résiduel.

Un canal d'enrichissement est formé quand une tension positive est appliquée à la grille.

Quand la tension V_{GS} augmente, la résistance du canal entre source et drain diminue et le courant drain I_D augmente.

2.2.2.2. Genre B : T.E.C. - G.I. à striction.

Dans le canal (voir fig. 2.4), la zone où les porteurs de charge circulent, va en se rétrécissant de la source vers le drain, puisque la polarisation inverse de la grille par rapport au canal est d'autant plus forte que l'on se rapproche plus du drain, cette polarisation créant, au voisinage de la jonction une zone déserte (phénomène de « déplétion »).

2.2.2.3. Genre C : T.E.C. - G.I. bi-mode (c'est-à-dire à striction et à enrichissement).

Dans ce type de transistor (fig. 2.5) on constate l'existence d'un canal de conduction de source à drain en l'absence d'une tension de polarisation grille source V_{GS} .

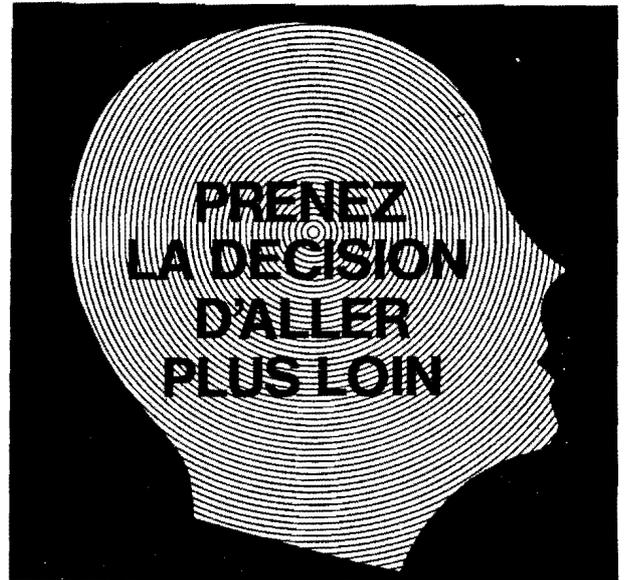
Avec une polarité de V_{GS} le canal devient plus étroit (stric-

tion), et avec une autre polarité de V_{GS} le canal peut devenir plus large (enrichissement) augmentant la conductivité du canal et favorisant le passage du courant drain I_D .

2.2.2.4. Courbes complémentaires.

La résistance R_{DS} entre drain et source varie différemment selon que l'on a affaire à un T.E.C. du genre A, ou à un T.E.C. du genre B (fig. 2.6, a). Le courant de drain I_D (fig. 2.6, b) croît avec les modèles du type A mais diminue avec le type B.

(à suivre)
B. MARIN



M. ou Mme demurant

désire recevoir, sans engagement, le programme d'études techniques marqué d'une croix (joindre 2 timbres pour frais d'envoi).

ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE

- Cours élémentaires programmés
- Agent technique
- Agent technique semi-conducteurs
- Ingén. électronicien

ELECTRICITE

- Agent technique
- Ingénieur électricien

TRAVAUX PRATIQUES

- En électricité
- En électronique

BETON ARMÉ

- Dessinateur et calculateur
- Ingénieur

CHAUFFAGE VENTILATION

- Agent technique
- Ingénieur

FROID

- technicien frigoriste
- Ingénieur frigoriste

MÉCANIQUE GÉNÉRALE

- Dessinateur Indust.
- Ingénieur

AUTOMATISMES

- Ag. techn. automaticien

AUTOMOBILE DIESEL

- Agent technique
- Ingénieur

INFORMATIQUE

- Opérateur
- Programmeur
- Analyste

MATHÉMATIQUES

- Du C.E.P. au Bac.
- Maths. supérieures
- Maths. spéciales

ÉNERGIE ATOMIQUE

- Ingénieur

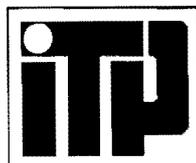
EP4



Quel que soit votre niveau, il existe dans votre spécialité un programme d'études qui vous convient. Nous pouvons facilement l'adapter à votre personnalité et à la promotion que vous ambitionnez.

Sachez que vos études à l'I.T.P. peuvent être prises en charge par votre employeur au titre de la loi sur la formation permanente. Possibilité de regroupement sur place en complément de la formation à distance.

Remplissez et adressez votre demande à :



**INSTITUT
TECHNIQUE
PROFESSIONNEL**

Etablissement
d'enseignement privé
créé en 1946
69, rue de Chabrol
(Bât. EP4)
75010 PARIS
Tél. 770.81.14