

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

**Band:** 77 (1986)

**Heft:** 19

**Artikel:** L'évolution des transistors de puissance

**Autor:** Aloisi, Pierre

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-904275>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 01.04.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# L'évolution des transistors de puissance

P. Aloisi

*Depuis trente ans que le transistor de puissance existe, il est utile de mesurer le chemin parcouru en terme d'améliorations technologiques et de caractéristiques des produits que l'on trouve sur le marché, pour juger de l'interaction: nouveaux semi-conducteurs et améliorations de ceux-ci avec la créativité des concepteurs des systèmes de puissance. A partir de ce constat, on peut avoir une bonne idée de l'évolution future des transistors de puissance et de l'électronique associée.*

*Im vorliegenden Aufsatz wird die 30jährige Entwicklung der Leistungstransistoren anhand der technologischen Verbesserungen und Hauptdaten nachgezeichnet und damit auf die Wechselwirkung zwischen neuen Halbleitern, deren Verbesserungen und der Kreativität der Entwickler von Leistungssystemen hingewiesen. Auch ein Ausblick auf die zukünftige Entwicklung der Leistungstransistoren und von deren Elektronik wird vermittelt.*

## Adresse de l'auteur

Pierre Aloisi, Senior Application Engineer,  
Laboratoire des produits de puissance, Motorola  
Semiconducteurs S.A.,  
avenue Général-Eisenhower,  
B.P. 1029, F-31023 Toulouse.

## 1. Introduction

Depuis l'introduction des transistors de puissance au germanium à la fin des années cinquante, les transistors de puissance ont fait de nombreux progrès (fig. 1). Du transistor pouvant supporter quelques dizaines de volts et commander quelques ampères, nous sommes arrivés à des produits supportant plus d'un kilovolt et passant quelques centaines d'ampères. La vitesse de commutation et la robustesse (tenue courant  $\times$  tension) se sont également bien améliorées. Grâce à une commande plus aisée et à de meilleurs boîtiers, ils sont devenus plus faciles à utiliser.

Nous allons, dans ce papier, jaloner le chemin parcouru ces trente dernières années grâce au dialogue entre constructeur, utilisateurs et universitaires. Pour terminer, nous essaierons de donner une idée des futurs axes de développements.

Par contre, l'étude de structures qui, aujourd'hui, ont un rôle marginal dans l'électronique de puissance, ne sera pas abordée: transistors à effet de champ, transistors à effet de champ à jonctions, gridistors, static induction

transistor (SIT). On ne parlera pas non plus de l'évolution des structures radiofréquence (RF).

## 2. Le transistor bipolaire

### 2.1 Technologie

#### Le matériau

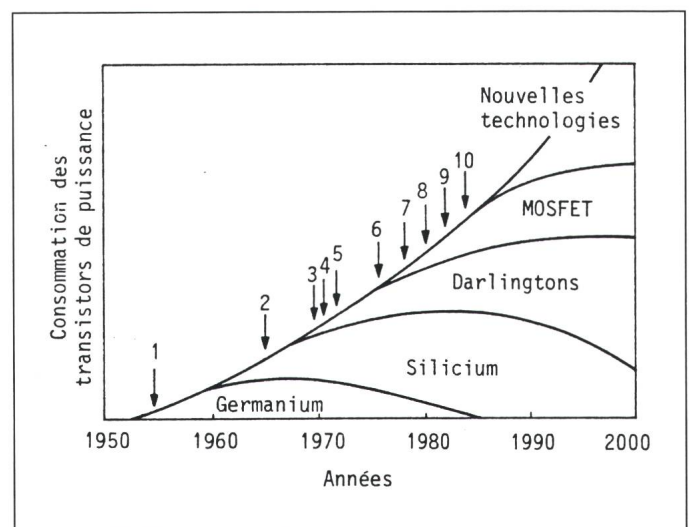
Le germanium avait l'avantage d'une meilleure mobilité des porteurs et d'une largeur faible de bande interdite (0,785 eV), ce qui donnait des produits avec de très faibles tensions de saturation et une bonne bande passante. Mais il avait l'inconvénient majeur de très forts courants de fuite qui le limitaient à environ 100 V au maximum.

Le silicium présente un bon compromis: largeur de bande interdite (1,21 eV), mobilité des porteurs, coût de fabrication. Il est devenu le matériau de base, pour encore très longtemps, des produits de puissance basse fréquence et de moyenne puissance (1000 V, 100 A).

Il est toujours tiré selon le procédé Czochralski (CZ) pour obtenir un bon substrat sur lequel on va faire pousser

Fig. 1  
Cycle de vie des transistors de puissance basse fréquence

- 1 Germanium de puissance
- 2 Transistor triple diffusé 300 V
- 3 Darlington épibase
- 4 Transistor triple diffusé
- 5 Transistor double diffusé
- 6 Mosfet VMOS
- 7 Mosfet DMOS
- 8 Emetteur creux (switchmode III)
- 9 Nouveaux boîtiers forts courants
- 10 Circuits intégrés de puissance (Smart power)



par épitaxie quelques dizaines de microns de silicium monocristallin très bien contrôlé en résistivité et en homogénéité.

### Le dopage

Les techniques de dopage par diffusion à haute température ont peu changé; on peut dire qu'elles se sont améliorées en terme de contrôle et de reproductibilité des paramètres: suivi du procédé en automatique par microprocesseurs et étude des dispersions statiques des caractéristiques.

L'utilisation de l'implantation ionique permet, de plus en plus, d'avoir un bon contrôle des dopants sur des sites de faibles volumes et bien localisés. Le contrôle de la durée de vie des porteurs se fait encore par implantation de métaux lourds: or, platine, etc. Elle a pour avantage de n'augmenter les chutes de tension directes que faiblement, mais pour inconvénient, une augmentation des courants de fuite à chaud.

L'inconvénient majeur de l'utilisation des métaux lourds dans les zones de fabrication des plaquettes de silicium est la pollution de tout le matériel de cette zone d'où nettoyages fréquents et importants.

Aujourd'hui les constructeurs semblent s'orienter vers l'irradiation électronique de plusieurs MeV des structures pour créer des défauts devant jouer le rôle de centres de recombinaison. Ce procédé a pour inconvénient de donner des dispositifs à chutes de tension directes assez élevées, mais des courants de fuite à chaud plus faibles. Toutefois, on espère que dans l'avenir, avec un meilleur réglage des conditions d'irradiation, on pourra limiter cet inconvénient.

### La protection

Selon la taille «mésa» (fig. 2), on a été amené à protéger les surfaces nues des «puces» par des passivations, glassivations..., aux oxydes de silicium, nitrure de silicium, verre, etc. et autres types de protections à partir de produits organiques, tels que les résines

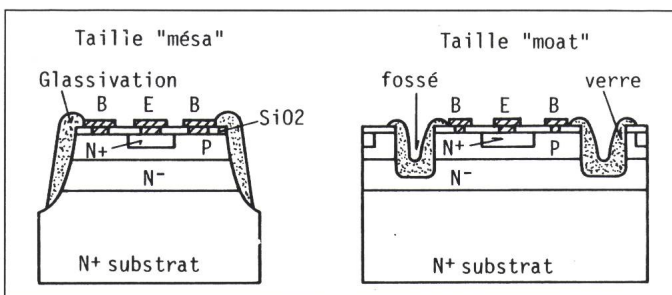


Fig. 2 Protection des jonctions

B Base  
E Emetteur

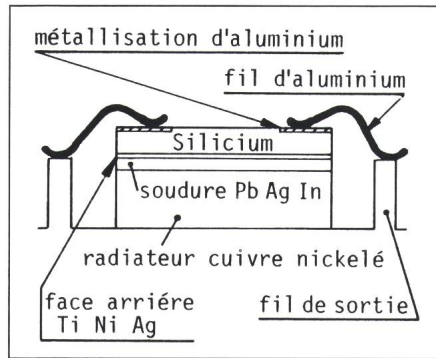


Fig. 3 Raccords au boîtier

époxy et polyimides. Pour éviter les champs électriques intenses sur les bords du silicium, on a créé des systèmes de protection par fossés («moat») qui permettent d'obtenir des structures avec des tenues en tension, fiables dans le temps, supérieures à 1500 V.

### Le montage dans les boîtiers

Après les soudures puces-boîtiers avec des eutectiques or-silicium, or-germanium ou or-étain qui avaient l'avantage de créer peu de contraintes entre la puce et son boîtier, mais l'inconvénient d'un coût élevé, on a utilisé des soudures dures (hard solder) de type molybdène qui ont un coefficient de dilatation égal à celui du silicium,  $\alpha = 5 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ , mais coûtent très cher, sont très peu élastiques et transmettent donc tous les efforts mécaniques externes à la puce.

Aujourd'hui les constructeurs utilisent des alliages plus tendres («soft solder», fig. 3): plomb-étain, plomb-argent-indium ou étain-argent-antimoine qui ont des dilatations légèrement différentes de celles du silicium, mais qui peuvent absorber une partie des efforts externes grâce à leur ductilité. Des essais de fixation de la puce avec de la colle époxy chargée ont actuellement lieu, mais pour de faibles puissances.

Les fils de liaisons internes sont, aujourd'hui, toujours en aluminium et la liaison mécanique fil-puce, fil-connexion est une soudure ultrasonique

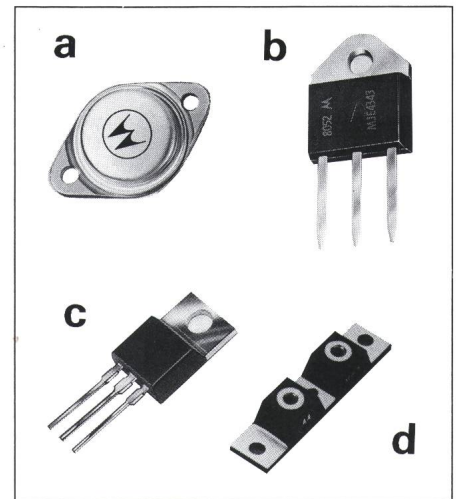


Fig. 4 Les différentes technologies de puissance

a Boîtier TO3 métallique  
b, c Boîtiers plastiques TO3 P et TO220  
d Diode

qui donne une très bonne résistance mécanique à la traction: par exemple l'effort d'arrachement d'un fil d'aluminium pur de 0,5 mm de diamètre est de l'ordre de 18 N!

### Les boîtiers

Le boîtier historique (fig. 4a) encore très utilisé, est le boîtier T03 métallique (T0204A), cependant il est difficile à monter, isoler et raccorder. Aussi de nombreux boîtiers plastiques avec une très bonne herméticité ont fait leur apparition: T0220, TO3P (T0218), D Pack, etc. Ils permettent un raccordement aisé au circuit, un montage rapide et peu coûteux et un isolement simple, ceci d'autant plus que des boîtiers à isolation interne commencent à arriver sur le marché.

Apparaissent également de gros boîtiers de puissance permettant un raccordement vissé pour des courants supérieurs à 50 A et des distances de fuite entre connexions compatibles avec des tensions de travail supérieures au kV. Ils sont la plupart du temps isolés et peuvent tenir la norme de 2,5 kV entre masse et connexions. On trouve de plus en plus de systèmes hybrides à l'intérieur de ces boîtiers: Darlington, MOS-bipolaire + diode, demi-bras d'onduleur, etc.

### 2.2 Caractéristiques

Un des premiers transistors de puissance à grande diffusion fut le 2N 3055. Il est limité à 60 V de BV<sub>Ce0</sub><sup>1</sup>

<sup>1</sup> BV<sub>Ce0</sub> = Break down Voltage between Collector and Emitter; la troisième électrode n'étant pas connectée (0).

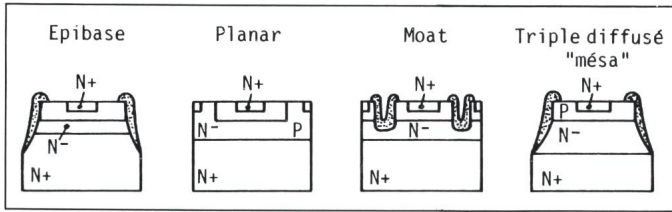


Fig. 5  
Différentes technologies  
de diffusion

et à 115 W de dissipation, soit:  $40 \text{ V} \times 3 \text{ A}$  environ.

Les concepteurs de circuits de puissance ont rapidement demandé des produits plus performants en pouvoir de commande et ce fut le 2N3773, 150 W:  $100 \text{ V} \times 1,5 \text{ A}$ . La technologie de diffusion utilisée est toujours la technologie dite «épibase» (fig. 5), soit une zone épitaxiée de quelques dizaines de microns sur un substrat très peu résistif de signe opposé. Elle deviendra la base du transistor, dans celle-ci on diffusera une zone de signe identique au substrat qui deviendra l'émetteur.

Les premières applications des transistors de puissance étaient surtout des systèmes linéaires: amplification, rhéostat. Il fallait des produits performants en aire de sécurité en direct (FBSOA = «forward bias safe operating area»).

La limitation drastique de l'aire de sécurité en direct par l'apparition de points chauds («hot spots») à un pouvoir de commande de l'ordre de  $100 \text{ V} \times 1 \text{ A}$  a rapidement amené les ingénieurs de l'électronique de puissance à revoir leurs systèmes de contrôle et de transfert de l'énergie: il se fera plutôt par impulsions, car le temps très court où le produit devra soutenir le courant et la tension ne permet plus aux points chauds de se développer.

Ce type d'application a immédiatement transféré la demande de large aire de sécurité en direct (FBSOA) en aire de sécurité en commutation à l'amorçage («turn on SOA») et à la coupure RBSOA («reverse bias SOA»). L'amélioration des temps de commutation allait de pair, car cette technologie limitait les transitoires dissipatifs et dangereux.

Une autre technologie de transistor de puissance permettant de réunir ces paramètres devait voir le jour, ce fut la technologie «épicollecteur planar»: la croissance de la zone collecteur par épitaxie permet de bien contrôler la zone qui devra soutenir le champ électrique et donc d'augmenter le pouvoir de coupure du transistor. La remontée des terminaisons des jonctions sur la surface de la puce (planar) permet une

protection plus facile; l'adjonction d'anneaux de garde sur le bord de la puce évite les forts champs électriques dans un endroit critique («stop channel»). Des produits jusqu'à 400 V et plusieurs dizaines d'ampères firent leur apparition.

Le montage direct sur secteurs redressés (240 V alternatif, 350 V continu) a accru la demande de produits robustes moyenne tension: 400...600 V, ce fut une amélioration de la technologie épicollecteur par l'adjonction de fossés qui coupent le champ électrique sur les bords de la puce.

L'utilisation de transistors en remplacement de certains petits thyristors du réseau industriel moyenne puissance (5-50 kVA, 600-700 V continu), ainsi que l'utilisation de ceux-ci pour des applications haute tension (balayage ligne des téléviseurs) a permis l'émergence d'une technologie de diffusion haute tension dite triple diffusée: le matériau de départ est maintenant un substrat de silicium très faiblement dopé pour tenir ces champs électriques intenses sur lequel on diffuse pendant plus de 100 h des zones peu résistives pour établir le contact collecteur et abaisser les chutes de tensions directes. La diffusion des zones de base et d'émetteur se fait de la même manière que précédemment et la protection par anneaux de garde et fossés devient très importante.

Une meilleure modélisation des phénomènes transitoires à l'intérieur de la structure des transistors de puissance, soit l'élargissement de la base (effet Kirk) et la défocalisation du courant, a permis des améliorations constantes en terme d'aire de sécurité en commutation et de temps de transit: le BUS48 peut, aujourd'hui, couper sans dommage plusieurs dizaines d'ampères sous 500 V avec une surface de silicium de  $25 \text{ mm}^2$ . Les temps de commutation à la coupure sur charge inductive sont de l'ordre d'une centaine de ns avec une commande de base très simple.

Toutefois la montée de la tenue en tension des structures a pour conséquences théoriques une diminution

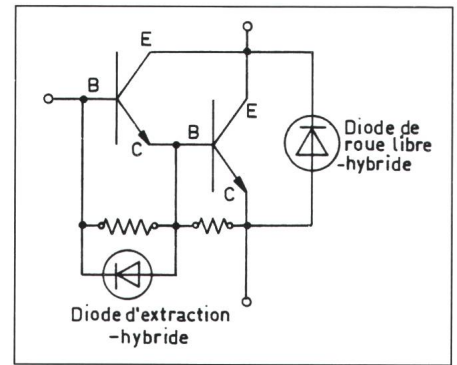


Fig. 6 Darlington moderne

B Base  
C Collecteur  
E Emetteur

corrélative des gains en courant et une détérioration de la vitesse de commutation. Pour pallier la diminution du gain il a fallu utiliser plus efficacement le silicium et ce fut l'apparition du Darlington monolithique bipolaire. Celui-ci a subi un certain nombre de transformations depuis sa création (fig. 6): résistances interbases intégrées, base intermédiaire accessible, diode de rapidité («speed up diode»: SUD interbases), diode monolithique émetteur-collecteur ou diode de roue libre, tout ceci pour en arriver aujourd'hui à des produits à diode de roue libre hybride, à base intermédiaire sortie ou à diode de rapidité, soit par exemple le MJ10047.

Il restait à compenser la détérioration de la vitesse de commutation lorsque la tenue en tension augmente et ce fut l'importante innovation technologique introduite sur le marché par Motorola en 1980: l'émetteur creux («hollow emitter», fig. 7). Il est né pour limiter la forte densité de courant sur l'axe du doigt d'émetteur à la coupure. Les résultats immédiats furent une plus grande aire de sécurité à la coupure (RBSOA) et une bien plus grande rapidité de coupure grâce à la diminution de la quantité de porteurs minoritaires piégés dans la zone collecteur. Grâce à cette technologie utilisée avec une lithographie des doigts d'émetteur plus fine, l'amélioration de l'aire de sécurité est importante et les temps de coupure sont divisés par un facteur au moins égal à trois avec une commande de base très simple. Par exemple le MJ16010A ( $1000 \text{ V} \times 15 \text{ A}$ ) a un temps de descente d'environ 50 ns à  $100^\circ \text{C}$ , le BUS48A qui est pourtant un produit de même âge et de même calibre mais de technologie classique a un temps de descente d'environ 200 ns à  $100^\circ \text{C}$ .

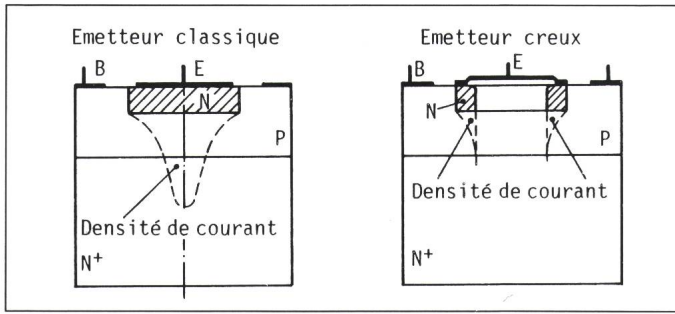


Fig. 7  
Comparaison des densités de courant à la coupure

La limite technologique supérieure actuelle est donnée par le Darlington bipolaire monolithique triple diffusé à émetteur creux (switchmode III) le MJ10027: surface de silicium environ  $1 \text{ cm}^2$ , aire de sécurité à la coupure  $1000 \text{ V} \times 20 \text{ A}$ , temps de coupure  $200 \text{ ns}$  à  $100^\circ\text{C}$ . Malgré de telles performances, le transistor bipolaire n'est pas encore arrivé à maturité car tous les phénomènes transitoires associés aux fortes puissances instantanées à l'intérieur des structures ne sont pas encore bien connus: il y a encore des possibilités d'amélioration pour la tenue en commutation (SSOA), la commande, la robustesse (avalanche) et les pertes à l'état passant.

### 3. Le transistor MOSFET de puissance

Le premier transistor «metal oxyde semiconducteur» (MOS) à effet de champ (fig. 8) est apparu en 1960 grâce à MM. Khang et Atalla. Ce fut une structure horizontale, la conductibilité électrique étant établie entre deux électrodes de même polarité appelées source et drain grâce à un canal d'inversion modulable créé par l'effet électrostatique d'une capacité dans une zone de polarité inverse comprise entre la source et le drain.

Comparée au transistor bipolaire, cette structure a les avantages suivants:

- stabilité en température grâce à un coefficient négatif  $\Delta I_D / \Delta T$
- vitesses de commutation très rapides

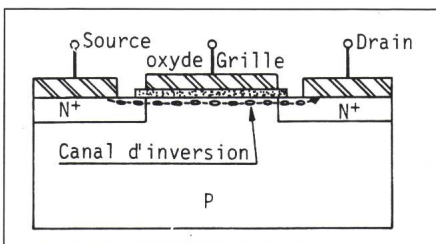


Fig. 8 MOS de puissance planar (principe)

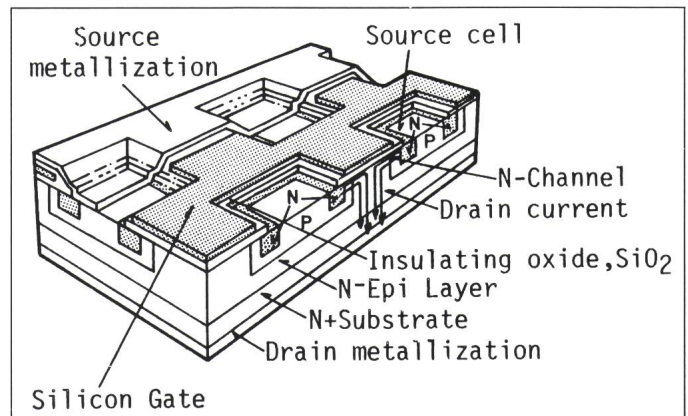
- grande impédance d'entrée à basse fréquence (inférieure au MHz) permettant une commande en tension, d'où facilité de commande et peu de pertes.

Cette technologie n'utilise que les porteurs majoritaires d'où une absence de modulation de conductivité due aux porteurs minoritaires et par conséquent une faible densité de courant admissible. Cette propriété a limité pendant longtemps l'utilisation de cette technologie aux circuits intégrés. Il fallut attendre 1975 pour trouver les premiers mosfets de puissance à courant vertical, c'est-à-dire des produits de puissance de commande plus importante: environ  $10 \text{ A}$  et  $100 \text{ V}$ . A partir de ce moment la structure MOS de puissance s'est divisée en deux axes principaux:

a) le MOS de puissance à électrodes coplanaires pour des applications bien particulières telle que l'amplification linéaire (fig. 8).

b) le MOS de puissance à courant vertical pour commutateurs où l'on a privilégié la résistance à l'état passant et la tenue en tension: structure multicellulaire de type International Rectifier, Siemens et Motorola (fig. 9). Le produit MOS de puissance de commutation appelé aussi DMOS (MOS diffusé) ou VDMOS (vertical DMOS) a pris un essor considérable depuis ces cinq dernières années, surtout en basse

Fig. 9  
MOS de puissance cellulaire à courant vertical TMOS (vue éclatée)



tension ( $< 200 \text{ V}$ ). Par contre on s'est vite aperçu que ce produit avait en haute tension un inconvénient majeur: sa faible efficacité du silicium, par exemple un mosfet de puissance de  $1000 \text{ V}$  ne peut pas avoir une résistance à l'état passant inférieure à  $1 \text{ ohm}$  pour une surface de silicium de  $1 \text{ cm}^2$ .

En basse tension, grâce à des techniques de grande intégration (VLSI), microscopique et submicroscopique, on a pu créer des produits extrêmement intéressants car ils présentent une très grande facilité d'emploi et les pertes peuvent être très faibles. On peut dès aujourd'hui trouver par exemple des MOS de puissance de  $50 \text{ V}$  qui ont une résistance de  $1,5 \text{ m ohm}$  pour  $1 \text{ cm}^2$  de silicium. Si l'on compare ce produit à un bipolaire de même calibre, on a, pour un courant de  $100 \text{ A}$  par exemple des pertes dans le MOS égales à  $RI^2 = 15 \text{ W}$  et dans le cas bipolaire  $UI = 1 \times 100 = 100 \text{ W}$ .

La limitation théorique du courant a amené les concepteurs de MOS de puissance moyenne et haute tension à utiliser la modulation de conductivité due aux porteurs minoritaires. C'est ainsi qu'on a vu apparaître depuis environ trois ans un nouveau type de MOS à réaction appelé IGT (Isolated Gate Transistor) chez General Electric, COMFET (FET à modulation de conductivité) chez RCA et GEMFET (gain enhancement MOSFET) chez Motorola. Dans ce dernier, le substrat  $\text{N}^+$  (fig. 9) est remplacé par un substrat  $\text{P}^+$ .

L'adjonction d'une couche injectrice de porteurs minoritaires côté drain du Mosfet a permis d'améliorer la densité de courant admissible en haute tension dans un rapport environ égal à cinq. Cependant, la présence de porteurs minoritaires a accru les temps de coupure des premières versions de ces dispositifs:  $4$  à  $5 \mu\text{s}$  de «queue de cou-

rant» au lieu de quelques dizaines de ns pour un Mosfet de puissance de même calibre. Il a fallu améliorer ce temps de descente par l'irradiation électronique de la structure. On obtient ainsi, dès 1986 des Gemfet MGP5N50F, 500 V, 5A avec des temps de descente de moins de 200 ns. Il reste encore des progrès à faire surtout en terme de blocage intempestif (latch), sous fort gradient de potentiel ( $dV/dt$ ) et en haute température, mais ce produit vient d'apparaître et il est prometteur pour l'avenir.

## 4. Modules de puissance

Les systèmes de puissance deviennent de plus en plus puissants et performants, ils permettent, à présent, de commander des moteurs de plusieurs dizaines de kW et de faire des alimentations sans coupure de plusieurs dizaines de kVA (onduleurs) à partir de batteries tampons.

La puissance que peut dissiper un boîtier doit par conséquent augmenter et les modules doivent permettre la réalisation de systèmes de la façon la moins coûteuse possible, et pour cela:

- être isolés sous forte tension (2,5 kV)
- avoir un montage aisé et rapide
- avoir une commande simple et peu énergétique
- supporter toutes les contraintes de ce type d'application: court-circuit, surtensions, démarrage, inversion du sens de rotation et bruit radiofréquence (EMI, RFI).

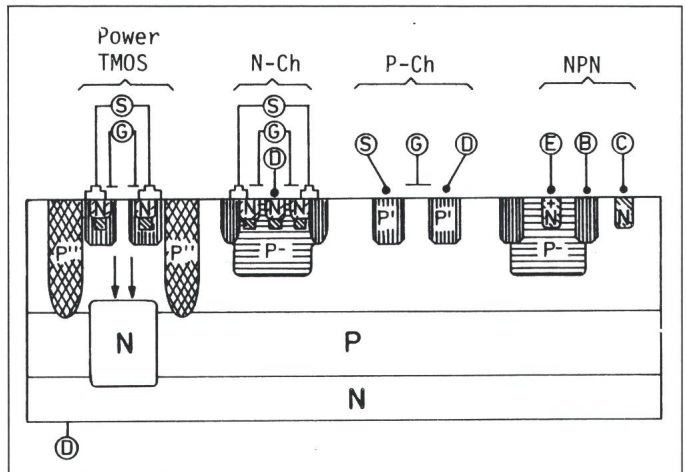
Aussi on trouve de plus en plus sur le marché, des modules de plusieurs centaines d'ampères et supérieurs au kV avec des configurations en demi-bras d'onduleur avec diode de roue libre hybride et une entrée Mosfet pour avoir une commande aisée.

Pour des puissances installées supérieures à 2 kVA, les modules deviennent de plus en plus pratiques à utiliser et prennent la place de montage de produits discrets bipolaires thyristors ou GTO de moyenne puissance, car ils ont l'avantage sur ceux-ci de permettre des commandes à fréquence élevée: hors de l'audible d'où faible volume et coût global.

## 5. Le circuit intégré de puissance

Il est évident qu'avec l'évolution des composants de puissance vers une commande aisée par logique bas ni-

Fig. 10  
Coupe d'un Smart Power à MOS de puissance vertical



veau, une robustesse accrue, une protection interne contre toutes les agressions (température, surcourant, sous-tension, surtensions, etc.), la possibilité de dialogue avec une gestion centralisée, l'idée d'une puissance «intelligente» a fait rapidement du chemin. De nombreux procédés sont actuellement utilisés par les constructeurs de semiconducteurs pour démarrer cette nouvelle famille, ils peuvent cependant être divisés en deux grands groupes:

- Historiquement les constructeurs ont démarré par un élargissement des possibilités des circuits intégrés vers des puissances supérieures: quelques ampères et quelques dizaines de volts.
- Pour augmenter cette puissance sans augmenter le silicium utilisé, il a fallu passer récemment à l'utilisation verticale du silicium pour le courant de puissance: technologie «Smart Power» de Motorola (fig. 10).

En règle générale, aujourd'hui, le Smart Power est un assemblage d'une partie puissance à courant vertical et à MOS avec une partie contrôle, commande et protection à CMOS avec quelques fonctions bipolaires. On peut trouver sur le marché, dès 1986, des produits de quelques dizaines d'ampères basse tension ou quelques centaines de mA moyenne tension (400 V) généralement dans les marchés automobiles, télécommunication ou pour la commande d'écrans de visualisation.

Par la suite, pour augmenter le pouvoir de coupure de cette famille, il faudra vraisemblablement passer par l'hybridation: immunité aux forts gradients de potentiels ( $dV/dt$ ) par éloignement des fonctions et création de

produits complémentaires impossibles ou difficiles à mettre dans un silicium monolithique: demi-bras d'onduleur, etc.

Dans cette famille, on peut ranger le dernier-né de chez Motorola appelé Sensefet, MTP 10N10M: ce produit répond à une demande très ancienne des utilisateurs de la puissance, à savoir la possibilité de mesurer et contrôler le courant de charge circulant dans le commutateur sans en avoir les inconvénients de la perturbation du système et des pertes supplémentaires. L'idée est simple à réaliser avec un Mosfet de puissance de technologie cellulaire: en effet dans cette structure (fig. 9), le courant qui circule se divise équitablement entre toutes les cellules, il suffit de mesurer le courant au travers de l'une d'entre elles et de connaître le nombre total de cellules pour avoir le coefficient diviseur du courant (fig. 11).

## 6. Conclusions

Le transistor bipolaire ou Darlington va, dans les prochaines années, nous permettre d'obtenir des produits à grande vitesse, à haute tension avec

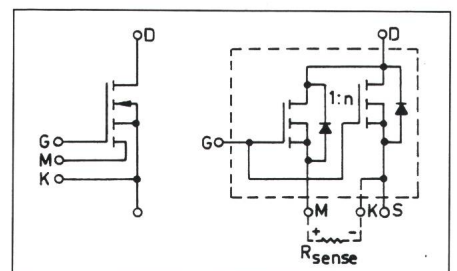


Fig. 11 MOS de puissance à miroir de courant (SENSEFET)

une aire de sécurité en transitoire élargie et autoprotégée contre les phénomènes de second claquage et avec des pertes à l'état passant de plus en plus faibles par l'utilisation de techniques qui ont déjà fait leurs preuves dans d'autres technologies: lithographie très fine, structure cellulaire, émetteur creux, profils de dopage spéciaux.

La technologie Mosfet de puissance a un grand avenir surtout en basse et moyenne tension car elle nous permet de créer des produits robustes, faciles à commander à bon marché. Il reste à améliorer les capacités parasites internes pour pouvoir monter en fréquence (technique radiofréquence) et à supprimer le transistor parasite interne, source de quelques inconvénients en commande de moteurs.

En haute tension, l'apparition du

Gemfet est aussi prometteuse grâce à une commande aisée et, peut-être, en vue de la combinaison de cette technologie avec bipolaires.

Les modules de puissance vont permettre de mixer ces différentes technologies de façon à en additionner les avantages; exemples: Darlington MOS-BIP, GEM-BIP. Ces modules vont également permettre la percée du transistor de puissance dans le domaine de la moyenne puissance (< 100 kW), du pont en H, des convertisseurs triphasés, des alimentations sans coupure («uninterruptible power supply», UPS) et déboucher sur la puissance «intelligente»: autoprotégée, diagnostics, commande à très faible énergie. Quant à la technologie «Smart power», elle préfigure ce que seront, dans une dizaine d'années, les

composants de puissance incassables et à bon marché.

#### Bibliographie

- [1] *P. Leturq*: Composants de puissance à semi-conducteurs. Colloque sur l'électronique de puissance, Paris, 1982.
- [2] *P. Rossel and J. Buxo*: Discrete and integrated MOS power technologies. *Physica* 129 B/C(1985)1/3, p. 33...52.
- [3] *M. Deak, H. Rüegg and F. Winiger*: Elektronische Bauelemente. *Bull. SEV/VSE* 67(1976)21a, S. 1163...1168.
- [4] *P. Schwob*: La technologie SOS. *Bull. ASE/UCS* 68(1977)2, p. 60...65.
- [5] *H. Oguey et S. Cserveny*: Modèle du transistor MOS valable dans un grand domaine de courants. *Bull. ASE/UCS* 73(1982)3, p. 113...116.
- [6] *W. Guggenbühl und P. Steiner*: Simulation des Lawinendurchbruchs von Bipolartransistoren mittels «Spice». *Bull. SEV/VSE* 74(1983)5, S. 224...229.
- [7] *H. Reiner*: Die Integration in der Halbleitertechnik und ihre Grenzen. *Bull. SEV/VSE* 75(1984)1, S. 40...44.

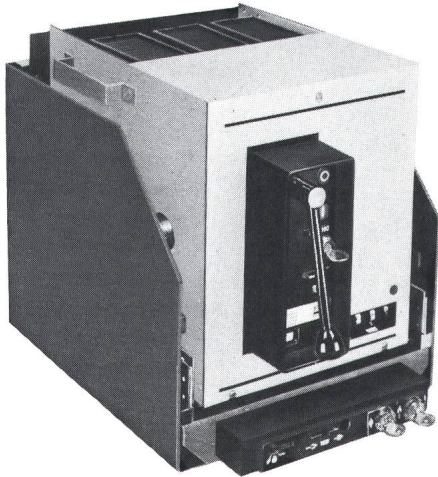


## Überrunden Sie Ihre Konkurrenz... ... wählen Sie UNELEC!

Kompakt-Leistungsschalter  
100–1250 A

Offene Leistungsschalter  
800–6400 A

Neu:  
Berechnung der  
Niederspannungsverteilung  
mit Mikro-Computer



Pubaco Biel - Bienne



CIGIE ALSTHOM (SUISSE) SA  
Weingartenstrasse 7  
8803 Rüschlikon  
Tel. 01 / 724 00 66  
Telex 58 360 cge ch

**Solch ein Potential sollten Sie nutzen.**

## Haben Sie hin und wieder Störungen...

... in Ihrer Anlage, die gezielt  
und schnell beseitigt werden  
müssen, um die teuren  
Stillstandzeiten auf ein  
Minimum zu beschränken?  
Ein durchdachtes  
Störmeldesystem  
liefert Ihnen die  
dazu notwendigen Infor-  
mationen.



ETG UNITRO  
STÖRMELDESISTEME

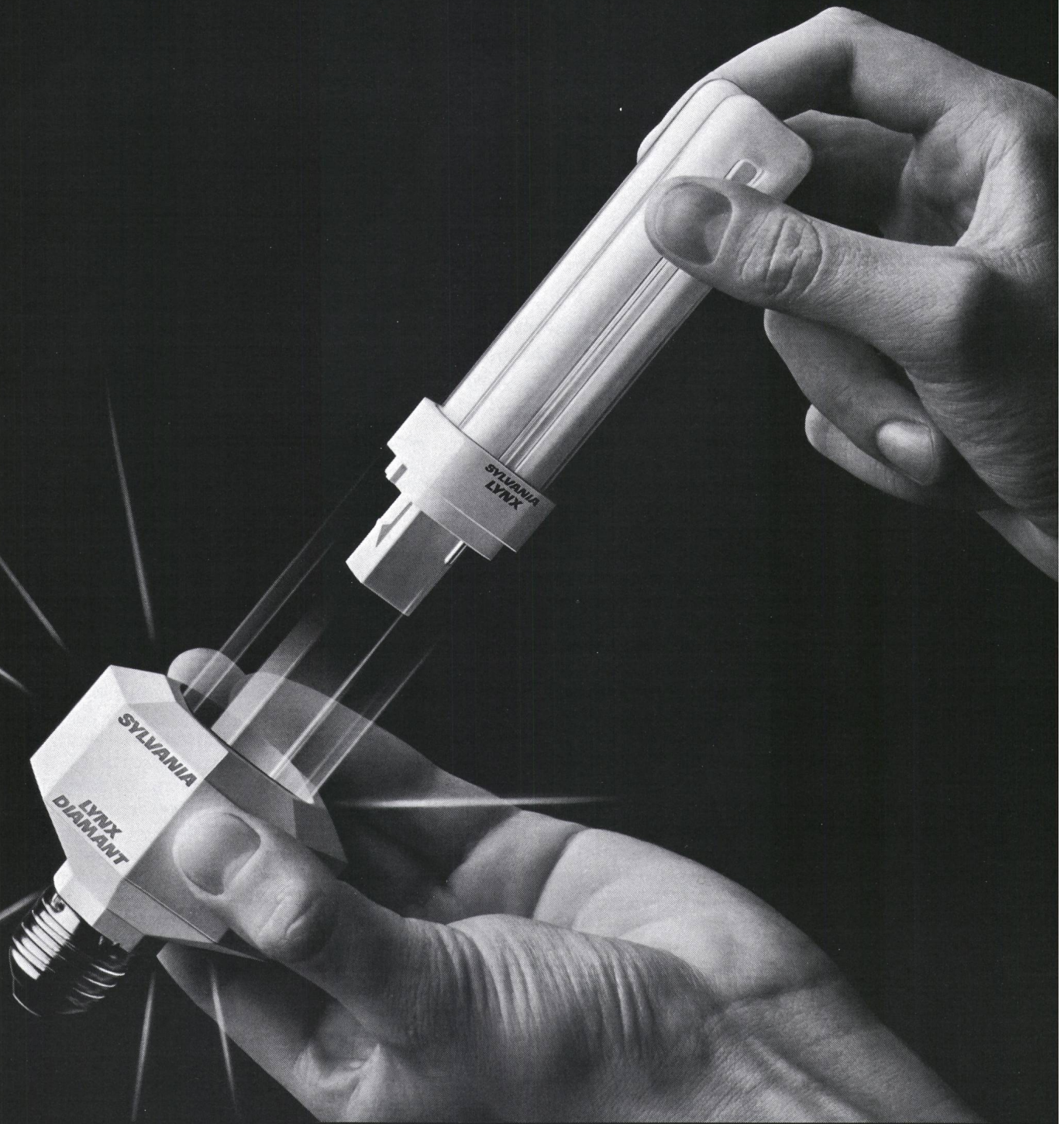
10 Jahre Erfahrung und  
über 100 verschiedene  
Störmeldebausteine sind  
fast eine Garantie für  
eine optimale Lösung.

**S+K**

Schärer + Kunz AG  
8010 Zürich, Postfach 369  
Telefon 01 / 432 20 44



# LYNX-DIAMANT



**Mit Sylvania's brillantem Adapter passt jetzt das modernste Licht in jede herkömmliche Fassung.**

... darauf viele gewartet haben: Eine Kompakt-Leuchtstofflampe, die auch ohne das teure Vorschaltgerät ersetzt werden kann. Lynx-Diamant – das neue und revolutionäre, energiesparende Lichtsystem.

Einerseits die energiesparende Lynx Kompakt-Leuchtstofflampe – andererseits der neue, diamantförmige Adapter von Sylvania, dessen Lebensdauer der von 10 Lampen entspricht und der ausserdem mit einer 5jährigen Garantie versehen ist.

Wenig Energieverbrauch, warmes, angenehmes Licht, einfacher Unterhalt und lange Lebensdauer verleihen dieser Lichtquelle glänzende Anwendungseigenschaften im Innen- und Aussenbereich.

**Sylvania Lynx-Diamant – die brillante Verbindung.**

**Coupon:** Bitte senden Sie weitere Informationen über Sylvania Lynx-Diamant.

Name

Adresse

SEV

**SYLVANIA**

**GTE**

GTE SYLVANIA AG, 4, ch. des Léchères, 1217 Meyrin,  
Tel. 022/82 00 72, Tx 28 233