

**APLICACIÓ DE LES ESTRUCTURES MIS-TÚNEL  
A LA CONVERSIÓ FOTOVOLTAICA**

**per**

**J. BUXÓ**

**LAAS, Tolosa de Llenguadoc, França**

## RESUM

L'interès de la utilització d'aquestes estructures ve del fet que el corrent de portadors majoritaris queda fortament reduït per l'efecte túnel de la capa intermèdia. Hom demostra sota quines condicions el pas dels portadors fotogenerats (minoritaris) és encara possible. Hom presentarà una experiència i la teoria completa d'aquest transport.

## SUMMARY

The interest in the utilization of these structures, derives from the fact that the effect of the current of the majoritary carriers, would be reduced strongly, as a result of the tunnel effect of the intermediate layer. It is shown under which conditions the passing of the photogenerated carriers (minority ones) is still possible. An experience and the complete theory of this process will be presented.

Diferents autors han discutit darrerament les possibilitats dels díodes Schottky tipus MIS-túnel.

L'interès d'aquest dispositiu és degut a la presència d'una capa molt fina d'aïllant entre el metall i el semiconductor. Aquesta capa fina augmenta i controla el valor de l'eficàcia d'injecció del dispositiu.

L'eficàcia d'injecció d'un díode Schottky pur (és a dir, que no conté la capa intermèdia aïllant) és reduïda a l'ordre de  $10^{-6}$  i només depèn de la natura del metall que defineix el valor de l'alçada de la barrera de contacte (tal com ho han demostrat teòricament i experimental Yo i SNOW).

La possibilitat d'obtenir un augment d'aquest valor (eficàcia d'injecció) en el cas on és introduïda una capa aïllant intermèdia, ha estat demostrada experimentalment per CARD i RHODERICK i també per nosaltres, mitjançant la utilització d'estructures de tipus epitransistor (fig. 1).

Utilitzant aquestes estructures és possible, en el camp de la conversió fotovoltaica, d'augmentar l'eficàcia d'injecció i d'obtenir rendiments fotoelèctrics superiors als dels díodes Schottky normals.

Talment com mostren les figures següents, el rendiment fotoelèctric d'un díode Schottky normal no és superior a un 6 % (fig. 2).

Al requadre següent —il·lustració 3— veiem els principals resultats que hom ha obtingut en el cas de les estructures MIS; i resumint podem observar la figura 4.

#### EFICÀCIA D'INJECCIÓ

L'estudi teòric de l'eficàcia d'injecció en les estructures MIS per efecte túnel permet de demostrar que, superant una velocitat de recombinació nul·la a la superfície, els valors de l'eficàcia poden ésser molt elevats.

La figura 5 mostra els resultats obtinguts quan hom suposa que el semiconductor té la superfície invertida i, a més, aquesta inversió es manté àdhuc polaritzant-lo en directe.

Les corbes de la figura següent s'obtenen quan la polarització directa provoca la pèrdua d'aquesta condició d'inversió.

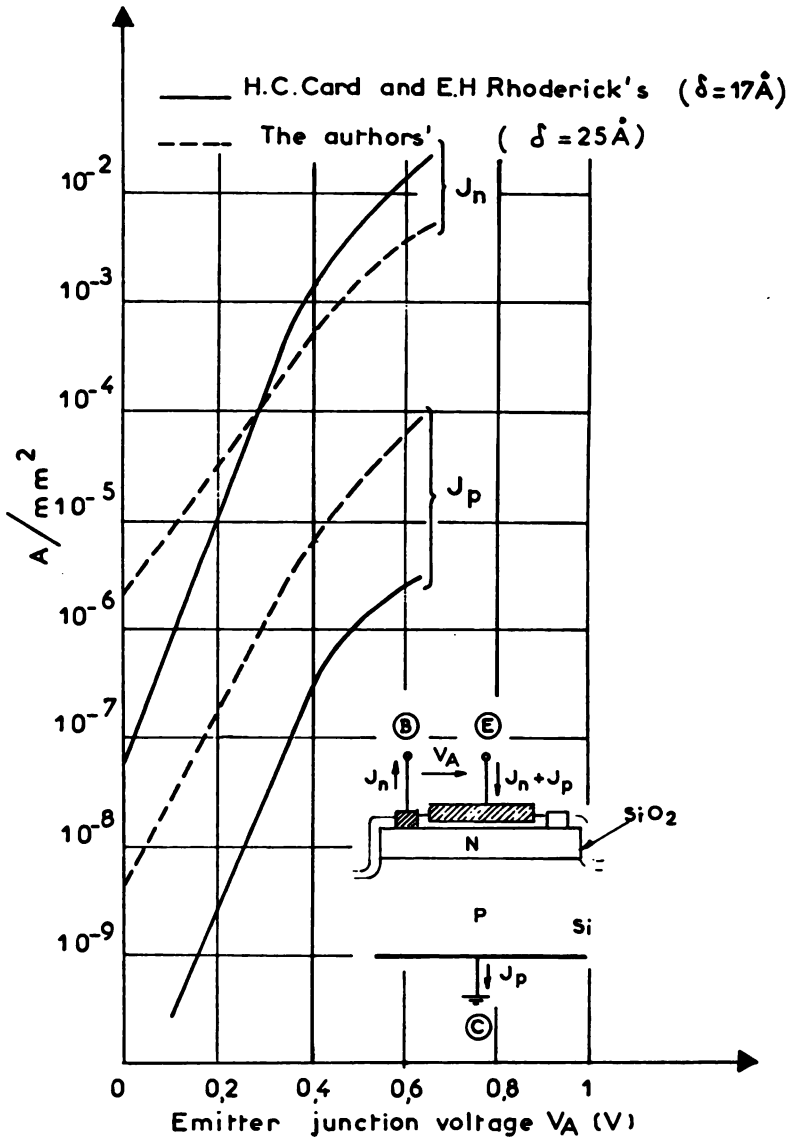


FIGURA 1

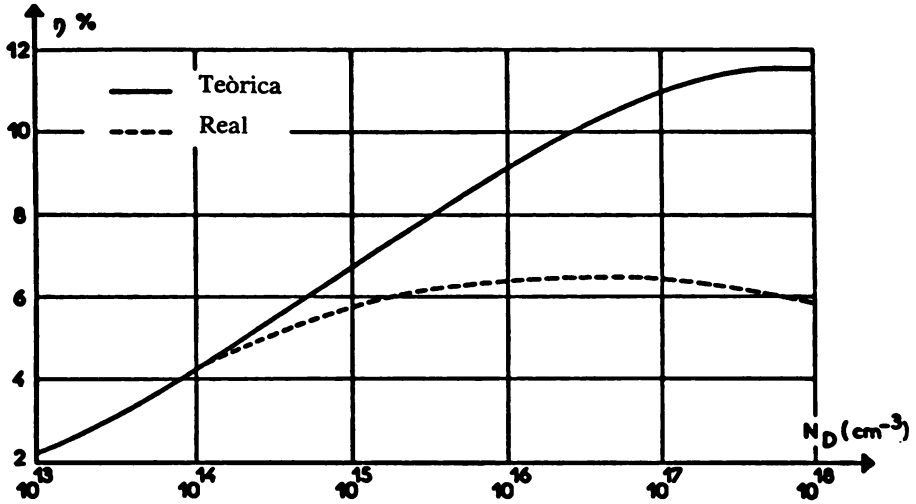


FIGURA 2

	Díode Schottky M-S	Estructura MIS túnel
Eficàcia d'injecció $\gamma$ (polarització elèctrica)	$\approx 10^{-6}$ depèn del tipus de metall	$\approx 10^{-3}, 10^{-2}$
Polarització òptica (utilització fotopila)	$\eta \leq 6\%$	$8\% \leq \eta \leq 10\%$
Característiques òptiques		

FIGURA 3

AUTORS	SEMICONDUCTOR	AÏLLANT	METALL	RESULTATS
D. R. Lilington W. G. Townsend 1975	Si tipus n	SiO <sub>2</sub> 10-20 Å	Au	V <sub>oc</sub> augmenta un 30 % respecte a un díode tipus Schottky convencional
R. J. Stirn Y. C. M. Yeh 1975	GaAs	Al,Ga <sub>1-x</sub> As creixement per deposició epitaxial E <sub>g</sub> > 0 δ = 20 Å	Au	η = 15 %
E. J. Charlson J. C. Lien 1975	Si tipus p	SiO <sub>2</sub> δ ≈ 30 Å	Al	η = 8 %
W. A. Anderson 1974	Si tipus p	Capa de SiO <sub>2</sub> no intencionada	Cr	η = 8,1 %
A. H. M. Kipperman M. H. Omar 1976	Si tipus p	SiO <sub>2</sub> δ 50 ≈ Å	Au	η > 10 %
E. Fabre (Lep) 1976	Si tipus p	No és directa- ment controlable	Ti	η = 8 % quan el factor de qualitat (η) augmenta el valor V <sub>oc</sub> també augmenta

FIGURA 4

Ara veiem que aquells valors tan elevats de  $\gamma$  ja són molt més difícils d'obtenir. Aquests càlculs demostren, per tant, que hi ha paràmetres essencials que controlen el valor de  $\gamma$  (fig. 6).

Essent:

- el gruix de la capa aïllant intermèdia (fig. 7);
- l'alçada de la barrera de contacte (fig. 8).

Aquesta darrera és definida per:

- la diferència entre els treballs de sortida del metall i del semiconductor;
- la densitat d'estats de superfície presents a la interfase SiO<sub>2</sub>/Si.

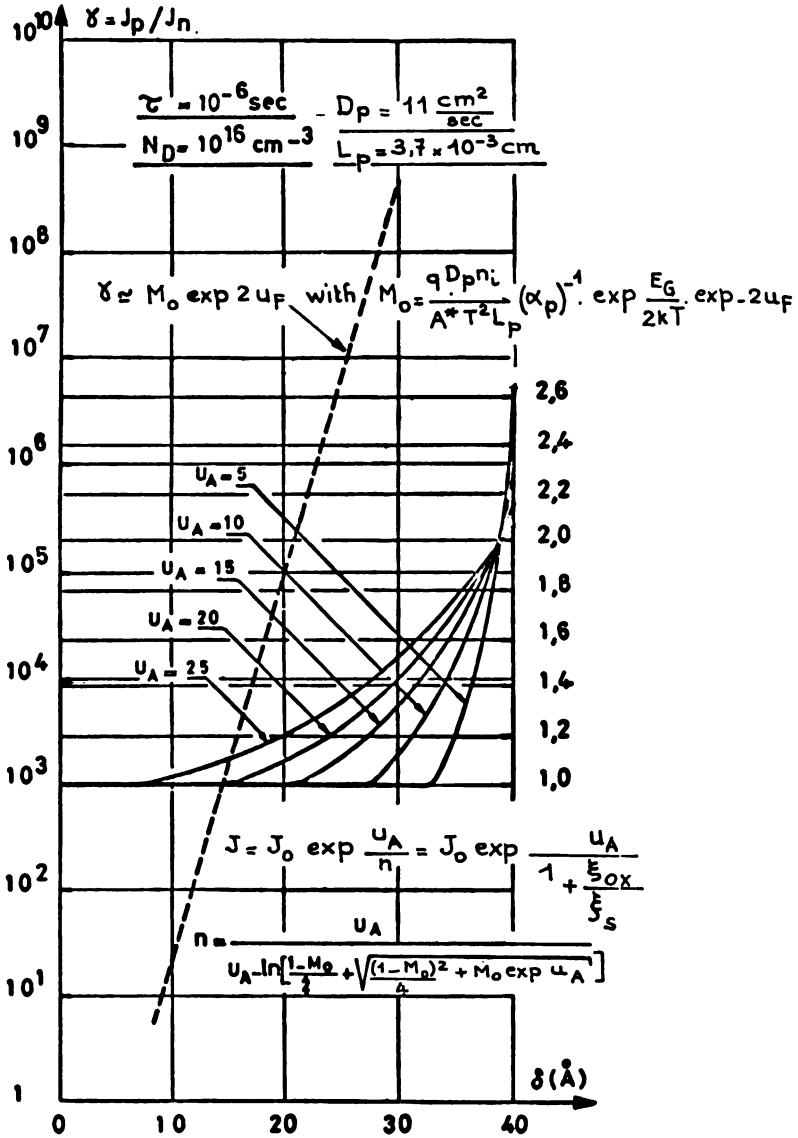


FIGURA 5

## QUADRE D'OPTIMITZACIÓ

	$\varphi\emptyset n$	In	Ip
Metall amb un valor de treball de sortida molt elevat	elevat favorable	feble favorable	facilitat favorable
Estats de superfície	donadors (+, 0)	feble desfavorable	no s'interaccionen amb els forats
	acceptors (-, 0)	gran favorable	no s'interaccionen amb els electors

FIGURA 6

Vegem ara com es modifiquen els resultats que hem presentat, si tenim en compte la presència dels estats de superfície que fins ara havíem ignorat.

Per a la discussió diferenciarem dues menes d'estat de superfície.

A) *Estats donadors (+, 0)*

En general, pròxims a la banda de conducció i, per tant, ionitzats (+) *des d'un punt de vista electrostàtic*, tenen una acció desfavorable respecte a l'alçada de la barrera i, per tant, respecte a l'eficàcia d'injecció.

*Des d'un punt de vista dinàmic*, aquests estats poden servir de pont entre un mecanisme de transició tèrmica envers els portadors majoritaris, seguit d'una transició tipus túnel envers els estats lliures del metall.

Si tenim en compte aquest mecanisme, hom arriba a una reducció significativa de l'eficàcia d'injecció.



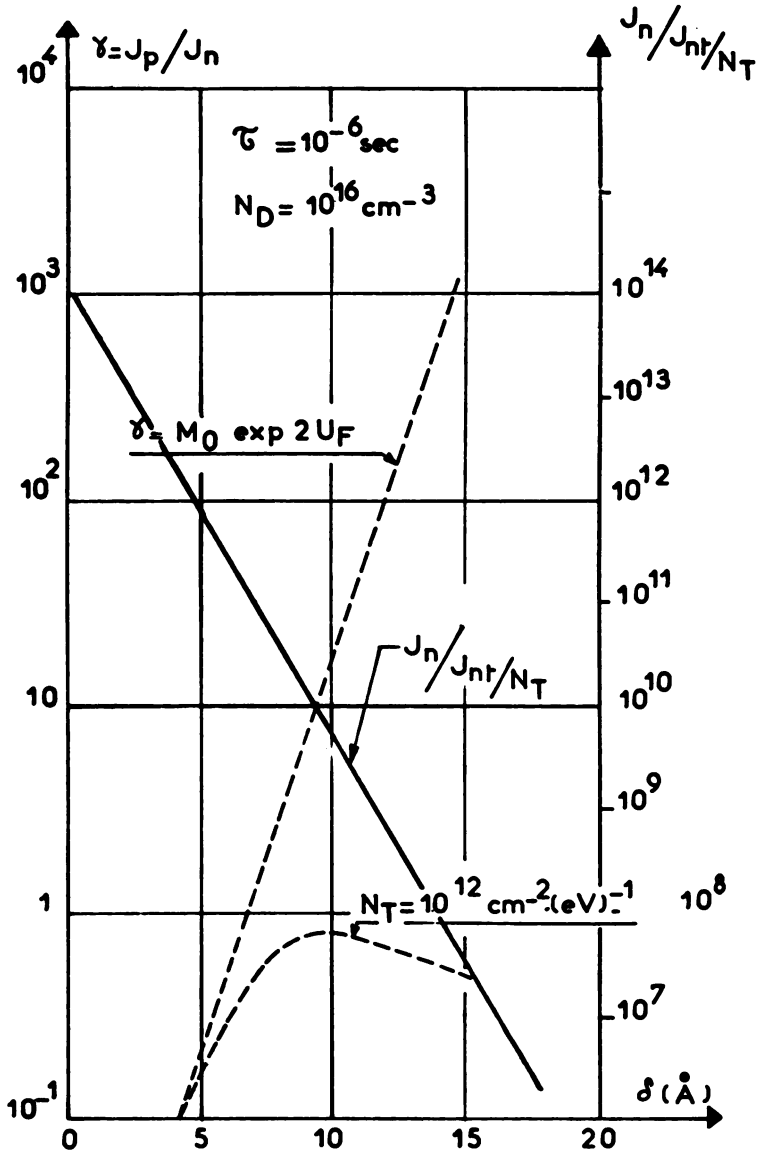


FIGURA 7

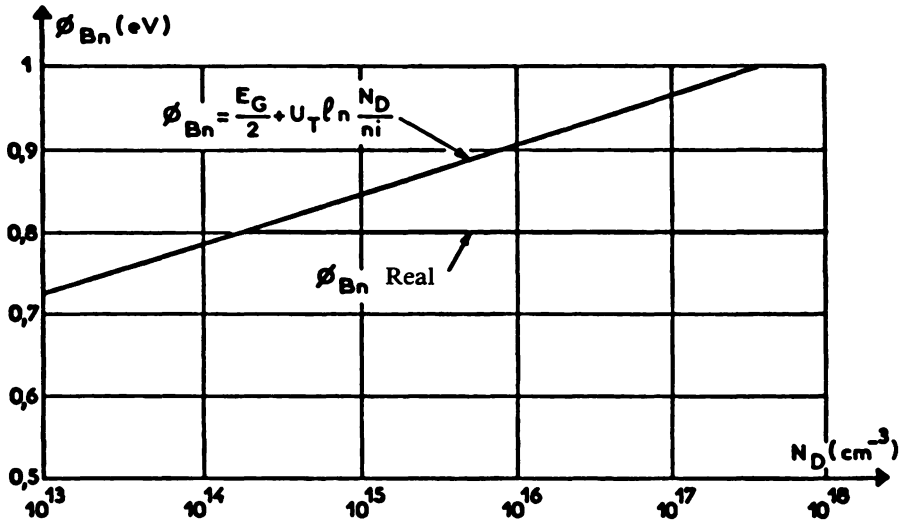


FIGURA 8

### B) Estats acceptors

Aquests estats són generalment pròxims a la banda de valència i presenten una càrrega negativa.

Des del punt de vista electrostàtic, tenen una acció favorable envers l'alçada de la barrera i, per tant, sobre l'eficàcia d'injecció.

Des d'un punt de vista dinàmic, poden servir de pont per a la transferència de portadors minoritaris, i en aquest cas tenen una acció favorable envers els valors de l'eficàcia d'injecció.

### EL RENDIMENT DE LA FOTOPILA

Hem dit que l'acció de la capa aïllant provocava un augment de la tensió  $V_{oc}$ ; ara veurem per què.

La característica  $I(V)$  ens demostra que el corrent òptic no resta modificat per la presència de la capa aïllant (fig. 3). En efecte, el transport del corrent òptic resta garantit pel mecanisme d'efecte túnel per a un valor qualsevol del gruix de la capa intermèdia.

Respecte a la tensió  $V_{oc}$ , l'equació demostra que aquest valor augmenta per a valors grans de  $\delta$ .