

# IMPLANTACION POR RETROCESO

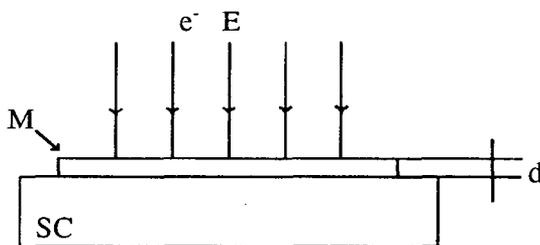
G. Meyer \*, J. Saura\*\*

*División Dispositivos Semiconductores, Centro Atómico Bariloche,  
Comisión Nacional de Energía Atómica, CC 439, 8400 San Carlos de Bariloche.*

Investigamos la posibilidad de dopar semiconductores mediante implantación por retroceso durante irradiación electrónica observando la variación de las propiedades eléctricas de los materiales. Construimos barreras tipo Schottky Au/p-Si y estructuras Sn/p-PbTe, que luego fueron irradiadas con electrones de 2.65 y 25 MeV de un acelerador lineal. Detectamos el nivel donador de Au en Si en las barreras irradiadas con 25 MeV utilizando la técnica de espectroscopía de niveles profundos, midiendo transitorios de corriente de fuga. La estructura Sn/p-PbTe formó una barrera de corriente rectificante luego de ser irradiada con 25 MeV, presumiblemente por la implantación de Sn. Estimamos que el método es útil para dopar cualquier semiconductor, aumentando el interés en la técnica si pudiera ser removido el daño producido por la irradiación.

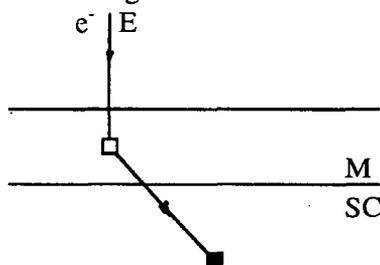
## INVESTIGACION

Consideremos el siguiente experimento: bombardeemos un sustrato semiconductor (SC), cubierto con una película metálica (M), con un haz monoenergético de electrones según muestra la Fig. 1.



**Figura 1: Experimento**

El espesor  $d$  de la capa es mucho menor que el rango de electrones de energía  $E$  en ese material, asegurando que la mayoría de los mismos alcance el sustrato. Algunos interactuarán con átomos  $M$ , confiriéndoles una energía cinética suficiente para penetrar en el SC como indica la Fig. 2.



**Figura 2: Implantación de M en SC**

\* Becario CONICET

\*\* Investigador CNEA

Podemos estimar teóricamente el perfil de implantación de átomos  $M$  en SC teniendo en cuenta la interacción electrón-núcleo en  $M^{1,2}$  y el frenado de átomos  $M$  en SC<sup>3</sup>. Para el caso de implantación de Al ( $M$ ) en Si (SC) y electrones de  $E=10$  MeV obtendríamos que la concentración de Al en Si decae al 10% del valor de la interfase en una profundidad menor que  $10 \text{ \AA}$ . Sin embargo, observaciones realizadas mediante espectroscopía de iones secundarios (SIMS)<sup>4-6</sup> en muestras irradiadas con las características del ejemplo, revelan que la profundidad real de implantación es muy superior:  $700 \text{ \AA}$ .

La comparación entre los cálculos teóricos y los resultados experimentales indica que "olvidamos" incluir algún efecto adicional: la difusión aumentada de  $M$  en SC debido a la existencia de vacancias e intersticiales en proporción mayor a la de equilibrio a esa temperatura.

La posibilidad de conseguir rangos de penetración como el mencionado es muy importante desde el punto de vista de las aplicaciones: creación de barreras superficiales utilizables como detectores de fotones o partículas, láser, celdas, etc.

Los objetivos del presente trabajo son intentar comprobar con mediciones de propiedades electrónicas la existencia de implantación, estimar su utilidad práctica y tratar de conseguir un dispositivo con este método.

## METODO EXPERIMENTAL

Confirmando en los resultados publicados, partimos de la base que deseamos verificar un fenómeno casi superficial, que afecta un espesor de la décima de

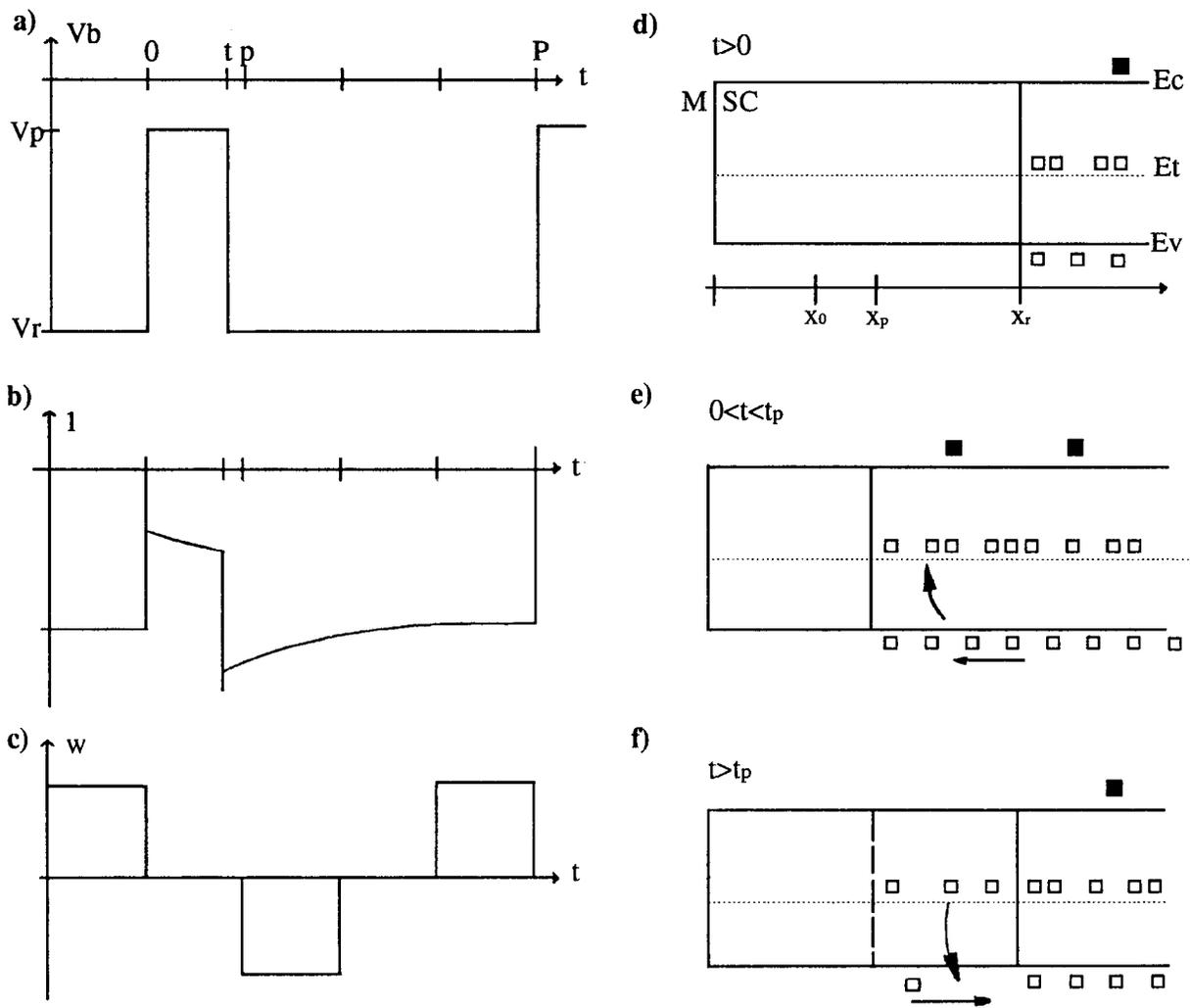


Figura 3: a) Tren de pulsos de polarización inversa de período  $P$  y ancho  $t_p$ ;  $V_r$ ,  $V_p$ : tensiones inversa de pulso; b) Respuesta en corriente; c) Factor de peso en la integración de la corriente; d) Estado estacionario de la barrera de polarización  $V_r$ ; e) Llenado de trampas inmediatamente después de  $t=0$ ; f) Transitorio de corriente por vaciado de las trampas ( $t > t_p$ ).

micrón, por lo tanto la elección del sistema detector debe basarse en las características del sustrato cercano a la superficie. Ya que también era necesario cubrir el SC con una película metálica, elegimos M tal que al evaporarla sobre el SC, la unión M-SC forma una barrera tipo Schottky. La ventaja de usar una barrera es que la misma es una zona de alta resistividad en polarización inversa y la respuesta del sistema a la conducción de corriente depende del comportamiento de la zona libre de portadores próxima a la interfase y de profundidad del orden del micrón.

Elegimos el sistema Au/p-Si, e intentamos observar el ingreso de Au, luego de irradiar, mediante la detección del nivel donador de Au en Si situado a 0.35 eV por encima de la banda de valencia y que consti-

tuye una trampa de huecos.

La detección de dicho nivel se efectuó con espectroscopía de niveles profundos (DLTS), utilizando los transitorios de corriente de fuga de la barrera que surgen al modificar en forma pulsada la polarización inversa de la misma según se muestra en la Fig. 3. Al variar la polarización de  $V_r$  a  $V_p$ , disminuye el ancho de la zona de depleción de  $x_r$  a  $x_p$  e ingresan portadores que son atrapados entre dichas posiciones. En  $t=t_p$  se amplía la zona y la corriente de fuga converge a su valor estacionario para polarización  $V_r$  después de dos transitorios: uno abrupto por barrido de los portadores mayoritarios entre  $x_r$  y  $x_p$ , y otro más lento proveniente del vaciamiento de las trampas y que tiene una dependencia temporal dada por:

$$i(t) - i(\infty) = \left[ A \cdot e \cdot \int_{x_p}^{x_r} N_t(x) \cdot (1 - x/x_p) dx \right] \cdot e_p \cdot \exp(-e_p \cdot t)$$

con : A: área de la barrera  
 $N_t$ : densidad de trampas

$e_p(T) \propto \sigma_{cp} \cdot T^2 \cdot \exp(-\Delta E/KT)$ , frecuencia de emisión de la trampa

$\sigma_{cp}$ : sección eficaz de captura de huecos

$\Delta E = E_T - E_v$  diferencia de energía entre el nivel de trampa y el borde de la trampa de valencia.

Integrando la corriente con una función de peso como la de Fig. 3 c, obtenemos un valor función de la temperatura T y que es máximo cuando se cumple la condición<sup>9</sup>:

$$e_p \cdot P = C$$

donde C es una constante que depende del ancho del pulso elegido  $t_p$  y del tren de pulsos P.

En la práctica, esto se consigue alimentando la barrera con un generador de pulsos y analizando la corriente con un lock-in de dos canales, que provee la salida integrada con la función de peso mencionada cuando se utiliza la diferencia entre la señal de fase y cuadratura. Dicha salida se registra en función de la temperatura, mientras la misma es variada entre 80 y 330 K. Se efectúan mediciones para distintos  $t_p$  y los pares de puntos ( $P_i$ : ancho de pulso en la medición i y  $T_i$ : temperatura del máximo de la señal en esa medición) se ajustan de acuerdo a:

$$\ln(P_i \cdot T_i^2) = -\ln(C \sigma_{cp}) + \Delta E/(k \cdot T_i)$$

obteniendo  $\sigma_{cp}$  y  $\Delta E$ , parámetros que identifican la trampa.

## RESULTADOS

### IMPLANTACION DE ORO EN SILICIO

Utilizamos como sustrato una oblea de 200  $\mu\text{m}$  de espesor de Si tipo p, de resistividad 1,0  $\Omega\text{cm}$  y movilidad 2600  $\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{sec}^{-1}$  a 100 K medidas por el método de Van der Pauw.

Construimos barreras Schottky evaporando Au sobre una cara pulida con alúmina de 0,05  $\mu\text{m}$  atacada

con CP4A y limpiada por descarga en atmósfera de argón. El contacto óhmico de Al se efectuó en la cara posterior. La Fig. 4 exhibe la respuesta I-V de una barrera típica.

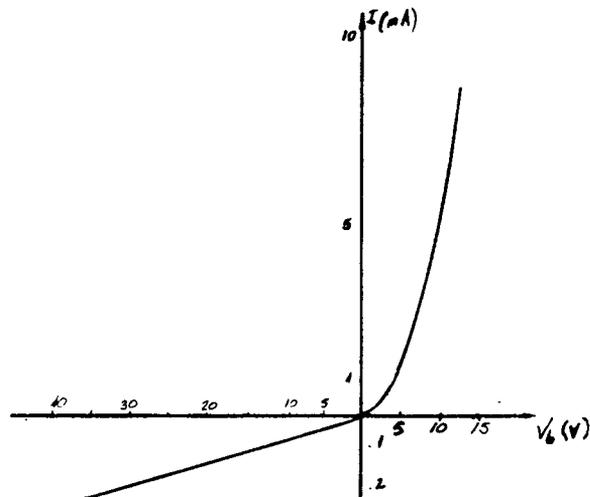


Figura 4: Barrera tipo Schottky Au/p-Si utilizada para la determinación de implantación.

Irradiamos las muestras refrigeradas con flujos de  $10^{17} \text{e. cm}^{-2}$  en un LINAC con electrones de 25 MeV. Observamos dos contribuciones al transitorio de corriente, de las cuales sólo la de menor influencia podía detectarse en el rango de temperaturas de trabajo utilizando trenes de pulsos de períodos P entre 0,25 ms y 40 ms. La Fig. 5 muestra el ajuste  $\ln(P_i T_i^2)$  vs.  $(k \cdot T)^{-1}$  a partir de mediciones efectuadas en dos muestras y que dan como resultado:

$$\Delta E = 0,33 \pm 0,03 \text{ eV} \quad \sigma_{cp} = (2 \pm 4) \times 10^{-14} \text{ cm}^2$$

que coinciden excelentemente con los valores  $\Delta E = 0,35 \text{ eV}$  <sup>(7)</sup> y  $\sigma_{cp} = 5,5 \times 10^{-14} \text{ cm}^2$  <sup>(8)</sup> reportados previamente para el nivel buscado.

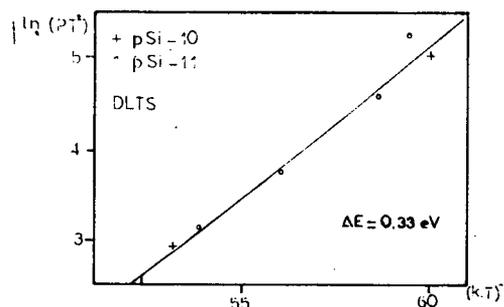


Figura 5: Gráfico de Arrhenius correspondiente a las curvas de DLTS obtenidas en barreras Au/p-Si.

Efectuamos mediciones antes de irradiar, en barreras irradiadas y en barreras contruidas evaporando Au sobre Si irradiado para poder deshechar los niveles debidos a daño por irradiación o los ya presentas en el sistema no irradiado.

Mediciones efectuadas en sistemas irradiados con 2,65 MeV no presentaron evidencia de metal implantado, observándose sólo niveles debidos a daños por irradiación.

### IMPLANTACION DE Sn EN Pb Te

Evaporamos Sn sobre Pb Te tipo p crecido por Bridgman, obteniendo un contacto óhmico. Irradiamos el sistema con un flujo de  $7 \times 10^{18}$  e  $\text{cm}^{-2}$  con energía de 25 MeV, variando la resistividad del sustrato ( $T=100$  K) de  $1,9 \times 10^{-4}$  a  $2,3 \times 10^{-9} \Omega \cdot \text{cm}$  y la movilidad de los huecos de 5600 a  $1800 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$  medidas según el método de Van der Pauw, y que indican los efectos del daño por irradiación.

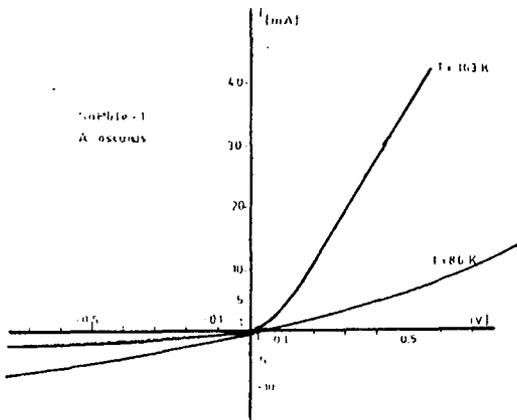


Figura 6: Característica I-V de la barrera rectificante formada luego de irradiar el sistema Sn/p-Pb Te con electrones acelerados a 25 MeV.

La Fig. 6 indica una característica I-V rectificante probablemente atribuible al ingreso de Sn en Pb Te (comportamiento donador), que forma una zona superficial tipo n. Debido a que el Sn en Pb Te se comporta como donador simple en estado intersticial y como donador doble en sustitucional, los resultados indicarían una concentración del orden de  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$ , necesaria para modificar el tipo de material y formar una barrera.

Estimando la corriente de fuga de la barrera a partir de la derivada de la curva I-V en el origen, obtenemos un valor de  $J_0 = 6,6 \pm 0,8 \mu\text{A} \cdot \text{mm}^{-2}$  ( $T=86$  K), no muy lejano de las  $2,2 \pm 0,2 \mu\text{A} \cdot \text{mm}^{-2}$  que se obtienen en los diodos formados por difusión y que supuestamente son de buena calidad.

### CONCLUSIONES

Comprobamos la existencia de implantación por retroceso y su utilidad en el dopaje y construcción de barreras. Debido al éxito obtenido al implantar Au y Sn ( $M=197$  y  $118,7$ ) podemos suponer que no existen límites en cuanto a la elección del material de la película, al menos utilizando electrones acelerados a 25 MeV.

Resaltamos que por su simplicidad el método de dopaje presentado aventaja significativamente al de difusión e implantación atómica.

Recomendamos estudiar en detalle como eliminar los defectos debidos a irradiación (mediante convenientes tratamientos térmicos), que perjudican las propiedades de transporte del sustrato.

### REFERENCIAS

- 1- W. A. Mc Kinley Jr. H. Feshbach; Phys. Rev. 74, 1754 (1948)
- 2- R. M. Curr; Proc. Phys. Soc. (London) A 68, 156 (1955)
- 3- J. Lindhard, M. Scharff; Phys. Rev. 124, 128 (1961)
- 4- T. Wada, Nuc. Instr. and Meth., 182/183, 131 (1981)
- 5- T. Wada, H. Hada; Phys. Rev. B, 30 (6), 3384 (1984)
- 6- T. Wada, Y. Maeda; Appl. Phys. Lett., 51 (25), 2130 (1987)
- 7- C. B. Collins et al; Phys. Rev., 105 (4), 1168 (1957)
- 8- C. T. Sah et al; Sol. St. Elect. 10, 759 (1970)
- 9- G. Mayer, Implantación por retroceso, Tesis presentada en Instituto Balseiro, (1988)

CEILAP  
CITEFA - CONICET  
ZUFRIATEGUI Y VARELA  
1603 VILLA MARTINI  
REPUBLICA ARGENTINA  
LA PLATA 1990 - 241