

**ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE DIODOS TIPO DIAC**

**Octavio Alvarez-Fregoso**

**Dpto. Mat. Cerámicos y Metalurgia  
Instituto de Inv. en Materiales-UNAM  
Apdo. Postal 70-360. Coyoacán 04510.**

Se ha desarrollado un nuevo método de elaboración de diodos tipo diac, usando el proceso de inversión activada por plasma sobre obleas de silicio. La caracterización dinámica de estos dispositivos de estado sólido a DC, indicó que pueden aplicarse como generadores de pulsos simétricos (senoidales) o como contador de tiempo en circuitos de control. Sus características AC, son ideales como el elemento que induce el encendido y/o el apagado de equipos tales como; motores de inducción, de potencia, etc.

**INTRODUCCION**

Los diodos tipo diac son dispositivos de estado sólido con una configuración similar a los transistores NP o NPN, pero sin la conexión eléctrica la región base. Estos elementos, normalmente, se elaboran a partir de una oblea de silicio N, por medio de tres capas difundidas a alta temperatura, en forma de difusión zonal, con la característica funcional de que la unión PN a ambos lados, adquiere una concentración de impurezas prácticamente similar (lo ideal es que sean iguales)[1]. Esto genera la cualidad de disparar simétricamente en ambas direcciones de polarización. Por esta razón, cuando un voltaje positivo o negativo se aplica a través de sus dos terminales, una corriente mínima fluye a través del dispositivo hasta que el voltaje aplicado alcanza un punto crítico, denominado de "disparo". La unión PN (o NP) polarizada en sentido inverso, genera un fenómeno de avalancha electrónica y a partir de ese punto, el dispositivo exhibe una característica de resistencia negativa, es decir, la corriente a través del dispositivo aumenta considerablemente con el voltaje disminuyendo. Por este motivo, los diacs se aplican principalmente como elementos de disparo en circuitos de potencia y de control[2].

La forma más sencilla de producir muchos pulsos de disparo, es por medio de la descarga de un condensador, utilizando la cualidad de resistencia negativa. Las especificaciones técnicas deben incluir el voltaje y la corriente requeridas para

alcanzar la condición de resistencia negativa, cuando se inicia el estado conductor o no-conductor del dispositivo.

Las características I-V del dispositivo en condiciones de operación, se muestran en la figura 1, en donde  $V_s$  es el voltaje mínimo necesario, para efectuar el disparo con una corriente muy pequeña  $I_s$ . El voltaje y corriente de sostenimiento se designan por  $V_H$  e  $I_H$  respectivamente. En estas condiciones, la curva característica y sus líneas de carga están representadas por  $R_1$  y  $R_2$  como se indica en la figura 1.

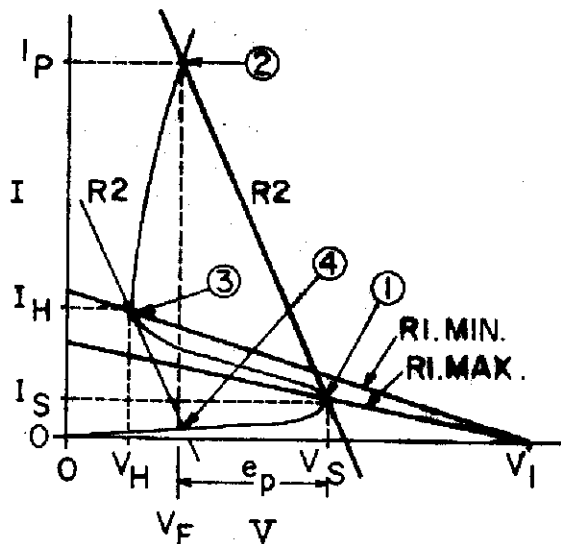


Fig.1 Características de disparo.

Para generar oscilaciones relajantes en los diacs, se requiere que:

a) El valor de R1 se incrementa hasta su valor máximo permitido para provocar el inicio de la oscilación. Esta línea de carga se intersecta con la curva del dispositivo en el punto (1) en donde, la pendiente de la curva es igual a la línea de carga para R2. Este punto (1) es muy cercano a Is y Vs pero no el mismo, ya que estos valores se especifican en el punto en donde la pendiente de la curva es vertical, representando una resistencia dinámica igual a cero.

Cuando en el punto (1) se realiza el disparo, el punto de operación dinámico, se transfiere al punto (2), descargando el condensador con un pulso de corriente Ip y produciendo un pulso de voltaje pico ep a través de la resistencia de carga R2.

La descarga del condensador, sigue a la curva del dispositivo desde el punto (2) a el punto (3) en donde, la pendiente indica una resistencia negativa que es tangencial a la línea de carga R2. La condición dinámica, transfiere el punto (3) al punto (4), ocasionando que el condensador se recargue a través de R1 y, haciendo a su vez, que la oscilación continúe.

b) Si R1 se cambia a su mínimo valor (véase la fig.1), pero manteniendo la condición de oscilación, la nueva línea de carga va a intersectar a la curva en el punto (3). En estas condiciones, cualquier valor menor de R1, va a ocasionar que el dispositivo permanezca en estado de conducción en algún punto estable de operación, localizado entre (2) y (3).

Si se aumenta el valor de R1 más allá del valor máximo del inciso (a), se provoca que la operación del dispositivo cese en algún punto localizado entre (1) y el origen.

En general, las características dinámicas de resistencia negativa para los diacs, se presentan para una corriente de disparo-oscilación Ibr, que es simétrica respecto al origen y se extiende totalmente, para cualquier valor de corriente mayor a Ibr, por lo cual, estos dispositivos no requieren de una corriente de mantenimiento Ih, como lo requieren los transistores de monounión, los SCR, los diodos unilaterales, las lámparas de neón y los tiristores[1-3].

En este trabajo se presenta el desarrollo de un nuevo proceso - sin tratamiento térmico a alta temperatura- para la elaboración de uniones PN en base a silicio tipo N, con la finalidad de fabricar diversos dispositivos electrónicos de estado sólido. Se ilustra el nuevo proceso por medio del dispositivo denominado "diodo diac"[1-3].

## Proceso de elaboración

Las etapas de elaboración de diacs consisten en:

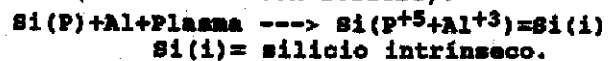
i) Sobre una base metálica, se adhieren por medio de chapopota, las obleas de silicio tipo N (grosor de 1.1 mm., diámetro de 2.5 mm.,  $\phi = 10$  cm.), para cortarse en cuadros de 2 milímetros por lado. Se lavan con detergente Sigmaclín y se limpian a base de ultrasonido durante 30 minutos. Posteriormente, se dejan en una solución de ácido fluorhídrico al 10 % en volumen, para quitar de su superficie la capa de óxido que presenta el silicio.

ii) Capas de inversión. En un sistema de evaporación en vacío (Edwards QC-6) con un aditamento de limpieza iónica a base de plasma de argón. se colocan los cuadros de silicio (10) sobre un porta muestras de acero inoxidable, que contiene la mascarilla en forma de enrejado. El proceso se inicia con la limpieza, a base de descarga iónica a una presión de 10mTorr, durante 15 minutos. Por medio de un filamento de tungsteno, se evapora aluminio (Alfa Ventron, 5N) sobre los bordes laterales de los cuadros de silicio, sin quitar el plasma de argón. El grosor de la capa de aluminio evaporada, es de aproximadamente 30 m, determinado por medio de un medidor Dectak marca Sloan.

Ya que, el silicio utilizado es tipo N, las capas de aluminio evaporado en presencia del plasma de argón, generan una reacción electroquímica que provoca, en la región de interfase Si:P/Al, una región de inversión tipo P, con lo que se logra la estructura Al/Si:P/Al, tipo PNP (transistor), que crean una situación de diodos encontrados[1-4].

La reacción electroquímica comprende las siguientes etapas:

I) Compensación del silicio tipo N (envenenado con fósforo):



Si(i) = silicio intrínseco.

II) Si(i) + Al + Plasma  $\rightarrow$  Si(Al) = Si(p<sup>+</sup>)

Si(p<sup>+</sup>) = silicio tipo P.

III) Si(Al) + Exceso Al + Plasma  $\rightarrow$  Si(Al) + contacto eléctrico óhmico.

Las terminales eléctricas consisten en alambres de cobre, pegados con pintura de plata al contacto óhmico de aluminio.

Por último, se encapsularon con resina epóxica de alta dureza, rápido gelado y alta transparencia.

Comparando este proceso de elaboración, con los procesos tradicionales de difusión a alta temperatura, es claro que es más barato, sencillo y rápido[1,5,6].

## Análisis dinámico

La estructura de los diodos diacs

Al/Si(Al):Si(P):Si(AL)/Al, fue analizada en sus componentes Al/Si(Al):Si(P) - (PN) individuales- por medio de contactos puntuales de tungsteno antes de encapsularse. La componente individual, es un diodo planar con características de corriente-voltaje de alta potencia, como puede verse en la fotografía de la figura 2. La conductancia en polarización directa, es del orden de 10,000  $\mu$ hos, para ambas componentes (PN) del diac, con una corriente del orden de 100 mA, a un voltaje de 0.25 volts, en polarización directa. Esta corriente tan grande es debida a que el diodo es planar de gran área de inión P-N, por lo cual, se consideran como diodos planares de potencia, como lo especifican G:Romero et.al.[6].

Para obtener las características dinámicas como diodos diacs, se utilizó un circuito de control, como el que se muestra en la figura 3, en donde, Rx y Cx representan el comportamiento equivalente del diac, Va es una fuente de voltaje a dc y Vb es una fuente de voltaje a AC.

Polarización en la región de resistencia negativa por medio de la fuente a DC.

i) Se aplica un voltaje  $V_a=10$  volts, y se varía el valor del condensador C (década de capacitores de precisión Boonton Electronics 76-3A). Para valores de C, entre 5 y 20 pF, el dispositivo genera oscilaciones débilmente amortiguadas (véase figura 4); al incrementar el valor de C hasta 40 pF, las oscilaciones son prácticamente senoidales (figura 5), y para valores mayores a 40 pF, el dispositivo entra en relajación.

Este comportamiento, permite aplicar a los diacs; como reloj en un circuito de control por tiempo, y como, un generador de pulsos simétricos[1-3].

ii) Rodilla de disparo. Si por medio de la fuente a DC, se incrementa paulatinamente el voltaje, se puede determinar el voltaje de disparo  $V_{br}$ , como se indica en la figura 6. Para diferentes diodos ( $\cong 10$ ), se tiene un  $V_{br}$  de entre 36 y 50 volts, con una corriente de disparo del orden de 0.5 mA., y un valor de resistencia dinámica negativa promedio del orden de 7,000  $\Omega$  ( $dI/dV=-G$ ).

Comparando estos valores, con los del diac de silicio comercial RS-133 con  $I_{br}=2.5mA$  y  $V_{br}$  de 28 a 46 volts, se obtiene que los diacs fabricados por el método de inversión activada por plasma, sustentan mayor voltaje pero con una corriente de disparo 5 veces menor, por lo cual, el consumo de potencia es menor.

iii) Comportamiento AC. En la figura 7a, se muestra el comportamiento simétrico de los diacs en condiciones AC. El voltaje de disparo es de 36 volts, prácticamente simétrico.

Este comportamiento se debe, a que existe una región de resistencia positiva entre la región "emisor-base" del dispo-

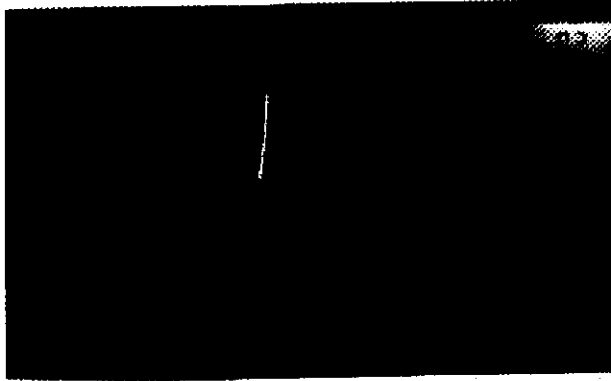


Fig.2 Características I-V para los diodos planares individuales.  
e.v.=50mA/cm, e.h.=0.2v/cm.

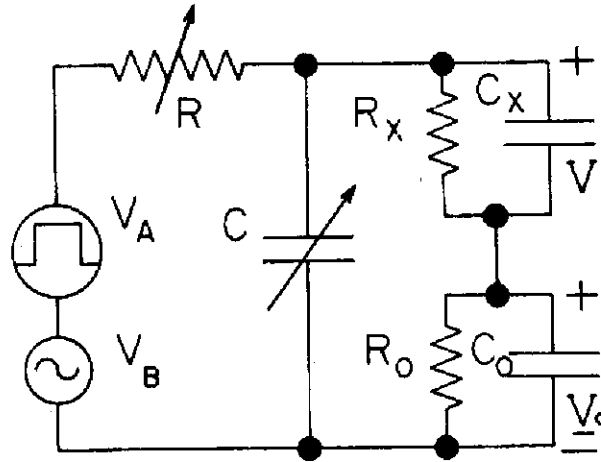


Fig.3 Circuito de caracterización dinámica. Va=fuente de DC. Vb=fuente de AC.  
R=resistencia variable, C=capacitor variable. Ro=1.0k; Co=16pF.

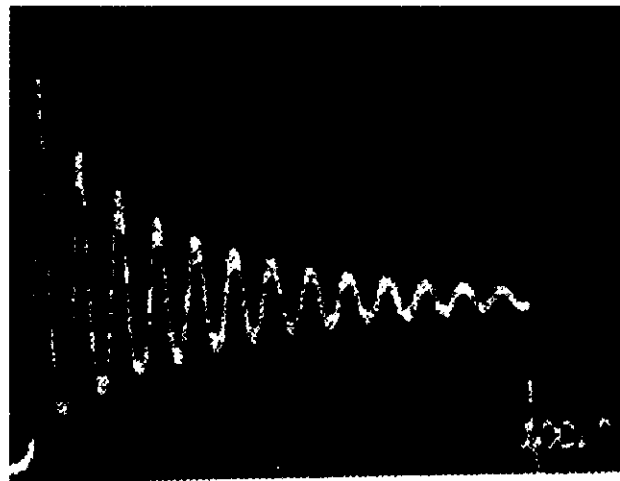


Fig.4 Oscilaciones débilmente amortiguadas.  
 $V_a=10$ volts;  $R_o=1.0k$ ;  $R=900K$ ;  
 $C=5-20pF$  e.v.=20mV/cm; e.h.=100mS/cm.

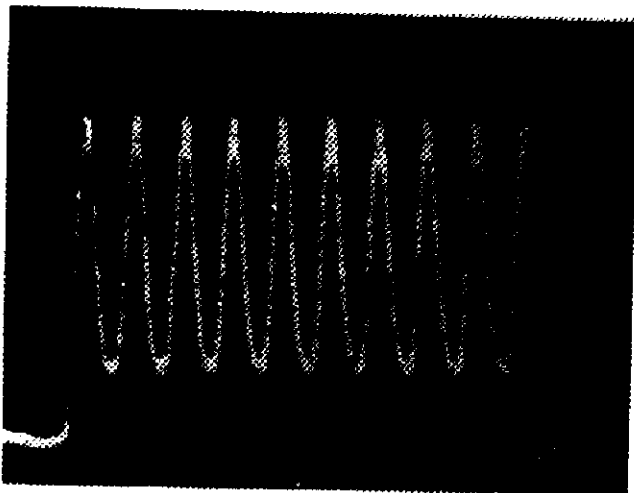


Fig.5 Oscilaciones senoidales.  
 $C=25-40\text{pF}$ ; e.v.= $5\text{mV/cm}$ ; e.h.= $100\text{mS/cm}$ .



Fig.7a Características AC.  
 a) Curva característica del diac.  
 e.v.= $10\text{mA/cm}$ ; e.h.= $10\text{V/cm}$ .

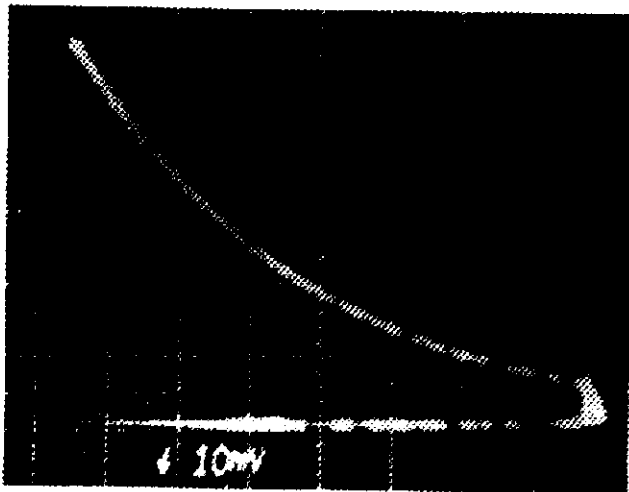


Fig.6 Rodilla de disparo,  $V_{br}=36-50\text{ Volts}$ .  
 $I_{br}=0.5\text{mA}$ ; e.v.= $1\text{mA/cm}$ ; e.h.= $5\text{V/cm}$ .

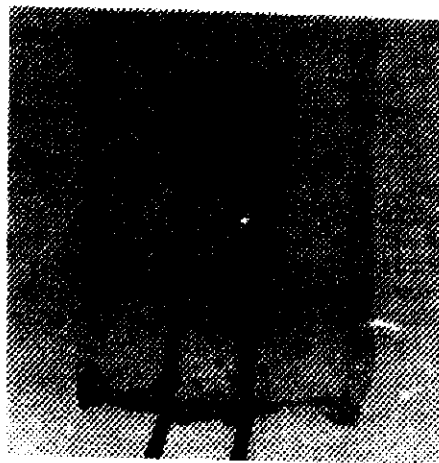


Fig.7b Fotografía del dispositivo.

sitivo; en donde el flujo de portadores de carga es inyectado por el voltaje aplicado, y a la vez, que existe una región de resistencia negativa entre la "base-colector", debida al flujo de portadores de carga en la dirección contraria, que son creados por el fenómeno de avalancha; por lo cual, se tiene una condición de doble inyección activada por voltaje. Esto es lo que provoca que el dispositivo, pase de un estado de alta impedancia (off) a uno de baja impedancia (on), pasando a través de una región de resistencia negativa.

En la figura 7b, se muestra el dispositivo encapsulado en resina con sus dos terminales.

Debido a estas características AC simétricas, es que los diacs pueden aplicarse como elementos de disparo en circuitos de control [1-3,5].

### Conclusiones

Se ha desarrollado un nuevo método para fabricar diodos tipo diac, aprovechando el fenómeno de inversión activada por plasma de argón, que es más rápido y barato que los métodos tradicionales [6]. Además, en este proceso no interviene ninguna clase de tratamiento térmico, incluyendo la formación de contactos omhicos.

El análisis dinámico, indicó que la conductancia en polarización directa de los diodos planares de manera individual es prácticamente la misma ( $10,000\ \mu\text{mhos}$ ), por lo cual, los niveles de envenenamiento en las regiones P-N son prácticamente iguales. Esto es lo que genera el comportamiento de disparo del dispositivo [1-3].

Las oscilaciones que genera el diac a DC, pueden aplicarse en la generación de pulsos simétricos, y como, base de tiempo en circuitos electrónicos.

En condiciones AC, los diacs pueden aplicarse como elementos de control, tales como: controladores de velocidad en motores universales, de disparo en circuitos de control de fase y de intensidades luminosas[1].

#### Agradecimientos

Por este conducto, deseo agradecer la asistencia técnica del Fis. Raúl Reyes O., al fotógrafo Sr. Eduardo A. Caballero y al Mat. Hermilo Zarco por su valiosa cooperación en este trabajo.

#### Bibliografía

- [1] S.M.Sze "Semiconductor Devices" Edit. J.Wiley and Sons, 301(1985).
- [2] RCA, "Solid State Devices Manual", SC-16(1970).
- [3] F.F.Driscoll and R.F.Conghlin, "Solid State Devices and Applications" Edit. P.Hall, Cap.2-6(1975).
- [4] J.E.Carrollo, "Physical Models for Semiconductor Devices", Edit.Crane and Russak, Cap.1-8(1977).
- [5] J.A.Waltson and J.R.Miller, "Transistor Circuit Design", Cap.1-6(1963)
- [6] G.Romero-p, A.Reyes B., H.Sandoval G., y V.R.Barrales, Superficies y Vacío, vol.1, Nº1, 98(1990).