

5-RESISTENCIAS INTEGRADAS

En los circuitos integrados monolíticos se obtienen las resistencias utilizando la resistividad de volumen de una de las regiones del transistor. La técnica más corriente es usar la región difundida o implantada de tipo P del transistor bipolar.

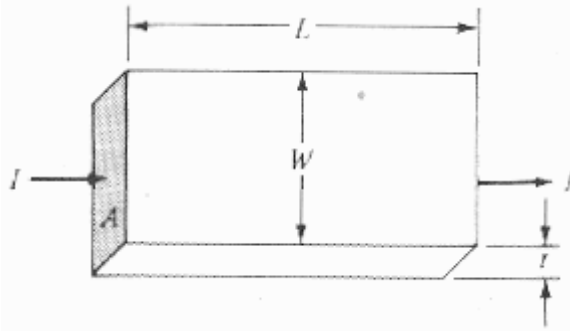


Figura N° 5.1 Relativo a la Resistencia Pelicular (ohms cuadrado)

Aunque también puede usarse la capa epitaxial y la región n⁺ del emisor. Con la tecnología MOS a veces se emplea la capa de polisilicio. También se emplea para formar resistencias el sustrato tipo N del transistor PMOS en la fabricación del CMOS. La técnica de deposición de una fina película es completamente distinta, y con ella se fabrican resistencias integradas.

5.1- Resistencia Pelicular

Las capas semiconductoras empleadas para formar resistencias son muy tenues, y por ello conviene introducir una magnitud llamada **Resistencia Pelicular**. Si en la figura 5.1 el ancho W es igual a la longitud L tendremos un cuadrado L x L de resistividad ρ, espesor t y sección recta A = L · t. La resistencia de este cuadrado en ohmio por cuadrado, indicado con el símbolo Ω/□ es

$$R_s = \frac{\rho \cdot L}{L \cdot t} = \frac{\rho}{t} \quad (1)$$

Obsérvese que R_s es independiente del tamaño del cuadrado. Normalmente la resistencia pelicular de las difusiones de base y de emisor son de 200 y 5 Ω / □ respectivamente.

5.2- Resistencias Difundidas

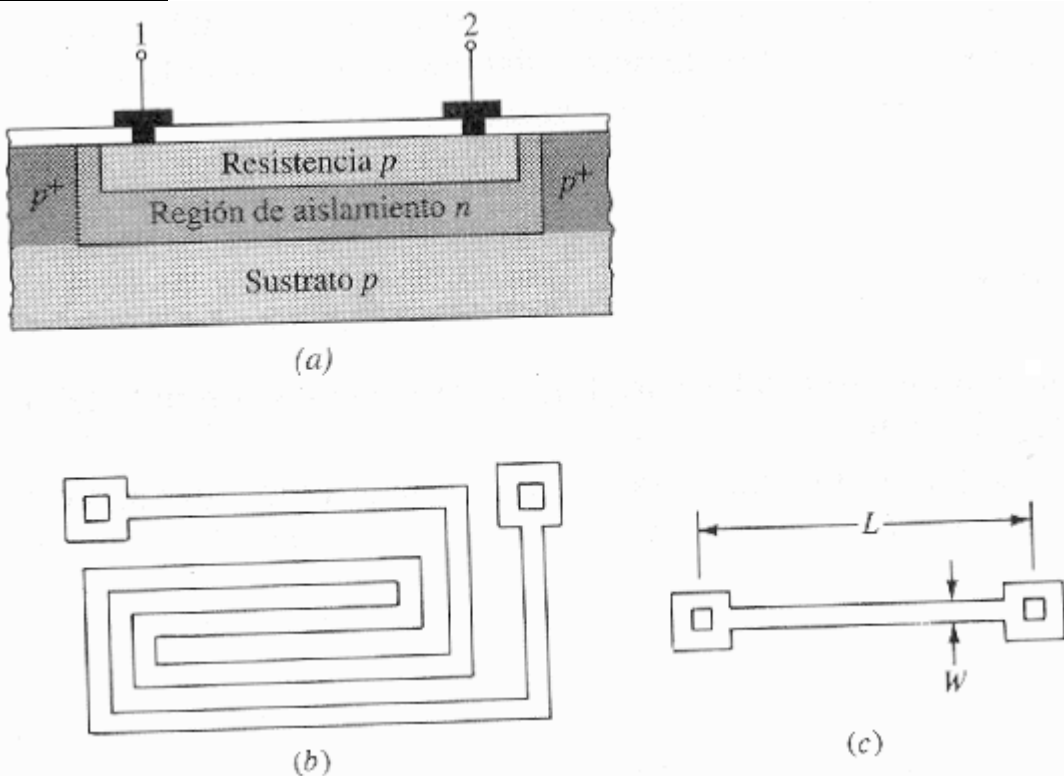


Figura N° 5.2 (a) Sección Transversal; (b) Vista Superior de una Resistencia Difundida tipo p; (c) Procedimiento para Aumentar la Longitud de la Resistencia.

La figura 5.2(a) representa la fabricación de una resistencia difusa de base, y el valor puede calcularse por:

$$R = \frac{\rho \cdot L}{t \cdot W} = R_s \cdot \frac{L}{W} \quad (2)$$

en donde L y W son la longitud y el ancho del área difusa como se puede observar en la vista superior. Para una resistencia de 1000 Ω cuya resistencia laminar sea de 100 Ω / cuadrado:

$$\frac{L}{W} = \frac{R}{R_s} = \frac{1000}{100} = 10 \quad \text{se entiende como } 10 : 1$$

El valor de resistencia deseado sería proporcionado por una superficie de 0,3 x 0,03 mm.

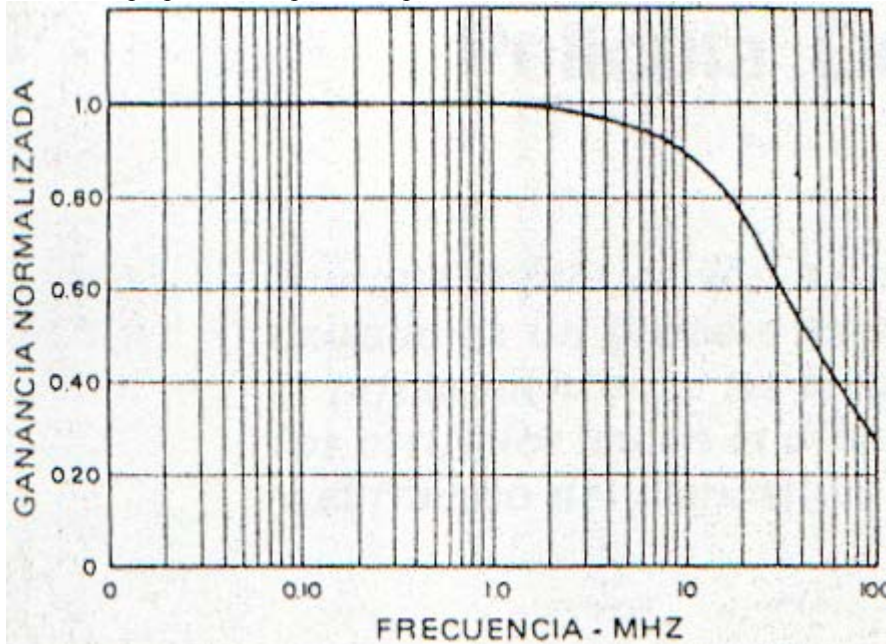


Figura N° 5.3 Respuesta en Frecuencia en un Resistor Difundido Integrado típico.

Como el sustrato está a potencial más negativo, la capa N debería mantenerse al potencial más positivo del circuito. La figura 5.3 muestra una curva de respuesta en frecuencia típica del coeficiente de corriente directa h_{21} ganancia normalizada, de un resistor integrado. Este tipo de resistor se vuelve inutilizable para frecuencias superiores a 10 MHz.

Tabla 1. Parámetros Típicos de Resistores Integrados Difundidos

Parámetros	Valor	Observaciones
Resistencia	25 Ω a 30 KΩ	No se hacen valores superiores a 30 KΩ
Tolerancias: absoluta	± 15 %	Basado en la fabricación de las máscaras
Tolerancias: relativas	± 3 %	
Máximas Disipación de Potencia	5 – 6 w / mm ²	
Máxima Tensión de Ruptura	10 – 100 volt	

Al calcular R se introducen correcciones empíricas para tener en cuenta los contactos externos.

Obsérvese que en la [figura 5.2\(a\)](#) la capa epitaxial de tipo N (la región de colector) sirve para aislar la resistencia tipo P de los demás componentes del chip. La estructura de una resistencia difusa en emisor de tipo n⁺ es similar a la difusión de base. Una difusión n⁺ en la base tipo P se realiza simultáneamente con la difusión para los emisores del BJT en el chip. La región de base aísla la resistencia de los demás componentes. Puesto que la resistencia pelicular de las regiones de base y de emisor vienen fijadas por el proceso de fabricación, las únicas variables disponibles para diseñar una resistencia son su ancho y su longitud. Raramente se emplean anchos menores de 5 μm porque los pequeños errores en la máscara o su colocación o en la precisión de la fotolitografía pueden suponer una variación significativa en el valor de la resistencia. Para aumentar la longitud y por tanto el valor de la resistencia puede emplearse el método señalado en la [figura 5.2\(b\)](#) que no ocupa mucho lugar en el chip. La gama de valores que se pueden obtener en las resistencias de difusión está limitada por el espacio disponible en el chip. Los valores prácticos de resistencias van desde 20 Ω hasta 30 KΩ para las resistencias difundidas de base y entre 10 Ω y 1 KΩ para las de difusión de emisor. La tolerancia resultante de las variaciones del perfil y de los errores geométricos pueden ser de hasta el ± 20% del valor nominal, con una relación de tolerancia del ± 2% para el ancho mínimo. Con un ancho de la resistencia del orden de 50 μm la tolerancia mutua es de aproximadamente el 0,2%. Por esta razón en el diseño de circuitos integrales conviene utilizar, cuando ello es posible, la relación entre resistencias mejor que el valor absoluto de estas. El valor de las resistencias aumenta con la temperatura. En las resistencias de difusión de base esta variación es del orden de 2.000 ppm/°C y de 600 ppm/°C en las de emisor. La [figura 5.3](#) representa el circuito equivalente de la resistencia de difusión R, comprendidas las capacidades parásitas de las uniones base-aislamiento C₁ y de aislamiento-sustrato C₂. Además puede verse que existe un transistor parásito PNP con el sustrato como colector, el aislamiento tipo N como base y la resistencia del material tipo P como emisor. El colector tiene polarización inversa porque el sustrato tipo P está a la tensión más negativa. También es necesario que el emisor tenga polarización inversa para mantener el transistor parásito en el corte. Estas condiciones se cumplen situando todas las resistencias en la misma región aislada y conectando toda la región de aislamiento tipo n en torno a las resistencias, al potencial más positivo existente en el circuito. Los valores típicos de β_F para este transistor parásito van desde 0,5 a 5.

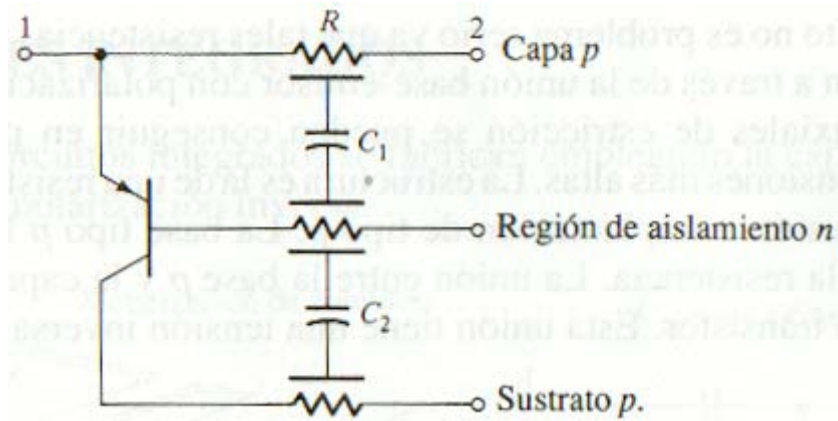


Figura N° 5.3 Circuito Equivalente de una Resistencia Difundida.

5.2.1 Coeficiente de Temperatura

El coeficiente de temperatura de resistores difundidos es función, en gran medida de la concentración de impurezas ó dopaje y por lo tanto varía con la resistividad laminar del silicio. Para una resistividad laminar de 50Ω por cuadro, el coeficiente de temperatura es $900 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ mientras que para una de 300Ω por cuadro es de $3000 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$. En la tabla 1 se observan los parámetros prácticos típicos de resistores difundidos

5.3-Resistencias de Estricción

Observemos lo que sucede a la resistencia de la [figura 5.2](#) si se le añade una difusión de emisor como en la [figura 5.4](#). El material de tipo N no contribuye a la conducción, pues de hacerlo la corriente de los terminales 1 a 2 tendría que cruzar en sentido inverso al diodo NP hacia el contacto 2. Es decir que solo circulara por el material N la pequeña corriente de saturación inversa del diodo. Al quedar reducida la sección recta de la zona conductora del material P, aumentará la resistencia. Se pueden formar resistencias de más de $50 \text{ K}\Omega$, si bien su valor real no es fácilmente controlable con tolerancias absolutas de $\pm 50 \%$ con tolerancias mutuas de $\pm 10\%$. Las resistencias de estricción son no-lineales puesto que dependen de la tensión aplicada, situación análoga a la de la variación con la tensión del canal de un FET.

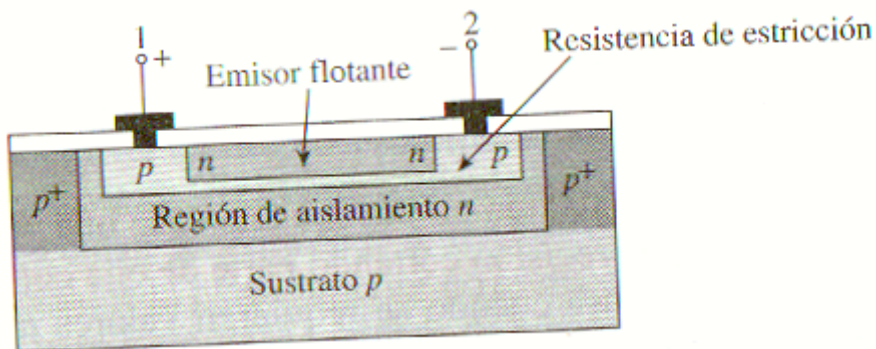


Figura N° 5.4 Corte Transversal de una Resistencia de Estricción.

A estas resistencias deben aplicarse las mismas limitaciones que a la tensión de ruptura inversa base-emisor $BV_{\text{BEO}} (\approx 6 \text{ volt})$ ya que su construcción es idéntica a la de una unión base-emisor, prescindiendo del terminal emisor. Esto no es problema serio ya que tales resistencias se emplean normalmente en la polarización a baja tensión a través de la unión base-emisor con polarización directa. Con resistencias epitaxiales de estricción se pueden conseguir en poco espacio valores altos de resistencias para operar a tensiones más altas. La estructura es la de una resistencia epitaxial de tipo N dentro de la que se hace una difusión o implantación de tipo P. La base tipo P limita la conducción a la capa epitaxial aumentando así la resistencia. La unión entre la base P y la capa epitaxial es esencialmente la unión colector-base de un transistor. Esta unión tiene una tensión inversa de ruptura mayor que la de la unión emisor-base.

5.4- Resistencias de Película Delgada

Para fabricar resistencias en circuitos integrados puede emplearse la técnica de depositar por vaporización una fina película. El metal que generalmente es Nicrom NiCr, se deposita con un espesor menor de $1 \mu\text{m}$ sobre la capa de SiO_2 empleando máscara y corrosión para conseguir el trazado deseado. La resistencia metálica así formada se cubre con una capa aislante en la que se practican las aperturas necesarias para los contactos óhmicos. Los valores normales de la resistencia pelicular de estas capas de Nicrom está comprendida entre 40 y $400 \Omega / \square$, resultando unas resistencias de 20 a 50.000Ω . El coeficiente de temperatura y las tolerancias son comparables a los de las resistencias obtenidas por implantación. Para fabricar resistencias de película fina se emplean también otros materiales tales como el tantalio, llegándose a unos valores de resistencia tan altos como $2 \text{ K}\Omega / \square$ y unos coeficientes de temperatura tan bajos como $10 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$. Las resistencias de difusión o de implantación no pueden ajustarse una vez fabricadas. Sin embargo en las de película fina puede hacerse con precisión cortando parte de ella con un rayo láser, aunque este procedimiento es muy costoso y solo se usa cuando se requieren valores muy precisos. Una de estas aplicaciones es la fabricación de los filtros activos que se emplean en las comunicaciones telefónicas modernas.