

TECNICAS DE FABRICACION DE LOS CIRCUITOS INTEGRADOS

Hasta ahora hemos estudiado circuitos *discretos*. La palabra *discretos* quiere decir separados o distintos. Y se refiere al uso de transistores y resistores separados en la construcción de circuitos. Un circuito discreto es aquel en el cual todos los componentes se han soldado o conectado mecánicamente en alguna otra forma.

La invención del *circuito integrado* (CI) en la década de los 60 fue un descubrimiento muy importante ya que supuso la necesidad de conectar mecánicamente los componentes discretos. Para empezar, un CI es un dispositivo que cuenta con sus propios transistores y resistores. Estos componentes internos no son discretos, sino que están *integrados*. Esto significa que se producen y conectan durante el mismo proceso de fabricación. El producto final, ya sea un amplificador multietapa o un circuito de conmutación, puede llevar a cabo una función completa. Debido a que sus componentes integrados son microscópicamente pequeños, un fabricante puede colocar cientos de ellos en el espacio que ocupa un simple transistor discreto.

Uno de los primeros CI que se fabricaron fue el *amplificador operacional* (amp op.). Un amplificador operacional característico es un amplificador de cd de alta ganancia que opera desde los 0 HZ hasta 1MHZ. Un amp op Ci es como una caja negra mágica con terminales externas o puntos para conexión. Al conectar esas terminales de conexión con voltajes de alimentación, generadores de señal y resistencias de carga, se puede construir de manera fácil y rápida un amplificador optimo. El truco es, sin embargo, saber que terminales se conectan y conque. También ayuda conocer un poco lo que hay adentro de la caja negra, porque entonces se estará en una mejor posición al detectar fallas, analizar o diseñar circuitos con CI.

CIRCUITOS INTEGRADOS

Alguna vez, los amplificadores operaciones se construyeron como circuitos discretos. El termino de *amplificador operacional* se refiere a un amplificador que lleva una operación matemática. Históricamente, los primeros se usaron en computadoras analógicas, donde ejecutaban operaciones matemáticas tales como integración y diferenciación.

Actualmente, la mayoría de los amplificadores operacionales se producen como circuitos integrados. Antes de estudiar los circuitos de amplificadores operacionales y otros temas afines, demos un breve vistazo a la forma en que se construyen los circuitos integrados bipolares. El proceso que se describe acontinuacion es una de las formas de las muchas que hay. Lo único que se necesita es la idea general de cómo se produce un CI. Este sencillo conocimiento hará más fácil entender ideas mas avanzadas acerca delos amplificadores operacionales.

IDEA BASICA

En primer lugar, un fabricante produce un cristal *p* de varias pulgadas de largo.

Este se corta en varia obleas delgadas como se ve en la siguiente figura.

Un lado de la oblea se reviste de un aislante y se pule para dejarla libre de asperezas. A la oblea se le llama sustrato *p*; y es el que se usara como chasis de de los componentes integrados. A continuación, las obleas se colocan en un horno. Aquí se hace circular por encima de ellas una mezcla de gas de átomos de silicio y átomos pentavalentes. Esto forma una capa delgada de semiconductor tipo *n* en la superficie caliente del sustrato en la siguiente figura.

Se le llama a esta *capa epitaxial*. Como se ve en la figura pasada, la capa epitaxial tiene un espesor de aproximadamente de 0.1 a 1 mil.

Para evitar que la capa epitaxial se contamine, se sopla sobre la superficie oxígeno puro. Los átomos de oxígeno se combinan con los de silicio, para formar una capa de dióxido de silicio (SiO_2) en la superficie como se muestra en la siguiente figura.

Esta capa precipitada al vidrio de SiO_2 sella la superficie y evita reacciones químicas posteriores. El sellado de la superficie se conoce como *pasivación*. La oblea a continuación se corta en áreas rectangulares como se ve en la siguiente figura.

Cada una de estas áreas se convertirá en un chip. Pero antes de que la oblea se corte, el fabricante producirá cientos de circuitos en ella, uno en cada área de la figura anterior. Esta producción en masa es la razón del bajo costo de los circuitos integrados.

La forma en que se forma un transistor integrado es la siguiente. Una sección del SiO_2 se desprende, quedando expuesta parte de la capa epitaxial de la siguiente figura.

Fig. a)

La oblea entonces se coloca en un horno donde átomos trivalentes se difunden en la capa epitaxial. La concentración de átomos trivalentes es suficiente para transformar la capa epitaxial expuesta de material p en material n . Por consiguiente, se tiene una isla de material n bajo la capa de SiO_2 de la siguiente figura.

Fig. b)

Se vuelve a soplar otra vez oxígeno para formar la capa completa de SiO_2 mostrada en la siguiente figura.

Fig c)

Un hueco se forma a continuación en la capa de SiO_2 , quedando expuesta la capa epitaxial n ver la siguiente figura.

Fig d)

Al hueco en la capa de SiO_2 se le denomina ventana. La capa que se mira a través de la ventana será el colector del transistor. Para formar la base, se pasan átomos trivalentes a través de la ventana; esas impurezas se difunden en la capa epitaxial y forman una isla de material tipo p ver la siguiente figura.

Fig. e)

Se vuelve a formar una capa de SiO_2 pasando oxígeno sobre la oblea ver siguiente figura.

Fig. f)

Para formar el emisor, se forma una ventana en la capa de SiO_2 , quedando expuesta una isla de material tipo p ver la siguiente figura.

Fig. g)

Difundiendo átomos pentavalentes en la isla p , se puede formar la pequeña isla n de la siguiente figura.

Fig. h)

Entonces Se sella la estructura soplando oxígeno sobre la oblea ver la siguiente figura.

Fig. i)

Durante el grabado de las ventanas en la capa de SiO₂ se puede depositar metal para hacer los contactos eléctricos con el emisor, base y colector. Esto nos da el transistor integrado de la siguiente figura.

Fig. j)

Para obtener un diodo, se siguen los mismos pasos hasta el punto en el cual se ha formado una isla *p* y se ha sellado ver la figura f. Entonces, se forman ventanas para exponer las islas *p* y *n*. Depositando metal a través de esas ventanas, se hace contacto eléctrico con el cátodo y el ánodo del diodo integrado ver la siguiente figura.

Fig. k)

Mediante la apertura de las ventanas arriba de la isla *p* de la figura f, se puede hacer contacto metálico con esta isla para obtener un resistor integrado ver la siguiente figura.

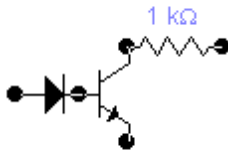
Fig. l)

Los transistores, diodos y resistores son fáciles de fabricar en un chip. Por esta razón, casi todos los circuitos integrados utilizan esos componentes. No es práctico integrar en un chip inductores ni capacitores grandes.

UN EJEMPLO SIMPLE

Para darnos una idea de cómo se produce un circuito, examine el circuito simple de tres componentes de la siguiente figura.

Fig. m)



Al fabricarlo, nos gustaría producir simultáneamente cientos de ellos en una oblea. Cada área del chip deberá parecerse a la de la figura siguiente.

Fig. n)

El diodo y el resistor se formarían como se mencionó anteriormente. En un paso posterior, el emisor del transistor. A continuación se abrirían las ventanas y se depositaría metal para conectar el diodo, el transistor y el resistor, como se muestra en la figura n.

Sin considerar lo complicado que puede ser un circuito, su fabricación consiste principalmente de apertura de ventanas, formación de islas *p* y *n* y conexión de los componentes integrados. El sustrato *p* aísla dichos componentes uno de otro. En la figura n, hay capas de empobrecimiento entre el sustrato *p* y las tres islas *n* adyacentes. Como esencialmente las capas de empobrecimiento no tienen portadores de corriente, los componentes integrados se aíslan uno del otro. Este tipo de aislamiento se conoce como aislamiento de *capa de empobrecimiento*.

TIPOS DE CIRCUITOS INTEGRADOS

Los circuitos integrados descritos se llaman CI *monolíticos*. La palabra *monolitico* viene del griego y significa una piedra. La palabra es apropiada por que los componentes son parte de un chip. El CI monolítico es el tipo más común de circuito integrado. Ya que desde su invención, los fabricantes han estado produciendo los CI monolíticos para llevar a cabo todo tipo de funciones. Los tipos comercialmente disponibles se pueden utilizar como amplificadores, reguladores de voltaje, conmutadores, receptores de AM, circuitos de televisión y circuitos de computadora. Pero los CI monolíticos tienen limitantes de potencia. Ya que la mayoría de ellos son del tamaño de un transistor discreto de señal pequeña, generalmente tienen un índice de máxima potencia menor que 1 W. Esto limita su uso a aplicaciones de poca potencia.

Cuando se requiere potencia mas alta, se pueden utilizar CI de *película delgada y película gruesa*. Estos dispositivos son más grandes que los CI monolíticos pero más pequeños que los circuitos discretos. Con CI de película delgada o gruesa, los componentes pasivos como resistores y capacitores están integrados, pero los transistores y diodos se conectan como componentes discretos para formar un circuito completo. Por eso, los circuitos de película delgada y gruesa disponibles comercialmente son combinaciones de componentes integrados y discretos.

Otro CI popular, utilizado en aplicaciones de potencia alta, es el CI *híbrido*. Los CI híbridos combinan dos o más CI monolíticos en un solo empaque o combinan CI monolíticos con circuitos de película delgada o gruesa. Los CI híbridos son ampliamente usados en aplicaciones de audio en potencia alta, de 5 W a mas de 50 W.

NIVELES DE INTEGRACIÓN

La figura n es un ejemplo de *integración a baja escala* (SSI), en donde solo unos cuantos componentes se han integrado para formar un circuito completo. Como guía, SSI se refiere a los CI con menos de 12 componentes integrados. La mayoría de los chips SSI utilizan resistores, diodos y transistores bipolares integrados.

La *integración a media escala* (MSI) se refiere a los CI que tienen de 12 a 100 componentes integrados por chip. Transistores bipolares o transistores MOS (MOSFET en modo de enriquecimiento) se pueden emplear como transistores integrados de un CI. De nueva cuenta, la mayoría de los chips MSI utilizan componentes bipolares.

La *integración a gran escala* (LSI) se refiere a CI con mas de cien componentes. Ya que toma pocos pasos hacer un transistor MOS integrado, un fabricante puede producir mas de estos en un chip en vez de transistores bipolares. Por esta razón, la mayoría de los chips LSI son de tipo MOS. Hoy en día las computadoras personales usan chips LSI con miles de transistores MO.

METODO DE TIRAMIENTO

Este Método consiste simplemente en introducir durante el tiramiento de un cristal una determinada impureza. Se pueden también introducir dos impurezas de diferente tipo, por ejemplo arsénico (tipo N) y galio (Tipo P) que tienen coeficientes de segregación diferentes; haciendo variar simplemente la velocidad, se podrá tener una región P o una región N.

METODO DE ALEACIÓN

Este método consiste esencialmente en fundir sobre un semiconductor una impureza de tipo P o de tipo N. Si, por ejemplo, se hace fundir sobre una placa de germanio del tipo N, calentada a 500 °C, una cierta cantidad de indio, este ultimo se funde, el germanio se disuelve y las fases liquidas penetran en la placa paralelamente a las superficies, hasta que la solución se satura, es decir, a una profundidad que depende del peso del indio, del área en contacto y de la temperatura alcanzada, obteniéndose así una región P.

METODO DE DIFUSIÓN

Este método consiste en difundir un vapor de tipo *N* o *P* sobre un monocristal de un semiconductor determinado que contenga ya una impureza del tipo contrario a la que se hace difundir.

Por ejemplo, si se coloca una placa de germanio de tipo *N* dentro de un recipiente en el cual circula vapor de indio, se puede obtener una unión *P-N* por difusión de los átomos de indio a través de la superficie de la placa de germanio, mayor será la penetración del indio; por ejemplo, a 570 °C se puede tener una penetración de de 80 Å en 100 seg. Y a 870°C se obtiene una penetración de de 8000 Å en el mismo tiempo.

METODO EPITAXIAL

Tomando el caso del germanio, este método consiste en evaporar dentro de una atmósfera gaseosa yoduro de germanio (GeI_2) y alguna impureza sobre un monocristal de tipo *P* o tipo *N*. El yoduro de germanio se descompone sobre el monocristal de germanio según la reacción reversible:



Evaporando en forma simultánea GeI_2 y la impureza sobre el monocristal calentado a una temperatura dada, se puede obtener una unión. La mayor ventaja de este método es que permite la obtención de regiones muy delgadas de pureza controlada. Se puede emplear en combinación con otras técnicas (de difusión y de aleación) para construir transistores con aplicaciones en ultra alta frecuencia y circuitos integrados.

METODO DE EVAPORACIÓN EN VACIO

Este es un método que aun se encuentra en la etapa experimental, pero con el cual ya se han principiado a obtener resultados muy interesantes.

En términos generales, este método consiste en evaporar en vacío sobre un monocristal de algún otro semiconductor una cierta cantidad del mismo material, junto con alguna impureza.

La cristalización y las propiedades eléctricas de los diodos obtenidos por este método dependen principalmente de la velocidad de evaporación, de la temperatura del monocristal de base, de las condiciones superficiales de la base y de la presión que se tenga en el recinto en que se efectúa la operación.

CONCLUSIONES PERSONALES

Son impresionantes las técnicas de fabricación de semiconductores que se realizan hasta para los circuitos integrados, ya que los tenemos en baja, mediana y alta escala de integración, sin la existencia de los circuitos integrados fuera imposible, ver los mini radios, las computadoras Lap tops, y toda clase de aparatos electrónicos, sin la existencia de estos circuitos integrados todos los equipos electrónicos fueran grandes.

BIBLIOGRAFÍA:

Principios de electrónica

Autor: Malvino

Cuarta ed.

Tercera edición en español

Editorial: McGraw–Hill

TIPO p

SUSTRATO p

5 mils

n

SUSTRATO p

CAPA EPITAXIAL

0.1 a 1 mil

CAPA DE SiO₂

n

SUSTRATO p

Chips en una oblea

n

SUTRATO p

EXPUESTO

n

SUSTRATO p

SUSTRATO p

n

SUSTRATO p

n

COLECTOR

SUSTRATO p

SUSTRATO p

n

p

BASE

SUSTRATO p

n

p

SUSTRATO p

n

p

SUSTRATO p

n

p

n

EMISOR

SUSTRATO p

n

p

n

SUSTRATO p

n

p

n

$E B C$

SUSTRATO p

n

p

ANODO

CATODO

SUSTRATO p

n

p

RESISTOR

SUSTRATO p

n

n

n

p

p

p

n

DIODO

TRANSISTOR

RESISTOR

In

Ge

+++++ -----

++ --

N +++++ ----- P

++ --

+++++ -----