

Tecnología Electrónica

Mercedes Román Ruiz

Junio 2024

Capítulo 1

Componentes Pasivos

1. Resistencias

La resistencia es la propiedad física de un material que se opone al paso de la corriente. Es el grado de dificultad que los electrones de la banda de conducción encuentran para desplazarse. Supone una pérdida de energía en forma de calor (Efecto Joule). Su valor depende de:

- Tipo de material: resistividad ρ
- Temperatura de funcionamiento
- Dimensiones físicas del componente

1.1. Definición

Constante que depende del tipo de material, de sus características eléctricas (resistividad) y de su geometría (longitud y sección).

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1.1)$$

Donde:

- ρ : resistividad del material conductor
- L : longitud del conductor
- S : sección del conductor

El valor óhmico de una resistencia relaciona la intensidad que circula a través de ella (I), y la tensión desarrollada en sus bornas (V).

La constante de proporcionalidad R es la resistencia eléctrica del elemento y su unidad de medida en el S.I. es el Ohmio y su símbolo es Ω

$$R[\Omega] = \frac{V[V]}{I[A]} \quad (1.2)$$

1.2. Parámetros Característicos

- Valor nominal (R_n): Valor teórico nominal de la resistencia (se mide en ohmios). Están tabulados en valores normalizados.
- Tolerancia ($T\%$): Desviaciones superior e inferior sobre el valor nominal. $\pm 20\%$, $\pm 10\%$, $\pm 5\%$, $\pm 1\%$, $\pm 0,5\%$, $\pm 0,1\%$
- Coeficiente de tensión (C_v): Relación entre la variación relativa de la resistencia y la variación de la tensión que la ha provocado:

$$C_v = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\Delta V} (10^6) \quad (1.3)$$

- Potencia nominal (P_n): Potencia en Watios que el elemento puede disipar de una manera continua sin sufrir deterioro, a la temperatura nominal de servicio. Valores normalizados son: $1/8, 1/4, 1/2, 1, 2, 4, 8, 16$ *Watios*
- Temperatura nominal de funcionamiento: Temperatura ambiente a la cual se define la disipación nominal.
- Temperatura máxima de funcionamiento: Temperatura ambiente máxima a la cual puede ser utilizada la resistencia. Cuando la temperatura aumenta, hay que disminuir la potencia nominal admisible, con el objeto de mantener la temperatura de la resistencia dentro de los límites admisibles..
- Coeficiente de temperatura (α): Variación de la resistencia con la temperatura. Se mide en $\%/^{\circ}C$ ó en $ppm/^{\circ}C$.

$$R_t = R_0(1 + \alpha t) \quad (1.4)$$

- Resistencia de aislamiento: Valor de la resistencia a la cual son aplicables los ensayos de resistencia de aislamiento y rigidez dieléctrica

1.3. Resistencias fijas through-hole

Proceso de fabricación

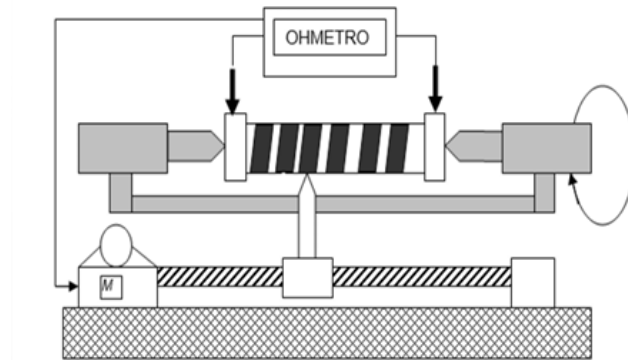


Figura 1.1: Resistencias fijas through-hole. Proceso de Fabricación.

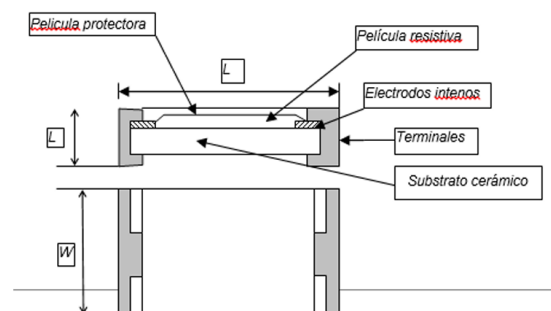
1. Preparación del núcleo cerámico.
2. Depósito de carbón por pirólisis.
3. Fijación de casquillos terminales.
4. Espiralado.
5. Soldadura de hilos terminales (patillas).
6. Recubrimiento aislamiento y pintado del código de colores.

1.4. Resistencias fijas SMT

Encapsulado específico para montaje superficial.



(a) Encapsulado.



(b) Estructura Interna.

Figura 1.2: Resistencia SMT.

Proceso de fabricación

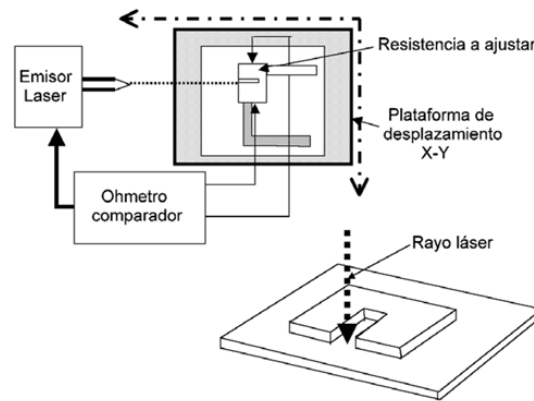


Figura 1.3: Resistencias fijas SMT. Proceso de Fabricación.

1. El óhmetro mide valor real y lo compara con el valor teórico.
2. El proyector láser emite un haz que elimina el material resistivo.
3. El resistor sufre el ataque del láser hasta alcanzar el valor deseado.

1.5. Resistencias variables no lineales

Componentes resistivos cuya resistencia varía de forma no lineal cuando están sometidos a un parámetro físico.

- Termistores: Su resistencia varía con la temperatura.
 - PTC (coeficiente positivo).
 - NTC (coeficiente negativo).
- LDR: Varían con la intensidad lumínica.
- VDR: Varían con la tensión aplicada.

Termistores PTC

El termistor PTC es un dispositivo semiconductor cuya resistencia varía con la temperatura. Posee un coeficiente de temperatura positivo elevado en un intervalo generalmente estrecho de temperaturas. Se fabrican con material cerámico impregnado de Titanato de Bario, impurificado con Titanatos de plomo o circonio. Esto hace que la cerámica (muy aislante) se haga conductora.

Pueden funcionar en carga ó sin carga (modo potencia cero). Al trabajar en carga, hay que tener en cuenta el efecto de autocalentamiento, que va a afectar a su valor resistivo.

El coeficiente de temperatura α es el cambio relativo de su resistencia en relación al cambio de temperatura:

$$\alpha = \frac{\ln(\frac{R_2}{R_1})}{T_2 - T_1} \quad (1.5)$$

$$R_2 = R_1 \cdot e^{\alpha(T_2 - T_1)} \quad (1.6)$$

Termistores NTC

Son dispositivos semiconductores, con coeficiente de temperatura negativo (NTC = Negative Temperature Coefficient). Su resistencia decrece conforme aumenta la temperatura. Están elaborados a partir de una mezcla de semiconductores policristalinos, tales como Cromo (Cr), Manganeseo (Mn), Hierro (Fe), Cobalto (Co) y Níquel (Ni).

Ecuaciones características:

$$R_T = Ae^{\frac{B}{T}} \quad (1.7)$$

$$R_T = R_{25}e^{B(\frac{1}{T} - \frac{1}{298,15})} \quad (1.8)$$

$$\alpha_R = \frac{1}{R_T} \frac{\Delta R_T}{\Delta T} \quad (1.9)$$

Donde:

- R_T : Resistencia a la temperatura T ($^{\circ}K$)
- R_{25} : Resistencia al temperatura de $25^{\circ}C$ ($289,15^{\circ}K$)
- A : Constante del material (Ω)
- B : Constante específica del material (K)
- T : Temperatura de trabajo ($^{\circ}K$)
- α_R : Coeficiente de temperatura del termistor

LDR

Las fotoresistencias (LDR - Light Dependent Resistor) se basan en la variación de la resistencia eléctrica de un semiconductor al incidir en él la radiación óptica. En un semiconductor, la mayoría de los portadores se hallan, en reposo, en la banda de valencia, existiendo poca densidad de electrones en la banda de conducción. Cuando son sometidos a radiación, los electrones migran a la banda de conducción. La energía para que estos portadores pasen a la banda de conducción puede venir de diversas fuentes, entre las que están la radiación óptica.

Fabricación:

- Se utilizan materiales con propiedades fotoconductoras de materiales como el sulfuro de cadmio (SCd), seleniuro de cadmio (SeCd) o el sulfuro de plomo (SPb).

- La mezcla de polvo y conglomerante se prensa en forma de tabletas, que se sinterizan.
- Se depositan sobre la superficie los electrodos en forma de peine.
- El conjunto se cubre con resina transparente o cápsula de vidrio o plástico.

Ecuación característica:

$$R = A \cdot L^{-\alpha} \quad (1.10)$$

Donde:

- R : Resistencia en ohmios de la LDR
- A : Constante que depende de las propiedades internas del material
- L : Iluminación incidente en Flux (candela)
- α : Parámetro que depende del material (entre 0,7 y 0,9)

Unidades:

- Candela (cd): Unidad de intensidad lumínica en una dirección dada. Intensidad de radiación en una dirección perpendicular a una superficie de $1/6000000 \text{ m}^2$, de un cuerpo negro a la temperatura de solidificación del Pt (1770°C) y a una presión de $101,325 \text{ N/m}^2$.
- Footcandle (fc ó ftc): Unidad de intensidad lumínica medida en lumenes/ft^2 . Brillo de una vela a una distancia de un pie (0,3 m) $\text{ftc} = 10,7639 \text{ lux}$.
- Lumen (lm): Unidad de flujo luminoso.
- Lux (lx): Unidad de iluminación igual a un lumen por m^2 . Equivalente métrico de ftc (Un lux equivale a 0,0929 ftc).

VDR

Los varistores (VDR - Voltage Dependent Resistors) son dispositivos de protección contra sobretensión. Su valor óhmico disminuye con la tensión. Trabajan en un amplio rango de tensiones, absorben gran cantidad de energía, y apenas consumen cuando no actúan. Se fabrican con Óxido de Zinc molido y mezclado, al que se añade un aglutinante cerámico para conseguir la máxima homogeneidad. Esta mezcla se prensa en forma de discos, que se cuecen a temperatura controlada.

Proceso de fabricación:

1. Molido y mezcla: El material es molido y mezclado homogéneamente.
2. Granulado: Se añade un aglutinante, obteniendo un trozo de material de tamaño adecuado.
3. Prensado: Los trozos de material se prensan en forma de discos

4. Horneado: Se elimina el aglutinante del material (precalentado) y luego se someten los discos a un proceso de alta temperatura.
5. Metalización: Se metalizan los discos por ambas caras.
6. Fijación de terminales, lacado y test eléctrico.

Ecuación característica:

$$I = K \cdot V^\alpha \quad (1.11)$$

Donde:

- I : Corriente a través del varistor.
- K : Constante cerámica (dependiente del tipo de varistor).
- V : Voltage a través del varistor.
- α : Exponente de la no linealidad (medida de la no linealidad de la curva).

1.6. Potenciómetros

Son resistencias variables, ajustables por el usuario. Suelen tener 3 terminales. El ajuste del valor óhmico se lleva a cabo mediante la rotación de un eje, o mediante el desplazamiento de un cursor.

Parámetros característicos

- Resistencia nominal (R_n): Valor nominal de la resistencia (en ohmios).
- Resistencia total (R_t): Resistencia total que presenta el potenciómetro entre los terminales fijos.
- Resistencias residuales de principio (r_d) y final (r_f) de curso: Resistencia que presenta el potenciómetro entre el cursor y el principio o el ofinal de la resistencia (valor muy pequeño)

$$R_t = R_n + r_d + r_f \quad (1.12)$$

- Temperatura nominal de servicio (T_n): Temperatura ambiente a la que se define la potencia nominal del potenciómetro.
- Disipación nominal (P_n): Es la potencia máxima que puede disipar el potenciómetro, a la temperatura nominal (T_n) y en servicio continuo.
- Tensión máxima de servicio (V_m): Tensión máxima que se puede aplicar entre los extremos.

$$V_m = \sqrt{P_n \cdot R_n} \quad (1.13)$$

- Intensidad máxima de servicio (I_m): Valor máximo de corriente (AD ó DC) que puede circular por el potenciómetro a la temperatura de servicio.
- Temperatura máxima de servicio (T_{max}): Temperatura máxima ambiente a la que puede trabajar.

- Recorrido del curso: Ángulo de giro (α) ó desplazamiento lineal (x) del cursor para llevarlo de un extremo al otro.

Respuestas

- Lineal: Proporcionalidad lineal entre el desplazamiento del cursor y la resistencia.
- Logarítmica negativa.
- Logarítmica positiva.

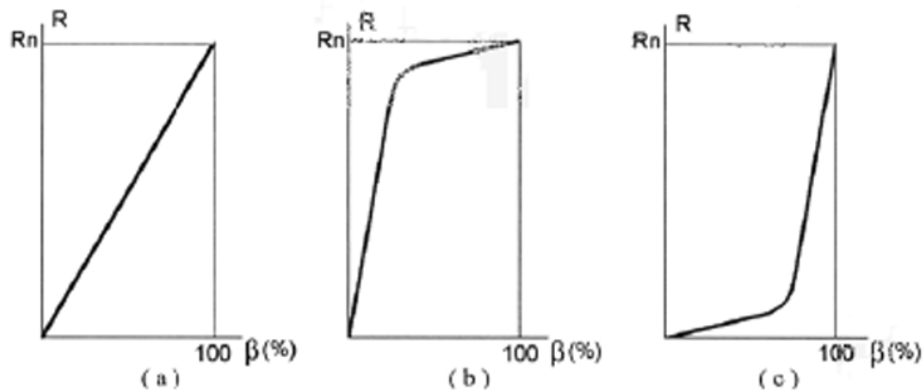


Figura 1.4: Resistencias Ajustables. Potenciómetros.

Tipos

- Bobinados de baja potencia.
- Bobinados de alta potencia.
- De capa de carbón.
- De capa metálica.

Aplicaciones

- Resistencia variable ajustable
- Divisor de tensión

2. Condensadores

2.1. Introducción

Componente electrónico constituido por 2 placas metálicas, entre las que se dispone un dieléctrico (aislante). Es un componente reactivo (capaz de almacenar energía).

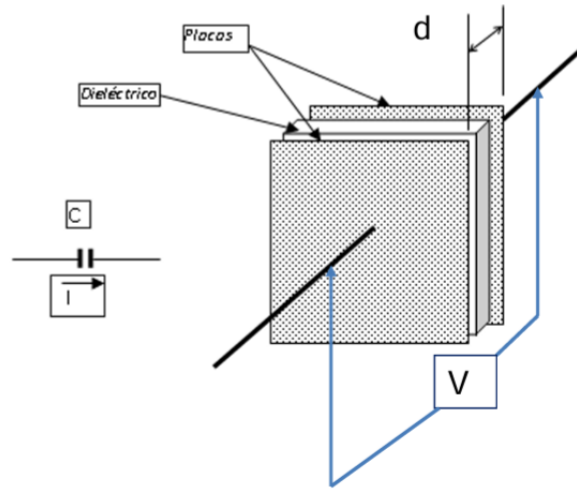


Figura 1.5: Condensador - Estructura

La capacidad de un condensador se define como la carga eléctrica que puede ser almacenada por el mismo cuando es sometido a una diferencia de potencial. El material dieléctrico utilizado tiene una gran influencia en el valor de dicha capacidad.

$$C = \frac{Q}{V} \quad (1.14)$$

$$I = C \frac{dU}{dt} \quad (1.15)$$

$$Z_c = \frac{1}{j\omega C} \quad (1.16)$$

$$C = \xi_r \xi_0 \frac{A}{d} \quad (1.17)$$

Donde:

- C : Capacidad en faradios (F).
- d : Espesor del dieléctrico (en m).
- A : Superficie de las placas conductoras (en m^2).
- ξ_r : Permitividad relativa (depende del dieléctrico utilizado)
- ξ_0 : Permitividad del vacío

2.2. Parámetros Característicos

- Capacidad nominal (Cn).
- Tolerancia del valor capacitivo (+/- % Valor nominal).

- Factor de calidad (D) (Factor de pérdidas). Cuando no hay pérdidas en el dieléctrico, la corriente está adelantada a la tensión $\pi/2$ radianes. Las pérdidas originadas en el dieléctrico hacen que la corriente pase a estar adelantada a la tensión un ángulo menor $(90 - \delta)$

$$Z_c = \frac{1}{j\omega C} \quad (1.18)$$

$$D = \tan \delta = \frac{R_s \vec{I}}{\vec{I}/\omega C} = R_s \omega C = R_s 2\pi f C \quad (1.19)$$

- Tensión nominal en DC y AC. Tensión de trabajo a la que se puede someter el condensador.
- Rigidez dieléctrica. Voltaje máximo que puede soportar un dieléctrico sin perforarse (V/m). Las rupturas dieléctricas pueden ser de los siguientes tipos:
 - Rupturas intrínsecas (avalancha interna de electrones)
 - Térmicas
 - De descargas
 - Electroquímicas
- Resistencia de aislamiento. Cuando un dieléctrico es sometido a una tensión continua U , presenta una corriente de fuga, I_f .

$$I_f = \frac{V}{R_i} [M\Omega \cdot \mu F] \quad (1.20)$$

- Coeficiente de temperatura. Variación de la capacidad nominal en función de la temperatura.

$$\alpha_C = \frac{1}{C} \frac{\Delta C}{\Delta T} \cdot 10^6 [ppm/^\circ C] \quad (1.21)$$

- Categoría climática. El código de la categoría climática está formado por una serie de 3 números, separados por /, de la siguiente forma:

$$AA/BB/CC \quad (1.22)$$

Los cuales indican:

- AA : Temperatura ambiente mínima de operación.
- BB : Temperatura máxima de operación.
- CC : Número de días sometidos a calor húmedo.

2.3. Condensadores de dieléctrico plástico

Características principales

- Tienen un volumen reducido.
- La resistencia de aislamiento, $\tan \delta$ varía con la temperatura.

- Tienen un aislamiento elevado, lo que les permite conservar la carga eléctrica durante mucho tiempo.
- Tienen una débil absorción eléctrica, que permite cargas y descargas rápidas (Apropiados aplicaciones de alta frecuencia).
- Pueden venir en caja de plástico con terminales radiales o cilíndricos con terminales axiales.

Proceso de Fabricación

1. Bobinado de las láminas de plástico y aluminio.
2. Las láminas se hacen pasar por un peine electrostático para eliminar las cargas electrostáticas.
3. El condensador se somete a una elevada temperatura, para contraer las láminas de plástico y expulsar la posibles burbujas de aire.
4. Se sellan los extremos del arrollamiento para asegurar la estanqueidad del mismo.

2.4. Condensadores cerámicos

Utilizan como material dieléctrico, un material cerámico. Diferenciamos:

- CLASE 1: Se utilizan en aplicaciones en las que se requieran unas pérdidas muy bajas, y una elevada estabilidad, así como unas pérdidas bajas (osciladores y filtros).
 - Elevada resistencia específica.
 - Factor de calidad D muy bueno.
 - Comportamiento lineal con la temperatura
- CLASE 2: Se utilizan en acoplo y desacoplo.
 - Tienen pérdidas altas y comportamiento no lineal.

Características más importantes

- Resistividad: $\rho = 10 \text{ a } 10^{13} T \Omega \cdot cm$
- Factor de pérdidas: $tg\alpha = 10^{-3} \text{ a } 10^{-4} \text{ a } 1MHz$.
- Rigidez dieléctrica: $35 \text{ a } 90kV/cm$.

Aplicaciones típicas

- Aplicaciones de AF.
- En desacoplo de alimentación (absorben rápidas variaciones de la VCC).
- Acoplo.
- Filtros

Proceso de Fabricación

1. La materia prima se muele, se mezcla y se somete a un procesado a alta temperatura (1100 a 1300 °C).
2. Se solidifica el material con aglutinantes, obteniéndose unas láminas prensadas.
3. Se imprime el electrodo en las láminas.
4. Se hace el laminado con varios niveles mediante prensado y curado a 1400 °C.

Estructura Interna

Consiste en un bloque rectangular de material dieléctrico cerámico, formado por varios substratos de electrodos de metales preciosos. Permite obtener una elevada capacidad por unidad de volumen. Los electrodos internos están conectados a los dos terminales mediante una aleación plata/paladio en proporción de 65/35, o bien por recubrimiento formado por un estrato de plata, uno de níquel y posteriormente, un acabado de estaño (barrera de níquel).

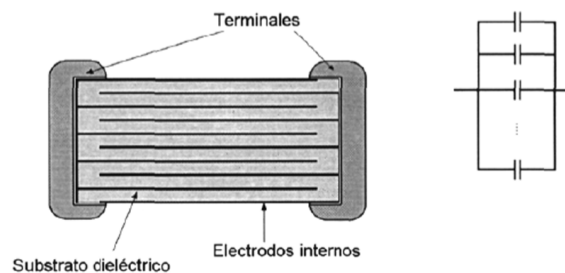


Figura 1.6: Estructura Interna.

2.5. Condensadores electrolíticos

Utilizan como electrolito, una solución líquida que actúa como medio de transporte de la corriente entre los dos electrodos. Están polarizados y no admiten corrientes alternas. Están formados por:

- Ánodo: Electrodo positivo de aluminio recubierto de alúmina (Al_2O_3).
- Cátodo: Electrodo negativo formado por una lámina de aluminio de alta pureza.

- Electrolito: Tetraborato amónico impregnado en un papel especial.
- Dieléctrico: Alúmina (Al_2O_3)

Para aumentar al máximo la capacidad, sin aumentar el volumen, se utilizan unas láminas con una superficie muy rugosa obtenida por procedimientos químicos. El papel soporte del electrolito es un papel de gran absorción, muy poroso y también corrugado.

Parámetros Característicos

- Factor de pérdidas: El factor de pérdidas crece notablemente con la frecuencia, por lo que el uso de los condensadores electrolíticos debe limitarse a frecuencias menores a 10kHz .
- Corriente de fuga: Aumenta rápidamente a partir de tensiones superiores a 500V , y conforme aumenta la temperatura de servicio.
- Variación de la capacidad con la temperatura: La capacidad del condensador electrolítico se incrementa conforme aumenta la temperatura.

Condensadores electrolíticos de Tántalo

Utilizan un electrolito sólido. El dieléctrico generalmente utilizado es de óxido de tántalo (Ta_2O_5). Se elaboran partiendo de un polvo de tántalo sintetizado (oxidado) que constituye material tipo P. Esta amalgama se recubre con bióxido de manganeso (MnO_2), que se comporta como material N. El conjunto en definitiva constituye un semiconductor P-N.

3. Dispositivos Inductivos

Componente electrónico reactivo, capaz de almacenar cierta energía eléctrica. Presenta una inductancia (coeficiente de autoinducción) L (Henrios). Su comportamiento se basa en la teoría electromagnética. La tensión en sus bornas es adelantada $\pi/2$ respecto de la intensidad.

$$V = -L \frac{di}{dt} \quad (1.23)$$

$$V = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (1.24)$$

El modelo equivalente incorpora una componente resistiva en serie con la bobina causante de ciertas pérdidas.

$$Q = \tan\phi = \frac{\omega LI}{RI} = \frac{\omega L}{R} \quad (1.25)$$

3.1. Parámetros Característicos

- Densidad de flujo magnético (B) [Wb/m^2]. Flujo magnético Φ contenido en una sección A del núcleo.

$$B = \frac{\Phi}{A} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (1.26)$$

- Fuerza de magnetización (H) [A/m]. Energía eléctrica necesaria para producir una determinada densidad de flujo magnético (B).

$$H = \frac{NI}{P} \quad (1.27)$$

- Permeabilidad magnética (μ) [Wb]/[H/m]. Facilidad para conducir el flujo magnético.

$$\mu = B/H \quad (1.28)$$

- Permeabilidad del vacío (μ_0): $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} H/m$.
- Permeabilidad relativa (μ_r): $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$

3.2. Ferritas

Composición

Se elaboran con aleaciones de distintos metales (Mn, Zn, Ni, Co, Cu, Fe, Mg). Los más usuales MnZn y NiZn, mezclados con materiales cerámicos. Tienen un aspecto cerámico de color oscuro. Duras, frágiles y químicamente inertes. Presentan una alta resistividad a altas frecuencias. Tienen una alta permeabilidad (μ).

Proceso de Fabricación

1. Obtención de la materia prima (aleaciones), en distintas proporciones, en forma de polvo.
2. Presinterización a unos 1000°C para unificación del material.
3. Molido y granulado a un tamaño determinado de las partículas, incluyendo agua y apelmazante.
4. Conformado a la geometría definitiva por moldeado, mediante compresión.
5. Sinterización final para la solidificación del material (eliminación de productos residuales) y obtener las características magnéticas requeridas.
6. Magnetización final mediante campo magnético externo.
7. Acabado (mecanizado) final de la pieza.

Aplicaciones

- Filtro tipo pasabanda
- Supresión de interferencias: Permite el bloqueo de señales de ruido indeseables.
- Retardo de pulso: Permite retrasar el pulso ascendente de una señal un intervalo de tiempo determinado por el componente inductivo.
- Almacenamiento de energía: Permite almacenar energía y entregarla posteriormente a la carga, durante el tiempo en off de una fuente de alimentación conmutada.

4. Cristales de Cuarzo

Capítulo 2

Materiales Semiconductores

1. Introducción

Los materiales se clasifican en: conductores, semiconductores y aislantes. El parámetro que determina tal clasificación es la conductividad, que indica el grado o facilidad con la que permiten el paso de un flujo de portadores bajo un campo eléctrico externo. La inversa de la conductividad es la resistividad, propiedad intrínseca de los materiales.

En los semiconductores se puede modificar su resistividad de manera controlada entre márgenes muy amplios. Depende de la estructura atómica y del enlace atómico. El germanio y el silicio, son dos de los materiales semiconductores más importantes, que poseen cuatro electrones de valencia en su última capa.

2. Obtención de cristales semiconductores

Se parte de silicio monocristalino de grado semiconductor. Tiene una pureza de $10ppb$. La materia prima de partida es el sílice (SiO_2). Se purifica la materia prima mediante procesos físicos y químicos.

Proceso químico

1. Obtención de la materia prima (SiO_2)
2. Eliminación del oxígeno del SiO_2 , por reducción por carbono
3. Cloración
4. Destilación fraccionada
5. Reducción del triclorosilano ($SiHCl_3$) para obtener el Si

Proceso físico

1. Purificación por refinado de zona basado en el mayor coeficiente de solubilidad de las impurezas en el material en estado líquido que en estado sólido
2. El cristal se coloca en posición vertical y se va calentando en horno por radiofrecuencia

3. Crecimiento de monocristales - Método Czochralski

Consiste en la obtención de un lingote de Si monocristalino a partir de material líquido contenido en un crisol.

1. En un crisol, se funde Si grado semiconductor a 1400°C .
2. Se pone en contacto con la superficie líquida, una “semilla” del mismo material monocristalino.
3. Se hace girar el eje con la semilla, al tiempo que se eleva de forma vertical.
4. Los átomos de la fase líquida se incorporan a la fase sólida adoptando la misma estructura cristalina.
5. Para obtener lingotes de Si dopado, se incorpora material dopante del tipo n ó de tipo p.
6. El lingote se mecaniza (polariza) y se cortan las obleas.
7. Se procede al pulido superficial final de la oblea.

4. Crecimiento epitaxial

Proceso de crecimiento de una capa monocristalina y uniforme de material semiconductor. El sustrato actúa como semilla y la estructura cristalina de la capa epitaxial es idéntica a la del sustrato.

Las capas epitaxiales se caracterizan por:

- Mantienen la estructura cristalina del sustrato
- Pueden tener un dopaje diferente del sustrato
- La concentración de dopaje es muy uniforme
- El crecimiento se lleva a cabo de manera uniforme sobre toda la superficie de la oblea

Técnicas de crecimiento epitaxial:

- Epitaxia en fase líquida (LPE)
- Epitaxia por haces moleculares (MBE)
- Epitaxia en fase vapor (VPE)
 - Se realiza en reactores con campana de reacción de cuarzo a temperatura elevada.
 - Se utilizan distintas fuentes de silicio (SiCl_4 , SiH_2Cl_2 , SiHCl_3 y SiH_4)

4.1. Proceso de epitaxia en fase de vapor (VPE)

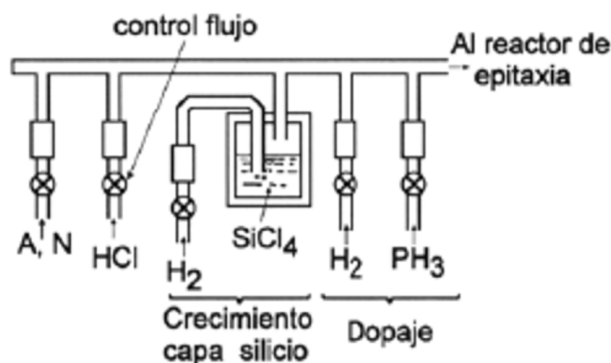


Figura 2.1: Epitaxia en fase vapor(VPE)

1. Limpieza del aire del reactor con H_2 .
2. Calentamiento del reactor.
3. Ataque mediante HCl , a unos $1200^\circ C$.
4. Se introducen los gases con Si y dopantes para iniciar el crecimiento epitaxial.
5. Se procede a inyectar N para eliminar restos de H_2

5. Procesos de oxidación

Consiste en la aportación de una capa protectora y aislante. Se utiliza para pasivar la superficie final de la oblea. Actúa como escudo protector contra agentes contaminantes externos. Proporciona aislamiento eléctrico. Las capas de SiO_2 permiten obtener máscaras selectivas contra la difusión de átomos dopantes.

6. Proceso fotolitográfico

Es un método de transferencia a la oblea de una imagen o cliché.

1. La imagen a procesar se pasa a una capa de resina depositada sobre el sustrato.
2. Se procede a la insolación por radiación ultravioleta que produce la polimerización de la resina no expuesta (negativa o positiva).
3. La resina no polimerizada se elimina mediante lavado.
4. La resina polimerizada que haya quedado actúa de escudo protector para las operaciones posteriores (ataque químico, deposición, dopado, etc.)

7. Deposición de dieléctricos y polisilicio

Permite elaborar capas conductoras, de aislamiento eléctrico entre capas metálicas y de protección frente a ataques ambientales. Como requisitos debe cumplir que el espesor sea uniforme sobre toda la oblea, la estructura y composición debe ser reproducible y fácilmente controlable, y el proceso debe ser reproducible, automatizable y barato. Los materiales utilizados son: Silicio policristalino, Dióxido de Silicio y Nitruro de Silicio.

8. Dopado

Consiste en la formación de terminales de base y emisor (TTL) ó de fuente y drenador (MOS). Para ello la distribución de los dopantes ha de ser controlada en perfil y concentración. Este proceso se lleva a cabo por difusión ó por implantación iónica.

Tipos de difusión:

- Sustitucional: El átomo dopante ocupa un hueco cedido por un átomo saliente de la estructura cristalina.
- Intersticial: El átomo dopante se encaja en el seno de la estructura, pero fuera de la red cristalina (requiere menor cantidad de energía).
- Intersticial modificado: Proceso mixto entre sustitucional é intersticial.

9. Metalización de terminales

Consiste en la deposición de las capas conductoras necesarias para la interconexión de dispositivos entre sí y con el exterior. Se pueden obtener con capas de polisilicio, o con aluminio.

Características:

- Contacto de baja resistencia
- metal de alta conductividad
- Buena adherencia
- Definición fácil del patrón
- Fácil de atacar
- Compatibilidad con el resto de procesos
- Uniformidad en la deposición
- Resistente a corrosión
- Fácil conexionado por la electromigración
- No debe reaccionar con el semiconductor

Capítulo 3

Dispositivos Semiconductores

1. Dispositivos Optoelectrónicos

Los dispositivos optoelectrónicos son aquellos que son sensibles a la luz, transformando la energía eléctrica en energía lumínica o viceversa. Diferenciamos:

- Dispositivos electroluminiscentes: emiten luz cuando son sometidos a un campo eléctrico (diodos LED, iRED,...)
- Dispositivos fotosensibles: transforman la energía lumínica en eléctrica (fotodiodos, fototransistores, células fotovoltaicas...)

El espectro luminoso que el ojo humano es capaz de percibir está comprendido entre una longitud de onda de 400 nm hasta 700 nm.

1.1. Diodos LED

Los diodos LED funcionan en base al principio de inyección luminiscente. A través de una unión pn polarizada en directa existe un movimiento de portadores mayoritarios, que se desplazan entre ambas regiones y dan lugares a procesos de recombinación. En los diodos LED, algunos de estos procesos de recombinación pueden producir la emisión de fotones (recombinaciones radiantes). No todas las recombinaciones son radiantes y la probabilidad de que se dé una recombinación de este tipo depende de la estructura de bandas del semiconductor, la falta de defectos en la red cristalina, etc.

Encapsulados

- Encapsulado plástico con patillas largas para montaje tradicional through-hole
- Encapsulado plástico para montaje superficial (SMT Top LED)

Proceso de fabricación LED SMT

1. Proceso de colocación del dado (die) de semiconductor
 - a) Fijación del dado
 - b) Curado
 - c) Wire bonding
 - d) Encapsulado epoxy
 - e) Curado epoxy
2. Cortado y conformado de patillas
3. Test eléctrico
4. Test óptico
5. Embandado y empaquetado

Consideraciones de diseño con diodos LED

- Resistencia térmica unión-ambiente. La temperatura en la unión es la suma de la ambiente y la potencia disipada por la resistencia térmica unión-ambiente.
- Cálculo de la potencia máxima. Producto de la corriente máxima directa por la tensión directa.
- Limitación de corriente. El LED funciona por corriente, y tiene mecanismos para limitarla. Generalmente es una resistencia en serie, de valor:

$$R = \frac{V_{cc} - V_f}{I_{pico}} \quad (3.1)$$

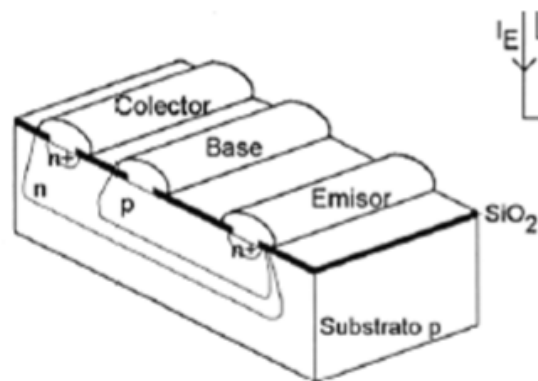
- Intensidad lumínica. Intensidad a 25°C para unas condiciones de funcionamiento.

Capítulo 4

Tecnología de Circuito Integrado

1. Tecnología de Circuito Integrado

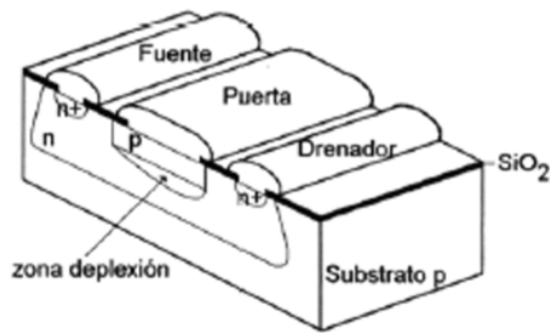
1.1. Tecnología bipolar BJT



Proceso de fabricación:

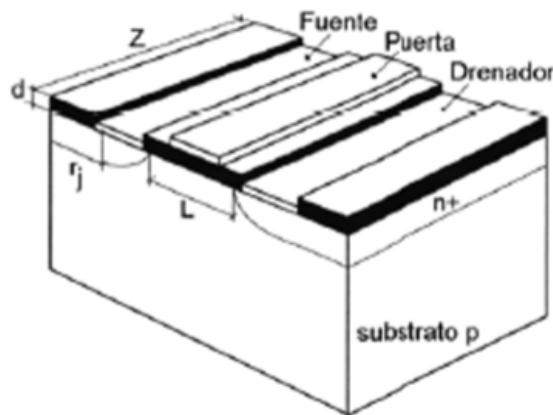
1. Predeposición de la capa n+ (capa enterrada)
2. Crecimiento epitaxial tipo n
3. Difusión tipo p de aislamiento del transistor
4. Difusión de tipo p del terminal de base
5. Predeposición de tipo n+ del terminal de emisor y contacto óhmico del colector
6. Recubrimiento por crecimiento eopitaxial de capa de SiO₂
7. Apertura fotolitográfica para acceder a los terminales de E, B y C.
8. Deposición de las metalizaciones de E, B y C.

1.2. Transistor JFET



1. Creación zona tipo n
2. Zona de tipo p
3. Zona de tipo n+

1.3. Tecnología MOSFET



La tecnología MOSFET se divide en N-MOS, P-MOS y C-MOS. Los parámetros importantes del MOSFET son:

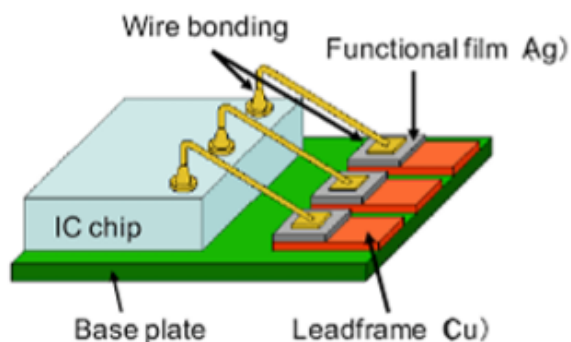
- Longitud del canal (L)
- Anchura del canal (Z)
- Espesor de óxido (d)
- Profundidad de la unión (r_j)
- Dopaje del semiconductor (ND)

1.4. Empaquetado de Circuitos Integrados

Las obleas son cortadas para poder extraer cada uno de los chips que la componen. Con un dispositivo de succión, los chips son separados de la oblea y transferidos al lead-frame donde es adhesivado.

El lead-frame es la estructura metálica sobre la que se fija el circuito integrado. Dispone de las patillas que finalmente se utilizan para el montaje en la PCI y posterior soldadura (tanto TH como SMT).

Wire Bonding



El wire bonding es una técnica de conexión de los terminales del CI al lead frame. Esta se realiza por termocompresión de un hilo de oro, plata ó aluminio.

Esta técnica es utilizada también para el Chip-on-board en la que el circuito integrado se conecta directamente a la PCI. Esto se utiliza en CI de gran densidad de patillas. Permite eliminar el encapsulado ahorrando espacio en la PCI. El acabado final requiere el recubrimiento con resina epoxy, para protegerlo físicamente y aislarlo eléctricamente.

Encapsulados

Los empaquetados de circuitos integrados pueden ser plásticos (resina) moldeada ó depositada y cerámicos. Los hay para formatos de ensamblado tradicional ó de montaje superficial. Diferenciamos de tipo periféricos, con terminales en los laterales del chip (DIL ó QFP), y de tipo grid array, con terminales en la superficie inferior del chip (PGA ó BGA).

Capítulo 5

Placa de Circuito Impreso (PCI)

1. Introducción

La placa de circuito impreso es un componente electrónico de tipo electromecánico que permite el ensamblado del resto de los componentes electrónicos necesarios para asegurar la funcionalidad del sistema electrónico. Facilita el soporte físico y el interconexión de los componentes y permite la integración dentro del resto del conjunto.

Criterios de clasificación de las PCIs:

- Materiales utilizados en la construcción de la PCI. Orgánicos (resinas fenólicas, pasta de papel, fibra de vidrio) ó compuestos no orgánicos (cerámicos, aluminio, etc.)
- Tipo de conductor. Pistas conductoras de cobre base por etching químico (trama gráfica), deposición de capa gruesa ó cableado directo (wire-bonding)
- Rigidez mecánica de la PCI. Rígidas, flexibles ó mixtas.
- Método de formación de las pistas conductoras. Técnicas sustractivas del cobre: eliminando parte del cobre sobrante (etching químico), ó técnicas aditivas: se añade cobre, pastas conductoras ó cable conductor.
- Número de capas conductoras. Monocapa, bicapa ó multicapa.
- Uso de vías de interconexión entre capas (PTH).

1.1. Materiales utilizados en la construcción de la PCI

Orgánicos

La PCI de papel fenólico CEM tiene un color ocre (mostaza), es de bajo coste y se utiliza en aplicaciones no profesionales. Son sólo placas monocapas con baja estabilidad térmica (se deforman fácilmente con la temperatura), no permiten alta densidad de pistas ni de pads de

soldadura, no son adecuadas para montajes SMT. Se fabrican en plantas diferentes de las de fibra de vidrio por los residuos que generan.

La PCI de fibra de vidrio FR4 es la más usada, tiene un color verde ó azul. Incorporan sustancia retardante a la llama (FR). Tienen un mayor coste y se utilizan en aplicaciones profesionales. Son muy estables térmicamente, permiten soluciones bicapa y multicapa (hasta 48), alta densidad de pistas y pads de soldadura, admiten thorough-hole y SMT, y tienen acabados superficiales en Sn y Au.

No orgánicos

La PCI de aluminio tiene un elevado coste, altas prestaciones térmicas y se utiliza para aplicaciones profesionales (automoción, defensa y aeroespacial), son principalmente monocapa, aunque pueden ser bicapa depositando una capa gruesa de aislante. Son muy utilizados en módulos multichip, convertidores DC/DC por su facilidad de disipación de calor.

La PCI de sustrato cerámico tiene un elevado coste, altas prestaciones térmicas y se utiliza para aplicaciones profesionales (automoción, defensa y aeroespacial), son principalmente monocapa, aunque pueden ser bicapa depositando una capa gruesa de aislante. Se usan en circuitos híbridos.

1.2. Tipo de conductor

Etching de cobre

1. Se parte de una lámina aislante, cubierta con una lámina uniforme de CU de $35\mu m$ de espesor.
2. Se retira el cobre sobrante por ataque químico (etching) hasta dejar las pistas y los pads.

Deposición de capa gruesa

1. Se parte de un sustrato aislante rígido (cerámico=
2. Se deposita pasta conductora para conformar las pistas y pads de soldadura por técnicas serigráficas.
3. Se procede a curado en horno a alta temperatura para retirar el disolvente de la pasta conductora.
4. Una vez curado, las pistas quedan solidificadas.
5. Se pueden añadir pistas aislantes.
6. Se pueden incorporar resistencias por deposición de capa gruesa.

Wire bonding

Es una técnica de interconexión por cableado con hilo fino. Aplica la técnica de termocompresión mediante aguja. Requiere un sustrato rígido (FR, Aluminio, Cerámico). Es la base de la técnica COB (Chip On Board). Permite altas densidades de conexión, reduce la superficie de la PCI ya que el CI no lleva encapsulado, requiere de un acabado final de recubrimiento de resina epoxy para proteger al CI.

1.3. Rigidez mecánica de la PCI

Rigidas

No se deforman. Son de papel fenólico (CEM), fibra de vidrio (FR), aluminio o cerámica.

Flexibles

Se pueden curvar. Son de sustrato de acetato flexible.

Mixtas

Se forman combinando en la PCI una parte rígida y otra flexible. Se utilizan para interconectar elementos que pueden girar (pantallas, teclados, etc...).

1.4. Número de capas

Monocapas

Llevan componentes en una sola cara (top layer) normalmente through-hole. Las pistas y pads se obtienen por serigrafía y posterior ataque químico del Cu sobrante. Se utiliza en aplicaciones de bajo coste y circuitos simples con pocos componentes.

Bicapas

Llevan 2 capas conductoras (top y bottom) y el material aislante (FR4). El circuito puede llevar componentes en ambas caras de la placa. Se pueden montar tanto componentes through-hole como SMT. Permiten altas densidades de componentes y de pistas. Se utiliza el FR4 por su estabilidad térmica.

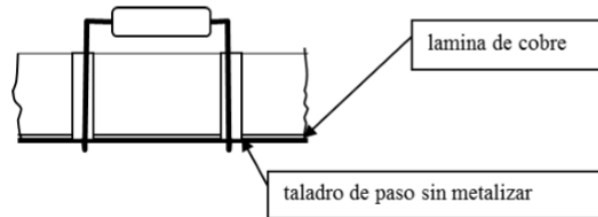
Multicapas

Sólo llevan componentes en las capas externas (top y bottom). Además de las capas externas, llevan varias internas formando un sándwich de capas conductoras y aislantes. Se fabrican laminando, placas de cara simple ya separadas (transferencia de imagen) con FR4 como

aislante. La interconexión entre las diferentes capas se realiza a través de taladros específicos de paso denominados vías.

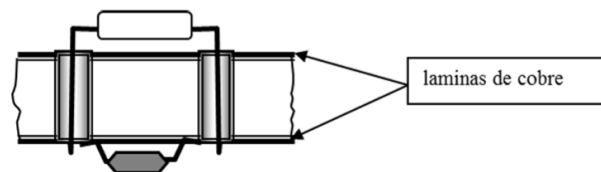
1.5. Tipos de taladros

Placas Monocapa



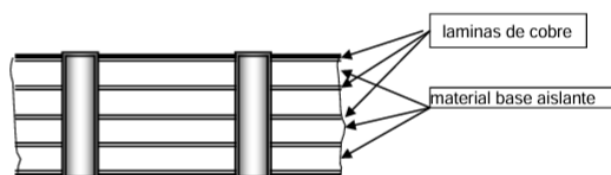
Llevan taladros de paso SIN metalizar, para permitir el montaje de componentes through-hole. El componente se monta por la cara top y se suelda al pad de soldadura en la cara bottom.

Placas Bicapa



Llevan taladros metalizados (plated through holes PTH). Los taladros se metalizan en su interior, una vez hechos. Al pasar la PCI por la ola de estaño, éste entra y sube por el taladro, por capilaridad y asegura el contacto y la sujeción mecánica del componente electrónico.

Placas Multicapa



Llevan varios tipos de taladros: PTH para montaje de los componentes through-hole, y de paso (via holes) para el interconexionado interno entre capas. Todos son metalizados.

2. Fases del proceso de fabricación

1. Fabricación del substrato
2. Procesos de serigrafía o fotograbado
3. Construcción de las vías: taladrado
4. Cobreado catalítico
5. Cobreado electrolítico
6. Ataque químico de pistas externas
7. Placas multicapa: apilamiento y prensado de capas
8. Mecanizado de contornos
9. Protección contra ataque químico mediambiental. Acabado superficial (Sn, Au)
10. Recubrimiento con máscaras antisoldadura (solder mask)
11. Test de la PCI (continuidad de pistas, aislamiento...)

2.1. Fabricación del substrato

Proceso de laminado

Consiste en unir varias capas de material base para ser tratadas y curadas. Posteriormente se procede a depositar sobre las mismas una fina película de cobre, cuyo espesor final depende del número de láminas depositadas. Esta deposición de cobre se puede hacer sobre una cara o sobre las dos.

Prensado

El estratificado se somete a un proceso de prensado a alta temperatura mediante una prensa hidráulica. Posteriormente se enfría hasta alcanzar la temperatura ambiente. Se obtienen finas planchas de gran tamaño de material aislante cubierto por 1 ó 2 capas de cobre de 35um de espesor.

Calidad y fiabilidad

Requisitos cualitativos que han de cumplir los laminados:

- Superficie de cobre: ausencia de salientes.
- Fuerza de delaminación: permite comprobar la adherencia del cobre al substrato.
- Combado y revirado: determina el grado de deformación de la placa por unidad de superficie.

- Resistencia a la soldadura: se comprueba la resistencia del sustrato y la adherencia de la lámina de cobre a un proceso de soldadura. Se comprueba la ausencia de levantamiento, delaminación, y corrugamiento.
- Resistencia de aislamiento: especifica la resistencia entre dos conductores de una misma lámina.
- Rigidez dieléctrica: indica el grado de resistencia que puede ofrecer el sustrato a una descarga eléctrica disruptiva producida por un ensayo eléctrico.

2.2. Mecanizado de la PCI

Cortado de la placa

Se cortan por cizalla para obtener las planchas con las dimensiones adecuadas al proceso de fabricación. En algunos casos, también se utilizan sierras de corte circulares.

Enrutado ó fresado

Permite obtener el contorno de la PCI a las dimensiones y geometrías en función del diseño mecánico, extraer material, etc. La máquina consta de un pequeño cilindro de carburo que gira a una velocidad de 12000-24000 rpm, de forma que puede cortar el grosor de la placa de circuito impreso normalmente de control numérico CNC. Se puede guiar libremente sobre la placa, pudiendo dibujar cualquier forma. También permite hacer taladros de gran diámetro para sujeción mecánica.

Taladrado

Es uno de los procesos más costosos, cuidadoso y que requiere mayor precisión. Se realiza para obtener los taladros y vías de la PCI del diámetro adecuado. Para asegurar la calidad, las brocas son de tungsteno con distintas geometrías en función del material a taladrar y su uso está limitado a un número limitado de operaciones. Las mejores brocas producen una temperatura de taladrado menor, una superficie de corte más abrupta, y no generan rebabas, etc.

La placa o sustrato será aprisionada durante el taladrado entre una placa de material de entrada y una placa de salida. La placa de material de entrada se usa para prevenir daños en la superficie superior del circuito impreso. La placa de salida (backup) se sitúa bajo el circuito impreso y será atravesada por la broca para prevenir que se pueda fracturar la parte inferior de la placa. Como placa de entrada se usan distintos materiales: aluminio sólido, pasta de papel, o pastas basadas en resina en proporción de 60 % de papel y 40 % de resina. Para la placa de salida se usan láminas de pasta basada en resina con 40 % de papel y 60 % de resina, o láminas duras prensadas de fibra vegetal con resina y aceites.

2.3. Metalización de taladros

Este proceso permite metalizar el interior de los taladros en PCIs bicapa y multicapa. Previamente se procede a la limpieza del interior de las vías (rebabas de material conductor,

restos de material aislante) para evitar problemas de conexión en PCIs multicapa. Se realiza normalmente con productos químicos. A posteriori, se procede a la metalización catalítica (química) del interior con Cu y posteriormente con Pd y Sn.

Metalización electrolítica del Cu de la PCI

Permite recrear la película de Cu de la PCI (inicialmente de 35 μm) a un espesor mayor. Se realiza por procedimientos electrolíticos.

2.4. Obtención de pistas

Proceso mediante el cual se elaboran las pistas, pads de soldadura, contactos, etc...de la PCI. Estos elementos permiten la interconexión de los componentes (para asegurar la funcionalidad del circuito), así como su sujeción mecánica a través de la soldadura. La transferencia de la imagen de las pistas se hace por fotograbado (técnica fotolitográfica).

Fotograbado por película seca

1. Depegar la película protectora de celofán (poliolefina) de la lámina de material protector a depositar.
2. Queda así al descubierto la película fotosensible, negativa o positiva, que se adhiere a la capa superficial de cobre.
3. La película seca fotosensible queda protegida por una lámina delgada de poliéster, que evita daños a la película fotosensible y al cliché de pistas.
4. Aplicar el cliché sobre la película de poliéster.
5. Irradiar verticalmente con la fuente luminosa a la que es sensible la capa seca.
6. Para transferir las pistas del cliché, la capa fotosensible cambia sus características de solubilidad en el revelador en aquellas zonas que han sido irradiadas, es decir, las zonas transparentes del cliché.
7. Despegar la capa protectora de poliéster. Queda al descubierto la película seca fotosensible irradiada en el paso anterior.
8. Sumergir en el baño de revelado según sea la película fotosensible positiva ó negativa.
9. En el proceso de revelado se elimina la fotorresina irradiada ó la no irradiada-.
10. Quedan al descubierto las zonas de cobre cuya cubierta de película seca ha sido disuelta en el proceso de revelado.

Ataque químico

Es un proceso substractivo que elimina el cobre no deseado de los substratos, para de esta forma crear el conjunto de pistas conductoras y pads. Se pueden obtener pistas de anchuras muy finas, entre 0,1 y 0,15 mm hasta varios mm para pistas de alimentación y masa.

1. Una vez depositada la capa resistente al ataque químico sobre las zonas a conservar metalizadas de la superficie del substrato, la placa se introduce en un baño con la solución corrosiva.
2. Esta solución elimina todo el cobre de la superficie de la placa, excepto en aquellas áreas que se encuentran protegidas por el material no atacable.
3. Después de que todo el cobre no necesario es eliminado, la placa pasa a una estación de limpieza, donde se lava la solución corrosiva residual, y el material no atacable que protegió inicialmente las pistas (restos de la película fotosensible polimerizada).
4. Mientras la placa está en contacto con la solución corrosiva, el ataque se realiza en todas las superficies que están en contacto con la solución (ataque isotrópico).
5. También se produce un ataque bajo el material resistivo, ya que la solución penetrará bajo éste.
6. Este ataque es el origen del fenómeno del undercutting, y el efecto del ataque lateral de la pista protegida.
7. La relación entre la profundidad lateral (Y) y la vertical (X) se denomina factor de ataque.
8. Eliminación de la película seca que recubre al cobre no atacado con producto disolvente.
9. Limpieza para eliminar restos de los productos utilizados en pasos anteriores y dejar la superficie de cobre de las pistas sin restos de óxidos o sales.
10. Almacenamiento en atmósfera seca e inerte que no produzca reacción química en la superficie de la PCI.

2.5. Mecanizado de contornos

Fresado

Operación de fresado CNC. Permite conformar el contorno de la PCI. Eliminar material FR4 sobrante. Realizar taladros de gran tamaño para sujeción mecánica.

Por broca

La operación es similar al proceso de taladrado por broca. Se procede a dar el último contorno, y las eliminaciones de materia prima para facilitar el despanelizado de placas. Se aplica mayormente en placas en las que la forma final no es totalmente simétrica, y tiene algunas curvaturas.

V Scoring

Este método consiste en realizar un corte en la PCI de tal manera a debilitar su espesor. El V-SCORING se realiza con una sierra circular que produce una mella en forma de V con un espesor determinado y calibrado. Facilita la separación de las PCIs del panel (despanelizado).

2.6. Acabado de pistas, contactos y taladros

El Cu altamente sensible a corrosión y oxidación, lo cual dificulta la soldadura de componentes. Para evitar este problema, se procede a realizar un acabado del cobre expuesto. Este acabado puede ser de 3 tipos, según la aplicación de la PCI, requisitos de fiabilidad, tiempo de almacenamiento:

- Acabado estañado (Hol Air Leveling - HAL)
- Acabado en Au químico
- Acabado en Au electrolítico

Acabado HAL

Consiste en depositar sobre las zonas expuestas de cobre, una película de una aleación de Sn. Se aplica la técnica de HAL: consiste en sumergir la placa totalmente en un crisol con la aleación de Sn fundida y sacarla gradualmente. Al salir, se hace pasar por unas cuchillas de aire caliente, cuya misión es la de refundir el Sn sobrante, de manera a retirar el estaño superfluo que haya podido quedar sobre los contactos, dentro de los taladros, y sobre algunas pistas.

Acabado en Au químico

La deposición del Au químico se realiza por procedimientos químicos. Permite crear una capa uniforme de espesores de unas 75 μm , sobre toda la PCI. Se aplica para obtener un elevado grado de inmunidad contra corrosión y oxidación de las partes conductoras expuestas a intemperie. Aumenta la fiabilidad de la PCI. Requisito importante para montar componentes de montaje superficial (SMT) y requisito imprescindible para el montaje COP por wirebonding.

Acabado en Au electrolítico

El Au se deposita por procedimiento electrolítico. Permite obtener mayores espesores que el procedimiento químico. Tan sólo se puede aplicar a los extremos de la PCI, por lo que se aplica principalmente en el dorado de contactos para placas encartables. Aumenta la dureza de los contactos lo que permite aumentar el número de operaciones de conexión/desconexión de la PCI. Inmuniza contra corrosiones.

2.7. Mascarilla antisoldante

Se deposita sobre la PCI, y constituye una de las últimas fases del proceso de fabricación. Se utiliza para proteger a las pistas conductoras contra corrosión y arañazos, y evitar cortocircuitos en el proceso de soldadura de componentes por exceso de Sn en la ola de soldar (Through-hole) ó en el horno de refusión (SMT). Es la causa del aspecto verdoso/azulado de la PCI.

1. Se aplica tinta (mascarilla antisoldante) a toda la placa.
2. Se procede al insolado con rayos UV con un cliché de forma similar a como se hizo en film seco, para al revelar y dejar sin tinta los taladros donde se insertarán (through-hole) o soldarán (smd) los componentes.
3. Se somete a curado para conseguir la polimerización de la máscara. La máscara queda endurecida y adherida a la PCI.

2.8. Verificación

Una vez terminada de fabricar la PCI, se ha de proceder a realizar varias verificaciones, antes de ser enviada al cliente final para que proceda al ensamblado con los componentes.

Inspección

Al acabar el proceso de fabricación, se realiza una inspección visual de varios puntos que puede comprender:

- Ausencia de marzas de arañazo
- Falta de soldermask en alguna zona
- Serigrafía correcta
- Ausencia de daño aparente en la PCI
- Apariencia de los acabados (Sn/Pb, Au químico, Au electrolítico)
- Código de la PCI versión y marca de lote de fabricación son correctos y coinciden con los solicitados
- Dimensiones de la PCI y del panel
- Diámetro de taladros

Se puede realizar al 100 % de la producción o por muestreo (% reducido de la producción). En el caso de hacerse por muestreo, y evidenciarse algún defecto, se procederá inmediatamente a inspeccionar toda la producción, para evaluar el impacto y proceder inmediatamente a reponer el material rechazado. Los criterios aplicables han de ser acordados con el cliente final.

Test eléctrico

Permite comprobar la funcionalidad eléctrica del circuito. La comprobación se realiza utilizando un equipo de test formado por:

- Un ordenador con el SW de verificación que se encarga de aplicar la señal, y verificar el resultado, identificando aquellos puntos defectuosos.
- Una cama de pinchos, los cuales se sitúan en los puntos de test previstos al efecto en la PCI (test points). Estos pinchos en contacto con los puntos de prueba permiten aplicar la señal de verificación y leer en el otro extremo el resultado obtenido.

Cortocircuitos: Se producen al quedar dos elementos conductores adyacentes unidos por un residuo de Cu, bola de Sn, etc.

Circuitos abiertos ó pistas cortadas: Este defecto se da cuando una pista está interrumpida. Se puede producir por exceso de ataque químico, por fallo en el cliché, etc.

Pistas debilitadas: se produce por falta de material conductor en alguna pista, o algún pad. No produce defecto eléctrico a priori, pero puede dar lugar a problemas a corto plazo. Se puede detectar con el sistema de AOI (Inspección automática óptica).

Auditoría final de calidad

La realiza el Departamento de Calidad sometiendo muestras a un ensayo más exhaustivo, utilizando para ello, probetas metalográficas a partir de las cuales puede determinar la calidad de los acabados, recubrimientos interiores, etc. Se comprueba la ausencia de los defectos más importantes que se puedan presentar.

3. Diseño y documentación de las PCIs

Las PCIs son componentes electrónico diseñados específicamente para el dispositivo en el que se va a montar. No existen como tal en el mercado. Se fabrican en instalaciones industriales especializadas, con herramientas automatizada, basadas la mayoría en CNC. El diseñador de la PCI ha de elaborar toda la documentación, la cual habrá de ser remitida al fabricante, para que inicie el proceso de fabricación. Esta documentación ha de elaborarse en base a los requisitos de CAD/CAM del fabricante. Se utilizan formatos estándar adoptados tanto por diseñadores como por fabricantes.

Documentos a elaborar:

- Ficheros GERBER (proporcionados por el SW de diseño de la PCI)
- Planos de pistas
- Planos de taladros
- Planos de mecanizado
- Ruedas de apertura (incluida en los ficheros GERBER), que incluyen todos los tipos de taladros, coordenadas en la PCI, diámetro, acabado, función, etc...

- Solder mask cara top
- Solder mask cara bottom
- Soldering paste top
- Soldering paste bottom
- Silk screen (serigrafía)

3.1. Ficheros GERBER

Los ficheros GERBER son el estándar más utilizado como formato de elaboración de documentación de diseño, compatible con recursos CAD/CAM tanto por diseñadores como por fabricantes de PCIs. Facilita la transferencia de datos entre diseñado y fabricante, mediante métodos electrónicos. Asegura que el fabricante dispone de la documentación correcta y actualizada en versión. Permite al fabricante generar su propia documentación para la fabricación. Tan solo tiene que transferir y adaptar los ficheros recibidos. Los ficheros GERBER los genera el SW de diseño de la PCI, como exportación de documentos.

3.2. Plano de taladrado

- Coordenadas X-Y respecto de un punto de referencia fiducial
- Número de taladros
- Diámetro de cada uno
- Tolerancias en diámetro y posición
- Tipo (metalizado, no metalizado)

3.3. Plano de mecanizado

- Dimensiones, grosor PCI, tolerancias
- Panelizado
- Mecanizado final (fresado, V scoring, etc.)
- Acabado superficial parte conductora (Sn, Au, etc.)
- Acabados final (solder mask)

3.4. Especificaciones de Calidad y Fiabilidad

Se especifican todos los requisitos de la Calidad y la Fiabilidad que han de cumplir la PCI y el fabricante ha de asegurar y de certificar. Las especificaciones han de hacer referencia a los distintos criterios de inspección para los distintos tipos de parámetros:

- Acabado. Ausencia de señales de daño físico.
- Dimensiones de la PCI.
- Diámetros de taladros
- Anchura y grosor de pistas
- Nivel de Calidad (máximo número de unidades defectuosas admisibles por lote)
- Requisitos de inspección óptica
- Requisitos de inspección eléctrica
- Ensayos mecánicos (soldadura, desprendimiento de pistas, etc...)

3.5. Certificado del fabricante

En base a los requisitos establecidos por el diseñador, el fabricante ha de remitir con cada envío de lotes de PCIs, un certificado en el que haga constar todos los datos y resultados del proceso de inspección y de aseguramiento de la Calidad y de la Fiabilidad del lote remitido. Este certificado, una vez recibido por el diseñador, éste pueda confirmar que efectiva, ente se cumplen. En caso de detectar fallos, defectos ó incumplimientos, este recurso le permite al diseñador argumentar contra el fabricante.