

CIRCUITOS HÍBRIDOS

Índice

Índice	2
Introducción	3
Substratos de interconexión	4
Tecnología de lámina gruesa	6
Tecnología de lámina delgada	9
Corte por láser	11
Montaje	12
Encapsulado	13
Ventajas de los circuitos híbridos	14
Ventajas sobre los PCB (THT/SMT)	14
Ventajas sobre los circuitos integrados monolíticos	15
Aplicaciones típicas	16
Anexo I. Características de las tecnologías.	17
Anexo II. Algunos circuitos híbridos	18

Introducción

La microelectrónica híbrida es una tecnología de encapsulado e interconexión para combinar dos o más dispositivos semiconductores en un mismo sustrato de interconexión, típicamente para crear una función eléctrica específica.

Un circuito híbrido puede ser una mezcla de tecnología SMT, tecnología ASIC, tecnología de circuitos flexibles, etc. Pero el concepto de circuito híbrido se ha convertido gradualmente en sinónimo de circuitos en los que una de las tecnologías es tecnología de lámina gruesa (thick film) o de lámina delgada (thin film).

En las tecnologías de lámina gruesa o lámina delgada, las pistas, resistencias y condensadores se imprimen sobre un sustrato cerámico y posteriormente se someten a un proceso térmico denominado quemado (firing) a alta temperatura. Cuando estos circuitos se combinan con SMT, tenemos lo que normalmente se conoce por circuito híbrido.

El microcircuito híbrido podrá ser encapsulado en metal, material cerámico o plástico, recubierto con una lámina protectora o podrá no necesitar ningún tipo de encapsulado.

Los circuitos híbridos podrán insertarse en circuitos impresos como un componente más.



Figura 1: Circuito híbrido de capa gruesa, encapsulado para una aplicación de instrumentación electrónica.

Substratos de interconexión

Las funciones del substrato son:

- Situar las pistas para la interconexión eléctrica de los elementos tanto activos como pasivos.
- Dar soporte mecánico para los componentes
- Habilitar un camino para la eliminación del calor generado

El substrato en general contendrá capas alternativas de dieléctrico y de conductor. También dispondrá de conexiones entre capas de conductor por medio de vías. Además se podrán incluir capas resistivas para formar resistencias.

Los materiales y sus características empleados en las distintas tecnologías los vemos en la siguiente tabla.

Materiales	Thick Film	Thin Film
Substratos	Al ₂ O ₃ , AlN, BeO	Al ₂ O ₃ , AlN, BeO, Si, Cu, cerámico
Conductores (aleaciones)	Au, PdAu, PtAu, Ag, PdAg, PtAg, PtPdAg, Cu	Au, Al, Cu
Dieléctricos	Vidrio-cerámicos,	SiO ₂ , Poliamida
Resistencias	vidrio dopado con RuO ₂	NiCr, TaN

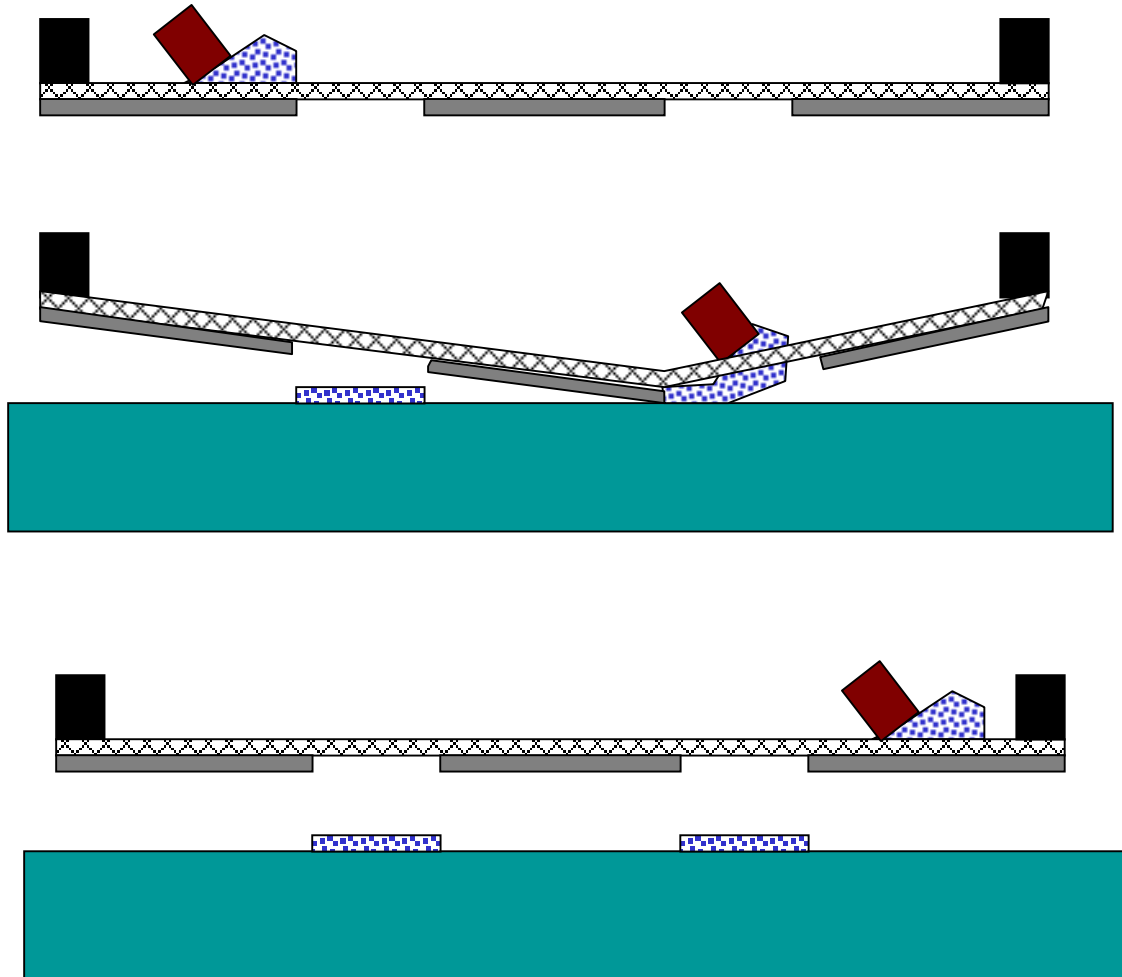
	THICK FILM	THIN FILM
Ancho de línea (µm min)	125	10
Diámetro de las vías (µm min)	250	15
Número de capas de metal	1-6	1-8
Resistencia de conductor (mΩ cm)	2-100	3-35
Permeabilidad relativa		
Substrato	7-10	4-12
Dieléctrico	5-9	2.8-4
Valores de resistencia	0.1-1GΩ	0.1-100kΩ
Conductividad térmica		
Substrato	25-260	25-260
Dieléctrico	2	0.15-1
Coste relativo		
Bajo volumen	Medio	Alto
Alto volumen	Medio	Medio

Las capas de conductor, dieléctrico y de resistencias se sitúan sobre el sustrato. El sustrato típico es alúmina (Al_2O_3), 96% Al_2O_3 para lámina gruesa y 99.5% Al_2O_3 para lámina delgada. Este material combina razonablemente bien, la conductividad térmica y el coeficiente de expansión térmica (CTE) con procesos a altas temperaturas, alta resistencia y bajo coste. Los sustratos basados en nitruro de aluminio (AlN) y berilio se usan cuando es necesario una alta conductividad térmica.

Propiedades	Si	Al_2O_3 (99.5%)	Al_2O_3 (96%)
Eléctricas			
Resistividad Ω cm	10^4 - 10^6	$>10^{14}$	$>10^{14}$
Térmicas			
Conductividad térmica W/m K	150	25	20
CTE 25 – 400 °C	3.5	6.5	7.1
Mecánicas			
Densidad g/cm ³	2.33	3.89	3.75
Resistencia a compresión kpsi		375	340
Temperatura máxima de uso	1400	1500	1500

Tecnología de lámina gruesa

El proceso para la fabricación de circuitos de lámina gruesa se representa en la siguiente figura:



Cada una de las capas se depositan mediante un proceso denominado "screen printing", el material que se deposita se denomina tinta o pasta. La pasta contiene tres componentes:

- Una fase funcional que define las propiedades eléctricas de la lámina una vez quemada

- Un pegamento que permite la unión entre la lámina quemada y el sustrato
- Un aditivo que da las propiedades de la impresión

Para los conductores la fase funcional puede ser oro, plata, cobre, paladio-plata, platino-plata, paladio-oro o platino-oro. La aleación escogida depende de diversos factores como la soldabilidad de los cables, especificaciones medioambientales, conductividad eléctrica y coste.

Los sistemas de resistencias se forman con cristales dopados con rutenio (RuO_2 , $\text{Bi}_2\text{Ru}_2\text{O}_7$, etc.). Las pastas para resistencias en la tecnología de lámina gruesa permiten un amplio rango de valores de resistencias, lo que se consigue variando el nivel de dopado de la pasta.

Los dieléctricos tienen tres funciones principales:

- Aislamiento entre capas de conductor
- Formación de condensadores
- Encapsulado del sustrato

Típicamente son un compuesto de cristales y material cerámico.

Para fabricar condensadores se usa titanato de bario, con el que se obtienen altas constantes dieléctricas. Es difícil conseguir unas tolerancias pequeñas para los condensadores.

Los materiales para el encapsulado son materiales con bajo punto de fusión (500°C) para poder realizar el proceso de quemado a baja temperatura. Esto minimiza el cambio en los valores de las resistencias. El material para el encapsulado debe estar libre de agujeros para pines y debe ser compatible con el proceso de corte por láser de las resistencias que están bajo él.

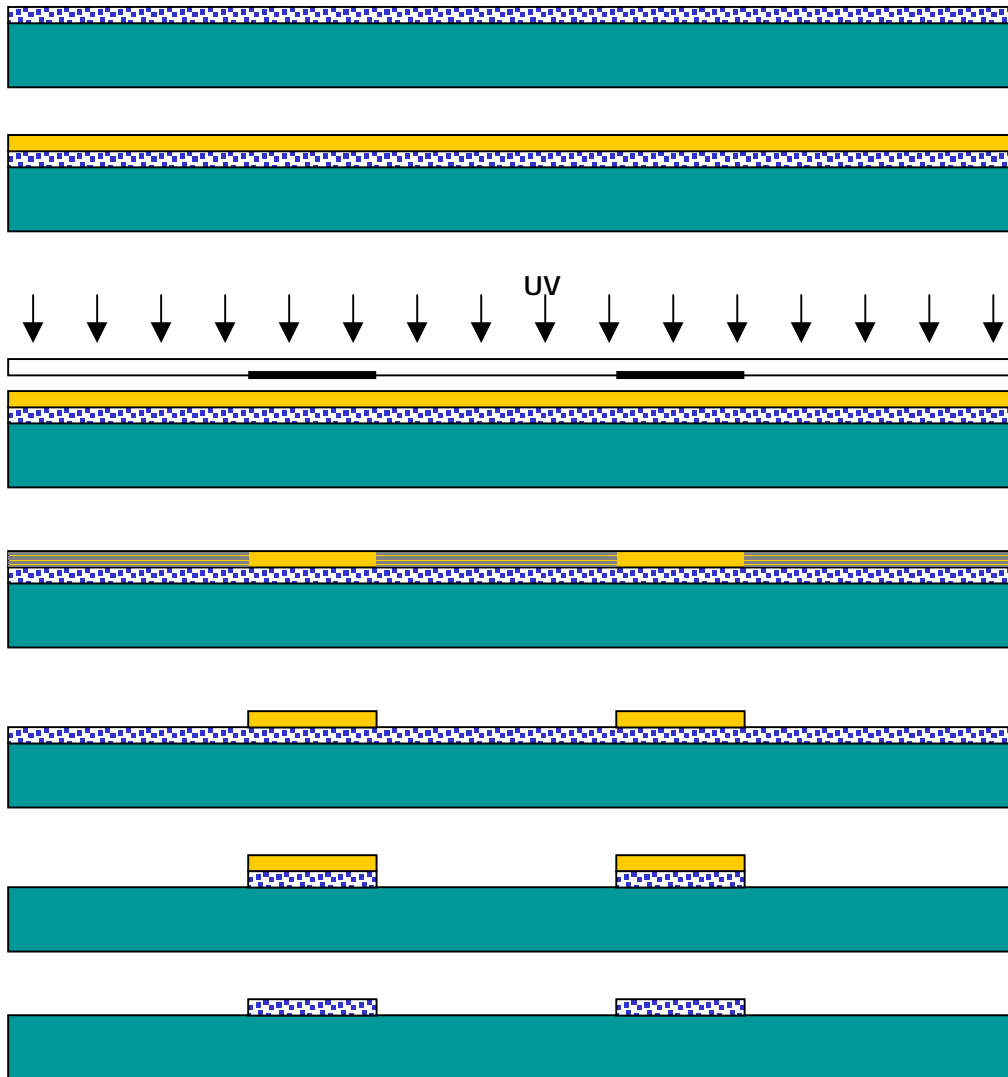
Los cristales en las resistencias y los dieléctricos sirven como medio de unión de la lámina al sustrato en el proceso de quemado. El conductor, sin embargo necesita un pegamento que se añade a la pasta.

El aditivo que da las propiedades de impresión es una solución de resina polimérica disuelta en un disolvente volátil. También se incluyen agentes humedecedores.

Después de la impresión las pastas se secan a unos 150°C durante 15 min para eliminar el disolvente volátil del aditivo. Después la pasta es quemada con un perfil de temperatura que consiste en 10 min a una temperatura pico de 850°C y un ciclo de quemado de entre 30 y 60 min. Durante la primera parte del perfil (300°C a 500°C) la resina no volátil se piroliza (división por calor). Entre 600°C y 850°C, el cristal se funde, y se produce la sinterización de las partículas, además se producen reacciones químicas que producen la adhesión al sustrato. Los conductores basados en metales preciosos se queman en atmósfera de aire mientras que los basados en cobre se queman en atmósferas de nitrógeno. Los distintos pasos impresión-secado-quemado se repiten para fabricar la estructura de interconexión.

Tecnología de lámina delgada

Los materiales para lámina delgada se depositan en vacío por evaporación, pulverización, o deposición química de vapor. Los patrones al contrario que en lámina gruesa se forman por fotolitografía y "etching".



Los patrones que se consiguen en esta tecnología son de líneas más finas por lo que se consiguen mayores densidades en las interconexiones y son muy apropiados para aplicaciones de alta frecuencia.

En la deposición por evaporación el material debe ser evaporado en el vacío por medio de aplicación de calor, este calor puede generarse por medio de un filamento por el que pasa corriente, por medio de chorro de electrones, y otros.

La pulverización es más usada que la evaporación, este método consiste en proyectar un chorro de iones de argón acelerados sobre un bloque de material, de forma que se eyecta un polvo de átomos del material que se deposita sobre la superficie.

La fotoresina se deposita uniformemente por haciendo girar la superficie a una velocidad entre 1000 y 5000 rpm. Posteriormente se debe calentar la resina para eliminar el disolvente y secarla.

Para las capas de conducción se suele usar Cu o Au ya que Al presenta una mayor resistividad, y al ser lámina delgada no suele cumplir las especificaciones. El problema es que tanto el Cu como el Au tienen mala adhesión al sustrato y a las capas de dieléctricos, por lo que es necesario utilizar materiales que funcionen como pegamento.

Corte por láser

Como las resistencias formadas por deposición muestran una distribución de valores (tolerancias excesivas), es necesario utilizar algún método para ajustar sus valores a los valores de diseño (tolerancias más estrechas). El método utilizado es el corte por láser.

Inicialmente las resistencias se depositan con valores que son un 10-20% menores que el valor de diseño (resistencias con mayor sección). Después de la fabricación, las resistencias se "recortan" con láser: se usa un láser para vaporizar el material de la resistencia, de forma que disminuye su anchura (y por tanto su sección) y aumenta el valor de la resistencia. El valor de la resistencia se monitoriza de forma continua (midiendo la caída de tensión al pasar una corriente continua), hasta que se alcanza el valor deseado y se detiene el corte. De esta forma podemos conseguir tolerancias muy pequeñas, en circuitos de lámina gruesa son del orden de 1%, con posibilidad de que sea 0.1%, y en circuitos de lámina delgada se pueden alcanzar en casos especiales hasta tolerancias menores de 0.05%

Montaje

Los circuitos híbridos usan circuitos integrados tanto encapsulados como sin encapsular (dado de silicio en bruto). Los componentes pasivos son normalmente SMT.

Si se usan circuitos integrados sin encapsular se reduce el área del circuito así como su peso, de la misma forma se reducen los retardos de propagación parásitos.

La ventaja de usar componentes encapsulados es que son más fáciles de pre-testear, es más sencillo su montaje y no requieren ningún encapsulado adicional del circuito híbrido final.

La unión de los dados de semiconductor al sustrato se realiza en dos fases:

- Unión al sustrato con resina epoxy
- Soldado de cables de conexión

Como las resinas epoxy son aislantes tanto térmicos como eléctricos se suelen añadir aditivos cerámicos para mejorar la conductividad térmica sin aumentar la conductividad eléctrica, generalmente son Al_2O_3 o AlN.

Las conexiones eléctricas entre los "pads" de aluminio en la parte superior del dado semiconductor y las pistas del sustrato se realizan mediante finos hilos (20 – 50 μm) que suelen ser de oro. La forma de unirlos suele ser la "soldadura termosónica" que es una combinación de procesos físicos: calor, presión y ultrasonidos.

Encapsulado

El encapsulado confiere protección mecánica y ambiental al circuito, contiene el interfaz de entrada/salida y actúa como difusor del calor.

Como se ha comentado, los circuitos híbridos que contienen dispositivos de semiconductor no encapsulado, necesitan algún tipo de encapsulado.

En aquellas aplicaciones de alto rendimiento y fiabilidad se suelen usar encapsulados metálicos, mientras que para las aplicaciones generales se usa el plástico. Se puede emplear de dos formas:

- Se recubre el circuito con una lámina y posteriormente se cura.
- Se moldea el plástico sobre el circuito.

Ventajas de los circuitos híbridos

Ventajas sobre los PCB (THT/SMT)

Calidad. Los circuitos híbridos se someten a corte por láser, ofreciendo menores tolerancias en componentes.

Fiabilidad. Los circuitos híbridos se testean como componentes independientes, por lo que son más fiables que los circuitos tradicionales hechos con componentes discretos. Las resistencias ya no tienen soldaduras ya que están depositadas sobre el sustrato, los circuitos trabajan a menor temperatura, por lo que la esperanza de vida aumenta.

Costes. En general los circuitos híbridos son más baratos que los circuitos convencionales:

- Un único componente a comprar en vez de muchos.
- Inventario reducido
- Inspección de entrada menor
- Montaje más sencillo, por lo que se reducen los costes asociados
- Menor número de rechazos por el aumento de fiabilidad
- Necesidades reducidas de mano de obra para montaje y administración

Miniaturización. Con respecto a los PCB THT se puede alcanzar una reducción de tamaño de 50%-65%.

Gestión térmica. La lámina gruesa cerámica extrae el calor de los circuitos permitiendo una mayor densidad, mayor fiabilidad y operación a menor temperatura.

Alta tensión.

Protección de tecnología. Un circuito híbrido es mucho más difícil de copiar que otro tradicional, por lo que la inversión en tecnología que se realice estará más protegida.

Ventajas sobre los circuitos integrados monolíticos

- Fácilmente adaptable a modificaciones de diseño
- Rápido ciclo prototipado-producción
- Posibilidad de mezclar distintos tipos de dispositivos (Bipolar, CMOS, potencia, analógico, digital, silicio, GaAs)

Aplicaciones típicas

Dispositivos electrónicos domésticos: Controles remoto de apertura de puertas, control de ebullición, regulación de temperatura, control de luces de emergencia, sistemas de seguridad, etc.

Automoción. Alarmas de automóviles, control de encendido, control del motor.

Sensores. Sensores ópticos e inductivos de proximidad, infrarrojos, transductores de presión, etc.

Sistemas de seguridad. Transmisores y receptores de radiofrecuencia, detectores ultrasónicos, detectores infrarrojos, etc.

Telecomunicaciones. Filtros, reguladores y detectores de corriente, amplificadores de micrófono, pre-amplificadores, modem, etc.

Fuentes de alimentación. Conversores DC/DC y AC/DC, control de tensión e intensidad, etc.

Equipos de sonido. Preamplificadores y amplificadores, mezcladores, ecualizadores, etc.

Anexo I. Características de las tecnologías.

Specifications		
	Thick Film	Thin Film
Substrate	Al ₂ O ₃ 96%	Glass/Al ₂ O ₃ 99%
Thickness	0,635mm	0,635mm
Max. Dimension	4"x4"	4"x4"
Substrate Strength	Excellent	Excellent
Dielectric Constant (1 MHz 20°C)	9,5	2/(5/9,5)
Thermal Conductivity (20°C) cal.cm/cm ² .°C	0,05	0,02/0,09
Produceability	Flow	Batch
RESISTORS		
Resistivity/Ω/Square	10/10M	20/200
Power Dissipation (70°C)	C,1w/mm ²	0,02-0,1m/mm ²
Resistor Range	1/100M	10/200K
Standard Tolerance	+/- 2%	+/- 0,5%
Tolerance Limit	+/- 0,5%	+/- 0,05%
Noise μV/V	Max. 5	< 0,05
TCR ppm/°C (-55+125°C)	0+/-50 to 0+/-150	0+/-15 to 0+/-150
Tracking ppm/°C (same substrate and resistor composition)	< 10	< 10
Line width/spacing (same substrate and resistor composition)	0,010" / 0,005"	0,010 / 0.005"
Power handling capability (same substrate and resistor composition)	Excellent	Fair
Multilayering (same substrate and resistor composition)	Yes	no
Mounting on 2 faces (same substrate and resistor composition)	Yes	No

Anexo II. Algunos circuitos híbridos

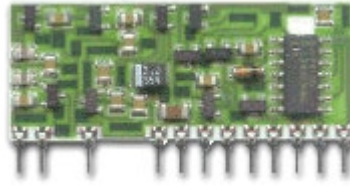


Figura 2: Electrónica doméstica

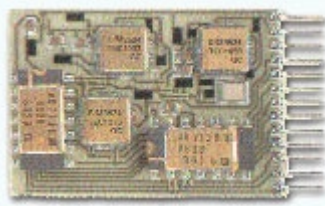


Figura 3: Laboratorios

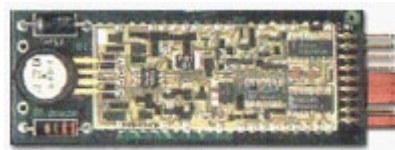


Figura 4: Sensores

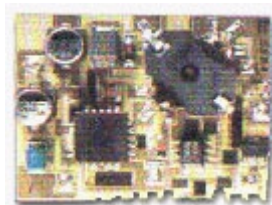


Figura 5: Fuentes de alimentación

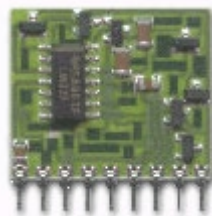


Figura 6: Equipos de sonido

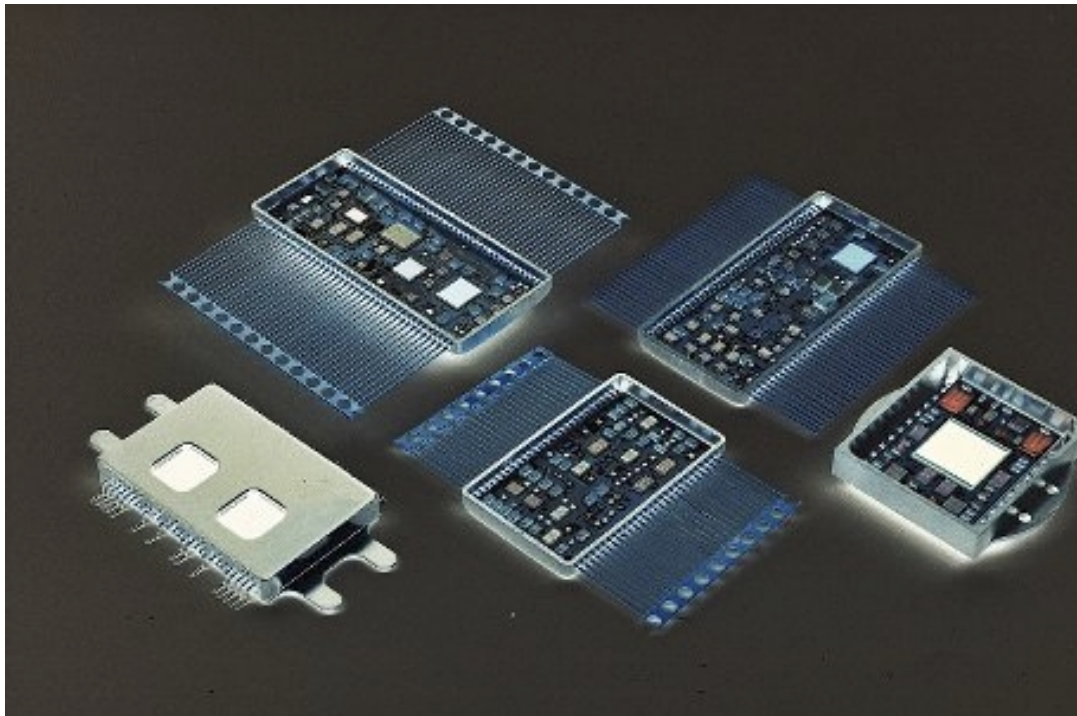


Figura 7: Circuitos híbridos en distintas fases del proceso de encapsulado



Figura 8: Circuito con una línea de pins

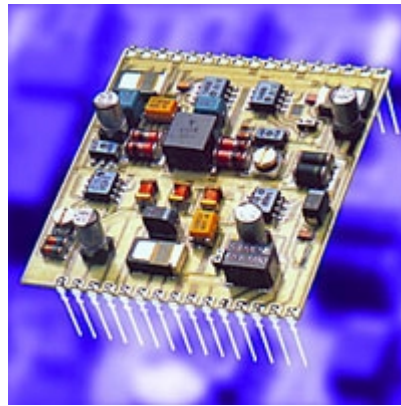


Figura 9: Circuito con dos líneas de pins

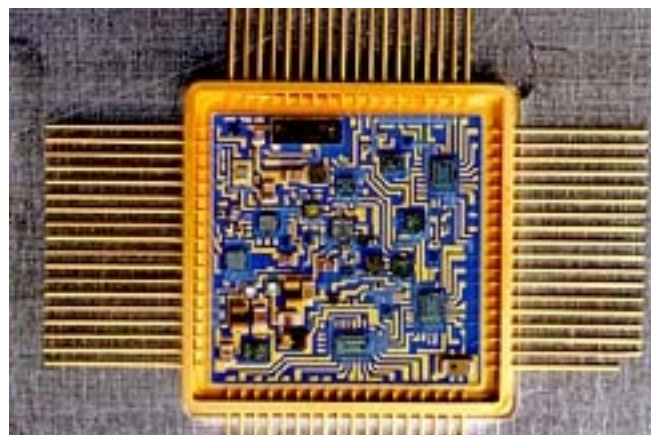


Figura 10: Circuito con cuatro líneas de pins

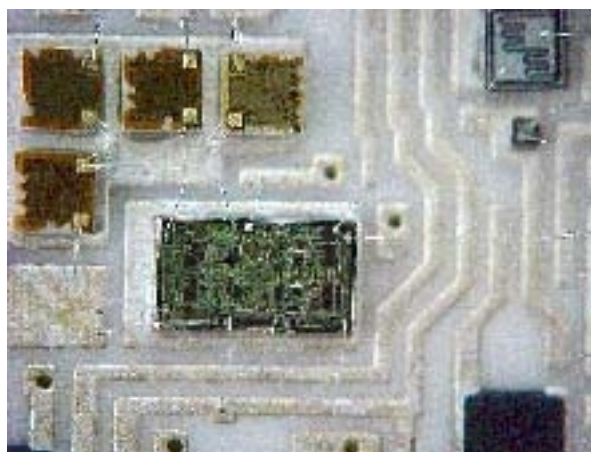


Figura 11: Detalle, pistas de aluminio

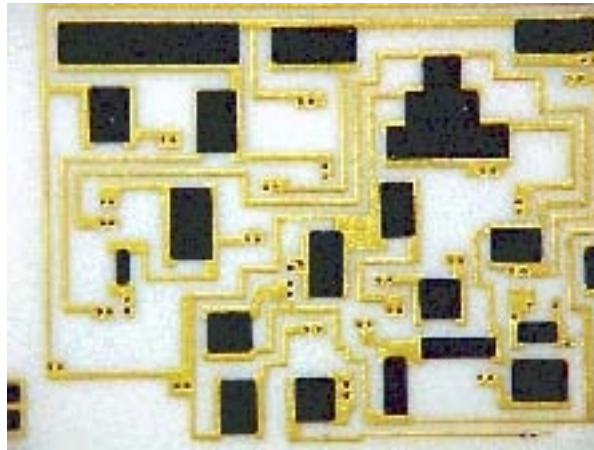


Figura 12: Detalle, pistas de oro