



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ Número de publicación: **2 164 904**

⑤① Int. Cl.<sup>7</sup>: B22D 23/00

B22F 9/08

C22C 28/00

H01L 23/36

H01L 23/373

⑫

TRADUCCION DE PATENTE EUROPEA

T3

⑧⑥ Número de solicitud europea: **96924997.8**

⑧⑥ Fecha de presentación: **18.07.1996**

⑧⑦ Número de publicación de la solicitud: **0 839 078**

⑧⑦ Fecha de publicación de la solicitud: **06.05.1998**

⑤④ Título: **Aleaciones de silicio para encapsulado electrónico.**

③⑩ Prioridad: **19.07.1995 GB 9514777**

④⑤ Fecha de la publicación de la mención BOPI:  
**01.03.2002**

④⑤ Fecha de la publicación del folleto de patente:  
**01.03.2002**

⑦③ Titular/es: **OSPREY METALS LIMITED**  
**Red Jacket Works, Millands Road**  
**Neath, West Glamorgan, SA11 1NJ, GB**

⑦② Inventor/es: **Leatham, Alan George;**  
**Ogilvy, Andrew Josef Widawski y**  
**Eliás, Luis**

⑦④ Agente: **Aguilar Camprubí, M. Mireia**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCION

Aleaciones de silicio para encapsulado electrónico.

5 La presente invención se refiere a un método de producción de un depósito de aleación de aluminio y silicio que tiene un coeficiente de dilatación térmica relativamente bajo y un coeficiente de dilatación térmica relativamente alto.

10 Los conjuntos encapsulados electrónicos proporcionan el medio para las interconexiones eléctricas así como el soporte mecánico de la circuitería electrónica delicada. Generalmente se considera que el nivel más básico, (nivel cero), del encapsulado electrónico es el chip semiconductor, (circuito integrado), que contiene puertas lógicas, transistores e interconexiones entre las puertas que se forman directamente en el chip. El propio chip se realiza a partir de una lámina u oblea delgada de material semiconductor cristalino tal como silicio o arseniuro de galio.

15 El encapsulado del chip o conjunto de chips en una estructura portadora de chips funcional y protectora es el siguiente nivel de encapsulado electrónico. Las estructuras portadoras de chips pueden contener un dispositivo semiconductor o simplemente pueden actuar como sustrato en el cual se fija un semiconductor. Las estructuras portadoras de chips pueden abarcar desde estructuras portadoras de un único chip hasta módulos multichip más sofisticados que contienen muchos chips individuales. El silicio es el semiconductor más ampliamente utilizado en los módulos de un único chip y multichip; el arseniuro de galio se utiliza en aplicaciones de alta frecuencia tales como circuitos integrados de microondas.

20 La expresión "nivel de integración" describe el número de componentes de microcircuito situados en un chip y de este modo es la representación de su complejidad y sofisticación. La tendencia de la industria electrónica ha consistido en aumentar la circuitería electrónica en el chip, es decir aumentar el nivel de integración, a la vez que se reducen las dimensiones físicas de los chips. Un resultado del aumento del nivel de integración es el aumento de las densidades de potencia y consecuentemente un mayor flujo térmico a disipar desde el área superficial de los chips. Consecuentemente, se requieren materiales con una buena conductividad térmica para satisfacer las demandas de gestión térmica de los niveles crecientes de integración.

25 El desarrollo de esfuerzos en las superficies intermedias de las estructuras portadoras entre los chips, las interconexiones y las uniones de soldadura, debidos a la oscilación térmica es una preocupación principal en el encapsulado electrónico. Por esta razón el coeficiente de dilatación térmica, CTE, de los materiales de encapsulado electrónico es un parámetro particularmente importante de los materiales. Una adaptación ajustada entre los CTEs de los materiales semiconductores de los chips y los materiales de las estructuras portadoras de los chips reduce el desarrollo de esfuerzos que pueden conducir a fallos de la circuitería electrónica. Los materiales semiconductores tienen unos CTEs bajos, por ejemplo, el silicio tiene un CTE comprendido entre 2,3 y 4,3 ppm/°C y el arseniuro de galio tiene un CTE próximo a 6 ppm/°C.

35 El aluminio puro y las aleaciones convencionales de aluminio han sido populares como materiales de encapsulado electrónico por la disipación de calor debido a sus altas conductividades térmicas comprendidas entre 200 y 235 W/m<sup>2</sup>K. No obstante, con los niveles superiores de integración utilizados en módulos multichip y circuitos integrados de microondas se producen demandas que no pueden ser satisfechas por los conjuntos encapsulados de aluminio. A saber, la desadaptación de la dilatación térmica inducida por los altos CTEs de estos materiales que están comprendidos entre 22 y 24 ppm/°C.

40 Otros materiales tales como una aleación Fe-29Ni-17Co, conocida también como KOVAR (una marca comercial registrada de The Carpenter Technology Corporation), con un CTE de 5,8 ppm/°C reducen la desadaptación de la dilatación térmica con los materiales semiconductores. No obstante, con una conductividad térmica entre 15 y 17 W/m<sup>2</sup>K, el Kovar no es el material óptimo para obtener una gestión térmica eficaz. Los metales refractarios de baja dilatación tales como el molibdeno y el tungsteno tienen también unas conductividades térmicas bajas en comparación con el aluminio. No obstante, cuando se mezclan con cobre para formar mezclas de W-Cu y Mo-Cu mediante pulvimetalurgia o colaminado, se obtienen materiales compuestos que ofrecen alternativas con unas conductividades térmicas mayores, aunque con una penalización considerable por el peso.

50 Las consideraciones sobre el peso son particularmente importantes en aplicaciones de aviónica y espaciales. Un método de producción de materiales ligeros de encapsulado electrónico con conductividades térmicas altas y CTEs bajos es aquel que utiliza compuestos de matriz metálica de aluminio (JOM, Julio de 1992, págs. 24 a 28). El carburo de silicio en partículas es una opción habitual de refuerzo cerámico

## ES 2 164 904 T3

debido a sus valores de un bajo coeficiente de dilatación térmica y una alta conductividad térmica, una buena disponibilidad, y un coste bajo, en comparación con otros materiales cerámicos en partículas tales como el nitruro de aluminio. No obstante, se requieren cargas de carburo de silicio comprendidas entre el 65 y el 75 % en volumen para obtener compuestos de matriz metálica de aluminio con los bajos CTEs requeridos para el encapsulado electrónico.

Los métodos para la fabricación de compuestos de matriz metálica de Al/SiC se pueden clasificar como sigue:

- (i) procesos en estado líquido en los cuales el material cerámico en partículas se añade a la aleación de matriz fundida, se agita para evitar la sedimentación del SiC debida a las diferencias de densidades, y se moldea por colada para obtener la forma deseada. No obstante, este método se limita a niveles de SiC de hasta el 30 % en volumen, por problemas con la fluidez, y a ciertas matrices de aleación de aluminio que no generan carburo de aluminio en exceso lo cual es perjudicial para las propiedades mecánicas y la resistencia a la corrosión.
- (ii) procesos en estado sólido en los cuales la aleación de la matriz se mezcla con material cerámico en partículas y se compacta. En un sentido práctico estos procesos se limitan a refuerzos de SiC de aproximadamente el 60 % en volumen fijando un límite en la reducción disponible del CTE.
- (iii) procesos de infiltración en los cuales una pieza compactada cruda de SiC se infiltra con la aleación de la matriz fundida. Mediante los procesos de infiltración se pueden conseguir cargas de partículas de SiC muy altas (de hasta el 75 % en volumen). Como el SiC-Al es no humectante, la infiltración se favorece utilizando una infiltración a presión o preparando las superficies de las partículas de SiC para favorecer la infiltración mediante acción capilar. Aunque son exitosos para conseguir la carga de SiC requerida para la adaptación del CTE con los materiales semiconductores, los compuestos de matriz metálica resultan extremadamente difíciles de mecanizar. Además, debido a la distribución multimodal de las dimensiones de las partículas de SiC requeridas para formar las piezas compactadas crudas, el compuesto MMC también resulta difícil de metalizar, de unir, y puede presentar una tendencia a experimentar fugas de gas en los altos niveles de vacío requeridos para ciertas aplicaciones, por ejemplo fugas de helio en aplicaciones de satélites.
- (iv) otro procedimiento es la formación por proyección, en la cual una aleación basada en aluminio se funde y se atomiza con un gas inerte y un material cerámico en partículas se inyecta en el chorro proyectado metálico que se deposita conjuntamente para formar un compuesto de matriz metálica. No obstante, con este método no es posible introducir la alta carga de SiC requerida (del 65 al 75 % en volumen). Dichos intentos han dado como resultado una porosidad excesiva, una aglutinación de las partículas y una pobre reproducibilidad de la carga de SiC.

Otro método para la producción de aleaciones de aluminio con un coeficiente de dilatación bajo es la formación por proyección de aleaciones hipereutécticas de aluminio-silicio en las cuales el silicio actúa como fase de refuerzo. En lugar de introducir una fase o fases cerámicas exógenas de refuerzo en forma de material en partículas o fibras, la fase de refuerzo, silicio, se forma “in situ” mediante nucleación y crecimiento a partir del líquido durante la solidificación del depósito formado por proyección. La ventaja de este método es que la fase endógena de refuerzo, silicio, está en perfecto contacto atómico con la matriz de aluminio ya que las fases de estado sólido que constituyen la aleación se obtienen a partir de la misma fuente, a saber, la aleación en el estado líquido. Hemos formado aleaciones de Al-Si por proyección con contenidos de silicio de hasta el 50 % en peso. Por ejemplo, en la Second International Conference on Spray Forming en 1993 publicamos un documento referente a dichas aleaciones en donde el objetivo principal era producir aleaciones de Al-Si de hasta el 50 % en peso para el tixoforado (es decir forjado en el estado semisólido para formar productos estructurales resistentes al desgaste). No obstante, se descubrió que no era posible formar materiales que contuvieran más del 35 % de silicio.

En el documento EP-A-411577, se da a conocer un método de producción de aleaciones basadas en aluminio que contienen silicio en donde se funden aleaciones de aluminio y silicio con hasta el 15 % en peso de Si y un polvo fino de silicio, preferentemente con un tamaño medio de partícula no mayor que 10  $\mu\text{m}$ , se inyecta como material en partículas para producir depósitos formados por proyección con contenidos totales de silicio de hasta el 55 % en peso.

Según el primer aspecto de dicha invención, “el silicio que es soluble en aluminio se proyecta lentamente en forma de partículas sólidas y se mezcla en la aleación de aluminio. De este modo es posible producir una aleación basada en aluminio que tiene un alto contenido de silicio sin aumentar la temperatura de fusión de la aleación de aluminio”. Un ejemplo presentado fue la preparación, la fusión y la proyección de una aleación de aluminio que contenía un 15 % en peso de silicio y la deposición simultánea de partículas

## ES 2 164 904 T3

de silicio con un tamaño medio de partícula de 3  $\mu\text{m}$  en cantidades que darían como resultado unos contenidos totales de silicio del 35 % en peso, el 45 % en peso y el 55 % en peso. La temperatura de colada de la aleación de Al-15 % en peso de Si que se citaba era de 650°C.

5 Hemos descubierto que la inyección de materia en partículas finas en dichas fracciones elevadas de volumen conduce a:

(a) una distribución no homogénea de la fase inyectada en la matriz,

10 (b) una porosidad excesiva,

(c) un alto contenido de óxido (debido a la utilización de polvo fino que tiene una gran área superficial),  
y

15 (d) rendimientos bajos (debido a que la materia en partículas finas es transportada alejándose con el gas de atomizado).

Por consiguiente, creemos que dicho método es impracticable.

20 Se sabe que las aleaciones de silicio-aluminio se pueden producir mediante fusión y moldeo por colada, ver por ejemplo, el artículo alemán, "Gefüge und thermische Volumenänderungen von Al-Si-Legierungen" de Chanyuang Gan y Erhard Hornbogen. No obstante, en la gama de composición que interesa (del 51 al 90 % en peso) la microestructura del material en la colada está caracterizada por unos cristales de silicio primarios, en su mayoría grandes, discretos, con superficies planas y con una relación de aspecto elevada, que afectan negativamente a las propiedades mecánicas y a la mecanización. Por ejemplo, en las Figuras 1 y 2 de esta solicitud se muestra la microestructura del caso de la colada en coquilla de la aleación Al-70 % Si. Los cristales de silicio primarios aparecen negros en contraposición al componente eutéctico de Al-Si de color gris claro. El tamaño de las partículas del silicio primario, que aparecen como cristales aciculares individuales, es del orden de milímetros lo cual da como resultado una microestructura muy anisotrópica. Esto la convierte en inadecuada para la aplicación al encapsulado electrónico. Por ejemplo, las placas que van a constituir los conjuntos encapsulados electrónicos tienen un grosor típico de 1 a 5 mm, con un material de colada en coquilla sería posible que un cristal individual de silicio pasara totalmente a través del grosor de la placa. Esto haría que el material resultara extremadamente difícil de mecanizar para precisar los acabados de la superficie requeridos para la metalización, ya que el cristal de silicio sería susceptible de experimentar fracturas en una única dirección a lo largo de un plano cristalográfico preferido. Además, debido al gran tamaño de los cristales de silicio, el CTE y la conductividad térmica locales del material pueden variar ampliamente dependiendo de si el aluminio o el silicio está en contacto con el chip o la estructura portadora del chip. Generalmente se considera que estas aleaciones no tienen ninguna aplicación en la ingeniería y se utilizan únicamente como aleaciones madre para industrias de procesamiento de metal líquido o desoxidación de acero.

40 Según nuestra invención, proponemos un procesado que utiliza una aleación basada en silicio mediante la atomización con gas inerte para formar un depósito formado por proyección según la reivindicación 1.

45 Preferentemente un depósito formado por proyección coherente se compactaría isostáticamente en caliente a una temperatura por encima de la curva de solidificación para producir un producto de una densidad sustancialmente del 100 %.

50 Con el producto de la invención, cualquier recorrido de la fractura sería tortuoso en lugar de en un plano único. Por otra parte, con el término "finos" queremos decir que tienen un tamaño del precipitado de silicio menor que 200 micras en la condición del material proyectado. Por ejemplo, el tamaño preferido del precipitado en la condición del material proyectado es menor que 100 micras. Para las aplicaciones de encapsulado eléctrico, se prefiere que el contenido de silicio sea mayor que el 65 %. Las Figuras 3 y 4 ilustran una aleación Al-80 % Si formada por proyección y compactada isostáticamente en caliente, el componente gris oscuro es silicio y el componente blanco es aluminio. Se puede observar claramente la fase sustancialmente continua del silicio.

55 Si se desea, en el chorro proyectado de atomización de pueden introducir partículas cerámicas. Las Figuras 5 y 6 ilustran unas aleaciones de Al-70 % en peso de Si y Al-80 % en peso de Si formadas por proyección y compactadas isostáticamente en caliente con una adición de aproximadamente el 15 % en peso de SiC de 9  $\mu\text{m}$ , el componente blanco es aluminio, el componente gris claro es silicio, y el componente más oscuro es carburo de silicio en partículas. Las partículas cerámicas se pueden inyectar en el chorro proyectado o, cuando se realice polvo, simplemente se pueden añadir al material en polvo.

## ES 2 164 904 T3

El método puede comprender las etapas adicionales de compactar isostáticamente el material en caliente. Este puede estar en la condición semisólida, con o sin encapsulación.

Si el material de aleación incluye adiciones de material cerámico en partículas, tal como carburo de silicio, hasta un 35 % en volumen el material compuesto de la matriz metálica se puede encapsular, evacuar, y compactar isostáticamente en caliente en la condición semisólida.

Las otras adiciones de la aleación se añaden pausadamente y excluyen los elementos de traza. Las adiciones pueden incluir:

Magnesio - hasta el 2 % en peso - para refinar la fase de silicio.

Cobre - hasta el 5 % en peso - que forma una fase terciaria con un bajo coeficiente de dilatación térmica.

Hierro - hasta el 8 % en peso - que forma una fase terciaria con un bajo coeficiente de dilatación térmica.

Circonio - hasta el 0,5 % en peso - para reforzar la matriz de aluminio.

Las adiciones también pueden incluir cualquier adición de aleación añadida convencionalmente a las aleaciones de aluminio y silicio.

Si se desea, el material de la aleación puede contener material cerámico en partículas, tal como SiC hasta un 35 % en volumen, pero no en volúmenes tan grandes como para hacer que la mecanización y la metalización del material resulten difíciles. Adecuadamente, las aleaciones o compuestos MMCs según la invención tienen un coeficiente de dilatación térmica comprendido entre 4,5 y 11 ppm/°K y una conductividad térmica mayor que 100 W/m°K. El valor máximo de conductividad térmica que se podría conseguir dependería del material de refuerzo en partículas, por ejemplo nitruro de aluminio o diamante.

El método se puede utilizar para producir un material de encapsulado microelectrónico. El material de la aleación se puede procesar en estado semisólido para obtener un componente de encapsulado de una configuración deseada y/o se puede mecanizar. La invención se puede aplicar también en aplicaciones en donde se requiera adaptarse a coeficientes térmicos de otro material y/o en donde sea necesario poco peso y/o en donde sea necesario poco peso y se disponga de piezas que se desplazan rápidamente con diferentes coeficientes de dilatación y/o una conductividad térmica baja.

Las diferencias innovadoras de la presente invención son el resultado del hecho de que como consecuencia del método de fabricación el componente principal es silicio como fase sustancialmente continua con el aluminio como elemento de aleación. Al atomizar la aleación de silicio, el crecimiento de los cristales de silicio comienza durante el vuelo atomizado de las gotas y, en el depósito, se crea un gran número de lugares de nucleación que crecen y chocan entre ellos para formar una estructura de red en la cual los cristales de silicio están orientados aleatoriamente y no son discretos ni están orientados fuertemente como en una estructura moldeada por colada y por esta razón presentan una fase sustancialmente continua que hace que el depósito sea estructuralmente coherente y capaz de ser mecanizado para precisar los acabados de la superficie.

Las ventajas de los materiales de aleación producidos de esta manera consisten en que son mecanizables con herramientas convencionales de carburo, son soldables, soldables con soldadura fuerte y se pueden recubrir con materiales tales como oro.

A continuación en la Tabla 1 se presentan datos preliminares correspondientes a dos tipos de compuestos novedosos de matriz metálica dirigidos, respectivamente, a circuitos integrados de microondas (MIC) y a módulos multichip (MCM). Las Tablas 2 y 3 proporcionan una comparación selectiva entre los materiales de aleación de la presente invención y una gama amplia de semiconductores y otros materiales utilizados en la industria electrónica. Estos detalles se han publicado el 17 de noviembre de 1995 bajo el Proyecto de la Comunidad Europea N° BRE2-CT2-0146.

# ES 2 164 904 T3

TABLA 1

*Propiedades seleccionadas de materiales de encapsulado electrónico de compuestos MMC novedosos*

5	Propiedad	Materiales de encapsulado MIC	Materiales de encapsulado MCM
	Coefficiente de dilatación térmica ppm/K	Especificado entre 6,5 y 7,5 ± 0,5 ppm/K 0-500°C	Especificado entre 4,5 y 6,0 ± 0,5 ppm/K 0-500°C
10	Conductividad térmica Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	120 - 140	110 - 130
	Calor específico Jkg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	~750	~750
	Resistencia a la rotura por tracción MPa	~130	~130
15	Módulo de Young GPa	140 (pronosticado)	140 (pronosticado)
	Densidad gm/cc	2,5	2,4
	Porosidad	< 0,1 % no relacionada	< 0,1 % no relacionada
20	Resistividad superficial μΩ.cm	80 - 150	200 - 1600
25	Métodos de mecanización probados	PCD: desgaste despreciable Carburo: cierto desgaste EDM. Láser (< lmm)	PCD: desgaste despreciable EDM. Láser (< lmm)

TABLA 2

*Propiedades seleccionadas de materiales, sustratos y encapsulado electrónicos*

30	Material	Conductividad térmica Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	Dilatación térmica 10 <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	Densidad g/cc	Composición
	GaAs	42	6,5	5,3	GaAs
35	Si	84	3,0	2,33	Si
	Alúmina	33	6,7	3,8	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Nitruro de aluminio	165	5,3	3,3	AlN
40	Óxido de berilio	260	7,6	2,9	BeO
	Compuestos MMC de Al-SiC	160 (típica)	7,0	3,0	Al-70 SiC (típica)
	Aluminio	201	23,2	2,7	Al
45	Cobre-tungsteno	160	7,6	17	80W-20Cu (típica)
	Titanio	22	9,5	4,5	Ti
	Kovar	16,7	6	8,2	54Fe-29Ni-17Co
50	Cobre	385	16,1	8,9	Cu
	Compuesto MMC novedoso para encapsulado MIC	130	6,8	2,5	Al-Si-(SiC)
55	Compuesto MMC novedoso para encapsulado (Si) MCM	110	4,8	2,5	Al-Si-(SiC)

60

# ES 2 164 904 T3

TABLA 3

*comparación entre compuestos MMCs novedosos y otros materiales actuales de encapsulado*

5	Característica	Compuestos MMC novedosos	Compuestos MMC actuales	Kovar	Ti	Cu-W	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	AlN
10	Adaptación de dilatación al GaAs	Sí	Sí	Sí	Deficiente	Sí	Sí	Sí
15	Adaptación de dilatación al silicio	Casi	No	Casi	No	No	No	Casi
20	Conductividad térmica	Alta	Alta	Muy baja	Muy baja	Alta	Baja	Alta
25	Mecanización	Buena con todos los métodos convencionales	Deficiente - sólo diamante y EDM	Buena con todos los métodos convencionales	Buena con todos los métodos convencionales	Razonable	Deficiente- Sólo diamante	Deficiente- Sólo diamante
30	Densidad	Baja	Baja	Alta	Media	Muy alta	Media	Baja
35	Recubrimiento metálico	Medio	Difícil	Fácil	Difícil	Difícil	Difícil	Difícil
	Coste	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto	Bajo	Alto

A continuación se describen cuatro ejemplos de composiciones de aleaciones adecuadas cada una de las cuales se puede formar por proyección según la descripción de nuestra patente europea N° 0225732B, cuyo contenido se incorpora al presente documento a modo de referencia. De forma adecuada las condiciones de la proyección son:

Gas de atomización - Nitrógeno

Relación de gas con respecto al metal - 4 m<sup>3</sup>/kg

Distancia de proyección - 700 mm

El tamaño de la palanquilla es adecuadamente el correspondiente a 10 kg con un diámetro de 150 mm.

### Ejemplo 1

80% en peso de Si

20% en peso de Al.

El CTE de esta aleación es 4,8 ppm/°C y la conductividad térmica en 120 W/m°K es ligeramente menor que en el Ejemplo 2, pero el material puede ser mecanizado más fácilmente por los fabricantes de los componentes.

## ES 2 164 904 T3

### Ejemplo 2

70 % en peso de Si

5 30 % en peso de Al con una adición del 15 % en volumen de SiC.

Esta tiene un CTE de 6,22 ppm/°C y una conductividad térmica de 150 W/m°K.

### Ejemplo 3

10 70 % en peso de Si

30 % en peso de Al

15 CTE de 6,8 ppm/°C

Conductividad térmica de 140 W/m°K.

### Ejemplo 4

20 55 % en peso de Si

45 % en peso de Al

25 CTE de 10,5 ppm/°C

Módulos de Young de 115 GPa

Tensión de fluencia de 140 MPa.

30

35

40

45

50

55

60



REIVINDICACIONES

1. Método de producción de un depósito de aleación de aluminio y silicio que comprende las siguientes etapas:

5 fusión de una aleación de aluminio y silicio que con tiene entre un 51 % y un 90 % de Si;

atomización de dicha aleación con gas inerte formando un chorro proyectado en el cual el crecimiento de los cristales de silicio comienza durante el vuelo atomizado de las gotas; y

10 recogida del chorro proyectado como un depósito coherente en el cual se crea un gran número de lugares de nucleación de silicio que crecen y chocan entre ellos para formar una fase sustancialmente continua de silicio constituida por cristales de silicio finos y orientados aleatoriamente,

15 estando comprendido el coeficiente de dilatación térmica del depósito coherente entre 4,5 y 11 ppm/°K; y

siendo la conductividad térmica del depósito coherente mayor que 100 W/M°K.

20 2. Método según la reivindicación 1, que comprende la fusión de una aleación de silicio que contiene más del 65 % en peso de Si.

3. Método según la reivindicación 1 o 2, en el cual el tamaño del precipitado de silicio es menor que 200 micras.

25 4. Método según la reivindicación 3, en el cual el tamaño del precipitado de silicio es menor que 100 micras.

30 5. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende la adición pausada de adiciones de aleación seleccionadas de entre el 2 % en peso de magnesio, hasta el 5 % en peso de cobre, hasta el 8 % en peso de hierro y hasta el 0,5 % en peso de circonio.

6. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende la etapa adicional de la introducción de partículas cerámicas.

35 7. Método según la reivindicación 6, en el cual las partículas cerámicas son partículas de carburo de silicio.

40 8. Método según la reivindicación 7 o 6, en el cual las partículas cerámicas se introducen mediante inyección en el chorro proyectado durante la deposición por proyección de la aleación de silicio.

45  
50  

---

**NOTA INFORMATIVA:** Conforme a la reserva del art. 167.2 del Convenio de Patentes Europeas (CPE) y a la Disposición Transitoria del RD 2424/1986, de 10 de octubre, relativo a la aplicación del Convenio de Patente Europea, las patentes europeas que designen a España y solicitadas antes del 7-10-1992, no producirán ningún efecto en España en la medida en que confieran protección a productos químicos y farmacéuticos como tales.

60 Esta información no prejuzga que la patente esté o no incluida en la mencionada reserva.

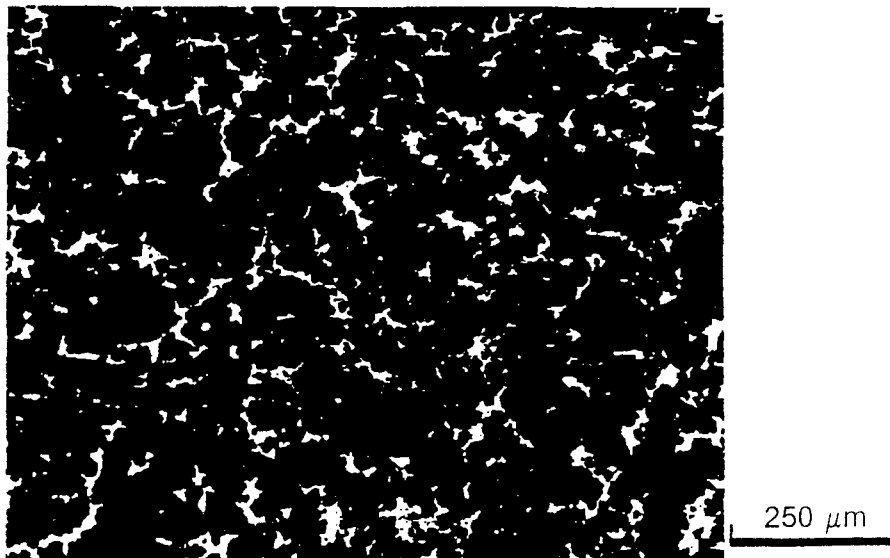
---



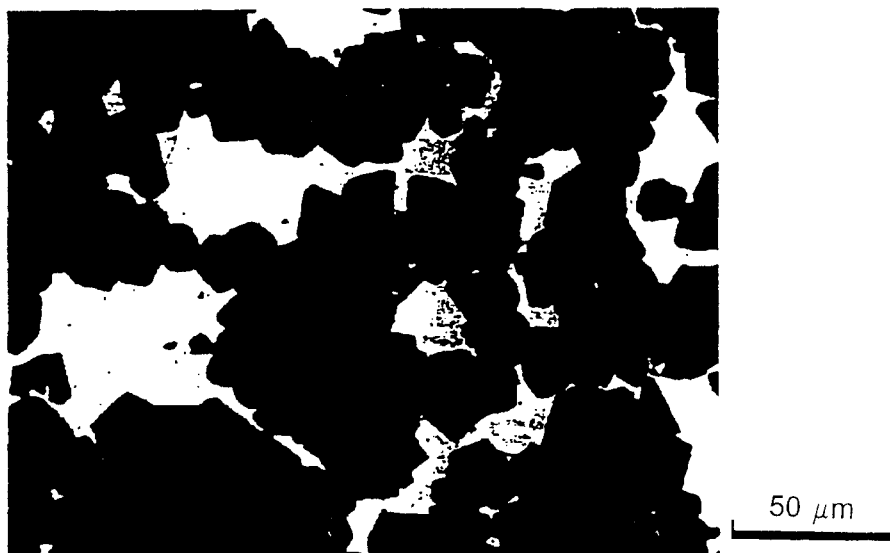
**Figura 1.** Microestructura de la colada en palanquilla de la aleación de Al-70 % en peso de Si con poco aumento.



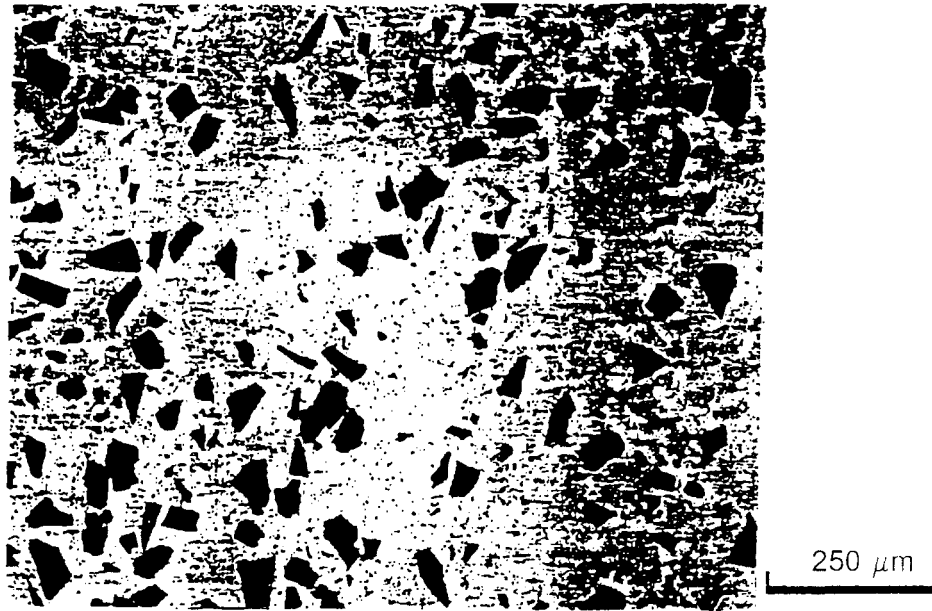
**Figura 2.** Microestructura de la colada en palanquilla de la aleación de Al-70 % en peso de Si con mucho aumento.



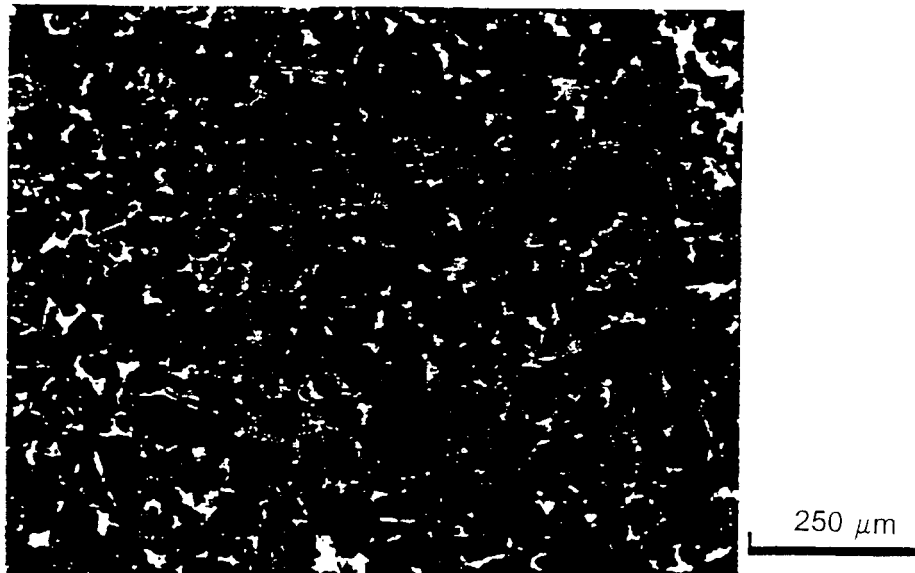
**Figura 3.** Microestructura de la aleación de Al-80 % en peso de Si, formada por proyección y comprimida isostáticamente en caliente con poco aumento.



**Figura 4.** Microestructura de la aleación de Al-80 % en peso de Si, formada por proyección y comprimida isostáticamente en caliente con mucho aumento.



**Figura 5.** Microestructura del compuesto MMC de la aleación de Al-70 % en peso de Si + 15 % en volumen de SiC, formado por proyección y comprimido isostáticamente en caliente.



**Figura 6.** Microestructura del compuesto MMC de la aleación de Al-80 % en peso de Si + 15 % en volumen de SiC, formado por proyección y comprimido isostáticamente en caliente.