

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE INGENIERÍA

Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



“Caracterización de formación de ínter-metálicos en uniones de soldado de alambre de oro con superficies de aluminio”

TESIS

Que para obtener el grado de:

Maestro en Ingeniería

PRESENTA

Jose Francisco Ordóñez Íñiguez

Director

Dr. Navor Rosas González

Mexicali, Baja California, Junio del 2008.

ÍNDICE

	PÁGINA
Resumen	5
Capítulo 1 Introducción	6
Objetivo principal	7
Objetivos específicos	8
Antecedentes	9
1.1 Semiconductores	9
1.2 Pegado de dados	13
1.3 Plasma	15
1.4 Alambrado de microcircuitos	21
Capítulo 2 Materiales y métodos	24
2.1 Plasma	24
2.2 Alambrado de microcircuitos	26
2.3 Almacenamiento a alta temperatura y humedad como método de envejecimiento	26
2.4 Pruebas de remoción de bola y jalón de alambre.	27
2.5 Corte transversal.	29
2.6 Microscopio electrónico de barrido	30
Capítulo 3 Resultados y observaciones	32
3.1 Resultados Iniciales	32
3.2 Resultados de porcentaje de íter-metálicos usando solución de KOH.	33
3.3 Resultados de porcentaje de íter-metálicos usando la prueba de jalón de alambre	36
3.4 Resultados de corte transversal y análisis de microscopio electrónico de barrido	41
3.5 Conclusiones	50
3.6 Recomendaciones	53
Bibliografía	55
Glosario	57

Índice de Figuras

Capítulo 1		Página
Figura 1.1	La adición de impurezas como el boro a los semiconductores intrínsecos, crea deficiencias de electrones de valencia llamadas vacantes.	11
Figura 1.2	La adición de impurezas pentavalentes como el antimonio contribuye con electrones libres, incrementando la conductividad del semiconductor intrínseco.	12
Figura 1.3	Energía de bandas en equilibrio.	13
Figura 1.4	Detalle de la zona de agotamiento.	13
Figura 1.5	Equipo pegador de dados ESEC 2008 y dispensador de resina epóxica.	14
Figura 1.6	Estados de la materia comúnmente conocidos.	16
Figura 1.7	Formación del plasma a partir de un gas energizado.	17
Figura 1.8	Ilustración de los cuatro estados físicos del oxígeno.	18
Figura 1.9	Componentes del plasma.	19
Figura 1.10	Ilustración del átomo.	19
Figura 1.11	Equipo plasma panasonic.	21
Figura 1.12	Esquema del proceso de alambrado de microcircuitos.	22
Figura 1.13	Bola de oro soldada en la superficie de aluminio.	23
Figura 2.1	Concentración de elementos removidos por el plasma mediante análisis de energía dispersiva de rayos-x.	25
Figura 2.2	Equipo automático de soldado de microcircuitos.	26
Figura 2.3	Cámara de humedad y temperatura TENNEY.	27
Figura 2.4	Equipo de medición de fuerza de soldado DAGE4000	28
Figura 2.5	Ilustración de la prueba de remoción de bola.	28
Figura 2.6	Prueba de jalón de alambre y códigos de falla.	29
Figura 2.7	Muestra suspendida en resina epóxica.	30
Figura 2.8	Equipo de rebajado manual	31

Figura 2.9	Equipo de microscopía electrónica de barrido y análisis de energía dispersiva de rayos-x.	32
Figura 3.1	Comportamiento de los resultados de remoción de bola a través del tiempo	33
Figura 3.2	Muestras tomadas a 0 hr.	35
Figura 3.3	Muestras tomadas a 250 hr.	36
Figura 3.4	Muestras tomadas a 500 hr.	37
Figura 3.5	Ilustración de la prueba de jalón de alambre, mid-span y top of loop.	38
Figura 3.6	Comparación de tensión aplicada durante la prueba de jalón de alambre.	38
Figura 3.7	Bola de oro removida mediante la prueba de jalón de alambre usando el método mid-span.	39
Figura 3.8	Bola de oro removida mediante la prueba de jalón de alambre usando el método top of loop.	39
Figura 3.9	Análisis de cobertura de íter metálicos usando 3 diferentes condiciones de soldado a (4.5 g/mil-In ² , 5.5 g/mil-In ² y 6.5 g/mil-In ²) usando software de análisis de imágenes	41
Figura 3.10	Gráfica de crecimiento de Íter metálicos a través del tiempo	42

Resumen.

El objeto de análisis en este trabajo, fue un circuito que consiste de un dado de silicio con superficie de soldado de aluminio. Se sometieron 12 muestras a tres tipos de soldado: pobre estándar y optimizado, así como pruebas de envejecimiento a alta temperatura y exposición en humedad, se procedió a evaluar el porcentaje de cobertura de íter-metálicos usando diferentes pruebas mecánicas y metalográficas, a fin de estudiar el comportamiento de las mismas a través del tiempo. De los resultados obtenidos, se encontró que la formación de íter metálicos se inicia al momento de la operación de soldado, resultando en la formación de una delgada capa de íter metálico, la cual proporciona a la conexión de una alta resistencia mecánica y baja resistencia eléctrica en el punto de contacto. La interpretación de los resultados indica que la íter difusión continúa a través del tiempo y reacciona a los cambios de temperatura a los que el circuito microelectrónico se somete durante el proceso de ensamble o bien, durante su funcionamiento. La capa formada se presenta con varios compuestos íter metálicos y en ocasiones en una gran formación de fisuras a través de la conexión. En base a los datos obtenidos, se concluye que se obtienen los mejores resultados al utilizar el proceso de soldado optimizado a 6.5 g/ mil-In^2 , debido a que en estas condiciones, probó tener una mayor eficacia en la formación de compuestos íter metálicos así mismo es necesario un reforzamiento de las pruebas iniciales de medición, así mismo es necesario un reforzamiento de las pruebas iniciales de medición, así como de los métodos de análisis de fallas empleados actualmente a fin de predecir con una mayor exactitud el crecimiento de los compuestos y predecir la creación de fisuras entre los mismos. Finalmente se ve la posibilidad de continuar con este estudio y análisis para poder determinar los mecanismos de crecimiento en relación al tiempo y la temperatura.

JUSTIFICACIÓN

Durante los últimos años la compañía Skyworks ubicada en Mexicali, B.C. México, ha ido desarrollando circuitos más complejos tanto en construcción como en tamaño. Dichos circuitos requieren ser sometidos a varias pruebas de confiabilidad para asegurar su buen funcionamiento, entre ellas, el almacenamiento en cámaras de alta temperatura y humedad, pruebas destructivas para medir la fuerza de soldado. Sin embargo, existen varios procesos y variables que afectan su funcionamiento como es el caso de una escasa formación de intermetálicos al momento de soldar alambre de oro en superficies de aluminio. Esto resulta en un desprendimiento de la conexión al momento de ser sometido a alguna de las pruebas de confiabilidad como ciclos de temperatura, exposición al tiempo, humedad o durante su funcionamiento en el dispositivo final, lo cual puede llevar a quejas por parte del cliente. Se escogió el dado de Silicio fabricado en Woburn Massachusetts ya que históricamente se observa una mayor tendencia a presentar problemas de soldado del oro con el aluminio.

Aun mediante estas pruebas, no se asegura una correcta formación de intermetálicos entre el oro y el aluminio que garanticen una conducción de corriente eléctrica por el dispositivo. Esto representa un riesgo para la confiabilidad del producto durante su funcionamiento.

Objetivo Principal.

En la presente investigación se estableció encontrar la causa de la poca formación de inter-metálicos y el desarrollo de fisuras a través del área de soldado que impide la conductividad eléctrica en un dispositivo semiconductor. Es posible que este problema no se presente durante la prueba eléctrica y sí durante su funcionamiento con el producto final, lo cual trae como resultado quejas por parte de los compradores y su repercusión para la compañía.

Así mismo este estudio traerá como resultados un fortalecimiento del proceso de ensamble mediante la caracterización de los factores que inciden en este tipo de fallas.

Método

El método experimental se desarrolló siguiendo los estándares:

- a) “Estándar de la industria para pruebas de soldabilidad” JESD22-B102D (JEDEC),
- b) “Pruebas de remoción de bola” JESD22-B116,
- c) “Pruebas de jalón de alambre” MIL-STD-38534
- d) “Pruebas de estrés mecánico acelerado para alambrado de microcircuitos” conforme al Estándar MIL-STD-883.

En estos estándares se describen los pasos a seguir y los materiales que deben ser utilizados para llevar a cabo las pruebas de soldabilidad y valoración de fuerza de soldado entre la bola de oro y la superficie de aluminio. El objeto de estudio fue sobre la operación de un dado semiconductor consistente de un dado de silicio con superficies de soldado de aluminio. Para el experimento se utilizaron diferentes combinaciones de gas plasma (argón y argón-oxígeno) y también se tomaran en cuenta las diferentes variables del proceso (exposición al medio ambiente, humedad, temperatura, etc.)

Asimismo, las muestras se sometieron a diferentes pruebas de calidad como remoción de bola, inspección metalográfica y análisis de superficies del corte transversal de las muestras en microscopio electrónico de barrido, en las cuales se revisó el porcentaje

de íter-metálicos formados y las posibles alteraciones físicas debido a la combinación de parámetros de ensamble, también se realizó una prueba de confiabilidad en una muestra de todos los grupos de materiales.

Objetivos Específicos

El objetivo general de la investigación es analizar las fallas de alambres desprendidos para hallar las causas de la pobre formación de íter-metálicos en la superficie de soldado, para lograr lo siguiente, se realizaron diferentes actividades experimentales:

- Evaluar los diferentes niveles de alambrado de microcircuitos a fin de evaluar su impacto en la escasa formación de íter-metálicos.
- Caracterizar y comprender el comportamiento de la formación de íter-metálicos a través del tiempo y la temperatura.
- Evaluar el proceso de ensamble para determinar la contribución de la variación en el mismo con este tipo de fallas.

Capítulo 1

Antecedentes

1.1 Semiconductores

Los materiales conductores tienen propiedades características, entre las cuales se encuentran el comportarse como aislantes a temperaturas muy bajas y tener una buena conducción eléctrica a temperatura ambiente.

Los semiconductores intrínsecos son materiales que no contienen átomos de impureza, estos materiales tienen comportamientos característicos a temperatura ambiente. La energía de los átomos permite que un pequeño número de electrones participe en el proceso de conducción, a diferencia de los metales en los cuales la resistencia del material disminuye con la temperatura.

En los materiales semiconductores, conforme se incrementa la temperatura, la energía de los electrones de valencia también lo hace, permitiendo que un mayor número de ellos rompan la brecha de energía de la banda de conducción.

Cuando un electrón gana suficiente energía como para escapar de la atracción electrostática del átomo, deja una vacante, la cual es llenada por otro electrón. Esta vacante producida se le conoce como hueco, conforme esta corriente fluye a través del semiconductor, las vacantes fluyen en la dirección opuesta. Conforme se tiene un "n" número de electrones en el semiconductor, también se tiene un número "n" de electrones. Esta concentración de cargas se puede expresar mediante la relación $n = p$, donde n es el número de electrones y p es el número de vacantes por unidad de volumen.

La adición de un pequeño porcentaje de átomos de impurezas en la estructura cristalina del silicio o el germanio induce cambios en el comportamiento eléctrico del material produciendo semiconductores tipo "p" y tipo "n".

Los semiconductores extrínsecos pueden ser formados a partir de los intrínsecos agregando átomos de impureza al cristal, este proceso se conoce como “dopaje”. Uno de los ejemplos mas comunes es el del silicio, considerando que pertenece al grupo IV de la Tabla Periódica, y tiene 4 electrones de valencia. En su forma cristalina cada átomo comparte un electrón con un átomo vecino, en este estado se considera un semiconductor intrínseco. El boro, aluminio, indio y galio tienen cada uno 3 electrones en su banda de valencia, cuando una proporción de estos átomos entra en contacto con la red del silicio, el dopante comparte enlaces con el átomo de silicio creando una ausencia de electrón o vacante que contribuye al proceso de conducción a cualquier temperatura. A los dopantes que crean vacantes mediante esta técnica se les conoce como receptores, a este tipo de semiconductores extrínsecos se les conoce como semiconductores tipo p.

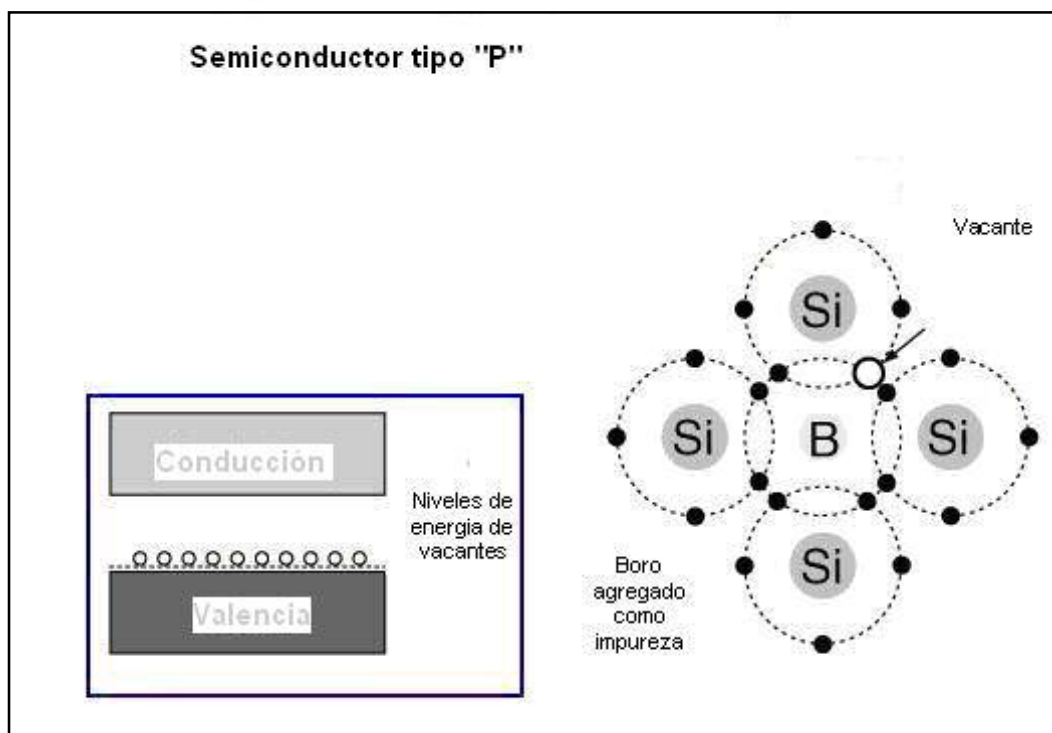


Figura 1.1. La adición de impurezas como el boro a los semiconductores intrínsecos crea deficiencias de electrones de valencia llamados vacantes

Los elementos que pertenecen al grupo V de la tabla periódica como el arsénico, fósforo y antimonio tienen un electrón extra en su banda de valencia. Cuando son agregados como dopantes al silicio intrínseco, el átomo del dopante contribuye con un electrón adicional a el cristal, a estos dopantes que agregan electrones al cristal se les conoce como donadores y al material se le conoce como semiconductor tipo “n”. El propósito de este material es producir un abundante número de electrones en el material, a temperaturas normales típicamente todos los electrones son excitados a la banda de conducción y el número de electrones en este material excede por mucho el número de vacantes.

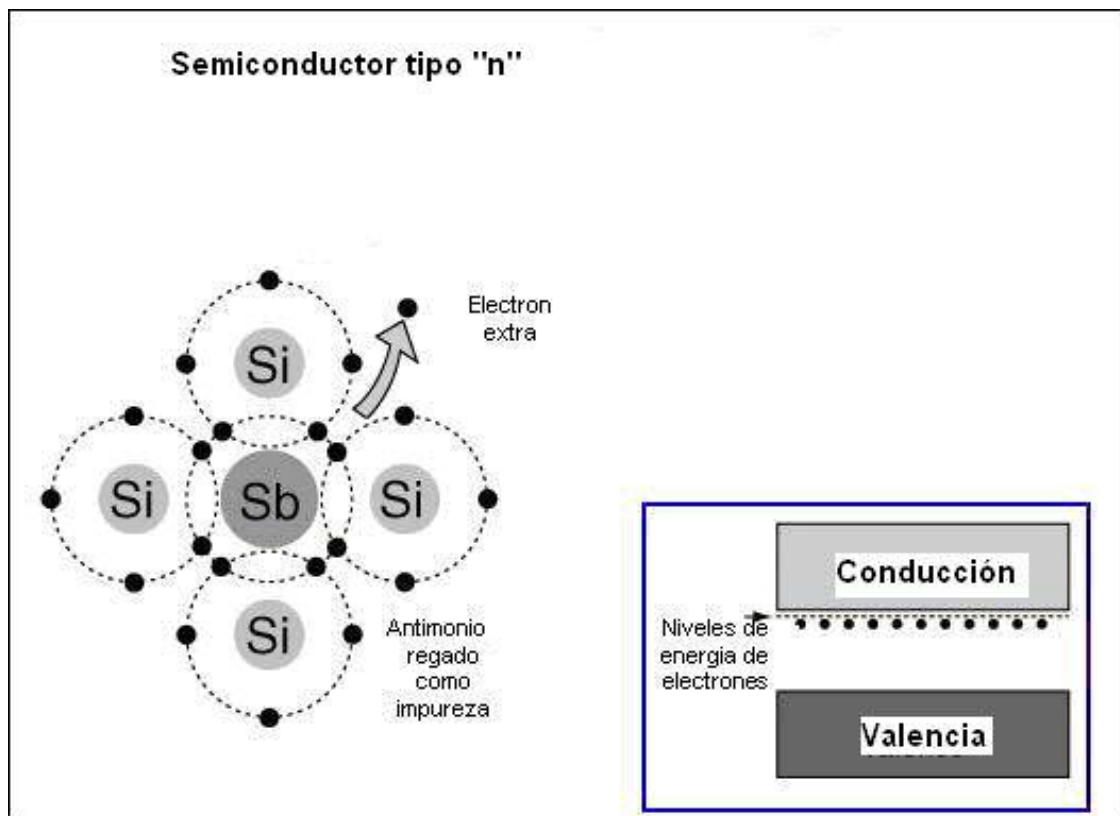


Figura 1.2. La adición de impurezas pentavalentes como el Antimonio contribuye con electrones libres incrementando la conductividad del semiconductor intrínseco.

El semiconductor tipo p-n puede ser creado dopando diferentes regiones del semiconductor con dopantes “p” y “n”. Si a este se le aplica un voltaje positivo en la región “p” las vacantes son empujadas hacia la unión, al mismo tiempo los electrones

del material tipo “n” son atraídas hacia la unión, permitiendo que exista un flujo de voltaje proveído por una fuente externa.

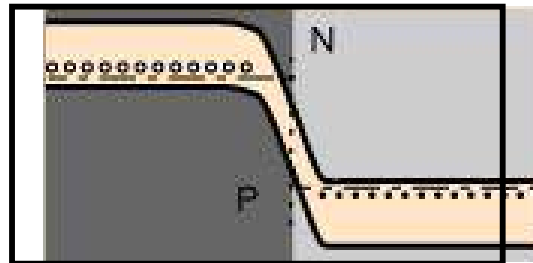


Figura 1.3. Energía de bandas en equilibrio

Sin embargo, si el flujo de corriente es invertido los electrones y las vacantes son alejadas de la unión dejando una zona vacía, una región de agotamiento que inhibe el flujo de corriente.

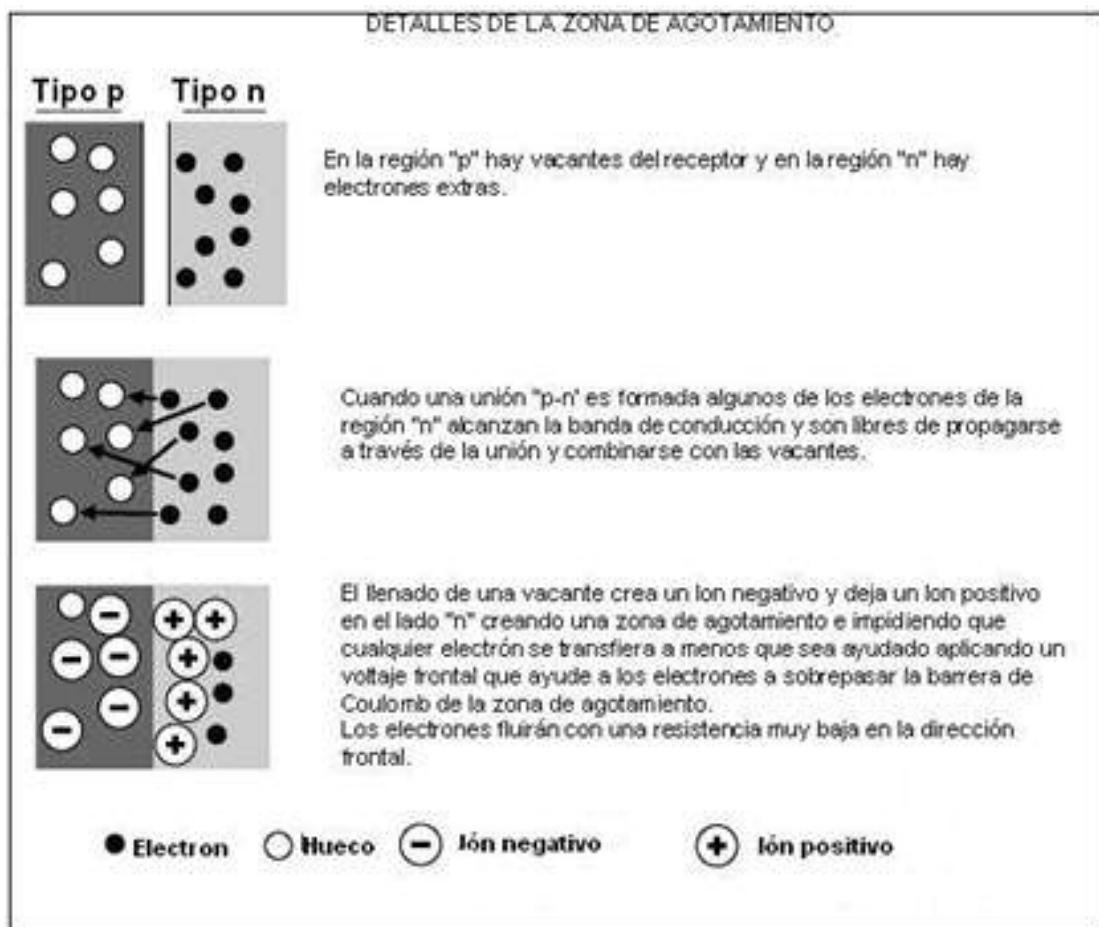


Figura 1.4. Detalles de la zona de agotamiento

La unión p-n es la base de lo que se conoce como el diodo, el cual permite el paso de corriente en una sola dirección. Similarmente a esta unión se puede formar una tercera región con dopantes tipo “n” o “p” formando un dispositivo de 3 terminales como el transistor bipolar “p-n-p” o “n-p-n”. Estos dispositivos son la base de la mayoría de las aplicaciones electrónicas del mundo actual.

Pegado de dados

El pegado de dados provee de un soporte mecánico entre el dado de silicio y el sustrato (PCB). Este proceso es muy crítico ya que también aterriza eléctricamente al dado de silicio con el sustrato y sirve como disipador térmico.

El equipo de pegado de dados se configura para manejar las obleas de silicio (*WAFERS*) y el sustrato, un sistema identificador de imágenes identifica los dados que serán removidos del tape en el cual se encuentran montados los *WAFERS* ayudándose de un sistema de agujas el cual levanta el dado del tape para después ser recogido por una punta de vacío la cual lo coloca en el sustrato.

El material más comúnmente usado para adherir el dado al sustrato es una resina epóxica la cual contiene partículas de plata que actúan como aditivos conductivos, solventes, agentes de curado, catalizador, entre otros.

Este material es aplicado por medio de una jeringa en cantidades controladas. Estos materiales tienen un tiempo de vida y rangos de temperatura previamente establecidos por lo cual se debe de tener mucho cuidado al momento de su aplicación.

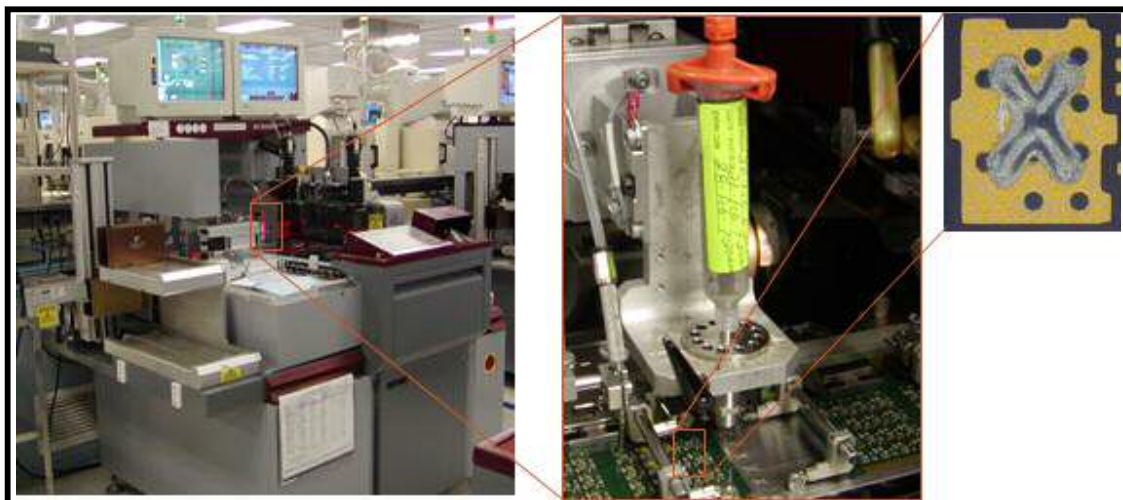


Figura 1.5. Equipo pegador de dados ESEC 2008 y dispensador de resina epóxica

En la figura 1.5 se puede apreciar el equipo de pegado de dados ESEC 2008, el cual mediante un dispensador de adhesivo coloca la huella del mismo sobre el sustrato para después colocar el dado sobre la resina epóxica.

Después de este proceso el material es sometido a un proceso de curado a una temperatura de 150~200 °C, en el cual el material se solidifica y adquiere su consistencia final.

Otro factor crítico de este proceso es la cobertura del material epóxico bajo el dado y puede impactar directamente a la confiabilidad del producto

Plasma

Que es plasma? plasma es descrito con frecuencia como el cuarto estado de la materia. Los plasmas son gases parcialmente ionizados que son eléctricamente conductivos y magnéticamente controlables. Los plasmas consisten en iones, electrones, radicales libres y otras especies neutrales. En las aplicaciones que se tratarán en este estudio de tesis, los plasmas son de baja temperatura y son creados ionizando el gas en cámaras de vacío, en este caso las presiones típicas son de 10 militor a 1000 militor, creando bajas temperaturas o plasma en equilibrio no-térmico.

En este caso la temperatura del gas es de 30 a 50 grados centígrados por encima del ambiente, y significativamente menos que la temperatura de los electrones.

Hay tres estados de la materia universalmente reconocidos: sólido, líquido y gaseoso. Lo que separa estos tres estados entre ellos es la cantidad de energía contenida en el material.

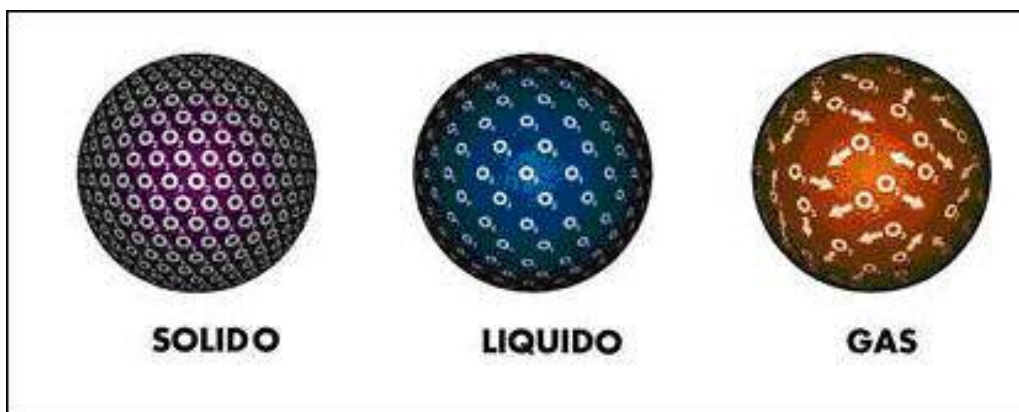


Figura 1.6. Estados de la materia comúnmente conocidos

Por ejemplo, si se toma hielo y se agrega energía en forma de calor, el hielo se transforma en agua líquida. El hielo ha absorbido la energía del calor y esta ahora en un estado mayor de energía como líquido. Si se continúa calentando el agua, eventualmente hervirá hasta producir gas (vapor). El gas es el mayor estado de energía de los tres.

Si se continúa agregando energía al vapor (o a cualquier gas), bajo las condiciones adecuadas, se formará el plasma.

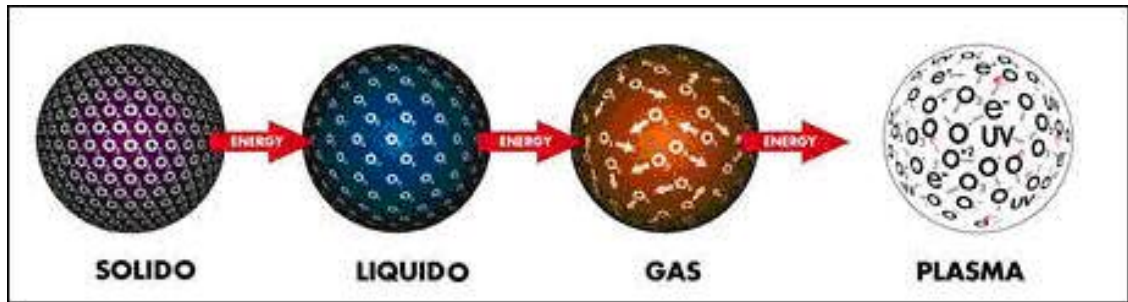


Figura 1.7. Formación del plasma a partir de un gas energizado

A raíz de este planteamiento el plasma es frecuentemente llamado el cuarto estado de la materia, como el plasma es un estado de muy alta energía, es muy reactivo químicamente. Esta reactividad es lo que hace que el plasma sea útil en modificar la superficie de los materiales.

Las condiciones básicas para generar plasma son:

- Fuente de energía (electromagnética o termal)
- Átomos o moléculas de un gas

Ejemplos naturales de ocurrencia de plasma pueden ser:

Fuego:

En el caso del fuego, los gases súper calentados son expulsados del material que está siendo quemado y ganando energía como plasma.

Rayos:

El plasma de los rayos es el resultado de la interacción de la energía eléctrica del aire y las moléculas de agua.

Aurora Boreal:

La aurora es producida por una compleja interacción entre la radiación del sol y los campos magnéticos de la tierra.

Componentes del plasma

Cuando el plasma es creado, los átomos y las moléculas son fragmentados y recombinados en una manera muy compleja, muchos de los componentes especies químicas que son producidas en el plasma no existen de una manera significativa en los estados sólido, gaseoso y líquido.

Ejemplos de esto puede ser el hidrógeno y oxígeno atómico. Estos raros elementos son extremadamente activos desde el punto de vista químico y no pueden ser creados de una manera hecha por el hombre.

La siguiente figura ilustra los cuatro estados físicos del oxígeno (O_2). Una molécula de oxígeno consiste en dos átomos de oxígeno unidos por enlaces covalentes.

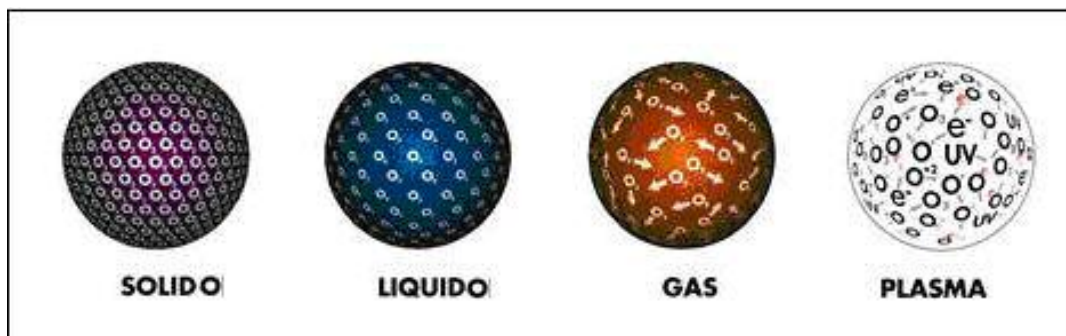


Figura 1.8. Ilustración de los cuatro estados físicos del oxígeno

Como se puede observar en los diagramas anteriores cuando cambia el oxígeno de un sólido a un líquido o a un gas, las moléculas de oxígeno permanecen en la misma unidad básica, la única diferencia es que se mueven más rápidamente y se apartan más unas de otras.

Cuando las moléculas de gas ganan energía, incrementan su momentum. Con la energía agregada, la colisión de las moléculas se incrementa entre ellas y contra las paredes del contenedor. La fuerza promedio resultante de la colisión se expresa en términos de presión.

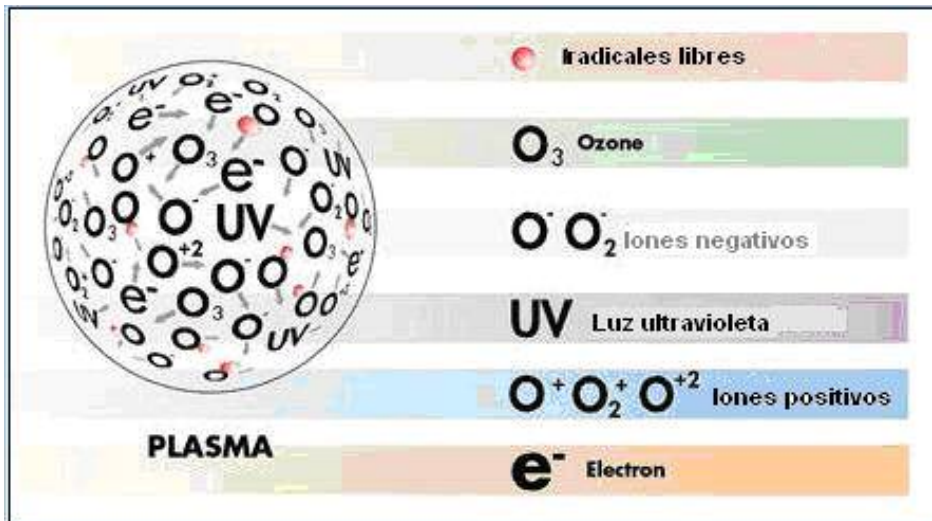


Figura 1.9. Componentes del Plasma.

Cuando el estado de plasma es alcanzado, las moléculas de gas se fragmentan en una variedad de partículas altamente reactivas conocidas como especies activas. Esta fragmentación no es permanente, en cuanto la energía creada para usar el plasma se disipa, los constituyentes se recombinan a su forma original de moléculas de gas. El mecanismo por el cual el plasma es creado se explica más fácilmente si la estructura básica del átomo es entendida:

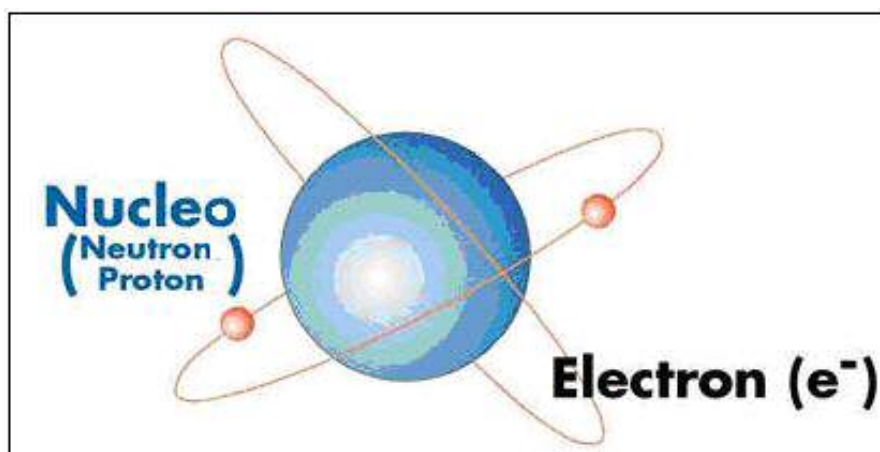


Figura 1.10. Ilustración del átomo.

Los electrones son los componentes negativos de un átomo y normalmente se encuentran en constante movimiento en la órbita alrededor del núcleo, el cual contiene el componente positivo del átomo, el protón. En el estado gaseoso unos cuantos electrones estarán libres de la fuerza del núcleo para iniciar el plasma cuando sean expuestos a una fuente de energía. Estos ganan velocidad y colisionan con otros átomos con la energía suficientes para liberar electrones de estos átomos, entonces se inicia una reacción en cadena.

Cada vez que un electrón es liberado de un átomo o molécula, se forma un ión positivo. Un ión positivo es un átomo o molécula que contiene un menor número de electrones que protones en el núcleo.

Por otra parte, un ión negativo contiene más electrones que su número normal. Esto ocurre cuando un electrón con una cantidad adecuada de energía bombardea el átomo o la molécula en una cierta orientación y comienza a orbitar el núcleo creando un ión negativo.

Otra posibilidad es que un electrón libre separara los átomos de la molécula, como la molécula de hidrógeno o la molécula de oxígeno sin quitar o agregar ningún electrón. Los átomos en este estado son llamados radicales libres. Un radical libre es una especie que tiene uno o más electrones impares, estas especies son altamente reactivas por su tendencia a formar especies neutrales, que requieren reaccionar con otra especie para liberar su energía extra.

Puesto que los iones y radicales libres creados en el plasma son inestables, éstos continuamente se están revirtiendo a su estado gaseoso normal vía colisión, recombinación o emisión de protones. Cuando éstos liberan energía en forma de luz o calor, las especies emiten un fotón. Esta luz visible es lo que causa el brillo característico del plasma.

En cualquier plasma estable siempre hay igual número de cargas positivas y negativas, es este balance el que hace al plasma estable.

Para la experimentación se utilizó el equipo plasma panasonic, el cual maneja tres tiras en la cámara de gas al mismo tiempo permitiendo un mayor procesamiento de material y de ésta manera evitar que las piezas estén durante tiempos muy prolongados en espera de procesamiento.



Figura 1.11. Equipo plasma panasonic.

ALAMBRADO DE MICROCIRCUITOS

El proceso de alambrado de microcircuitos es una de las técnicas más usadas en las conexiones de microcircuitos encapsulados, en el cual se provee de una conexión eléctrica desde el circuito integrado a el tablero.

Para realizar este proceso se requiere de alambre de oro o cobre, en este caso se utiliza alambre de oro el cual es alimentado por un capilar de cerámica a el cual se le dispara una chispa controlada, la cual derrite la punta del alambre de oro para formar una bola, que posteriormente es comprimida contra la superficie de soldado en el circuito electrónico aplicando fuerza y corriente ultrasónica durante unos milisegundos.

De esta manera se crea una bola soldada en la superficie de aluminio, la cual forma una capa de íter-metálicos entre los materiales oro y aluminio que hace posible la conexión en el dado de silicio, posteriormente el capilar levanta el alambre para formar el *loop* o trayectoria deseada por el alambre y soldando el otro extremo del alambre con el substrato y de esta manera completar la conexión.

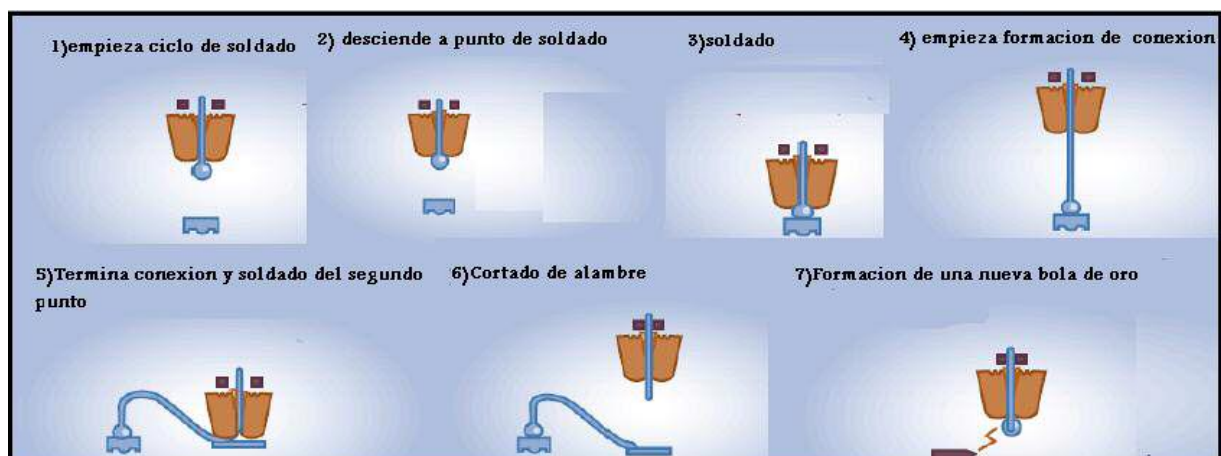


Figura 1.12. Esquema del proceso de alambrado de microcircuitos.

En el proceso de alambrado de microcircuitos una alta fuerza de soldado puede conducir a una deformación del material, rompiendo cualquier capa de contaminación presente en la superficie de soldado pero también rompiendo el dado de silicio.

Este proceso también puede ser mejorado usando una baja energía ultrasónica, la temperatura también puede mejorar y acelerar la difusión interatómica y por consecuencia formación de íter metálicos.

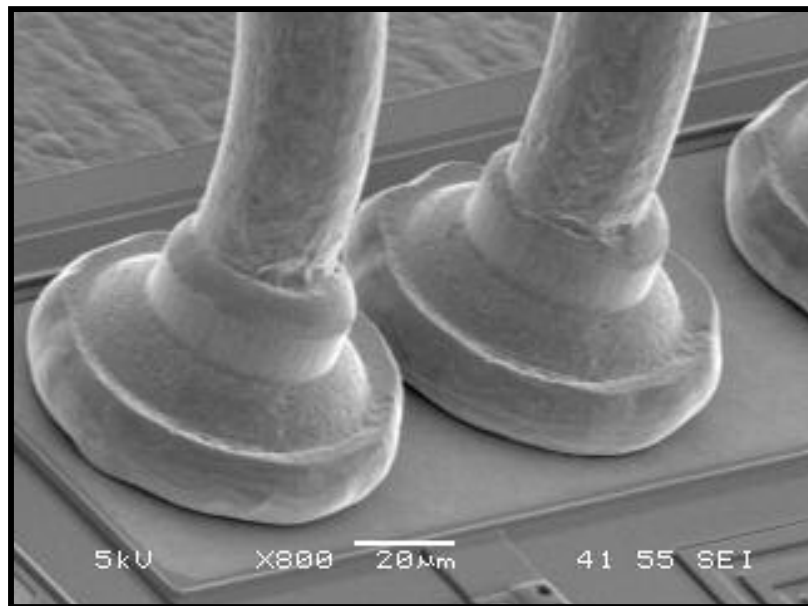


Figura 1.13 Bola de oro soldada en superficie de aluminio.

En la figura 1.13 se puede observar una bola de oro soldada en una superficie de aluminio en una dado semiconductor de silicio.

En este tipo de conexiones uno de los mayores problemas de confiabilidad es la poca formación de íter metálicos y la formación de huecos a altas temperaturas, estas formaciones pueden ser aceleradas cuando se opera el dispositivo microelectrónico a altas temperaturas y con el paso del tiempo.

La fuerza de soldado entre oro-aluminio es mayor justo después de haberse fabricado, esto es debido a la íter difusión y formación de íter metálicos los cuales fortalecen el soldado entre estos dos elementos.

Pero esta reacción continua a través del tiempo y la temperatura causando huecos, esto debido a la difusión no uniforme de oro y aluminio.

Estos huecos, combinados con la continua formación de inter-metálicos pueden causar quebraduras iniciales y propagarse a través de la formación de inter metálicos con el paso del tiempo hasta terminar fracturando toda la unión de soldado y causando el desprendimiento de la misma.

Capítulo 2

Materiales y Métodos.

Plasma

El material fue sometido a limpieza de plasma antes de ser alambrado en la operación de alambrado de microcircuitos. Se utilizó análisis de energía dispersiva de rayos-x para asegurar la calidad de la limpieza de plasma y verificar los elementos que se encontraban presentes en el área de soldado y cuáles fueron removidos durante la limpieza.

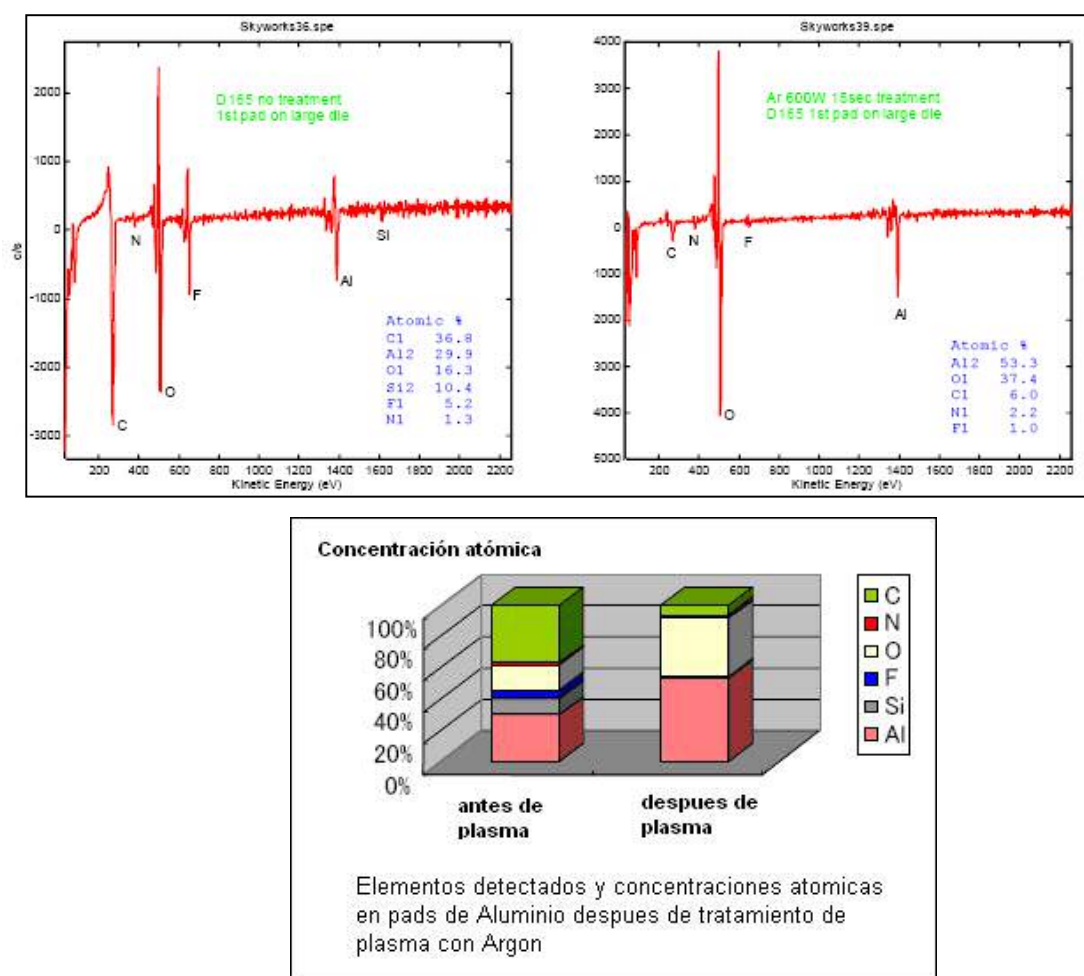


Figura 2.1. Concentración de elementos removidos por el plasma mediante análisis de energía dispersiva de rayos-x.

En la figura 2.1 se observa la disminución de Oxígeno, Carbono y Fluor después del tratamiento de plasma, así como una mayor lectura del elemento de Aluminio .

Alambrado de microcircuitos:

Para la experimentación se utilizó un equipo de alumbrado de microcircuitos de la compañía Kulicke & Soffa modelo maxum, utilizando alambre de oro con una pureza del 99.99% con una milésima de pulgada de espesor y una temperatura de soldado de 130 ° c.



Figura 2.2. Equipo automático de soldado de microcircuitos.

Así mismo se optimizaron diferentes parámetros de soldado para obtener tres diferentes niveles de fuerza de soldado, (4.5 g/mil-In^2 , 5.5 g/mil-In^2 y 6.5 g/mil-In^2) mediante metodología de diseño de experimentos “DOE”, actualmente se considera a 6.5 g/mil-In^2 como el nivel aceptable para la medición de fuerza de soldado.

Descripción del Experimento.

Almacenamiento a alta temperatura y humedad como método de envejecimiento

El material fue envejecido almacenándose sin encapsular a una temperatura de 85°C durante 1000 horas. y en un ambiente de humedad del 60% utilizando un horno Tenney.



Figura 2.3. Cámara de humedad y temperatura Tenney

El horno Tenney tiene una capacidad de mantener las condiciones de humedad y la temperatura con una tolerancia de $\pm 2^\circ\text{C}$ y $\pm 3\%$ de humedad relativa acorde al estándar IPC/JEDEC J-STD-020.

Se siguió la siguiente matriz para el envejecimiento de las muestras.

Tabla 2.1 Matriz experimental de pruebas a 85°C y 60% de humedad

Niveles de Soldado (g/mil-In ²)	Tiempo de exposición (Horas)
4.5	0
5.5	0
6.5	0
4.5	250
5.5	250
6.5	250
4.5	500
5.5	500
6.5	500
4.5	1000
5.5	1000
6.5	1000

Pruebas de remoción de bola y jalón de alambre.

Las pruebas iniciales se llevaron a cabo en un equipo *DAGE 4000 Tester* utilizando un cartucho de remoción de bola de 250 g de fuerza, los parámetros de la prueba fueron ajustados a una altura de barrido de 3 µm, esto para asegurar que se está removiendo la bola soldada en la superficie de aluminio a una altura razonable que coincida con el área de crecimiento de Intermetálicos así mismo un cartucho de jalón de alambre.



Figura 2.4. Equipo de medición de fuerza de soldado DAGE4000

Remoción de bola.

La prueba de remoción de bola se realizó al momento en que las piezas cumplieron su ciclo de envejecimiento.

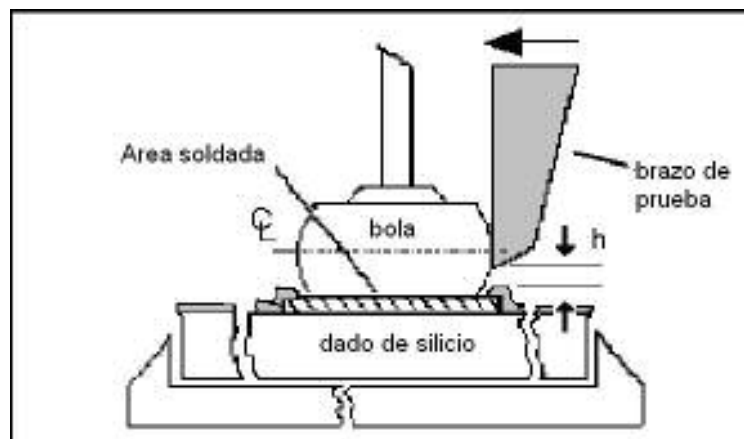


Figura 2.5. Ilustración de la prueba de remoción de bola.

Primero se procede a limpiar la muestra con aire comprimido a fin de evitar que alguna impureza interfiera con la muestra, la punta de remoción de bola es colocada junto a la

bola de oro que será removida, aplicando una fuerza de barrido hacia la bola hasta que ésta sea desprendida y el valor requerido sea registrado. Para estas pruebas se ajustó la altura de barrido a 3µm, a fin de remover la bola soldada en la superficie de aluminio a una altura razonable que coincida con la zona de crecimiento de inter-metálicos.

Jalón de alambre

Otra herramienta muy útil en la remoción de bolas soldadas en la superficie de aluminio es la prueba de Jalón de alambre la cual primariamente se utiliza para medir la fuerza de soldado. En esta prueba se coloca el gancho de jalón de alambre directamente junto a la bola soldada a fin de obtener la lectura directamente de la bola de oro y no de el cuerpo o el segundo punto de soldado (*stitch*) de la conexión.

La figura 2.6 nos muestra la descripción de código de fallas para la prueba de jalón de alambre.

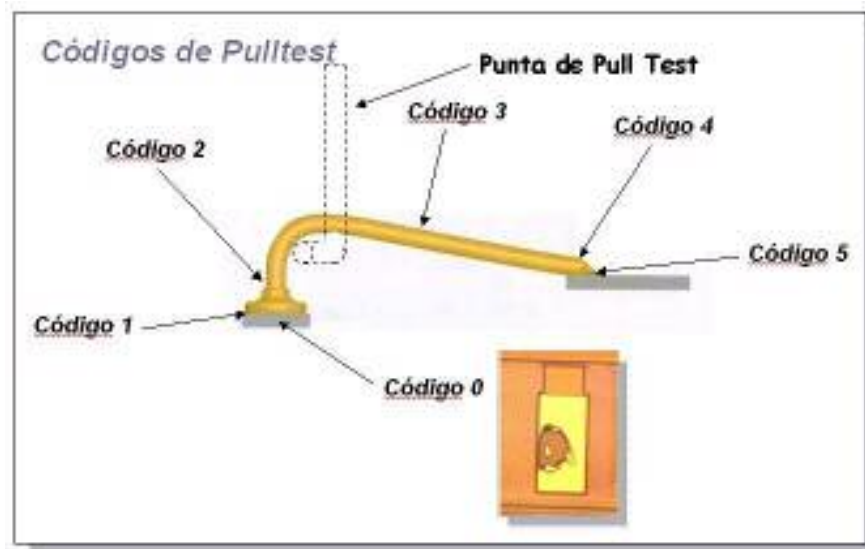


Figura 2.6. Prueba de jalón de alambre y códigos de falla.

Corte transversal.

El corte transversal se realizo en las muestras para determinar el nivel de íter metálicos formados y detectar la presencia de fisuras en esta zona.

La prueba se realizo mediante una mezcla de resina epoxica y endurecedor en una relación de 5:1, esto se considera en base a recomendaciones del proveedor y es un procedimiento estándar en la industria de los semiconductores.

Se debe de tener cuidado de no crear burbujas al momento de mezclar los componentes ya que estas afectarían el análisis de la muestra, el tiempo de curado toma aproximadamente 24 horas.



Figura 2.7. Muestra suspendida en resina epóxica.

Una vez endurecida la resina epoxica se procede a su rebajado utilizando lijas de SiC de distinto grosor comenzando por lija de 240 granos hasta rebajar lo suficientemente la pieza y acercarnos al área que se desea inspeccionar, al finalizar cada rebajado se lava la pieza con agua ionizada y así eliminar impurezas, posteriormente se empieza a utilizar lijas cada ves mas finas hasta desaparecer los rayones ocasionados por el

rebajado, las lijas utilizadas en orden cronológico fueron 240 granos, 400 granos, 600 granos, 800 granos y 1200 granos.

Posteriormente se utiliza tela de nylon especial para el pulido final con una suspensión líquida de diamante de $3\mu\text{m}$, el detallado final se le da con silica coloidal de $0.02\mu\text{m}$.



Figura 2.8. Equipo de rebajado manual.

Microscopio de Barrido Electrónico

Se utilizó un microscopio de barrido electrónico para estudiar la morfología y composición de las muestras analizadas, los beneficios de la microscopía electrónica de barrido sobre los microscopios tradicionales incluyen una muy alta resolución y un gran campo de visión la cual es particularmente útil en la toma de imágenes en tercera dimensión.

Un rayo de electrones concentrado se dirige hacia el sitio de inspección sobre la muestra y los electrones emitidos de la muestras (*backscattered* y *secondary*) son colectados por sensores que producen una imagen detallada y aumentada.

Los electrones secundarios son electrones de baja energía que son expulsados de la muestra como resultado de la colisión del haz de electrones, estos electrones se originan a unos cuantos nanometros de la superficie y la brillantes de la imagen depende de el número de electrones detectados.

La detección de electrones tipo *backscattered* se da principalmente por la colisión elástica de los electrones del espécimen y estos a diferencia de los *secondary* alcanzan el núcleo, las emisiones de electrones tipo *backscattered* son en función del número atómico de la muestra; entre más alto el número atómico mas brillante es la señal.



Figura 2.9. Equipo de microscopía electrónica de barrido y análisis de energía dispersiva de rayos-x

Capítulo 3 Resultados y observaciones

Resultados Iniciales

Durante el envejecimiento de las muestras se monitorearon los valores de remoción de bola para las tres condiciones de soldado, 4.5g/mil-In², 5.5g/mil-In² y 6.5g/mil-In², los datos iniciales indican un incremento del valor de remoción de bola conforme el material envejece, esto nos indica un crecimiento de íter metálicos entre el oro y el aluminio, notándose un pequeño decremento de la condición de 4.5g/mil-In² y la estabilización de las muestras de 5.5g/mil-In² y 6.5g/mil-In², a partir de las 250 horas de almacenamiento a alta temperatura.

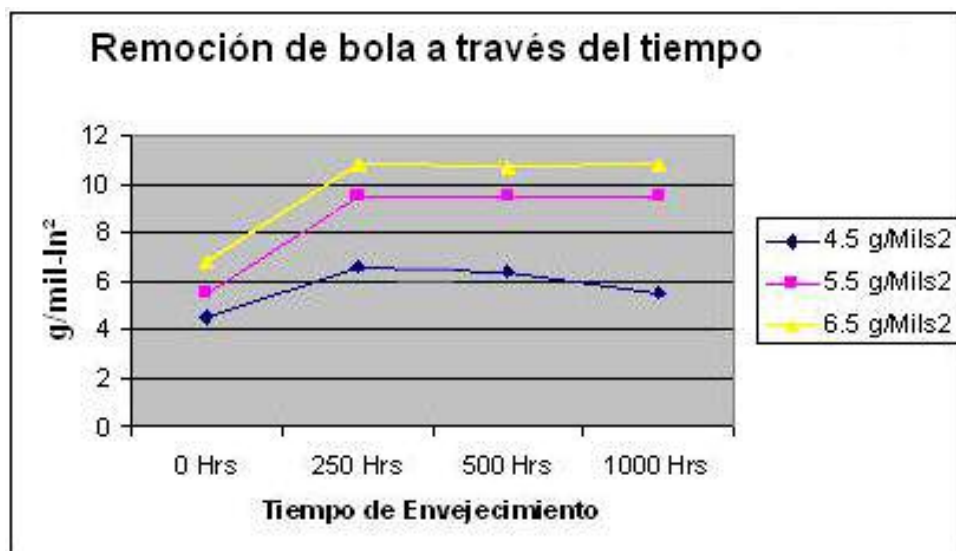


Figura 3.1. Comportamiento de los resultados de Remoción de bola a través del tiempo.

Aún y cuando el proceso de alambrado a 4.5 g/mil-In² presenta un ligero incremento a través del tiempo, éste no es comparado con el desempeño del proceso normal y optimizado.

Este decremento de valores se puede explicar debido al cambio en el modo de falla de la prueba de remoción de bola, usualmente el quiebre ocurre en la zona de crecimiento

de fases de inter-metálicos, conforme al tiempo de añejamiento transcurre la formación de fisuras aumenta en esta zona y la zona se debilita, el modo de falla cambia y la bola tiende a ser removida pegada la superficie de aluminio, en cambio las muestras soldadas bajo las condiciones de 5.5 g/mil-In ² y 6.5 g/mil-In ² muestran un incremento a partir del momento de soldado y una estabilización de los valores a partir de las 250 horas, esto nos demuestra que el crecimiento de inter metálicos es mas uniforme a partir del momento de soldado y tiende a aumentar con el paso del tiempo hacia la parte superior de la conexión, los valores de remoción de bola se presentan sin cambio a partir de las 250 horas debido a que durante la prueba se remueve el compuesto inter metálico y no el elemento de oro, conforme el inter metálico siga desarrollándose hacia la parte superior la prueba de remoción de bola no será capaz de detectarlo debido a el valor fijo de altura de remoción.

Resultados de porcentaje de inter-metálicos usando solución de KOH

A fin de medir el porcentaje de inter metálicos creados en cada condición,, se sometió el material a una solución de KOH a fin de remover la bola de oro de la superficie de aluminio.

Para esto se utilizo una solución estándar en la industria de los semiconductores KOH al 10%, Se sumergieron las piezas sin moldear en un refractario con solución de KOH al 10%, calentándose durante una temperatura de 70 °C, agitándose la solución durante 20 minutos, cuidando de no sobre exponer la pieza durante un tiempo más prolongado o a una mayor temperatura.

La solución de KOH ataca primariamente al aluminio, sin embargo es posible apreciar el inter metálico de Al-Au. Formado en la bola de Oro ya que la solución afecta principalmente al elemento Al y no al compuesto de Au-Al, sin embargo se corre el riesgo de remover el remanente de aluminio del inter-metálico si se sobre-expone la pieza a la solución.

Una vez transcurrido el tiempo de exposición se procede a limpiar la pieza con agua a fin de eliminar el KOH remanente y no afectar al operador durante el manejo e inspección.

Para facilitar su inspección se deben de acomodar todas las bolas hacia arriba con el equipo *DAGE4000*, una vez limpias las muestras se procede a su inspección mediante el equipo de microscopía electrónica de barrido.

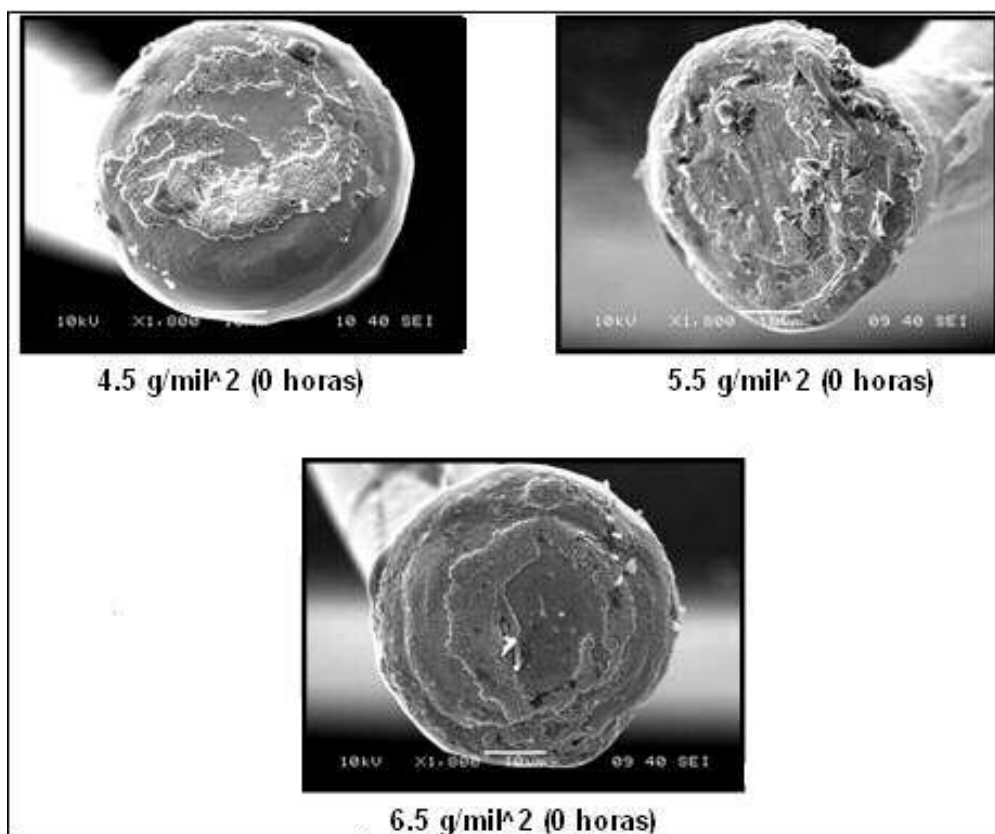


Figura 3.2. Muestras tomadas al momento de ser soldadas en superficie de aluminio.

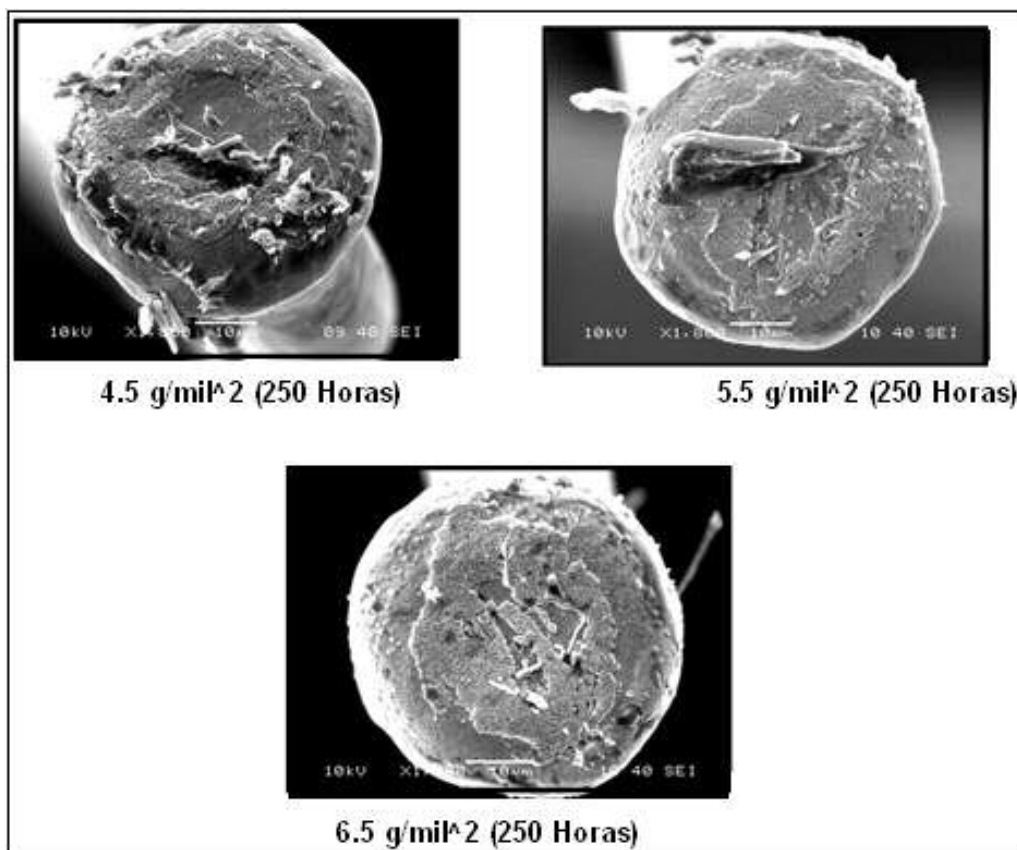


Figura 3.3. Muestras tomadas a 250 horas de almacenamiento en cámara de temperatura y humedad.

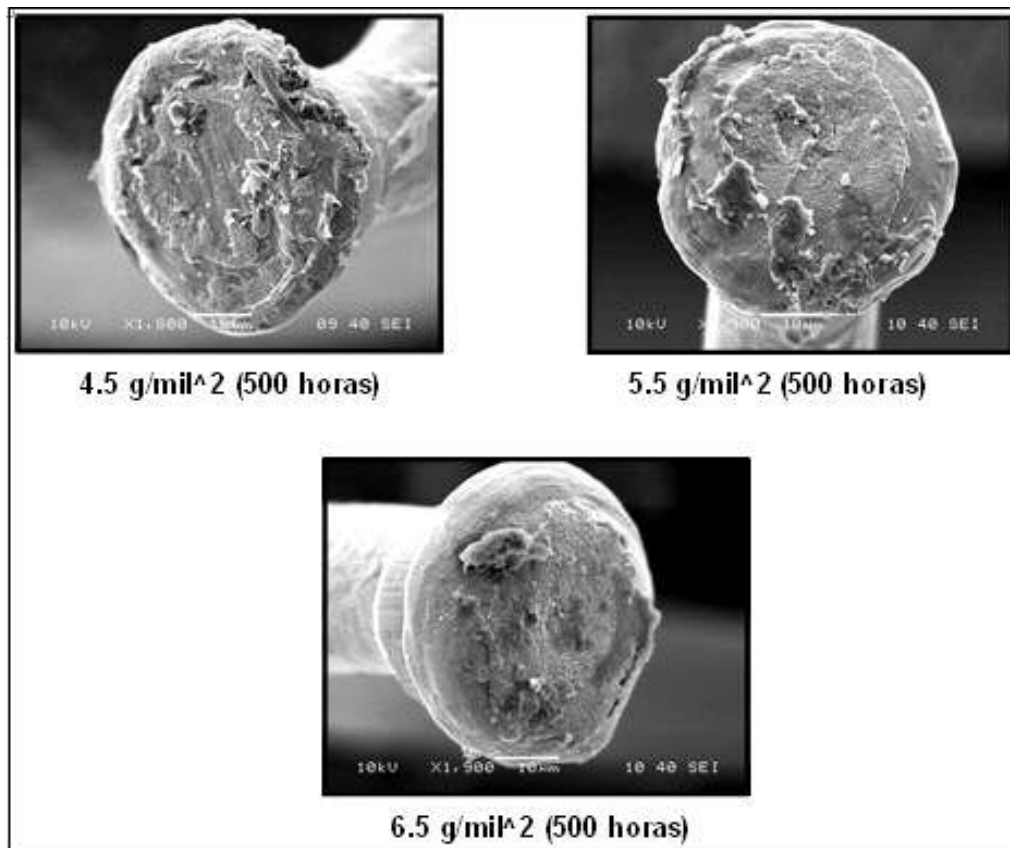


Figura 3.4. Muestras tomadas a 500 horas de almacenamiento en cámara de temperatura y humedad.

Las fotografías iniciales muestran que la creación de íter-metálicos concuerda con los valores de remoción de bola mostrados anteriormente, para la condición pobre se muestra un crecimiento muy limitado de íter-metálicos mientras que las condiciones normal y óptima presentan una mayor cobertura de estos.

La prueba de KOH es una buena herramienta en la remoción de bolas soldadas en superficies de aluminio, desafortunadamente esta prueba deja muchos residuos sobre la bola que dificultan su medición y la extracción de piezas en buen estado para su análisis.

Resultados de porcentaje de Ínter metálicos usando la prueba de jalón de alambre

Aunque no todas las muestras presentan un elevado número de bolas desprendidas de la superficie de aluminio debido a la mayor fuerza de adhesión de las muestras normal y óptima es posible obtener algunas muestras idóneas para análisis, las resultantes representan el comportamiento general del paquete en cuestión de cobertura de ínter-metálicos.

A fin de no inducir estrés adicional a la bola soldada sobre la superficie de aluminio se consideró un método alternativo de realizar la prueba de jalón de alambre, la cual se encuentra documentada en el estándar de semiconductores JEDEC y es muy usada en la Industria.

La prueba más comúnmente usada en esta empresa se llama “Mid-span” y es la tomada como base en la compañía Skyworks.

El propósito de realizar la prueba de jalón en la mitad del alambre es evaluar la calidad de soldado tanto en el dado de silicio así como en el sustrato, esta prueba aplica la misma fuerza de jalón en ambos lados del alambre.

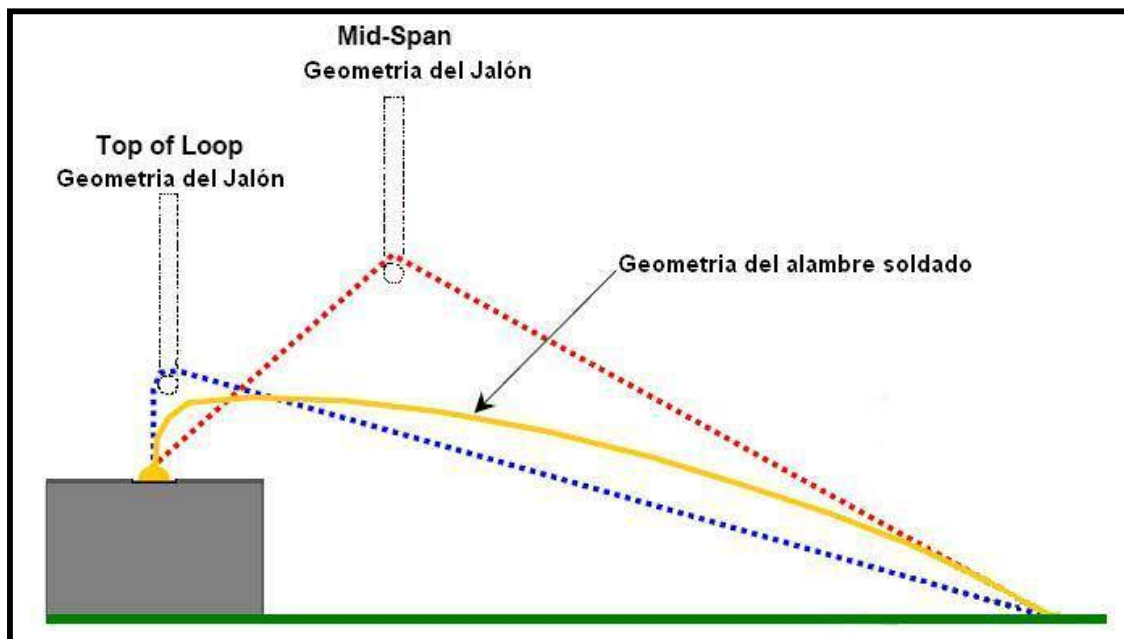


Figura 3.5. Ilustración de la prueba de jalón de alambre “Mid-Span” y “Top of Loop”.

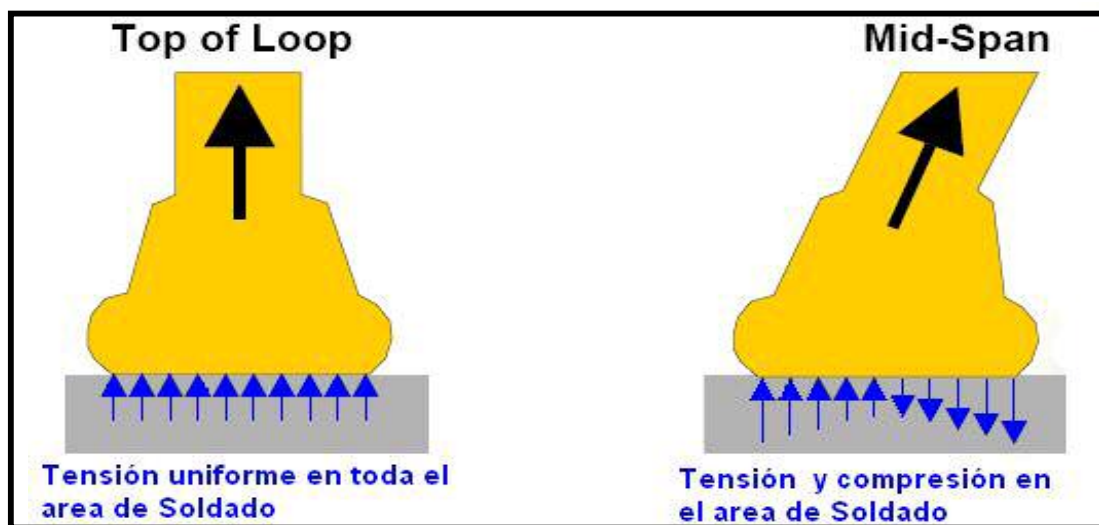


Figura 3.6. Comparación de tensión aplicada durante el jalón de alambre.

Tomando como base dos muestras de una corrida con parámetros nominales se procedió a realizarla prueba de jalón de alambre a fin de verificar las condiciones de la superficie de aluminio después de la prueba.

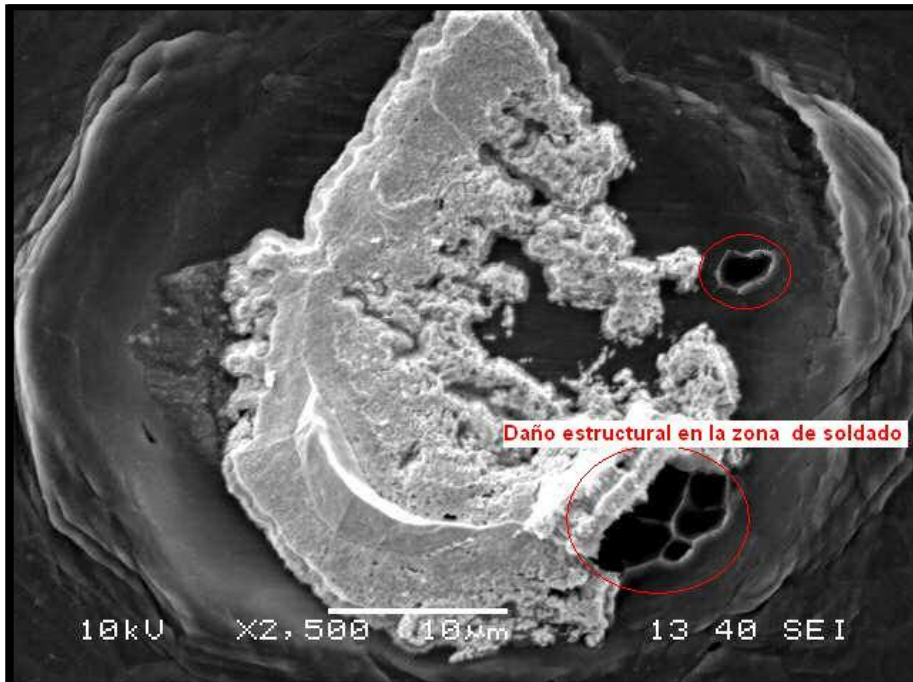


Figura 3.7. Bola de oro removida mediante la prueba de jalón de alambre usando el método “Mid-Span”.

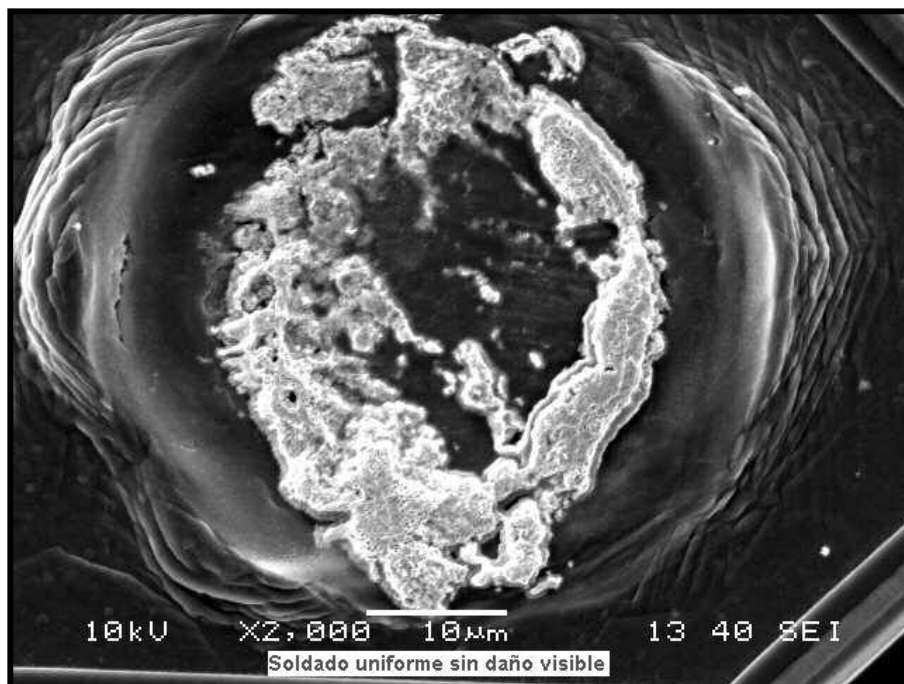


Figura 3.8. Bola de oro removida mediante la prueba de jalón de alambre usando el método “Top of Loop”.

Después de analizar las fotografías resultantes de los dos tipos de pruebas se deduce que al aplicar la técnica “Top of Loop” se distribuye de manera uniforme la fuerza aplicada a la región de soldado. Utilizando el equipo Dage4000 y la punta de jalón de alambre se procede a enderezar las bolas desprendidas de la superficie de aluminio a fin de acomodarlas para su posterior análisis en el equipo de microscopía electrónica de barrido.

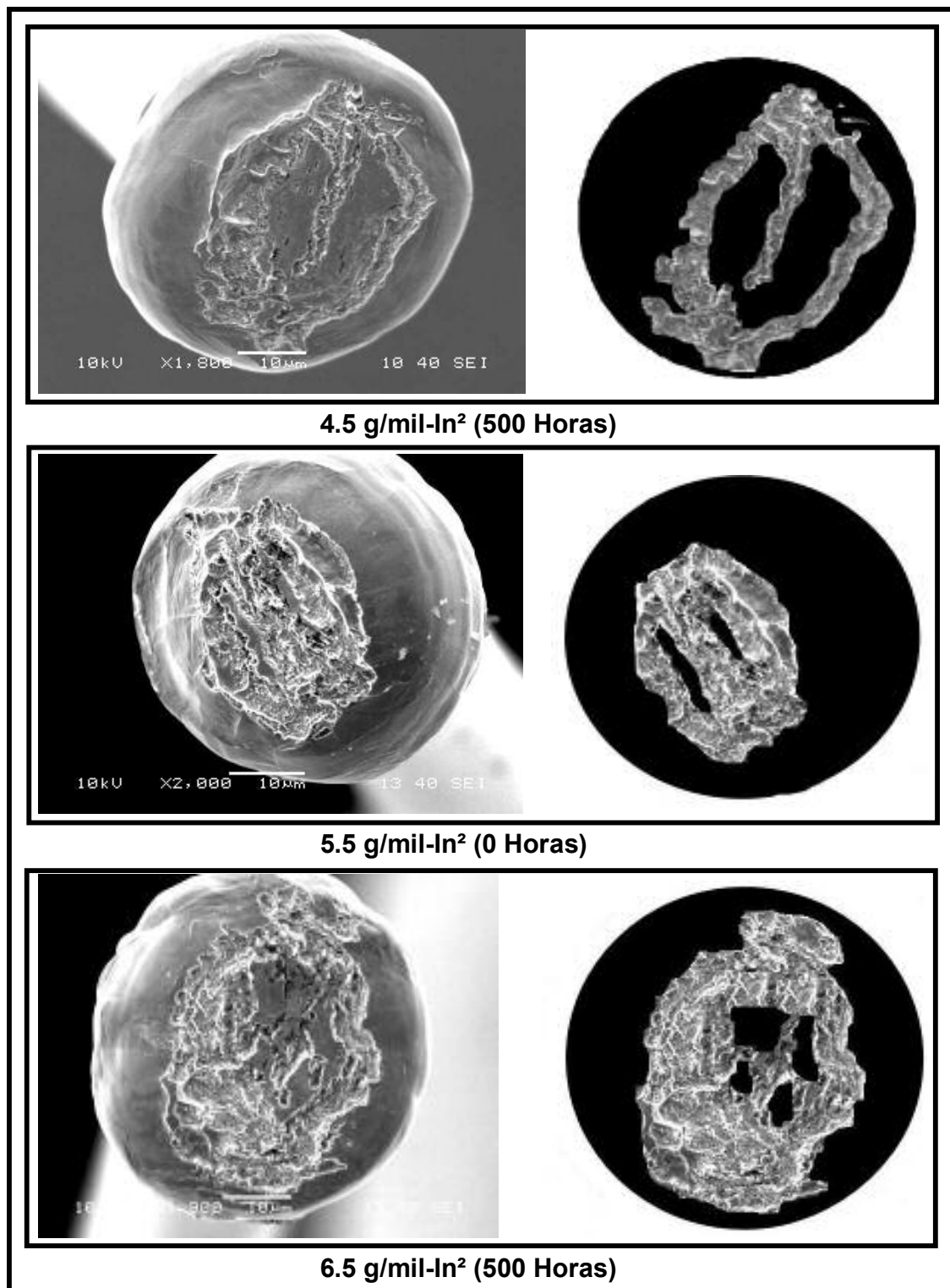


Figura 3.9. Análisis de cobertura de Inter metálicos usando 3 diferentes condiciones de soldado a (5.5 g/mil-In², 5.5 g/mil-In², 6.5 g/mil-In²) usando software de análisis de Imágenes.

Mediante el uso de software de imágenes se puede calcular el area activa de intermetálicos cubriendo la superficie de la bola.

ESFUERZO	% de cobertura de Ínter metálicos
4.5 g/mil-In ²	~15%
5.5 g/mil-In ²	~35%
6.5 g/mil-In ²	~60%

Grafica Tabla 2.2. Porcentaje de cobertura de Ínter metálicos utilizando las tres condiciones de Soldado.

Se considera aceptable un rango de 60 ~ 70 % de cobertura acorde con los estándares internacionales.

Después de analizar varias muestras se graficó el promedio de ínter metálicos para cada condición de soldado a través del tiempo a fin de graficar el crecimiento de éstas.

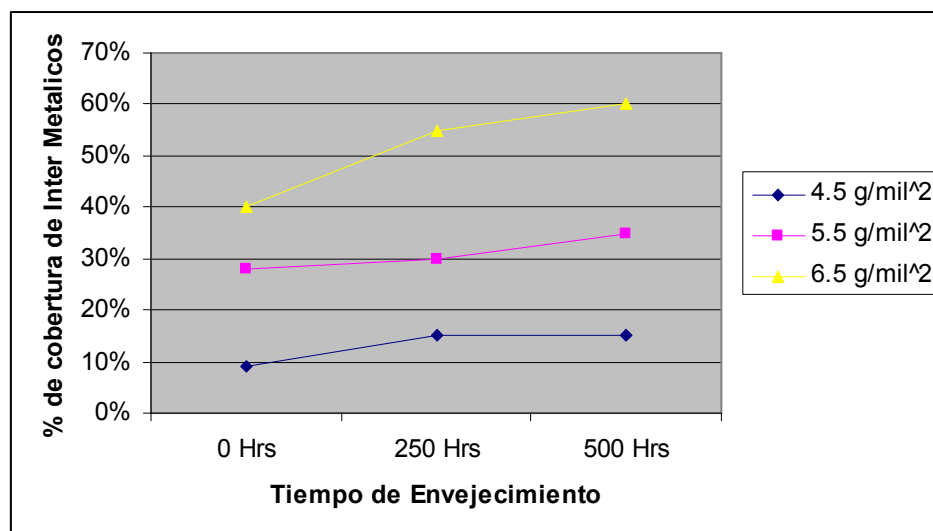


Figura 3.10. Grafica de crecimiento de Ínter metálicos a través del tiempo.

Resultados de corte seccional y análisis de microscopía electrónica de barrido

Se procedió a cortar transversalmente varias piezas mediante la técnica metalográfica de corte seccional, se tomaron 5 piezas de la muestra nombrada como buena, y 5 piezas identificadas como malas.

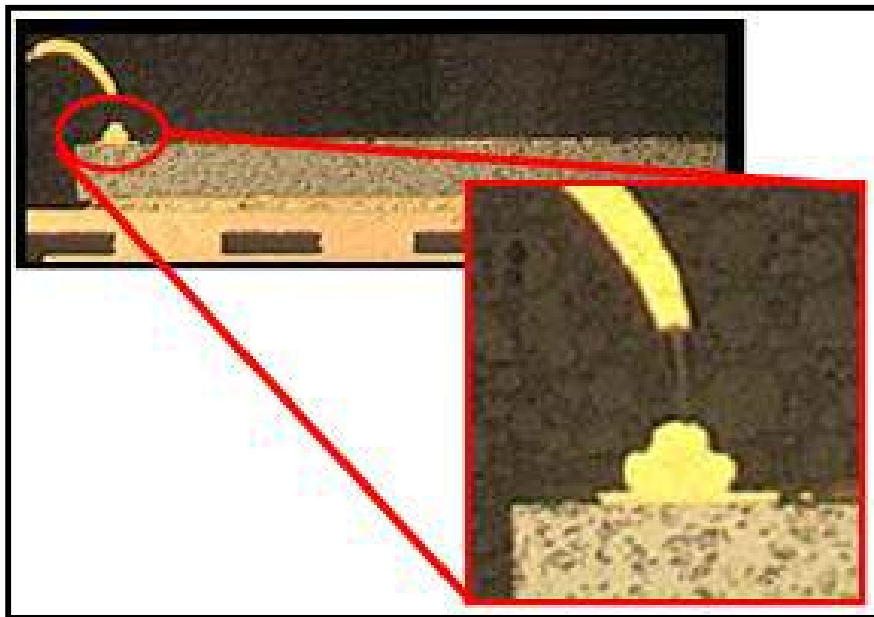


Figura 3.1 Imagen de corte seccional en pieza sometida a 500 horas de envejecimiento.

Ambas muestras se tomaron a 500 horas de haber sido sometidas a pruebas de temperatura y fueron fotografiadas usando el equipo de microscopía electrónica de barrido, a fin de identificar las áreas de crecimiento de ínter-metálicos así como las fisuras dentro de las mismas.

Debido a la complejidad del método de corte seccional únicamente se obtuvo éxito en el 30% de las piezas sometidas a esta prueba, esto debido a la fineza que se requiere para obtener una adecuada granularidad en la superficie que nos permita identificar los distintos elementos contenidos en el área de soldado.

Por la misma complejidad que requiere esta prueba se necesita un largo tiempo de preparación de muestras así como un personal altamente entrenado en la técnica metalografica.

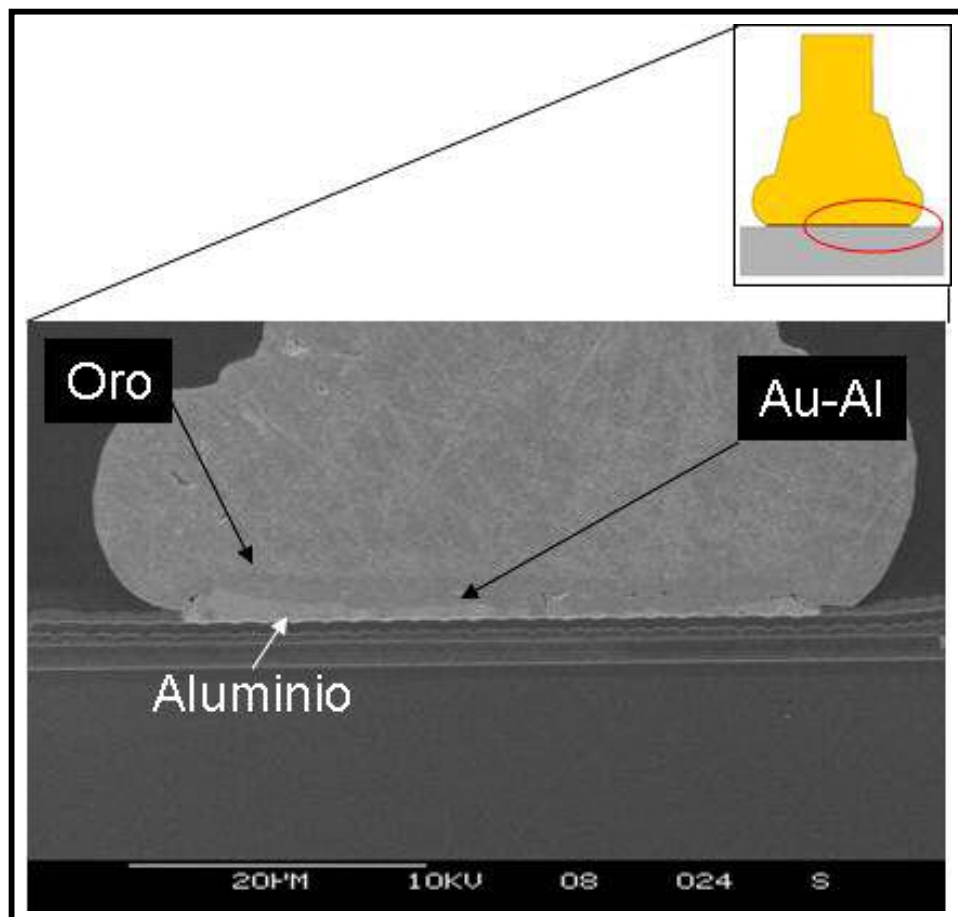


Figura 3.12. Pieza buena sometida a 500 horas de envejecimiento.

En la figura anterior (Fig 3.12) se puede apreciar la línea uniforme de íter-metálicos a lo largo de la zona de soldado, esta bola fue sometida a la prueba de jalón de alambre indicando un valor alto de adherencia.

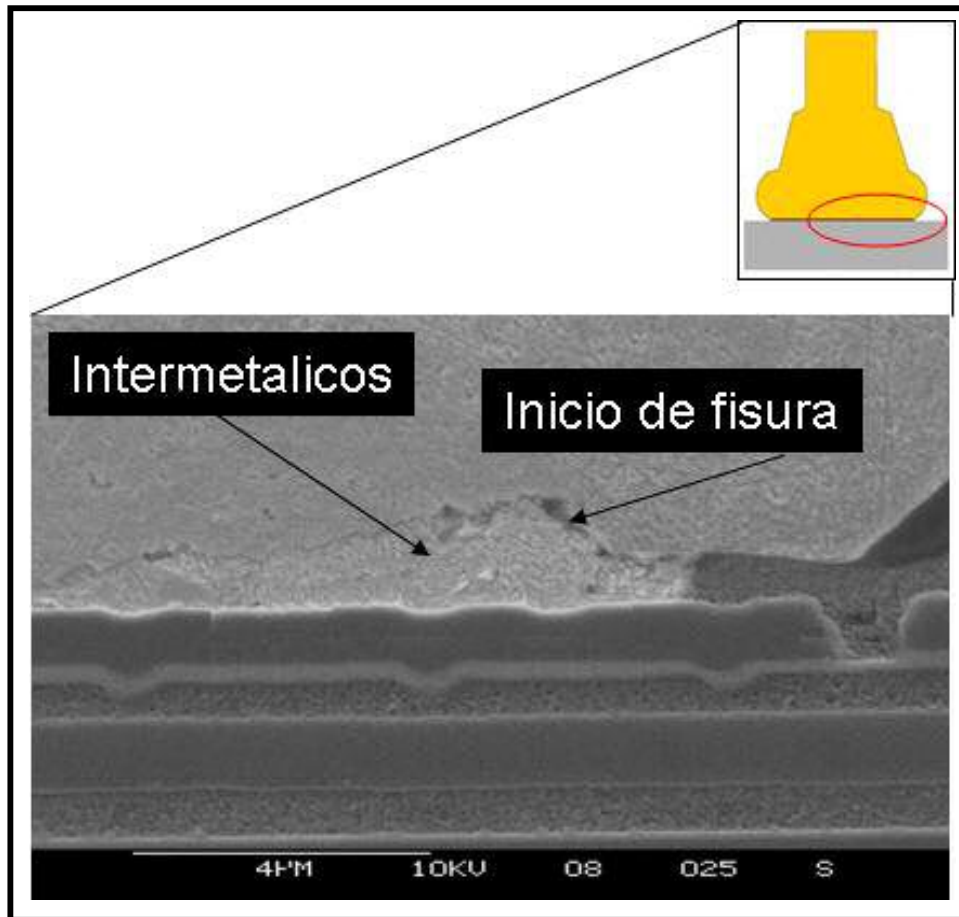


Figura 3.13. Acercamiento a esquina inferior derecha de fig 3.12

Acercamiento de la figura 3.12 indicando una tenue línea de fisuras en la orilla de la zona de soldado, el resto de la zona presenta crecimientos de íter-metálicos de manera uniforme.

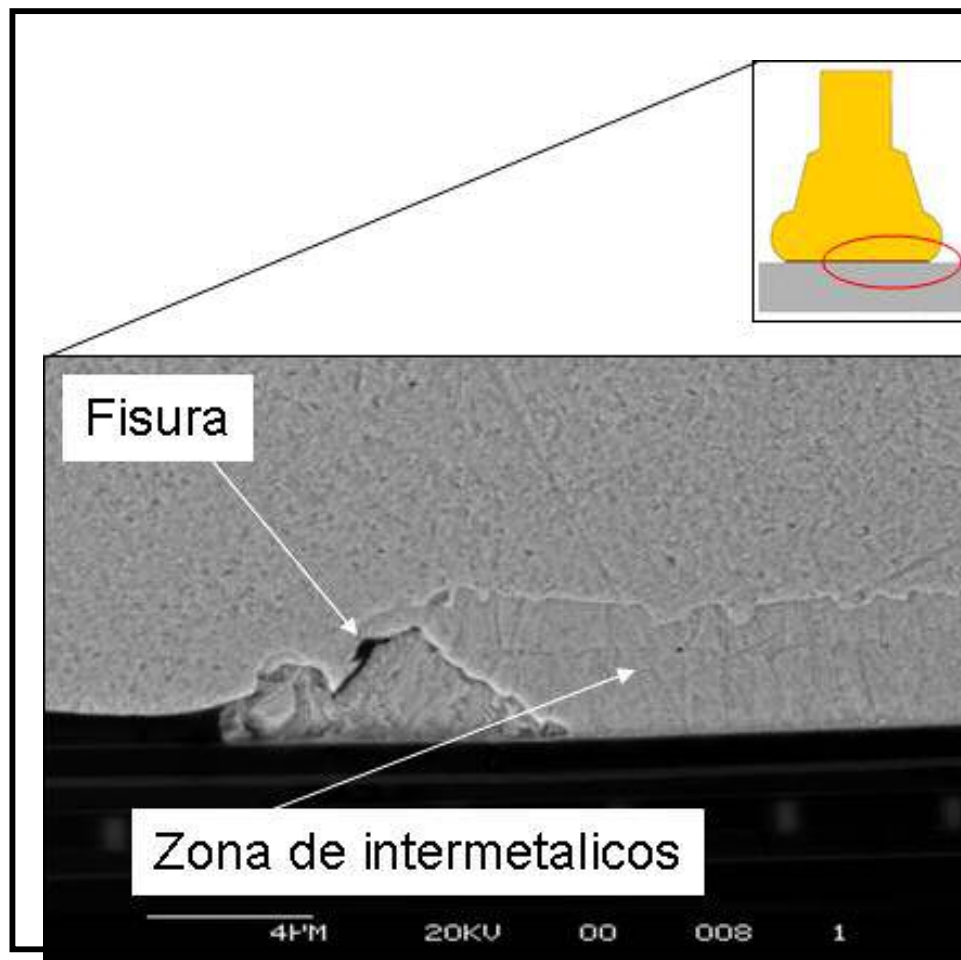


Figura 3.14. **Acercamiento a esquina inferior izquierda de fig 3.12.**

En la figura 3.14 se aprecia una zona mas uniforme de crecimiento de inter- metálicos en la zona de soldado y una línea de fisuras en la orilla de la zona

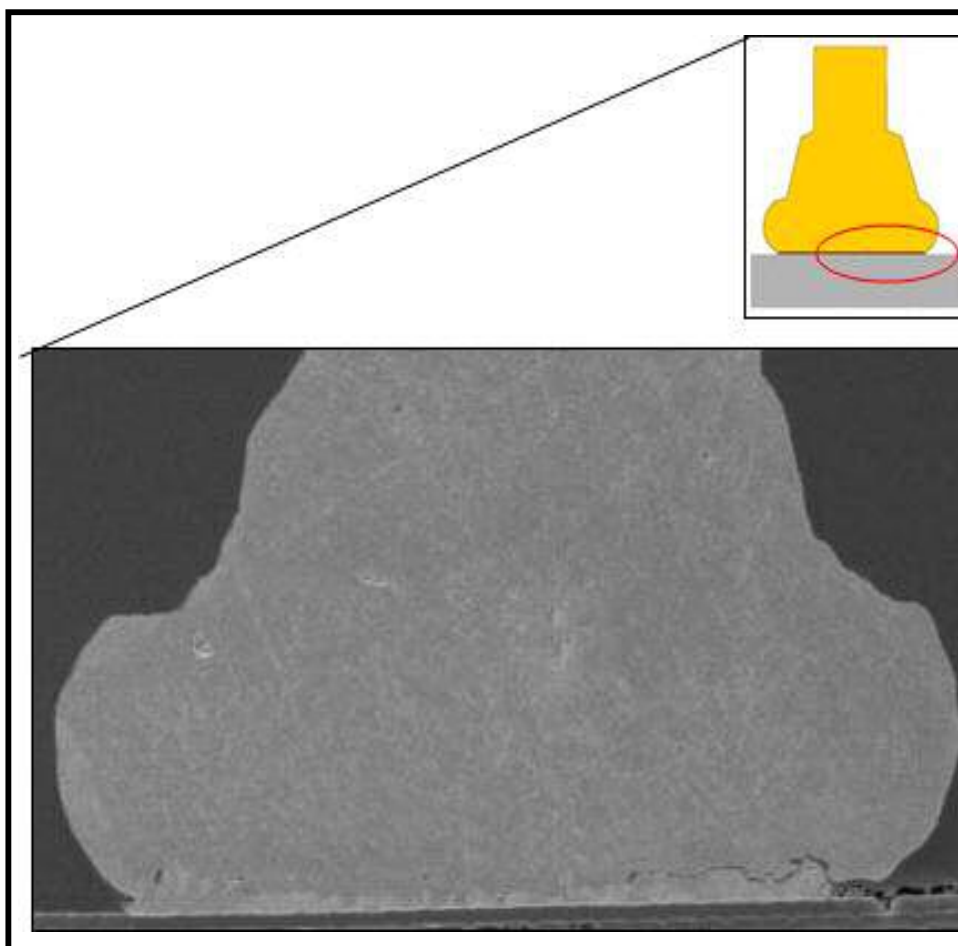


Figura 3.15. Pieza mala sometida a 500 horas de envejecimiento.

En la figura 3.15 se aprecia una bola previamente seccionada y fotografiada mediante equipo de microscopía electrónica de barrido del grupo de unidades consideradas como malas, nótese la fisura que se desarrolla entre los íter metálicos de la superficie de aluminio y la bola de oro, A esta bola se le realizo el jalón de alambre y fue estresada durante la prueba a un mínimo de 6 gramos.

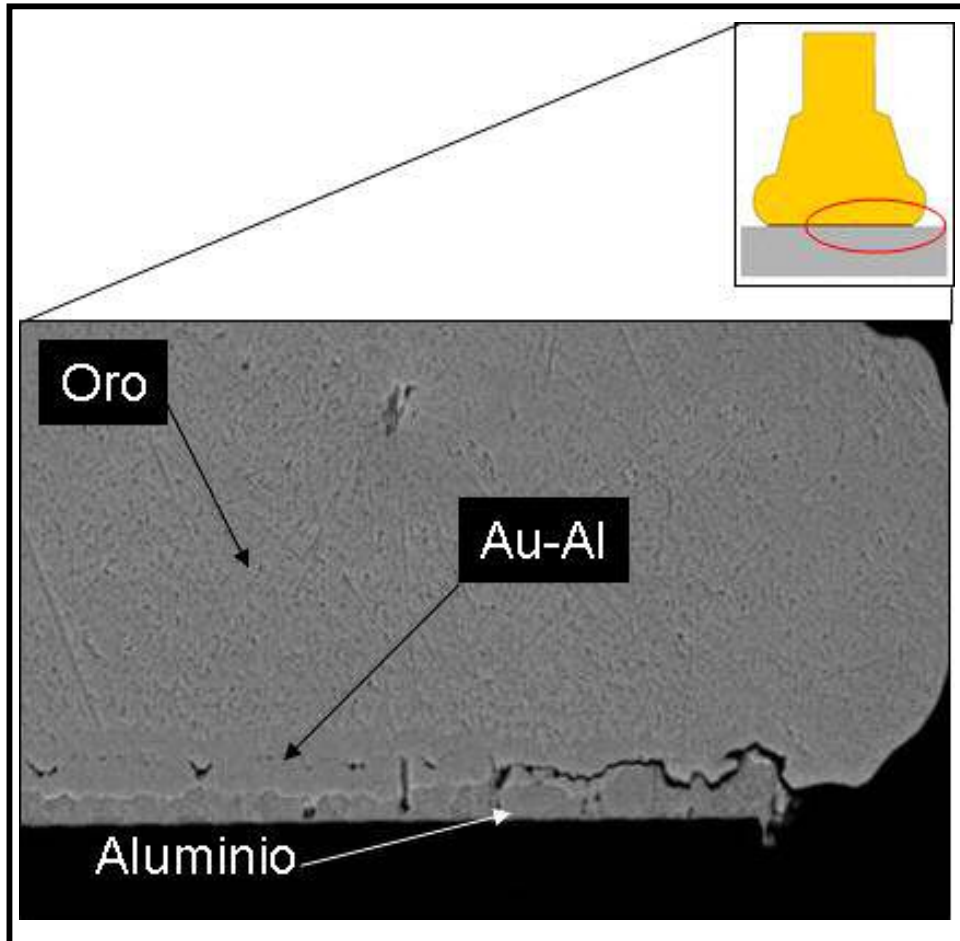


Figura 3.16. Acercamiento a esquina inferior izquierda de fig 3.15.

En la fig 3.16 se puede observar huecos entre los dos metales. Se utilizó el método backscatter el cual acentúa las diferencias entre los números atómicos de cada metal, oro@79 y aluminio@13 observando una mayor brillantez del oro.

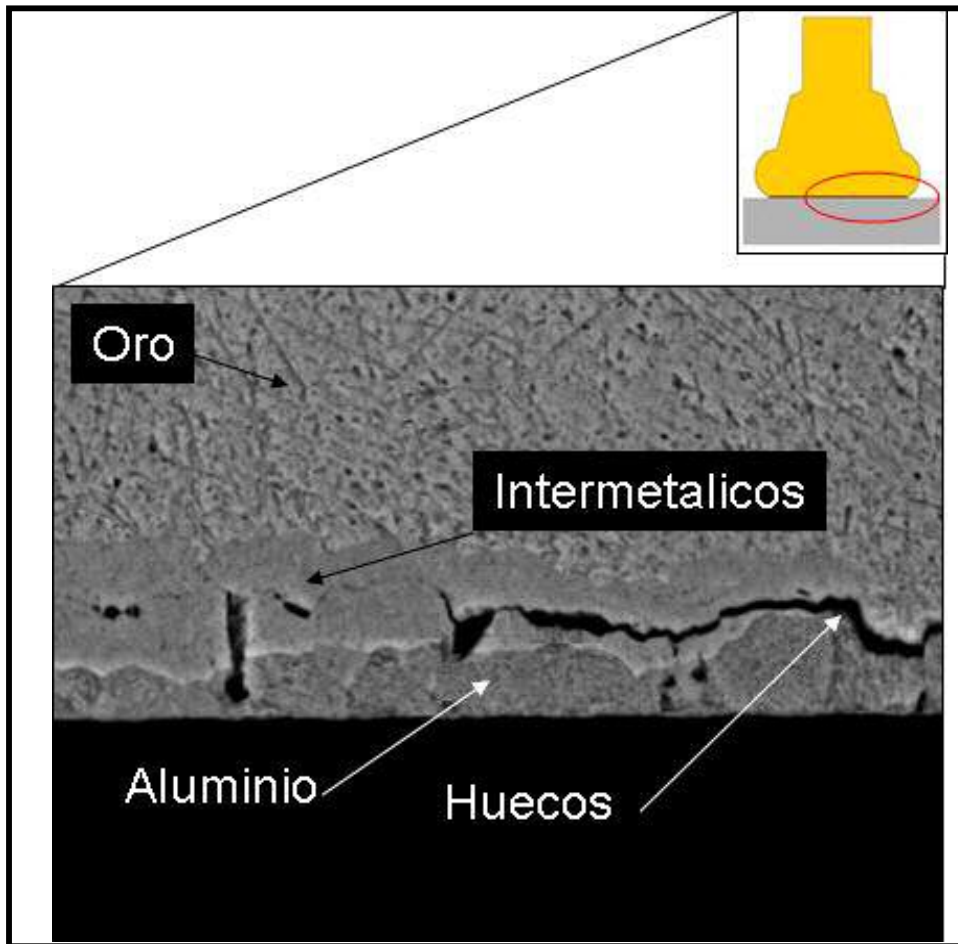


Figura 3.17. Acercamiento a esquina inferior izquierda de fig 3.16.

En la figura 3.17 tomada con imagen Backscatter se aprecia un la línea de huecos formándose entre dos fases de ínter metálicos ricos en oro

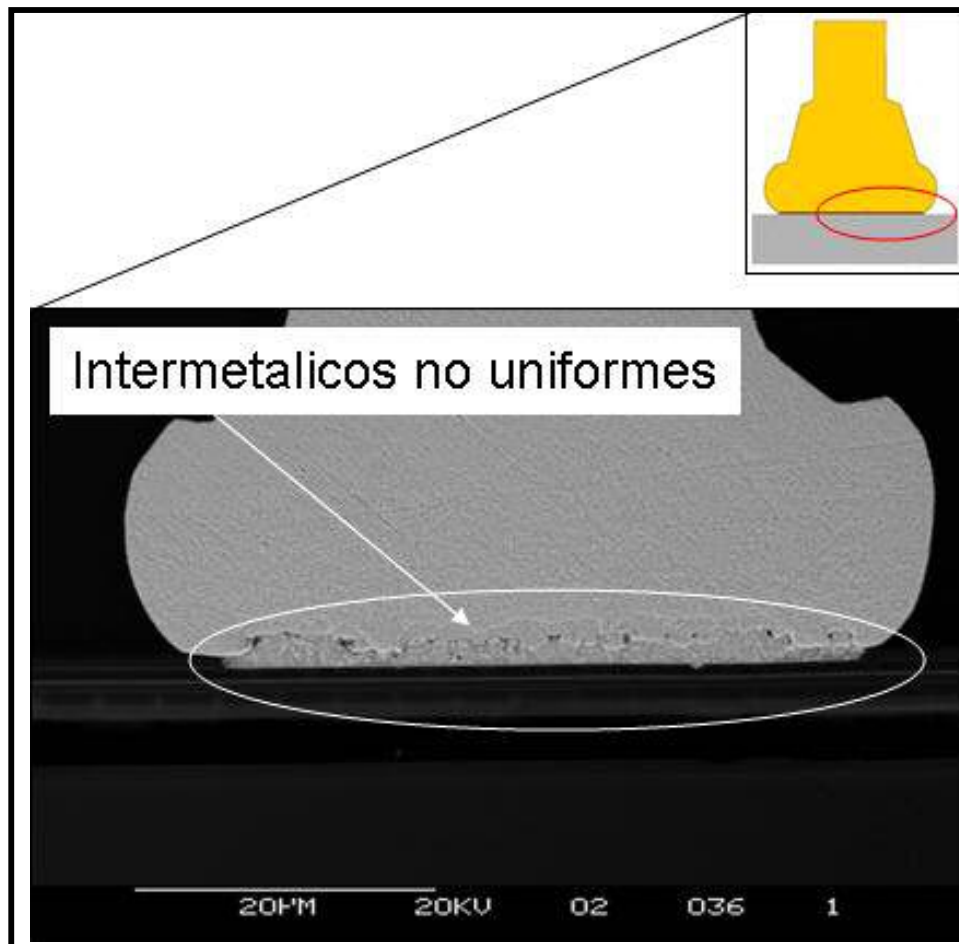


Figura 3.18. Zona de crecimiento irregular de íter metálicos en la zona de soldado.

La figura 3.18 muestra varias zonas con fisuras a lo largo de la zona irregular de íter-metálicos en la zona de soldado, esta pieza no fue sometida a la prueba de jalón de alambre.

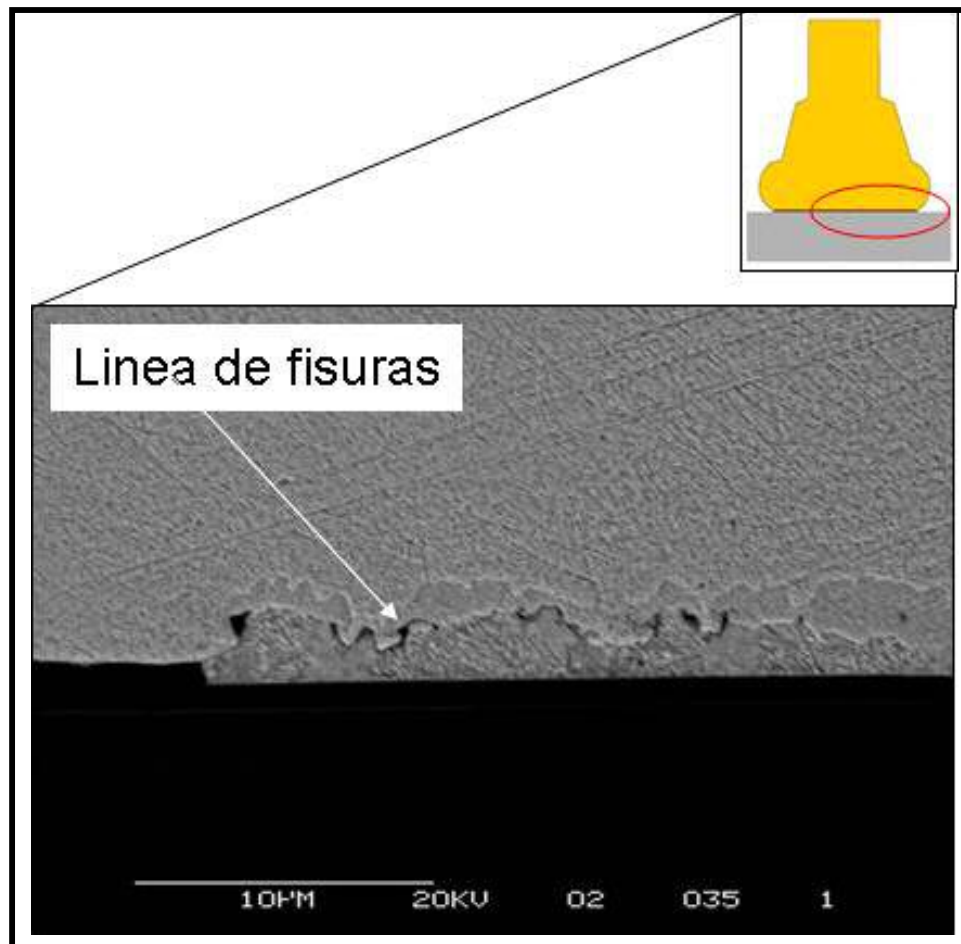


Figura 3.19. Acercamiento a esquina inferior izquierda de fig 3.18.

En la figura anterior 3.19 se aprecia un acercamiento de la figura 3.18 en la esquina inferior izquierda, la cual muestra el crecimiento irregular de íter metálicos a través de la zona de soldado. Así como una línea de fisuras dentro de la zona de reacción.

Discusión

1. Actualmente se utiliza la prueba de remoción de bola como índice de una buena adherencia entre el soldado de oro y el aluminio, tomando como base un valor de 5.5 g/mil-In ² el cual fue alcanzado en todas las condiciones de soldado (a 4.5 g/mil-In ², 5.5 g/mil-In ² y 6.5 g/mil-In ²) a través del tiempo de envejecimiento sin ningún problema y no presentando ningún indicio de falla durante la etapa inicial de la experimentación. Así mismo como parte de las pruebas iniciales de Set up de todo producto se le practica la prueba de jalón de alambre el cual requiere utilizar la prueba de *Midspan* la cual esta diseñada para evaluar la adherencia de soldado entre el alambre de oro y el sustrato.
2. La prueba de remoción de bola puede ser un buen indicativo del comportamiento futuro de la conexión, si embargo es necesario elevar el nivel mínimo de fuerza requerido a fin de asegurar una mejor adhesión de la bola de oro y la superficie de aluminio.

Este cambio requiere una optimización general de los procesos de ensamble para subir la mínima especificación de 5.5 g/mil-In ² a 6.5 g/mil-In ².

Sin embargo esta prueba por si sola no garantiza una buena estabilidad del proceso a través del tiempo, un buen conocimiento del equipo, proceso, limpieza y condiciones de almacenamiento es requerido a fin de asegurar una buena condición de soldado a futuro.

3. El proceso de plasma ha demostrado ser un gran auxiliar en la limpieza de superficies de aluminio, sin embargo todavía queda mucho campo de mejora en este proceso, y con la implementación de una receta mayormente encaminada a limpieza de aluminio se logran mayores resultados en la adhesión.
4. El almacenamiento después de plasma es otra área de mejora en las zonas de ensamble, actualmente los materiales se almacenan en gabinetes cerrados

ambientados en aire. Estudios recientes han demostrado que cambiar esta practica de gabinete de aire por gabinete de nitrógeno extiende el tiempo de vida del ciclo de plasma antes de que el material sea alambrado, previniendo así la contaminación por partículas de aire u otros agentes.

5. La inclusión de la prueba de jalón de alambre “Top of Loop” a los requerimientos de cada material en combinación con las pruebas existentes nos dará una mayor capacidad de predicción del comportamiento de ese paquete en futuras aplicaciones, esto con el fin de prevenir la falla antes del ensamble del material y no analizarla cuando el proceso de ensamble ya ha sido completado.
6. La calidad de la soldadura de oro en aluminio es caracterizada por el porcentaje de cobertura de íter-metálicos presentes (cantidad y uniformidad). Una amplia cobertura nos indicara altos valores de remoción de bola y jalón de alambre, así como un bajo índice de desprendimientos al momento de realizar esta prueba, esta fuerza de adherencia se incrementará a través del tiempo si se logra una buena calidad de soldado al momento del alambrado.

Conclusiones.

- De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación es recomendable adoptar nuevas técnicas de medición e implementarlas en materiales con una gran disponibilidad a presentar desprendimientos o fallas de la conexión de oro-aluminio, esto con el propósito de predecir el comportamiento de la adherencia de inter-metalico a través del tiempo es necesario modificar las pruebas convencionales requeridas para la medición de adherencia
- La prueba de remoción de bola indicó que aun y cuando se utilicen las tres diferentes condiciones de soldado (a 4.5 g/mil-In ², 5.5 g/mil-In ² y 6.5 g/mil-In ²) los resultados son favorables, indicando un aumento del valor obtenido a través del tiempo. Aun y cuando la respuesta no es igual entre las diferentes condiciones no se presentaron valores fallidos en el experimento. Esto indica que la prueba no es lo suficientemente confiable para predecir fallas en el proceso, ya sea originada por la calidad del material o por la degradación del mismo.
- En la figura 4.1 se puede observar un aumento de la fuerza de soldado a las 250 horas de haber sido sometido a la cámara de temperatura y humedad, sin embargo es posible ver una disminución de los valores en la muestra soldada a 4.5g/mil-In ² conforme aumenta el tiempo de exposición, esto se debe a que conforme aumenta el crecimiento de inter-metalicos se van desarrollando fisuras en medio de éstos y al llegar a una altura de 3µm éstos son barridos por la punta metálica utilizada en la prueba de remoción de bola, no siendo así en las muestras de 5.5g/mil-In ² y 6.5g/ mil-In ² en la cuales los inter metalicos van creciendo hacia la parte superior de la bola de oro y al momento de realizar la prueba de remoción de bola se efectúa en el punto del compuesto inter metálico el cual es mas débil que los elementos mismos.

- El punto anterior nos demuestra que el compuesto ínter-metálico presenta una mayor oposición mecánica a pruebas de adherencia en relación con el elemento aluminio u oro por sí solos.
-
- La prueba de KOH es comúnmente utilizada en análisis de fallas como auxiliar en la separación de soldaduras de oro en superficies de aluminio, sin embargo la desventaja de la prueba es que no deja la superficie completamente limpia como para efectuar un correcto análisis o medición de porcentaje de cobertura de área de soldado.
-
- Se propone como una alternativa a este problema la inclusión de la prueba de jalón de alambre “Top of Loop” la cual se demostró que nos da un buen indicativo del porcentaje de cobertura en el área de soldado, así como una mayor limpieza en las muestras a analizar.
-

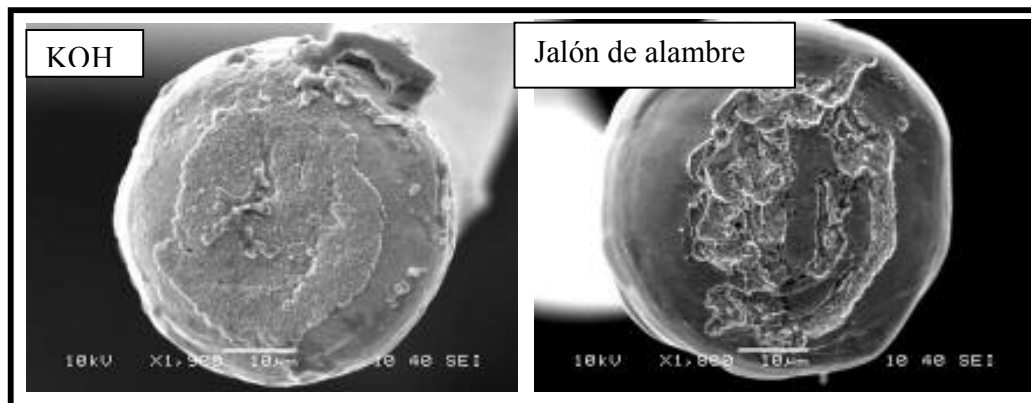


Figura 4.2 Comparativo de muestras de bola removida con KOH Vs. jalón de alambre.

- Al utilizar este método de análisis permite tener mayor exactitud en el porcentaje de cobertura medida mediante el equipo de microscopía electrónica de barrido y la ayuda de programas de análisis de imágenes.

- Es recomendable complementar el análisis de falla convencional que utiliza solamente la solución de KOH con la prueba de jalón de alambre para una mayor exactitud del análisis.
-
- Así mismo es necesario modificar los requerimientos mínimos para las pruebas realizadas al momento de iniciar la producción de paquetes semiconductores, muchos de estos requerimientos fueron diseñados para superficies de soldado de oro con alambre de oro, el cual no requiere mayores modificaciones al proceso actual, sin embargo con la llegada de nuevas superficies de soldado como aluminio y los frecuentes cambios en su estructura interna es requerido revisar nuestros procesos actuales y mejorarlos a fin de tener una mayor capacidad de predicción del comportamiento futuro de las uniones de oro-aluminio a través del tiempo y de la exposición a la temperatura.

Bibliografía.

1. JEDEC Solid State Technology Association (2004, Julio). *Wire bond shear Methods (EIA/JESB22-B116)*.
2. WIRE BONDING IN MICROELECTRONICS MATERIALS George C. Hartman
3. Department of Defense United States of America (2004, junio). *Test Method Standard Microcircuits (MIL-STD-883F)*. Estados Unidos. Department of Defense.
4. Intermetallic Formation in Gold-Aluminum Systems. Philofsky, E., Solid State Electronics, Vol. 13
5. Kulicke And Soffa. (2005). *Wire Bond in Microelectronic Industry*.
<http://www.kns.com/>
6. Intermetallic Formation.-
http://www.techiedo.com/intermetallic_formation.htm
7. E.Philofsky, "Intermetallic formation in Gold Aluminum Systems" Solid States Electronics. Vol, 13
10. EDAX (2002) Genesis User Manual, USA,EDAX
11. B. Ángel, E. Levine, And A. Shore (2004), The art of cross sectioning, ASM Microelectronics Failure Analysis Desk Reference 5th Edition.
12. Department of Defense United States of America . *Wire Pull Method for microelectronics (MIL-PRF-38534)*. Estados Unidos. Department of Defense.
13. K. Dittmer, S. Kumar and F. Wulff, "Intermetallic Growth in Small Bonds" SEMICON Singapore, Test, Assembly & Packaging, May 5, 1998.
- 14.K. Dittmer, S. Kumar and F. Wulff, "Influence of bonding conditions of small ball bond due to Intermetallic Phase (IP) Growth" K&S Packaging Materials.
15. "Stress Test Qualification for Automotive-Grade Integrated Circuits" Automotive Electronics Council: CDF – AEC – Q100 – Rev June 9, 1994.
16. Silicon Far East (2005), International Package and Die Contamination,
<http://www.siliconfareast.com>
17. Preliminary failure Analysis Reports for 77330: Skyworks Solution.

18. Milton Ohring, "Reliability and Failure of Electronic materials & devices".
19. J. Devaney, "Thermalsonic Ball Bond Evaluation by a Bond Pluck Test", Proceedings of ISTFA IRPS, 1984.
20. E. Philofsky, "Design Limits When Usign Gold Aluminum Bonds", 9th Annual Proceedings, Reliability Physics, 1971.
21. G. Clatterbaugh, J. Weiner and H. Charles, "Gold-Aluminum Intermetallics: Ball Bond Shear Testing" IEEE, December 1984.
22. Noolu, N., Klossner, M., Ely, W. Lippold, "Elevated Temperature failure Mechanism In Au-Al Ball Bonds" International Microelectronics and Packaging Society, IMAPS September 2002 Proceeding.

Glosario

Glosario de términos en ingles usados comúnmente en la industria de los semiconductores.

Termino en Ingles	Traducción	Descripción
A		
Alloy	Aleación	Sustancia con propiedades metálicas compuesta de dos o más elementos químicos de los cuales al menos uno es metal.
Assembly	Ensamble	Serie de pasos encaminados a la construcción de los circuitos semiconductores, éstos pueden ser cortado del dado, pegado del dado, alambrado del dado y encapsulamiento del paquete.
B		
Back End	Extremo final	Termino comúnmente usado para las operaciones al ensamble y la porción de pruebas de los procesos de Manufactura.
Backgrinding	Rebajado	Proceso de rebajar las obleas de silicio mediante una rueda dentada con polvo de diamante hasta alcanzar el espesor deseado. Los espesores mas comunes son 4 mil, 7 mil y 11 mil de espesor.
Ball Bonding	Soldado de Bolas	Se usa normalmente con alambres de Oro, El ball bonding emplea una cabeza soldadora que comprime la bola de Oro alambre bajo una alta temperatura hasta aplanarlo en una área grande de soldado.
Bond Fingers	Niveles de soldado	Porción del paquete en el tablero en el cual se habrá de conectar el alambre con el dado.
Bond Off	Cortado de alambre	Una soldadura extra que se pone en el tablero (nunca en el dado) con el propósito de despejar la maquina de Wire Bond.
Bonding Diagram	Diagrama de alambrado	Diagrama que nos muestra la distribución de los alambres de oro al momento de conectar el dado con el sustrato, el mismo también puede contener información acerca de las distancias y alturas de los alambres.

Bonding Pad	Pad de Soldado	Es una área metálica expandida en la superficie del dado que se utiliza para soldar el alambre.
-------------	----------------	---

C

Curing	Curado	Exposición a alta temperatura que promueve el enlace molecular de un adhesivo epóxico o resina de moldeo con la finalidad de alcanzar su rigidez final.
--------	--------	---

D

Defect	Defecto	Imperfección física la cual no permite que la pieza alcance su calidad requerida.
Die	Dado	Microcircuito proveniente de una oblea de Silicio o Galio
Die attach	Pegado de dados	Etapas del proceso donde se selecciona un dado de la oblea de Silicio o Galio y se monta en un tablero electrónico adhiriéndolo mediante el uso de resina epóxica.
DOE (Design of experiment)	Diseño de experimentos DOE	Combinación de variables críticas estadísticamente diseñadas con la finalidad de predecir las variables de salida como consecuencia de la variación de variables de entrada.
Donor	Donante	Es una impureza que crea un semiconductor tipo N al donar un electrón extra a la banda de conducción, estos electrones libres son portadores de cargas negativas.
Doping	Dopante	Es la introducción de una impureza en una estructura de un cristal semiconductor para modificar sus propiedades eléctricas creando una concentración de portadores n o p.

E

Epoxy	Resina epóxica	Resina epóxica utilizada como adhesivo entre el dado y el tablero electrónico.
-------	----------------	--

F

Failure Analysis	Análisis de Fallas	Es una investigación que se realiza con circuitos que han fallado con el propósito de verificar la falla reportada y verificar el mecanismo de la misma. Las técnicas de análisis de fallas pueden variar desde simples exámenes eléctricos y visuales hasta las más avanzadas técnicas como físicas, metalúrgias y químicas.
Failure Rate	Índice de Fallas	Es el porcentaje de fallas que ocurrirán en una población de circuitos. Se expresa normalmente en términos de porcentajes, partes por millón.
Foreign Material	Partículas Externas	Cualquier material que es externo al microcircuito o cualquier material que se desplace dentro del mismo.
Fracture	Fractura	Rompimiento o fractura de un material.
Front End	Del extreme frontal	Término comúnmente usado para las operaciones de fabricación de wafers usados en la industria de microcircuitos.

G

Gallium Arsenide (GaAs)	Galio Arsénico	Material Semiconductor cuya gran movilidad de electrones lo ha llevado a ser altamente usado en la fabricación de circuitos de alta velocidad.
-------------------------	----------------	--

H

High temperature Storage	Almacenamiento a alta temperatura	Almacenamiento de piezas en hornos de alta temperatura, usualmente a 150 °C por periodos cercanos a las 1000 horas.
--------------------------	-----------------------------------	---

I

Interconnect	Interconexión	Metalización conectando dos o más elementos activos en la superficie de un dado, también, alambres conectando el dado al tablero
--------------	---------------	--

Intermetallic compound	Compuesto Inter metálico	electrónico. Compuesto formado entre dos metales que se encuentran unidos a nivel molecular uno con otro.
------------------------	--------------------------	--

K

Kirkendall Voids	Huecos de Kirkendall	Es una corrosión que resulta de la interacción del Oro con el Aluminio, esta corrosión puede disminuir la adhesión de la bola de Oro soldada y disminuir la conducción de corriente en la interfase, en casos extremos los alambres pueden llegar a desprenderse.
------------------	----------------------	---

L

Laminate	Laminado	Capa de Plástico que recubre líneas de metal utilizado en la construcción de circuitos electrónicos.
Leadframe	Armadura de metal	Estructura de metal que sirve como sustrato en la fabricación de circuitos semiconductores.
Lifted Ball	Bola desprendida	Desprendimiento de la bola de oro en el dado.
Lifted lead	Desprendimiento del nivel	Desprendimiento de la soldadura de oro en el sustrato

M

Microcrack	Micro fisura	Es una fisura muy pequeña entre alguna metalización del circuito, típicamente no detectable usando magnificación óptica, en las áreas de metalización típicamente ocurre en la zona de contactos, estos pueden ocasionar discontinuidad en el circuito.
Moisture resistance	Resistencia a la humedad	Es el someter piezas a ciclos de alta humedad y stress de alta temperatura para determinar la habilidad de supervivencia de las piezas a severas condiciones ambientales.
Molded Device	Paquete Moldeado	Un paquete el cual es completamente encapsulado en resina epóxica o compuesto de moldeo.
Multi Chip Module (MCM)	Modulo de dados múltiples (MCM)	Paquete que incluye varios dados y componentes de SMT en su interior.

P

Package	Paquete	Estructura que protege al circuito del medio ambiente y la facilita su manejo.
Particle Count	Conteo de Partículas	Escala de medición de partículas para gases o líquidos. Normalmente se expresa en partes por pie cúbico, por ejemplo, un cuarto limpio clase 10 será aquel que no sobrepase 10 partículas mayores de un micrón en tamaño por pie cúbico de aire.
Probe	Prueba	Prueba eléctrica de semiconductores a nivel de wafers, en este caso se utiliza una punta de metal para probar el contacto eléctrico en cada uno de los pads del paquete.

R

Reject number	Numero de Rechazos	Durante un muestreo, el numero de paquetes fallidos que causará que el lote sea rechazado, éste normalmente puede ser uno mas que el numero de aceptación.
---------------	--------------------	--

S

Sample	Muestra	Paquete o paquetes aleatoriamente seleccionados de un lote de material, el cual se asume que los paquetes seleccionados mostraran las mismas características eléctricas que el resto del lote.
Scanning Electron microscopy (SEM)	Microscopio de barrido electronico	Técnica de microscopia que alcanza una alta resolución mediante la utilización de electrones para detectar la imagen logrando una magnificación varias veces mayor a la lograda en un microscopio optico.
Semiconductor	Semiconductor	Elemento con una resistividad eléctrica situada entre un conductor y un aislante.
Solderability testing	Prueba de soldabilidad	Es la inmersión de las terminales del circuito en soldadura, seguido de una inspección visual para determinar que la calidad del acabado es tal que aceptará una capa uniforme de soldadura.
Substrate	Substrato	Superficie donde el dado u otros componentes son montados.

Surface mounted packaging	Ensamble de componentes en superficie	Paquetes semiconductores montados en la superficie de un tablero de circuito impreso u otro material.
---------------------------	---------------------------------------	---

T

Thermal resistance	Resistencia termal	Normalmente expresada en términos de °C/F, es el indicador de la capacidad del paquete para disipar el calor generado por los microcircuitos durante su operación.
Thermal Shock	Choque termal	Similar a ciclos de temperatura, excepto que este es mas agresivo y usualmente se somete al paquete a ciclos de 0°C a 100°C.

V

Void	Hueco	Ausencia de material dentro de una superficie uniforme.
------	-------	---

W

Wafer	Oblea	Disco de material semiconductor en cuya superficie se crea una matriz de dados con diferentes arreglos electrónicos.
Wafer fabricación	Fabricación de wafers	El proceso en el cual un wafer se procesa a través de todos los pasos incluyendo la metalización.
Wafer saw	Cortado de Oblea	Proceso del ensamble donde se corta la oblea en paquetes individuales.
Wire Bond	Alambrado	Proceso del ensamble donde se conecta el dado semiconductor con el substrato mediante alambres de oro.
Wire pull	Jalón de alambre	Jalar los alambres hasta destruirlos con el propósito de medir la fuerza de las conexiones.
Wire sweeping	Alambres barridos	Defecto del encapsulamiento del paquete en el cual debido a la presión del plástico sobre las conexiones de oro éstas se barren provocando interconexiones.

Y

Yield	Rendimiento	Proporción de piezas buenas en un lote de material.
-------	-------------	---

