

Universidad Autónoma de Baja California

Instituto de Ingeniería

Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



“Caracterización y evaluación de materiales alternos al oro en el proceso de alambrado de circuitos integrados: Aleaciones de plata y cobre”

Tesis que para obtener el grado de:
Doctor en Ingeniería

Presenta:
Omar Enrique Quiroz Uribe

Director de Tesis:
Dr. Mario Alberto Curiel Alvarez

Co-Director de Tesis:
Dr. Roberto Luis Ibarra Wiley

Mexicali, Baja California

Junio de 2018

Contenido

Capítulo 1 Introducción

Pág.

1.1 Antecedentes.	1
1.2 Planteamiento.	8
1.3 Justificación	11
1.4 Objetivos	13
1.5 Metas y Preguntas de investigación	16

Capítulo 2. Marco teórico

2.1 Proceso de alambrado	18
2.2 Proceso de limpieza (Plasma)	25
2.3 Pruebas de calidad de soldado	31
2.4 Moldeo	37
2.5 Prueba Eléctrica	38
2.6 Pruebas de confiabilidad	42

Capítulo 3. Detalles Experimentales

3.1 Método	49
3.2 Diseños de experimento	52

Capítulo 4. Resultados y Discusiones

4.1 Resultados de formación de bola en base (FAB)	59
4.2 Resultados de alambrado de primer punto de contacto	60
4.3 Resultados de alambrado de segundo punto de contacto	68
4.4 Resultados de verificación tipos de enlace	73
4.5 Pruebas de confiabilidad	76
4.6 Caracterización eléctrica.	77

Capítulo 5. Conclusiones y Trabajo futuro

80

Contenido de Tablas y Figuras

Tabla 1 Comparación de alambrado	3
Tabla 2 Propiedades de materiales	4
Tabla 3 Propiedades mecánicas de alambres	13
Tabla 4 Características de técnicas de alambrado	28
Tabla 5 Configuración eléctrica características de fabricación	55
Tabla 6 Configuración eléctrica características de superficies de pads.	56
Tabla 7 Alambre de Plata .	58
Tabla 8 Pruebas de calificación alambre Ag	76
Tabla 9 Verificación Eléctrica de alambre Ag	77
Tabla 10 Verificación Eléctrica de alambre CuPd Proveedor 1	77
Tabla 11 Verificación Eléctrica de alambre CuPd Proveedor 2	78
Tabla 12 Verificación Eléctrica de alambre CuPd Proveedor 3	78
Figura 1 Diagrama de fase Plata-Aluminio	6
Figura 2 Tendencias de desarrollo de alambres	10
Figura 3 Tendencia de utilización de tipo de alambres	11
Figura 4 Proceso de alambrado en equipo K&S	14
Figura 5 Comportamiento Elongación y punto de quiebre	19
Figura 6 Comportamiento módulo elástico	23
Figura 7 Zona Afectada por el calor (HAZ)	24
Figura 8 Proceso de Plasma	26
Figura 9 Tipos de alambrados	29
Figura 10 Pruebas de calidad de alambrado	32
Figura 11 Niveles de sensibilidad de humedad.	43
Figura 12 C-Sam Pre condicionamiento	45
Figura 13 Cortes transversales (cross section)	45
Figura 14 Diagrama de flujo proceso de alambrado	51
Figura 15 Diagrama de alambrado	57
Figura 16 EDX alambre seleccionado.	58
Figura 17 Verificación de resultados de formación de bola.	59
Figura 17.1 FIB Verificación de resultados de formación de bola	59
Figura 18 EDX primer punto	61
Figura 19 Comparativo arrastre de bola Au,Ag y Cu en Ga	63
Figura 20 Comparativo arrastre de bola Au,Ag y Cu en Si	63
Figura 21 FIB Primer punto de contacto	64
Figura 22 Comparativo Jalón de bola Au,Ag y Cu en Si	69
Figura 23 FIB Segundo punto de contacto	69
Figura 24 Complejidad por puntos de contacto Au,Ag & Cu	72
Figura 25 Formas (Loop) de primer punto de contacto Ag	73
Figura 26 Pre condicionamiento alambre Ag	77

Capítulo 1 Introducción

1.1 Antecedentes

El presente trabajo representa la búsqueda de materiales alternos para alambrados de circuitos semiconductores que actualmente se realizan con oro principalmente, donde los precios y dificultades para obtener estos preciados materiales hacen extensiva la búsqueda de materiales alternativos y más económicos para mantener la competitividad de la industria de los semiconductores. En la actualidad la industria manufactura en países emergentes mantiene las empresas en estos países siempre y cuando se mantengan los índices de competitividad requeridos dentro de las organizaciones y planes de ahorro año con año son más agresivos lo que pone en riesgos miles de empleos formales lo cual afectaría enormemente la economía local y de sus familias

El presente trabajo representa la oportunidad de evaluar materiales alternos para el área de alambrado en la planta de manufactura de semiconductores “Solutions de México” en Mexicali Baja California. El material alternativo seleccionado para este proyecto de tesis al oro que se usa en alambrado de circuitos semiconductores se basa en aleaciones plata y cobre los cuales actualmente se encuentra en fase de desarrollo y experimentación en Asia y actualmente cuenta con un auge importante dentro de la industria la cual

podría representar el 10% en los próximos 5 años su evaluación y aplicación en materiales utilizados actualmente en la compañía de Solutions de México. No se tiene ningún plan, ni ningún producto en evaluación lo cual representaría tremendo ahorros e introducción de tecnología que permitiría a la empresa ser rentable para el corporativo lo cual garantiza más de 4 mil empleos redituables para la comunidad de Mexicali en Baja California. Donde se cuenta con el soporte a través del Centro de Innovación en Semiconductores en conjunto con la Universidad Autónoma de Baja California.

En el empaquetamiento de circuitos semiconductores, el proceso completo de alambrado es la principal tecnología para conexiones eléctricas entre el circuito y la periferia a los puertos de comunicación externa.

El alambre de oro (Au) ha sido hasta el momento el más utilizado en el empaquetamiento de circuitos semiconductores representando grandes ventajas, principalmente por su rápido proceso de alambrado, excelentes propiedades eléctricas, conductividad, maleabilidad y químicamente estable. Por lo anterior, es ampliamente utilizado dentro de la industria de empaquetamiento de semiconductores, específicamente en el proceso de interconexión. Sin embargo, los precios del alambre de oro se han incrementado significativamente en los años recientes. Muchas compañías de la industria de empaquetamiento se han dado a la tarea de investigar diferentes materiales que puedan representar una alternativa factible al alambre de oro con varias aleaciones de metales que puedan ser utilizados para este propósito. En la última década, el alambre de cobre ha sido una alternativa importante por su resistividad eléctrica y bajo costo, sin embargo, su proceso de alambrado es más complejo y difícil de mantener en rango, de aquí la importancia de continuar con la búsqueda de alambres alternos para

empaquetamiento de circuitos semiconductores, una alternativa aparentemente viable incluye las aleaciones de plata (Ag) por sus propiedades y afinidad con el oro, esta y más opciones serán investigadas y evaluadas durante el presente trabajo de doctorado.

El alambre de cobre presenta un 40% mayor dureza al momento de crear la bola para iniciar el proceso de alambrado a su vez la aleación de CuPd representa 10% más dureza que el alambre de Cu por si solo los procesos de cobre son más cerrados que los de oro

Comparación de alambrado:

Au, Cu, PdCu, Ag

	Au	Cu	PdCu	Ag
Costo	Alto	Bajo	Bajo	Bajo
Gas	NA	Forming gas	Forming gas/N2	Forming gas/N2
Dureza de FAB	Base Al	40% mas que Au	10% mas que Cu	Base Au/Al
Proceso de soldado 1st Bond	Proceso Amplio	Proceso reducido	Mas reducido que Cu	Proceso Amplio
Procesao de soldado 2nd Bond				
Requerimiento de portabilidad	Moderado	Alto	Alto	Moderado
Confiabilidad	Buena	Buena más resistente que para moldeo	Mejor que Cu	Buena

Tabla 1 Comparación de alambrado

Propiedades de materiales

Au, Cu, Ag

	Au	Cu	Ag
Conductividad Térmica (W/mk)	320	400	430
Resistividad eléctrica (Ω m)	2.2	1.72	1.63
Modulo de young (Gpa)	60	130	82.5
Radio poisson	0.44	0.34	0.364
Yield Stress (Mpa)	32.7	200	45.5
Coeficiente térmico de expansión (ppm/C)	14.4	16.5	18.9
Durabilidad Vicker (Mpa)	216	369	251

Tabla 2 Propiedades de materiales

Para el desarrollo de este trabajo se realizarán estudios para definir la correcta selección de materiales en el área de empaquetamiento en el proceso de alambrado (wirebond) bajo el estudio del alambre de plata el cual está

ganando auge en la industria de los semiconductores en el proceso de alambrado ya que sus propiedades de resistividad eléctrica hacen posible su utilización en aplicaciones de amplificación de microelectrónica debido a su maleabilidad se requiere menor esfuerzo para su alambrado, además, su precio es similar al del cobre lo cual lo hace muy atractivo como material alternativo para el proceso de alambrado.

En este estudio, examinaremos el alambre de plata como una propuesta alterna al alambre de oro donde se hace énfasis a la utilización de la plata debido a sus potenciales niveles de manufactura y niveles de confiabilidad en el uso del alambre de plata y de plata con aleación (Ag-Au-Pd) en el proceso de empaquetamiento de circuitos semiconductores.

Sistemas Oro-Oro (Au-Au)

Los sistemas metalúrgicos oro-oro son los sistemas más confiables debido a que no presentan problemas de corrosión en las interfaces ni formación de intermetálicos ni otros mecanismos que degradan el alambrado. Es la formación más sensible a la contaminación la cual pudiera debilitar las interconexiones formadas ya que los sistemas oro incrementa su interacción conforme se incrementa el tiempo y la temperatura.

Los sistemas Aluminio-Plata (Al-Ag)

Los sistemas Al-Ag son comúnmente utilizados en tecnologías híbridas con diferentes recubrimiento como paladio (Pd) sobre superficies no como leadframes o duras como níquel, las cuales hacen complicada sus diferentes fases de soldado ya que estos sistemas tiene tendencia a oxidarse en la presencia de humedad o de contaminantes corrosivos como el cloro (Cl). Estos se presentan principalmente en alambres muy gruesos, además, se pudieran presentar problemas de huecos kirkendall lo cual no es un riesgo ya que solo

se presentan a temperaturas mayores a las que trabajan los circuitos integrados.

Como nos indica su diagrama de fase

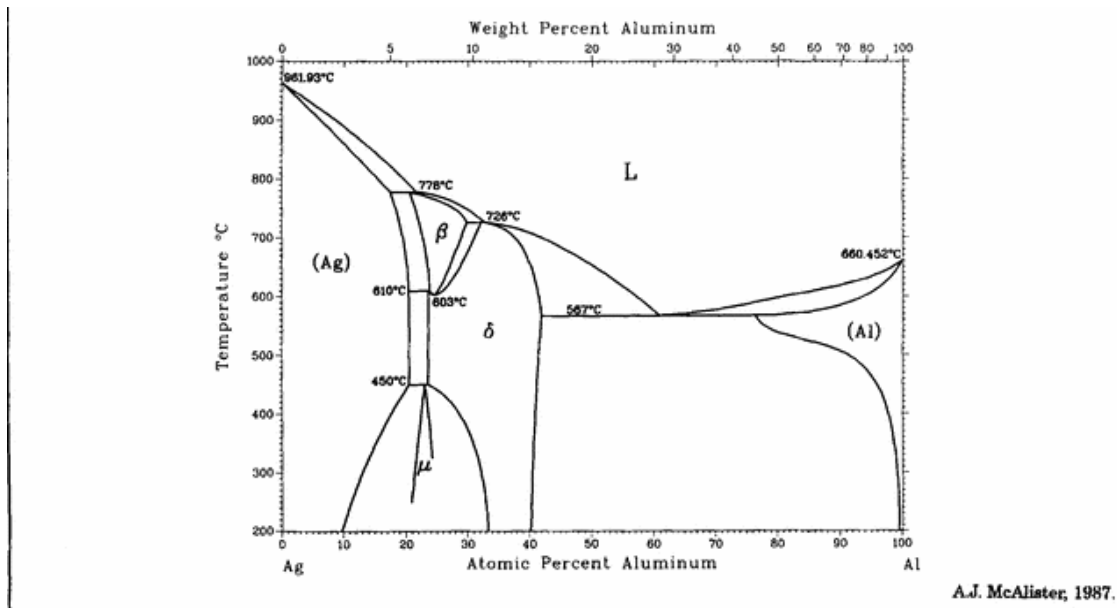


Figura 1 Diagrama de fase Plata-Aluminio

Actualmente se ha tenido gran auge en la utilización del alambre de cobre como proceso alternativo al proceso de alambrado en circuitos. La industria se movió al cobre principalmente por su precio alrededor de 10 veces más barato que el oro sin embargo, no se consideró inicialmente que debido a sus características de dureza y oxidación, terminaríamos con un proceso más complejo que a la larga podría estar resultando más caro, por razones como:

- Porque se reducen sus tiempo de ejecución
- Presentan ventanas de trabajo son mucho más cerradas y estrictas
- Se incrementan los defectos durante su ejecución presentando exceso de desprendimientos en las superficies de Al, además de incrementar el riesgo de potenciales daños a las superficies a soldar (Cracks /

Cratering) y mayor rampa de estabilización durante la introducción de un nuevo productos calificados con alambrado de cobre debido a mayor variación durante su ejecución de equipo a equipo.

La pureza del alambre durante su procesamiento, el cual determina la propiedades mecánicas del alambre. Las propiedades mecánicas revelan el porcentaje de elongación y la fuerza del punto de quiebre. Adicionalmente los estados del estrés del alambre son determinados por el tipo de forma/bucle (loop) a utilizar.

El proceso de alambrado Wirebond durante el procesamiento de empaquetamiento de circuitos semiconductores es una de las técnicas más utilizada para la interconexión de los diferentes puertos de entrada y salida a los dispositivos que conforman el circuito semiconductor y además, que es de los pocos procesos de empaquetamiento que aún le agrega valor al producto en términos de funcionalidad ya que de acuerdo a su características de resistividad, conductividad longitudes y formas pueden mejorar o degradar el funcionamiento del dispositivo.

Dentro los materiales alternos a evaluar que representan ventajas competitivas con respecto al oro se encuentra la plata. Remplazar la utilización de alambre de Au representa muchos desafíos para su interconexión, como el cobre, requiere ajuste de parámetros en ventanas de trabajo más limitadas debido a que el cobre es más duro que Au, Al, Ag además, que es propenso a la oxidación por lo cual es necesario utilizar gas inerte como el nitrógeno o forming gas durante su alambrado en algunos casos algunos fabricantes utilizaran recubrimientos con Pd para prevenir la oxidación además debido a su dureza ha sido necesario invertir en material con bases de Ni en PCB.

1.2 Planteamiento del problema

El alambrado de los circuitos semiconductores ha sido dominado desde su implementación por el material con aleaciones de oro donde el aumento en el precio de los materiales han incrementado los costos del producto final donde a pesar de las modificaciones y reducciones de las diferentes materias primas en los procesos de manufactura, la utilización de alambrado de oro continua siendo de los materiales de mayor precio dentro del circuito, además que es de las áreas que si no se selecciona adecuadamente continua afectando su funcionalidad eléctrica.

En la última década se introdujeron nuevos tipos de aleaciones para alambrado de semiconductores donde el cobre, aluminio y plata comienzan a marcar tendencia en la industria de los semiconductores, donde actualmente se requiere mayor investigación en la utilización de estos nuevos materiales en productos actuales así como en la introducción de nuevos productos y tecnologías. A pesar de las ventajas que presenta el cobre como sus bajos costos, superior conducción eléctrica y térmica entre otras como que no presenta barrido de alambres al momento de la inyección de moldeo, también presenta algunas desventajas en términos de confiabilidad y decremento de productividad debido a que el cobre presenta mayor dureza y por consiguiente los siguientes riesgos:

(1) El alambrado con cobre o algún tipo de aleación de cobre, la estructura debajo del pad a alambrear son más susceptible a ser dañadas, por las ventanas de trabajos más reducidas en los parámetros más altos de soldado.

- (2) El cobre presenta un problema serio de desplazamiento metálico (splash) comparado con el oro el cual es prácticamente imperceptible.
- (3) El alambre de cobre presenta problemas en conexiones de pad a pad, alambres apilados como en reversa los cuales son todo un reto muy complejo debido a la dureza de alambre.
- (4) El Cu es susceptible a oxidación principalmente con el segundo punto de contacto al momento del impacto aun cuando el alambre pudiera estar recubierto o aleado con otro metal para prevenir esta oxidación incrementando su precio.
- (5) El Cu tiene menores salidas de producción debido a su dureza se requieren mayores tiempos de alambrado y mayor fuerza de pegado con menores ventanas de trabajo por consiguiente tiene un impacto en rendimiento en cuanto a cantidades de alambres procesados por hora además de un incremento de defectos potenciales.

Basado en lo anterior algunas industrias no han querido adoptar al cobre en sus aplicaciones como lo son el sector automotriz y militar además de la industria de LED, debido a la baja refracción de la luz además que la industria de las memorias requiere alambrados apilados y muchas conexiones de dado a dado por que se requiere un alambre con menor dureza que el cobre, es por eso que el alambrado de plata está emergiendo como una solución alternativa para estas aplicaciones debido a:

- (1) El costo total de la manufactura es comparable al costo del cobre
- (2) La dureza de la plata es comparable a la de la oro y las ventanas de trabajo son más amplias que el cobre, con menos Splash y mayores salidas de producción

(3) La formación de intermetalicos es comparable a la del cobre con mayor confiabilidad.

A continuación se indica la tendencia en la utilización de los diferentes alambres utilizados en la industria de empaquetamiento de circuitos semiconductores

Bonding Wire - Trends and Developments

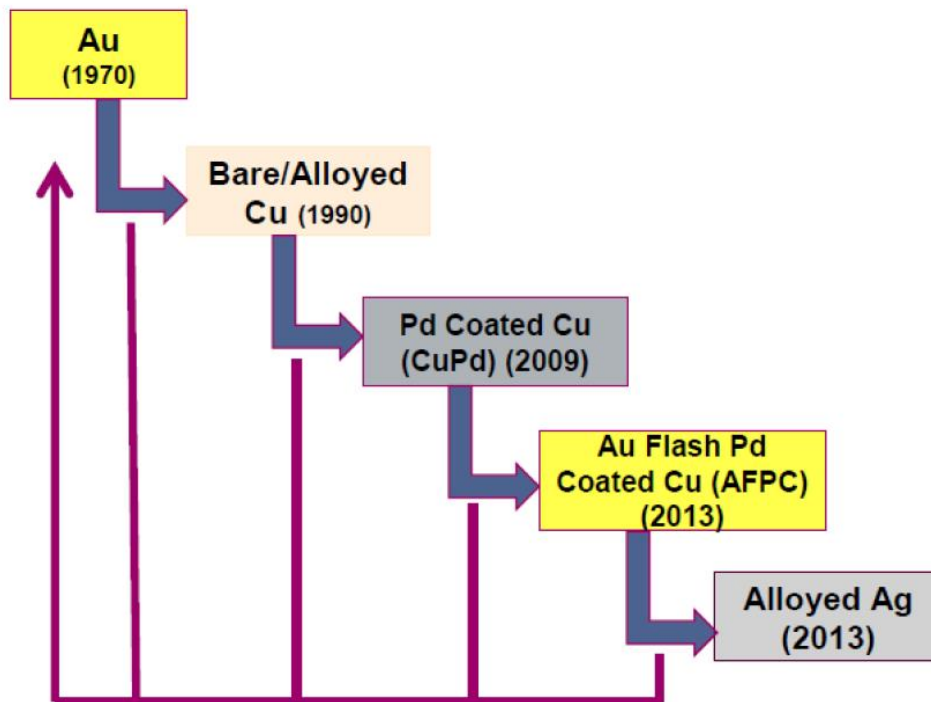


Figura 2 Tendencia de desarrollo de alambres de wirebond
SEMI Industry Research and Statistics, November 2013

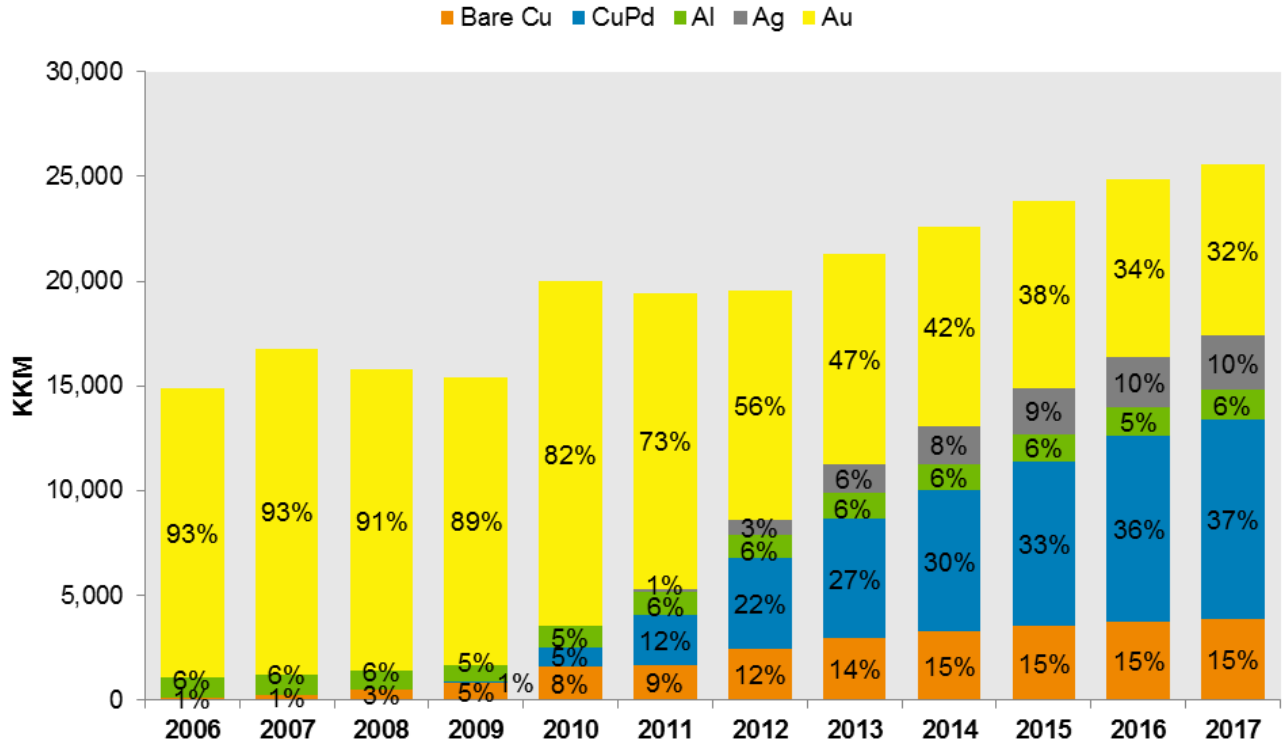


Figura 3 Tendencia de utilización de tipo de alambres

SEMI Industry Research and Statistics, November 2013

1.3 Justificación

La ventana de trabajo para materiales alternos como alambres Cu y Ag son más cerradas o restringidas que cuando se utiliza alambre de Oro. La manera más adecuada de definir una correcta ventana de trabajo para materiales alternos se obtiene a través de los diseños de experimentos (DOE) para optimizar los parámetros de soldado donde el objetivo es obtener un alambrado adecuado que no dañe las superficies de los pads, sin quebraduras además de asegurar la colocación adecuada del alambre dentro del pads y reducir cualquier variación de loop, tamaño de bola con un control adecuado

de herramienta como el capilar entre otros como la formación adecuada de intermetálicos de manera de mantener el yield.

Muy importante es la prevención de ingreso de partículas extrañas durante el proceso de alambrado por medio de los sistemas de limpieza de plasma para primer y segundo punto de contacto antes del alambrearlos.

La plata pura tiene mayor conductividad eléctrica & térmica y la dureza de la plata esta entre el cobre y el oro más cercano a la dureza del oro. A

continuación se enlistan algunas de las propiedades críticas de los materiales Oro, Cobre y Plata

**Propiedades de materiales Au,
Cu, Ag**

	Au	CuPd	Ag
Elongación (%)	2~6	9~15	2~8
Punto de quiebre (g)	>5	>3	>3
Densidad (g/cm³)	19.2	8.99	10.58
Resistividad eléctrica (Ω m)	2.9	1.72	3.2
Punto de fusión (C)	1063	1083	1004
Conductividad Térmica (W/mk)	312	401	429
Zona Afectada por el calor (HAZ um)	Max 85	na	Max 125
Fusing Current L=10mm (mA)	244	308	301.5
Dureza FAB	61~64	90~105	45~55
Dureza Alambre	72~75	95~105	70~80

Gas	na	Forming/N2	Forming/N2
Tiempo de vida (piso días)	>365	60	7
Tiempo de vida (almacén meses)	>12	6	12
Módulo de young (Gpa)	60	130	82.5
Radio poisson	0.44	0.34	0.364
Yield Stress (Mpa)	32.7	200	45.5
Coeficiente térmico de expansion (ppm/C)	14.4	16.5	18.9
Durabilidad Vicker (Mpa)	216	369	251

Tabla 3 Propiedades mecánicas de alambres R&D Heraus/Tanaka

1.4 Objetivos

Objetivo General: Estudio y evaluación de los alambres de aleaciones de alambre de plata y cobre para introducir a los procesos de alambrado de circuitos semiconductores.

Objetivo Específico: Elaborar un plan de calificación para alambre de plata y cobre propuesto por el centro de Innovación en Semiconductores de Solutions de Mexicali (CISEM-SWKS) en colaboración con el Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California (II-UABC) aprovechando las fases del proceso de alambrado de circuitos semiconductores. Se realizarán diferentes estudios y trabajos de investigación en cada uno de las principales áreas del proceso de Wire Bond.

La calidad del alambrado depende del proceso de optimización

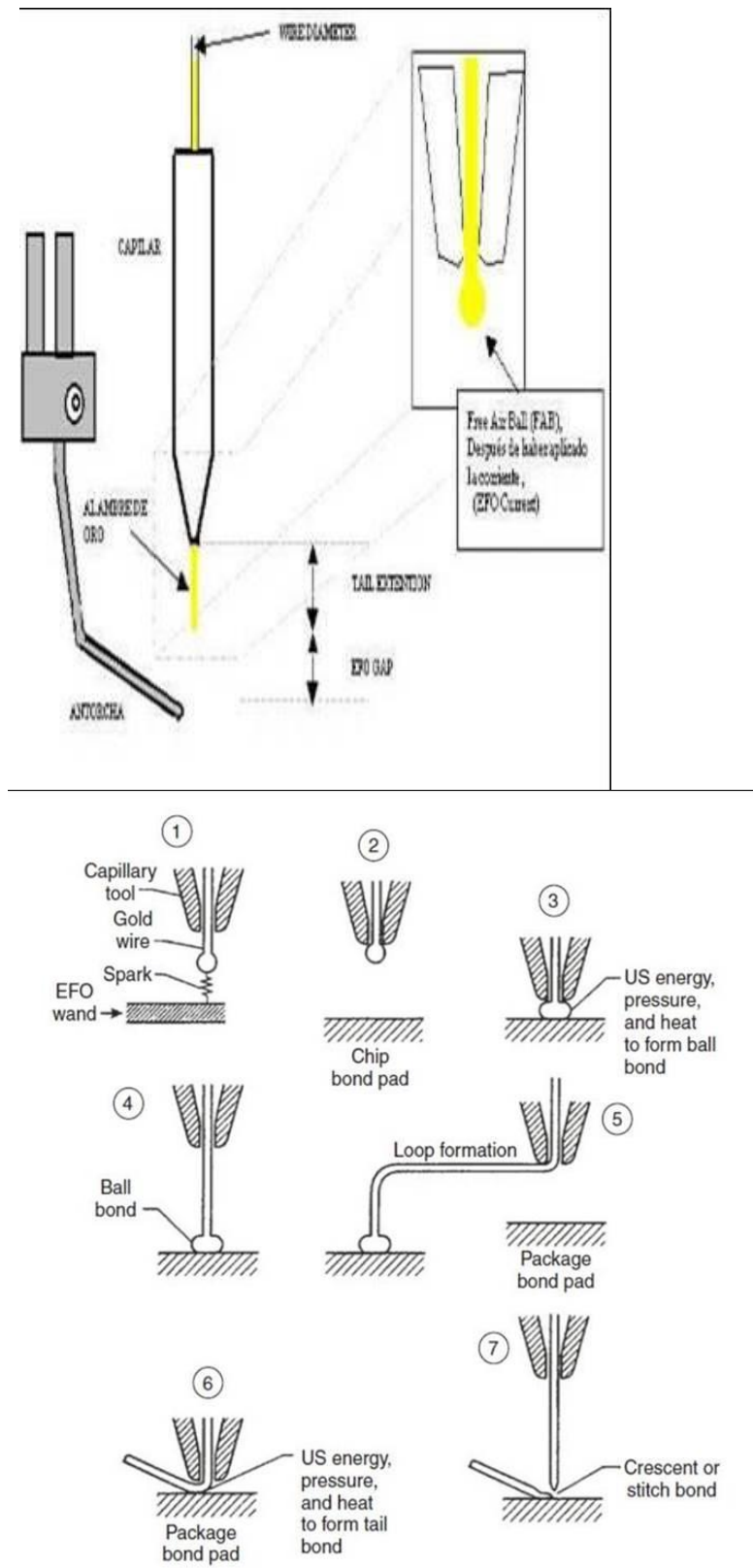


Figura 4 Proceso de alambrado en equipo K&S

El procedimiento simplificado para crear un enlace de alambrado por medio del equipo consiste en colocar el alambre de acuerdo a las especificaciones de equipo el cual será alimentado a través de un herramienta crítica en el procesos denominada capilar por la cual pasará el alambre y donde iniciará el flujo de interconexión con el primer punto de contacto (1) una vez que alambre ya está colocado dentro del capilar, se coloca a cierta distancia de la antorcha para crear una bola con una chispa (flama electrónica) para derretir el alambre y forma una bola concéntrica al final del alambre en un proceso denominado EFO (2) El siguiente paso el alambre se retrae dejando la bola justo por debajo del capilar (3) El capilar con la bola bajan hasta el primer punto de contacto de alambrado donde la interface incrementa la temperatura se le aplica energía ultrasónica y la bola sobre la superficie es colocada presionándola contra la superficie y el pegado de bola es formado. (4) El capilar se levanta dejando la bola soldada en la superficie formando la forma de tipo de enlace denominada loop moviéndose al siguiente punto de contacto (5) El capilar se coloca sobre el siguiente punto de contacto (6) El capilar hace contacto con el segundo punto sobre el tablero y tal como en paso 3 realiza la conexión creando un enlace que es conocido como formación de Stich (7) Después de que el segundo punto es alambrado el capilar se levanta al mismo tiempo un clamp que atrapa el alambre lo rompe dejando suficiente alambre dentro del capilar para crear otra bola e iniciar de nuevo el ciclo de alambrado.

1.5 Metas y Preguntas de investigación

La principal meta durante la presente investigación, es caracterizar materiales alternos de wirebond principalmente plata en términos de manufactura a través de sus aplicaciones eléctricas y propiedades de aleación entre los diferentes tipos de metales utilizados durante el proceso de semiconductores atendiendo las siguientes metas y/o preguntas de investigación.

- a. Como definir el tipo de alambre a utilizar en circuitos de empaquetamiento semiconductores?
- b. Cuáles son los requerimientos y propiedades químicas y eléctricas de los alambres de plata y/o aleación con la misma de acuerdo a?:
 - Resistividad eléctrica
 - Punto de fusión de soldado
 - Densidad
 - Alargamiento
 - Punto de rupturas
 - Conductividad térmica
 - Dureza durante la formación de bolas
 - Requerimiento para la fusión de metales tipos de gas a utilizar
 - Vida útil almacenado adecuadamente
 - Vida de producción después de almacenamiento
- c. Estudio de formación de enlaces intermetalicos entre el primer y segundo punto de contacto además de los tipos de loop.

- d. Composición y estructura de alambres en semiconductores.
- e. Análisis de la composición/estructura de tableros semiconductores.
- f. Identificación de procesos críticos durante la fabricación de alambres semiconductores.
- g. Identificación de pruebas de confiabilidad críticas para la caracterización de alambres semiconductores.
- h. Identificación de aplicación dependiendo de las superficies interconectar.

Todo lo anterior con el objetivo de evaluar los diferentes materiales a través de todos sus procesos críticos de calificación definidos por los estándares de manufactura en procesos de Wire Bond.

Capítulo 2.0 Marco Teórico

2.1 Proceso de Alambrado

Wirebond es una técnica de interconexión eléctrica utilizando alambre delgado y una combinación de calor, presión y energía ultrasónica. Wirebond es un proceso de soldadura en fase sólida, donde los dos materiales metálicos (alambre y superficie de un dado de galio y/o silicio) se ponen en contacto íntimo. Una vez que las superficies están en contacto íntimo, el intercambio de electrones o la interdifusión de átomos se llevan a cabo, lo que resulta en la formación del alambrado.

En el proceso de alambrado los alambres son soldados utilizando una herramienta especial (capilar o cuña) de soldado para el proceso de alambrado donde la temperatura y la aplicación de energía ultrasónica ayudan a la difusión de los metales creando el proceso de soldado dependiendo del método utilizado en los diferentes materiales.

Los circuitos integrados están conectados entre los diferentes circuitos a través de los cables o alambres donde la confiabilidad de los mismos depende de la elección correcta de alambre para la correcta unión de los diferentes tipos de

superficies metálicas, especialmente de sus aplicaciones como los actuales que requieren formas especiales y cada vez más pequeñas.

Propiedades Físicas

La *elongación* (Estiramiento) y *Carga de ruptura* (Punto de quiebre): Son las propiedades físicas del alambre que nos indica el punto en el que el alambre se rompe y cuanto es lo máximo que se puede estirar. Ambos están estrechamente relacionados y ambos dependen de la temperatura durante el tratamiento térmico en el proceso de recocido durante la fabricación del alambre.

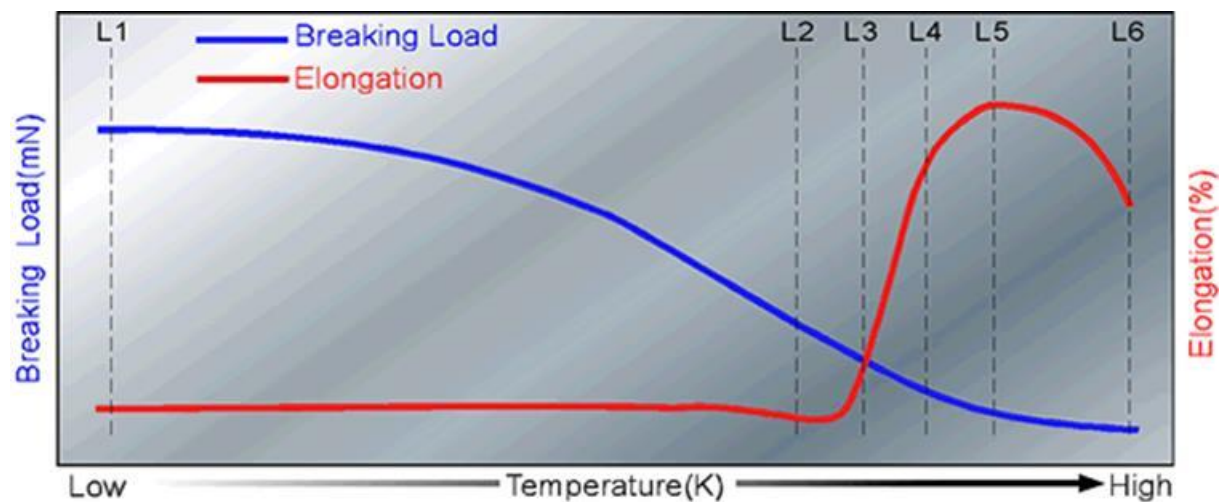


Figura 5 Comportamiento Elongación y punto de quiebre

La diferencia del punto de ruptura y resistencia a la tracción (fuerza que interactúan en sentido opuesto y tiende a estirarlo) es la siguiente: en ambas hay tracción pero uno se mide en el momento la tensión que hay que aplicar

para que se rompa el alambre y en el estiramiento del punto de ruptura es el estiramiento relativo que el alambre tiene hasta antes de romperse.

Esta característica es importante para cuando se quiere enrollar el alambre en la bobina, la cual si es demasiado pequeña, fácilmente puede llegar a romperse. Donde después de enrollarse y estirarse no debe haber modificado sus características.

De acuerdo a los estándares el alargamiento o aumento en la longitud del alambre, medido después de la fractura de la muestra dentro de la longitud del calibre, generalmente se expresa como un porcentaje de la longitud original se encuentra entre el 1% y 10% los cuales dependen de la condiciones de tratamiento térmicos, donde una temperatura demasiado baja provocará una mala cristalización o aleación aumentando su elasticidad y disminuyendo su alargamiento y si la temperatura es demasiado alta la carga de ruptura será demasiado baja (constante) a la resistencia del trabajo en frío. De ahí la importancia de control de las temperatura en el proceso de recocido del alambre.

La *elongación* se mide con un equipo denominado extensómetro donde para la medición se utiliza una muestra estandarizada con una medida predeterminada de 2 pulgadas y ½ pulgada de ancho una vez que el cable se acaba de producir. Dado que el alargamiento depende de la longitud del calibre de la prueba, cuando se obtienen los resultados de alargamiento, se tiene que indicar la longitud del calibre del alambre (cuando mayor es la longitud del calibre menor es el alargamiento)

Densidad (g/cm³): La plata presenta más densidad que el cobre lo cual representa que podemos tener mayor masa de plata en la misma cantidad de volumen.

Resistividad eléctrica: Es la capacidad un material para conducir o restringir el flujo de la corriente eléctrica donde dentro de los materiales conductores la relación de resistividad es muy pequeña. La resistencia eléctrica que presenta un material depende de las dimensiones geométricas del material y de una constante del material. $R = \rho l / s$

R =resistencia eléctrica

ρ =resistividad del material

l =longitud del conductor

s =sección del conductor

$\rho = [\Omega \times \text{mm}^2/\text{m}]$ o $\rho = [\Omega \times \text{cm}]$

Ejemplo para Cu $\rho_{\text{Cu}} = 0.012724 [\Omega \times \text{mm}^2/\text{m}] = 1.724 \times 10^{-6} [\Omega \times \text{cm}]$

Conductividad eléctrica: Es el valor inverso de la Resistividad. La plata posee la mayor capacidad de conducir una corriente eléctrica a través de su estructura.

Serie de reactividad. Es una clasificación simple de la reactividad de un metal en la naturaleza.

Conductividad térmica: Es el calor de que circula en la unidad de tiempo en dos caras opuestas de un volumen unitario por la unidad de la diferencia de temperaturas entre las caras

$$\delta T = ([\text{Watts}]/[\text{cm}^2] \times [\text{oC}/\text{cm}]) = [\text{Watts}]/[\text{cm}] \times [\text{Oc}]$$

Donde el calor de conducción

$$Q = -\delta T \times (dT/dx)$$

Donde dT/dx es el gradiente de la temperatura entre dos puntos de un conductor

Donde el signo de menos nos indica el flujo de calor el cual fluye del punto de mayor temperatura al punto de menor temperatura.

La conductividad térmica está ligada la conductividad eléctrica debido a la transmisión de calor se debe principalmente a los electrones libres conociendo el enlace entre estas propiedades es aquí donde juega un papel muy importante la selección de resinas y aislantes que soporten las temperaturas que se generan y por lo que se requiere que presenten una elevada resistencia a la calor que generan los conductores también conocida como energía calórica la cual se expresa en unidades Joule/cm^3 .

Los materiales metálicos comparten varias características en común, como son sus diagramas de banda de conducción, enlaces químicos, electrones libres formando redes de iones. Su propiedad óptica y eléctrica son parecidas, son buenos conductores de calor y la electricidad

Módulo de Young (módulo de elasticidad): Es la capacidad que tienen los metales para alargarse y estirarse en formas largas y planas antes de perder su integridad estructural los cuales son de las principales características afectada durante el proceso de recocido del alambre también conocido como el efecto de la recristalización. Donde le tamaño de grano de cristal y su textura depende de este proceso

El modulo elástico se mide de acuerdo a la ley de Hooke. Donde la tracción y la carga pueden determinarse a partir de una pendiente del área. Donde la

tensión correspondiente a una deformación se ha estandarizada en el alrededor de .2% de calibre o aumento de la longitud del calibre original

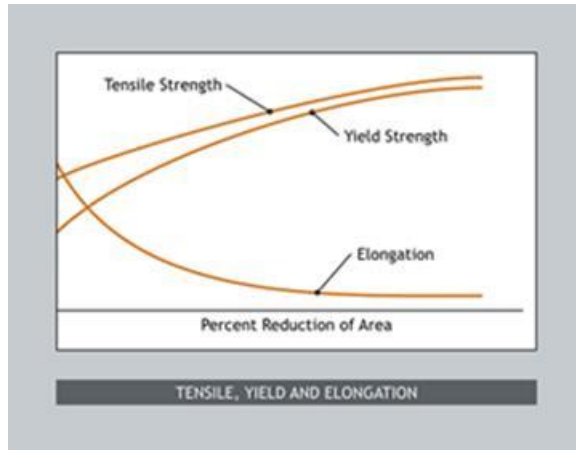


Figura 6 Comportamiento módulo elástico.

Dureza: Resistencia de los materiales a deformarse a la resistencia de tracción, compresión porque un material que estructuralmente es más duro es más afectado durante procesos mecánicos y térmicos de fabricación.

Zona afectada por el calor es el área durante el procesos de alambrado que es la más débil la cual se encuentra por encima de la formación de las bolas y es el área que representa mayores fracturas debido a la excesiva transferencia de calor la cual se da al pasar prácticamente de un estado sólido a líquido para la formación de la bola o esfera, la cual se solidifica recibiendo el 80% de la transferencia de calor directamente de los equipos de alambrado los cual alcanzan su punto de fusión y esta se enfría rápidamente a temperatura ambiente.

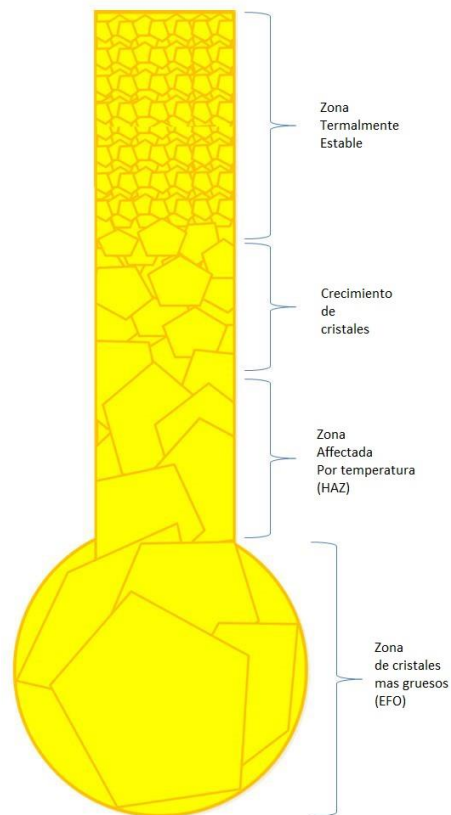


Figura 7 Zona Afectada por el calor (HAZ)

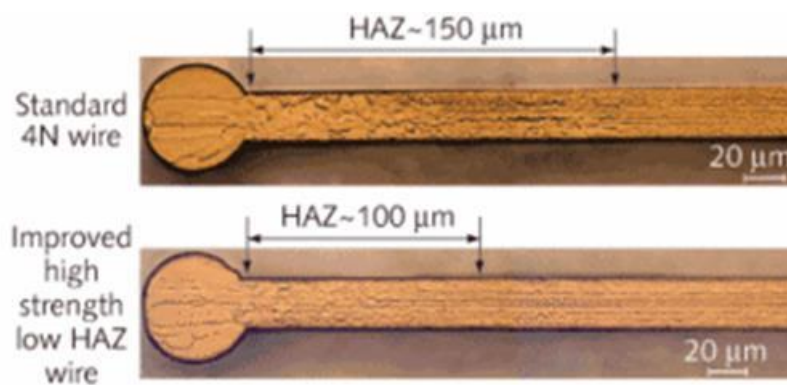


Figura 7.1 Zona Afectada por el calor (HAZ) Alambre 4N

Esta zona es la que termina limitando los tipos de formaciones más bajas que podemos tener por que termina fatigando el cuello de las conexiones además de que muchas de las formaciones inadecuadas de bolas tienen que ver con crecimiento excesivo de los cristales o granos los cuales entre más grandes sean, hacen que las conexiones sean más débiles de ahí la importancia de la metalurgia o recristalización donde un HAZ (Heat Affected Zone) más largo representa ventajas para conexiones y loop menores como para los puntos de apertura de un dado a otro dado muy utilizados actualmente en aplicaciones de apilamientos de circuitos conocidos como Stack die.

2.2 Proceso de limpieza (Plasma)

Antes de realizar el proceso de alambrado de circuitos microelectrónicos se requiere un proceso de limpieza de las superficies previo denominado limpieza por plasma. Es un método probado para limpiar/erosionar superficies de materiales como los son tableros electrónicos y circuitos tipo obleas de materiales orgánicos que no permiten una adecuada formación de intermetalicos además de que es utilizado como procesos previo antes del proceso de moldeo para obtener una mejor adherencia durante el proceso de encapsulado epóxico y durante el proceso de alambrado de circuitos semiconductores. El proceso de plasma también llamado el cuarto estado de la materia, limpia la superficie del material por medio de bombardeo de iones eléctricamente lo cuales por efectos físicos y según el gas empleado para formar el plasma son utilizados para modificar la superficie o material donde se aplica el plasma donde las reacciones químicas de proceso de plasma remueve las impurezas se transforman a su fase gaseosa y se aspiran fuera de

la cámara, quedando una superficie limpia y preparada para ser pintada, adherida, impresa, soldada, etc.

La tecnología de limpieza por plasma ofrece mejores resultados en la eliminación de contaminantes (incluso a escala nano) que cualquier otra técnica de limpieza convencional como la utilización de solventes, con la ventaja adicional de que al no emplear baños químicos, no hay riesgos, contaminación cruzada ni residuos que eliminar los cuales son utilizados en cámaras de baja temperatura a alto vacío

Proceso de re depósito por plasma

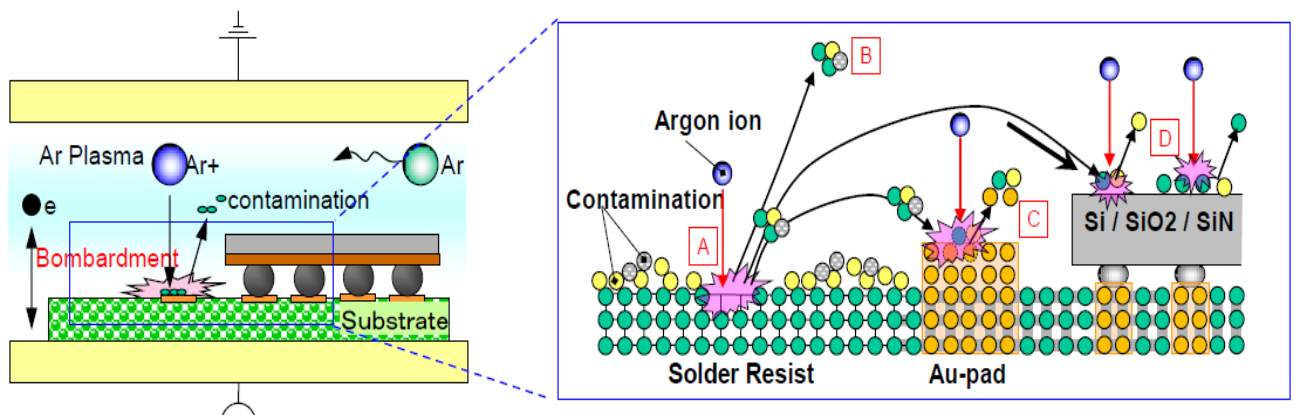


Figura 8 Proceso de Plasma

Tendencia de re depósito metálicos

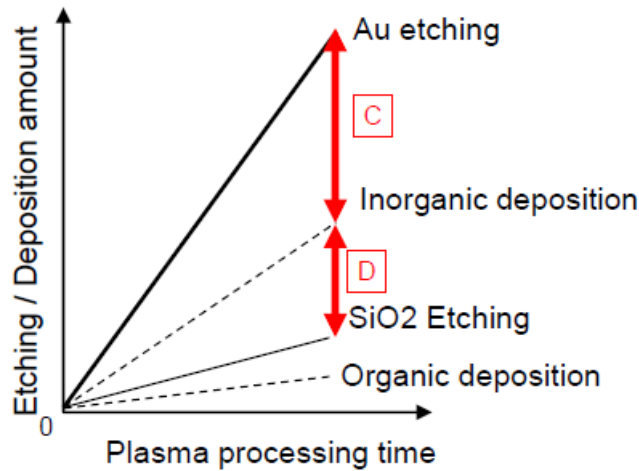


Figura 8.1 Tendencia de re depósito metálicos

El proceso de alambrado comienza después del proceso de pegado de circuitos (Die attach). Donde los alambres son conectados entre los dispositivos electrónicos (dado) y la periferia del circuito por medio del tablero (PCB), el soldado de alambres es una técnica de interconexión de metales finos originada en los laboratorios de AT&T en los años 1950s la cual se utiliza para interconectar los diferentes puertos de entrada/salida en circuitos microelectrónicos. Esta técnica se realiza utilizando una herramienta especial denominada capilar. Dependiendo del tipo de equipo, la temperatura y la energía ultrasónica, el proceso de wire bond puede ser definido en tres procesos mayores, Termo compresión, Ultrasónicos y Termo sónicos como se indica en la siguiente tabla:

Wirebonding	Presion	Temperatura	Energia Ultrasonica	Alambre	Pad
Termocompresion	Alto	300-500 C	No	Au	Au, Al
Ultrasonico	Bajo	25 C	Yes	Au, Al	Au, Al
Termosonico	Bajo	100-250 C	Yes	Au	Au, Al

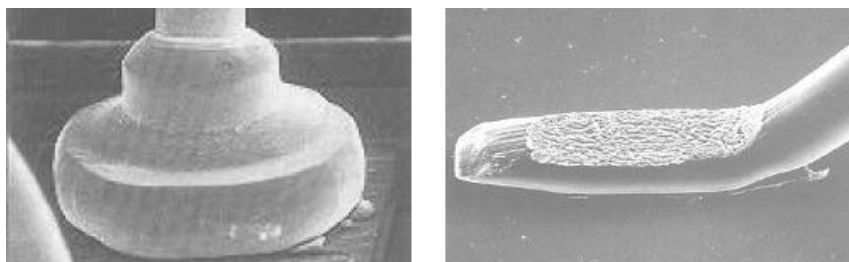
Tabla 4 Características de técnicas de alambrado.

La técnica de la termo compresión es una técnica de bola la cual usa una combinación de presión y temperatura para soldar un alambre de oro a superficies de aluminio de las conexiones del circuito con temperaturas entre 300 y 500 Oc.

Una técnica alternativa al termo compresión es la ultrasónica la cual es una técnica denominada de cuña donde se realiza el proceso de alambrado por medio de una combinación de presión y vibración mecánica muy rápida (Energía ultrasónica), la cual es recomendada principalmente para alambres de aluminio.

La técnica de alambrado termo sónico también es una técnica de alambrado de bola la cual combina las mejores propiedades de las técnicas ultrasónicas y de termo compresión. El proceso de alambrado es la misma que en las termo compresión a excepción que la temperatura se mantiene entre 100 y 150 oC .

Las técnicas de alambrado de bola es la técnica dominante en la industria con más 93% de utilización en dispositivos semiconductores siendo el oro el alambre más utilizado el cual tiene un diámetro de entre 15 & 75 μm para aplicación de circuitos semiconductores donde el más utilizado es el de 20 μm Formas principales de WB.



Alambrado de Bola

Alambrado tipo cuña (Wedge)

Figura 9 Tipos de alambrados.

Wirebond es una técnica en el ensamble de circuitos donde a partir de sus primeras publicaciones realizadas por los laboratorios Bell en 1957 la técnica de wirebond se ha desarrollado extremadamente. Diferentes equipos automáticos se han desarrollado para mantener altos volumen de producción.

Los Parámetros de soldado son altamente precisos que permiten una alta flexibilidad en el proceso de interconexión además de una relativa facilidad de programación la cual ha cuenta con un soporte extendido y rápido desarrollo de equipos y herramientas de acuerdo a las nuevos materiales de tecnologías emergentes.

También se analizaran los parámetros críticos como lo son utilizados para la formación de la bola (EFO), Fuerza de alambrado (bond force), energía de ultrasónico (ultrasonic) temperatura y tiempo durante el proceso de alambrado como los descritos a continuación

Wire Diameter, (0.60 – 2.00 mils): Es el diámetro del alambre que se está utilizando, este valor auxilia para tener buen control del tamaño de la bola.

FAB Size, (0.60 – 7.00 mils): Free Air Ball Size, es el tamaño de la bola tal y como esta después de que la chispa realizo la bola.

EFO Current, (10.00 – 127.00 mAmps): Electric Flame Off Current es el monto de corriente requerido para que la chispa salte desde la antorcha a través del aire hacia la punta del alambre de oro y forme la bola requerida.

EFO Gap, (0.00 – 50.00 mils): Es la distancia vertical entre el final del alambre y la parte de arriba de la antorcha. Este parámetro ayuda a mantener un mejor control en el tamaño de la bola.

Tail Extention, (0.00 – 100.00 mils): Este parámetro nos da la cantidad de alambre que será alimentado fuera del capilar antes de que se corte el alambre después de haber realizado el segundo punto de soldado y el capilar empiece a subir.

Las velocidades de alambrado pueden superar los 125ms para cada conexión y formación de alambrado como bola, forma o cuña.

Una gran variedad de herramientas y alambre pueden ser seleccionados para cumplir con los requerimientos de los circuitos. Los fundamentos ultrasónicos utilizados para deformación de los materiales en alambrado de circuitos semiconductores han permitido crear nuevas formas con procesos más estables en términos de soldados entre los diferentes metales utilizados además de menor daño mecánico durante el proceso.

Las aplicaciones más comunes de wire bond son MCM, BGA, PQFP, CSP, COB, LEADFRAMES Además los métodos y técnicas de wirebond son utilizados para conectar otros componentes, como resistencias capacitores,

terminales de tableros a terminales de paquetes, de tablero a tablero, entre otros.

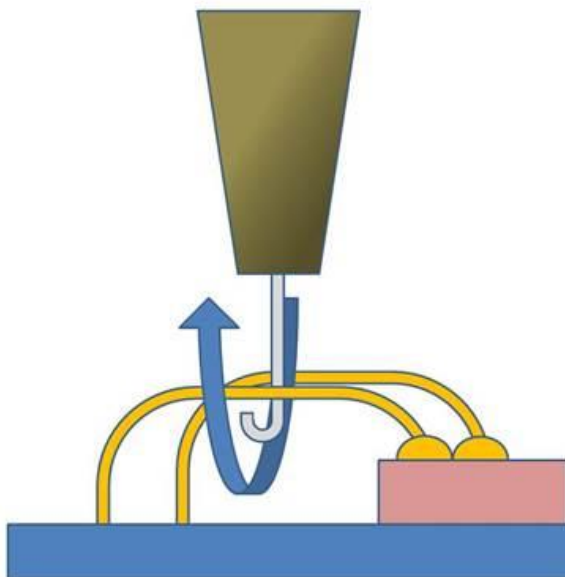
Sin lugar a dudas el proceso de alambrado de circuitos semiconductores es de los procesos más importantes durante ensamble de semiconductores ya que es en esta operación donde agrega características eléctricas que definen la funcionalidad del circuito a ensamblar donde una buena adherencia y forma es conexiones críticas de alambres largos o muy cortos pueden limitar el desempeño del producto final.

2.3 Pruebas de calidad de soldado

Durante el proceso de calificación de circuitos semiconductores es necesario realizar pruebas de calidad exclusivas para interconexión de alambres las cuales van desde lo general durante su procesamiento como los son las pruebas destructivas de jalón de alambre (pull test) o barrido de bolas (ball shear) las cuales están definidas dentro de la industria y estándares de semiconductores

El método primario para verificar la confiabilidad de la fuerza con la que fue soldado alambre con el tablero (PCB) es conocido como Pull test (método 2011) consiste en jalar el alambre hasta cortarlo por medio de un gancho.

Pull Test – Prueba de Jalon Alambre



Ball Shear Test– Prueba de Arrastre de Bola

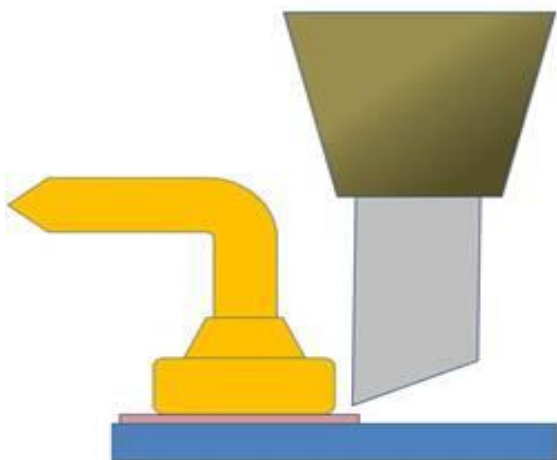


Figura 10 Pruebas de calidad de alambrado

El propósito de esta prueba es validar que el setup realizado en el equipo de alambrado sea el apropiado en termino de los parámetros utilizados. La fuerza resultante es medida en (gr) y es la más importante evidencia para la evaluación de la calidad y confiabilidad, también dan una idea de los potenciales tipos de fallas que podemos obtener con el setup actual indicando las áreas más afectadas de el alambre durante el proceso de interconexión desde el tablero formación de alambrado o sobre los aperturas de los circuitos de los cuales se identifican la áreas más débiles. La prueba de pull test (prueba de jalón) dependen de la configuración geométrica que se forma entre los dos puntos de soldado cuando se realiza la prueba para obtener valores absolutos estos son normalizados a través de la siguiente formula donde (F) es el gancho entre los puntos de soldado

$$F_1 = F \cos(\theta_2 - \Phi) / \sin(\theta_1 + \theta_2)$$

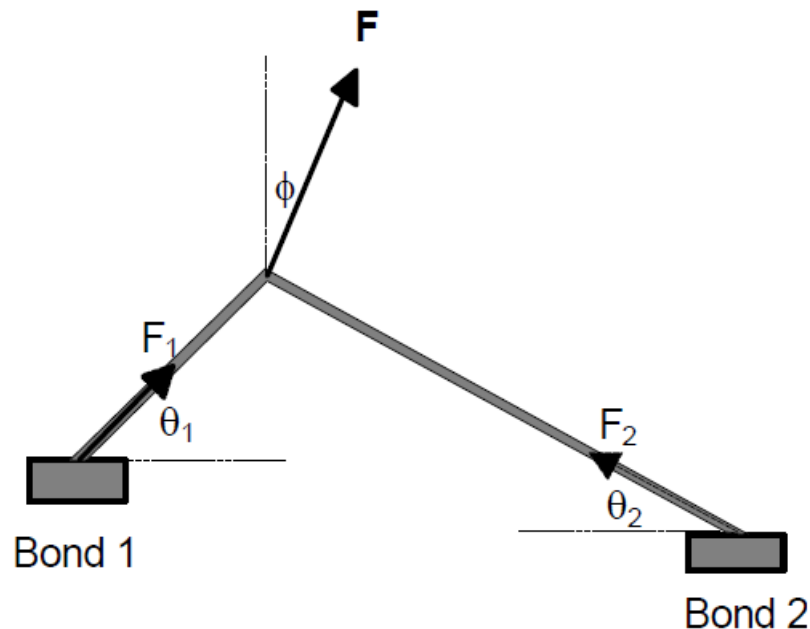


Figura 10.1 Pruebas de calidad de jalón (Pull test)

Donde ϕ es el ángulo de jalón, el cual es positivo cuando la dirección de jalón es desviada de punto de soldado 1 (bond1), F_1 es el componente de la fuerza que actúa a lo largo de bond1, F_2 es el componente de la fuerza con respecto al punto 2 (bond2) θ_1 y θ_2 son los ángulos que se forma en los dos puntos de soldado los cuales son fácilmente alcanzados, basado en la posición que realizaremos el jalón y la altura del gancho el cual se coloca en el centro de los puntos a la misma altura. Ambas fuerzas pueden ser representadas de la siguiente manera.

$$F_1 = F_2 = F/2\sin\theta$$

Donde ambos ángulos son de 30° , fuerza de jalón es igual al punto de ruptura del alambre.

Dependiendo de donde el punto donde se rompe el alambre se identifica los puntos más débiles o potenciales mecanismos de fallas del mismo como se indican a continuación.

- a) Delaminación
- b) Desprende del pad
- c) Rompe del cuello del alambre
- d) Rompe el alambre
- e) Rompe del cuello del stitch
- f) Desprende de stitch/nivel

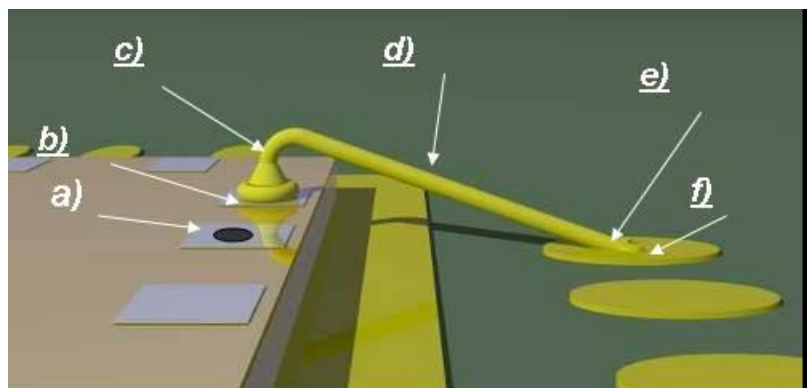


Figura 10.2 Puntos de ruptura pruebas de calidad de jalón

Pull Test no destructivo (2023) es una técnica para probar la integridad de las conexiones de los alambres dentro de los paquetes microelectrónicos la cual es una variación a la prueba de jalón destructivo a la cual se le aplica una especificación de fuerza predeterminada, esta técnica se utiliza para no dañar alambre una vez que alcanza el mínimo de fuerza requerido el limite están definido dependiendo del diámetro y tipo de alambre

Aunque el alambrado de oro es una tecnología madura con procesos altamente refinados, los alambres todavía necesitan ser probados, y el probador de conexiones DAGE proporcionan sistemas y accesorios adecuados para todo tipo de aplicaciones de tracción de alambre.

El principio detrás de pruebas básicas de las conexiones de alambre está posicionando de un gancho debajo del alambre y tirando en el eje Z o bien hasta que se rompa el alambre (Pruebas no destructivas) o una fuerza predefinida se alcanza (Pruebas no destructivos). Pruebas de vínculo alambre

está cubierto por el externo estándar MIL-STD-883 (Método 2011.7 para ensayos destructivos y 2.023,5 para no destructiva).

Probador de alambres Nordson DAGE ajusta plenamente a o superan estos estándares. Las normas contienen especificaciones para los criterios de aceptación o rechazo.

El procedimiento de barrido de alambre (Ball Shear) implica la alineación y precisión de la punta para remover la bola de oro/cobre por medio del microscopio y control de joystick en la mesa XY.

Esto permite al operador ajustar fácilmente el cuña a la bola y con mayor precisión asignar una calificación modo de fallo.

Altura de corte es absolutamente crítico y por lo tanto las pruebas de barrido de alambre.

Ball Shear requiere aterrizaje automática del equipo de medición en la superficie de la matriz y de muy alta precisión en el eje Z.

El equipo DAGE lograr esto mediante el uso de un sistema de sujeción del cartucho de carga estandarizado. La cual requiere precisión excepcional para asegura que cada bola se pruebe a la misma altura respecto a la superficie que se une sucesivamente.

Dependiendo de la forma de residuos metálicos remanentes en el son como se definen los potenciales mecanismos de fallas del mismo como se indican a continuación.

- a) Desprende de Pad, no hay adherencia
- b) Deja capa de oro en pad
- c) Desprende bola con pad y dado (pad cráter)
- d) Punta muy baja, raspa con pad

- e) Punta muy alta, raspa la bola
- f) Delaminación.

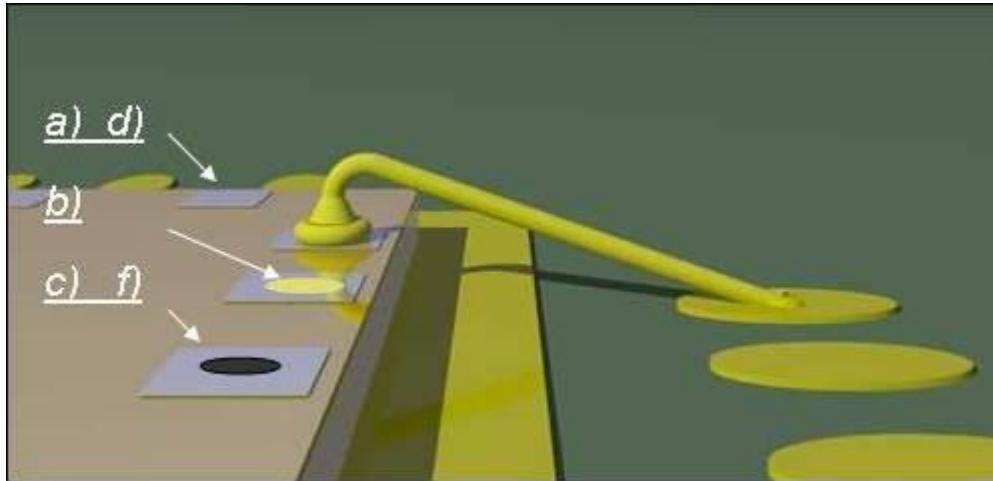


Figura 10.3 Puntos de ruptura pruebas de calidad de barrido.

2.4 MOLDEO

Sin lugar a duda uno de los procesos críticos durante el proceso de alambrado de circuitos semiconductores es el proceso de empaquetamiento de los mismo el cual es el proceso de salida de la operación de wirebond donde aún puede ser afectado por procesos de inyección de plástico los cuales pueden provocar barrido de alambres, desprendimiento e interconexiones. Donde la selección adecuada de materiales de alambrado se vuelve critica debido a su miniaturización alambres menores a 20um estos procesos presentan un alto manejo que representan un alto riesgo de fractura o debilitamiento de la alambres generado por el stress del desplazamiento del proceso de moldeo.

Por lo que la maleabilidad de los materiales es muy importante que mantenga su forma y condiciones de longitud sin daños extras durante estos procesos por lo que el dopante a utilizar es muy importante, el proceso de empaquetamiento del proceso de moldeo se da para evitar exposición a variación de temperaturas, humedad, radiaciones, tensiones mecánicas durante su uso aumentando la presencia de posibles fallas que pudieran alterar el funcionamiento del dispositivo así como prevenir el deterioro prematuro del mismo.

En el ensamble de dispositivos electrónicos se utilizan los encapsulado herméticos (cerámicos o metálicos) y no herméticos (plásticos), actualmente más del 99% de los dispositivos microelectrónicas son encapsulados con plástico, La industria utiliza este encapsulado (plástico).

Uno de los objetivos del empaquetado de los componentes electrónicos es la protección del dado alambrado (parte funcional del circuito que pueden ser dados de Silicio y/o Galio) y la prevención de todas las potenciales interconexiones entre alambres y con cualquier dispositivo adyacente que pudiera afectar su resultados eléctricos como pueden ser dados con el resto de los componentes (tablero, conectores, componentes de SMT, etc.) utilizados para la transferencia de las señales eléctricas

2.5 Prueba eléctrica

Durante los procesos de caracterización de alambrado de circuitos semiconductores el área que nos indica si se cumplen con las especificaciones del diseño es el área de prueba eléctrica la cual se aplica a cada una de las

etapas metalización de las capas de cada circuito a nivel oblea y a nivel producto final.

Por lo que cualquier modificación en la lista de materiales a utilizar durante su procesamiento requiere verificación eléctrica. Por lo tanto todos los nuevos materiales como nuevos tipos de tableros, componentes pasivos, tipos de moldeo y nuevas aleaciones de materiales de alambrado debe ser caracterizado (probado) funcionalmente donde estas pruebas indican resultados de especificación del diseño las cuales son principalmente paramétricas controladas a través de sistemas de cómputo de metrología con pruebas similares son realizadas en circuitos empaquetados tanto como a circuitos a nivel oblea donde la función principal de ambas es eliminar defectos de las operaciones preliminares.

La cantidad de pruebas eléctricas, dependerán del tipo de dispositivo que estemos probando, por lo que a su vez se requieren de equipos de prueba de alta tecnología, tanto de recursos como de precisión (física como de instrumentación).

Durante el diseño de circuitos eléctricos de radiofrecuencia que son los diseños que utilizaremos como vehículos de prueba la selección de alambre a utilizar puede afectar algunos de los principales parámetros eléctricos como se indican a continuación.

Desfasamiento de fase retrasando la activación de algunos componentes.

Reactancia por presencia de señales no deseadas denominadas parásitos afectando a elementos más sensibles.

Disipación Afectando la disipación del circuito provocando pérdidas catastróficas

Ruido generación de ruido interno desde el diseño no correlacionado.

Radiación Relacionada con potencial radiación electromagnética de energía del circuito.

Reflexión Resultado de la impedancia inadecuada, minimizando los resultados de reflexión.

La saturación, intermodulación y otros efectos no lineales distorsión en las señales.

Estos efectos no deseados en los circuitos microelectrónicas dependen del tipo de distorsión y diseño del sistema.

Atenuación Causada por la variación de impedancias en la estructura de los de los cables o asociada con la conexión de los circuitos. Estas diferencia de impedancia causan que la señal se refleje (regrese) hacia la fuente, en circuitos de baja frecuencia esta pérdida por retorno es menor, pero a frecuencias mayores a 50 MHz esta pueden tener un efecto significativo y a frecuencias mayores a 1500Mhz esta pérdida se vuelve critica razón por la que esta medición durante la validación es de suma importancia durante la verificación eléctrica del diseños así como algunos parámetros definen las potenciales efectos en los circuitos.

En circuitos semiconductores la reflexión que viaja por el conductor puede ocurrir con una discontinuidad o falta de coincidencia de impedancia. La relación de la amplitud de la onda reflejada V_r a la amplitud de la onda incidente V_i el coeficiente de reflexión Γ

$$\Gamma = V_r / V_i$$

Cuando se conoce la potencia transmitida real (incidente [P_i]) y la potencia calculada (reflejada [P_r]) la pérdida de retorno en dB puede calcularse como la diferencia entre ambas.

$$RL(dB) = P_i(dBm) - P_r(dBm)$$

Los parámetros de dispersión (termino más utilizado en óptica) o parámetros S (termino más utilizado para aplicaciones de radiofrecuencia) los cuales describen o predicen el comportamiento eléctrico de los diferentes diseños los cuales son importantes herramientas de simulación

S11 Coeficiente de reflexión positiva Para aplicaciones de Input match/VSWR/Return loss

S22 Coeficiente de reflexión negativo Prueba Output match, Salida match, Salida VSWR

S21 Coeficiente de transmisión positiva para aplicaciones en pérdidas de inserción

S22 Coeficiente de transmisión negativo para Aislamiento

Las pruebas de funcionabilidad son de las más importantes que pudieran ser afectadas por el tipo de material utilizado durante su alambrado donde se resistividad afecte el desempeño del producto terminado la identificación de las pruebas eléctricas críticas durante la selección de materiales de wirebond es requerido para agilizar la prueba, minimizar la cantidad de pruebas y especificar los parámetros que realmente indicaran que el circuito es eléctricamente funcional.

2.6 Pruebas de confiabilidad:

Las pruebas de confiabilidad son aplicadas para verificar la capacidad de un dispositivo para cumplir con las especificaciones eléctricas, mecánicas y visuales durante un periodo de tiempo los cuales se realizan a través de procesos estandarizados para asegurar la mejora continua durante el ciclo de vida del dispositivo.

1) Clasificación de Productos Sensibles a la Humedad.

Este estándar es una guía para determinar el nivel de humedad de los dispositivos (Nivel MSL), describe las condiciones de humedad máximos que pueden soportar antes del proceso de reflow y se describen los parámetros críticos del proceso de reflow. En el apartado final se describe el procedimiento para realizar estudios de absorción y desorción.

LEVEL	FLOOR LIFE		SOAK REQUIREMENTS				
			STANDARD		ACCELERATED EQUIVALENT ¹		
	TIME	CONDITION			eV 0.40-0.48 TIME (hours)	eV 0.30-0.39 TIME (hours)	CONDITION
1	Unlimited	≤ 30 °C/85% RH	168 +5/-0	85 °C/85% RH	NA	NA	NA
2	1 year	≤ 30 °C/60% RH	168 +5/-0	85 °C/60% RH	NA	NA	NA
2a	4 weeks	≤ 30 °C/60% RH	696 ² +5/-0	30 °C/60% RH	120 +1/-0	168 +1/-0	60 °C/60% RH
3	168 hours	≤ 30 °C/60% RH	192 ² +5/-0	30 °C/60% RH	40 +1/-0	52 +1/-0	60 °C/60% RH
4	72 hours	≤ 30 °C/60% RH	96 ² +2/-0	30 °C/60% RH	20 +0.5/-0	24 +0.5/-0	60 °C/60% RH
5	48 hours	≤ 30 °C/60% RH	72 ² +2/-0	30 °C/60% RH	15 +0.5/-0	20 +0.5/-0	60 °C/60% RH
5a	24 hours	≤ 30 °C/60% RH	48 ² +2/-0	30 °C/60% RH	10 +0.5/-0	13 +0.5/-0	60 °C/60% RH
6	Time on Label (TOL)	≤ 30 °C/60% RH	TOL	30 °C/60% RH	NA	NA	NA

Figura 11 Niveles de sensibilidad de humedad.

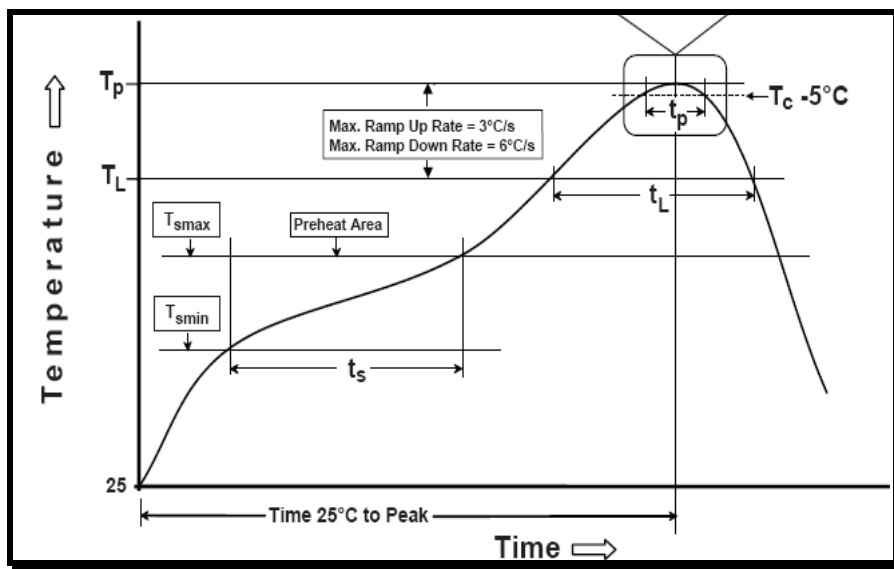


Figura 11.1 Perfil de curado (Reflow)

2) Prea condicionamiento

Este procedimiento se utiliza para simular los efectos del ensamble de circuitos integrados (con humedad) en altas temperaturas antes de las pruebas de confiabilidad. El proceso de pre condicionamiento se realiza en material eléctricamente bueno.

Los pasos para realizar el pre-acondicionamiento son:

- Inspección visual externa
- C-SAM Inicial (*Opcional*)
- Bake a 125°C por 24 hrs.
- Cámara de Humedad
- Reflow (3 ciclos).
- C-SAM Final (*Opcional*)
- Prueba Eléctrica.

3) Microscopía Acústica (C-SAM).

Este procedimiento es utilizando tanto en pruebas de confiabilidad como para análisis de fallas no destructivo. Esta técnica permite detectar anomalías como dados quebrados, delaminación y huecos en el molding compound en paquetes con encapsulado plástico.

CSAM Microscopio acústico de barrido es una rápida técnica de análisis no destructiva que nos permite detectar delaminación en un microcircuito ya sea entre el molding compound y dado, o dado y tablero.

Antes de pre condicionamiento después del pre condicionamiento

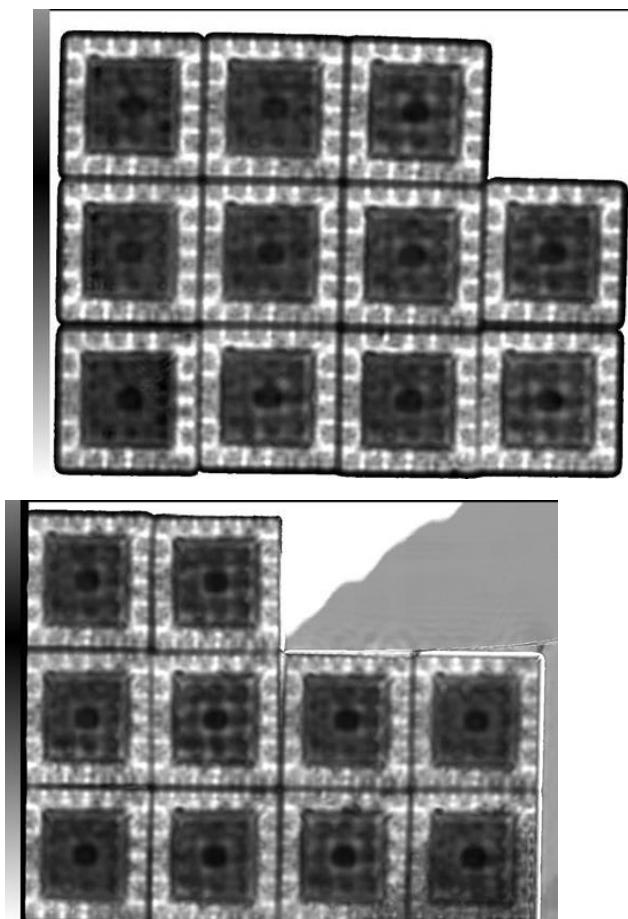


Figura 12 C-Sam Pre condicionamiento

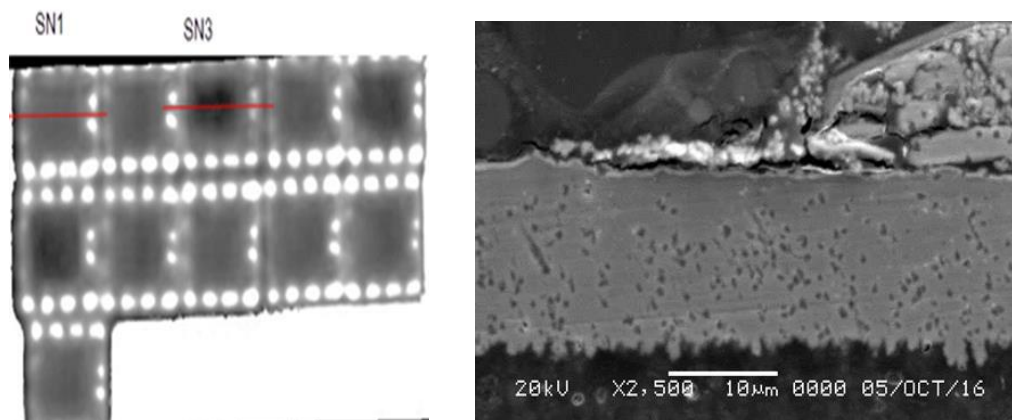


Figura 13 Cortes trasversales (cross section)

4) Vida Operativa en Alta Temperatura (HTOL).

Esta prueba se realiza para determinar los efectos de la polarización (voltaje aplicado) y la temperatura sobre los dispositivos semiconductores. La prueba de HTOL simula las condiciones de operación del dispositivo en forma acelerada y se realiza durante la calificación de nuevos productos o el monitoreo de confiabilidad.

La duración de la prueba es de 1008 hrs, pero se realizan pruebas eléctricas intermedias a las 168 y 504 hrs.

5) HAST (Highly Accelerated Temperature & Humidity Stress Test).

Esta prueba se lleva a cabo con el propósito de evaluar la confiabilidad de dispositivos semiconductores en ambientes húmedos. La prueba emplea condiciones severas de temperatura (130°C), humedad (85% RH) y polarización (<200mW), las cuales aceleran la difusión de humedad a través del encapsulado. Esta prueba usualmente “activa” los mismos mecanismos de falla que la prueba de THB.

6) Autoclave.

Esta prueba se realiza para evaluar la resistencia a la humedad de los dispositivos semiconductores en ambientes saturados de humedad y vapor. Es una prueba que utiliza condiciones severas de presión (15 psi), humedad (100% RH) y temperatura (121°C) para acelerar la difusión de humedad a través del encapsulado. Se utiliza para identificar mecanismos de falla internos en el paquete y se considera una prueba destructiva.

7) Almacenamiento en Alta Temperatura (HTS)

Esta prueba se utiliza típicamente para determinar los efectos del tiempo y la temperatura, bajo condiciones de almacenaje, en los dispositivos semiconductores. HTS activa mecanismos de falla térmicamente (150°C, 1000 hrs). Uno de estos mecanismos es el crecimiento de compuestos intermetálicos (Al-Au) que pueden ocasionar en última instancia ruptura de las uniones metálicas y desprendimiento de alambres.

8) Ciclos de Temperatura

Esta prueba se lleva a cabo para determinar la habilidad de los componentes e interconexiones (con soldadura) para soportar los esfuerzos mecánicos inducidos por cambios alternados en dos extremos de temperatura (-65°C, +150°C). Típicamente la prueba consiste en correr 500 ciclos entre estos extremos de temperatura. Los mecanismos de falla que se pueden acelerar son dados quebrados, desprendimiento de alambres y ruptura de interconexiones.

9) Soldabilidad.

El propósito de esta prueba es determinar si las terminales de un dispositivo podrán ser soldadas a una superficie utilizando soldadura con plomo o libre de plomo. El estándar describe los métodos de “Dip & Look” (utilizado comúnmente) y *Surface Mount Process Simulation*. Antes de la prueba de soldabilidad, los dispositivos son sometidos a un ambiente de vapor para simular su almacenamiento. (Terminales con oro – 1 hr; terminales con estaño 8 hrs).

Soldabilidad Habilidad de las terminales de ser humectadas por soldadura fundida. La cual parte de la prueba consiste en envejecimiento en ambiente de

vapor para simular la condición de almacenamiento de un tiempo prolongado en las terminales de los dispositivos bajo las siguientes condiciones

- *Sn-Ag-Cu* (95.5%-3.8%-0.7%).
- 245 °C
- 1 Hora. Terminal de Oro
- 8 Horas. Terminal de Estaño
- 100% Cobertura

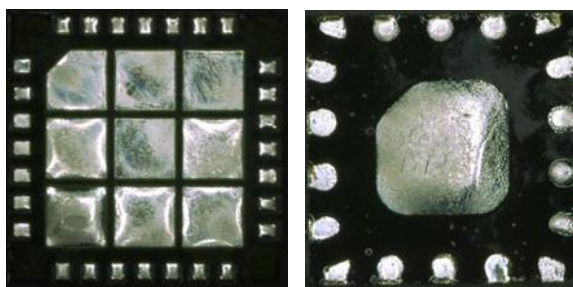


Figura 13.1 Pruebas de soldabilidad

10) Temperature – Humidity Bias (THB).

Esta prueba evalúa la confiabilidad de dispositivos semiconductores bajo ambientes húmedos. Se emplean condiciones de temperatura (85°C), humedad (85%RH) y polarización con el fin de acelerar la difusión de humedad al interior del paquete. La duración de la prueba es de 1000 hrs.

Absorción es el proceso mediante el cual un paquete gana peso debido a la difusión de humedad a través del encapsulado de plástico.

Desorción proceso mediante el cual un paquete pierde peso debido a la extracción de humedad al ser sometido a una temperatura.

Capítulo 3.0 Detalles Experimentales

3.1 Método

Durante la presente investigación se pretende dar propuestas alternas de diferentes tipos de alambres en el área de wirebond a través de la correcta aplicación de los principios y métodos de investigación donde se refinará el proceso existente y realizarán propuestas de potenciales nuevos alambres que cumplan con las especificaciones de la aplicación del cliente.

Se elaboró un plan de estudio por el departamento de investigación y desarrollo de solutions de México en conjunto con la Universidad Autónoma de Baja California.

Se seleccionarán los materiales de prueba y para su caracterización mecánica de alambres (Diseño de experimentos) para definir ventanas de parámetros de soldado a utilizar y establecer formas críticas que garanticen una buena formación de formas de enlaces y formación de intermetalicos e interacción con el área de moldeo en términos de barrido de alambres, variación o exposición.

A continuación se definen las principales actividades a realizar durante esta investigación.

- Contacto con proveedores y centros de diseño para soporte del proyecto de investigación de alambres alternos: Alambre de plata y aleaciones de Cu
- Revisión de literatura de empaquetamiento en la industria de los semiconductores.
- Revisión de literatura de física y fabricación de dispositivos semiconductores
- Revisión de literatura sobre propiedades de alambres de circuitos semiconductores
- Revisión de literatura de formación de alambres semiconductores
- Caracterización eléctrica de circuitos seleccionados (para realizar comparación y correlaciones en términos de respuesta eléctrica tanto en oro con en plata)
- Elaboración de pruebas de confiabilidad de materiales seleccionados (requeridas por la industria de acuerdo a los estándares requeridos para su correcta autorización)
- Verificación de resultados con centros de diseño y empaquetamiento además de con los proveedores para proveer la retroalimentación y

requerimiento del estudio y elaboración de artículos basado en los resultados obtenidos

- Revisión de resultados periódicos con la universidad.

El siguiente diagrama de flujo de Entrada-Proceso-Salida nos indica las principales características requeridas en el proceso de alambrado

ENTRADA		PROCESO	SALIDA	
ENTRADAS	CONTROLES		SALIDAS	CONTROLES
Control & exposición de Plasma	Formato	Plasma	Angulo de contacto	Base de datos
Equipo y condiciones de Gas				
Parámetros	Ayudas visuales y programas certificados	Alambrado	Jalon de alambre	
Temperatura	Formato		Barrido de bola	
			Tamaño de bola	
			Posición de bola	Formato
			Altura de bola	
			Longitud de alambre	
Material para inspección	Ayuda Visual	Inspección Óptica	Material Inspeccionado	Formato

Figura 14 Diagrama de flujo proceso de alambrado

Para el proceso de wirebond es necesario cumplir con los requerimientos de calidad wirebond como lo son barrido de bola (ball shear), jalón de alambre (Pull test), tamaños y formas de bolas, longitudes y formas de alambrado los cuales serán definidos a través de los diferentes DOE's para encontrar los parámetros óptimos de soldado que se requieren para el alambrado de plata y así establecer los límites (ventana de trabajo) de corriente ultrasónica, fuerza, tiempo, temperatura, corriente asegurar los requerimientos del producto funcional.

Durante el desarrollo de la presente investigación de alambrado alterno en circuitos microelectrónicos utilizando alambre de plata y cobre se realizarán diferentes diseño de experimentos (DOE) con los cuales se realizará en comparativo con los valores estándares e históricos de los datos de alambrado de oro, cobre y alambrado de plata.

3.2 Diseños de experimentos

Investigación #1 Diseño de experimentos de la formación de la bola conocido como (FAB) Free Air Ball Estudio de formación de la bola a través de los flujos con Gas y Nitrógeno

Investigación #2 Diseños de experimentos para el primer punto de contacto con los principales parámetros de soldado involucrados poder, corriente, tiempo y fuerza

Investigación #3 Diseños de experimentos para el segundo punto de contacto corriente, tiempo, fuerza y barridos

Investigación #4 Verificación y comparativos de los principales tipos de enlace requeridos durante el alambrado

Investigación #5 Pruebas de confiabilidad y verificación eléctrica.

Además de incluir las pruebas de confiabilidad que la industria requiera como lo son ciclos térmicos de añejamiento de los circuitos empaquetados en diferentes tiempos y pruebas de análisis de fallas los cuales incluirán procesos de desencapsulamiento y verificaciones de superficies electrónicamente para la verificación de formación de intermetalicos además de asegurar la forma de la unión del alambrado donde se realizara inspección antes y después de moldeo a través de verificación de rayos X y su verificación eléctrica.

Capítulo 4 Resultados y discusiones

Se seleccionó un producto de alto volumen identificado como complejo por las características de las superficies de alambrado de los diferentes circuitos lo cual represente dificultad durante su alambrado ya que de acuerdo a las superficies donde debe ser alambrado indicaban superficies muy maleables como el oro con un espesor (.15um a 2.03 um) como lo indica la siguiente tabla indicada por los proveedores de circuitos dentro de la industria además de superficies denominadas duras el aluminio mayor a 2.8 um de espesor en su última capa.

Descripción e información del producto

Información del Producto.

Vehículo de prueba: Reservado

Función del producto/ Tx-Rx FEM for Quad-Band GSM / GPRS /

Frecuencia: EDGE w/ 14 Linear TRx Switch Ports, Dual-Band TC-SCDMA, and TDD LTE Band 39.

Información de datos eléctricos

Mask Info		Wafer Fabrication Information			Die Attach	
Dado	Qty	Mask	Technology	Location	Process	Material
ZF045_205	1	Au	HBT	U1	InGaP	GaAs
PK1066-D1	1	Al	CA18QJ	U2	CA18	Silicon
PK5908-B1	1	Al	SOI	U3/U4	CS18	Silicon
PK0021	1	Al	IPD	U5	RLC07-R	Silicon
Tabla 5 Configuración eléctrica características de fabricación						

УПАКОВКА БОЯЗНИ ДОГОВОР	*1-5-20	*1-5-20	*1-5-20	*1-5-20	*1-5-20
ГОДАЦИЯ ДОГОВОР (мм)	*1-0-02	*1-0-02	*1-0-02	*1-0-02	*1-0-02
УПАКОВКА ЛАБ	НЛО	ОП	ОП	ОП	ОП
ДЕТАЛЬ УПАКОВКА	EXPONED (100)	П	П	20ГДЕВНУ2К (152)	20ГДЕВНУ2К (152)
МЕЛКА УПАКОВКА	УП	УП	УП	УП	УП
ЛОБ МЕЛКА УПАКОВКА	5-02	5-02	5-02	5-02	0-12
УПАКОВКА МЕЛКА УПАКОВКА	3	4	3	3	4
МИНИМУМ БОЯЗНИ (мм)	22 X 22	22 X 22	22 X 22	22 X 22	22 X 22
МИНИМУМ БОЯЗНИ (мм)	02	18	522	150	148
УПАКОВКА БОЯЗНИ (мм)	1-10 X 1-20	0-20 X 1-34	0-20 X 1-18	1-18 X 0-48	1-18 X 1-20
МИНИМУМ УПАКОВКА (мм)	100 мм	100 мм	112 мм	100 мм	112 мм
ДЛЕ ТЕХНОЛОГИ	ЭГМНУ2К (152) - 20ГД	СЧТОВНУ2К - 2ГДМ	СЧТОВНУ2К - 2ГДМ	СЧТОВНУ2К - 2ГДМ	СЧТОВНУ2К - 2ГДМ
ДЕТАЛЬ УПАКОВКА	1000	6000	6000	6000	6000
УПАКОВКА	П	П	П	П	П

Tabla 6 Configuración eléctrica características de superficies de pads.

Información de empaquetamiento

Familia MCM 5.5X5.3 39 pins

Información de materiales seleccionados

Proveedor del Tablero(PCB) TW61-D656-001 SEMCO

:

Tipo de alambre y espesor: 20 µm Plata

Tipo de moldeo: Sumitomo HF (55um)

Método de marcado: Laser

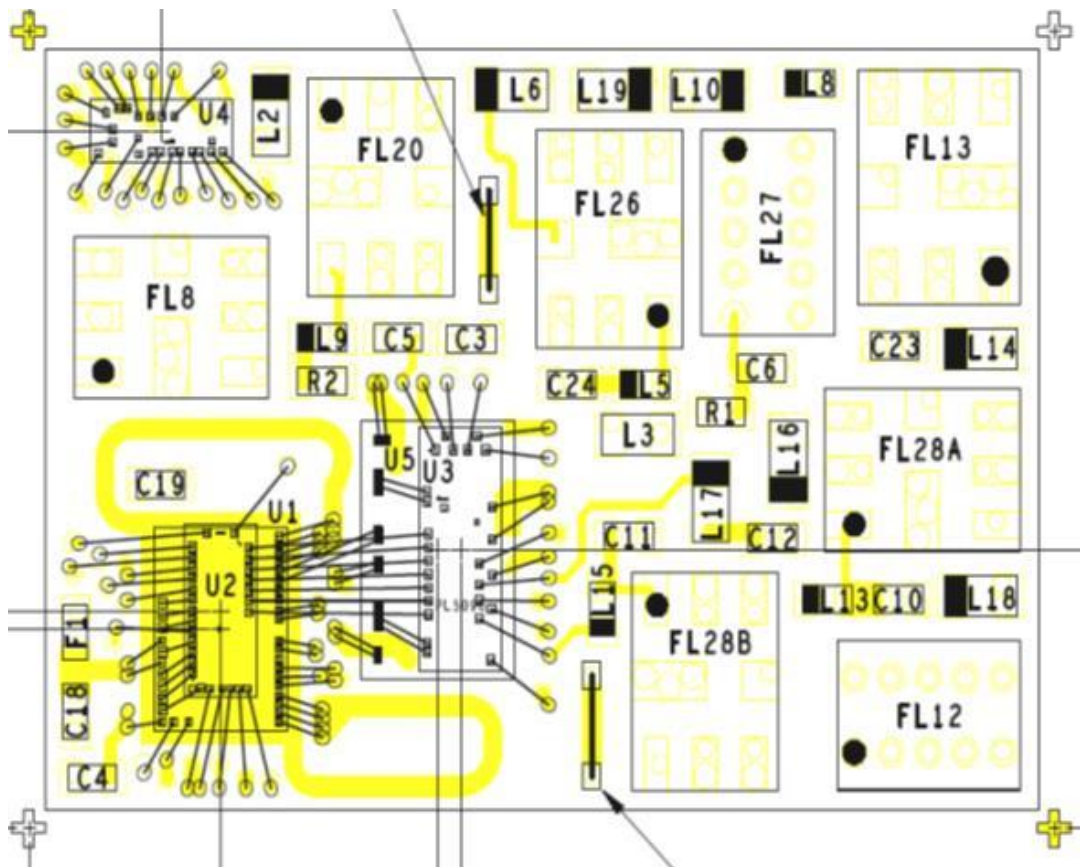


Figura 15 Diagrama de alambrado

Configuración de circuito eléctrico

(componentes pasivos+filtros+amplificadores+alambrado)

Características del alambre de plata Ag 94.5%

Part #		Material	BW AG AgUltraHR 20UM 656FT		
Batch #	K026214	Cust. Part.			
Melt Batch		Cust. Spec.			
Qty per Lot	1.312 KFT	Cust. Rev.			
Material Purity	Ag 94.5%	Wire Size	20.000 μm	Shipment Date	05.03.2015
Wire Type	AgUltraHR	LF/spool	0.656 KFT	Production Date	05.03.2015
PO #		Spool Type	2X2" ALDF	Expiry Date	04.03.2016
Sales order #		Spool Color	Green	EL spec limit	3.00 - 12.00 %
Delivery Note		Spool Q'ty	2 SP	BL spec limit	>=4
				Inspector	Y. H. JIN

Chemical Characteristics

Element	Value	Unit	LSL	USL
Fe	3.7	ppm	-	20.0
Mg	<0.1	ppm	-	10.0
Si	3.5	ppm	-	10.0
Total Impurities	<500.0	ppm	-	500.0

Mechanical Characteristics

Characteristic	Value	Unit
Elongation		%
1	8.96	
2	8.89	
3	8.82	
4	9.03	
5	8.75	
Breakload		g
1	6.94	
2	6.92	
3	6.81	
4	6.87	
5	6.91	

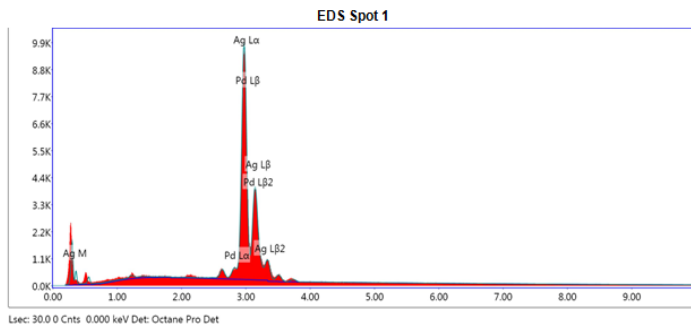
Other Characteristics

Characteristic	Value	Unit	LSL	USL
Actual Dia (μm)	18.777	μm	18.750	21.250

Tabla 7 Alambre de Plata Información proporcionada por proveedor Heraus.

Resultados de verificación de alambre seleccionado

kV: 15 Mag: 900 Takeoff: 34.3 Live Time(s): 30 Amp Time(μs): 1.92 Resolution:(eV)122.7



eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %
PdL	3.14	3.18	203.04	11.41
AgL	96.86	96.82	5934.36	1.83

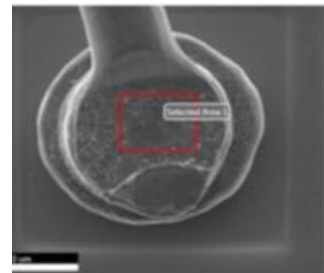


Figura 16 EDX alambre seleccionado.

4.1 Resultados de formación de bola en base (FAB)

Formación de bola (Nitrógeno)

Formación de bola (Forming gas)

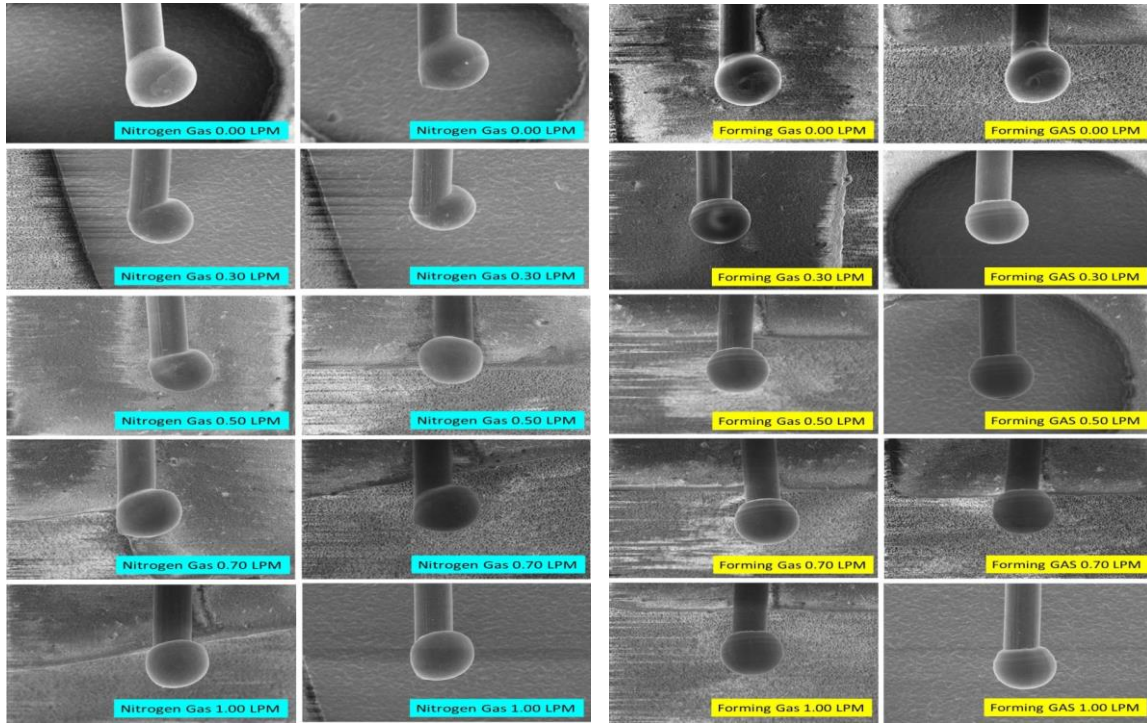


Figura 17 Verificación de resultados de formación de bola.

El equipo alambrado seleccionado es de la compañía Kulicke & Soffa PROCU recomendaciones para estudio de formación de bola se seleccionó el tipo de Loop Free Air Ball (FAB) donde originalmente no se requiere aun parámetros de soldado pero si parámetros de dimensiones de bola (EFO fire time, EFO current , EFO Gap) y control de flujo de gas la cual está dada en litros por minutos (lpm) para prevención de oxidación y la formación adecuada de FAB. Donde se obtuvieron mejores resultados con la utilización de forming gas contra nitrógeno obteniendo bolas concéntricas entre 0.5 LPM y .7 LPM.

4.1.2 Resultados de formación de bola y verificación de propiedades en FIB.

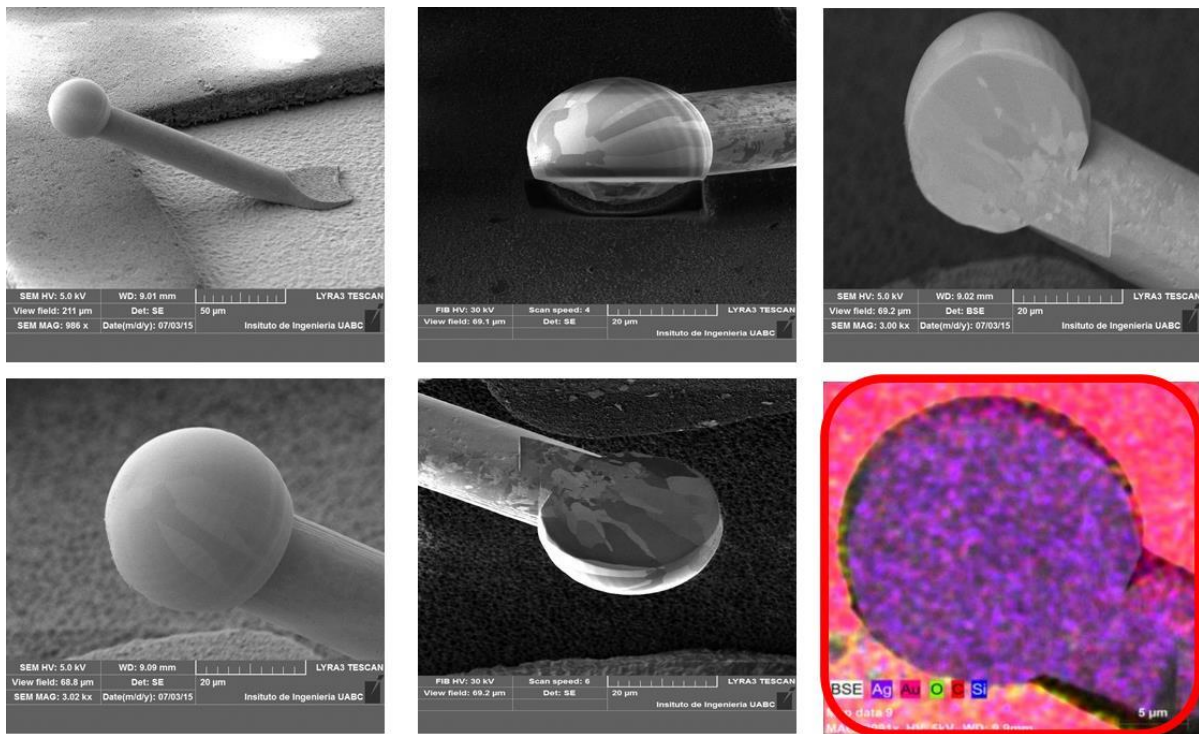


Figura 17.1 FIB Verificación de resultados de formación de bola

4.2 Resultados de alambrado de primer punto de contacto

Resultados de superficies a alambrear a 10Kv, 15Kv y 20 Kv

Principio del análisis por EDX 10kV

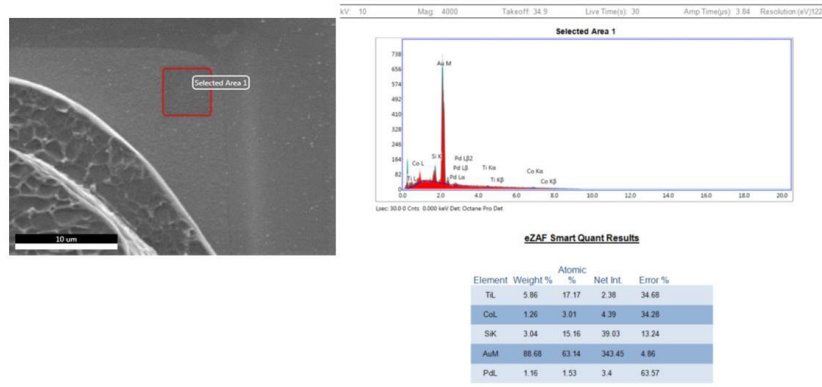


Figura 18 EDX primer punto de contacto 10kV

Principio del análisis por EDX 15kV

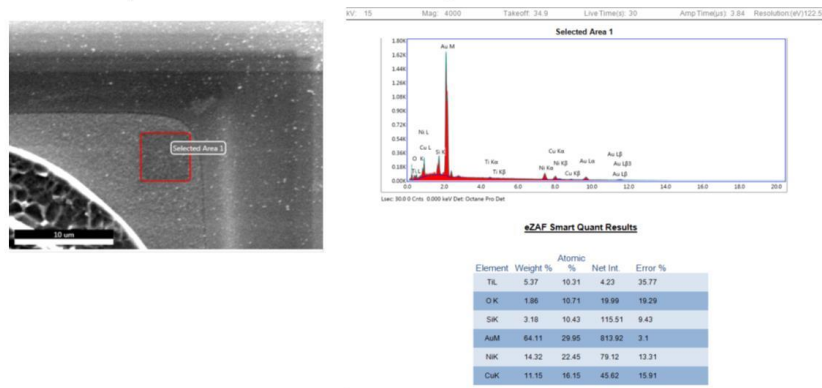


Figura 18.1 EDX primer punto de contacto 15kV

Principio del análisis por EDX 20 kV

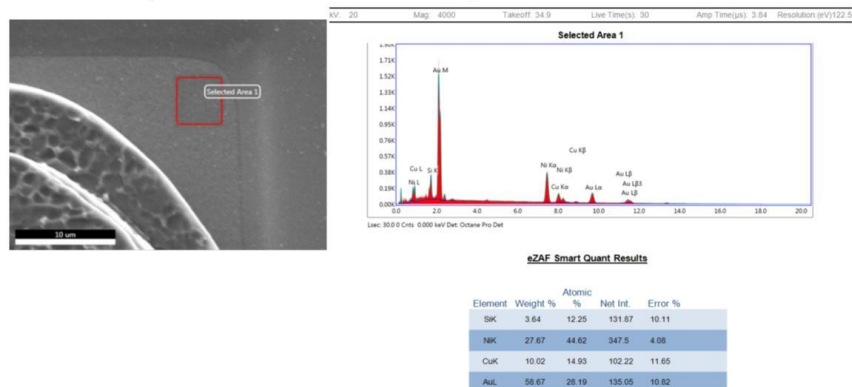


Figura 18.2 EDX primer punto de contacto 20Kv

Estos resultados cambiaron el paradigma del proceso de alambrado sobre superficies duras en lugar de superficies blandas como indicaban los diagramas.

Resultados de verificación y comparativos de los principales tipos de enlace requeridos durante el alambrado

En los circuitos seleccionados la superficie a alambra en su última capa es tan delgada menor .5 um que prácticamente se está alambra sobre la siguiente capa.

Lo cual se corrobora después de diferentes barridos por análisis de retroescopia y se identificaron las capas sobre las que se están alambra como Ni & Ti las cuales son más duras que el oro y además de alambre utilizado actualmente es cobre lo que lo hace más difícil durante su proceso de alambrado.

El proceso de alambrado de plata para 1st bond a nivel circuito sobre pads de oro muestra mejores resultados que oro y menor al cobre para dado de Galio y muestra mejores resultados para Oro y Cobre en pads de aluminio en dados de Silicio

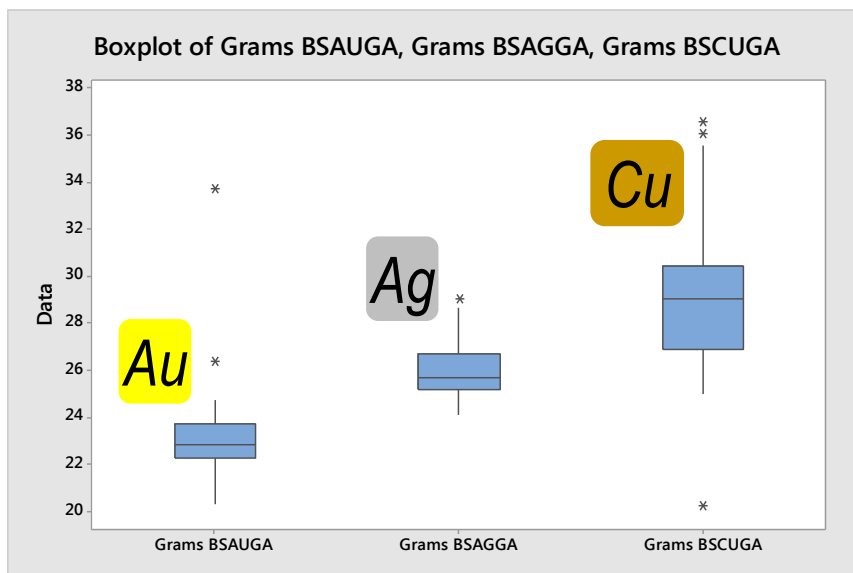


Figura 19 Comparativo arrastre de bola Au,Ag y Cu en circuito Galio

El proceso de alambrado de plata para el primer punto de contacto (1st bond a nivel circuito sobre pads de oro muestra mejores resultados que oro y menor al cobre para dado de Galio y muestra mejores resultados para Oro y Cobre en pads de aluminio en dados de Silicio

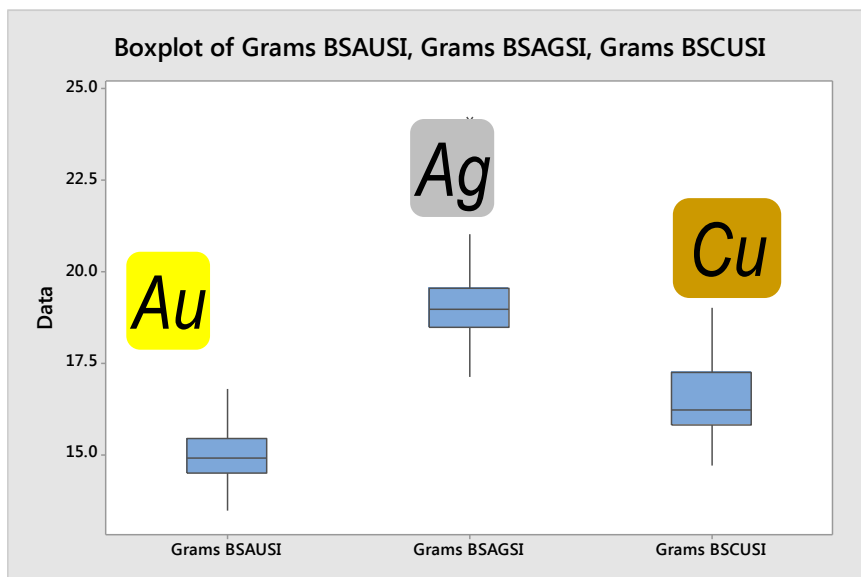


Figura 20 Comparativo arrastre de bola Au,Ag y Cu en circuito Silicio

Análisis de FIB para formación de bolas en el primer punto de soldado

Alambre de oro (Au)

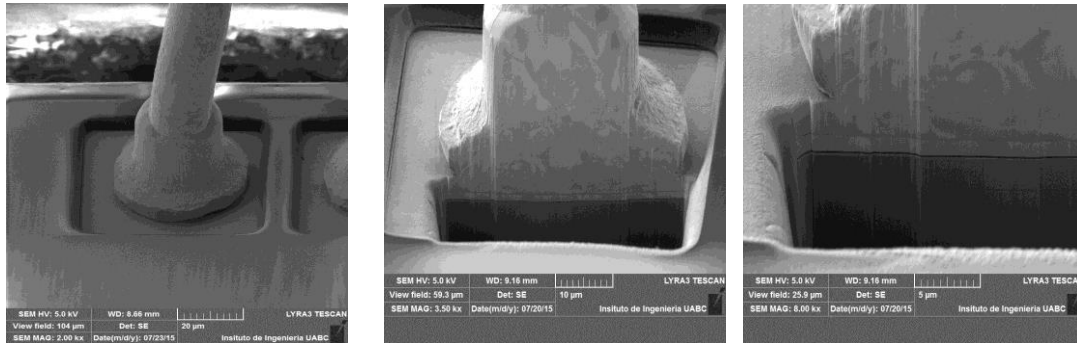


Figura 21 FIB Oro (Au)

Alambre de plata (Ag)

Resultados DOE

DOE	Ball size	Z	BH R	BAR	Ball+Splash	Spl ash	BS	BS S	PT
Run1	38.7 5	11. 0	3.5	0.28390 8	41.7	2.9 6	13.0 6	6.9 3	8.4 8
Run2	39.0 6	11. 2	3.5	0.28571 4	42.1	3.0 4	12.7 3	7.6 9	8.5 5
Run3	38.8 8	11. 5	3.4	0.29582	42.1	3.2 3	12.2 1	6.3 3	8.6 0
Run4	39.0 5	11. 3	3.4	0.29014 1	42.3	3.2 5	12.2 1	6.4 6	8.4 9
Run5	38.9	11.	3.4	0.29649	42.2	3.2	12.1	6.8	8.6

	6	6		6		5	5	4	7
Run6	38.8	12.		0.30747		3.1		4.8	7.8
	7	0	3.3	5	42	4	9.17	4	9
Run7	39.2	12.		0.30949		3.1	13.4	7.3	8.6
	9	2	3.2	4	42.4	1	6	7	2
Run8	38.8	11.		0.28277		3.7	10.5	5.5	8.5
	7	0	3.5	4	42.6	4	0	7	8
Run9	39.0	11.		0.28567		2.9	14.3	8.0	8.6
	0	1	3.5	8	41.9	1	6	2	1
Run10	39.0	10.		0.27205		3.1		2.8	7.0
	0	6	3.7	1	42.1	0	8.78	7	8
Run11	39.1	11.		0.28816		3.4	11.0	5.6	8.2
	1	3	3.5	2	42.6	9	7	4	6

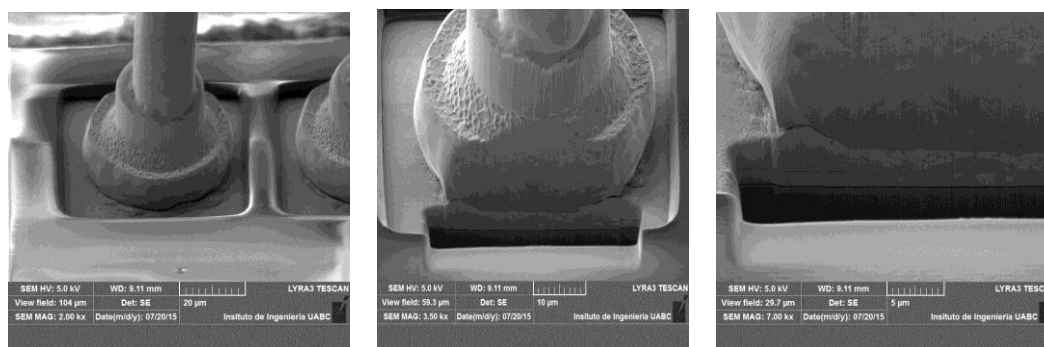


Figura 21.1 FIB Plata (Ag)

Parametros Recomendados	Corriente	Fuerza	Tiempo
----------------------------	-----------	--------	--------

Rango	60 - 80	2	10 - 15
--------------	----------------	----------	----------------

Alambre de Cobre (Cu)

Resultados DOE

DOE	Ball size	Z	BHR	BAR	Ball+Splash	Al Splash	BS	BSS	PT
Run1	37.07	7.5	5.0	20%	42.87	5.80	20.64	11.81	10.72
Run2	36.74	8.3	4.4	23%	41.75	5.01	22.05	12.83	10.57
Run3	36.59	7.9	4.6	22%	40.93	4.34	21.37	13.43	10.31
Run4	36.93	7.9	4.7	22%	42.64	5.71	21.37	12.05	10.65
Run5	37.32	7.9	4.7	21%	41.32	4.00	22.14	12.93	10.27
Run6	36.76	8.1	4.5	22%	40.74	3.98	23.88	13.46	10.51
Run7	38.33	7.2	5.4	19%	45.46	7.13	18.94	9.93	11.11
Run8	36.55	6.9	5.3	19%	42.06	5.51	21.78	12.48	10.53
Run9	36.74	7.6	4.9	21%	42.44	5.70	22.35	13.04	10.46
Run10	36.44	7.9	4.7	22%	39.81	3.37	21.66	13.70	10.89
Run11	39.30	7.3	5.4	19%	42.60	3.30	19.75	10.30	10.92
Run12	36.93	7.1	5.2	19%	41.65	4.73	20.20	11.93	10.72
Run13	36.90	4.6	4.6	12%	42.82	5.93	20.65	11.80	10.98
Run14	36.67	5.2	5.2	14%	42.20	5.53	20.04	11.51	10.98
Run15	36.91	5.2	5.2	14%	41.98	5.07	21.19	12.23	11.25
Run16	36.94	5.2	5.2	14%	41.55	4.61	21.59	12.32	11.56
Run17	37.43	5.6	5.6	15%	43.33	5.90	19.45	11.07	11.40
Run18	36.80	4.9	4.9	13%	41.33	4.53	22.69	12.69	11.30

Run19	36.91	5.1	5.1	14%	40.98	4.08	21.59	12.18	11.05
Run20	36.79	6.9	5.3	19%	42.32	5.53	21.14	12.41	11.12

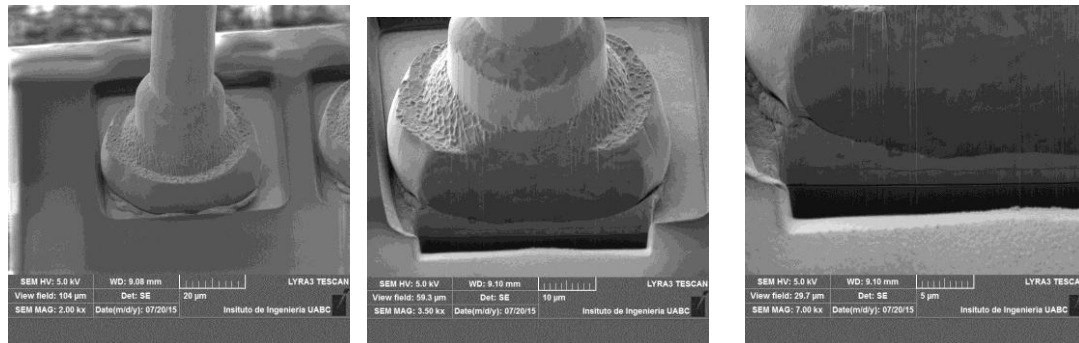


Figura 21.2 FIB Cobre (Cu)

Parametros recomenda dos	Corriente	Fuerza	Tiempo
Rango	90 - 100	5	10 - 15

A través de estos análisis se pueden observar como el alambre de plata presenta menor fenómeno de splash que el cobre mientras que en el oro no se presenta

Alambre de Oro no presenta desplazamiento (splash), Plata presenta en menor grado y en Cobre se observa el daño en el pad de wirebond .

- El alambrado de cobre o algún tipo de aleación cobre-paladio, la estructura debajo del pad a alambrear son más susceptible a ser dañadas durante el proceso de alambrado, por las ventanas de trabajos más reducidas en los parámetros más altos de soldado.
- El cobre presenta un problema serio de splash comparado con el oro o plata el cual es prácticamente imperceptible.
- El alambre de cobre presenta problemas en conexiones de pad a pad, alambres apilados como en reversa los cuales son todo un reto muy complejo debido a la dureza de alambre la utilización de alambre de plata redujo los desprendimientos presentados en cobre.

4.3 Resultados de alambrado de segundo punto de contacto.

El proceso de alambrado de plata para 2nd bond a nivel PCB (superficies de oro/níquel/paladio muestra mejores resultados que oro y menor al cobre

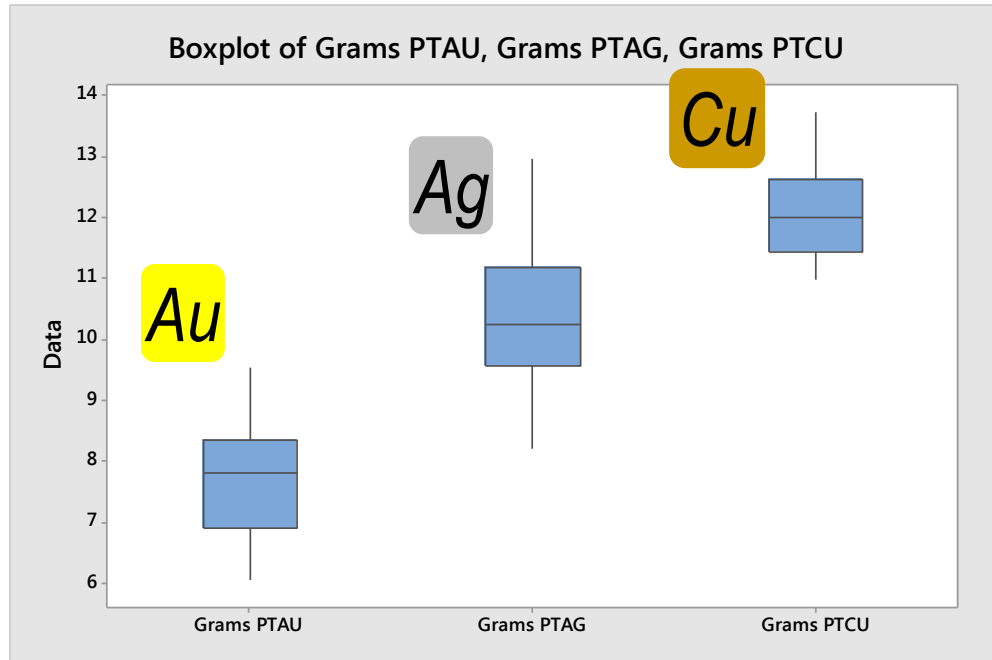


Figura 22 Comparativo Jalón de bola Au,Ag y Cu en circuito

Silicio

Análisis de FIB para formación de cuña (Stich) el 2do punto de soldado

Alambre de oro (Au)

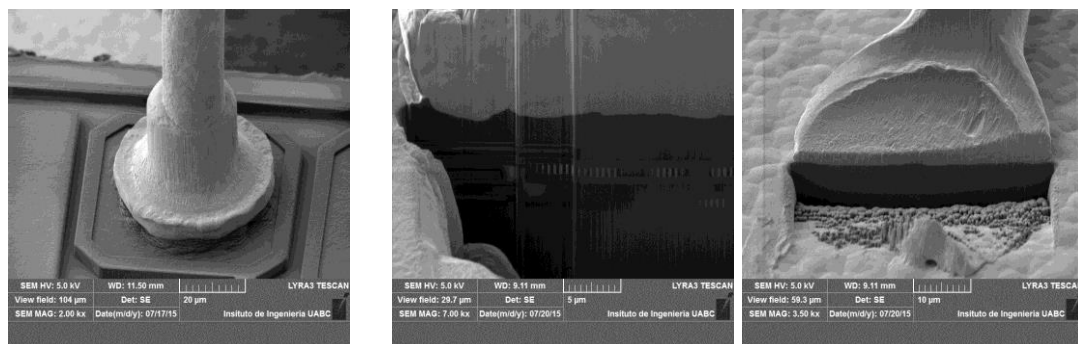


Figura 23 FIB Oro (Au) Segundo punto de contacto

Alambre de plata (Ag)

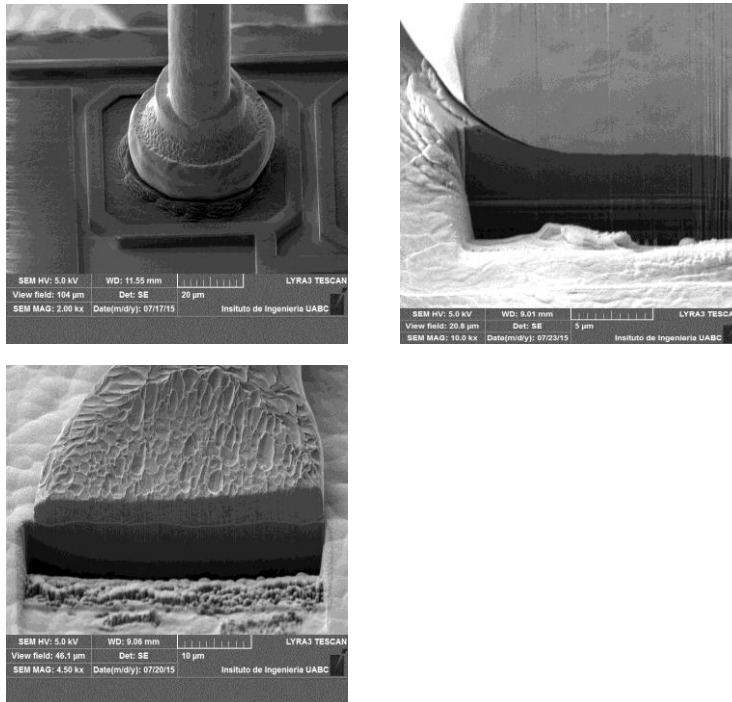


Figura 23.1 FIB Plata (Ag) Segundo punto de contacto

Alambre de cobre (Cu)



Figura 23.2 FIB Cobre (Cu) Segundo punto de contacto

- El Cu es susceptible a oxidación principalmente con el 2do punto de contacto al momento del impacto aun cuando el alambre pudiera estar recubierto o aleado con otro metal para prevenir esta oxidación incrementando su precio.
- El Cu tiene menores salidas de producción debido a su dureza se requieren mayores tiempos de alambrado y mayor fuerza de pegado con menores ventanas de trabajo por consiguiente tiene un impacto en su procesamiento.

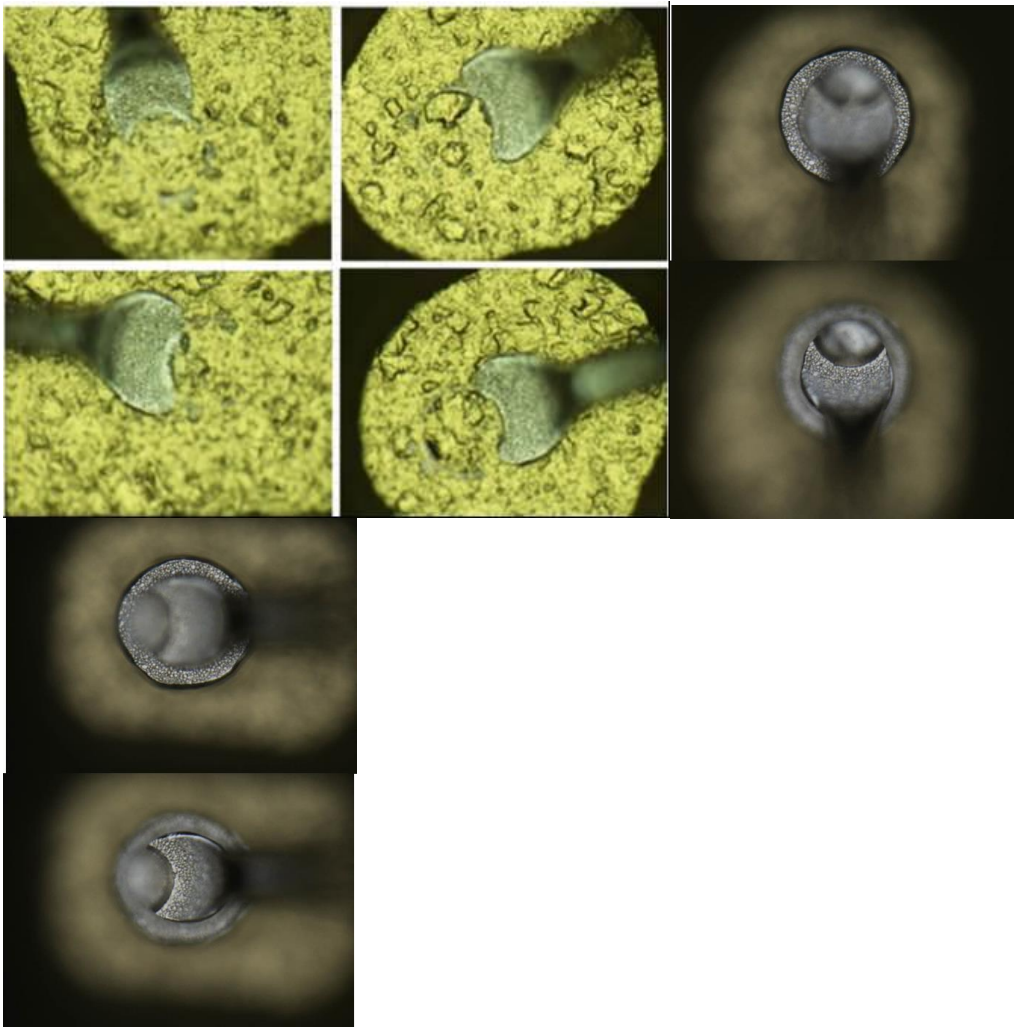


Figura 23.3 Formas Segundo punto de contacto Plata (Ag)

Los resultados obtenidos corroboran los niveles de complejidad y rango de trabajo obtenido para 1er y 2do punto de contacto.

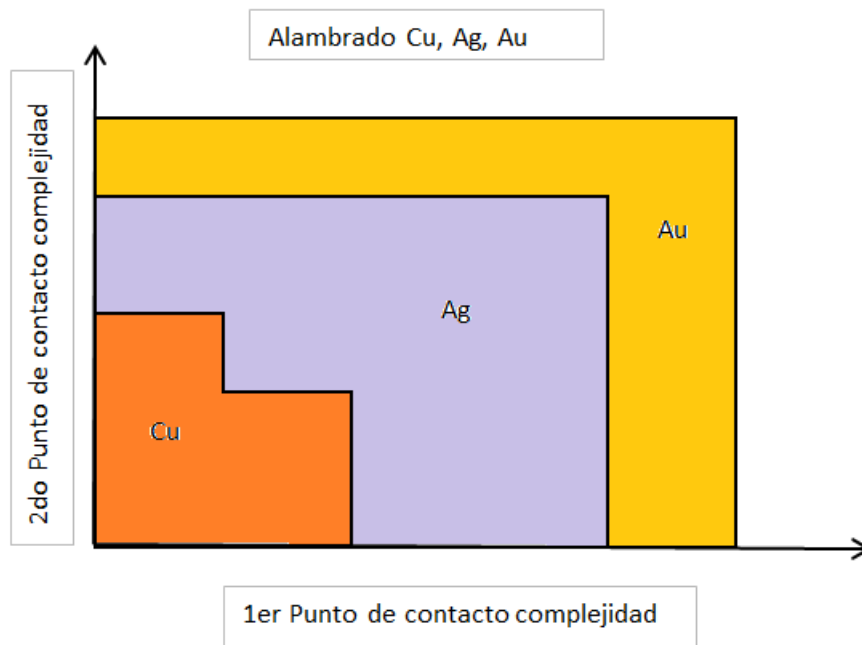
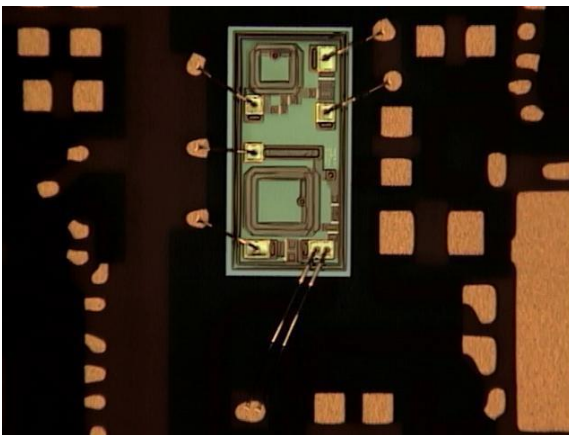


Figura 24 Complejidad por puntos de contacto Au,Ag & Cu

4.4 Resultados de verificación y comparativos de los diferentes tipos de enlaces (formas de conexiones)

En colaboración con la industria proveedores de alambre de plata y con la industria de los capilares se realizó una evaluación en esta superficie dura la cual incluye diferentes tipos de alambrados.

Alambrado Estándar



Alambrado al revés (SSB)

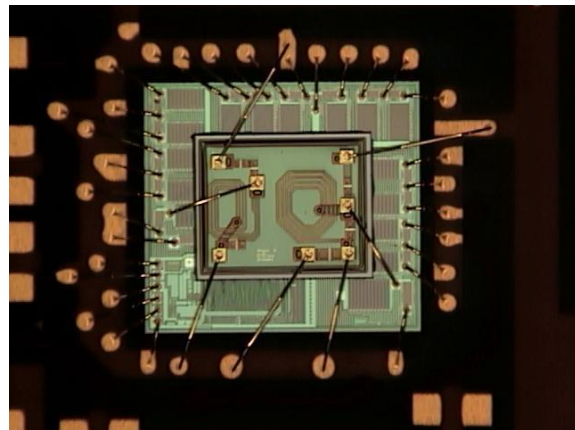


Figura 25 Formas (Loop) de primer punto de contacto Ag

Formación de bolas alambreadas con plata en reversa apilados.



Figura 25.1 Formas de primer punto de contacto Ag

Formación de bolas alambreadas estándar

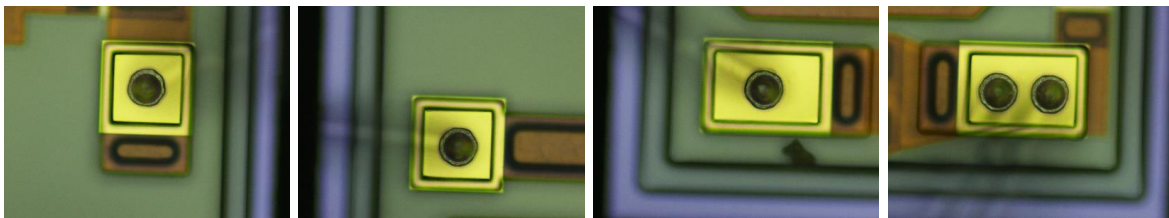


Figura 25.2 Formas de primer punto de contacto Ag

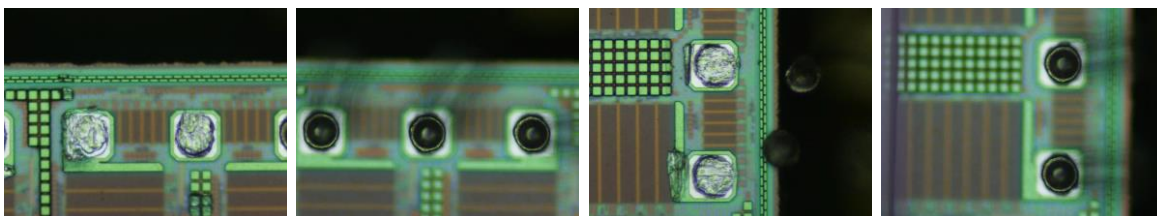


Figura 25.3 Formas de primer punto de contacto Ag en pads de aluminio

Ball Shear sobre pad de titanio

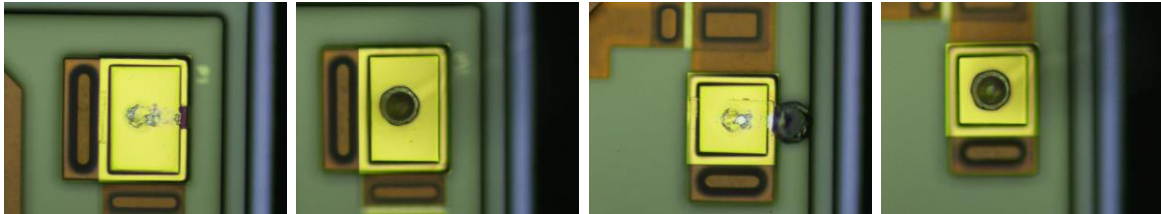


Figura 25.3 Formas de primer punto de contacto Ag en pads de titanio.

Formación de intermetalicos sobre pad de aluminio tiempo inicial >92%

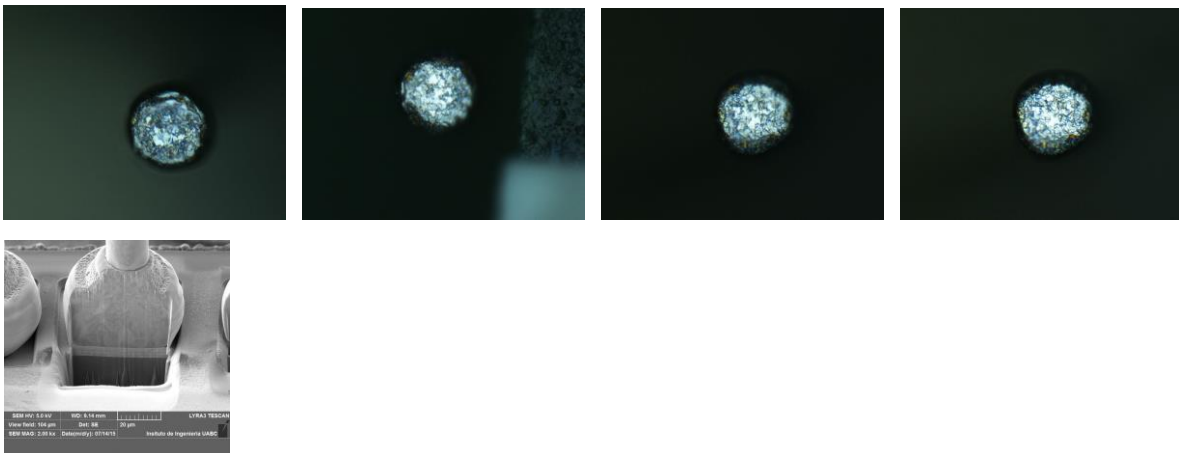


Figura 25.4 Formación de intermetalico alambre Ag

Formación de intermetalicos sobre pad de aluminio 1008HR



Au>5 um

Cu<2 um

Ag<3 um

Loops de plata mostrando consistencia en formación de bucles (loop)

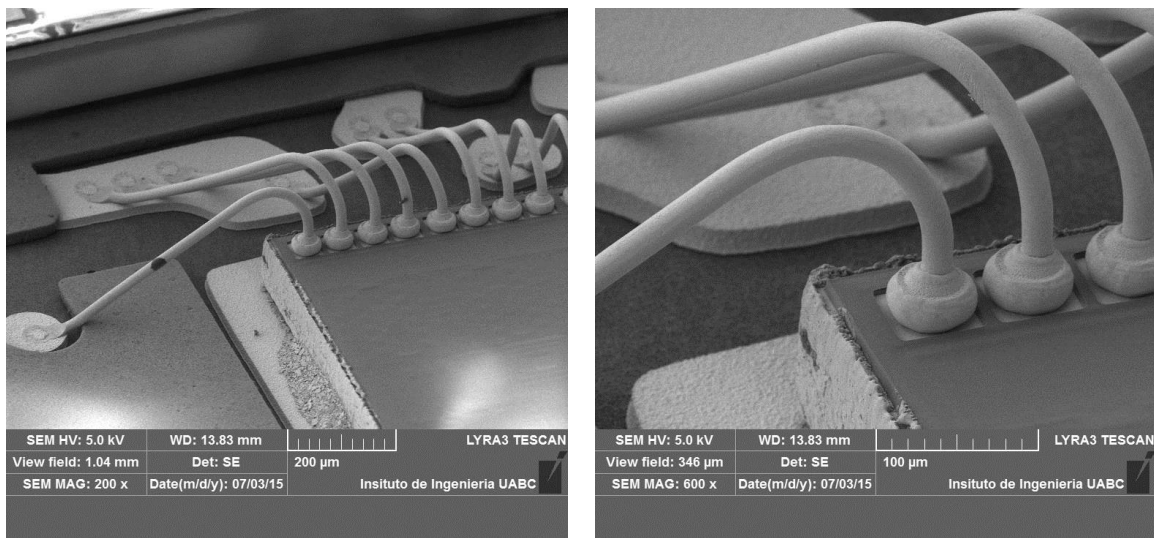


Figura 25.5 Formación de loops alambre Ag

4.5 Resultados de pruebas de confiabilidad y caracterización eléctrica

Test ¹	Qty	Endpoints (ATE)	Accept Criteria	Results
Preconditioning ² MSL3 - 260 °C (JESD22-A113)	185 x 1 lot	Bake 125C 24 Hours Moisture Soak 3x Reflow ATE electrical test	0 Fail / 185	Passed
Temperature Humidity Bias (THB) 85 °C, 85 %RH, 4.6V DC bias ESD22-A101)	77 x 1 lot (from preconditioning)	1000 hours ATE electrical test	0 Fail / 77	Passed
Unbiased HAST 130 °C, 85 %RH, 33 PSIA (JESD22-A118)	77 x 1 lot (from preconditioning)	96 hours ATE electrical test	0 Fail / 77	Passed
High Temp Storage 150 °C (JESD22-A103)	25 x 1 lot (from preconditioning)	168 hours 1000 hours ATE electrical test	0 Fail / 25 0 Fail / 25	Passed

Tabla 8 Pruebas de calificación alambre Ag

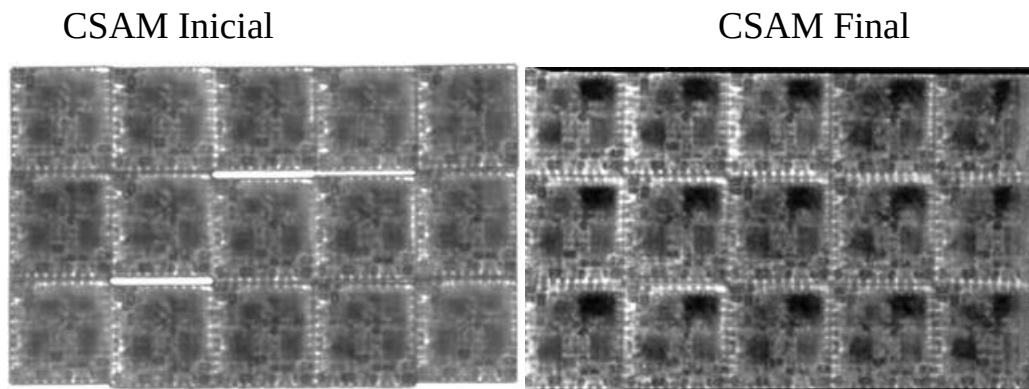


Figura 26 Pre condicionamiento alambre Ag

4.6 Caracterización eléctrica

LOT	QTY IN	B1	B4	B5	B6	B7	YIELD	Failure Mode	Tester
STR42978	251	240	0	0	0	11	95.62%	RIL_TRX12_2690	M7CREDXP28

Tabla 9 Verificación Eléctrica de alambre Ag

- Los resultados de prueba eléctricas son consistentes con los del mismo número de parte en su versión de oro y versión de cobre mostrando el mismo tipo de fallas funcionales.

Defect Code	Code Description	Defects Quantity	Lot	Initial Quantity	Defects Total	Final Quantity	Yield Total
OF	Operational failures	369	30140817.1	10,340	494	9,846	95.22%
OF	Operational failures	430	30143954.1	10,525	606	9,919	94.24%
OF	Operational failures	106	30173451.1	10,540	293	10,247	97.22%

Tabla 10 Verificación Eléctrica de alambre CuPd Proveedor 1

Lot PROMIS	Type	Yield	LKC_JCC_NO M_PRE_MAV	LKC_JBA_NOM _PRE_MAV	LKC_JCC_HVS _PRE_MAV	LKC_JBA_HVS _PRE_MAV	LKC_VIO_MA V	LKC_DATA	LKC_CLK	LKC_JCC_NOM _POST_MAV	LKC_JBA_NOM _POST_MAV
3832398	Proveedor 2	84.71%	8.15%	0.02%	7.22%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	10.33%	0.01%
3834983	Proveedor 2	91.70%	4.03%	0.01%	4.17%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	2.89%	0.00%
3832396	Proveedor 2	94.11%	3.51%	0.00%	3.36%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	1.51%	0.00%
3823032	Proveedor 2	95.05%	1.51%	0.00%	2.27%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	2.45%	0.00%
3786157	Proveedor 2	97.13%	1.40%	1.40%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.02%
3789500	Proveedor 2	94.53%	0.55%	0.01%	0.45%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	1.36%	0.00%
3812934	Proveedor 2	98.96%	0.34%	0.12%	0.34%	0.11%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%
3809199	Proveedor 2	96.55%	0.25%	0.03%	0.29%	0.03%	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%
3806429	Proveedor 2	96.45%	0.13%	0.01%	0.06%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.62%	0.01%
3787572	Proveedor 2	92.86%	0.11%	0.01%	0.08%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.53%	0.00%
3790526	Proveedor 2	94.14%	0.08%	0.01%	0.08%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.14%	0.01%
3812368	Proveedor 2	92.59%	0.07%	0.07%	0.07%	0.07%	0.02%	0.00%	0.02%	0.00%	0.00%
3805549	Proveedor 2	95.79%	0.05%	0.02%	0.05%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
3834984	Proveedor 2	95.88%	0.05%	0.01%	0.07%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.06%	0.01%
3819968	Proveedor 2	92.58%	0.04%	0.01%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
3831132	Proveedor 2	97.05%	0.03%	0.01%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Tabla 11 Verificación Eléctrica de alambre CuPdAu Proveedor 2

Lot	Strip #	Qty In	Failures	Yield	FM	LKC_IBA_NOM_PRE_MAV Failures	LKC_ICC_NOM_PRE_MAV Failures
3823031.1	1	788	37	95.30%	PO_B7QC_2565_285_L1R	0	0
	2	781	11	98.59%	3F_B41TD1_2685_285_L4R	0	0
	3	792	17	97.85%	UA1_B7QC_2565_285_L1R	1	1
	4	784	10	98.72%	UA1_B7QC_2565_285_L1R	0	1
	5	802	7	99.13%	CONT_VIO	0	0
	6	793	17	97.86%	PO_B40TD2_2305_285_L4L	1	0
	7	794	6	99.24%	RIL_1_HBTD1_RXTD1_2690_MAV	0	0
	8	790	6	99.24%	CONT_VIO	0	0
	9	798	5	99.37%	CONT_DATA	0	1
3823031.2	1	732	5	99.32%	3F_B41TD1_2685_285_L4R	0	1
	2	771	4	99.48%	CONT_VIO	0	0
	3	749	7	99.07%	3F_B41TD1_2685_285_L4R	0	1
	4	780	1	99.87%	LKC_IBA_NOM_PRE_MAV	1	0
	5	771	14	98.18%	UA1_B30_2310_275_L2	0	0
	6	792	5	99.37%	3F_B41TD2_2685_285_L4R	0	0
	7	776	8	98.97%	IT_B7QC_2560_275_L3	0	1
	8	784	10	98.72%	POST_ICC_BIAS	0	1
	9	779	7	99.10%	PVT_B7_2500_5US_CW	0	0
3819965.1	1	793	1	99.87%	CONT_DATA	0	0
	2	789	3	99.62%	IT_B7QC_2560_275_L3	0	0
	3	780	5	99.36%	CONT_VIO	0	0
	4	802	4	99.50%	IT_B41TD1_2685_285_L4R	0	1
	5	771	29	96.24%	LKC_IBA_NOM_PRE_MAV	11	0
	6	772	2	99.74%	LKC_IBA_NOM_PRE_MAV	1	0
	7	629	5	99.21%	CONT_VIO	1	0
	8	624	1	99.84%	LKC_IBA_NOM_PRE_MAV	1	0
	9	958	3	99.69%	3F_B41TD1_2685_285_L4R	0	0
	10	785	13	98.34%	LKC_IBA_NOM_PRE_MAV	4	0
3819965.2	1	794	7	99.12%	CONT_VIO	0	0
	2	806	1	99.88%	3F_B41TD2_2685_285_L4R	0	0
	3	804	1	99.88%	PVT_B7_2500_5US_CW	0	0
	4	801	3	99.63%	UA1_B38TD2_2575_285_L4L	0	0
	5	804	5	99.38%	3F_B41TD2_2685_285_L4R	0	0
	6	804	2	99.75%	3F_B41TD1_2685_285_L4R	0	0
	7	803	1	99.88%	3F_B41TD1_2685_285_L4R	0	0
	8	806	3	99.63%	3F_B41TD1_2685_285_L4R	0	0
	9	800	3	99.63%	3F_B41TD1_2685_285_L4R	0	0
	10	803	2	99.75%	3F_B41TD2_2685_285_L4R	0	0

Tabla 12 Verificación Eléctrica de alambre CuPd Proveedor 3

- Los resultados de alambrado no están presentando diferencia a nivel tablero los cuales están mostrando ventajas competitivas en alambrado sobre superficie de circuito.
- Basados en los resultados obtenidos los centros de diseño han mostrado su interés en utilizar alambre de plata en algunos de sus siguientes diseños.
- La plata representa un potencial ahorro de alrededor de 60% comparado con el alambrado de oro además represente ventajas competitivas con

respecto al cobre en cuanto a mejora de yield por 40% mayor dureza del cobre con respecto a al oro.

Capítulo 5 Conclusiones y Trabajo futuro

Conclusiones y trabajo futuro .

Durante la realización del presente trabajo de investigación se realizó la caracterización mecánica y eléctrica de material de alambrado (aleaciones plata y cobre) de circuitos semiconductores de acuerdo las diferentes aplicaciones disponibles del mismo proporcionando las herramientas y requerimientos de equipo para su utilización en la industria los cuales deberán incluir rango de parámetros de trabajo, restricciones y limitaciones técnicas con los cual se planea sentar las bases para que esta tecnología esté disponible

para Solutions de México en conjunto con las recomendaciones de nuestros colaboradores en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California.

Resultados obtenidos durante la evaluación de alambre de plata y cobre

- De acuerdo a las especificaciones técnicas y de proceso de wirebond la evaluación realizada para el proceso de alambrado en circuitos semiconductores con alambre de plata está mostrando los resultados esperados de acuerdo a la literatura.
- Formación de bolas concéntricas utilizando forming gas entre rangos 0.5 & 0.7 lpm para alambrado de plata.
- Las formas de loop y tamaños de las bolas son consistentes con el proceso base utilizado de oro para alambre de plata. Manteniendo sus propiedades químicas de acuerdo a los mapeos obtenidos por análisis de EDS.
- Los resultados exceden especificaciones de pull test & balls shear del proceso mostrando oportunidades contra los procesos actuales de oro y cobre.
- Continua presentando ventajas competitivas en superficies duras principalmente en mejora de rendimiento en el segundo nivel en PCBs denominados Thin Niquel.
- El alambrado de plata presenta menos desplazamientos metálicos de la superficie por alambra por el efecto conocido como splash que el alambrado de cobre.

- Representando mayor incremento de productividad & oportunidades de mejora de yield en diseños con superficies de dado duros y alambros apilados (SSB) con una ventana de trabajo mayor a la de cobre.
- Se continúan seleccionando potenciales vehículos de prueba además de nuevos proveedores para continuar con los planes de calificación para nuevas aleaciones.
- Las evaluaciones con diferentes proveedores de aleaciones CuPd y CuPdAu presentaron diferencias eléctricas por lo cual se recomienda extra caracterización para productos con mayor sensibilidad producto por producto.

Beneficios alternos obtenidos durante el desarrollo del presente trabajo mejoras sustanciales en superficies duros como Ti.

Evaluaciones alternas con aleaciones de nuevos proveedores de Cu/CuPd/CuPdAu:

Caracterizaciones eléctricas por defectos por plasma excesivo abriendo una línea de investigación muy fuerte para mejora continua dentro de la industria de los semiconductores debido que a pesar de que existe literatura que expresa estos potenciales efectos se pudieron verificar daños a componentes pasivos utilizando los mismos métodos de investigación y herramientas obtenidas durante la realización del presente trabajo.

Siendo un tema contemporáneo que la industria evalúa como potencial solución a problemas que se tienen con las aleaciones actuales donde la transición será paulatina hasta que los competidores no utilicen como tecnología base en sus diseños con sus principales clientes.

Para los siguientes trabajos de investigación futuros serán evaluados en conjunto con los grupos de Investigación y desarrollo con proveedores de la industria de semiconductores en la fabricación de alambres con participación con la universidad autónoma de baja california.

Referencias Bibliográficas.

1. Introduction to microelectronic Fabrication, May 2002, Gerold Neudeck & Robert Pierret “Modular Series on solid stated Devices”
2. *Wire bonding in Microelectronics*, Dec 1997, George Harman & Charles Harper “*Materials Processes Reliability & Yield*”
3. Kulicle and sofa, Jul 2005, “Wirebond materials selection”
4. Wire bonding of Au, Cu and Pd Coated Cu wires, Oct 2012, Murali & Tok Chee Wei, Heraus “R&D, HSML”
5. Heraeus silver alloy bonding wire technology, Jul 2014, Eric Tac, “Materials Wire”⁰

6. Wire bonding process, Jul 2014, Jhun Turiano “guidelines and design”
7. *Wire bonding in Microelectronics,2010, George Harman “Third Edition”*
8. Copper Wire Bonding, 2014, Preeti S. Chauham
9. Silver Alloy Wire Bonding, Liao Jun Kai, Et. Al, 978-1-4673-1965-2/12 ©2012 IEEE
10. Comparison of copper, silver and gold wire bonding on interconnect metallization, Hu Guojun, 978-1-4673-1681-1112/ m012 IEEE
11. Low Cost Silver Alloy Wire Bonding, C.H Cheng1, 978-1-4799-0232-3/13/ ©2013 IEEE
12. Review on Silver Wire Bonding, Charlie Lu, 978-1-4799-0667-3/©2013 IEEE
13. Intemetallic Phase Ag-Au-P/Al Structure, 2013, Hau-Wen Hsueh
14. Corrosion study & Intermtallic formation,2013, Chwee Sim Go, Wee Liung Eddy Chong.
15. Copper wire bonding on pure palladium surface finishes,2010, Mustafa Ozkok, Hugh Roberts, Horst Clauberg.
16. Next Generation Nickel-Based Bond Pads Enable copper wire bonding, 2008, Bob Chylak, Jamin Ling, Horst Clauberg
17. The application and principle of parallel plate plasma cleaning systeme,2015, Panasonic Micro electronic division
18. Plasma Clean to reduce wire bond failures,2015, John Maguire
19. Principles of plasma discharges & Materials Processing,2005, Michael A. Lieberman, Allan J. Linchtenberg
20. Thermal conuctivity of the elements,1972, C.Y HO, R.W. Powell,P.E Liley

21. Recrystallization of gold alloys for producing fine bonding wires, 1995, Guojun Qi, Sam Zhang
22. Effect of Vacuum Annealing on Tensile Mechanical, 2015, Akio Takagi, Takaaki Kato
23. Power semiconductor “Reliability Handbook”, 2010, Alpha Semiconductors
24. High Reliability semiconductor discrete devices, 2011, SWKS Semiconductors
25. Reliability Monitor, 2012, Atmel
26. Técnicas de análisis químico de superficies, 2012, STTI
27. Study on the effect of bond stress on Pd Ag wire on Al pas, 2015, Jimy Jevers
28. Ag wire development, 2016, Alan Slopey
29. Phase Equilibria, Crystallographic, 1995, Landolt Bornstein
30. CuPd Au 20um wire on Ti NiAu, 2015, Jhun Turiano
31. Intemetallic coverage (IMC) and Cross-Section, 2015, Murali, Loke, Zhang Xi
32. Reliability of coated and alloyed copper/silver ball bonds, 2017, Sarangapani Murial, Bayaras Abito Danila, Zhan XI.
33. Bonding wires for semiconductor technology, 2016, Heraus
34. Ag Alloy wire, 2013, Semicon Taiwan
35. Copper wire technology, 2011, Heraus