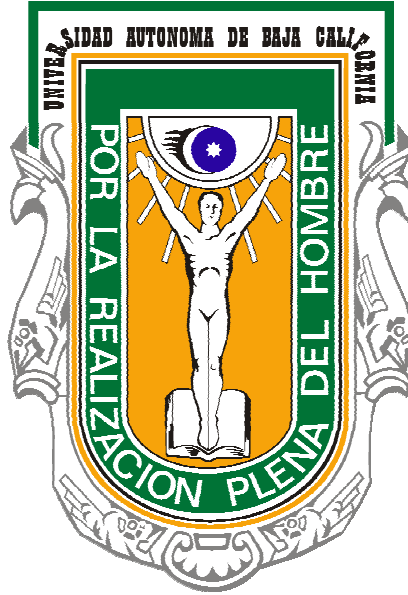


Universidad Autónoma De Baja California

Instituto De Ingeniería

Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



“Aplicación de Surfactantes Para Optimizar el Corte de Obleas de Silicio”

TESIS

Para Obtener El Grado De Maestro En Ingeniería

PRESENTA

Karla Maritza Vásquez Fraijo

DIRECTOR

Dr. Benjamín Valdez Salas

CO-DIRECTORA

Dra. Lidia Esther Vargas Osuna

Mexicali, B. C.

Diciembre 2011

“Aplicación de Surfactantes Para Optimizar el Corte de Obleas de Silicio”

Mexicali, B.C., Diciembre del 2011.

~ ii ~

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todas las personas que durante este tiempo estuvieron apoyándome, me instruyeron y alentaron para concluir con el trabajo de investigación.

Gracias a mi director de tesis: Dr. Benjamín Valdez por la paciencia, apoyo, dedicación, orientación y consejo, que durante este tiempo me han hecho crecer como persona y profesionalista.

A la Dra. Lidia Vargas, Dr. Roumen Zlatev, Dra. Mónica Carrillo, Dr. Nicola Radnev y M.I. Víctor Hugo Vázquez por su gran apoyo profesional y ayuda brindada.

Agradezco a la UABC (mi Alma Mater) y a Skyworks Solutions de México S. de RL de CV (mi segundo hogar) por el apoyo y tiempo brindados para el desarrollo y conclusión de esta tesis.

Muchas gracias a todos mis compañeros, con los cuales compartí conocimientos, momentos preciosos y también trabajo duro, pero sobre todo a Sayuri Kiyota, M.I. Irene Carrillo y Mónica Soto por ser mis almas gemelas durante este viaje.

Y principalmente, agradezco a mi madre y a mi abuela, Maritza Fraijo y Beatriz Limón de Fraijo, ya que son mis pilares y mi apoyo incondicional en la vida.

Dedico este trabajo a mi abuelo, Pedro Fraijo, que en paz descansa. Sé que desde el cielo estará orgulloso de mí.

ÍNDICE

	Página
Agradecimientos	iii
Lista De Figuras, Tablas y Anexos	vi
Prólogo	x
Introducción	1
1. Objetivos	4
▪ Objetivo Específico	4
▪ Objetivo Estratégico	4
2. Delimitación Del Estudio	4
3. Planteamiento Del Problema	5
Capítulo 1: Marco Teórico	6
1.1. Corrosión Galvánica	7
1.1.1. Factores Que Afectan El Mecanismo De La Corrosión Galvánica	8
1.1.2. Naturaleza Del Ambiente	9
1.1.3. Efecto De La Relación De Área	9
1.2. Surfactantes	10
1.2.1. Agentes De Actividad Superficial	11
1.2.2. Clasificación	12
1.2.3. Materia Prima	13
1.3. Tensión Superficial	14
1.3.1. Definición Mecánica De La Tensión Superficial	15
1.3.2. Unidades	16
1.3.3. Métodos Para Medir La Tensión Superficial	17

Capítulo 2: Introducción a La Fabricación De Semiconductores	27
2.1. Proceso De Fabricación	28
2.1.1. Pasos Generales de Fabricación y Ensamble de un CI	29
2.2. Mecanismos De Falla	33
Capítulo 3: Experimentación	35
3.1. Metodología De Evaluación	36
3.2. Definición Del Problema	36
3.3. Simulación en Cámaras Climáticas	38
3.3.1. Proceso de Evaluación MERIT	39
3.4. Desarrollo De Una Solución Surfactante	41
Capítulo 4: Análisis De Resultados	45
4.1. Medición De La Tensión Superficial	46
4.2. Simulación Del Proceso De Cortado De Obleas De Silicio	48
4.2.1. Funcionamiento Equipo Real	48
4.2.2. Simulación Con Equipo De Experimentación	50
4.3. Método De La Balanza	53
Capítulo 5: Conclusiones, Comentarios y Recomendaciones	56
Glosario	60
Referencias Bibliográficas	65
Anexos	69

LISTA DE FIGURAS

Figura I.	Porcentaje y Contribución en Dólares del Costo Total de la Corrosión en la Industria.	3
Figura 1.1.1	Par Galvánico Aluminio-Oro	7
Figura 1.1.2	Imagen SEM de un Par Galvánico Al-Au	8
Figura 1.1.3	Serie Galvánica para Agua de Mar	9
Figura 1.2.1	Los Surfactantes: Llave de Sistemas Inmiscibles	11
Figura 1.3.1	Fuerzas atractivas que actúan sobre las moléculas en el seno de un líquido y en la superficie libre.	14
Figura 1.3.2	Definición Mecánica de la Tensión Superficial	15
Figura 1.3.3	Ángulo de Contacto	17
Figura 1.3.4	Placa de Wilhelmy	17
Figura 1.3.5	Método del Anillo	18
Figura 1.3.6	Método de la Gota Colada	19
Figura 1.3.7	Gota Pendiente	19
Figura 1.3.8	Gota Giratoria	20
Figura 1.3.9	Menisco entre Barra y Superficie	21
Figura 1.3.10	Presión Máxima de la Burbuja	22
Figura 1.3.11	Gráfico Ascenso Capilar	24
Figura 1.3.12	Equipo Para Determinar Tensión Superficial Por El Método De Ascenso Capilar	25
Figura 2.1.1	Esquema General del Proceso de Fabricación; Desde el Silicio Puro hasta ser un CI	29
Figura 3.2.1	Imagen de SEM que Muestra Corrosión en el Pad de Aluminio	37

del dado de Si, así como la poca adherencia entre el plástico y el dado

Figura 3.3.1	Diagrama de Flujo del Material de Acuerdo al Programa MERIT	40
Figura 3.4.1	Diferencia Al No Usar Un Surfactante vs. El Usar Un Surfactante Durante El Proceso De Corte De Las obleas De Silicio	42
Figura 3.4.2	Diamaflo D688	42
Figura 3.4.3	Envasado De Las Formulaciones	44
Figura 4.1.1	Método del Conteo de la Gota	46
Figura 4.1.2	Ley de Tate	47
Figura 4.2.1	Montado De Oblea De Plástico y Aro Metálico	48
Figura 4.2.2	Disco DFD 640	48
Figura 4.2.3	Sierra En Agua DI	49
Figura 4.2.4	Dispensador de Surfactante	49
Figura 4.2.5	Resultados Sin Surfactante	49
Figura 4.2.6	Pulidora ECOMET 3	50
Figura 4.2.7	Montado De La Muestra	50
Figura 4.2.8	Simulación Del Proceso De Cortado De Obleas De Silicio	51
Figura 4.2.9	Imágenes de microscopio de alta magnificación (150X)	52
Figura 4.3.1	Formulaciones #7 y #2 Preparadas y Estabilizadas	53
Figura 4.3.2	Detalle De La Instalación De La Balanza	53
Figura 4.3.3	Secuencia De La Medición De La Tensión Superficial	54

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1.	Tensión Superficial de Líquidos a 20°C (dinas/cm ó mN/m)	16
Tabla 2.1.	Etapa Básica de la Fabricación de Circuitos Integrados	30
Tabla 2.2.	Etapa de Ensamble de Semiconductores	32
Tabla 3.1.	Cantidad de Fallas por Mes	37
Tabla 3.2.	Condiciones de Temperatura, Humedad, Presión y voltajes	39
Tabla 3.3.	Ingredientes de Diamaflow	43
Tabla 3.4.	Ingredientes Nuevas Formulaciones	43
Tabla 3.5.	% De Concentración Por Peso	44
Tabla 4.1.	Diamaflow vs Formulaciones	47
Tabla 4.2.	Equivalencia De Parámetros	51
Tabla 4.3.	% De Concentración Por Peso	54
Tabla 4.4.	Desplazamiento y Tensión Superficial	54

ANEXOS

ANEXO A.	Análisis de Fallas	69
ANEXO B.	Tablas de Resultados de Formulaciones	75
ANEXO C.	Medición de la Tensión Superficial de las Formulaciones Desarrolladas Mediante el uso de una Balanza de Tensión Superficial	76
ANEXO D.	Observación de la Mejor Formulación a Distinto Tiempo y Magnificación.	79
ANEXO E.	Carta de la Empresa Skyworks a Bioquim	80

PRÓLOGO

La Industria de dispositivos de comunicación inalámbricos dentro de su proceso de fabricación ha estado buscando mejores técnicas que le permitan ofrecer a sus clientes calidad y precios accesibles pues cada vez es mayor la competencia en este sector de la Industria. Uno de los puntos importantes que ha estado buscando eliminar al máximo, es el tema de la corrosión ya que es bien sabido que a menudo genera altos costos por desgaste de material, pérdida de propiedades y funciones mecánicas y eléctricas, además de pérdidas económicas por devoluciones de los clientes. Para prevenir o reducir la corrosión se necesitan sustancias que formen una película sobre la superficie de contacto, y que a su vez protejan a las obleas semiconductoras y mejoren el efecto anti depositante de residuos de corte sobre estas. Un inhibidor de la corrosión es una sustancia química o combinación de sustancias que cuando están presentes en el ambiente, previenen o reducen la corrosión. Un surfactante o tensoactivo son sustancias que influyen por medio de la tensión superficial en la superficie de contacto entre dos fases. En nuestro caso el objetivo fue formular un producto con una baja tensión superficial para que formara una película sobre la superficie de contacto y de esa manera evitar el contacto de la superficie con el aire y fuera susceptible a la corrosión. El producto que utiliza la empresa donde se llevó a cabo el proyecto, es un producto de importación y dentro de los objetivos se buscaba mejorar con nuestro producto la tensión superficial y el costo. Respecto a la tensión superficial se logró el objetivo disminuyendo la tensión superficial versus el agua desionizada en un 67 % (DIAMAFLOW 59%) además de representar un ahorro económico para la empresa de un 35%. En función de lo expresado por la empresa Skyworks en su carta dirigida a la empresa Industrias Bioquim, S.A. de C.V., la cual contribuyó con la fabricación de las formulaciones F2 y

F7 para ser probadas en el proceso de corte de obleas de silicio D688, el producto cumple con las especificaciones técnicas y económicas que su proceso demanda [Anexo E].

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

La industria de dispositivos de comunicación inalámbricos tiene que cubrir las necesidades que le exigen sus clientes: Gran capacidad de memoria, transmisión de datos, sonido y fotografía, y todo esto en aparatos cada vez más pequeños. Las variaciones en los procesos de ensamble, atribuidos a máquinas, materiales, procesos y operadores contribuyen a generar cambios en el desempeño eléctrico y mecánico de los microcircuitos. Cuando los materiales son llevados hasta sus límites, se pueden generar fallas que afectan el desempeño óptimo del circuito del cual son parte.

La corrosión representa uno de los mayores problemas en la fabricación de microcircuitos, ya que a menudo genera altos costos por desgaste del material, pérdida de propiedades y funciones mecánicas y/o eléctricas, además de las devoluciones de los clientes.

Para prevenir o reducir la corrosión son necesarias sustancias que formen una película sobre la superficie de contacto, y que a su vez protejan a las obleas semiconductoras y mejoren el efecto antidepositante de residuos de corte sobre estas durante el proceso de fabricación de los semiconductores que irán en los dispositivos electrónicos.

Las fallas inducidas por corrosión juegan un rol importante en los dispositivos microelectrónicos y en la industria de la electrónica en general. La corrosión es un

fenómeno que ocurre naturalmente y se define como la deterioración de un metal debido a su reacción con el medio ambiente [1].

En estudios realizados por la NACE (National Association of Corrosion Engineers) se estimó que el costo de la corrosión en el sector industrial fue de unos \$137.9 billones de dólares en el año 2002 (Figura 1) [2].

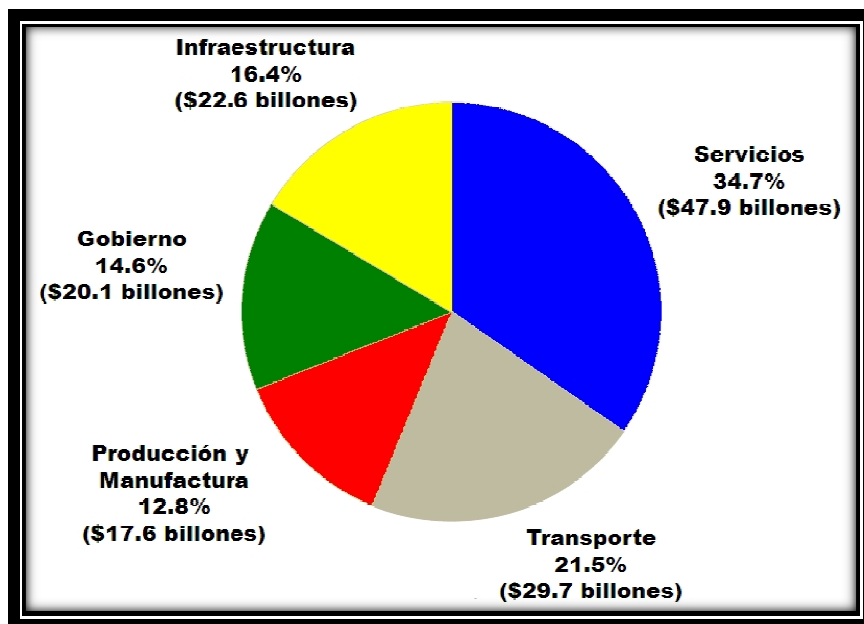


Figura I. Porcentaje y contribución en dólares del costo total de la corrosión en la industria.

Dependen del tipo de paquete, materiales, fabricación y proceso de ensamble, y de condiciones ambientales como la humedad, temperatura, estrés térmico y residual, contaminación iónica y orgánica, y de vías eléctricas. Los metales y aleaciones más comunes en los dispositivos y paquetes de Microelectrónicos son el aluminio, oro, cobre, plata, estaño, plomo y sus aleaciones [3].

El presente trabajo estudia un problema de corrosión que se presentó en la compañía Skyworks Solutions de México, ubicada en la ciudad de Mexicali Baja

California, la cual se encarga del ensamble de microcircuitos utilizados en la fabricación de dispositivos de comunicación inalámbricos.

Simulando el funcionamiento de los equipos de trazado y lavado, que se utilizan en el proceso de fabricación de los circuitos integrados, con equipo del Laboratorio de Confiabilidad y Análisis de Fallas se lograron probar diferentes formulaciones. Las dos mejores formulaciones, F2 y F7 se fabricaron en un laboratorio profesional para ser utilizadas en la línea del proceso bajo condiciones reales, logrando resultados satisfactorios.

1. OBJETIVOS

Objetivo Específico: Desarrollar y evaluar un surfactante que cumpla con las especificaciones técnicas necesarias para ser utilizado en la empresa Skyworks Solutions durante el proceso de corte de obleas de silicio

Objetivo Estratégico: Contribuir con el programa de mejora continua y reducción de costos que se tienen dentro de la empresa, además de ayudar en la prevención de problemas de corrosión.

2. DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO

Las formulaciones experimentales desarrolladas ayudan a contrarrestar un problema específico de corrosión en cierto proceso. No pueden ser utilizadas en otros procesos, pero pueden servir de guía para trabajar con otras necesidades dentro de la empresa.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Principalmente, para prevenir o reducir la corrosión en los circuitos integrados es necesario describir el problema incluyendo los factores que intervienen en el proceso. Los productos fabricados en la industria de los semiconductores son ensamblados utilizando circuitos integrados de materiales como el GaAs o el Silicio los cuales cuentan con pads de aluminio que son utilizados como la base donde se une el alambre de Oro que interconecta las vías del circuito con sus partes funcionales. Al someter los productos a pruebas de simulación en cámaras especiales (las cuales evalúan el producto bajo condiciones ambientales extremas de temperatura, presión y humedad) se propicia la corrosión galvánica.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

Los efectos de la corrosión en la confiabilidad de los dispositivos electrónicos de telecomunicación que se utilizan son de suma importancia, debido a las siguientes tendencias: 1) Miniaturización de componentes con secciones de espacio más delgadas y cercanas, y 2) la exposición a ambientes más corrosivos [4].

En los diseños de alta tecnología, pequeñas cantidades de corrosión producidas por contaminantes corrosivos pueden ocasionar fallas. Los circuitos integrados con líneas conductivas menores de 1µm de grosor y alambres de conexión microscópicos son un buen ejemplo de componentes con una tolerancia muy baja a daños por corrosión [5].

1.1 Corrosión Galvánica

El *par galvánico* es uno de los fenómenos más comunes que generan corrosión, sobre todo en la industria electrónica. La corrosión galvánica se presenta cuando dos metales que tienen potenciales diferentes son eléctricamente conectados y sumergidos en una solución electrolítica conductora, ya que se genera un flujo de electrones del metal más activo o anódico (aluminio) hacia el metal más noble o catódico (oro) [6]. En la figura 1.1 se muestra el par galvánico.

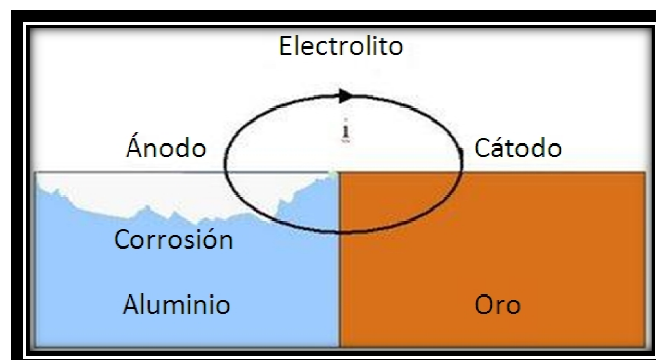


Figura. 1.1.1. Par Galvánico Aluminio-Oro

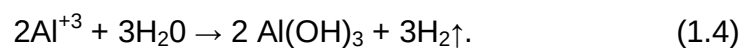
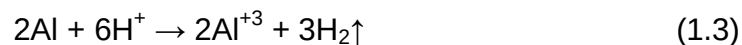
El aluminio es el material más usado en la industria de los semiconductores, y la corrosión es una de las más comunes fallas de mecanismo. La reacción de corrosión del aluminio está escrita en tres partes. La electrólisis del agua que produce iones hidroxilo e hidrógeno está dada por una reacción anódica especificando la oxidación del agua:



Y una reacción catódica especificando la reducción del hidrogeno



La reacción total es típicamente un producto de corrosión catódica



La corrosión del aluminio puede ser tanto del lado anódico como del catódico [7].

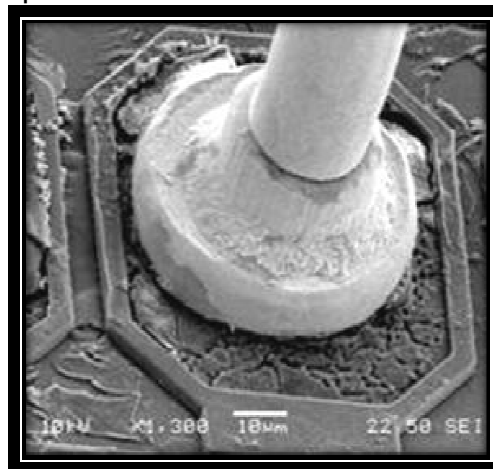


Figura 1.1.2. Imagen SEM de un par galvánico Al-Au

1.1.1 Factores que afectan el mecanismo de la corrosión galvánica.

El mecanismo de la corrosión galvánica, se ve afectado por distintos factores entre los que destacan:

- La diferencia de potencial entre los dos metales (Posición en la serie galvánica).

- La naturaleza del ambiente. (Composición de las soluciones, pH, conductividad eléctrica, temperatura, tiempo de exposición, concentración de cloruros, entre otros)
- El comportamiento de polarización de los metales o aleaciones, en el medio específico.
- La relación geométrica de los componentes metálicos.

Extremo anodico (activo)	Magnesio
	Zinc
	Aluminio, Cadmio
	Acero o Hierro
	Plomo
	Estano
	Niquel (estado activo)
	Latones
	Cobre
	Bronces
	Monel
	Niquel (estado pasivo)
	Titanio
	Acero inoxidable (estado pasivo)
	Plata
	Grafito
	Oro
Extremo catodico (noble)	Platino

Figura. 1.1.3. Serie galvánica para agua de mar.

1.1.2 Naturaleza del Ambiente.

La naturaleza del ambiente es un factor que podría determinar enormemente un cambio apreciable de potencial entre dos metales disimilares, por lo que es muy importante su análisis. Dentro de los factores para describir su naturaleza se encuentran: composición y sus concentraciones, temperatura, pH, velocidad de flujo, conductividad eléctrica, contenido de aniones agresivos, etc.

1.1.3 Efecto de la relación de área.

La relación del área es desfavorable cuando la superficie del metal más noble o de la aleación es más grande con respecto al miembro más activo y el par galvánico está

bajo control catódico. Bajo estas condiciones la densidad de corriente anódica sobre el metal más activo se incrementa favoreciendo la corrosión del metal más activo.

La relación de área opuesta, es decir, mayor superficie del ánodo en relación al cátodo y el par está bajo control catódico, produce solo efectos ligeros de aceleración de la velocidad de corrosión galvánica, porque la polarización predominante es la del material más noble, por lo tanto el proceso de corrosión es demasiado lento.

1.2 Surfactantes

La palabra anfífilo ha sido construida por Paul Winsor a partir de dos raíces griegas. De una parte el prefijo "amphi", que significa de ambos lados y por otra parte la raíz "philos" que significa amigo de o hidrófilo (amigo del agua). Anfífilo se usa tanto como sustantivo que adjetivo. Una sustancia anfífila tiene una doble afinidad, la cual se define desde el punto de vista físico-químico como una doble característica a la vez polar y apolar [8].

Debido a su doble afinidad, una molécula anfífila no se encuentra "cómoda" ni en solvente polar, ni en solvente orgánico. Para satisfacer ambos tipos de afinidades, el grupo polar debe estar solvatado por un solvente polar, mientras que el grupo apolar debe encontrarse en un solvente orgánico, o por lo menos fuera del solvente polar. Tales condiciones ocurren solamente en la frontera de dos fases. Se llamará **superficie** la frontera entre una fase condensada y un gas, e **interfase** la frontera entre dos fases condensadas, es decir dos líquidos, o un líquido y un sólido. Ya que las sustancias anfífilas tienen una fuerte tendencia en migrar hacia una superficie o una interfase (se llama esto adsorción), se han denominado también **Surfactantes**

como contracción de las palabras inglesas "surface-active substances". De esta fuerte afinidad para las superficies o interfases dependen muchas propiedades de los surfactantes.

1.2.1. Agentes De Actividad Superficial

Los agentes activos **superficiales o surfactantes** son moléculas que contienen un segmento liposoluble (soluble en aceite) y otro hidrosoluble (soluble en agua). La solubilidad parcial tanto en agua como en aceite permite al surfactante ocupar la interfase (Figura 1.2.1).

Los agentes de actividad superficial son sustancias químicas que reducen la tensión superficial de los líquidos.

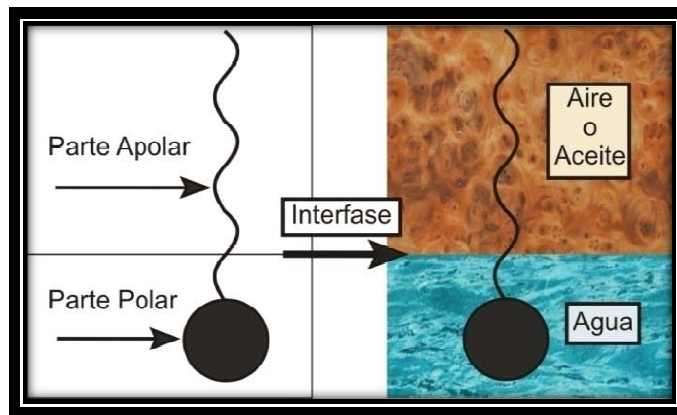


Figura 1.2.1. Los surfactantes: llave de sistemas inmiscibles

Los surfactantes pueden ser clasificados por la carga iónica de la parte superficialmente activa de la molécula. En los surfactantes aniónicos, la carga molecular es negativa; en los catiónicos, positiva; en los no iónicos, no hay carga y en los anfóteros existen cargas tanto positivas como negativas en la molécula.

1.2.2. Clasificación

Agentes Aniónicos: Los surfactantes aniónicos contienen generalmente uno de cuatro grupos polares solubles - carboxilato, sulfonato, sulfato o fosfato - combinado con una cadena hidrocarbonada hidrófoba. Si esa cadena es corta son muy hidrosolubles, y en caso contrario tendrán baja hidrosolubilidad y actuarán en sistemas no acuosos como aceites lubricantes.

Dentro de esta clasificación se encuentran compuestos como el alquil bencen sulfonato lineal (LABS) objeto de este documento, los alquil sulfatos (AS) derivados principalmente del petróleo, y de alta utilización en la industria de jabones y detergentes.

Agentes Catiónicos: Los surfactantes catiónicos comúnmente utilizados en detergentes, agentes limpiadores, líquidos lavaplatos y cosméticos están compuestos por una molécula lipofílica y otra hidrofílica, consistente de uno o varios grupos amonio-terciarios o cuaternarios. Las sales de cadenas larga de amonio-terciarias, obtenidas por neutralización de las aminas con ácidos orgánicos o inorgánicos, son raramente usadas en detergentes y preparaciones para limpieza. Su principal aplicación está en el tratamiento de textiles y ocasionalmente como suavizantes para lavado. En aplicaciones cosméticas, su aplicación está restringida a especialidades.

Las sales de amonio cuaternarias con un solo grupo alquilo (C12-C18), o dos grupos más cortos (C8-C10) son usados como sustancias activas antimicrobianas. Debido a su capacidad para adsorber sobre fibras o cabello, los inicialmente mencionados sirven como acondicionadores para el cabello.

Agentes No Iónicos: En contraste a sus contrapartes iónicas, los surfactantes no iónicos no se disocian en iones hidratados en medios acuosos. Las propiedades hidrofílicas son provistas por hidratación de grupos amido, amino, éter o hidroxilo. Cuando existe un número suficiente de estos grupos la solubilidad acuosa es comparable con la de los surfactantes iónicos. Las aplicaciones son extensas y dependen de la cantidad de grupos polares presentes, que determinaran la solubilidad tanto en agua como en aceite (cuantificada en la práctica mediante el índice HLB, o balance hidrofílico - lipofílico).

Otros Tipos: La combinación en la misma molécula de un grupo con tendencia aniónica y de un grupo con tendencia catiónica produce un surfactante anfotérico, como por ejemplo los aminoácidos, las betainas o los fosfolípidos. Según el pH del medio una de las dos disociaciones prevalece. Este tipo de surfactante se usa sólo en casos particulares debido a su alto costo.

Recientemente se ha producido surfactantes poliméricos al injertar sobre una macromolécula un cierto número de grupos hidrofílicos, o al producir la policondensación de grupos con ciertas características polares y apolares (óxido de etileno, óxido de propileno).

1.2.3. Materia Prima

Hasta principios del siglo los surfactantes se fabricaban a partir de una materia prima natural, de origen vegetal o animal. El desarrollo de nuevos tipos de surfactantes y el aumento de la producción ha obligado a utilizar procesos de síntesis a partir de una materia prima de origen petrolera (olefinas cortas, benceno). Con excepción de la producción de óxido de etileno, la materia prima concierne esencialmente al grupo

lipofílico del surfactante el cual puede ser de origen natural biológico o petrolero, o de origen sintético.

1.3 Tensión Superficial

Las fuerzas de atracción que existen entre las moléculas de un líquido, son de diferente magnitud dependiendo de la zona del líquido considerada. Las moléculas en su seno están lo suficientemente cerca para que el efecto de las fuerzas de atracción sea considerable, pero tienden a equilibrarse.

Por lo contrario, las moléculas de la zona superficial (figura 1.3.1) no están rodeadas completamente por otras moléculas del líquido y por lo tanto estas moléculas están desequilibradas con un efecto neto hacia el seno del líquido.

Esta fuerza neta es normal a la superficie y será más baja mientras más pequeña sea dicha superficie. Es decir, para una superficie mínima se cumple una energía mínima y por lo tanto podemos decir que la superficie de un líquido tiende a contraerse y el efecto resultante de estas fuerzas de atracción es lo que da origen a la **tensión superficial**, permitiendo además que la superficie sea estable.

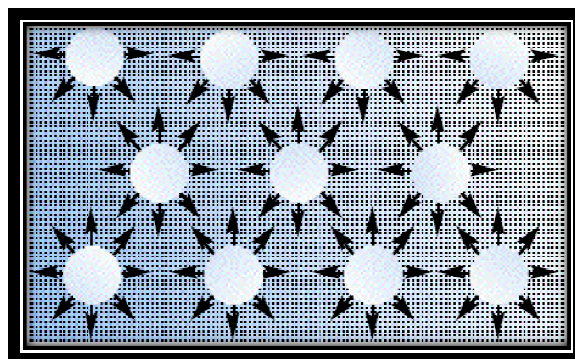


Figura 1.3.1. Fuerzas atractivas que actúan sobre las moléculas en el seno de un líquido y en la superficie libre.

1.3.1. Definición Mecánica de la Tensión Superficial

Ya que la tendencia natural, de un líquido, es reducir su superficie, cualquier intento de aumentar ésta, requiere de la realización de un trabajo.

Supongamos que se extiende la película de líquido contenida en un bastidor de alambre rectangular (véase figura 1.3.2).

Si se aplica una fuerza F (que actuará en sentido contrario y estará balanceada por la fuerza de tensión superficial), al lado móvil del bastidor, para desplazar la película una distancia dx , el trabajo (W) realizado estará dado por:

$$dW = F dx \quad (1)$$

pero $F = 2 \gamma l$; (2)

ya que la película posee dos superficies.

Entonces: $dW = 2 \gamma l dx$ (3)

siendo $2 \gamma l dx$ el incremento de área

generado dA , y $dW = \gamma dA$ (4)



Figura 1.3.2. Definición mecánica de la tensión superficial.

Las ecuaciones (2) y (4) generan dos definiciones equivalentes para γ .

1.- $\gamma = \frac{F}{2l}$ ó la fuerza en dinas que actúa a lo largo de 1 cm de longitud de la película y

2.- $\gamma = \frac{dW}{dA}$, ó el trabajo en ergios necesario para generar un centímetro cuadrado de superficie ó la energía libre superficial por centímetro cuadrado de área.

Esta última es la definición física de **Tensión Superficial**.

1.3.2. Unidades

Las dos definiciones dadas anteriormente para la tensión superficial son equivalentes, por lo tanto las unidades que se empleen sean las dadas por la definición 1, (dinas/cm) ó por la definición 2, (ergios/cm²). No influencia el valor numérico de γ , ya que 1 ergio = 1 dina/cm.

La unidad normalmente empleada es dina/cm que es equivalente al mN/m. En la Tabla 1.3 se dan los valores de la tensión superficial de algunos líquidos.

Tabla 1.1. Tensión Superficial de Líquidos a 20°C (dinas/cm ó mN/m) [10].

LIQUIDO	γ
Acetona	23.70
Benceno	28.85
Mercurio	485.00
Acido Oleico	32.50
Alcohol Etilico	22.75
Metanol	22.61
Isopropanol	21.70
Agua	72.75
Cloroformo	27.13
n-Hexano	18.43
Tolueno	28.50

1.3.3. Métodos Para Medir La Tensión Superficial

Los métodos para medir la tensión superficial son:

Ángulo de Contacto

El ángulo en el interior del fluido más denso (aquí, W) se define como el ángulo de contacto.

Este define la MOJABILIDAD del sólido por el fluido (W) (en inglés Wetting).

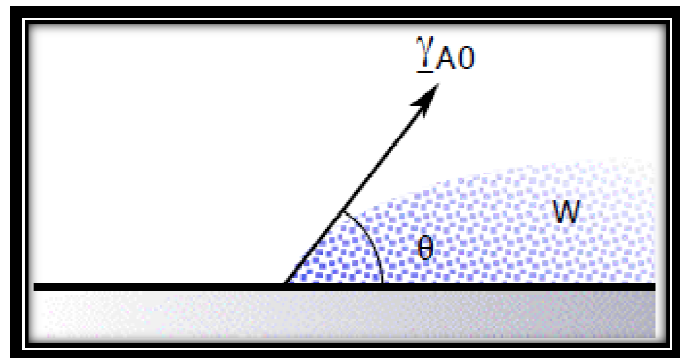


Figura 1.3.3. Ángulo de Contacto

Método de Placa Wilhelmy

En este método se mide la fuerza hacia abajo que sobre una placa lisa ejerce la superficie o interfase a la cual se desea determinar la tensión cuando esta placa toca exactamente esa superficie o interfase.

La fuerza ejercida es:

$$P = m g = 2 (l + d) \gamma$$

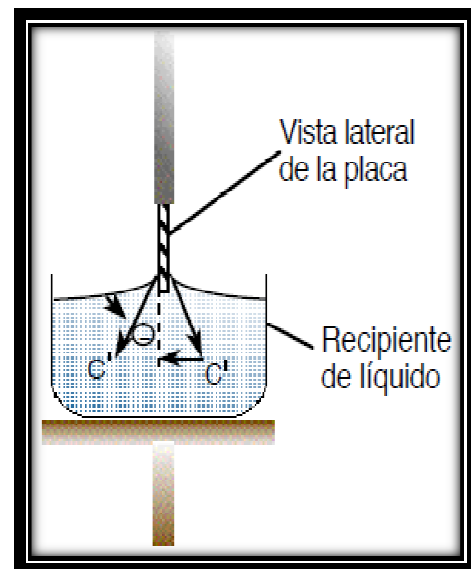


Figura 1.3.4. Placa de Wilhelmy

Donde l es la longitud de la placa y d su espesor.

La placa, en general, muy fina se construye de platino y su geometría se conoce exactamente. La medida de la fuerza se hace uniendo la placa a una balanza sensible de torsión, con alguna clase de dispositivo de elevación bien para bajar la placa hacia la superficie del líquido o elevar la superficie del líquido hacia la placa.

Este método no requiere correcciones por hidrostática como el método del anillo. No se puede emplear para medidas de tensión interfacial para sistemas donde la fase aceite es la más densa y es muy difícil de emplear cuando la fase aceite tiene carácter polar, por ejemplo, con alcoholes grasos. Es un método sencillo y de precisión moderada (0.1 dina/cm).

El Método Del Anillo

Un anillo se coloca sobre la superficie del líquido y se mide la fuerza requerida para separar el anillo de la superficie. En este método debe asegurarse el mojado completo del anillo para obtener resultados reproducibles y de significado. Es un método sencillo, rápido, de alta precisión, no muy dependiente del ángulo de contacto. Es una variante del método de la placa que tiene ciertas ventajas en cuanto a precisión.

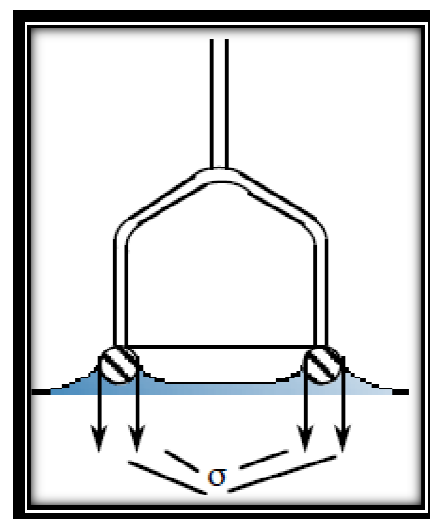


Figura 1.3.5. Método del Anillo

Si se quieren medir tensiones interfaciales debajo de 0,01 dina/cm se deben usar los métodos más precisos: bien sea el de la gota colocada, el de la gota pendiente, y el de la gota giratoria.

Método de la Gota Colocada

Consiste en deducir la tensión de la forma geométrica de una gota de fluido L colocada sobre una superficie plana de un sólido (s), estando todo el sistema sumergido en un fluido de menor densidad F . (Figura 1.3.6.)

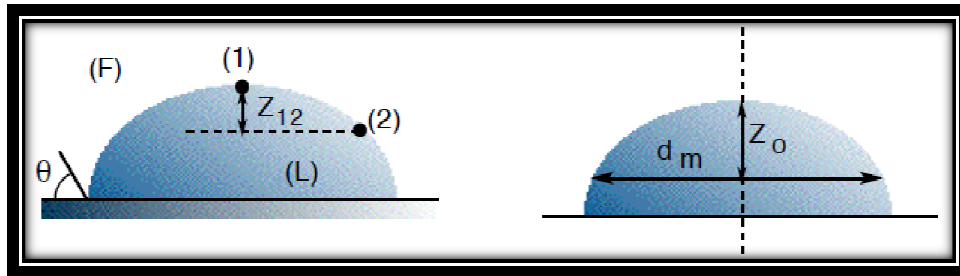


Figura 1.3.6. Método de la Gota Colocada

Método de la Gota Pendiente

Una gota de líquido se deja suspendida en el extremo de un tubo capilar. Se determina la tensión a partir de la elongación vertical (deformación) que provoca la fuerza de gravedad.

En este método se presentan problemas experimentales por la estabilidad de la gota y la mojabilidad del tubo capilar.

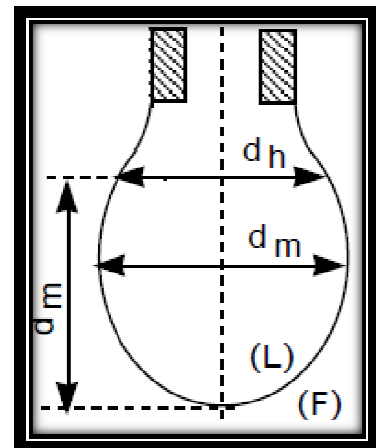


Figura 1.3.7. Gota Pendiente

Método de la Gota Giratoria

Se somete una gota o burbuja de un fluido menos denso (F) colocado en un cilindro de vidrio que tiene el otro fluido (L), a un movimiento de rotación rápido la fuerza centrífuga induce un alargamiento axial de la gota al cual se oponen las fuerzas capilares (Figura 1.3.8).

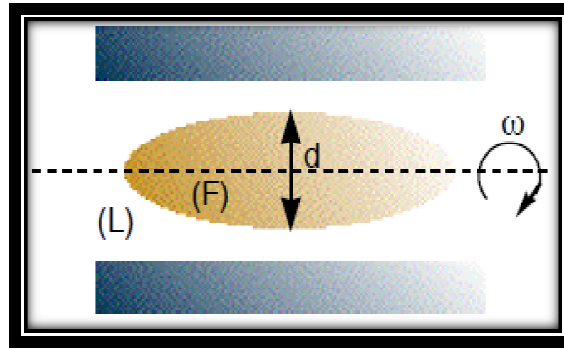


Figura 1.3.8. Gota Giratoria

Este método tiene la ventaja de no presentar un contacto sólido-líquido, lo cual elimina los problemas de ángulo de contacto. Se usa corrientemente para medir tensiones ultrabajas hasta valores del orden de 0,0001 dina/cm.

Con el "Spinning drop Tensiometer" construido por Cayias, la tensión se calcula mediante la relación:

$$\gamma_{\text{(dina/c)}} = 5,22 \times 10^5 \frac{d^3 \Delta \rho}{p^2}$$

donde: d es el diámetro de la gota (en mm), $\Delta \rho$ es la diferencia de la densidad en (g/cm³) de los dos fluidos y p es el período de rotación (en m sec/rev).

Método de la Ruptura del Menisco

Se trata de formar un menisco (Figura 1.3.9.) entre una extremidad de un cilindro y una interfase plana; el cilindro es generalmente hueco y sus bordes redondeados para permitir todo el rango posible de ángulo de contacto.

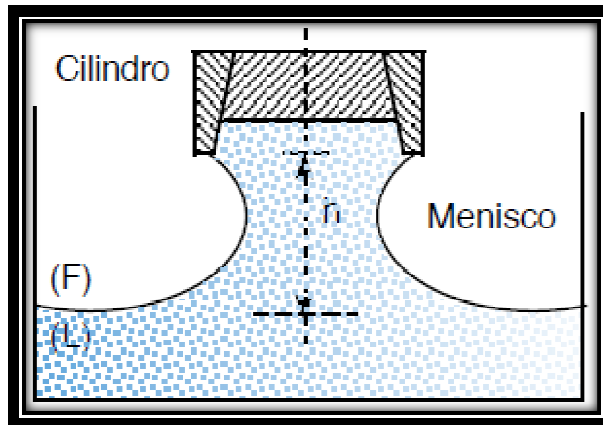


Figura 1.3.9. Menisco entre barra y superficie

El cilindro se pone en contacto con el líquido, luego se eleva poco a poco mediante una cremallera micrométrica, produciéndose un menisco e introduciéndose una competencia entre la fuerza de gravedad y la tensión interfacial.

Existe una altura crítica donde el menisco se vuelve inestable y se rompe. Se puede relacionar la altura a la cual ocurre la ruptura del menisco con la tensión interfacial. Se diferencia del método del anillo, en que lo que relaciona a la tensión es un desplazamiento y no una fuerza.

Método de la Presión Máxima de la Burbuja

Existen otros métodos como el de presión máxima de burbuja: una pequeña burbuja que se forma en la extremidad de un pequeño tubo inmerso en el líquido, al que se le aplica una presión, lo que hace que el radio de la burbuja aumente. Cuando la burbuja llega a ser un hemisferio de radio igual al radio del tubo, todo aumento ulterior de la presión provoca la desaparición de la burbuja ya que se dilata y luego se desprende (Figura 1.3.10).

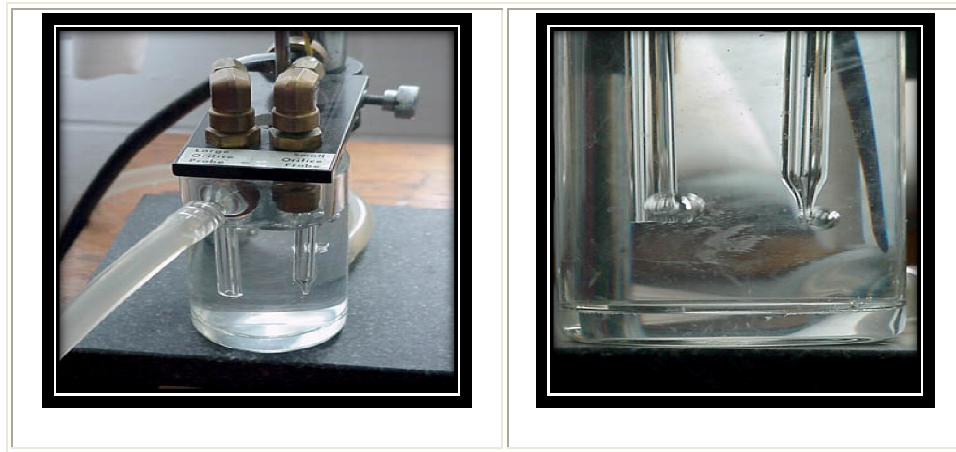


Figura 1.3.10. Presión Máxima de la Burbuja

La presión aplicada, es igual a la diferencia de presión entre los dos lados de la superficie curva, a la cual se agrega la presión hidrostática, función de la profundidad h del orificio del tubo:

$$\text{Presión máxima} = 2 \gamma / r + \rho \cdot g \cdot h$$

Método del Volumen y Peso de la Gota

Es un método muy conveniente para la medición de la tensión superficial en una interfase líquido-aire o la tensión interfacial líquido-líquido.

Consiste en conocer el peso o medir el volumen de las gotas de un líquido que se desprenden lentamente de la punta de un tubo estrecho o capilar montado verticalmente. El peso de la gota (y el volumen) se relaciona con la fuerza debida a la tensión superficial. El momento de desprendimiento de las gotas ocurre cuando su peso ya no está equilibrado por la tensión superficial que se ejerce a lo largo de la periferia exterior del extremo de la pipeta.

$$\gamma = \frac{m \cdot g}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot f} \quad ; \quad f = \frac{r}{v^{\frac{1}{3}}}$$

Donde: m es la masa de la gota; g es la aceleración debida a la gravedad (980cm/seg²); r = es el radio del capilar (cm.); f = es un factor de corrección que introduce Harckin y Coll el cual depende del radio del capilar.

Después de obtener el resultado de f (el cociente de $r/v^{1/3}$) correlacionarlo con los valores en las tablas de corrección para el peso de la gota existente en la literatura adecuada.

Cuando lo que se mide es el VOLUMEN de la gota:

Fórmula:
$$g = v * r * g * f / 2 * p * r$$

Donde v es el volumen; r es la densidad; r es el radio del capilar y f factor de corrección que se requiere ya que: a) la gota formada no se desprende completamente de la punta del tubo, b) las fuerzas de tensión superficial raramente son verticales, por lo que f depende del cociente r/ v.

Método del Ascenso Capilar

Cuando un líquido asciende por un tubo capilar y moja las paredes del tubo, forma un menisco cóncavo en la superficie líquido-aire en virtud de una diferencia de presión entre el líquido contenido en el recipiente y la presión del líquido en el interior del capilar. Esta diferencia de presión provoca un ascenso del líquido en el interior del capilar que se detiene en el momento en que las presiones son iguales, es decir la presión hidrostática de la columna de líquido en el capilar y la presión fuera del mismo (Figura 1.3.11).

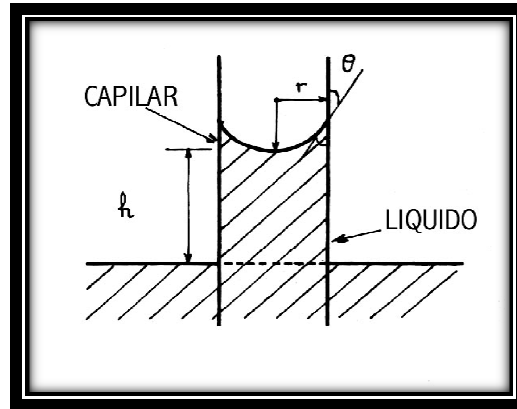


Figura 1.3.11. Gráfico Ascenso Capilar

Por tanto, mientras más suba el líquido por el capilar, la diferencia de presiones es mayor y por lo tanto mayor es el valor de la tensión superficial del líquido. Esto está representado en la ecuación de Young-Laplace

$$\Delta P = \frac{2\gamma}{R}$$

Donde se observa que la tensión superficial depende directamente de la diferencia de presiones mientras que el radio del capilar la afecta inversamente.

Otros fenómenos que influyen en el ascenso o descenso del líquido por un capilar es el valor relativo de las fuerzas de cohesión entre las moléculas de un mismo líquido y las fuerzas de adhesión entre el líquido y las paredes del tubo. Estas fuerzas determinan el ángulo de contacto que forma el líquido con las paredes del tubo. Si este ángulo es pequeño se dice que el líquido moja la superficie y se forma entonces un menisco cóncavo.

El método de un capilar utiliza la siguiente ecuación

$$\gamma = \frac{h^* g^* r^* \rho}{2 \cos \theta}$$

Donde h = altura de la columna líquida dentro del capilar, g = aceleración debida a la gravedad; r es el radio del capilar; ρ densidad del líquido en cuestión.

Para ángulos de contacto que tienden a cero y líquidos que mojan totalmente las paredes de los capilares, el ángulo = 0 entonces la fórmula a seguir es:

$$\gamma = h \cdot g \cdot r \cdot \rho / 2$$



Figura 1.3.12. Equipo para determinar tensión superficial por el método de Ascenso Capilar

Método del Doble Capilar

Con el propósito de tener mejores resultados, una variante del método es introducir un segundo capilar de diferente diámetro que el primero, así las alturas serán diferentes ya que resultan ser inversamente proporcionales a los radios de sus respectivos capilares.

Aquí, lo importante es medir la diferencia de alturas entre el radio 1 (el tubo capilar de menor diámetro) y el radio 2 (tubo capilar de mayor diámetro).

La ecuación para dos capilares deriva de la de un capilar, quedando de la siguiente forma:

$$\gamma = (h_1 - h_2) \rho \left(\frac{g}{2} \left(\frac{r_1 * r_2}{r_2 - r_1} \right) \right)$$

Donde:

h_1 y h_2 son las alturas del líquido en el tubo capilar de radio más pequeño y del menos pequeño respectivamente

ρ es la densidad del líquido problema ; r_1 y r_2 son los radios más pequeño y menos pequeño respectivamente.

Como se aprecia en la formula, es necesario conocer los radios de los capilares, sin embargo esta medición resulta difícil de hacer e inexacta, por lo que recurrimos a un líquido de referencia cuya tensión superficial y densidad sea conocida y despejamos en la ecuación:

$$\frac{\gamma}{(h_1 - h_2) * \rho} = \left(\frac{g}{2} \left(\frac{r_1 * r_2}{r_2 - r_1} \right) \right)$$

CAPÍTULO 2

INTRODUCCIÓN A **LA FABRICACIÓN DE** **SEMICONDUCTORES**

CAPÍTULO 2. INTRODUCCIÓN A LA FABRICACIÓN DE SEMICONDUCTORES

2.1 Proceso de Fabricación

La fabricación de circuitos integrados a grande escala se explica a través de un procedimiento VLSI (por sus siglas en inglés) con silicio estándar. Se presentan las características de los dispositivos disponibles en tecnologías de la fabricación CMOS y BiCMOS, donde se analizarán los aspectos de diseño de los circuitos integrados que son distintos a los del diseño de circuitos discretos. Por consiguiente, entender las características del dispositivo es esencial al diseñar buenos VLSI a la medida o circuitos integrados para aplicaciones específicas. Este método considera solo tecnologías que se basan en el silicio; ya que es el material más popular, gracias a que posee una amplia variedad de compromisos costo desempeño. Desarrollos recientes en tecnologías de SiGe y silicio, sometido a esfuerzo, reforzarán aún más la posición de los procesos de fabricación que se basan en este elemento en la industria microelectrónica en los años venideros.

El silicio es un elemento abundante que existe naturalmente en forma de arena. Puede ser refinado por medio de técnicas bien establecidas de purificación y crecimiento de cristales. El silicio también exhibe propiedades físicas apropiadas para la fabricación de dispositivos activos con buenas características eléctricas, además es fácil de oxidar para formar un excelente aislante SiO_2 (vidrio). Este óxido nativo es útil para construir condensadores y MOSFET. También sirve como barrera de protección contra la difusión de impurezas indeseables hacia el mineral adyacente de silicio de alta pureza. Esta propiedad de protección del óxido de silicio permite que sus propiedades eléctricas sean fáciles de modificar en áreas predefinidas. Por consiguiente, se pueden construir elementos activos y pasivos en la misma pieza material (o sustrato). Entonces los

componentes pueden interconectarse con capas de metal (similares a las que se utilizan en las tarjetas de circuito impreso) para formar el llamado circuito integrado monolítico, que es en esencia una pieza única de metal.

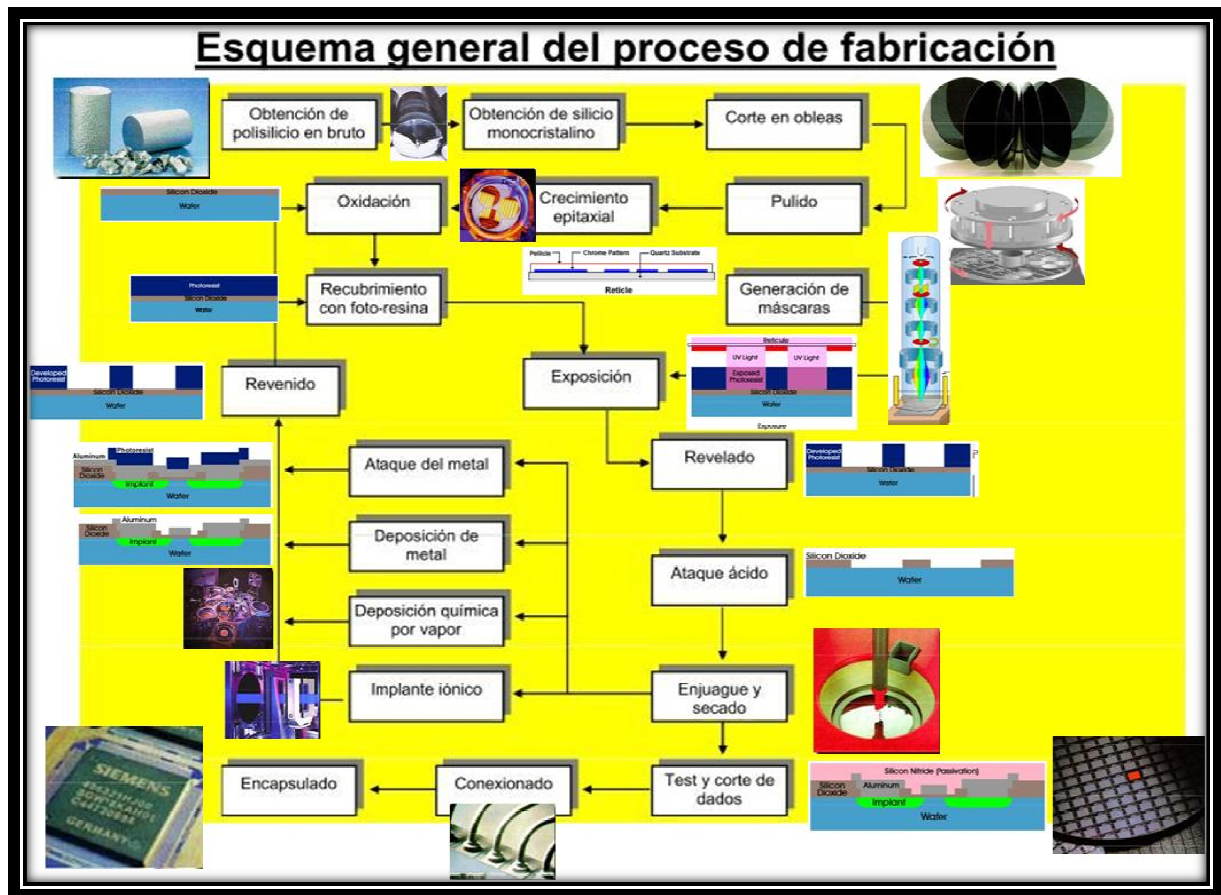


Figura 2.1.1. Esquema general del proceso de fabricación; desde el Si puro hasta ser un CI.

2.1.1. Pasos Generales de Fabricación y Ensamble de un CI.

Los pasos de fabricación básica se pueden realizar muchas veces, en diferentes combinaciones y en diferentes condiciones de procedimiento durante un turno de fabricación completo.

Esta etapa básica comprende desde que se tiene un polisilicio en bruto, se cortan las obleas, se ataca químicamente hasta que esté lista para su singulación [11] (Tabla 2.1).

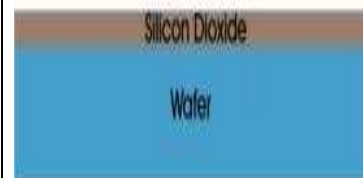
La segunda etapa consiste en el proceso de ensamble del semiconductor de Silicio desde que va montado en los tableros de circuito impreso, su paso por moldeo, Singulado, prueba eléctrica y empaquetado para entrega al cliente [12] (Tabla 2.2).

Etapa Básica

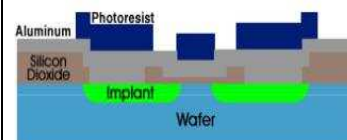
Preparación de la oblea: El material inicial para los circuitos integrados modernos es el Silicio de muy alta pureza, donde adquiere la forma de un cilindro sólido de color gris acero de 10 a 30 cm de diámetro y puede ser de 1m a 2m de longitud. Este cristal se rebana para producir obleas circulares de 400um a 600um de espesor, (1um es igual a 1×10^{-6} metros). Después, se alisa la pieza hasta obtener un acabado de espejo, a partir de técnicas de pulimento químicas y mecánicas. Las propiedades eléctricas y mecánicas de la oblea dependen de la orientación de los planos cristalinos, concentración e impurezas existentes. Para aumentar la resistividad eléctrica del semiconductor, se necesita alterar las propiedades eléctricas del Silicio a partir de un proceso conocido como dopaje. Una oblea de silicio tipo n excesivamente impurificado (baja resistividad) sería designada como material n+, mientras que una región levemente impurificada se designaría n-.



Oxidación: Se refiere al proceso químico de reacción del Silicio con el Oxígeno para formar Dióxido de Silicio (SiO_2). Para acelerar dicha reacción se necesitan de hornos ultra limpios especiales de alta temperatura. El Oxígeno que se utiliza en la reacción se introduce como un gas de alta pureza (proceso de "oxidación seca") o como vapor ("oxidación húmeda"). La Oxidación húmeda tiene una mayor tasa de crecimiento, aunque la oxidación seca produce mejores características eléctricas. Su constante dieléctrica es 3.9 y se le puede utilizar para fabricar excelentes condensadores. El Dióxido de Silicio es una película delgada, transparente y su superficie es altamente reflejante. Si se ilumina con luz blanca una oblea oxidada la interferencia constructiva y destructiva hará que ciertos colores se reflejen y con base en el color de la superficie de la oblea se puede deducir el espesor de la capa de Óxido.



Difusión: Es el proceso mediante el cual los átomos se mueven de una región de alta concentración a una de baja a través del cristal semiconductor. En el proceso de manufactura la difusión es un método mediante el cual se introducen átomos de impurezas en el Silicio para cambiar su resistividad; por lo tanto, para acelerar el proceso de difusión de impurezas se realiza a altas temperaturas (1000 a 1200 °C), esto para obtener el perfil de dopaje deseado. Las impurezas más comunes utilizadas como contaminantes son el Boro (tipo p), el Fósforo (tipo n) y el Arsénico (tipo n). Si la concentración de la impureza es excesivamente fuerte, la capa difundida también puede utilizarse como conductor.



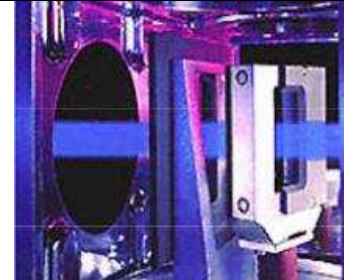
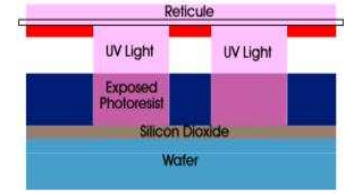
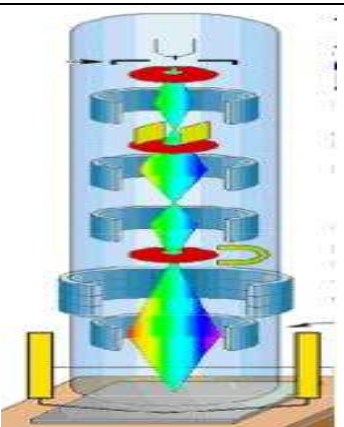
Implantación de iones: Es otro método que se utiliza para introducir átomos de impurezas en el cristal semiconductor. Un implantador de iones produce iones del contaminante deseado, los acelera mediante un campo eléctrico y les permite chocar contra la superficie del semiconductor. La cantidad de iones que se implantan puede controlarse al variar la corriente del haz (flujo de iones). Este proceso se utiliza normalmente cuando el control preciso del perfil del dopaje es esencial para la operación del dispositivo.	
Deposición por medio de vapor químico: Es un proceso mediante el cual gases o vapores se hacen reaccionar químicamente, lo cual conduce a la formación de sólidos en un sustrato. Las propiedades de la capa de óxido que se deposita por medio de vapor químico no son tan buenas como las de un óxido térmicamente formado, pero es suficiente para que actúe como aislante térmico. La ventaja de una capa depositada por vapor químico es que el óxido se deposita con rapidez y a una baja temperatura (menos de 500°C).	
Metalización: Su propósito es interconectar los diversos componentes (transistores, condensadores, etc.) para formar el circuito integrado que se desea, implica la deposición inicial de un metal sobre la superficie del Silicio. El espesor de la película del metal puede ser controlado por la duración de la deposición electrónica, que normalmente es de 1 a 2 minutos.	
Fotolitografía: Esta técnica es utilizada para definir la geometría de la superficie de los diversos componentes de un circuito integrado. Para lograr la fotolitografía, primeramente se debe recubrir la oblea con una capa fotosensible llamada sustancia fotoendurecible que utiliza una técnica llamada “de giro”; después de esto se utilizará una placa fotográfica con patrones dibujados para exponer de forma selectiva la capa fotosensible a la iluminación ultravioleta. Las áreas opuestas se ablandarán y podrán ser removidas con un químico, y de esta manera, producir con precisión geometrías de superficies muy finas. La capa fotosensible puede utilizarse para proteger por debajo los materiales contra el ataque químico en húmedo o contra el ataque químico de iones reactivos.	
Empacado: Una oblea de Silicio puede contener varios cientos de circuitos o chips terminados, cada chip puede contener de 10 a 108 o más transistores en un área rectangular, típicamente entre 1 mm y 10 mm por lado. Después de haber probado los circuitos eléctricamente se separan unos de otros (rebanándolos) y los buenos (“pastillas”) se montan en cápsulas (“soportes”). Normalmente se utilizan alambres de oro para conectar las terminales del paquete al patrón de metalización en la pastilla; por último, se sella el paquete con plástico o resina epóxica al vacío o en una atmósfera inerte.	

Tabla 2.1. Etapa Básica de la Fabricación de Circuitos Integrados

Etapa de Ensamble de Semiconductor

Las obleas de silicio se prueban eléctricamente antes de su Singulado. En esta etapa, aquellos circuitos integrados que no cumplan con los estándares necesarios son marcados y descontados.	
El proceso de ensamble comienza con el Singulado de las obleas de silicio para individualizar los dados que las componen.	
En este proceso se montan en los tableros de circuito impreso los capacitores, filtros y bobinas.	
Los dados son montados en los tableros de circuito impreso utilizando un pegamento epóxico no conductor el cual es curado en un horno de convección a 175°C durante 90 minutos. Después son sometidos a plasma para remover contaminantes.	
Los dados son conectados a sus terminales con alambre delgado de oro de 99.99% de pureza y se somete el material una vez más al proceso de plasma.	
Una vez alambrado se moldea por inyección de plástico encapsulante en una prensa a alta presión y a temperatura de 180°C.	
Se hornea durante 6 horas a 165±3°C para que el plástico sea curado y quitar la humedad remanente. Después son marcados con información comercial con un equipo láser	

El tablero es Singulado para darle al material la forma final.	
Después son probados eléctricamente en equipos automatizados.	
Finalmente es empaquetado para ser enviado con el cliente.	

Tabla 2.2. Etapa de Ensamble de Semiconductores

2.2 Mecanismos de Falla

Entre los principales procesos en el ensamble de CI son el trazado y cortado de las obleas de silicio, montado de componentes, alambreado, moldeado y singulado. Típicamente el yield de ensamble es de un 98-99%. A pesar de este yield, el proceso de ensamble puede tener muchos mecanismos de falla bajo pruebas de confiabilidad en condiciones aceleradas. Las condiciones aceleradas son propiciadas por la aplicación de alta temperatura, alta humedad, alto voltaje o la combinación de todas estas. En algunos casos es aplicado un estrés mecánico o termomecánico en busca de fallas estructurales o debilidades del diseño.

Las fallas típicas son continuidad en los alambres, empaques quebrados, dados quebrados, corrosión, interfases, delaminación, pérdida de corriente y fallas paramétricas [13].

CAPÍTULO 3

EXPERIMENTACIÓN

CAPÍTULO 3. EXPERIMENTACIÓN

3.1 Metodología de evaluación

La metodología que se decidió utilizar esta basada en las herramientas y técnicas que se utilizan dentro de la industria para la resolución de problemas. Esta herramienta de la metodología Seis Sigma es conocida como DMAIC. Por lo que este trabajo de investigación estará desarrollado bajo las primeras 4 partes de esta herramienta.

3.2 Definición del Problema

Debido a los altos requerimientos de calidad de los clientes fabricantes de dispositivos inalámbricos, es necesario realizar pruebas de confiabilidad a los modelos que se les venden. El presente trabajo estudia un problema de corrosión que se presentó en la compañía Skyworks (la cual se encarga del ensamble de microcircuitos utilizados en la fabricación de dispositivos de comunicación inalámbricos), el cual ocurre después de someter el material a una prueba de confiabilidad específica.

Tras un análisis de fallas se encontró que el problema consistía, principalmente, en que los pads de aluminio del semiconductor de silicio presentaban corrosión por exceso de humedad, además de poca adhesión entre el plástico y el dado, lo que provoca fallas eléctricas relacionadas con la pérdida de la corriente (Figura 3.2.1) [ANEXO A].

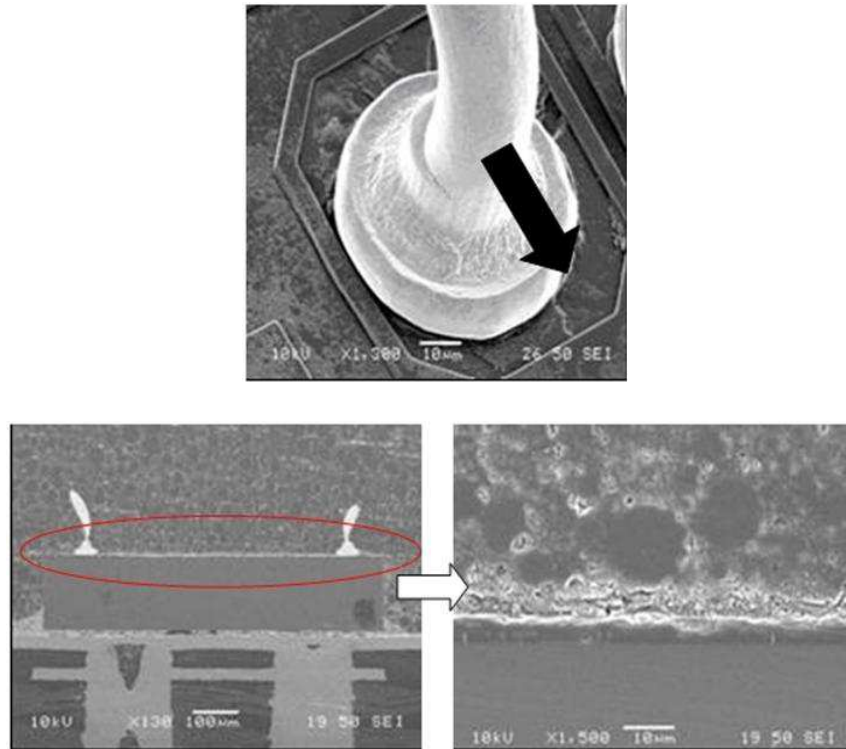


Figura 3.2.1. Imagen de SEM que muestra corrosión en el pad de aluminio del dado de Si, así como la poca adherencia entre el plástico y el dado.

Este producto se monitoreo durante el periodo de un año (de Octubre del 2007 a Octubre del 2008) y durante este tiempo se utilizaron dos plásticos para encapsular el microcircuito. Los resultados de este monitoreo se muestran en la Tabla 3.1:

<i>Modelo</i>	<i>Mes</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Fallas</i>
A	Oct.	20	20
A	Nov.	20	3
A	Dic.	20	2
A	Ene.	20	9
A	Feb.	20	1
A	Mar.	20	1
A	Abr.	20	2
B	Mayo	20	0
B	Jun.	20	2
B	Jul.	20	4
B	Ago.	20	0
B	Sep.	20	0
B	Oct.	20	4

Tabla 3.1. Cantidad de Fallas por Mes

La poca adherencia entre el plástico y el dado, y la corrosión de los pads se atribuyó al plástico de moldeo. La solución al problema del plástico fue cambiarlo por otro (B) que no absorbiera tanto humedad como el anterior (A); Sin embargo, el plástico B siguió presentando problemas de corrosión, aunque en menor cantidad.

Es necesario investigar cuales condiciones son las que propician el par galvánico y saber si es sólo una prueba o varias las que propician la corrosión.

Primero se trabajará con la simulación en las cámaras climáticas que hay en el Laboratorio de Confiabilidad y Análisis de Fallas de Skyworks, tomando como referencia trabajos realizados anteriormente [14-44].

El segundo paso se enfocará en el desarrollo de una solución de surfactantes coadyuvantes en la operación de corte de las obleas de silicio, además de que inhiba la corrosión en los semiconductores, utilizando materiales y equipo del Laboratorio de Corrosión del Instituto de Ingeniería de la UABC.

3.3. Simulación en Cámaras Climáticas.

La experimentación se llevó a cabo sobre muestras del Material X, las cuales son del tipo de plástico Modelo B, y cuyas dimensiones son 8 x 8 x 1.5 mm. Las cámaras de simulación sólo utilizan agua destilada (DI) y la temperatura y humedad son alcanzadas por medio de resistencias. HAST utiliza tablero en los cuales los CI van montados y a los cuales se les aplican voltajes para simular el funcionamiento del CI.

Las pruebas para evaluar la confiabilidad de un microcircuito son muchas, y las más agresivas son aquellas que involucran temperatura, humedad y presión (Tabla 3.2).

Tabla 3.2. Condiciones de Temperatura, Humedad, Presión y voltajes.

Prueba	Condiciones				
	Temperatura	Humedad	Presión	Voltaje	Duración
Precondicionamiento:					
Bake	125°C	-	-	-	24 Hrs
Cámara de Humedad	30°C	60%	-	-	192 Hrs
Reflujo	260°C	-	-	-	3 Ciclos
HAST	130°C	85%	18 psi	3.4 V 1.85 V	96 Hrs
Autoclave	121°C	100%	15 psi	-	96 Hrs

3.3.1. Proceso de Evaluación MERIT

El método de experimentación es parte de un sistema de análisis de pruebas de confiabilidad conocido como MERIT (Microelectronic Reliability Improvement Test, por sus siglas en inglés) que significa Pruebas de Mejora de Confiabilidad en Microelectrónicos, siguiendo varias etapas (Figura 3.3.1).

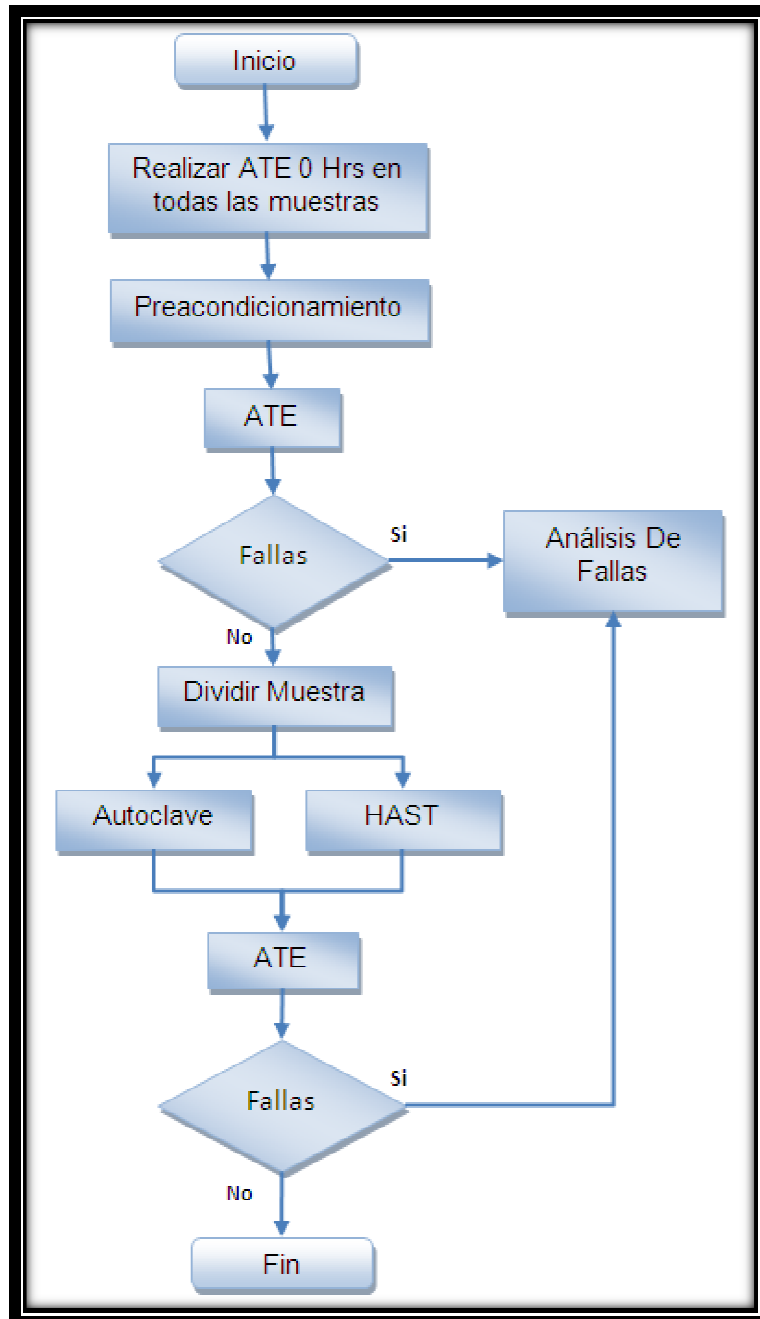


Figura 3.3.1. Diagrama de Flujo del material de acuerdo al programa MERIT.

Estas condiciones están basadas en los estándares IPC/JEDEC J-STD-020 (Precondicionamiento de Paquetes Montados en Superficies No Herméticas Antes de las Pruebas de Confiabilidad), JESD22-A110 (Prueba de Temperatura Altamente Acelerada

“HAST”) y JESD22-A102 (Prueba de Resistencia a la Humectación Acelerada “Autoclave”). Así como en JESD22-A113F (Clasificación de la Sensibilidad de Humectación/Reflujo de Muestras Montadas No Herméticas) [45-48].

El resultado fue que la prueba de Autoclave reúne las condiciones extremas necesarias para provocar que el Aluminio y el Oro formen un par galvánico y se propicie la corrosión del pad en el dado de silicio.

3.4 Desarrollo de una Solución Surfactante

En la industria de los semiconductores, la necesidad de lograr óptimos resultados desde cualquier aspecto de manufactura es crítica. Es por eso que el proceso de trazado y cortado de las obleas es uno de los más importantes [49].

El proceso de trazado y cortado se realiza dentro del cuarto limpio de Skyworks. Pero es en la etapa de trazado donde la solución surfactante entra en acción. La tarea de esta solución es evitar la re-deposición de los residuos sobre la oblea de silicio, ya que la acumulación de estos residuos en los pads puede ocasionar problemas en el proceso de alambrado sin dejar de lado los problemas de corrosión.

Un inhibidor de corrosión es una sustancia química o combinación de sustancias que cuando están presentes en el ambiente, previenen o reducen la corrosión. Un surfactante o tensoactivo son sustancias que influyen por medio de la tensión superficial en la superficie de contacto entre dos fases (Figura 3.4.1) [50].

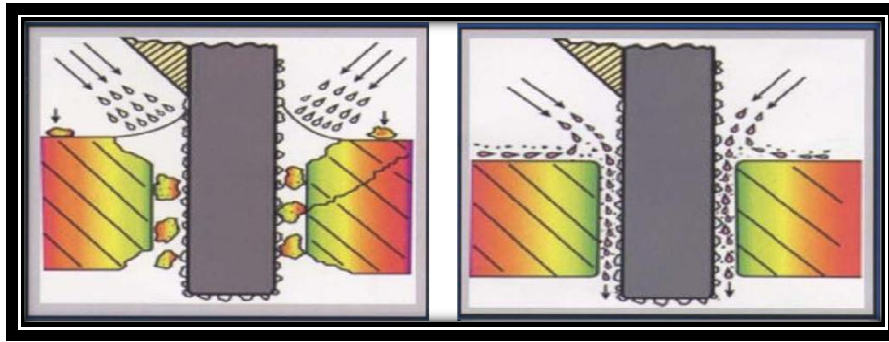


Figura 3.4.1. Diferencia al no usar un surfactante vs el usar un surfactante durante el proceso de corte de las obleas de silicio.

La experimentación se llevó a cabo comparando el surfactante utilizado en el proceso de corte de las obleas de silicio (el cual ha sido usado por mucho tiempo en la compañía) con una nueva formulación creada en el Laboratorio de Corrosión del Instituto de Ingeniería y que fuera igual o más efectiva, además de más barata, y que permita la mojabilidad y lubricación del agua DI durante el proceso de trazado y cortado, permitiendo entrar en el área de corte ayudando a reducir el calor y la fricción que se crea durante el cortado.

El nombre comercial del surfactante utilizado por la compañía es Diamaflow D688 el cual esta formulado para remover los residuos de silicio y prevenir la corrosión durante el proceso de trazado (Figura 3.4.2).

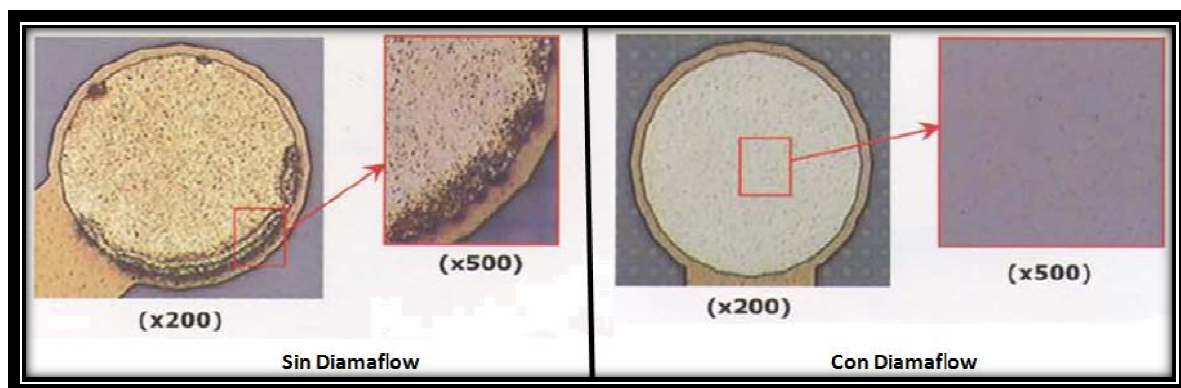


Figura 3.4.2. Diamaflow D688

De la hoja de seguridad del producto Diamaflow D688 se obtuvo la siguiente información (Tabla 3.3):

Nombre	%/wt
<i>Alkylaryl Alkoxyate,</i>	1.0%/wt
<i>Poly (Ethylene Oxide)</i>	0.6%/wt
<i>Preservative</i>	<0.1%
<i>DI Water</i>	Balance

Tabla 3.3. Ingredientes de Diamaflow

Para la realización de nuevas formulaciones, se utilizaron sustancias que se encontraban en el Laboratorio de Corrosión o que son fáciles de conseguir en otros laboratorios, y que tuvieran las mismas características de los materiales utilizado en la formula D688 (Tabla 3.4).

Nombre
PEG 400: <i>Polyethylene</i>
<i>Glicol</i>
Makon 10: <i>N-Phenyl</i>
<i>Ethoxylate</i>
<i>Isopropanol</i>
<i>DI Water</i>

Tabla 3.4. Ingredientes Nuevas Formulaciones

Las formulaciones hechas en el laboratorio se nombraron con una F, seguidas del símbolo de # y con números arábigos ascendentes (Tabla 3.5) [ANEXO B].

Nombre	%wt							
	Diamaflo	F #1	F #2	F #3	F #4	F #5	F #6	F #7
PEG 400	1.0	30.0	20.0	10.0	5.0	3.0	2.0	1.0
Makon 10	0.6	7.5	5.0	2.5	1.25	0.75	0.50	0.25
Isopropanol	0.1	4.5	3.0	1.5	0.75	0.45	0.30	0.15
Agua DI	Balance	Balance	Balance	Balance	Balance	Balance	Balance	Balance

Tabla 3.5. % de concentración por peso.

Basados en la tabla anterior, se realizaron las formulaciones y se guardaron en envases de plástico, identificando cada uno con el número correspondiente (Figura 3.4.3).



Figura 3.4.3. Envasado de las formulaciones

CAPÍTULO 4

ÁNÁLISIS DE RESULTADOS

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Medición de la Tensión Superficial

Fue necesario conocer la tensión superficial de cada solución para así poder realizar las comparaciones necesarias y con las mejores formulaciones, continuar con pruebas en muestras de obleas de silicio.

Hay varios métodos para conocer la tensión superficial. Ya que no se contaba con un equipo especializado para realizar la medición de la tensión superficial, se decidió utilizar el Método de Conteo de la Gota el cual puede montarse con equipo sencillo y que consiste en montar una bureta en un soporte y dejar que caiga en un vaso 1 ml de solución (Figura 4.1.1).

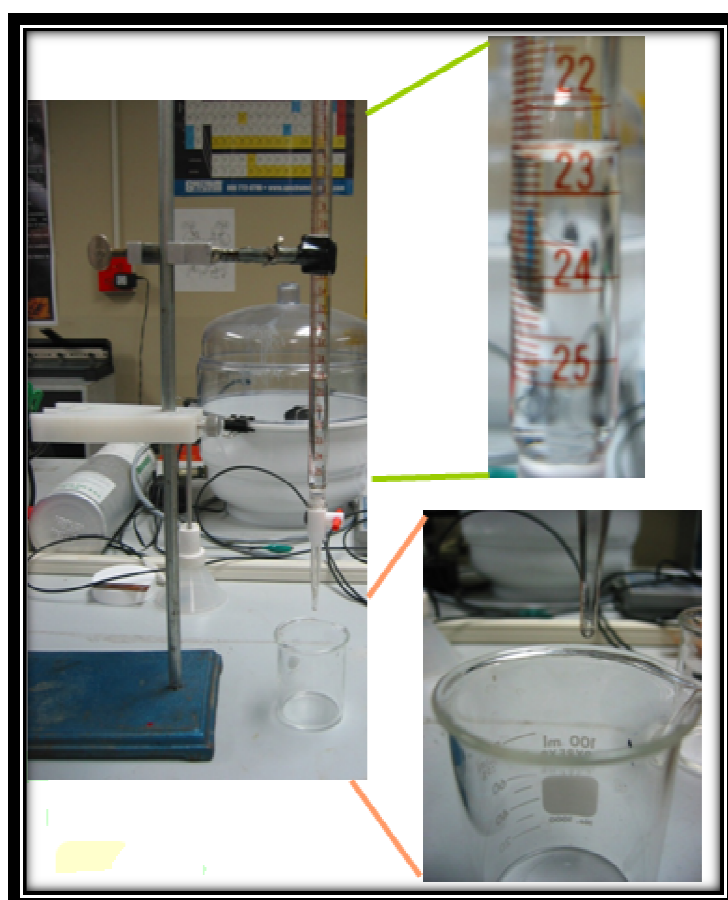


Figura 4.1.1. Método del Conteo de la Gota

Consiste en conocer el peso o medir el volumen de las gotas de un líquido que se desprenden lentamente de la punta de un tubo estrecho o capilar montado verticalmente. El peso de la gota (y el volumen) se relaciona con la fuerza debida a la tensión superficial. El momento de desprendimiento de las gotas ocurre cuando su peso ya no está equilibrado por la tensión superficial que se ejerce a lo largo de la periferia exterior del extremo de la pipeta.

Se tiene que realizar el conteo gota por gota para al final obtener el peso de dicha cantidad de gotas y poder aplicar la Ley de Tate (Figura 4.1.2), sustituyendo los valores en la fórmula.

$$\gamma = \frac{m * g}{2 * \pi * r * f} \quad ; \quad f = \frac{r}{v^{\frac{1}{3}}}$$

Figura 4.1.2. Ley de Tate

Los resultados de las mediciones de la tensión superficial se muestran en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Diamaflo vs Formulaciones.

Muestra	γ (dina/cm)
<i>DI</i>	54.49
<i>1</i>	32.59
<i>2</i>	30.59
<i>3</i>	34.38
<i>4</i>	33.49
<i>5</i>	32.52
<i>6</i>	31.62
<i>7</i>	30.93
<i>D</i>	35.25
<i>Isopropanol</i>	21.88

Basado en lo anterior, las mejores formulaciones fueron la **F#2** y la **F#7**.

4.2. Simulación del Proceso de Cortado de Obleas de Silicio

4.2.1 Funcionamiento Equipo Real.

Durante el proceso de rayado y trazado se utiliza equipo automatizado para realizar este trabajo. Para realizar cualquiera de estos procesos, la oblea de silicio debe ser montada en plástico montado en aros metálicos y que es sometido a rayos UV para que se pueda desprender posteriormente [Figura 4.2.1].

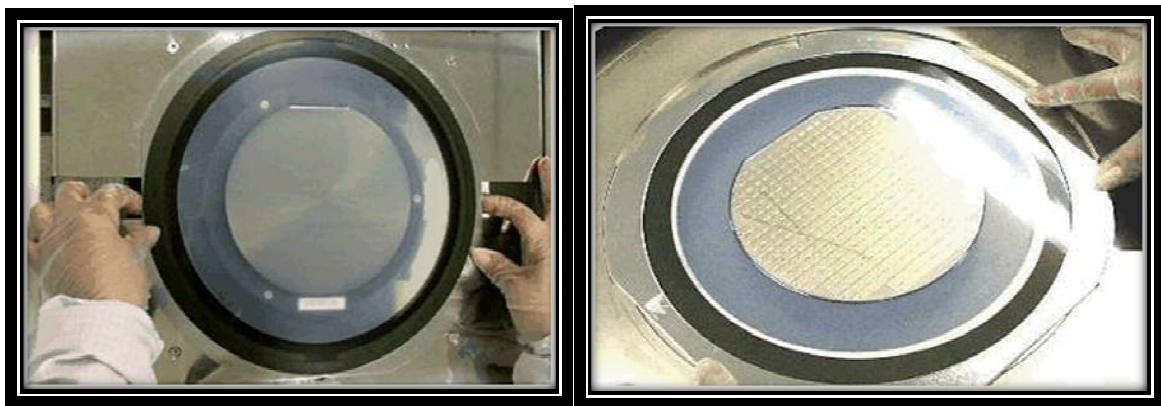


Figura 4.2.1. Montado de oblea en plástico y aro metálico

Para el proceso de rayado y trazado, se utiliza el equipo Disco DFD 640 (Figura 4.2.2).

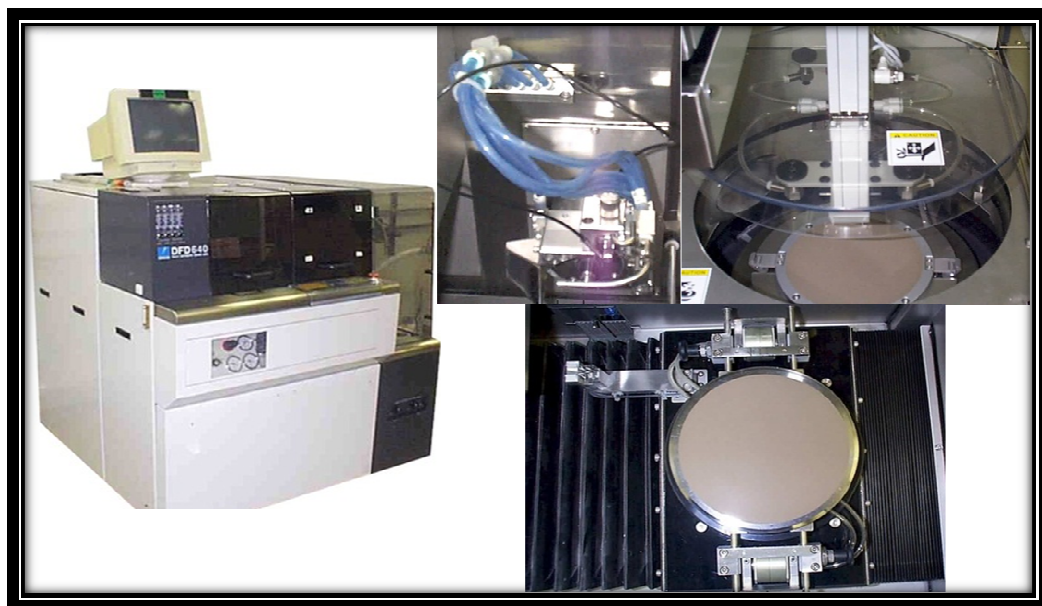
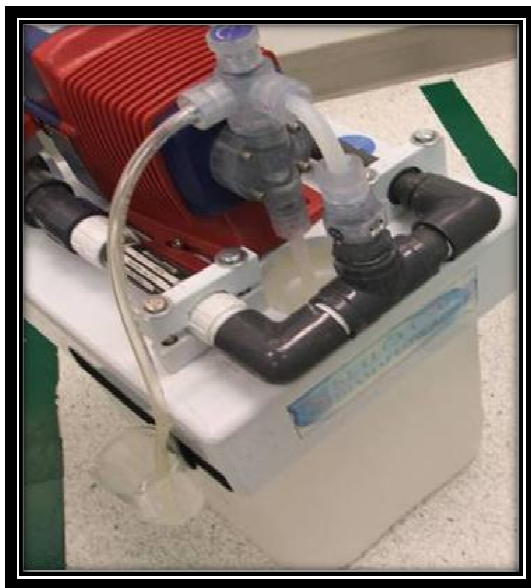


Figura 4.2.2. Disco DFD 640

Este equipo funciona colocando el aro metálico en la base giratoria y una sierra hace el trabajo. El equipo utiliza agua DI con surfactante para reducir el calor y la fricción durante el rayado y trazado, para reducir el despostillamiento de las lados de la oblea, remover los residuos de silicio y evitar su acumulación en los pads de aluminio, así como mantener limpia la sierra (Figura 4.2.3).



Figura 4.2.3. Sierra en agua DI



El surfactante se encuentra en una bomba externa (Figura 4.2.4) y es inyectado en el equipo DFD 640 de manera automática cada cierto tiempo.

Figura 4.2.4. Dispensador de Surfactante

El resultado de usar o no usar un surfactante en el agua se ve a continuación (Figura 4.2.5):



Figura 4.2.5. Resultados Sin Surfactante vs Con Surfactante

4.2.2 Simulación con Equipo de Experimentación

Para simular el proceso de cortado de obleas de silicio, se utilizó la pulidora ECOMET 3, que se encuentra en el Laboratorio de Confiabilidad de Skyworks, la cual permite un flujo de agua continuo y tiene una base giratoria (Figura 4.2.6).



Figura 4.2.6. Pulidora ECOMET 3

Se montaron muestras de obleas de silicio en plástico, y se fijaron a la base giratoria de la máquina con ayuda del aro metálico que esta tiene (Figura 4.2.7).



Figura 4.2.7. Montado de la Muestra

Se hizo una equivalencia del parámetro de inyección del surfactante con el que trabaja el equipo DFD 640 para poder ser usado en la pulidora ECOMET 3. Los parámetros se resumen en la siguiente Tabla 4.2.

Material:	DFD 640	ECOMET 3
<i>Inyección de Surfactante</i>	10ml/10min	1.25ml/1min
<i>Vel. de Rotación base giratoria</i>	30,000	300
<i>Flujo de Agua de Trazado</i>	1.0 lt/min	0.25 lt/min

Tabla 4.2. Equivalencia de Parámetros

La inyección del surfactante se hizo a razón de 1.25 ml por minuto (midiendo el tiempo con un cronómetro) y rociando sobre la muestra montada polvo de oblea de silicio para simular el desprendimiento que sucede al realizar el trazado y demostrar la efectividad del surfactante para evitar la re-deposición de los residuos sobre la oblea (Figura 4.2.8).

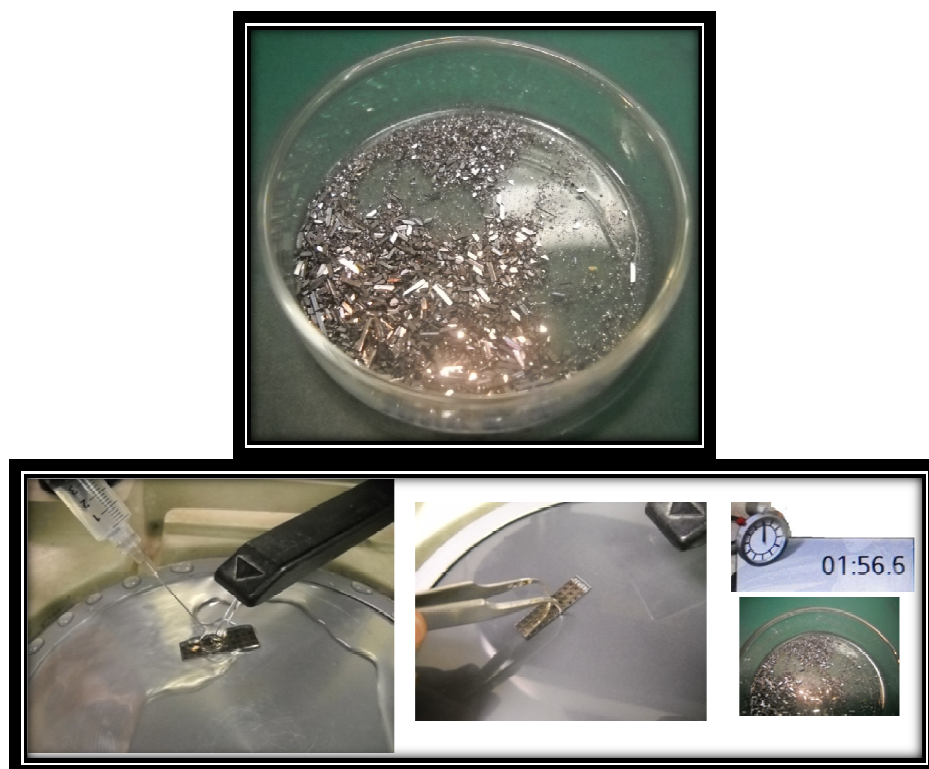
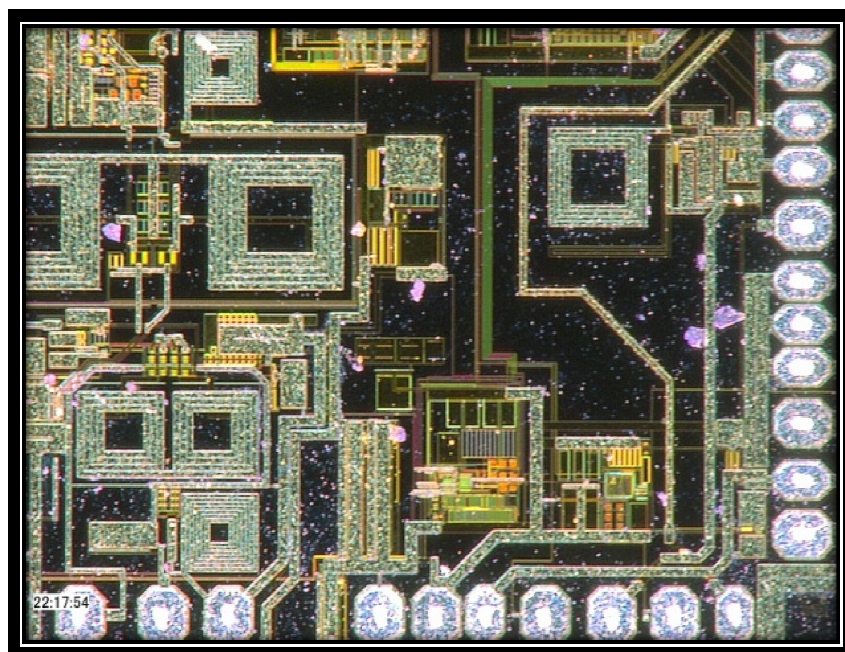
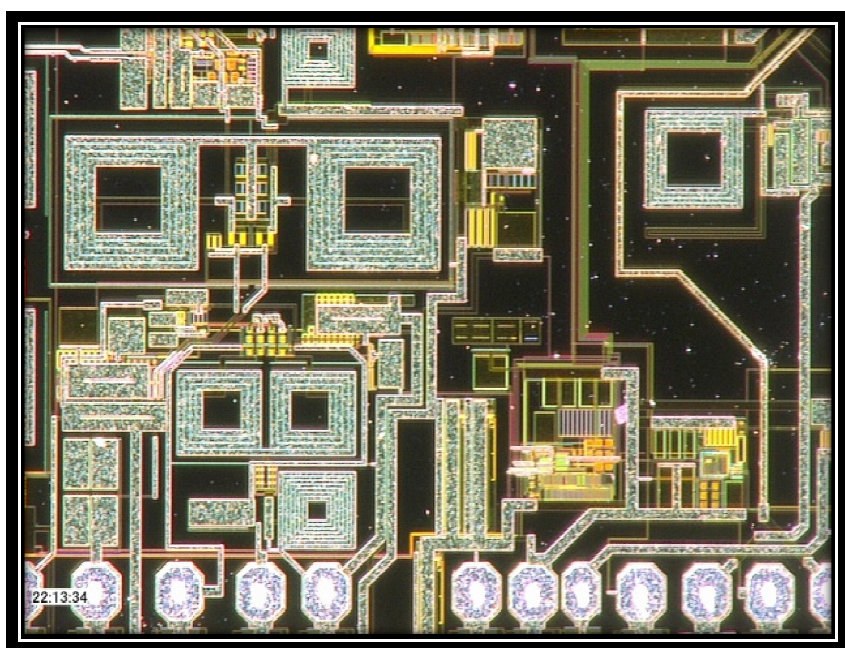


Figura 4.2.8. Simulación del proceso de cortado de obleas de silicio.

Observando las muestras en un microscopio de alta magnificación (150X) [ANEXO D].



Solo con agua DI



Con Surfactante

Figura 4.2.9. Imágenes de microscopio de alta magnificación (150X).

4.3 Método de la Balanza

En función de los resultados obtenidos y atendiendo una sugerencia de parte de CONACYT se optó por realizar la medición de la tensión superficial por el método de la balanza ya que en sus observaciones manifestaron su inconformidad con el método utilizado (Método de la gota) [ANEXO C].

El método se describe a continuación:

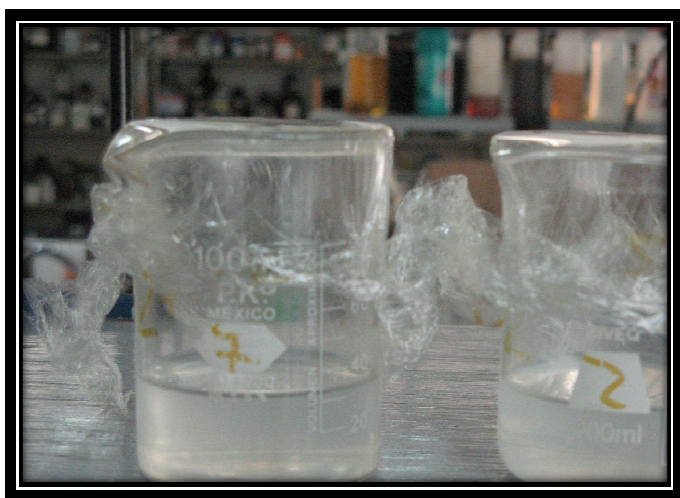


Figura 4.3.1. Formulaciones #7 y #2 preparadas y estabilizadas para ser sometidas a la medición de tensión superficial.



Figura 4.3.2. Detalle de la instalación de balanza para medición de tensión superficial

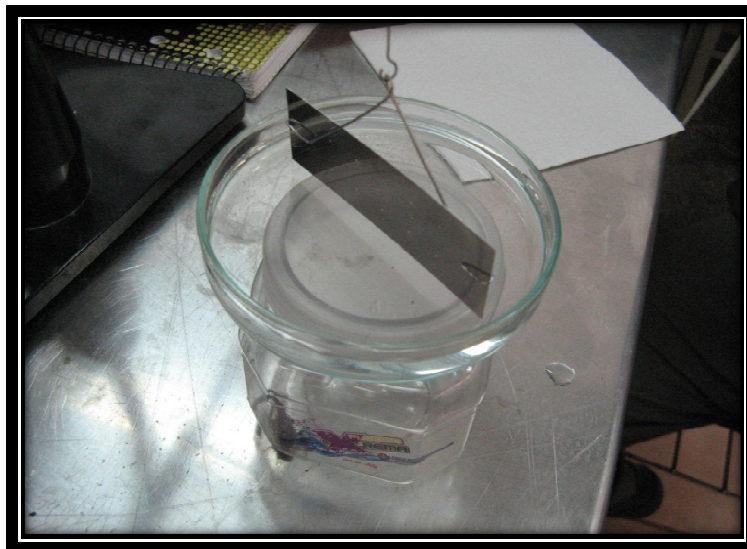


Figura 4.3.3. Secuencia de medición de la tensión superficial con la balanza.

Las mediciones rindieron los siguientes valores de desplazamiento para las formulaciones #2 y #7, utilizando como referencia un blanco de agua desionizada, ya que este tipo de agua es que se usa en el proceso industrial para el que ha sido desarrollado el producto. Así como también, las concentraciones adicionadas al agua

fueron aquellas en las que se utiliza el producto que actualmente se usa y que tiene el nombre comercial Diamaflow.

<i>Soluciones/Producto</i>	<i>Diamaflow</i>	<i>F #2</i>	<i>F #7</i>
<i>Solución A</i>	1.0	20.0	1.0
<i>Solución B</i>	0.6	5.0	0.25
<i>Solución C</i>	0.1	3.0	0.15

Tabla 4.3. % de concentración por peso.

<i>Muestra</i>	<i>Desplazamiento</i>	<i>Tensión superficial en dinas/cm²</i>
<i>Agua Desionizada</i>	0.6	72.75
<i>Formula #2</i>	0.2	24.25
<i>Formula #7</i>	0.2	24.25
<i>Diamaflow</i>	0.25	30.31

Tabla 4.4. Desplazamiento y Tensión Superficial.

La tensión superficial del agua es de 72.75 dinas/cm², por lo que los resultados indican que la formulación Diamaflow disminuye en cerca del 50%, mientras que ambas formulaciones desarrolladas permiten disminuirla a un 33%. Esta característica es muy importante para lograr un mejor efecto en el proceso de corte en cuanto a la remoción del polvo producto del corte de las obleas de silicio.

Una ligera variación en el tensoactivo emulsificante es lo que permite manejar esta mayor disminución de la tensión superficial e igualar o mejorar la eficiencia con respecto al producto comercial.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES, COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES, COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La simulación en las cámaras climáticas comprobó el hecho de que al someter un circuito integrado a condiciones extremas de temperatura, humedad y presión, este se estresa de tal manera que se promueve la formación de un par galvánico entre los pads de aluminio de las obleas de silicio y el oro utilizado para realizar el alambrado y uniones del circuito.

Las fórmulas con menor tensión superficial han demostrado remover exitosamente los residuos de silicio sobre las muestras. La fórmula #7 es la que presenta menor tensión superficial y valores de porcentaje en peso muy parecidos a Diamaflow.

Durante la experimentación, la fórmula #7 demostró ser igual de buena al evitar que los residuos de corte se redepositen en la superficie de la muestra de oblea de silicio.

5.2 Comentarios

Los productos F2 y F7 formulados y fabricados por la empresa BIOQUIM como sustituto al producto coadyuvante del proceso de corte de obleas de silicio, D688 en sus versiones D y CL se evaluaron en condiciones de laboratorio y en la línea de proceso de la empresa Skyworks bajo condiciones reales con éxito.

El producto Diamaflow se consume en un volumen anual de aproximadamente 5,500 galones con un costo superior a los 70,000 USD. De acuerdo a la cotización y los

resultados obtenidos con la formulación F7, se encontró que se puede tener un ahorro del 35%.

5.3 Recomendaciones

Como parte del programa de reducción de costos y reducción en el consumo de químicos que se debe implementar en las empresas usuarias del producto, se analizaron y compararon los surfactantes 688D (usado hasta el momento) vs. 688CL (formulación más concentrada). En la línea de proceso de una de las empresas del ramo de semiconductores, se probó el 688CL con un rango de inyección de 10ml/10min logrando con éxito que el criterio de corrosión en los pads de aluminio se cumpliera.

Hechos: el 688D tiene una relación de 1:100 combinado con DI vs. 688CL que tiene una relación de 1:500 combinado con DI, lo cual va a reducir su el consumo de surfactante y también el costo. El porcentaje de uso de surfactante es reducido de 50ml/10min con el 688D a 10ml/10min con el 688CL, y ambos cumplen con el criterio permitido.

La concentración del nuevo Diamaflow es parecida a la F#7 que se evaluó en un principio, pero a una razón de inyección de 50ml/10min y la cual tiene una tensión superficial menor al Diamaflow 688D.

La industria cambia día a día. La necesidad de bajar costos se traduce en tener que cambiar el diseño de los circuitos integrados y migrar a otros metales, como el Cobre.

La recomendación es que se Skyworks siga trabajando, en conjunto con el Instituto de Ingeniería y el Laboratorio de Confiabilidad y Análisis de Fallas, para desarrollar nuevos

surfactantes que ayuden a minimizar el impacto que produce la corrosión del cobre en la industria electrónica y que sean propiedad de la empresa.

GLOSARIO

A

Análisis de falla Se define como el análisis de un circuito con el fin de encontrar el origen de la falla o mecanismo de falla que impide su correcto funcionamiento.

Ánodo Describe la superficie del metal desde la cual la corriente deja el metal para entrar a la solución y ésta es el área donde la corrosión ó disolución del metal se lleva a cabo.

Autoclave La prueba de autoclave permite evaluar la resistencia a la humectación de los SMDs y es realizada para evaluar su integridad usando un ambiente saturado de humedad. Es una prueba altamente acelerada que emplea condiciones de presión, humedad y temperatura bajo condiciones condensadas para acelerar la penetración de la humedad a través del plástico. Es usada para identificar fallas en el mecanismo interno del paquete y es destructiva.

B

BiCMOS Acrónimo en inglés para *Bipolar-CMOS*. El cual combina las ventajas de la tecnologías bipolar y CMOS integrándolas juntas en una misma oblea.

C

Cátodo El cátodo es la superficie del metal donde la corriente deja la solución y regresa al metal, no hay disolución del metal en el cátodo, en él se llevan a cabo las reacciones de ganancias de electrones o reducción.

CI Acrónimo para Circuito Integrado.

Circuito integrado Circuito electrónico miniaturizado, capaz de realizar todas las funciones de uno convencional. Puede contener numerosos transistores, diodos, condensadores y resistencias que se fabrican y colocan en un simple sustrato.

CMOS Acrónimo en inglés para *Complementary Metal Oxide Semiconductor*, Es una tecnología de fabricación de procesadores que requiere un mínimo consumo eléctrico.

Corrosión Deterioro de un material (generalmente un metal) por contacto con el medio ambiente.

Corrosión Galvánica Tipo de corrosión que resulta de un fenómeno de electrólisis entre dos metales de potencial eléctrico diferente que se hallan en contacto y en presencia de humedad.

D

DMAIC Acrónimo en inglés para *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) que significan Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. Es una herramienta de la metodología Seis Sigma y estos son los pasos de esta metodología.

E

Electrólisis Método de separación de los elementos que forman un compuesto aplicando electricidad.

H

HAST Acrónimo en inglés para *Highly Accelerated Stress Test*, que significa Prueba de Temperatura Altamente Acelerada.

J

JEDEC Acrónimo en inglés que significa *Joint Electron Device Engineering Council*. Es un organismo, fundado en 1960, que se encarga de estandarizar las prácticas y procedimientos de ingeniería utilizados en la industria de electrónica y semiconductores.

M

Mecanismo de falla Es aquel fenómeno físico causante de la falla de un microcircuito.

MERIT Acrónimo en inglés que significa *Microelectronic Reliability Improvement Test* (Pruebas de Mejora de Confiabilidad en Microelectrónicos).

Microcircuito Es un circuito de dimensiones extremadamente reducidas compuesto por un gran número de transistores, diodos y elementos pasivos. El microcircuito es fabricado en su totalidad a partir de materiales semiconductores.

Modo de falla Es una descripción de la forma en la que falla un circuito integrado. Usualmente se mide la desviación de cada uno de los parámetros especificados en la hoja de datos del producto. Un modo de falla sería, por ejemplo, corriente de operación muy alto o voltaje de amplificación bajo.

Mojabilidad Es la capacidad que tiene un líquido de extenderse y dejar una traza sobre un sólido. Depende de las interacciones intermoleculares entre las moléculas superficiales de ambas sustancias. Se puede determinar a partir del ángulo que el líquido forma en la superficie de contacto con el sólido, denominado ángulo de contacto; a menor ángulo de contacto, mayor mojabilidad.

O

Oblea Traducción del inglés de la palabra *Wafer*. Proviene de un lingote de silicio cristalino de un 99.9999% de pureza y que es pulido para eliminar impurezas o ralladuras superficiales, logrando una base para la fabricación de los circuitos integrados.

P

Par Galvánico Se llama par galvánico al formado por dos partes distintas de una superficie metálica o de dos metales distintos, que en contacto con un electrólito, tienen una diferencia de potencial, por lo que se forma una pila galvánica en la que el ánodo (potencial más negativo) se corroe mientras que el cátodo (potencial menos negativo) no sufre corrosión. El flujo de corriente es del ánodo al cátodo (en el electrólito por medio de iones y en el metal por medio de electrones). Al formarse el par galvánico el ánodo se polariza positivamente (a potencial menos negativo) y el cátodo se polariza negativamente (a potencial más negativo).

Precondicionamiento Método estándar en la industria para paquetes no herméticos, y sugiere el elevar las temperaturas durante el ensamble de los tableros, el cual combinada con humectación en los paquetes pueden inducir daños internos que pueden preocupar en las pruebas de confiabilidad.

S

Seis Sigma Es una metodología de mejora de procesos, centrada en la reducción de la variabilidad de los mismos, consiguiendo reducir o eliminar los defectos o fallas en la entrega de un

producto o servicio al cliente.

Semiconductor Material que no es buen conductor eléctrico como el cobre, hierro y oro, pero tampoco es un buen aislante como el vidrio, la porcelana y el aire, manteniéndose en un término medio. Bajo ciertas condiciones, los semiconductores conducen muy bien, existiendo semiconductor tipo N y tipo P según tenga excedentes de electrones o falta de ellos. Habitualmente se utiliza el silicio, por su abundancia en la naturaleza, aunque inicialmente se utilizó el germanio.

SMD Acrónimo en inglés que significa *Surface Mount Devices*, o dispositivos de montaje superficial.

Solución Electrolítica Es una solución que, al someterse a electrólisis, sus componentes se pueden separar en cargas eléctricas opuestas. Se llaman soluciones electrolíticas a todas aquellas en las que el soluto se encuentra disuelto en el solvente formando iones.

V

VLSI Acrónimo en inglés que significa *Very Large Scale Integration*, que trata de crear circuitos integrados por la combinación de miles de transistores.

Y

Yield Término en inglés que usa en la industria y que puede traducirse como rendimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J.C. Scully, ***"The Fundamentals of Corrosion"***, Pergamon Press (3rd ed) 1990.
- [2] NACE International, ***"Corrosion Cost and Preventive Strategies in the United States"***, <http://www.nace.org>, 2002.
- [3] Dou Xu Chongchen, ***"Corrosion in Microelectronics"***. Partial Fulfilment of MatE 234, <http://www.sjsu.edu/faculty/selvaduray/page/papers/mate234/chongchenxu.pdf>, San José, CA, E.U.A, 2003.
- [4] J.D. Guttemplan, ***"Corrosion in the electronic industry"***, ASM Metals Handbook (9th ed), vol 13, 1987.
- [5] W.C. Till, J.T. Luxon, ***"Integrated Circuits: Materials, Devices and Fabrication"***, 1982; Prentice Hall.
- [6] M.G. Fontana, N.D. Greene, ***"Corrosion Engineering"***, Mc. Graw Hill, (2nd ed), 1978.
- [7] M. Pecht; ***"A Model for Moisture Induced Corrosion Failures in Microelectronic Packages"***, IEEE Trans. Comp., Hybrids, Manuf. Technol., vol. 13, no. 2, pp. 383-389, June 1990.
- [8] J.L. Salanger, A. Fernandez, ***"Cuaderno FIRP S301-PP: Surfactantes"***, FRIP, 2004.
- [9] R.E. Anton, ***"Cuaderno FIRP S203-A: Tensión Superficial"***, FRIP, 2005.
- [10] Lange, ***"Handbook of Chemistry"***, 10th ed. pp 1661–1665, 1967.
- [11] S. y. Smith, ***"Circuitos Microelectrónicos"***, 5^oed., pp. 1050-1086, McGrawHill.
- [12] L.E. Vargas, ***"Delaminación de Materiales en Interface de Microcircuitos"***, pp. 9, 2006, Tesis.
- [13] T.W. Lee, S.v. Pabbisetty, ***"Microelectronic Failure Analysis"***, ASM International, 3rd ed, pp.285, 1993.
- [14] T. Yoshida, T. Takahashi and S. Koyama; ***"A New Accelerated Test Method for Moisture Resistance of Plastic Encapsulated LSIS"***, 20th Annual Reliability Physics Symposium, pp 268-271, March 1982.
- [15] W. W. Weick; ***"Acceleration Factor for IC Leakage Current in a Steam Environment"***, IEEE Trans. of Reliability., pp. 109-115, vol. R-29, no. 2, June 1980.

- [16] H. Younan; ***“A Study on Al Bondpad Grain Boundaries and Galvanic Corrosion in Wafer Fabrication”***, IEEE International Conference on Semiconductor Electronics, pp 83-85, ICSE 2004.
- [17] M. Iannuzzi; ***“Bias Humidity Performance and Failure Mechanisms of Nonhermetic Aluminum SiC's in an Environment Contaminated with Cl₂”***, IEEE Trans. Comp., Hybrids, Manuf. Technol., vol. 6, no. 2, pp. 191-201, Junio. 1983.
- [18] M. Li, J. Zhou, Q. Chen, ***“Characterization on Pad Surface Defect by TEM, SEM and EDX”***, IEEE Proceedings of 16th IPFA- 2009, China
- [19] R.V. Gestel, K. Zeeuw, ***“Comparison of Delamination Effects between Temperature Cycling Test and Highly Accelerated Stress Test in Plastic Packaged Devices”***, Reliability Physics Symposium, pp. 177-181, Marzo. 1992.
- [20] O. Selig, P. Alpern, R. Tilgner, ***“Corrosion in Plastic Packages-Sensitive Initial Delamination Recognition”***, IEEE Trans. Comp. Packag. Manuf. Technol. Part B, Vol. 18, No. 2, Mayo 1995.
- [21] M. Tullmin, P.R. Roberge, ***“Corrosion of Metallic Materials”***, IEEE Trans. on Reliability. Vol. 44, No. 2, Junio 1995.
- [22] D.D. Peck, ***“The Design and Evaluation of Reliable Plastic-Encapsulated Semiconductor Devices”***, Reliability Physics Symposium, pp. 81-93, Abril 1970.
- [23] J. Fauty, ***“Effect of 260°C Reflow on the Ability of Mold Compounds to Meet Moisture Sensitivity Level One (MSL1)”***, IEEE Trans. on Comp. and Packag. Tech., Vol.28, No. 4, Diciembre 2005.
- [24] L. Klyatis, ***“Establishment of Accelerated Corrosion Testing Conditions”***, Reliability and Maintainability Symposium, pp. 636-641, Enero, 2002.
- [25] H. Younan, ***“Studies on Elimination Solutions of Galvanic Corrosion on Microchip Al Bondpads in Wafer Fabrication and Assembly Processes”***, ICSE, pp.4, Diciembre. 2004.
- [26] D. Stroehle, ***“Influence of the Chip Temperature on the Moisture Induced Failure Rate of Plastic Encapsulated Devices”***, IEEE Trans. Comp., Hybrids, Manuf. Technol., Vol. 6, No. 4, pp. 537-543, Diciembre 1983.
- [27] W.J. Roesch, ***“Measuring and Comparing Humidity Acceleration Factors of Compound Semiconductors”***, Reliability of Compound Semiconductors Digest

- (ROCS), pp. 125-136, Noviembre 2009.
- [28] E.D. Metz, ***“Metal Problems In Plastic Encapsulated Integrated Circuits”***, IEEE Proceedings, pp. 1606-1609, Junio 2005.
 - [29] H. Inayoshi, K. Nishi, S. Okikawa, ***“Moisture-Induced Aluminum Corrosion and Stress on the Chip in Plastic-Encapsulated LSIs”***, Reliability Physics Symposium, pp. 113-117, Mayo 1979.
 - [30] S. Ahn, T.J. Cho, ***“Prevention of Aluminum Pad Corrosion by UV/Ozone Cleaning”***, Electronic Components and Technology Conference, pp. 107-112, Mayo 1996.
 - [31] P. Yu, J. Su, G. Qiang, ***“Study of Aluminum Pad Contamination Sources during Wafer Fabrication, Shipping, Storage and Assembly”***, HDP International Symposium, pp. 1-3, Junio. 2007.
 - [32] H.K. Charles, B.M. Romenesko, G.D. Wagner, ***“The Influence of Contamination on Aluminum-Gold Intermetallics”***, Reliability Physics Symposium, pp. 128-139, Mayo 1982.
 - [33] H.S. Chang, K.C. Hsieh, T. Martens, ***“Wire-Bond Void Formation During High temperature Aging”***, IEEE Component and Packaging Technologies, pp. 155-160, Marzo 2004.
 - [34] M.A. Schuster, W.J. Lytle, ***“A Plague-Free Aluminum-Gold System on Silicon Integrated Circuits”***, Symposium on the Physics of Failure in Electronics, pp. 506-518, Mayo 2007.
 - [35] E. Philofsky, ***“Design Limits When Using Gold-Aluminum Bonds”***, Reliability Physics Symposium, pp. 114-119. Marzo 1971.
 - [36] A.A. Gallo, ***“Effect of Mold Compound Components on Moisture-Induced Degradation of Gold-Aluminum Bonds in Epoxy Encapsulated Devices”***, Reliability Physics Symposium, pp. 244-251, Marzo 1990.
 - [37] E. Imasato, M. Araki, I. Shimizu, ***“Effect Of Mold Resin On Reliability In Gold-Aluminum Bonding”***, *Proceedings of 2nd Electronics Packaging Technology Conference*, pp. 338-344, Diciembre 1998.
 - [38] R.C. Blish, S. Li, H. Kinoshita, ***“Gold-Aluminum Intermetallic Formation Kinetics”***, Reliability Physics Symposium Proceedings, pp. 233-242, Marzo 2006.
 - [39] G. Clatterbaugh, J. Weiner, H.Jr. Charles, ***“Gold-Aluminum Intermetallics: Ball***

- Bond Shear Testing and Thin Film Reaction Couples***", IEEE Trans. Comp., Hybrids, Manuf. Technol., Vol. 7, No. 4, pp. 349-356, Diciembre 1984.
- [40] T. Muller, L. Schrapler, F. Altmann, ***"Influence of Intermetallic Phases on Reliability in Thermosonic Au-Al Wire Bonding"***, Electronics System Integration Technology Conference, Vol. 2, pp. 1266-1273, Septiembre 2006.
- [41] J. Park, H.J. Cha, B.S. Kim, ***"Interfacial Degradation Mechanism of Au-Al and Alloy-al Bonds Under High Temperature Storage Test: Contamination, Epoxy Molding Compound, Wire and Bonding Strength"***, IEEE Trans. Comp. Packag. Tech., Vol. 30, No. 4, pp. 731-744, Diciembre 2007.
- [42] E. Zin, N. Michael, S.H.Kang, ***"Mechanism of Electromigration in Au-Al Wirebond and its Effects"***, Electronic Components and Technology Conference, pp. 943-947, Mayo 2009.
- [43] Y. Cheng, S. Chin, L. Teck-Poh, ***"Toward Higher Reliability Challenge of Au-Al Intermetallic System"***, International Conference on Electronics Manufacturing and Technology, pp. 175-178, Noviembre 2007.
- [44] J.C. Irvin, W.O. Schlosser, ***"Failure Mechanism and Reliability of Low-Noise GaAs FETs"***, Microwave Conference, pp. 401-404, Septiembre 1978.
- [45] IPC/JEDEC Standard J-STD-020D ***"Moisture/Reflow Sensitivity Classification for Nonhermetic solid state surface mounts devices"***, Arlington, VA., JEDEC Solid State Products Engineering Council. 2008.
- [46] JEDEC Standard JESD22-A110-B ***"Highly-Accelerated Temperature and Humidity Stress Test (HAST)"***, Arlington, VA., JEDEC Solid State Products Engineering Council. 1999.
- [47] JEDEC Standard JESD22-A102-C ***"Accelerated Moisture Resistance – Unbiased Autoclave"***, Arlington, VA., JEDEC Solid State Products Engineering Council. 2000.
- [48] JEDEC JESD22-A113F ***"Standard Preconditioning of Nonhermetic Surface Mount Devices Prior to Reliability Testing"***, Arlington, VA., JEDEC Solid State Products Engineering Council. 2006.
- [49] Keteca Singapore, ***"Diamaflow Product Information Sheet"***, 2006.
- [50] Baboian R. ***"NACE Corrosion Engineer's Reference Book"***, 3rd Edition. 2002.

ANEXO A. ANÁLISIS DE FALLAS



Mexicali

1699 Ignacio López Rayón y Periférico
Col. Rivera, Mexicali, BC. MEXICO
Phone: 011-52-686-564-23-17

FAILURE ANALYSIS REPORT

F.A. Reference Number:	MXL-FA-08-33599
Alternate Reference Number:	N/A
Requester:	Karla M Vasquez
Device Number:	SKY77514-20
Quantity:	2
Date:	Jun/30/08
Analyst:	Lidia Vargas/ Vanessa Anacleto
Report By:	Vanessa Anacleto

Description

After autoclave, as part of the Merit program, 2 failures parts P/N: SKY77514-20 yield = 90% with "**DCS/PCS_30P5DBM,GAIN_TEST**" as failure mode were delivered for failure analysis. The information of the analyzed devices is showed in Table 1.

Table 1. Device Information					
SN	Part Number	Lot Number	Date Code	Origin	Reported Failure Mode
1	SKY77514-20	3566131.1	0821	MX	DCS/PCS_30P5DBM,GAIN_TEST
2	SKY77514-20	3566131.1	0821	MX	DCS/PCS_30P5DBM,GAIN_TEST

Conclusion

- No anomalies were found during X-Ray inspection.
- Failures presented abnormal readings on several pins that are related to Silicon die 31505 according electrical diagram.
- C-SAM analysis showed delamination on the surface of Silicon die 31505 in both failures.
- Cross section on SN1 confirmed separation between molding compound and die surface.
- After decapsulation of SN2, was detected that the aluminum pads of Silicon die 31505 presented corrosion.

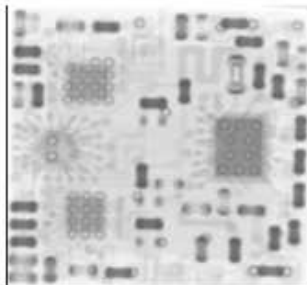
Analysis

- **Physical Inspection:** the devices did not present any external damage.
- **X-Ray Analysis:** no anomalies were found during X-Ray inspection in the failures.
- **Curve Tracer:** the measurements presented different values on Pin#2(VGAIN), Pin#5(VC3), Pin#6(VC2), Pin#7(VC1), Pin#9(ICONT_H) vs. the good part. These pins are related to silicon die 31505.
- **C-SAM Inspection:** according reflection image there was delamination on the surface of silicon die 31505.
- **Cross Section:** unit SN1 was submitted to cross-section in order to verify delamination on the surface of silicon die 31505 according c-sam analysis.
- **Decapsulation:** failure SN2 was decapsulated to observe if aluminum pads of Silicon die 31505 presented corrosion

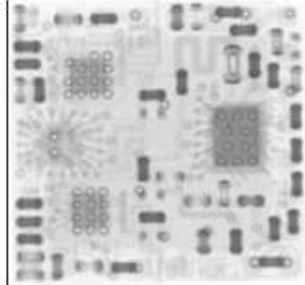
Analysis

X-Ray Inspection

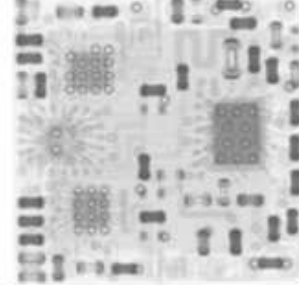
Good Unit



Failure SN1



Failure SN2

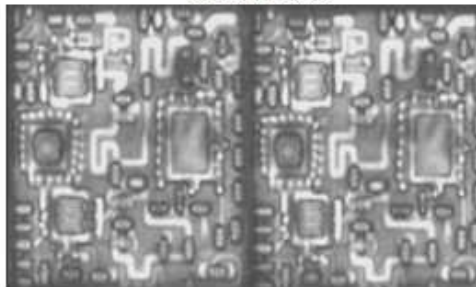


No assembly anomalies were observed during X-ray analysis in both failures

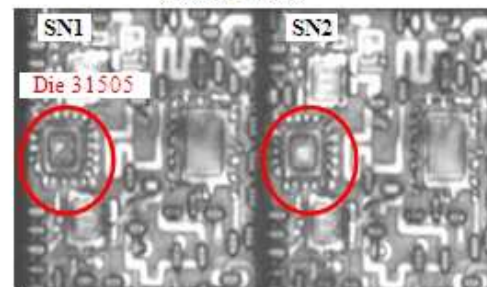
C-Sam analysis

Reflection Images

Good Parts

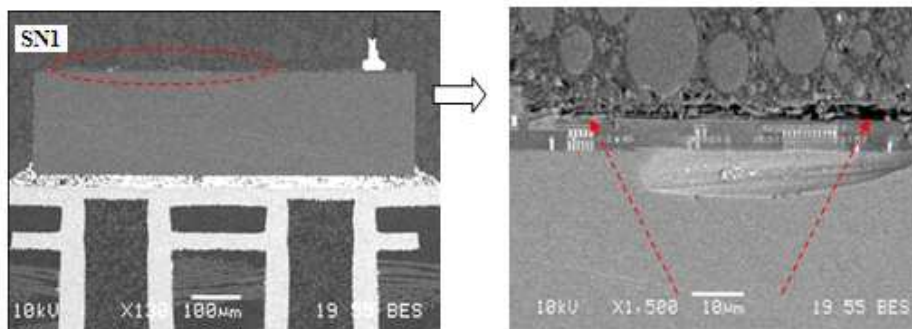


Failure Parts



According reflection images there was separation on the surface of silicon die 31505 in failure units.

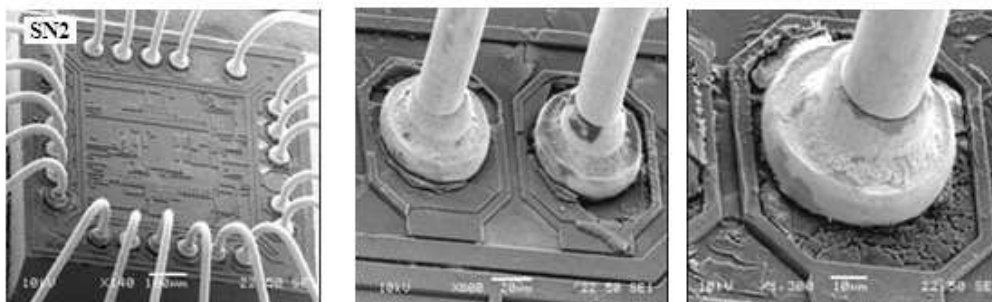
Cross-section



It was observed separation between
Molding compound & surface of
Silicon die 31505.

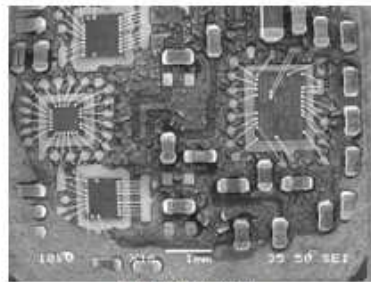
Decapsulation

Corroded Aluminum Pads

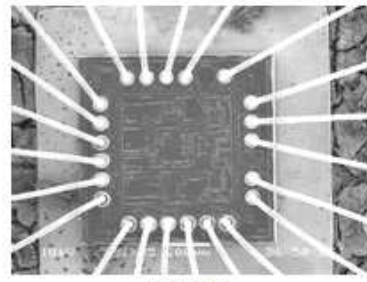


Aluminum pads in Silicon die 31505 presented corrosion.

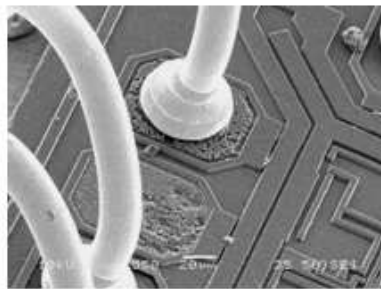
• SEM



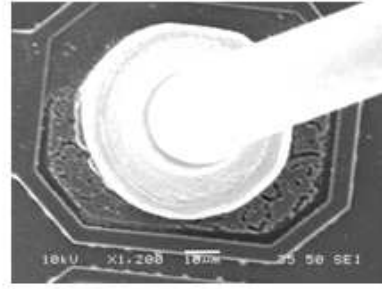
SKY77514-20



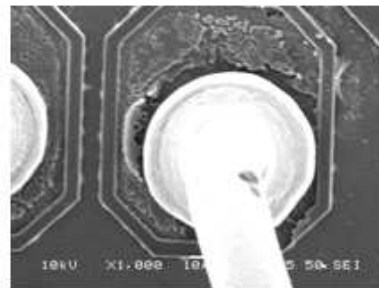
31505 Si



Zoom 1



Zoom 2

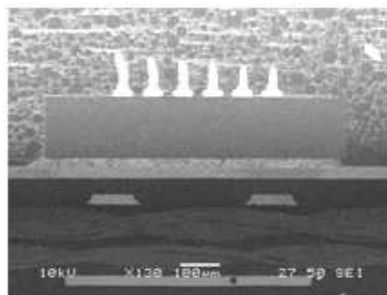


Zoom 3

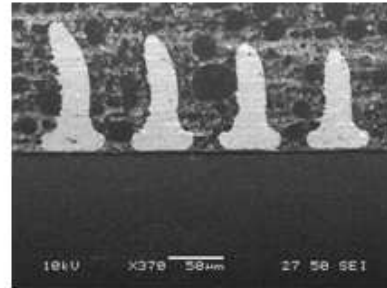
There was corrosion over the wire bond pad of SKY77514-20
on 31505 Si die.

- Cross section.

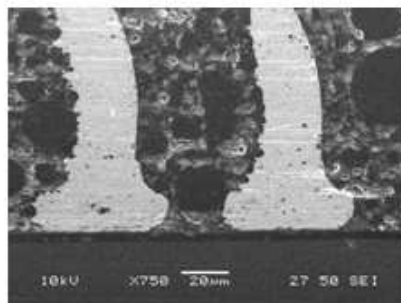
SKY77514-20



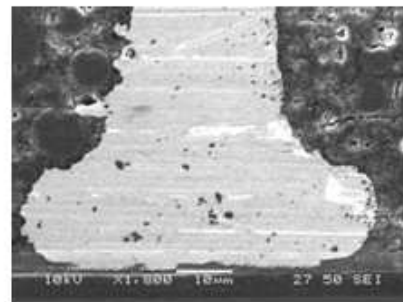
31505 Si



Zoom 1



Zoom 2



Zoom 3

The wire bond pad was inspected and we did not find a separation between wire and pad.

ANEXO B. TABLAS DE RESULTADOS DE FORMULACIONES

Diamaflo		Porcentaje	Muestra	ml	g	Densidad (g/cm ³)
ml	min	20%	PEG 400	5	3.1612	0.63224
50	10	5%	Makon 10	5	4.7359	0.94718
5	1	3%	Isopropanol	5	3.7337	0.74674
		72%	DI	5	4.8858	0.97716

Muestra	# Gotas en 1ml	Peso Total (g)	Peso del vaso solo (g)	Peso de las gotas (g)	Peso por gota (g)
DI	20	50.4220	49.4314	0.9906	0.04953
1	50	50.5226	49.4314	1.0912	0.02182
2	48	50.4282	49.4314	0.9968	0.02077
3	48	50.5517	49.4314	1.1203	0.02334
4	45	57.7263	56.6808	1.0455	0.02323
5	45	57.6886	56.6808	1.0078	0.02240
D	42	50.4823	49.4314	1.0509	0.02502
Isoprop	58	50.95	50.1411	0.8089	0.01395

Muestra	Volumen por gota (ml)	V/4.1888	r=V/4.1888 ^{1/3}
DI	0.05	0.011936593	0.228538897
1	0.02	0.004774637	0.168388899
2	0.02083	0.004972785	0.170686778
3	0.02083	0.004972785	0.170686778
4	0.02222	0.005304622	0.174402006
5	0.02174	0.005190031	0.173137033
D	0.02381	0.005684206	0.178466452
Isoprop	0.01724	0.004115737	0.160256583

Muestra	m = masa por gota (g)	g = aceleracion	r = radio de la gota (cm/s ²)	Error f = r / (V ^{1/3}) cm ⁻²	2*pi	γ (dina/cm)
DI	0.04953	980	0.228538897	0.620350007	6.2832	54.48997411
1	0.02182	980	0.168388899	0.620350007	6.2832	32.58586816
2	0.02077	980	0.170686778	0.620350007	6.2832	30.58970652
3	0.02334	980	0.170686778	0.620350007	6.2832	34.37966313
4	0.02323	980	0.174402006	0.620350007	6.2832	33.49411035
5	0.02240	980	0.173137033	0.620350007	6.2832	32.52222639
D	0.02502	980	0.178466452	0.620350007	6.2832	35.2503888
Isoprop	0.01395	980	0.160256583	0.620350007	6.2832	21.88060686

Muestra	# Gotas en 1ml	Peso Total (g)	Peso del vaso solo (g)	Peso de las gotas (g)	Volumen por gota (ml)
1	50	50.5226	49.4314	1.0912	0.02
2	48	50.4282	49.4314	0.9968	0.02083
3	48	50.5517	49.4314	1.1203	0.02083
D	42	50.4823	49.4314	1.0509	0.02381

ANEXO C. MEDICIÓN DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL DE LAS FORMULACIONES DESARROLLADAS MEDIANTE EL USO DE UNA BALANZA DE TENSIÓN SUPERFICIAL.

Pasos Para El Montado De La Balanza de Tensión Superficial.

1. Sacar con cuidado todas las piezas de la caja.



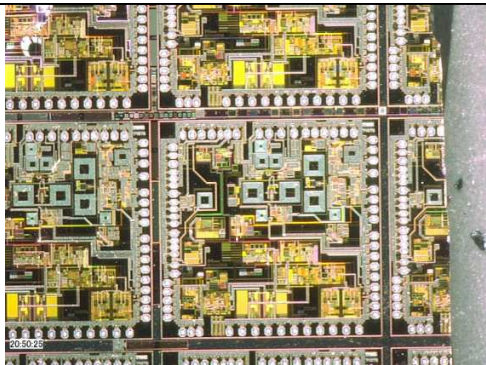
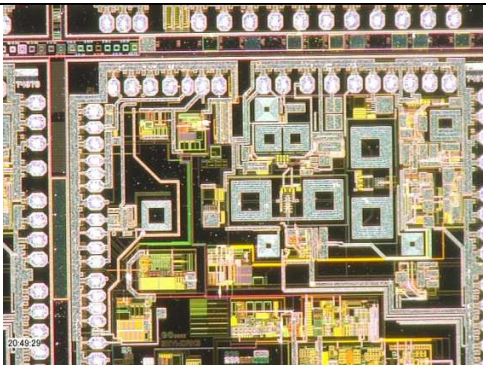
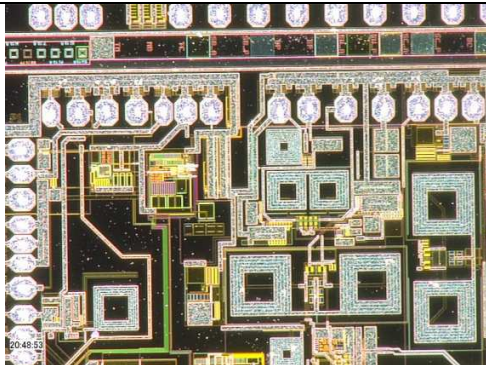
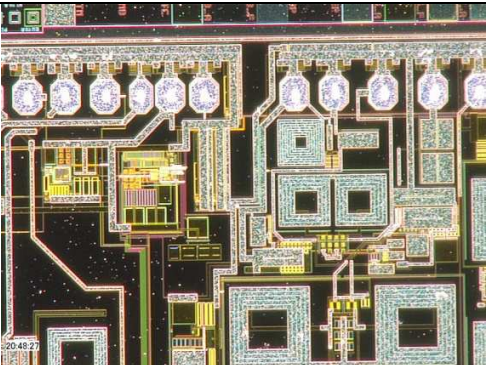
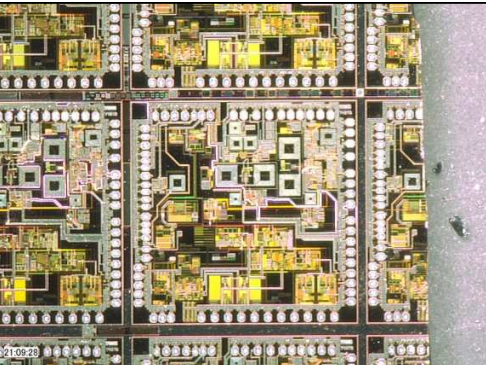
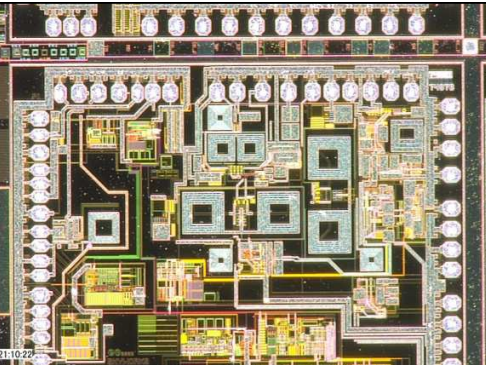
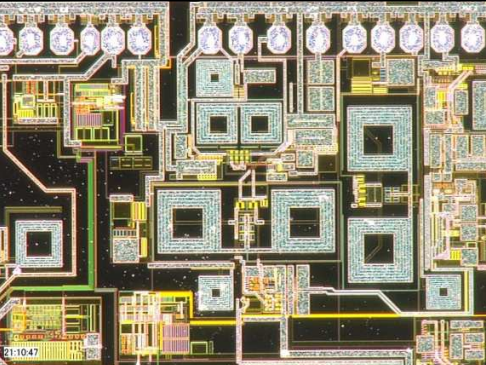
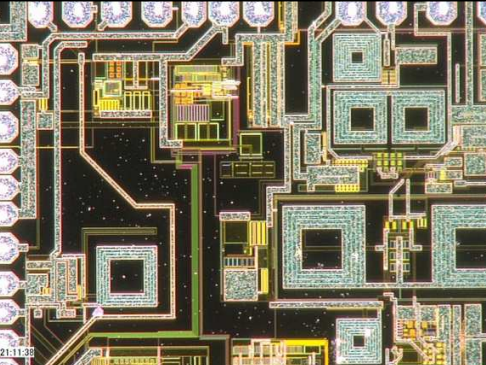
2. Poner la base triangular en una superficie nivelada
3. Montar la placa transparente con escala impresa en el tubo L donde va a el tornillo.
4. Colocar este tubo L con la placa transparente en la barra horizontal de la horqueta.
5. Colocar esta pieza en el alambre tenso de la horqueta de manera que quede atrás de la placa transparente.
6. Procurando que esta pieza quede cercano a cero en la escala de medición de la placa transparente.
7. Colocar un cubre objetos de vidrio o de inoxidable.



8. Tomar el valor en la escala de la placa transparente.
9. Sacar lentamente el tornillo, y tomar la lectura en la que se desprende el portaobjetos del líquido.
10. Repetir este paso hasta tener lecturas iguales.
11. Repetir este paso hasta tener lecturas iguales.
12. Sacar la caja petri y lavarla.

- 13.** Sacar con cuidado el porta objetos y secarlo esto se tiene que hacer después de cada medición.
- 14.** El portaobjetos debe de estar con la misma horizontal que el líquido de la caja petri.
- 15.** Anotar la temperatura de la muestra que es esta analizando.
- 16.** Una vez terminado, desarmar el equipo cuidadosamente.

ANEXO D. OBSERVACIÓN DE LA MEJOR FORMULACIÓN A DISTINTO TIEMPO Y MAGNIFICACIÓN.

	
30 min 50X	30 min 100X
	
30 min 150X	30 min 200X
	
45 min 50X	45 min 100X
	
45 min 150X	45 min 200X

ANEXO E. CARTA DE LA EMPRESA A BIOQUIM



Mexicali, Baja California, a 3 de junio de 2011

ING. JOSÉ SERGIO SÁNCHEZ SOTO
GERENTE GENERAL

INDUSTRIAS BIOQUÍM, S. A. de C. V.

Por este conducto me permito informarle que los productos F2 y F7, formulados y fabricados por su empresa como sustituto al producto coadyuvante del proceso de corte de obleas de silicio D688 en sus versiones D y CL y el cual es de importación, han sido evaluados en condiciones de laboratorio y en nuestra línea de proceso bajo condiciones reales con éxito. Durante el proceso de evaluación se conto con la supervisión directa de la Ing. Karla Vazquez Fraijo por parte de SKYWORKS y el asesoramiento externo del Instituto de Ingeniería de la UABC.

Los productos D688 de nombre comercial Diamaflo se consumen en un volumen anual de aproximadamente 5,500 galones americanos con un costo superior a los 70,000 USD. De acuerdo a su cotización y los resultados obtenidos en particular para el producto F7, hemos encontrado que podríamos tener ahorros de al menos 35%, lo cual resulta bastante atractivo.

Por lo anterior considero que su producto cumple con las especificaciones técnicas y económicas que nuestro proceso demanda y le felicitamos a usted y su grupo de investigación y desarrollo de BIOQUIM, por su profesionalismo y atención a nuestras necesidades.

Sin otro particular por el momento me despido esperando seguir contando como siempre con el apoyo de usted y su empresa.

Atentamente

MC. Roberto Ibarra Wiley

Gerente del Centro de Innovación en Semiconductores
Skyworks Solutions de Mexico S de RL de CV


SKYWORKS
BREAKTHROUGH SIMPLICITY
SKYWORKS SOLUTIONS,
DE MEXICO S. DE R.L. DE C.V.
CALZ. GOMEZ MORIN # 1690
COL. RIVERA • C.P. 21259
MEXICALI, B.C. • TEL. 564-2100