

Universidad Autónoma de Baja California
Instituto de Ingeniería

Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



**“Manejo Sistemático de Materiales para la mejora de la
fabricación de micromódulos.”**

TESIS

Que para obtener el grado de
Doctor en Ingeniería

Presenta

Eduardo Cabrera Cordoba

Director

Dr. Benjamín Valdez Salas

Co-Directora

Dra. Lidia Esther Vargas Osuna

Mexicali, Baja California, mayo de 2018

RECONOCIMIENTOS

Al Dr. Benjamín Valdez Salas, Director de esta tesis, por su consejo, guía y ejemplo. Además de su permanente invitación por participar de ciencia y la ingeniería en la búsqueda de conocimiento. Gracias porque a lo largo de los años ha sido grata experiencia.

Agradezco a mi madre su amor, la persona más sensible y generosa que conozco. A mi padre mi admiración, por su responsabilidad, cercanía y dedicación por mantener siempre unida nuestra familia. Imposible compensar todo lo que han hecho, muchas gracias por todo.

A mis maestros y compañeros del instituto de Ingeniería de la UABC. Por todos sus comentarios y aportaciones. Por el cordial y profesional equipo de trabajo que han formado. En especial al Dr. Roumen Zlatev, Dr. Nicola Nedev, Dr. Mario Curiel, Dra. Mónica Carrillo y Dr. Rogelio Ramos.

También quiero destacar las valiosas aportaciones de las Doctoras Amparo Oliveros y Lidia Vargas, de la Red ecosistema STEAM, quienes han contribuido a enriquecer este trabajo y me han ayudado a tener una visión de la ciencia con una mayor perspectiva.

A mis amigos del Centro de Innovación en Semiconductores CISEM, Dr. Roberto Ibarra, Ivonne Araujo y Yadira Rendón, por su decidido apoyo y la oportunidad de participar múltiples ocasiones en el verano científico.

Agradezco a el CONACYT y a la Universidad Autónoma de Baja California, por todo el apoyo recibido durante la realización de este proyecto.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN	8
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN	12
1.1 Planteamiento del problema.	14
1.2 Justificación.	16
1.3 Descripción del trabajo.	17
1.4 Objetivos.	20
1.5 Hipótesis.	21
CAPITULO 2. FUNDAMENTO TEÓRICO	22
2.1 Tecnologías de encapsulamiento de micromódulos.	22
2.2 Tecnología de plástico de moldeo.	23
2.3 Entrecruzamiento de cadenas por curado de plástico posterior a moldeo.	27
CAPITULO 3. METODOLOGÍA	29
3.1 Perfiles de temperatura en hornos de curado.	29
3.2 Descripción de horno continuo de banda que reemplaza hornos por carga.	30
3.3 Caracterización de propiedades de plástico curado posterior a moldeo.	32

	Página
CAPITULO 4. REPORTE Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	35
4.1 Minimización de deformación en horno continuo de banda.	35
4.2 Caracterización de las propiedades del plástico de moldeo para validar una reducción en el tiempo de curado posterior al moldeo.	40
CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
BIBLIOGRAFÍA	46
ANEXOS	
A. Akrometrix – Thermoire PS400 equipo y medición de deformación por sombras de Moiré.	53
B. Análisis de propiedades de materiales poliméricos por TMA-DSC termogravimetría y calorimetría diferencial. Perkin Elmer STA6000.	57
C. Equipo portátil de medición de dureza por método Leeb.	58
D. Moldex 3D software de simulación de pandeo.	59
E. Evidencia de publicaciones y vinculación con la industria derivada de la tesis.	61

LISTADO DE FIGURAS

		Página
1	Primeros transistores de estado sólido por laboratorios Bell.	8
2	Ley de Moore. Transistores por circuito extrapolado los primeros 10 años.	9
3	Tecnología disponible en el empaque de electrónicos.	10
4	Configuración de dispositivos disponibles en el empaque de electrónicos.	11
5	Componentes básicos del empaquetamiento de circuitos electrónicos.	13
6	Ejemplos de Tecnología en dispositivos electrónicos para vestir.	14
7	Ejemplo de deformación observada en los microcircuitos.	15
8	Horno de convección de banda continuo que sustituye hornos de carga.	17
9	Deformación por estrés termomecánico en la fabricación de microcircuitos.	21
10	Tiempo de permeabilidad para una humedad del 50% en diversos materiales para una geometría definida.	22
11	Principales componentes del compuesto de moldeo.	25
12	Equipo de moldeo por inyección.	27
13	Representación gráfica del perfil de curado posterior a moldeo.	29
14	Detalle de matriz de boquillas y diagrama de distribución del aire en horno de convección.	31

LISTADO DE FIGURAS

		Página
15	Efecto de Moiré por superposición de sombras.	32
16	Fuerza sobre indentador y huella dejada sobre el material en dureza Vickers.	33
17	Deformación por pandeo en procesos de ensamble.	35
18	Microcircuitos sobre banda del horno y dentro de <i>magazine</i> (del inglés almacén)	37
19	Reducción en el pandeo de Microcircuitos perfil PMC + Reflujo en el mismo horno.	37
20	Reducción cuando se colocan directamente sobre la banda los microcircuitos sin <i>magazine</i> .	37
21	Reducción en el pandeo al reducir por horneado la humedad de Microcircuitos.	38
22	Deformación del <i>magazine</i> no permite relajar tableros. Detalle de fabricación del <i>magazine</i> .	39
23	Resultados de TMA-DSC termogravimetría y calorimetría diferencial. Perkin Elmer STA6000.	40
24	Disminución del pandeo en curado a 180°C por 2 horas y reflujo posterior a 260°C.	42
25	Resultados de dureza superficial reportado Vickers en los diferentes tratamientos.	39
26	Equipo Thermoiré Akrometrix PS400.	56
27	Equipo Perkin Elmer STA6000 DCS-TMA.	57
28	Equipo medidor de dureza portátil EPX5500.	58
29	Ejemplo de pandeo usando Moldex3D. La zona roja indica que la mayor parte de la pieza tiene un 96% de enlaces cruzados como resultado del curado.	60

LISTADO DE TABLAS

		Página
1	Proceso de ensamble de circuitos con tecnología de empaquetamiento de plástico post-moldeo.	23
2	Composición de un compuesto epóxico para moldeo.	24
3	Parámetros del perfil encontrados a diferentes temperaturas.	36
4	Resultados de pandeo y dureza al modificar parámetros de curado.	42
5	Resultados de absorción de humedad al modificar parámetros de curado.	42

RESUMEN

El transistor ha tenido su impacto más significativo no como un componente que reemplazará los tubos de vacío en productos establecidos, sino como un componente necesario para producir productos que no eran económicamente posibles antes del desarrollo del transistor de estado sólido. [1]

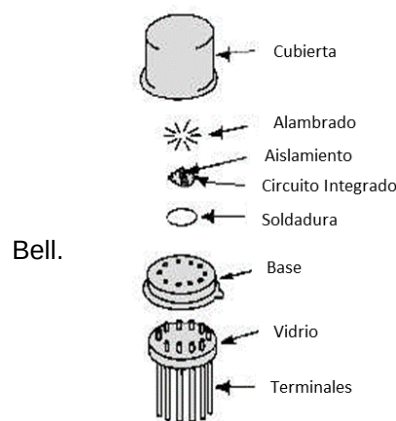


Figura 1. Primeros transistores de estado sólido por laboratorios.

El desarrollo del transistor ha estimulado el crecimiento económico, incluida la invención e innovación en una escala considerable de productos, ha estimulado también la investigación y desarrollo destinados a reducir el tamaño de los elementos de los circuitos electrónicos principalmente.

En 1959 con la invención del transistor de silicio de estado sólido que llevo al desarrollo del circuito integrado, se inicia una tendencia de crecimiento en la complejidad de los circuitos electrónicos conocida como la Ley de Moore. Gordon Moore quien se convertiría en uno de los fundadores de Intel. Realizó en 1965 una predicción estableciendo que, dado el acelerado desarrollo del transistor, al considerar el número

de transistores en un solo chip se duplicaría cada año sin aumentar significativamente su costo, buscaba proyectar hacia el futuro y estimar la potencia de cálculo que podría esperar en los circuitos al paso de una década. Una extrapolación de 1.000 veces en 10 años. Esta predicción resultaría cierta, ya que solo durante una década para 1975, el número de transistores en un solo chip había aumentado de 60 componentes hasta 65,000 componentes. [2]

La Ley de Moore no es realmente una ley establecida como la de gravedad o la conservación de energía. Sin embargo, el hecho de que esta predicción siga válida y se haya mantenido en la industria desde hace 50 años es realmente sorprendente.

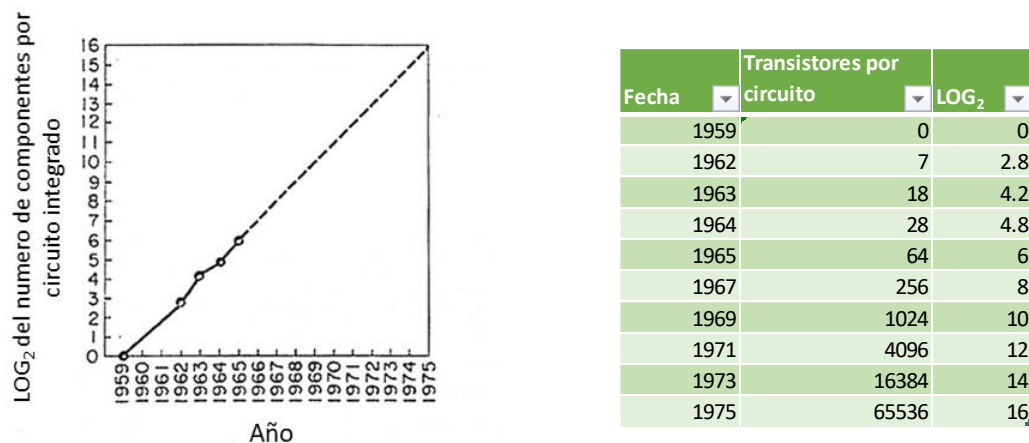


Figura 2. Ley de Moore. Transistores por circuito extrapolado los primeros 10 años.

La solidez con la que se entregan circuitos cada vez más potentes han confirmado la Ley de Moore, dando a las empresas la confianza para invertir en el desarrollo de tecnologías no solo como pantallas, sensores, dispositivos de procesamiento de

memoria e imagen (*streaming*), software y la internet. Si no complejas aplicaciones emergentes como vehículos no tripulados, robots que comparten la tarea con los humanos, drones anticolidión, consulta por voz a los teléfonos inteligentes y la inteligencia artificial.

En la actualidad, los consumidores exigen que sus dispositivos se vuelvan más rápidos, más baratos y más compactos de acuerdo con la Ley de Moore. Es un motor que impulsa a las compañías tecnológicas, la economía, innovación y el estándar a cumplir para mantenerse vigente en la industria de los semiconductores.

La tecnología de empaque de electrónicos ha evolucionado rápidamente, desarrollando diferentes dispositivos pasando desde: 1) Circuito integrado. IC, 2) Micromódulos MCM, 3) Sistemas en chip SoC, 4) Sistemas en el paquete, 5) Micro sistemas electromecánicos MEMS.

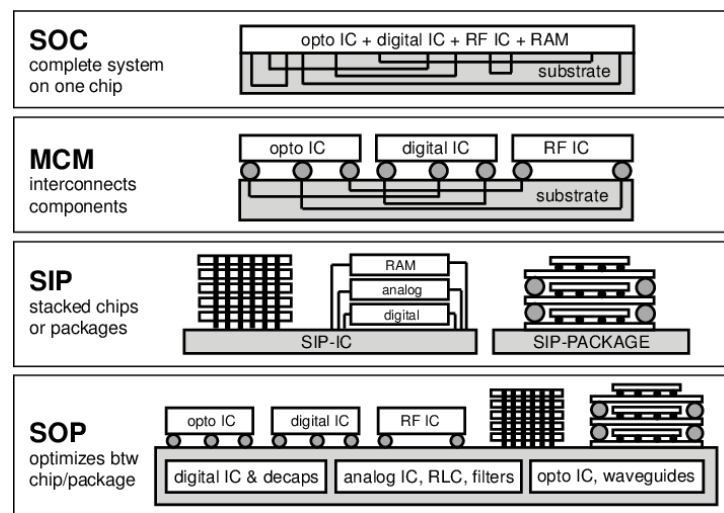


Figura 3. Tecnología disponible en el empaque de electrónicos.

Se ha trabajado mucho en los diseños de dispositivos y la manufactura. Sin embargo, las investigaciones realizadas son insuficientes y se cuenta con pocas publicaciones sobre el empaquetado. Esto a pesar del hecho de que el empaquetado es un porcentaje grande del costo total de los dispositivos. [3] Muchos de estos aspectos del empaquetamiento están directamente relacionados con los materiales y los procesos de empaque utilizados. Los dispositivos que son funcionales en forma de oblea de silicio pueden volverse inservibles después del empaquetado. Los epóxicos de bajo estrés pueden producir una gran cantidad de gases, lo que también puede afectar el rendimiento del dispositivo. Otra fuente de estrés residual es el proceso de curado del plástico, para asegurar un paquete hermético, que no interactúe con el exterior en aplicaciones y ambientes cada vez más demandantes. Existe una gran falta de comprensión entre los materiales del paquete, el estrés inducido y el rendimiento del dispositivo. Las propiedades de estos materiales de empaquetamiento no están bien definidas o entendidas. El modelado de estos materiales y procesos está lejos de la madurez, aun cuando básicamente se siguen usando los mismos materiales y son pocos cambios a través del tiempo. La motivación de este trabajo busca una mayor comprensión de las propiedades y comportamiento de los materiales en la definición y caracterización del proceso de empaquetamiento de circuitos electrónicos.

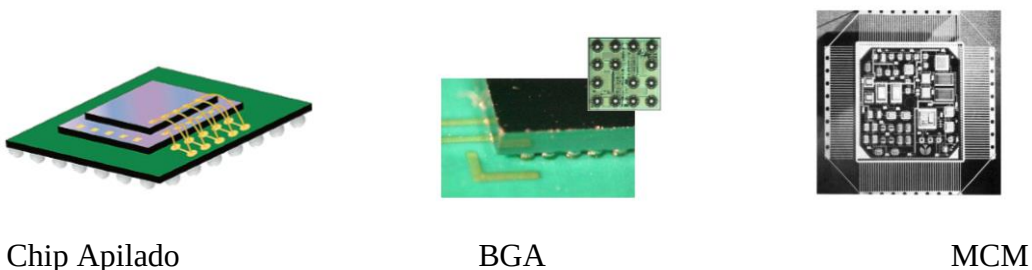


Figura 4. Configuración de dispositivos disponibles en el empaque de electrónicos.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.

Los tubos de vacío o válvulas termoiónicas se encuentran entre los primeros componentes electrónicos. Fueron los únicos responsables de la revolución electrónica de la primera mitad del siglo XX. [6] Hasta 1950, a este campo se le llamó "tecnología de radio" porque su principal aplicación era el diseño y la teoría de transmisores de radio, receptores. La tecnología del empaque de los electrónicos nace de la necesidad, un poco después la aparición del transistor de estado sólido a principios de 1950s, que vinieron a remplazar rápidamente a los tubos de vacío, dando lugar a los circuitos integrados. Ver figura 5. El empaquetamiento es permanente, importante porque protege y aísla a los electrónicos del medio que los rodea, en factores como la humedad, calor, estrés térmico o mecánico, choque térmico o mecánico y la erosión o corrosión química. [4]

En la actualidad, el empaquetamiento de microcircuitos involucra múltiples disciplinas, tales como: Ingeniería Mecánica, Eléctrica, Electrónica, Industrial, Química, Física, etc. A través del empaquetado de los circuitos electrónicos se proporciona alojamiento e interconexión de componentes para formar sistemas electrónicos. Entre las prestaciones que debe proporcionar el empaque en la actualidad se encuentran:

- Alojamiento, distribución, soporte, protección e integridad a los componentes.
- Disipación de calor.
- Posibilidad de fabricación.

- Distribución de la señal y energía, la posibilidad de conectarse o comunicarse con otros sistemas.
- Densidad, funcionabilidad, confiabilidad y trazabilidad.

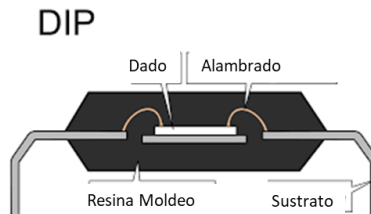


Figura 5. Componentes básicos del empaquetamiento de circuitos electrónicos.

Se presentan nuevas aplicaciones, emergentes en los consumidores por el creciente impacto del Internet de las cosas y los dispositivos electrónicos flexibles y de vestir. Ver figura 6. La industria de los semiconductores ahora debe enfocarse en la integración de sistemas, sensores, para cumplir con las demandas cada vez mayores de rendimiento y funcionalidad. Así como, continuar con la reducción del factor de forma, el consumo de energía y el costo. Las soluciones más prometedoras se encuentran en la producción de empaquetado avanzado a nivel de wafer (del inglés, oblea de silicio), aumentando el número de conexiones directamente al wafer, al tiempo que mejora su respuesta eléctrica, térmica y permitiendo la conexión directa entre componente y wafer, lo que proporciona importantes beneficios de ancho de banda, rendimiento, factor de forma y costo en comparación con otras tecnologías de empaque disponibles en la actualidad. Diseños para Radio Frecuencia, sensores, MEMS, módulos 3D, sistema en el paquete SiP, así como soluciones de empaquetado delgadas y altamente integradas. [9]



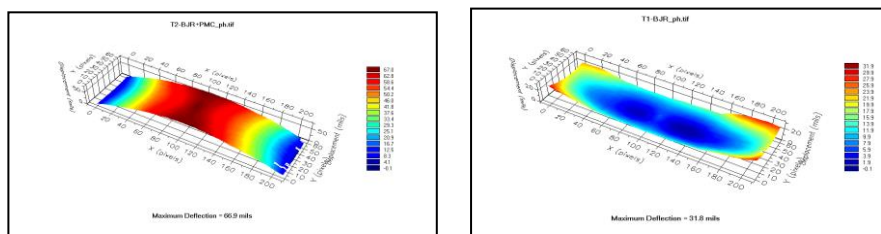
Figura 6. Ejemplos de Tecnología en dispositivos electrónicos para vestir.

1.1 Planteamiento del Problema.

Las tendencias en el empaquetamiento de microcircuitos electrónicos incluyen: 1) Continuar la miniaturización, 2) Circuitos multifunción que cambian a sistemas completos. 3) Incrementar el número de capas en el laminado, 4 a 8 capas. 4) Líneas y micro vías ultra delgadas, 5-15 μm , para mejorar el desempeño térmico. 5) Alta densidad de componentes, reduciendo la distancia entre ellos y el tamaño de los mismos. 6) Nuevos componentes como sensores conectados al microcircuito, 7) Conexiones directas a nivel wafer. [8]. El proceso de ensamble y empaquetamiento del microcircuito involucra en sus etapas altas presiones y temperatura. Mismos que provocan la deformación en el material. Estrés mecánico residual producto de la diferencia en los coeficientes de expansión térmica CTE para los diferentes materiales que forman el dispositivo, combinado con efectos de deformación en forma de pandeo o curvado del circuito.

El pandeo es una de las principales preocupaciones cuando se ensamblan circuitos, BGA, CSP, QFN debido a que obtener y mantener sustratos razonablemente planos resulta crítico para el éxito de la mayoría de las operaciones de ensamble, limitando la

capacidad de la manufactura en: Montaje de componentes, pegado de dados, alambrado, moldeo, cortado y prueba. El pandeo es inducido en los procesos de curado y enfriado de resinas, como el plástico de moldeo y los adhesivos. Una vez que se alcanza el punto de solidificación, los componentes son unidos en una red interconectada del polímero y no se pueden expandir o contraer libremente. Las diferencias entre los coeficientes de expansión térmica pueden causar deformación. En un paquete el pandeo puede presentarse de diferentes formas, esquinas hacia abajo, esquinas hacia arriba, alternadas, ver figura 7. El pandeo depende de la geometría, las propiedades, numero de los componentes del paquete. Así como las condiciones y proceso realizados. El pandeo también esta relacionado con el tamaño de dado de silicio, geometría, el tamaño del paquete y las propiedades del plástico de moldeo. [10]. Aunque, no se encontraron en la bibliografía reportes de deterioro en el funcionamiento relacionados de manera directa con el pandeo. Se tiene el conocimiento directo en la fábrica, acerca de la reducción en los rendimientos de las operaciones, la reducción de la flexibilidad y la velocidad de producción en la manufactura. En este estudio se propone investigar acerca de las propiedades y comportamiento de los materiales en el proceso como una oportunidad para la mejora y la búsqueda de soluciones al empaquetamiento de circuitos.



Esquinas hacia abajo

Esquinas hacia arriba.

Figura 7. Ejemplo de deformación observada en los microcircuitos.

1.2 Justificación.

Se reconoce al pandeo o deformación térmomecánica del paquete, al presentarse como un doblez, una torsión o una variación de una forma recta o plana, una tensión residual causada por la falta de coincidencia de diferentes materiales (CTE), combinado con efectos provocados en los diferentes procesos de manufactura. Representa una preocupación en aspectos como la calidad, funcionamiento y confiabilidad. Aunado a desafíos asociados con circuitos más delgados y frágiles, sustratos complejos con mayor número de componentes y capas, espacios reducidos, uniones de soldadura y mínimo espesor de la cubierta de plástico de moldeo. Es también un factor que limita la capacidad y flexibilidad del equipo de fabricación y manufactura. Se reportan los siguientes problemas:

- El alabeo excesivo está afectando principalmente paquetes “Land Grid Array” LGA, un tipo de paquete que se instala por Montaje Superficial SMT, con notable deformación después de curado y donde reflujo no actúa como un paliativo, si no que complica el pandeo. Se observó que el espesor de la cubierta de plástico de moldeo es delgada menor a 0.5 mm. Los requerimientos por volumen de este paquete han ido aumentando.
- Se han reportado problemas de confiabilidad a nivel de paquete por el nivel de sensibilidad a la humedad alcanzado (MSL, por sus siglas en inglés): 1) Delaminación en la parte superior del sustrato y la interfaz con el plástico de moldeo, 2) Delaminación en la interfaz de capa de sustrato, especialmente máscara y terminales de cobre, 3) Fisuras dejando ver de trazas de metal.

- Se ha invertido en la adquisición de un horno continuo de banda, de calentamiento por convección, con el que se espera eliminar varios hornos tradiciones de carga que se utilizan para el curado de plástico posterior a moldeo, ver figura 8. Esta acción no solo representa disminuir el consumo de energía al sustituir una tecnología obsoleta, con mucho uso. Además, se espera crear una dinámica diferente en la manufactura, al mantener el material en movimiento, eliminando tiempos de espera, inventario en piso y un flujo más sencillo de la manufactura por lo que buscara revisar las diferentes oportunidades que ofrece el cambio.



Figura 8. Horno de convección de banda continuo que sustituye hornos de carga.

1.3 Descripción del trabajo.

El pandeo es conducido por la Contracción / Expansión de los materiales en el paquete respecto a la temperatura después del moldeo, curado posterior a moldeo PMC y reflujo. La deformación es muy sensible a este parámetro. La medida actual muestra que el alabeo en el sustrato puede afectar la manufactura y transporte cuando es superior a las 100 milésimas de pulgada o 2.54 mm, con un cambio de 0.1% en el número de merma. El trabajo se divide en dos partes, en la primera se propone simplificar el proceso de

ensamble y mejorar el flujo de la manufactura abordando uno de los procesos con mayor tiempo de ciclo, el curado posterior a moldeo, quien se ha encontrado también es el mayor generador de pandeo por las condiciones del proceso. En una segunda parte se propone disminuir el tiempo de ciclo de curado posterior a moldeo, sin que se alteren las condiciones del producto y manteniendo propiedades críticas del plástico.

1. Se remplazarán los hornos de curado por carga, al utilizar un horno de convección de banda con movimiento continuo. Por lo que se implementa un perfil de temperatura que reproduzca las condiciones del proceso actual de curado. Para establecer la capacidad y la estabilidad del horno continuo manteniendo las condiciones del proceso de curado. Una vez demostradas las capacidades del horno y parámetros del proceso. Se utiliza el equipo Akrometrix que mide la deformación por sombras de Moiré, para simular a diferentes temperaturas de calentamiento la deformación en el material, buscando las zonas de relajación de material, con la información obtenida se construye un nuevo perfil y se prueba en el horno continuo de banda. Se utilizó la sombra de Moiré para medir por inferencia sin contacto y obtener información completa acerca de la superficie evaluada.
2. Para validar una reducción de 4 a 2 horas en el proceso de curado, se establecen las propiedades de los materiales de moldeo, que permitan describir el estado del material. Cualquier propuesta de cambio en el proceso, no debe afectar, prueba eléctrica, funcional o propiedades dieléctricas de frecuencia de RF estables.
 - Se debe establecer el perfil actual de 4 horas.

- Estimar la temperatura de transición vítrea (T_g) de los compuestos plásticos con analizador térmico TMA-DSC Perkin Elmer Modelo STA 6000.
- Construir un nuevo perfil de curado con un tiempo de 2 horas @ 165, 175 y 185°C. Para cada muestra evaluar: 1) Evaluar estrés termomecánico usando Thermoiré de Akrometrix a diferentes temperaturas, considere que las muestras deben seguir el normal flujo del proceso. 2) Dureza Vickers usando un probador portátil EPX5500. Se debe separar en el método de medición el sustrato para reducir la variación en las lecturas. 3) Evaluación de prueba corta de absorción de humedad usando una olla a presión por solo 24 horas.
- Optimizar los parámetros considerando las mejores condiciones y las especificaciones del fabricante para los compuestos de moldeo, como las propiedades de absorción / retención de humedad, porcentaje de ganancia de peso, difusividad, etc.

1.4 Objetivos.

- 1) Entender los mecanismos que provocan la deformación del paquete moldeado y curado, como desviación del plano. Afectando la calidad, manufactura y confiabilidad del micromódulo.**
- 2) Presentar una solución durante la fabricación de microcircuitos, que minimice la deformación del paquete moldeado, permitiendo que la tecnología avance hacia la miniaturización, con circuitos más delgados, se mejore el rendimiento y reduzcan los costos.**
- 3) Establecer las propiedades de los materiales de moldeo en el proceso de curado, que permitan validar una reducción de 4 a 2 horas. Sin afectar, prueba eléctrica, funcional y propiedades dieléctricas de frecuencia de RF estables.**

1.5 Hipótesis.

“La deformación por curvatura o pandeo en el micromódulo, puede ser minimizada por tratamiento térmico que permite liberar el estrés termomecánico, a través de la caracterización y control de propiedades del plástico en los diferentes procesos”. Ver figura 9.

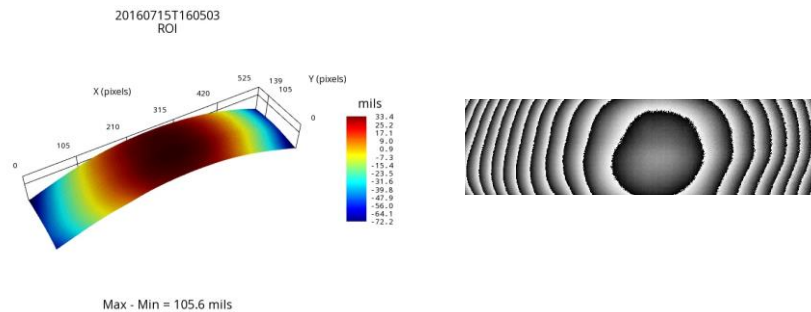


Figura 9. Deformación por estrés termomecánico en la fabricación de microcircuitos.

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTO TEÓRICO.

2.1 Tecnologías de encapsulamiento de micromódulos.

La tecnología de empaquetamiento de circuitos integrados se divide principalmente en cuatro categorías básicas en aplicaciones comerciales: 1) Moldeo con plástico, 2) Encapsulamiento en cerámica, 3) Laminado con cerámica y 4) Laminado con plástico. Aunque cabe mencionar, que la tecnología de encapsulado metálico hermético ha sido usada y su uso se limita a las aplicaciones militares.

El empaquetamiento plástico de moldeo es ampliamente aceptado en la industria como una opción confiable de bajo costo, se utiliza un epóxico para protegerlo del medio ambiente, pero los circuitos no son totalmente herméticos. Ver figura 10. El encapsulamiento en cerámica, utiliza un sustrato de cerámica para alojar al circuito y es sellado herméticamente al colocar una tapa de vidrio o metal. Para la fabricación de electrónicos al consumidor, se fabrica el encapsulado en plástico por su bajo costo, opciones con un igual o mejor desempeño eléctrico y térmico respecto a la cerámica. Aunque no son totalmente herméticos, la adecuada selección de materiales y rígidos controles de proceso permiten un alto rendimiento y confiabilidad. [5]

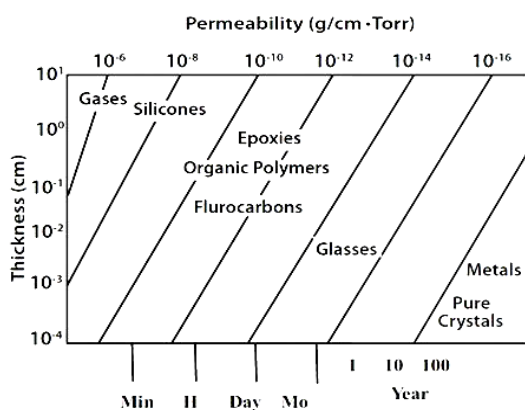


Figura 10. Tiempo de permeabilidad para una humedad del 50% en diversos materiales para una geometría definida.

2.2 Tecnología de plástico de moldeo.

La tecnología de empaquetamiento del circuito con plástico se encuentra en dos alternativas: pre-moldeado o post-moldeo. Empaquetamiento posterior a moldeo es la opción más efectiva desde el punto de vista del costo y por mucho la que más se utiliza. La secuencia del proceso ocurre como se describe en la tabla, a continuación:

Material	Proceso	Parte
Adhesivo polimérico	Montar el Circuito en el Sustrato.	IC, Sustrato
Oro	Pegado de alambre entre dado y sustrato	Alambre
Plástico de Moldeo	Moldeo, Curado	
Pintura	Marcado, Cortado	
	Prueba funcional	

Tabla 1. Proceso de ensamble de circuitos con tecnología de empaquetamiento de plástico post-moldeo.

El proceso es agresivo y al momento que el flujo de plástico de moldeo cubre los alambres, llega a desplazarlos o desprenderlos, mucho se ha trabajado con la forma y tamaño de los *fillers* o partículas de relleno que forman parte de la formulación del plástico, la forma redondeada y tamaño reducido de las partículas de relleno ha ayudado a mejorar los rendimientos de moldeo y reducir microesfuerzos en el paquete. Las partículas de relleno en el plástico de moldeo también afectan la confiabilidad y el desempeño térmico. Los parámetros para la confiabilidad el producto moldeado son la selección dl material de moldeo y el control del proceso en moldeo. El polímero más comúnmente utilizado en el empaque de circuitos es el epóxico. La composición típica de un plástico para moldeo puede incluir hasta un 90% de partículas de relleno,

comúnmente partículas de silicio y un 10% de polímero, por eso es común encontrar el termino compuesto para moldeo, en vez de plástico. Por eso, la importancia de relleno en el proceso. Los fabricantes actualizan constantemente las formulaciones para mejorar el desempeño al disminuir defectos más comunes. En la tabla 2, se describen los componentes para una formulación típica de plástico o compuesto de moldeo.

Material	Ejemplo	Propósito	Tecnología
Resina Epóxica	Bisphenol-A, Novolac	Curar por reacción de entrecruzamiento	Bajas impurezas iónicas, bajo CTE
Endurecedor	Amina, fenol	Curar por reacción de entrecruzamiento	
Acelerador	Amina terciaria	Curar por reacción de entrecruzamiento	
Relleno	Silicio o Aluminio en polvo, fibra de vidrio	Ajustar CTE, conductividad térmica, resistencia mecánica	
Retarda de Flama	Epóxico bromado, Sb ₂ O ₃	Retardar la flama	
Enlazante.	Silano epoxi, Amino Silano	Mejorar contacto entre plástico y relleno	
Anti-pegado	Acido esteárico, cera natural o sintética	Liberar del molde	Contacto, Adhesión balanceada
Colorante	Negro de carbón, negro de hierro	Color	Marcado Laser

Tabla 2. Composición de un compuesto epóxico para moldeo.

Las altas concentraciones de SiO₂ amorfa son usadas cuando se desea minimizar el coeficiente de expansión, con una reducción de las propiedades térmicas. Mientras que la SiO₂ cristalina tiene un efecto contrario. El Al₂O₃ ayuda a mejorar la conductividad térmica, pero es muy abrasivo con los moldes. Los rellenos generalmente ayudan a mejorar la resistencia mecánica de la resina y reducen su coeficiente de expansión,

reduciendo el encogimiento posterior a moldeo. La presencia en pequeñas cantidades de colorantes, enlazantes, aceleradores de reacción, desecantes, plastificantes y retardadores de flama entre otros, ayudan a mejorar la adhesión de la resina a las partículas del relleno, sustrato y los circuitos integrados. Ayuda también a minimizar la penetración de la humedad en las varias interfaces mejorando la confiabilidad. Un componente crítico es el agente anti-pegado que evita que el plástico del paquete se separe fácilmente desprendido del molde, este debe ser cuidadosamente evaluado, ya que disminuye también la adhesión con el sustrato, pudiendo afectar la confiabilidad. Los aceleradores de reacción pueden disminuir la resistividad del compuesto del moldeo. Los retardadores de flama ayudan a cumplir con el estándar UL94. La selección de cada uno de los componentes deberá ser cuidadosamente evaluada y optimizada para no afectar la confiabilidad del paquete.

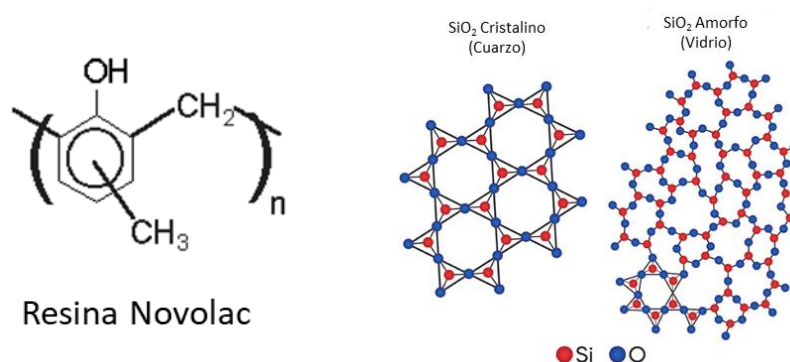


Figura 11. Principales componentes del compuesto de moldeo.

El proceso de moldeo solo es efectivo cuando se obtiene un alto rendimiento. Los problemas de confiabilidad del paquete están relacionados con la resistencia mecánica del paquete moldeado y su capacidad para soportar estrés térmico. Los polímeros termofijos que se utilizan siguen un proceso de moldeo por inyección en un molde de

múltiples cavidades. El plástico se alimenta al equipo en una cavidad cilíndrica donde se precalienta, baja un pistón por el cilindro donde por medio de presión y temperatura, se funde y fluye llenando las cavidades del molde. Se debe cuidar en todo momento, la estructura que forman el sustrato, circuito y los alambres, ya que son muy frágiles. Para evitar el daño, debe controlarse, la viscosidad, velocidad y tiempo de inyección, temperatura y presión, controlados dentro de ciertos rangos definidos. Para cumplir con estos requerimientos el plástico se moldea aproximadamente a 180°C , con una presión del pistón de 4 a 6 MPa, un tiempo de ciclo de 1 a 5 min, donde el 60-70% es tiempo de enfriamiento. El diseño del molde es muy importante, ya que se debe tener un flujo balanceado y controlado por medio de restricciones y compuertas que limitan la velocidad de inyección. Es común establecer perfiles de inyección reduciendo la velocidad del pistón a diferentes alturas. El proceso de inyección es complejo debido a que el compuesto de plástico presenta un comportamiento de fluido no-newtoniano. No solo incrementa su viscosidad a medida que se inyecta, pero ocurre también por curado al entrecruzarse las cadenas del polímero. Durante el proceso de enfriamiento del paquete, es común que el sustrato se enfrié más rápido que el compuesto de plástico, por lo que se deben evaluar las pendientes de enfriamiento.

Dada la velocidad en el incremento de la complejidad de los circuitos, se ha probado con éxito el moldeo por compresión, con múltiples ventajas, ya que elimina el desperdicio de plástico, reduce la frecuencia de limpieza de los equipos y más importante al minimizar el desplazamiento del plástico en el paquete. Aunque es un sistema con funciones más especializadas que implican medir y controlar el peso del plástico para cada paquete e incluye un sistema de vacío casi completo en la cavidad.



Figura 12. Equipo de moldeo por inyección.

2.3 Entrecruzamiento de cadenas por curado de plástico posterior a moldeo.

El curado posterior al moldeo es un proceso significativo para polímeros termofijos en paquetes moldeados, promueve el entrecruzamiento de las cadenas, al alinear apropiadamente las moléculas del polímero a través del calentamiento, resultando una parte más fuerte con mejores características. Aumentando las propiedades físicas como la fuerza, la dureza y la distorsión térmica por la temperatura. Existe la tendencia por mejorar agresivamente las propiedades y características del compuesto plástico para reducir los tiempos de curado y mejorar el control de las propiedades entre los diferentes lotes. La mayoría de los paquetes de plástico moldeado requieren de un curado de 4 horas a una temperatura superior a 160°C para completar el entrecruzamiento de cadenas y estabilizar el material. Permitiendo mejorar la hermeticidad del producto, sin llegar a ser totalmente hermético. El tiempo de ciclo de curado, es excesivamente alto comparado con la mayoría de los procesos previos o posteriores de ensamble. Por lo

que los proveedores ofrecen la opción de un compuesto que elimina el curado. Sin embargo, los estrictos criterios de selección del plástico de moldeo, como una alta precisión dimensional, mejor nivel de sensibilidad a la humedad MSL, libre de halógenos, mayor contenido de relleno, dejan muy pocas alternativas para el desarrollo de nuevos productos. Las últimas formulaciones buscan mejorar el flujo del plástico en la inyección y minimizar el estrés termomecánico al reducir el tamaño de la partícula del relleno.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1 Perfiles de temperatura en hornos de curado

El proceso de curado posterior al moldeo, incrementa el entrecruzamiento de las cadenas del plástico para evitar la absorción de humedad y mejorar la hermeticidad del circuito. En este proceso de curado es necesario conocer dos parámetros: 1) La temperatura de curado por lo general entre $175 \pm 5^\circ\text{C}$, 2) El tiempo de curado. El tiempo requerido para completar el proceso de entrecruzamiento de las cadenas varía según las características del compuesto de moldeo utilizado entre 2 horas mínimo y 6 horas máximo. Cuando se realiza un perfil de temperatura se representa de manera gráfica. Ver figura 13. Es posible reconocer 3 zonas diferentes. 1) Rampa de calentamiento, se recomienda una pendiente entre 2 y 4°C por segundo, ya que los diferentes materiales con diferentes coeficientes de expansión térmica pudieran presentar choque térmico causando delaminación o grietas en los componentes. Un calentamiento lento favorece la eliminación de humedad en el paquete. 2) Tiempo de curado, la temperatura constante permitiendo se realice el proceso. 3) Enfriamiento con una pendiente entre 2 y 6°C por segundo, un enfriamiento muy rápido puede afectar las uniones eléctricas.

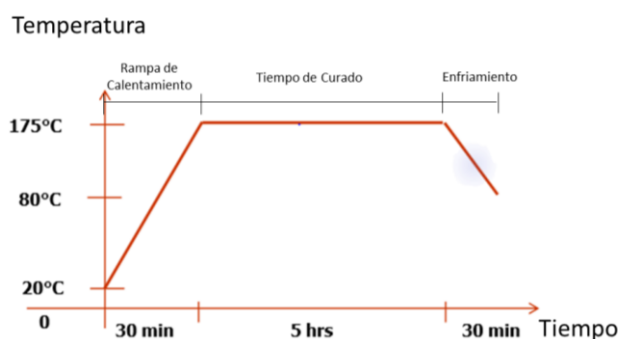


Figura 13. Representación gráfica del perfil de curado posterior a moldeo.

Una vez definido el perfil, es necesario modificar los parámetros de temperatura en las diferentes zonas en el horno para establecer el perfil. Los hornos están equipados con termopares estáticos que se extienden a todo lo largo del recorrido del material, permitiendo de manera directa observar la temperatura para cada zona y comparar con el perfil deseado. Además, existen equipos perfiladores que se introducen en el horno y permiten la colección de datos de temperatura y tiempo en el recorrido del material. Algunos incluso transmiten los datos en tiempo real a una computadora o se descargan al final del recorrido. En los perfiladores viajeros, se utilizan termopares unidos directamente sobre el sustrato del circuito, comúnmente utilizando una cinta de aluminio con adhesivo. Esto permite un ajuste para cada número de parte de manera individual, que valida los parámetros obtenidos. Es común la revisión periódica de los perfiles de temperatura en los hornos, para comprobar que estos se mantienen en el tiempo proporcionando información adicional acerca del estado y desempeño de los hornos.

3.2 Descripción del horno continuo de banda que reemplaza hornos por carga.

El calentamiento durante el proceso de curado se logra mediante un horno de convección forzada, también conocido como horno de reflujo. El horno contiene un abanico central que recibe el aire del exterior y lo proyecta sobre una placa con orificios o matriz con boquillas a través de los cuales el aire es forzado. Ver figura 14. El horno contiene entre 3 y 10 zonas de calentamiento de control independiente, para cada zona de calentamiento se cuenta con resistencias eléctricas embebidas en la placa que calientan el aire y lo proyectan directamente hacia abajo donde se encuentra una malla

sobre la que viajan los tableros electrónicos moldeados. Hoy en día, la mayoría de los hornos de curado están diseñados para usar líneas transportadoras dobles, aunque siguen predominando, los hornos con una sola línea transportadora ubicada en una posición asimétrica en el horno. El rendimiento de calentamiento de los hornos de reflujo de convección depende principalmente del diseño de la matriz de boquillas y el coeficiente de transferencia de calor. Los factores que tienen un efecto sobre el desempeño del horno son: el gas utilizado para calentar (aire o nitrógeno), la velocidad de flujo del gas, la densidad del gas, el ángulo de incidencia de las boquillas, la rugosidad y reflectividad de la superficie a calentar. Actualmente los hornos deben resistir temperaturas de trabajo de 400C, con tolerancias de variación de temperatura de $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Sistemas capaces de trabajar de manera continua, sin retrasos significativos por fallas o mantenimientos y la mínima intervención del operador. El tiempo de configuración o cambio de producto se realiza de manera automática y no debe exceder de 5 minutos, desde el encendido hasta que el sistema está listo. El horno debe requerir un máximo de 15 a 20 minutos para pasar de la temperatura ambiente a los valores de temperatura establecidos en el perfil y estabilizarse con una variación máxima de $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

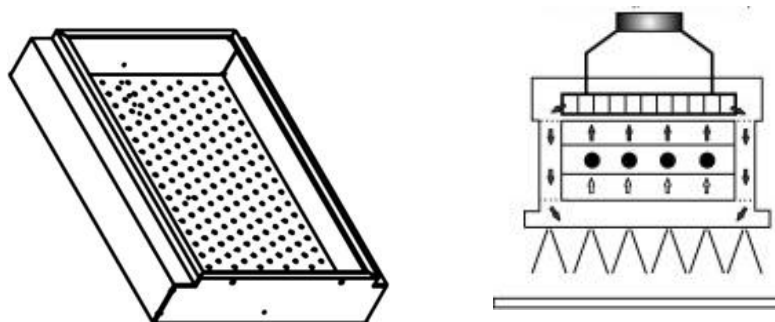


Figura 14. Detalle de matriz de boquillas y diagrama de distribución del aire en horno de convección.

3.3 Caracterización de propiedades de curado de plástico posterior a moldeo.

Al evaluar las propiedades físicas del compuesto de moldeo para piezas encapsuladas se consideraron los siguientes parámetros: 1) Medición del pandeo utilizando sombras de Moiré, 2) Determinar la dureza superficial por método de Vickers como un factor del entrecruzamiento de las cadenas del polímero, 3) Evaluar propiedades higroscópicas o prueba de absorción de humedad en el micromódulo.

3.3.1 Medición de deformación en micromódulo por Franjas de Moiré.

La técnica de Sombras de Moiré, está bien establecida para evaluar el pandeo de los micromódulos. Las mejoras en los equipos han aumentado su utilidad para evaluar fácilmente diversas tecnologías de fabricación a nivel de sustrato, componentes o microcircuito evaluando la deformación respecto al plano. El principio de la técnica, consiste en medir el desplazamiento en la dirección Z fuera del plano, mediante la evaluación de patrones que se forman por la superposición de sombras en un efecto conocido como franjas de Moiré. Un patrón de franjas se genera por la interferencia entre líneas grabadas en forma de rejilla sobre un vidrio, al ser proyectadas sobre la muestra, la deformación producida en las sombras, permite evaluar la deformación en la superficie.

Figura 15. Efecto de Moiré por superposición de sombras.



3.3.2 Determinación de la dureza superficial por método Vickers microindentado.

La prueba de dureza es una prueba de material no destructiva que examina la resistencia que presenta la superficie del compuesto de moldeo contra la penetración de un indentador. La relación entre la fuerza aplicada sobre el indentador y la huella producida por la deformación plástica sobre el material, proporciona un valor de dureza superficial del compuesto de moldeo, mismo que puede relacionarse con el grado de curado o entrecruzamiento de las cadenas del polímero. Para la prueba de dureza de microindentación se usan fuerzas bajas menores a 1 kg. La impresión resultante es muy pequeña, conveniente para el tamaño de los circuitos y solo es visible a través del microscopio. Se utilizan también otros métodos de prueba de dureza diferentes, como Brinell, Knoop y Rockwell. Para las pruebas de dureza Vickers, se utiliza un diamante piramidal como indentador. De acuerdo con el estándar ASTM E384-17, por razones prácticas se miden las diagonales de la indentación en lugar del área de la base. Anteriormente, un método lento y que dependía de la experiencia del operador. Actualmente, se han desarrollado sistemas asistidos por computadora que procesan imágenes en cámaras de alta resolución.

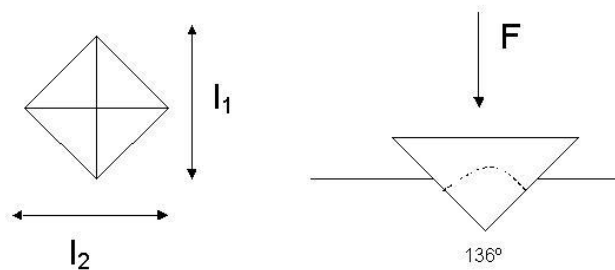


Figura 16. Fuerza sobre indentador y huella dejada sobre el material en dureza Vickers.

3.3.3 Prueba de absorción de humedad en el micromódulo.

Al evaluar el comportamiento de absorción y difusión de humedad en el encapsulado, se obtiene un indicador significativo de la confiabilidad del paquete. El método tradicional para determinar la absorción de humedad se basa en un método de medición de ganancia de peso utilizando con una balanza analítica. El comportamiento de absorción-desorción de la humedad en el circuito se caracterizó in situ en un rango de temperatura de 70 a 80°C, en un ambiente de hasta 80% de humedad relativa. A partir de los resultados experimentales, se determinó la hermeticidad del componente y el nivel de humedad saturada alcanzado.

CAPÍTULO 4. REPORTE Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Minimización de deformación en horno continuo de banda.

4.1.1 Deformación del micromódulo en diferentes etapas de ensamble.

de

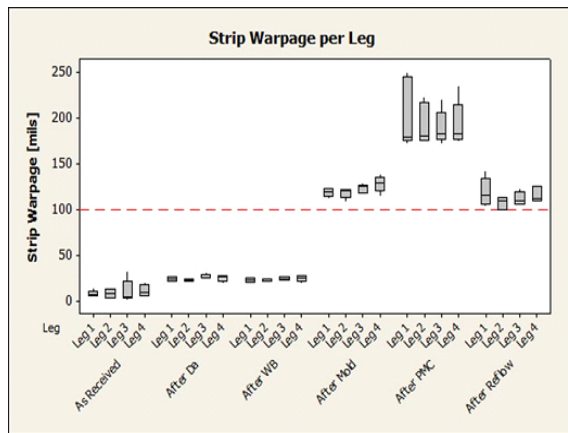
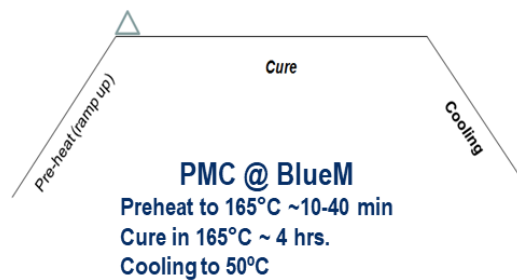


Figura 17. Deformacion por pandeo en procesos ensamble.

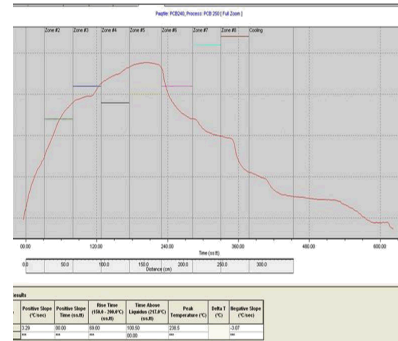
El área de curado posterior a moldeo muestra los más altos niveles de pandeo entre los diferentes procesos de manufactura. El entrecruzamiento de las cadenas durante el curado, es un factor importante al incrementar la hermeticidad del producto. Ocurre al mismo tiempo un encogimiento por el reacomodo de las cadenas y la reticulación, resultando en la deformación del microcircuito.

4.1.2 Perfil típico de curado en horno de carga Blue-M.

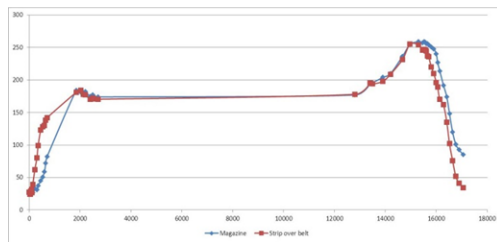


4.1.3 Tratamiento térmico posterior al curado para reducir la deformación del micromódulo. Identificado como reflujo ocurre a 240, 250 y 260°C en un horno de convección Vitronics 1030.

**Pre calentamiento 150-200 °C;
60-120 seg**



4.1.4 Perfil propuesto para horno continuo de banda, integra las operaciones de curado posterior a moldeo y reflujo.



4.1.5 Resultados de parámetros del perfil a diferentes tratamientos con temperatura máxima alcanzada en 230 y 260C.

Profile Parameters	230C Peak	260C Peak
Heating Slope [C/min]	5	5
Preheat. Time [min]	37.7	37
PMC Time [hours]	3.08	2.93
Time to Reflow Peak [min]	35	26
Cooling Slope [C/min]	6.3	5.4

Tabla 3. Parámetros del perfil encontrados a diferentes temperaturas.

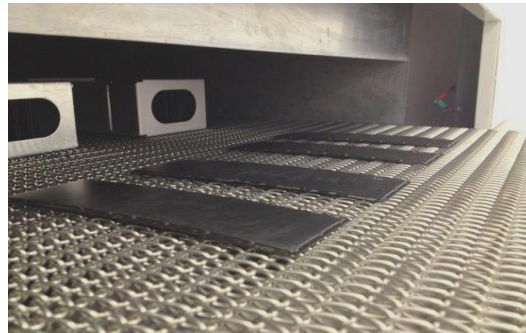


Figura 18. Microcircuitos sobre banda del horno y dentro de magazine (del inglés almacén).

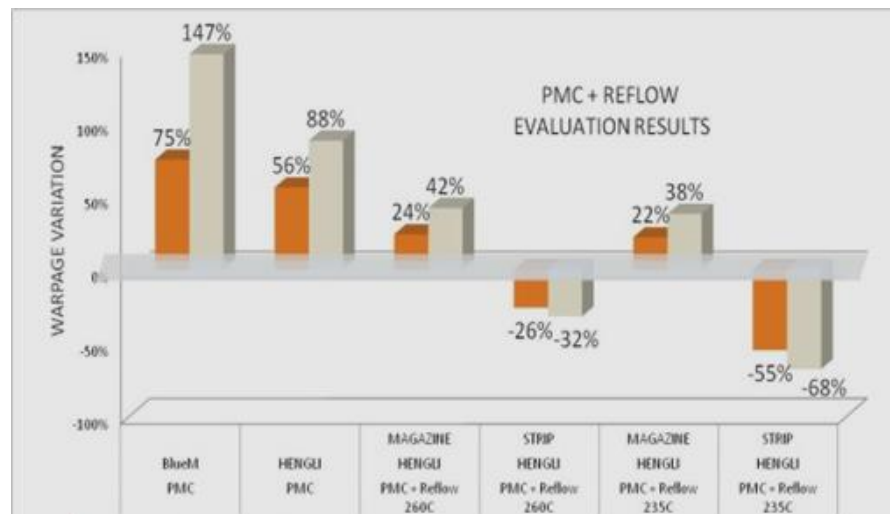


Figura 19. Reducción en el pando de Microcircuitos perfil PMC + Reflujo en el mismo horno.

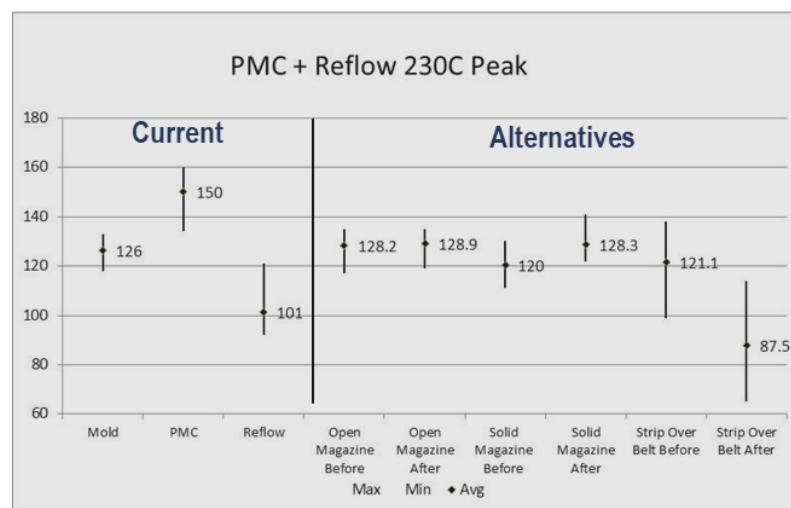


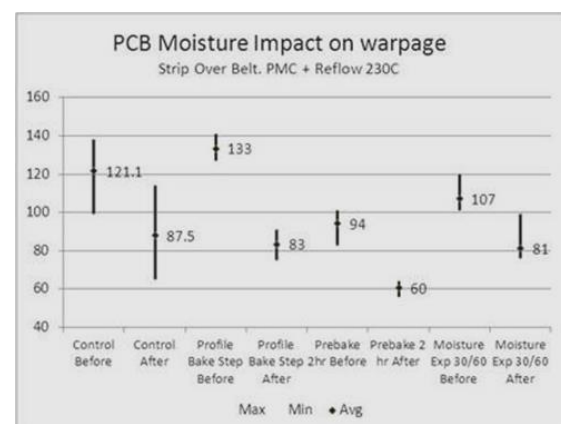
Figura 20. Reducción cuando se colocan directamente sobre la banda los microcircuitos sin magazine.

Existe un ahorro potencial de US\$ 150,000 anuales en energía, hornos, materiales y personas. La propuesta de curar la pieza dentro del mismo horno y relajar el estrés provocado por curado, se ha logrado disminuir hasta en un 50% para una temperatura de 235C. Sin embargo, durante la prueba se rebaso hasta alcanzar 217 segundos el tiempo por encima del líquido, cuando el estándar IPC/JEDEC J-STD-020 de clasificación de sensibilidad a la humedad / reflujo para dispositivos de montaje en superficie de estado sólido no herméticos, se establece como un tiempo entre 60-150 segundos, lo que representa una preocupación por un deterioro en la confiabilidad del producto durante la prueba. Este tiempo no puede ser reducido, ya que la modificación del perfil propuesto incluye solo una zona de calentamiento y el horno al contar con una sola banda no permite ajustes a la velocidad. Sería interesante la posibilidad de construir un horno con una banda en secciones que permita ajustar la velocidad en las diferentes zonas, aumentando las posibilidades de control de proceso.

4.1.5 Resultados del efecto de deformación por humedad en el micromódulo.

Cuando los micromódulos fueron horneados por 2 horas a 125°C para eliminar la humedad se presentó de manera consistente una deformación mínima en los diferentes tratamientos. La exposición al ambiente de producción del material en proceso acumula humedad, por lo que se recomienda el uso de gabinetes con atmosfera de nitrógeno.

Figura 21. Reducción en el pandeo al minimizar por horneado la humedad de Microcircuitos.



4.1.5 Análisis de Resultados.

El horno de banda continua ayudará con el alabeo en PMC con una reducción del 30% respecto del horno de carga. Sin embargo, el alabeo en PMC sigue siendo el más alto en la línea.

Los resultados del experimento usando el horno de banda continua mostraron que los tratamientos térmicos posteriores a moldeo se pueden integrar como una sola operación en este horno, aun cuando falta resolver limitaciones encontradas en las capacidades del horno. Fue posible reducir la deformación en un 30% respecto de moldeo, solo cuando los micromódulos fueron colocados directamente sobre la banda y se evitó el uso de los magazines. En una muestra de 200 magazines, el 85% de los revisados, también presentó una deformación haciendo más estrechas las cavidades hacia media altura y abajo, ya que estos transportan el material dentro del horno. Este efecto estresa los micromódulos y aunque se mantienen con una deformación similar a moldeo, no permite se reduzca a un nivel mínimo encontrado. Se propone rediseñar el magazine aumentando la apertura en las cavidades para dejar libre el sustrato, en el detalle de diseño, ver figura 22. La apertura actual es 50 milésimas de pulgada o 1.27 milímetros. En un primer intento se pretende modificar la apertura hasta 70 milésimas, cuando el espacio total disponible es de 160 milésimas de pulgada o 4 milímetros.

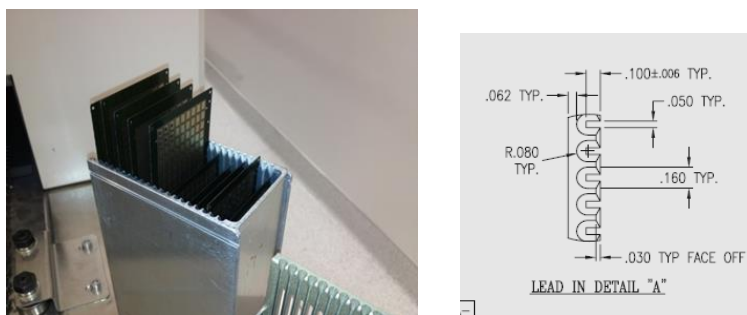


Figura 22. Deformación del magazine no permite relajar tableros. Detalle de fabricación del magazine.

4.2 Caracterización de las propiedades del plástico de moldeo para validar una reducción en el tiempo de curado posterior al moldeo.

4.2.1 Resultados de las propiedades del plástico de moldeo del análisis de termogravimetría y calorimetría diferencial.

Los resultados del análisis permitieron identificar una temperatura de transición vítrea, T_g entre 163.4 - 178.7 C. Cuando el material rebasa esta temperatura, libera esfuerzos y elimina la deformación.

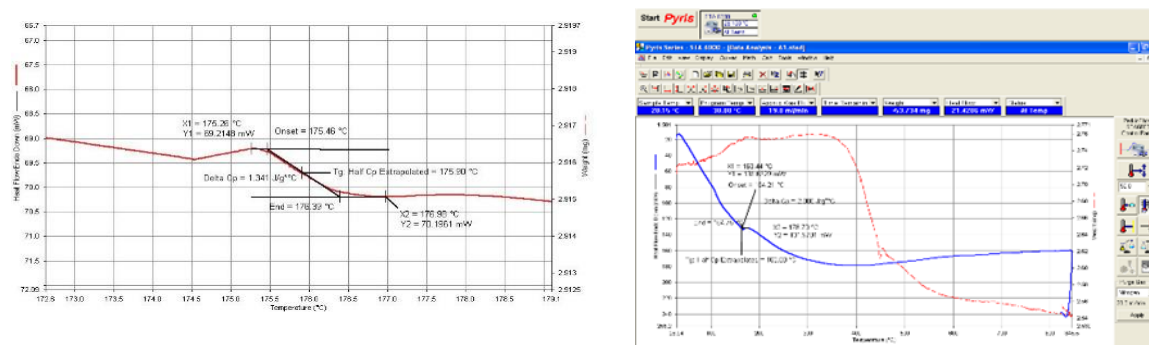


Figura 23. Resultados de TMA-DSC termogravimetría y calorimetría diferencial. Perkin Elmer STA6000.

4.2.2 Resultados de las propiedades del plástico de moldeo en curado posterior a moldeo.

Se analizaron dos proveedores de plástico para moldeo con diferentes comportamientos. Para HF-36C el aumento en la temperatura activa el entrecruzamiento de cadenas, provoca un aumento en la dureza superficial. Por otro lado, SK-31C cura más rápido, pero las lecturas de dureza solo aumentaron ligeramente para los diferentes tratamientos mostrando que se ha alcanzado un curado más completo.

La prueba de microdureza reportada como Vickers para HF-36C mostró un curado incompleto para un proceso a 165°C por 2-hr. Sin embargo, los resultados para un curado a 185°C por 2-Hr, muestran resultados de dureza superiores a los actuales, con riesgo de obtener un plástico quebradizo, donde se observaron pequeñas grietas en la superficie.

Fue posible obtener resultados de deformación que se redujeron por debajo de 100 milésimas de pulgada para micromódulos delgados con espesores de 0,3 mm y 0,42 mm, para un curado a 180°C por 2 h, con una dureza muy similar a la actual. Sin embargo, siguiendo el proceso actual, al realizar reflujo a 260°C, dio como resultado formas complejas de alabeo complicando los sistemas de retención por vacío en los equipos de operaciones posteriores. Existiendo la posibilidad de eliminar la operación de reflujo ya que la deformación se encuentra por debajo de 100 milésimas de pulgada o 2.54 milímetros.

Pruebas de absorción de humedad a 80C y 80% de humedad relativa, durante 24 horas, para comprobar la hermeticidad, mostraron que solo SK-31C no alcanza a curar 165C por 2 h. Ya que la especificación, señala un rechazo cuando la ganancia de humedad durante la prueba está entre 0.15 a 0.25%w. Aunque los resultados se mantuvieron muy cerca de limite bajo en 0.1484%. Para todos los demás tratamientos la ganancia de humedad durante la prueba fue menor al 0.05% comprobando una buena hermeticidad alcanzada por el curado.

	Sumitomo	Warpage (mils)	Hardness (vickers)
	Before PMC	105	
DOE 1	POR 165C, 4-hr	121-145 (+38%)	403
	185C, 2-hr EME770HF, 0.3 mm	80-90 (-20%)	499
DOE 2	180C, 2-hr EME770HF, 0.42 mm	90 (-16%)	414
	180C, 2-hr EME770HF, 0.30 mm	80-90 (-20%)	420

Tabla 4. Resultados de pandeo y dureza al modificar parámetros de curado.

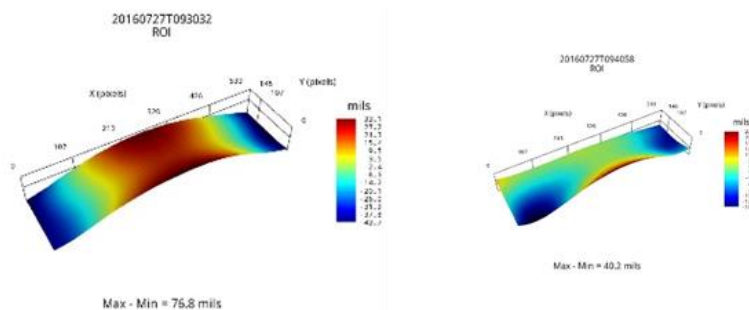


Figura 24. Disminución del pandeo en curado a 180°C por 2 horas y reflujo posterior a 260°C.

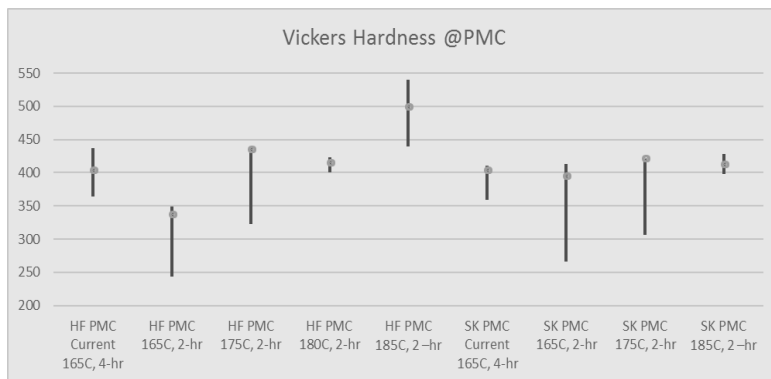


Figura 25. Resultados de dureza superficial reportado Vickers en los diferentes tratamientos.

MOISTURE Absorption, %W	HF- Sumitomo	SK-Hitachi
PMC 165C, 4-hr	0.0470	0.0448
PMC 165C, 2-hr	0.0429	0.1484
PMC 175C, 2-hr	0.0443	0.0567

Tabla 5. Resultados de absorción de humedad al modificar parámetros de curado. Especificación de humedad ganada durante la prueba a 80°C y 80% RH por proveedor de HF-36C Max 0.15 a 0.25% w.

La deformación más alta en curado podría reducirse a menos de 100 milésimas de pulgada o 2.54 milímetros, permitiendo eliminar la operación de reflujo y modificar los parámetros actuales del proceso de 165°C por 4 horas a 180°C por 2 horas. Una reducción en el tiempo de ciclo de curado posterior a moldeo, con parámetros de temperatura y tiempo todavía dentro de las especificaciones declaradas por el proveedor del plástico para HF-36C. La especificación del proveedor es 170 -180°C, de 2 a 8 horas. Los resultados de las propiedades evaluadas del plástico permiten confirmar que el curado alcanzado es adecuado.

Se revisó la posibilidad de encontrar un plástico de moldeo alternativo, que incluyera curado rápido, pero son difíciles de encontrar ya que los criterios de selección son estrechos en base a la precisión dimensional, un mejor nivel de MSL de resistencia a la humedad, libre de halógenos y un mayor contenido de relleno. Sin embargo, el último producto del proveedor de HF, reduce el tamaño del relleno de 55 a 20 micras y tiene como objetivo presentar una menor deformación y un mejor flujo durante el llenado, aunque no estuvo disponible para su evaluación en este trabajo.

Los beneficios esperados con esta modificación permitirán al proceso una reducción del tiempo de ciclo de 4.6 a 2.6 h. o 43%. Se presenta también como: 1) Una nueva estrategia de reducción de la deformación del micromódulo por curado, 2) La potencial eliminación de la operación de reflujo, 3) Aumentar el rendimiento de manufactura en prueba y singulado, 4) Permite la construcción y una suave transición hacia nuevos productos con espesores reducidos de plástico hasta de 0.2 milímetros

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El objetivo de realizar el presente trabajo a fin de revisar de manera sistemática las posibilidades para la mejora en la fabricación de microcircuitos, nos ha mostrado que aun cuando la selección de los materiales se ha mantenido con pocos cambios en el tiempo, en un ambiente de acelerado cambio, que todavía sigue la Ley de Moore. Es importante contar y aplicar la metrología, que nos permita evaluar propiedades críticas y conocer a fondo de los materiales para encontrar oportunidades en los procesos.

Aunque algunas de las soluciones encontradas se ven limitadas por la capacidad de los equipos. Se abre la oportunidad de aplicar una tecnología existente que nos permita llevar el control de proceso al nivel requerido por la exigencia y complejidad de los nuevos productos. Fue posible minimizar la deformación por pandeo en los microcircuitos. En dos formas distintas en la misma operación, curado posterior a moldeo, la operación más importante donde se incrementa significativamente el pandeo en el microcircuito: 1) Se incorpora un horno de banda continuo que realiza dos operaciones en el mismo ciclo, curado y reducción del estrés por relajación. 2) Se modifican los parámetros del curado, aumentando la temperatura y reduciendo el tiempo en casi un 50%. En ambos casos se demuestra como válida la hipótesis propuesta, que dice “La deformación por curvatura o pandeo en el micromódulo, puede ser minimizada por tratamiento térmico que permite liberar el estrés termomecánico, a través de la caracterización y control de propiedades del plástico en los diferentes procesos”.

Los nuevos parámetros de curado y detalles encontrados en la operación, mejoran la calidad, manufactura y confiabilidad del micromódulo. Permiten una transición más suave hacia la miniaturización, con circuitos más delgados de hasta 0,2 mm de espesor. Se mantienen las propiedades críticas y mejoran los rendimientos, sin detrimento de prueba eléctrica y/o funcional.

BIBLIOGRAFIA.

- [1] Nelson, R. The Link Between Science and Invention: The Case of the Transistor. Universities-National Bureau Committee for Economic Research, Committee on Economic Growth of the Social Science Research Council. Princeton University Press. pp. 549 – 584. USA, 1962. ISBN: 0-87014-304-2
- [2] Mack, C.A., Fifty Years of Moore's Law. IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Semiconductor Manufacturing, IEEE Transactions on, IEEE Trans. Semicond. Manufact. USA, 2, 202, 2011. ISSN: 1558-2345.
- [3] Malshe, A.P., Singh, S.B., Eaton, W.P., O'Neal, C., Brown, W.D., & Miller, W.M. Challenges in the Packaging of MEMS. The International Journal of Microcircuits and Electronic Packaging. United States. 1999.
- [4] Jiang G., Diao L., Kuang K. Advanced Thermal Management Materials. Book. Springer 2013.
- [5] Harper, C. Electronic Packaging and Interconnection Handbook. Book. McGraw-Hill, Inc., USA. 2005. ISBN:0071430482 9780071430487
- [6] Massimo, G. (2012). The Age of Vacuum Tubes: Early Devices and the Rise of Radio Communications [Historical]. IEEE Industrial Electronics Magazine - IEEE IND ELECTRON MAG. 6. 41-43. 10.1109/MIE.2012.2182822.
- [7] Yoon S.W., Petrov B., Liu K. Advanced wafer level technology: Enabling innovations in mobile, IoT and wearable electronics. IEEE 17th Electronics Packaging and Technology Conference (EPTC). 2015

- [8] Sounak Banerji, P. Markondeya Raj, Swapan Bhattacharya, and Rao R. Tummala. Warpage-Induced Lithographic of FR-4 and the need for Novel Board Materials for Future Microvia and Global Interconnect Needs. IEEE Transactions on Advanced Packaging, Vol. 28, No. 1. February 2005. Pages 102-113.
- [9] I. Szendiuch, Development in electronic packaging – moving to 3D system configuration. Radio Engineering, Vol. 20, No. 1, April 2011
- [10] Swapan K. Battacharya, I. Charles Ume, and Anh X. H. Dang. Warpage Measurement of Large Area Multi-tilted Silicon Substrates at Various Processing Conditions. IEE Transactions on components and packaging technology, Vol 23, No. 3, September 2000. Pages 497-504.
- [11] Ananth Srivatsav Halvi, Wonkee Ahn and Dereje Agonafer. Simulation of PWB warpage During Fabrication and Due to Reflow. IEEE 2004 Inter Society Conference on Thermal Performance. ISBN 0-7803-8357-5/04. Pages 674-678.
- [12] Elisa Huang, Trent Thompson, Scott Chen. Thin Mold Array Package Warpage Control Study. IEEE/CPMT International Electronics Manufacturing Technology Symposium. ISBN 0-7803-5502-4/99. Pages 223-229.
- [13] P. Hutapea, J. L. Grenestedt, “Reducing Warpage of Microelectronic Substrates by Modifying Electric Artworks,” submitted, Applied Physics Letter, 2005.

- [14] P. Hutapea, J. L. Grenestedt, "Reducing Warpage of Printed Circuit Boards using Wavy Traces," ASME Journal of Electronic Packaging, Vol. 126, No. 3, pp. 282-287, 2004.
- [15] J. L. Grenestedt, P. Hutapea, "Influence of Electric Artwork on Thermo mechanical Properties and Warpage of Printed Circuit Boards," Journal of Applied Physics, 94(1), pp. 686-696, 2003.
- [16] J. L. Grenestedt, P. Hutapea, "Influence of Electric Artwork on Thermomechanical Properties and Warpage of Printed Circuit Boards," Journal of Applied Physics, 94(1), pp. 686-696, 2003.
- [17] A. Scandurra, R. Zafarana, Y. Tenya, S. Pignataro, "Chemistry of green encapsulating holding compound at interfaces with other materials in electronic devices. Applied surface science 235 (2004) pp. 65-72
- [18] Irving Y. Chien, Jack Zhanj, Lou Rector, Michael Todd, "Low warpage molding compound development for array packages". Henkel Electronics group. Global SMT & Packaging, pp 30-35, Jan 2007.
- [19] Charles Arthur Harper. High Performance Printed Circuit Board. Mc-Graw Hill Profesional. 2000. ISBN 007026138
- [20] Michael G. Petcht. Handbook of Electronic Package Design. CRC press. 1991. ISBN 0824779215
- [21] Krishan K. Chawla. Composite Materials. Science and Engineering. Sringer. ISBN 0-387-98409-7.
- [22] Colin A. Walker. Handbook of Moiré Measurements. CRC Press. 2004. ISBN 0750305223.

- [23] Y. Wang & P. Hazle. Measurement of a Thermally induced deformation of a BGA using phase stepping Moiré. Experimental/Numer. Mech. Electrón. Packag. Vol. 2. pp 32-39. 1998.
- [24] A. Dang, I.C. Ume & S.K. Bhattacharya. A study on warpage of flexible ss substrate for large area MCM-D packaging". ASME J. Electro. Packag. Vol 122. pp 86-91. June 2000.
- [25] Liao, J.E.A. and Voloshin, A.S. Enhancement of the Shadow Moiré Method through digital image processing. Experimental Mechanics, Vol. 33. pp 59-63. (1993).
- [26] Jang, B.Z. Advance polymer composites: Principles & applications. ASM International, 1994.
- [27] Illés B., Harsányi G., Heating characteristics of convection reflow ovens. Applied Thermal Engineering. 29 (2009) 2166-2171. Science Direct.
- [28] K.M.B. Jansem, M. Hawryluk, P. Gromala. Cure dependent characterization of moulding compounds. 12th International conference on thermal, mechanical and multiphysics simulation and experiments in microelectronics. IEEE. 2011. ISBN 978-1-4577-0106-1
- [29] R.E. Powell, C. Ume, Development of warpage measurements system to simulate convective solder reflow process. IEEE transactions on electronics packaging manufacturing, Vol. 31, No. 1, January 2008.
- [30] Y.S. Ng, W.K. Hooi., FTIR Method to Distinguish Mold Compound Types and Identify the Presence of Post-Mold-Cure (PMC) Treatment on Electronic Packaging. 9th Electronics Packaging Technology Conference. IEEE 2007.

- [31] J. de Vreugd, A. Sánchez, K.M.B. Jansen, L.J. Ernst, Effect of Postcure and Thermal Aging on Molding Compound Properties. 11th Electronics Packaging Technology Conference. IEEE. 2009.
- [32] S. Yi, P.D. Daharwal, Y.J. Lee, B.R. Harkness, Study of Low-modulus Die Attach Adhesives and Molding Compounds on Warpage and Damage of PBGA. Electronic Components and Technology Conference. IEEE 2006.
- [33] K.M.B. Jansen, C. Qian, L.J. Ernst, C. Bohm, A. Kessler, H. Preu, M. Stecher, Characterization and modeling of molding compound properties during cure. 9th. Int. Conf. on Thermal, Mechanical and Multiphysics Simulation and Experiments in Micro-Electronics and Micro-Systems, EuroSimE. IEEE 2008.
- [34] T. Ahsan, H. Tang, Mold Compound Properties for Low Warpage Array Packages. 10th' Electronics Packaging Technology Conference. IEEE 2008.
- J. de Vreugd, K.M.B. Jansen, L.J. Ernst, C. Bohm, A. Kessler, H. Preu, Effects of Molding Compound Cure on Warpage of Electronic Packages. Henkel. 10th Electronics Packaging Technology Conference. IEEE 2008.
- [35] S. Chew, A. Tan, Evaluating the Influence of Post-Mould Cure and Additives on the Viscoelastic Properties of a Low Stress Epoxy Mould Compound. IEEE Transactions on electronics packaging manufacturing, Vol. 26, No. 3, July 2003
- [36] R. D. Mosbarger, D. J. Hickey, The Effects of Materials and Post-Mold Profiles on Plastic Encapsulated Integrated Circuits, IEEE 1994.

- [37] W. Lin, J.H. Na, Amkor, A Novel Method for Strip Level Warpage Simulation of PoP Package During Assembly. Electronic Components and Technology Conference. IEEE 2010.
- [38] J. de Vreugd, A. Sánchez, K.M.B. Jansen, L.J. Ernst, C. Bohm, A. Kessler, H. Preu, Effect of Postcure and Thermal Aging on Molding Compound Properties. 11th Electronics Packaging Technology Conference. IEEE 2009.
- [39] A. Maier, A. Uhl, Robust Automatic Indentation Localization and Size Approximation for Vickers Microindentation Hardness Indentations. 7th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis ISPA 2011. Croatia.
- [40] Standard IPC-HDBK-850. Guidelines for Design, Selection and Application of Potting Materials and encapsulation Processes Used for Electronics Printed Circuit Board Assembly. 2012.
- [41] J. P. Pascault, R. J. J. Williams. Epoxy Polymers. Copyright © 2010 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim ISBN: 978-3-527-32480-4
- [42] Y. H., X. Fan, Intel, In-situ Characterization of Moisture Absorption and Desorption in a Thin BT Core Substrate. Electronic Components and Technology Conference. IEEE 2007.
- [43] A. Teverovsky, Moisture Characteristics of Molding Compounds in PEMs, NASA Electronic Parts and Packaging Program NEPP. 2002.
- [44] Y. Wang, Thesis. Integrated Measurement Technique to Measure Curing Process-dependent Mechanical and Thermal Properties of Polymeric Materials Using Fiber Bragg Grating Sensors. 2009.

ANEXOS

ANEXO A. Akrometrix – Thermoiré PS400 equipo y medición de deformación por sombras de Moiré.

El equipo es un sistema de medición automático de búsqueda en pasos que caracteriza el desplazamiento respecto a un plano para un espécimen dado. El equipo incluye una cámara de calentamiento que permite simular el comportamiento de la muestra bajo diferentes ciclos de temperatura. Además de electrónicos, ópticos, una computadora con software para el análisis, gabinete que permite acomodar muestras tan grandes como 400 x 400 mm. El calentamiento en la cámara se realiza por radiación infrarroja usando Cuarzo como elemento térmico. La cámara es capaz de mantener la temperatura entre 22°C (ambiente) y 300°C (temperatura máxima en este trabajo). Utiliza una fuente de alimentación de 220 VAC a 50/60 Hz y un fusible funciona como un sistema de seguridad por sobrecalentamiento.

Los ópticos son la parte central del sistema, una cámara CCD con resolución de 640x480 líneas obtiene la imagen a ser analizada. Un lente de 12.5 mm permite muestras tan grandes como 400 x 400 mm, mientras que un lente de 50 mm permite muestras menores a 100 x 100 mm. Dos fuentes de luz, con un arreglo de fibra óptica para dirigir la luz hacia la muestra. El foco puede ser remplazado dependiendo en la intensidad seleccionada, se espera una vida de al menos 1000 hrs. Para lograr el efecto de sombra Moiré se utiliza una rejilla de vidrio grabado con 100 líneas por pulgada. Esta también disponible una rejilla con 300 líneas por pulgada, para alcanzar una mejor resolución con especímenes pequeños. Codificadores rotatorios mueven lentamente los

ópticos en dos ejes, con una precisión lineal de 20 milésimas de pulgada o 0.5 mm, para una alta precisión en la medición del pandeo.

El análisis de la computadora adquiere y procesa la imagen, entregando información visual muy completa acerca de la deformación para cada punto en el substrato. El software permite al usuario introducir perfiles de calentamiento y definir los puntos de temperatura para realizar mediciones. El sistema carga la receta definida por el usuario y automáticamente colecta y guarda los datos para su análisis posterior.

Capacidad de medición:

Tamaño de la muestra 400 x 400 mm máximo.

Campo de visión 400 x 400 mm con un lente de 12.5 mm y 100 x 100 mm con un lente de 50 mm.

Resolución = +/- 2.5 micrómetros.

Repetitividad = +/- 2.5 micrómetros.

Precisión = Mayor de +/- 2.5 micrómetros. o +/- 3% el valor de la medición.

La especificación es relativa a la altura o coplanaridad en la muestra proporcionada por Akrometrix con alto contraste, reflectividad uniforme, superficie continua usando la rejilla con 100 líneas por pulgada. Estos valores pueden cambiar con las propiedades ópticas de la muestra y deberán ser confirmados.

Requerimientos Ópticos:

Cámara de media pulgada con arreglo CCD 768 (H) x 494 (V)

Lentes fijos con Montura tipo C y filtro de IR de 12.5 y 50 mm.

Iluminación de 250 w; lámpara de Halógeno VAC y línea de fibra óptica de 12 pulgadas (305 mm)

Captura de Imagen basada en PCI Bus.

Tamaño de la Celda 8.4 x 9.8 micrómetros

Área de la regla para sombreado de 400 x 400 mm y con un grabado de 100 o 300 líneas por pulgada, con una variación de +/- 5%.

Cámara de Calentamiento.

Temperatura de trabajo de 25 a 300°C

Pendiente de Calentamiento 1°C/segundo de 25 a 250°C, o mayor.

Pendiente de Enfriamiento 1°C/segundo de 250 a 100°C o mayor

Dos canales de colección de temperatura, Medición automática, Posible introducir retrasos o pausas, datos del perfil disponibles en tablas o gráfica.

Nota: Factores como la masa, capacidad térmica, y emisividad deberán ser confirmados al cambiar la muestra. 15 elementos térmicos de Cuarzo proporcionan un total de 6000 watt de calentamiento. Hasta 8 termopares de trabajo unidos a la muestra y registrando temperatura por zonas.

Software de Análisis.

La capacidad del software consiste en identificar el corrimiento de la sombra y la generación automática de la matriz de desplazamiento, graficando en 3D y el contorno en 2D. El mapeo del sustrato esta basado en una interfase visual Basic y la versión es Thermoire TM2000. Las imágenes se guardan como figuras en formato Bitmap y JPG.

Electrónicos.

Control de Temperatura

Control por sobre calentamiento

Interruptor de seguridad

Soplador con control de velocidad

Extractor con control de velocidad

Reporte de Datos.

Calculo de arco, torcedura y coplanaridad. Compensación de la retícula. Los Datos se guardan en formato de texto.

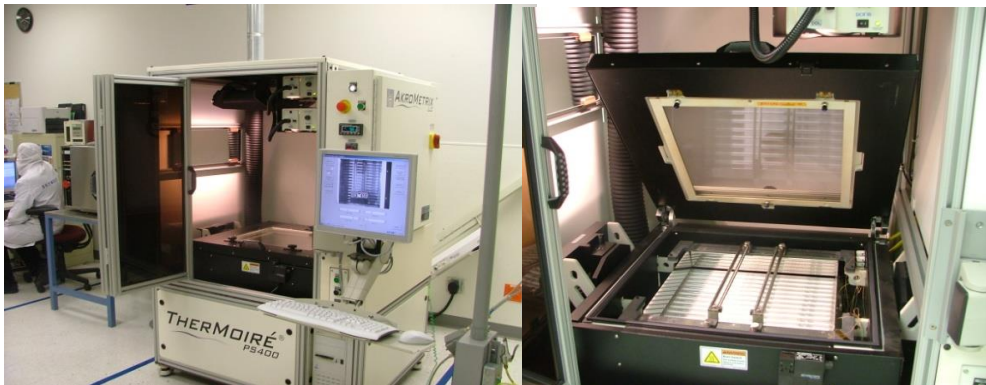


Figura 26 Equipo Thermoire Akrometrix PS400.

ANEXO B. Análisis de propiedades de materiales poliméricos por TMA-DSC termogravimetría y calorimetría diferencial. Perkin Elmer STA6000.

El equipo Perkin Elmer STA6000 permite analizar características y propiedades en los polímeros para poder establecer un proceso robusto que entrega una calidad constante. La calorimetría de barrido diferencial (DSC) permite analizar el comportamiento térmico de los epóxicos. Las mediciones proporcionan información sobre la transición vítrea T_g , la temperatura de inicio de la reacción de curado, el calor de curado y la temperatura final del proceso. La temperatura de transición vítrea T_g es una buena medición del grado de entrecruzamiento alcanzado en el curado. Es posible determinar la ventana de proceso para tipo de compuesto de moldeo al graficar la T_g alcanzada respecto al tiempo de curado a diferentes temperaturas de curado.

El Análisis termogravimétrico (TGA) representa una herramienta de apoyo en selección de materiales. Usando una microbalanza es posible detectar cambios de peso muy pequeños, que sirven para medir propiedades como desgasificación y estabilidad térmica. El Análisis térmico mecánico TMA mide con precisión los cambios dimensionales en un material cuando el material está sujeto a un rango de temperatura. Para un sistema de curado es posible conocer el coeficiente de expansión térmica (CTE) y la temperatura de transición vítrea en el compuesto de moldeo.

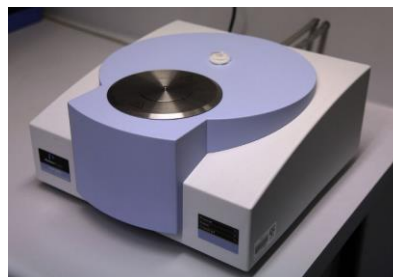


Figura 27. Equipo Perkin Elmer STA6000 DCS-TMA.

ANEXO C. Equipo portátil de Medición de dureza por método Leeb

La determinación de la dureza por el método Leeb se define por el estándar ASTM A956. Es un método de prueba dinámico que relaciona la velocidad de rebote a la velocidad de impacto de un cuerpo en movimiento, se usa para determinar la dureza de una superficie. La prueba Leeb es una versión electrónica moderna de la medición de dureza Shore que utiliza el escleroscopio. Un dispositivo que mide la altura de rebote de un pequeño impactador que cae por su propio peso desde una altura definida sobre la superficie de la pieza a prueba. El instrumento indica automáticamente la altura de rebote. Cuanto mayor sea la altura alcanzada en el rebote, mayor será el resultado de dureza.

El moderno equipo portátil utiliza como impactador una esfera de carburo que es impulsada por un resorte en lugar de gravedad. Un sensor electrónico mide la velocidad del impactador a medida que se acerca y aleja de la superficie de la muestra. El valor Leeb es la velocidad de rebote del impactador dividida por la velocidad del impacto multiplicada por 1000. El resultado es una dureza Leeb de 0 a 1000 y puede relacionarse directamente con otras escalas de dureza, como Rockwell y Vickers.



Figura 28. Equipo medidor de dureza portátil EPX5500.

ANEXO D. Moldex 3D Software de simulación de pandeo

Compatible con plataforma de Solidworks, permite visualizar, validar y optimizar el diseño de partes y moldes en simulaciones de 3d. Puede minimizar el tiempo de diseño, innovación, costo y desarrollo de productos en moldeo por inyección o compresión. Incluye librería relacionada específicamente con diferentes componentes en circuitos integrados que se integran al análisis, aunque la posibilidad de duplicar la complejidad de algunos circuitos y el grado de detalle no fueron revisados en la elaboración de este trabajo.

El software evalúa la posibilidad de fabricación, al permitir visualizar condiciones de flujo de plástico y temperatura, presión, volumen, tiempo de inyección para optimizar condiciones de proceso, resolución de problemas y predecir defectos como llenado incompleto, líneas frías, orientación de las fibras y pandeo.

Además, permite el análisis de llenado a través de múltiples puertos de inyección, múltiples cavidades, balanceo de flujo, líneas de enfriamiento del molde y generar un reporte electrónico con los resultados encontrados.

El software incluye apoyos con el uso ventanas, ayuda guiada, donde por medio de preguntas programadas, el software realiza tareas complejas y la función CAE o ingeniería asistida por computadora.

El reporte de resultados de la simulación. Shell o Modelo de superficie basado en un sólido.

Incluye la siguiente información:

1. Introducción del modelo
2. Información del material
3. Condiciones del proceso
4. Resumen de resultados de parámetros
5. Resultados de la simulación

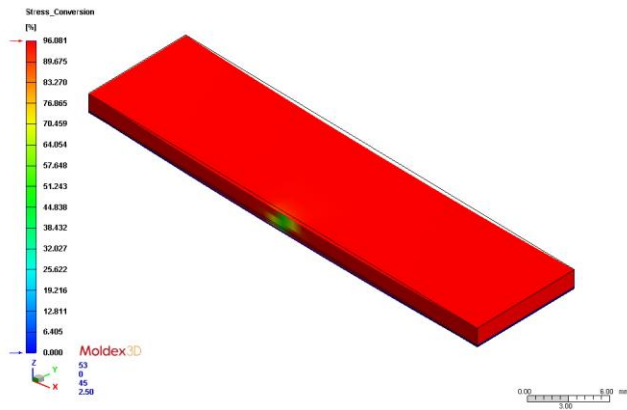


Figura 29. Ejemplo de pandeo usando Moldex3D. La zona roja indica que la mayor parte de la pieza tiene un 96% de enlaces cruzados como resultado del curado.

ANEXO E. Evidencia de publicaciones y vinculación con la industria derivada de la tesis.

1. Reducción de deformación por pandeo en microcircuitos electrónicos por tratamiento térmico. L. Vargas, E. Cabrera, B. Valdez, A. Oliveros. Revista de Tecnología e Innovación. Ecorfan Bolivia, junio 2015, Vol. 2 No. 3 pp 538-548. Certificado Publico de Derechos de Autor registro 03-2015-091813185400-01.
https://ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Tecnologia_e_innovacion/vol2num3/Revista-de-Tecnologia-e-Innovacion-vol-3-206-216.pdf
2. Remoción de plástico para blindaje electromagnético en microcircuitos electrónicos. L. Vargas, E. Cabrera, B. Valdez, A. Oliveros, R. Ibarra. Ciencia de la Ingeniería y Tecnología. Handbook T-VII. Ecorfan. Septiembre 2014.
<http://www.ecorfan.org/handbooks/Ciencias%20de%20la%20Ingenieria%20y%20Tecnologia%20T-VII/ARTICULO%2010.pdf>
3. Investigación y desarrollo tecnológico de materiales poliméricos. E. Cabrera, L. Vargas, J. Anguiano, C. Sánchez. Revista de Desarrollo Tecnológico. Ecorfan España. Diciembre 2017 Vol. 1 No.4 pp 2026.
http://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Desarrollo_Tecnologico/vol1num4/Revista_del_Desarrollo_Tecnologico_V1_N4_3.pdf
4. Warpage Elimination. L. Vargas, E. Cabrera, V. Morales, S. Huerta, E. Vidales. Verano Científico 2016. CISEM. Skyworks.
5. Characterization mold compound states properties on PMC. E. Cabrera, M. Flores, E. Vidales. Verano Científico 2016. CISEM. Skyworks
6. New Formulation cleaner to mold tooling feasibility. E. Cabrera, G. Wong. Verano Científico 2017. CISEM. Skyworks.

Reducción de deformación por pandeo en microcircuitos electrónicos por tratamiento térmico

VARGAS-Lidia[†], CABRERA-Eduardo, VALDEZ-Benjamín^{*} & OLIVEROS-Amparo^{*}

Universidad Politécnica de Baja California, Calle de la claridad S/N, Col. Plutarco Elías Calles, CP. 21376. Mexicali, Baja California. México.

^{}Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ingeniería, Blvd. Benito Juárez y calle de la Normal s/n Col. Insurgentes Este. CP. 21280, Mexicali, Baja California. México.*

Recibido 28 de Abril, 2015; Aceptado 9 de Junio, 2015

Resumen

El proceso de ensamble y empaquetamiento de microcircuitos semiconductores involucra estrés mecánico residual producto de la diferencia en el coeficiente de expansión térmica CTE para los diferentes materiales que forman el microcircuito, combinado con efectos como una limitante importante en el ensamble y prueba de microcircuitos. La modificación al proceso fue validada por pruebas de confiabilidad, donde se demostró que aún con un tratamiento térmico adicional, el cliente conserva oportunidades de reflujo adicionales, tal y como se establece en la descripción del producto. Al reducir la deformación por pandeo de los microcircuitos, la operación de prueba mejoró en el rendimiento por lote. Así como, los indicadores de utilización del equipo.

Semiconductores, ensamble y prueba, pandeo, tratamientos térmicos

Abstract

The process of packaging and test of semiconductor chips involves conditions of high pressure and temperature that induce warpage. Residual mechanical stress resulting from the difference in the coefficient of thermal expansion CTE for the different materials forming the chip, combined with thermomechanical effects recognized limiting the assembly and testing of microcircuits. Shadow Moiré method was used to measure by light inference without contact and complete information about the surface warpage at different temperatures. An alternative is presented by heat treatment that reduces warpage. The modification process was validated by reliability test showing that even with this additional heat treatment, the client retains additional opportunities of reflux, as stated in the product. Test operations improved yield and indicators of equipment utilization and as warpage was reduced on microcircuits.

Semiconductor packaging and test, warpage, thermal treatments

Citación: VARGAS-Lidia, CABRERA-Eduardo, VALDEZ-Benjamín & OLIVEROS-Amparo. Reducción de deformación por pandeo en microcircuitos electrónicos por tratamiento térmico. Revista de Tecnología e Innovación 2015, 2-3:538-548

[†] Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Las tendencias en el empaquetamiento de microcircuitos electrónicos incluyen: 1) Continuar la miniaturización, 2) Circuitos multifunción o sistemas. 3) Incrementar el número de capas en el laminado, 4 a 8 capas. 4) Líneas y micro vías ultra delgadas, 5-15 μm . 5) Alta densidad de componentes, reduciendo la distancia entre ellos y el tamaño de los mismos. [1]. Como se muestra en la figura 1, se ha encontrado que la deformación por pandeo representa un problema para el ensamble desde la oblea de silicio, en las etapas de rebajado de espesor, esta operación se realiza en frío para minimizarlo. Al igual que falla de circuitos BGA presentando fallas en campo o muerte prematura. [3].

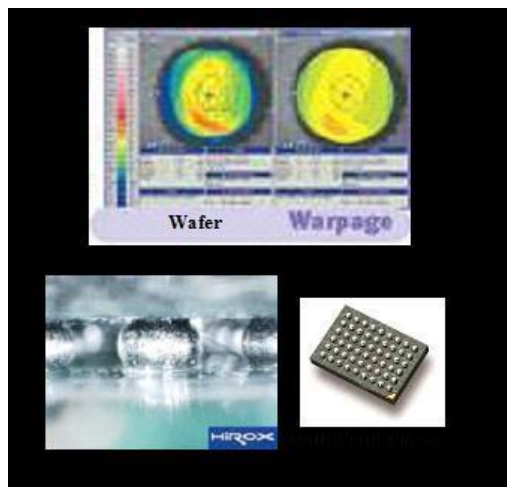


Figura 1 Problemas de ensamble relacionados con pandeo en la oblea de silicio o de contacto en los circuitos BGA.

Obtener y mantener sustratos razonablemente planos resulta crítico para el éxito de la mayoría de las operaciones de ensamble, limitando la capacidad de la manufactura en: Montaje de componentes, pegado de dados, alambrado, moldeo, cortado y prueba. La deformación por pandeo es inducida principalmente en los procesos de curado y enfriado de resinas, como el plástico de moldeo y adhesivos. Una vez que se alcanza el punto de gel, los componentes son unidos en una red interconectada del polímero y no se pueden expandir o contraer libremente. Las diferencias en la contracción química o los coeficientes de expansión térmica pueden causar deformación. El pandeo depende de la geometría y las propiedades de los componentes del paquete, así como las condiciones del proceso, esta también relacionado con el tamaño de dado de silicio, su geometría, el tamaño del circuito y las propiedades del plástico. En este estudio se revisa una alternativa de reducción de la deformación de pandeo por tratamiento térmico.

Materiales compuestos

Materiales diseñados que incluyen dos o más materiales, con características físicas o químicas muy diferentes, los cuales permanecen separados a nivel macroscópico, forman un solo componente con características modificadas y en su estructura muy superiores.

El material compuesto más primitivo es el adobe, que incluye paja y fango, para que juntos puedan formar ladrillos y usarlos en la construcción de casas. La Biblia menciona cómo los Israelíes opresos por el faraón egipcio eran forzados a hacer ladrillos sin la paja, en deterioro de sus condiciones de vida.

Actualmente, los ejemplos más avanzados se encuentran en aplicaciones espaciales para ambientes y condiciones muy exigentes. Los ejemplos más comunes incluyen el pavimentar caminos usando acero y Pórtland o concreto reforzado con asfalto o silicio; las duchas y tinas de baño hechas con fibra de vidrio, la superficie sólida, de imitación granito en fregaderos y cubiertas de cocina de mármol cultivado. Los materiales compuestos se encuentran también extendidos en la naturaleza, tales como el hueso y la madera.

En un material compuesto, los componentes cumplen dos funciones primordiales en la estructura del material:

Matriz y refuerzo. El material de la matriz rodea y apoya los materiales del refuerzo, manteniendo sus posiciones relativas. Los refuerzos imparten sus características mecánicas y físicas, realizando las características de la matriz. Se produce sinergismo, con características no disponibles en los materiales originales. Debido al total de materiales matriz y refuerzo disponibles, los potenciales de diseño son importantes.

Los principales factores del diseño involucran el tipo de matriz, refuerzo elegido y las cantidades a requerir. Solo la demanda en grandes cantidades justifica una inversión de capital y tecnología.

La mayoría de los materiales matriz son de tipo resina. Los más comunes son poliéster, vinil ester, fenólicos, poliamida, polipropileno. Los refuerzos más comunes son fibra o minerales molidos.

El moldeo se utiliza como operación principal en la fabricación de materiales

compuestos, con las siguientes ventajas, ya que permite unir el refuerzo y la matriz, alcanzar un volumen menor y evitar vacíos en el material final. Los procesos de moldeo son: moldeo abierto (moldes), cerrado (alta o baja temperatura) y autoclave (alta temperatura y alta presión). Otros métodos son: moldeo a presión por transferencia, compresión, fundido y fundido continuo. Las propiedades físicas de los materiales compuestos son generalmente no isotrópicos (la dureza no depende de la orientación de las fuerzas y momentos aplicados). Principalmente definidas por el Módulo de Young, la resistencia al rasgado y la relación de Poisson.

Fabricación de tableros (PWB) para semiconductores

El método más conveniente para montar e interconectar componentes electrónicos es usando un tablero PWB, Figura 2.

Los alambres para las interconexiones son delgadas líneas de un conductor y el componente Figura 2. Tableros de construcción diferente tamaño, mismo número de parte.

De apoyo, una hoja de material aislante que cumple además otros muchos usos. Los tableros de capas múltiples son usados cuando la densidad de componentes, es tal que una sola capa, resulta insuficiente para el total de interconexiones requeridas.

Las capas múltiples pueden ser de uno o dos lados, con capas conductoras en medio como en un sándwich, todas unidas por capas de adhesivo epóxico parcialmente curado. Una configuración de capas múltiples consiste en un tablero con 5 capas (El plano de tierra, el plano de potencia, la capa superior de montaje y dos capas de corte), pero se han usado tableros de hasta 42 capas.

El proceso de manufactura de los tableros involucra la combinación de pocas operaciones básicas. La capa conductora para interconexión, puede ser construida por un proceso aditivo o substractivo. En el proceso aditivo, el conductor es selectivamente depositado sobre el aislante, para crear una línea de conducción. En el proceso substractivo una hoja es selectivamente removida, dejando la línea de conducción sin remover, éste es más comúnmente usado en los tableros orgánicos.

Un laminado revestido de cobre es un material básico para la manufactura de tableros. Consiste de resina parcialmente curada, o poliamida, hojas de vidrio con hoja de cobre en cada lado. El proceso de fabricación típico consiste de las siguientes operaciones:

- Preparación de la distribución en el tablero ó Artwork
- Preparación del material.
- Alisar, Perforar, quitar sobrante y limpiar.
- Recubrimiento de cobre sin corriente.
- Imagen. Aplicación en seco o líquido de la capa resistente. Máscara.
- Recubrimiento con electricidad.
- Remoción de la capa resistente.
- Pulido con ácido.
- Hacer conexiones eléctricas en el tablero.
- Horno de Curado o reflujo.
- Inspección.

- Sellado de la superficie del tablero.
- Separación del tablero del panel.
- Prueba eléctrica.
- Ensamble de componentes.
- Inspección Final.

Temperatura de transición vítrea (Tg).

Los materiales cristalinos tienen punto de fusión bien definido. El punto de fusión es la temperatura, a la cual el arreglo cristalino se destruye por completo al calentarlo. Sin embargo, los polímeros presentan un rango de temperatura sobre el cual, el cristal se desvanece. Cuando un polímero es enfriado se contrae debido a la disminución en la vibración térmica de las moléculas y una reducción en el espacio libre interatómico. En el caso de un polímero amorfo, esta contracción continúa por debajo del punto de fusión. Por otro lado, para el polímero cristalino la temperatura de transición vítrea por debajo de la temperatura de fusión se comporta como un líquido súper-enfriado y se vuelve extremadamente rígido con una densidad extremadamente alta, contrario al punto de fusión donde ocurre una transformación del líquido a la fase cristal.

El material por debajo de la Tg es esencialmente un líquido muy viscoso. Tal fenómeno es comúnmente observado en vidrio inorgánico compuesto de silicatos. En el caso de los polímeros amorfos se trata de estructuras de vidrio hechas de moléculas orgánicas.

Aunque la Tg no representa una transición de fase termodinámica, en muchas maneras es parecido al punto de fusión para los sólidos cristalinos. Muchas propiedades físicas cambian abruptamente al alcanzar la Tg.

El Poliestireno tiene una Tg de 100 °C y es rígido a temperatura ambiente. El caucho tiene una Tg de -75°C y es blando a temperatura ambiente. La Tg es función de la estructura del polímero. Aunque la Tg de los vidrios inorgánicos son al menos 100°C mayores que los plásticos. Ya que los vidrios inorgánicos presentan enlaces mixtos iónico covalente y mayor entrecruzamiento resultando en una mayor estabilidad térmica. Los polímeros presentan enlaces covalentes y de Van Der Waals.

Tableros con base de PTFE y dieléctrico mixto

Uno de los mejores diseños involucra el uso de laminados con base PTFE (politetrafluoruro de etileno o teflón) en una técnica llamada de dieléctrico mixto. Capas de FR-4 con capas de vidrio relleno y con PTFE, en una estructura de varias capas. Este procedimiento permite diseñar circuitos de alta frecuencia que requieren una pérdida baja en la capa superior de PTFE, mientras que al mismo tiempo se transportan señales digitales menos críticas a un bajo costo.

Además, es posible alcanzar un alto nivel de integración en su construcción y la relación costo/funcionamiento alcanza mayor fidelidad. Aunque no está libre de problemas debido a los agresivos tratamientos con plasma y químicos para trabajar el PTFE, los cuales son agresivos al FR-4 y la rugosidad burda del terminado provoca fibras que se desprenden afectando el recubrimiento. Una dificultad adicional al usar dieléctricos mixtos es controlar lo plano del tablero final. Las inherentes diferencias en las propiedades elásticas y los coeficientes de expansión térmica causan pandeo después del proceso de laminado. El aplanado por constricción a altas temperaturas, representa una mejora disponible para este difícil problema. El proceso debe ser bien controlado respecto a las pendientes de calentamiento y enfriamiento. Aún cuando al tablero se aplanan, cierto pandeo regresa cuando se libera el mecanismo de constricción. Por supuesto que sería preferible eliminar el pandeo desde la etapa de laminado, en vez de añadir costo y etapas adicionales al proceso final. Además de eliminar la necesidad de procesar un tablero pandeado a través de perforado o chapeado. Una alternativa consiste en usar un autoclave o laminado "Isostático". Este tipo de laminado o una variación es usado en el sellado de capas múltiples a baja temperatura para cerámicos o LTCC [11].

La naturaleza del proceso de fabricación requiere sustratos que sean bastante uniformes y planos lisos con deformación mínima o distorsión. La estabilidad dimensional es otra característica importante, para asegurar que existe un mínimo desplazamiento durante el proceso. Se están realizando experimentos con laminados no tejidos para eliminar distorsión causada por la cadena misma.

Otros se basan en un alto módulo como las Aramidas. Se espera una respuesta debido al cada vez mayor número de micro vías y la constante reducción en su tamaño.

Metodología

Franjas de Moiré

En este proyecto TherMoiré permitió medir por inferencia la deformación del tablero sin contacto y obtener información completa acerca de la superficie. La sombra o franjas de Moiré pertenecen al campo de la óptica, mediciones por inferencia, sin contacto, que proporcionan información completa acerca de la superficie. La idea de sobreponer una rejilla y crear una sombra como referencia para un sistema de medición es antigua. Es Lord Rayleigh quien generalmente recibe el crédito como el primero con una publicación científica referenciado a Moiré. Rejillas lineales desarrolladas en los 50's y 60's para fines de metrología son ahora tecnología establecida. El uso de rejillas como una herramienta experimental para medir la deformación en 2 dimensiones fue analizado en teoría por Guild y puesta en práctica por Post. La interferencia de Moiré que incrementa grandemente la sensibilidad en los análisis de estrés y deformación, fue desarrollada en los 70's, mientras que los métodos más precisos de corrimiento aparecieron en los 80's. Las mejoras en el láser para iluminación y los detectores de imagen de estado sólido significan que la tecnología ha avanzado a un punto donde es ahora bien entendida, flexible y capaz de generar grandes cantidades de datos en una forma fácil de entender y que puede ser precisamente cuantificada.

Se produce un patrón de interferencia en forma de franjas de Moiré cuando dos patrones similares de líneas delgadas y oscuras se traslapan. Las medidas relacionadas con la franja o sombra de Moiré, se han utilizado con éxito para caracterizar superficies como los substratos o tableros electrónicos, pequeños componentes o áreas más grandes.

Las medidas son hechas colocando un cristal bajo en cuarzo, con líneas paralelas igualmente espaciadas grabadas en agua fuerte. Esta sirve como la rejilla de referencia. Una sombra de la rejilla de referencia es proyectada sobre la superficie del espécimen, usando luz blanca en un ángulo de 45 grados a través de la rejilla. Si el espécimen es plano y paralelo a la rejilla de la referencia, no se produce ningún patrón de la franja de Moiré. Cuando la superficie del espécimen se curva, comba, o pandea, las franjas del Moiré se producen como resultado del patrón de interferencia geométrico creado entre la rejilla de la referencia y la rejilla de la sombra. El patrón de Moiré que resulta se utiliza para caracterizar la deformación en la superficie del espécimen. Para mas detalles del equipo utilizado consulte la figura 3.



Figura 3 Equipo TherMoiré PS400 con cámara de calentamiento.

Cada franja representa la distancia desviada fuera de una posición plana. Por ejemplo, si se utilizan 100 líneas por pulgada en la rejilla, cada franja de la imagen que resulta representa una dislocación de 1/100 pulgadas. Al alternarse franjas negras y blancas, es posible contarlas para obtener un valor de la desviación. La sensibilidad del equipo es un $\frac{1}{2}$ del ancho de la rejilla. Se obtienen mejoras en la resolución, cuando se mueve el plano del espécimen, y se sigue la franja al cambiar de lugar y fase.

Resultados

Pandeo por operación

Para un total de 180 tableros recopilados del mismo número de parte en proceso, se midió la deformación tiras de 180 x 60 mm para cada operación, usando el TherMoiré. Encontrando que el pandeo se incrementa a lo largo del proceso y que la operación de curado de plástico posterior al moldeo o PMC fue la operación con pandeo más pronunciado, alcanzando 100 milésimas de pulgada o 1.4%. Midiendo por separado las 4 unidades de moldeo individuales de 60 x 60 mm, el máximo alcanzado fue de 20 milésimas de pulgada o 0.85% predominando también PMC y las galletas centrales. (Figura 4)

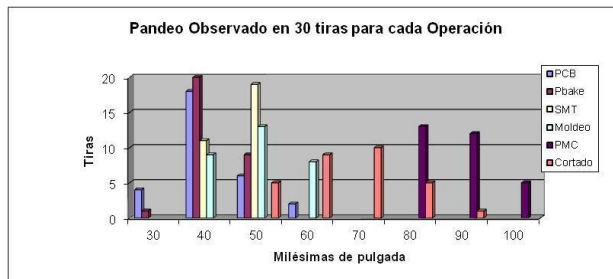


Figura 4 Deformación encontrada en la tira usando TherMoiré en las operaciones de ensamble

Simulación del proceso de curado posterior a moldeo usando TherMoiré

Se midieron 3 tableros moldeados con plástico, una medición de desplazamiento fue realizada cada 300 segundos con Thermoire. El material fue sometido a calentamiento tratando de reproducir las condiciones de curado posterior a moldeo ó PMC, siguiendo un perfil de la siguiente manera: 1) Precalentamiento: 40 min de 30° C a 165° C, 2) Temperatura constante por 5 h a 165° C y enfriamiento con aire de 165° C a 80° C en 40 min, se observó un incremento en el pandeo por galleta de 5 a 7 y hasta 10 milésimas de pulgada. Al final del primer PMC, se programó el equipo para alcanzar 230° C en 40 min y se observó que después de alcanzar 210° C, el pandeo disminuyó abruptamente alcanzando niveles menores a 2 milésimas a 220° C. Como se muestra en la figura 4. Este comportamiento coincide con reportes del fabricante del tablero que establecen que la temperatura de transición vítrea o Tg es 210° C, sin embargo, el mayor pandeo se observó en las pendientes de calentamiento alrededor de 120° C y parece estar relacionado con la temperatura y los coeficientes de expansión del material, más que con la pendiente de calentamiento, ya que la pendiente de calentamiento fue de 3.3° C/min o 0.05° C/s muy baja comparada con las pendientes de precalentamiento en el horno de reflujo menores a 2° C/s. (Figura 5)

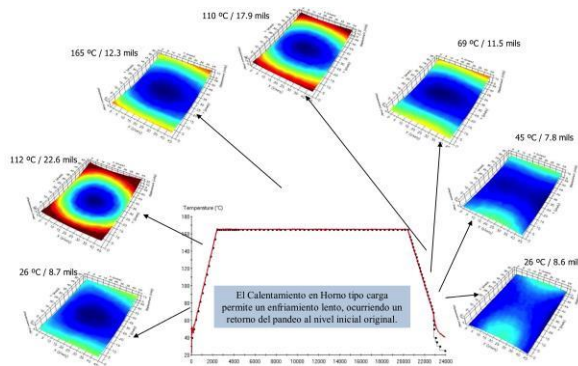


Figura 5 Simulación en TherMoiré de curado posterior a moldeo PMC y horno de reflujo a 220° C.

Caracterización de pandeo simulando PMC o curado posterior a moldeo en TherMoiré

Se buscó confirmar los datos de la primera simulación. Calentando por 40 min de 30 a 165° C, luego manteniendo a 165° C por 5 h y enfriamiento de 165 a 50° C en 40 min. Se encontró que el pandeo se incrementó a lo largo del calentamiento y retornó a su punto inicial posterior al del enfriamiento. Sin embargo, una muestra de 100 circuitos individuales recuperó el 31% de las piezas posterior al tratamiento térmico. (Figura 6)

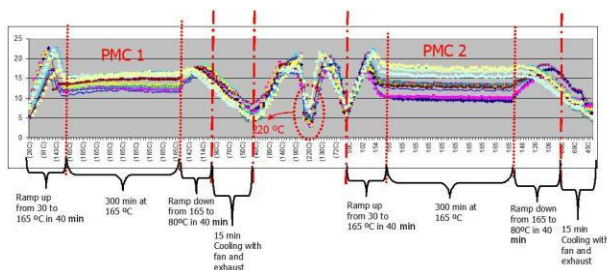


Figura 6 Caracterización de pandeo en curado posterior a moldeo por simulación en TherMoiré.

Caracterización del pandeo simulando el perfil de reflujo en TherMoiré.

El calentamiento y enfriamiento en el horno de banda con calentamiento por convección son mucho más rápidos. Se confirmó el mínimo en pandeo al alcanzar 220° C con una reducción mayor al 40%, se sospecha que un enfriamiento rápido no permite que el pandeo regrese, ocurriendo una disminución posterior al tratamiento del 40%. De mayor impacto es la disminución encontrada para una muestra de 100 circuitos individuales ya cortados y rechazo de prueba que recupero el 90% de las piezas posterior al tratamiento térmico. El tiempo completo del ciclo de calentamiento estuvo por debajo de los 5 min. (Figura 7)

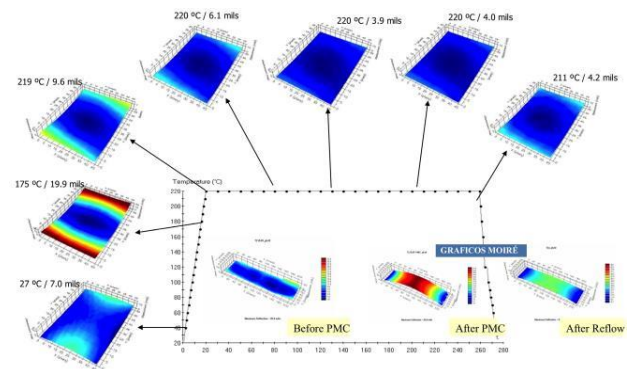


Figura 7 Caracterización de pandeo en horno de reflujo por simulación en TherMoiré

Reducción del pandeo usando el horno de reflujo a 220° C por 3 minutos en tiras

Después de comprobar la alta recuperación de circuitos en material cortado o circuitos individuales, se encontró lo poco viable que representaba esta opción debido al alto manejo de las piezas y las horas hombre requeridas, por lo que se propuso medir la reducción en el pandeo utilizando tiras listas para cortado con máximo estrés producto del curado posterior a moldeo o PMC. Se encontró una reducción del 40% y se perfiló como una opción para reducir el pandeo. (Figura 8)

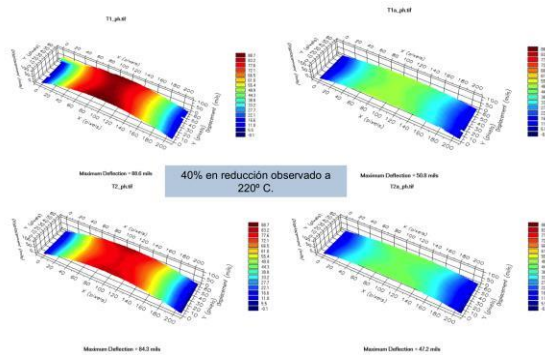


Figura 8 La sombra de Moiré muestra una reducción del 40% en el pandeo de tiras calentado a 220° C.

Resultados de confiabilidad apoyando un cambio de proceso que incluya una nueva operación, enviando material en tiras por reflujo antes de cortado

Se evaluaron tres números de parte diferentes para validar el cambio. Ya que juntos los 5 números de parte afectados, representaban 50% del volumen diario. 500 piezas con reflujo y 500 piezas de control sin reflujo. Identificando las piezas dentro y fuera del perímetro en el módulo de moldeo.

La pruebas de confiabilidad incluyeron ciclos térmicos entre -43 y 120° C, prueba de humedad con un nivel MSL3/250, prueba HAST acelerada de estrés con alta humedad y prueba HTOL de operación a alta temperatura. Obteniendo resultados positivos para todos los números de parte evaluados. Resultados de confiabilidad confirmaron que después de añadir +1X reflujo, los clientes contarían aún con 3X reflujo para el montaje de los circuitos.

Mejora en el rendimiento por lote al disminuir pandeo

PROCESO	Deflexión (%)	Deflexión (%)	Deflexión (%)	Deflexión (%)	Deflexión (%)	Deflexión (%)	Deflexión (%)	Deflexión (%)
A	2.27	1.15	-	1.88	1.88	0.70	0.88	-50
B	0.75	0.25	0.25	0.25	0.25	0.22	0.88	-74
C	1.21	-	1.50	1.50	1.50	0.82	0.88	-40
D	1.51	0.50	-	1.12	1.12	2.17	4.25	-70
E	9.30	9.82	9.12	9.28	9.28	1.40	1.88	-57

Tabla 1 Rendimiento histórico y reducción alcanzada al incluir +1X reflujo.

Conclusiones

Se corrieron 12 millones de unidades para tres números de parte diferente, con una recuperación observada en el rendimiento al final del ensamble y prueba cercana al 1%, muestra suficiente para liberar el 60% de la producción diaria, para que corra bajo el flujo modificado incluyendo +1X reflujo antes de cortado. La modificación al proceso fue validada por el laboratorio de confiabilidad de la compañía en California. Aún cuando se envía el material por un tratamiento, el cliente conserva 3 reflujo adicionales tal y como se establece en la descripción del producto. Al tiempo que se reduce el pandeo en el horno como se demostró, cada reflujo mueve la estructura como se observó en la simulación con TherMoiré pudiendo ocasionar fracturas o fallas y disminuir la vida del circuito.

La operación de prueba mejoro en promedio un 1% y se reportaron mejoras en la utilización de los equipos de prueba y singulado, como beneficio adicional de esta modificación incrementando la producción de piezas buenas y el tiempo de ciclo.

Se piensa que a medida que se disminuya el espesor del plástico de moldeo para hacer los tableros más delgados, esta solución permitirá una exitosa transición.

Se espera que esta solución sea temporal y proporcione el tiempo necesario para que el pandeo sea estudiado a fondo y se encuentren alternativas que resulten en un mejor control del pandeo en todo el proceso de ensamble del microcircuito.

Referencias

Sounak Banerji, P. Markondeya Raj, Swapan Bhattacharya, and Rao R. Tummala. Warpage-Induced Lithographic of FR-4 and the need for Novel Board Materials for Future Microvia and Global Interconnect Needs. IEEE Transactions on Advanced Packaging, Vol. 28, No. 1. February 2005. Pages 102-113.

Swapan K. Battacharya, I. Charles Ume, and Anh X. H. Dang. Warpage Measurement of Large Area Multi-tilted Silicon Substrates at Various Processing Conditions. IEE Transactions on components and packaging technology, Vol 23, No. 3, September 2000. Pages 497-504.

Ananth Srivatsav Halvi, Wonkee Ahn and Dereje Agonafer. Simulation of PWB warpage During Fabrication and Due to Reflow. IEEE 2004 Inter Society Conference on Thermal Performance. ISBN 0-7803-8357-5/04. Pages 674-678.

Elisa Huang, Trent Thompson, Scott Chen. Thin Mold Array Package Warpage Control Study. IEEE/CPMT International Electronics Manufacturing Technology Symposium. ISBN 0-7803-5502-4/99. Pages 223-229.

P. Hutapea, J. L. Grenestedt, "Reducing Warpage of Microelectronic Substrates by Modifying Electric Artworks," submitted, Applied Physics Letter, 2005.

P. Hutapea, J. L. Grenestedt, "Reducing Warpage of Printed Circuit Boards using Wavy Traces," ASME Journal of Electronic Packaging, Vol. 126, No. 3, pp. 282-287, 2004.

J. L. Grenestedt, P. Hutapea, "Influence of Electric Artwork on Thermo mechanical Properties and Warpage of Printed Circuit Boards," Journal of Applied Physics, 94(1), pp. 686-696, 2003.

J. L. Grenestedt, P. Hutapea, "Influence of Electric Artwork on Thermomechanical Properties and Warpage of Printed Circuit Boards," Journal of Applied Physics, 94(1), pp. 686-696, 2003.

A. Scandurra, R. Zafarana, Y. Tenya, S.Pignataro, "Chemistry of green encapsulating holding compound at interfaces with other materials in electronic devices. Applied surface science 235 (2004) pp. 65-72

Irving Y. Chien, Jack Zhanj, Lou Rector, Michael Todd, "Low warpage molding compound development for array packages". Henkel Electronics group. Global SMT & Packaging, pp 30-35, Jan 2007.

Charles Arthur Harper. High Performance Printed Circuit Board. Mc-Graw Hill Profesional. 2000. ISBN 007026138

Michael G. Pecht. Handbook of Electronic Package Design. CRC press. 1991. ISBN 0824779215

Krishan K. Chawla. Composite Materials. Science and Engineering. Springer. ISBN 0-387-98409-7.

Colin A. Walker. Handbook of Moiré Measurements. CRC Press. 2004. ISBN 0750305223.

Y. Wang & P. Hazle. Measurement of a thermally induced deformation of a BGA using phase stepping Moiré. Experimental/Numer. Mech. Electrón. Packag. Vol. 2. pp 32-39. 1998.

A. Dang, I.C. Ume & S.K. Bhattacharya. A study on warpage of flexible ss substrate for large area MCM-D packaging". ASME J. Electro. Packag. Vol 122. pp 86-91. June 2000.

Liao, J.E.A. and Voloshin, A.S. Enhancement of the Shadow Moiré Method through digital image processing. Experimental Mechanics, Vol. 33. pp 59-63. (1993).

Jang, B.Z. Advance polymer composites: Principles & applications. ASM International, 1994.

CERTIFICADO

Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169, 209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la **OBRA** cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:

AUTORES: CABRERA CORDOBA EDUARDO
OLIVEROS RUIZ MARIA AMPARO
VALDEZ SALAS BENJAMIN
VARGAS OSUNA LIDIA ESTHER

TITULO: REPRODUCCION DE DEFORMACION POR PANDEO EN MICROCIRCUITOS
ELECTRONICOS POR TRATAMIENTO TERMICO

RAMA: LITERARIA

TITULARES: CABRERA CORDOBA EDUARDO
OLIVEROS RUIZ MARIA AMPARO
VALDEZ SALAS BENJAMIN
VARGAS OSUNA LIDIA ESTHER

Con fundamento en el artículo 3º de la Ley Federal del Derecho de Autor el presente certificado ampara única y exclusivamente la obra original Literaria.

Con fundamento en lo establecido por el artículo 14 fracción I de la Ley Federal del Derecho de Autor, el presente certificado no ampara las ideas en sí mismas, las fórmulas, soluciones, conceptos, métodos, sistemas, principios, descubrimientos, procesos e invenciones de cualquier tipo.

Con fundamento en lo establecido por el artículo 168 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las inscripciones en el registro establecen la presunción de ser ciertos los hechos y actos que en ellas consten, salvo prueba en contrario. Toda inscripción deja a salvo los derechos de terceros. Si surge controversia, los efectos de la inscripción quedarán suspendidos en tanto se pronuncie resolución firme por autoridad competente.

Con fundamento en los artículos 2, 208, 209 fracción III y 211 de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 64, 103 fracción IV y 104 del Reglamento de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 1, 3 fracción I, 4, 8 fracción I y 9 del Reglamento Interior del Instituto Nacional del Derecho de Autor, se expide el presente certificado.

Número de Registro: 03-2015-091813185400-01

México D.F., a 24 de septiembre de 2015

EL DIRECTOR DEL REGISTRO PÚBLICO DEL DERECHO DE AUTOR

JESUS PARETS GOMEZ



SEP

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



INDAUTOR
Instituto Nacional del Derecho de Autor

Remoción de plástico para blindaje electromagnético en microcircuitos electrónicos

Lidia Vargas, Eduardo Cabrera, Benjamín Valdez, Amparo Oliveros y Roberto Ibarra

L. Vargas, E. Cabrera, B. Valdez, A. Oliveros y R. Ibarra
Universidad Politécnica de Baja California, Calle de la claridad S/N, Col. Plutarco Elías Calles, CP. 21376. Mexicali, Baja California. México.
Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ingeniería, Blvd. Benito Juárez y calle de la Normal s/n Col. Insurgentes Este. CP. 21280, Mexicali, Baja California. México.
levargaso@upbc.edu.mx

M. Ramos., V.Aguilera., (eds.) .Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

Abstract

The manufacture of electronic components continues an increasing trend towards miniaturization and more complex designs. A consequence of taking advantage of full function modules and integration is an increased susceptibility to electromagnetic interference on devices.

It has been necessary to develop new shielding techniques to protect sensitive electronic devices from any external interference while at the same time preventing any interference being emitted from the device to adversely react with adjacent circuits.

There was reviewed a shielding in circuit approach consisting in removing a thin top layer of molding compound thru sand blast and a subsequent application of a conductive acrylic paint with silver to create a highly conductive coating to obtain a Faraday's cage. Process ablation alternatives were developed using a laser and plasma cleaning on components with plastic molding compress.

10 Introducción

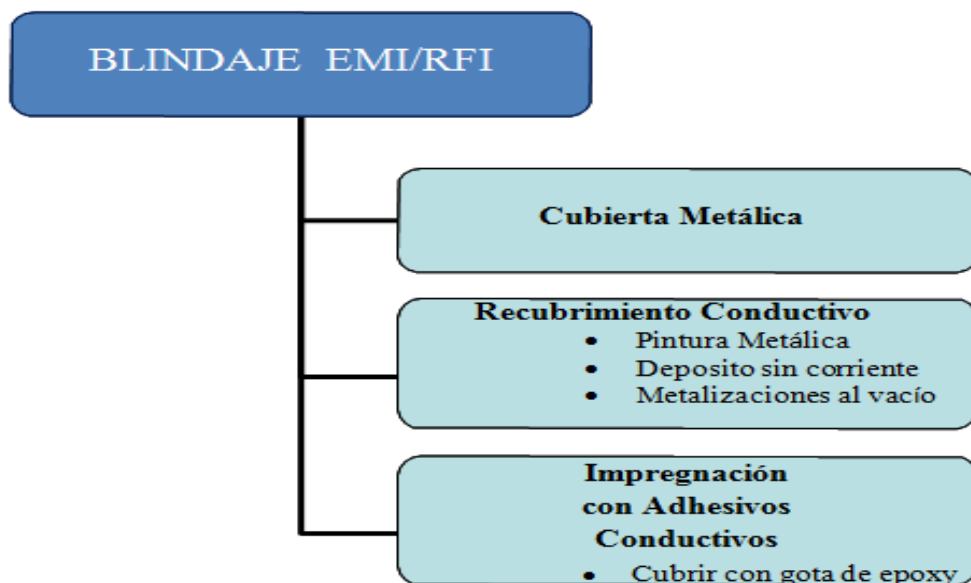
Los aparatos electrónicos emiten radiación electromagnética cuando están funcionando normalmente y esto puede afectar a otros dispositivos electrónicos cercanos o en su alrededor.

La emisión no deseada de las ondas electromagnéticas puede permitir fallos inesperados de los dispositivos afectados. La interferencia electromagnética (EMI) es en realidad una frecuencia de ruido eléctrico, mientras que la interferencia por radiofrecuencia (RFI) es un subconjunto específico de ruido eléctrico en el espectro de EMI, ambos términos se usan indistintamente.

La interferencia electromagnética en un dispositivo puede ser minimizada a través de un diseño adecuado del circuito. Sin embargo, hay algunas áreas sensibles que requieren protección adicional, por lo que se utiliza el blindaje electromagnético o blindaje EMI, a través de la construcción de una jaula de Faraday.

El blindaje electromagnético que bloquea la radiación electromagnética de radiofrecuencia también se conoce como blindaje EMI/RFI. El objetivo principal es evitar el paso de ondas electromagnéticas dentro o fuera del dispositivo.

El campo electromagnético es bloqueado al utilizar barreras de materiales conductores o magnéticos, que pueden trabajar por reflexión, absorción, o llevar la radiación electromagnética a tierra. Los principales métodos utilizados para el blindaje EMI/RFI son mostrados en la figura 1

Figura 10 Métodos utilizados para el blindaje EMI/RFI

10.1 Materiales y métodos

Alternativas de remoción de plástico, uso tecnología láser y plasma.

El proceso normalmente utilizado y que ha demostrado su capacidad para remover el plástico de moldeo, en dispositivos que posteriormente serán sometidos al proceso de blindaje EMI/RFI, consiste en una micro abrasión con arena, pero los costos generados por el uso y disposición de la misma y el desprendimiento de polvo en un ambiente limpio de ensamble de componentes electrónicos no parece la opción viable en el mediano plazo.

Por otro lado, en la industria de la microelectrónica, durante el análisis de fallas, se utiliza comúnmente ácido nítrico y ácido sulfúrico, ya sea en forma individual o en combinación para remover el plástico de moldeo que encapsula a los dispositivos microelectrónicos. A pesar de que ésta técnica de decapado es muy efectiva, también es común que en ocasiones se dañe internamente el microcircuito. Existen otras alternativas como la ablación del plástico con láser hasta llegar poco antes de la superficie del dado, de manera que solo se requiera una cantidad mínima de ácido, favoreciendo de esta manera la integridad de la circuitería interna. Otra opción al uso del ácido es la ablación con laser más un ataque con plasma para terminar la exposición del dado. Sin embargo, cuando el laser es utilizado para remover todo el plástico a profundidades mayores, puede ocasionar daños por un excesivo calentamiento en los tableros, alambres y otros componentes del microcircuito.

El Plasma se ha utilizado los últimos 50 años para la remoción de polímeros en ambientes controlados. El plasma combinado con oxígeno es muy efectivo en la remoción de contaminaciones orgánicas y polímeros utilizados en la industria electrónica. Por lo anterior, se consideraron en este trabajo las alternativas de láser y plasma para la preparación de los dispositivos microelectrónicos previa al blindaje contra la interferencia electromagnética.

Moldeo por Compresión

En el moldeo por inyección, el cual ha sido durante mucho tiempo el sistema más utilizado en la industria electrónica, un pistón inyecta a alta presión la resina, de un polímero termo fijo, permitiendo el flujo y llenando de las cavidades en un molde. Sin embargo, retos en la tecnología de empaquetamiento tales como el aumento en el número de componentes, tamaño de dado, dados apilados y alambres más delgados, limitan el espacio para permitir el flujo de la resina o incrementar el número de conexiones más largas.

Debido a esto, el método de moldeo por compresión, el cual es libre de flujo y de espesor delgado, ha cobrado fuerza y ganando terreno rápidamente en más aplicaciones convirtiéndose posiblemente en el próximo método estándar más utilizado en esta industria.

En este proceso se coloca y sujeta una película en la base inferior del molde y el sustrato se carga, en la parte superior con un cargador mecánico. Mientras que la resina, originalmente en forma granular, es preparada en un contenedor para ser suministrada en el fondo del molde inferior y en la cantidad requerida de acuerdo al número de circuitos. El flujo de resina es mínimo y el compuesto queda confinado en una pequeña área. La película en el fondo del molde ayuda a que se despreque fácilmente y a moldear sin tener que limpiar el molde después de cada ciclo, el vacío ayuda también a moldear cualquier espacio abierto.

Las alternativas evaluadas en el proceso de remoción de plástico, fueron:

- 1) Moldeo de plástico por compresión y posterior limpieza usando plasma con una mezcla de gases O_2/Ar .
- 2) Moldeo de plástico por compresión y posterior limpieza usando un láser.
- 3) Moldeo de plástico por inyección remoción del plástico usando un láser y posterior limpieza con plasma combinación de gases O_2/Ar
- 4) Moldeo de plástico por inyección remoción del plástico usando un láser y posterior limpieza fina con láser.

Desarrollo del proceso en equipo laser

El equipo de láser utilizado es enfriado por aire, del tipo de diodo de bombeo final con un cristal de Nd: YVO₄, con potencia de salida de 10W y una longitud de onda de 1064 nm, con un pulso de frecuencia que varía de 1 a 200 kHz, en una mesa con área de barrido de 120 x 120 mm y un consumo de 500W. Las variables utilizadas en el desarrollo del proceso fueron: frecuencia, intensidad y velocidad de barrido. Con el objetivo de remover 30 micrones de plástico durante la limpieza gruesa y 5 micrones en una limpieza fina, se realizó también inspección final de las piezas bajo microscopio 7-30X, buscando el efectos de sobre calentamiento por el láser, patrones de remoción, etc.

Desarrollo del proceso en equipo plasma

Se utilizó un equipo de gas plasma etch de 300 watts, con un generador de RF a 13.5 MHz. Las variables utilizadas durante el desarrollo, fueron el tiempo de exposición y la relación de gases alimentados, Argón y Oxígeno suministrados en lt/min. El objetivo fue remover el remanente de plástico a una profundidad aproximada de 5 micrones.

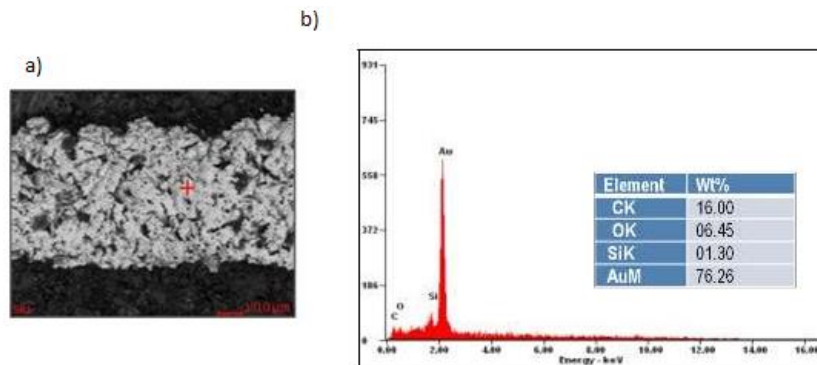
Inspección de resultados

La observación bajo el microscopio óptico a 200x, no fue suficiente por lo que se requirió el uso de un microscopio electrónico de barrido SEM, con detector EDX que permitió analizar la presencia de elementos químicos presentes en el punto de muestreo.

10.2 Resultados

Análisis SEM/EDX de muestra sometida a remoción de plástico de moldeo por micro abrasión con arena (Figura).

Figura 10.1 a) Imagen SEM mostrando apariencia de alambre de oro después de remoción de plástico con arena; b) análisis EDX realizado sobre la superficie del alambre.



Análisis SEM/EDX de muestra sometida a moldeo de plástico por compresión y posterior limpieza usando plasma con una mezcla de gases O₂/Ar (Figura)

Figura 10.2 a) Imagen SEM mostrando apariencia de alambre de oro después de limpieza con plasma

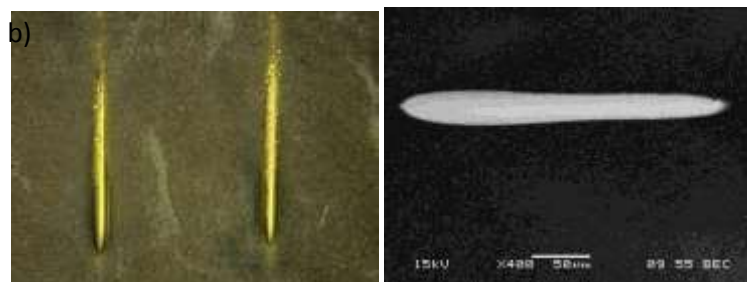
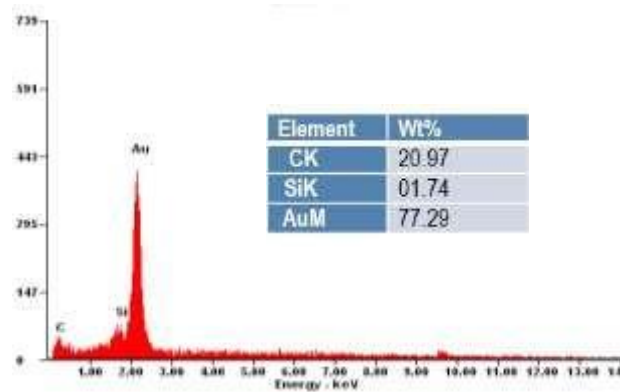


Gráfico 10 Análisis EDX realizado sobre la superficie del alambre



Análisis SEM/EDX de muestra sometida a moldeo de plástico por compresión y posterior limpieza usando un láser (Figura)

Figura 10.3 Imagen SEM mostrando apariencia de alambre de oro después de limpieza con laser

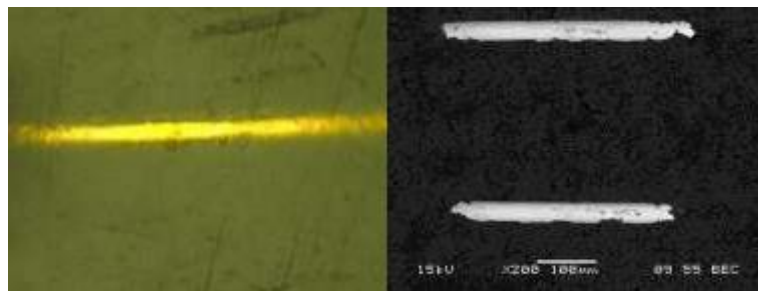
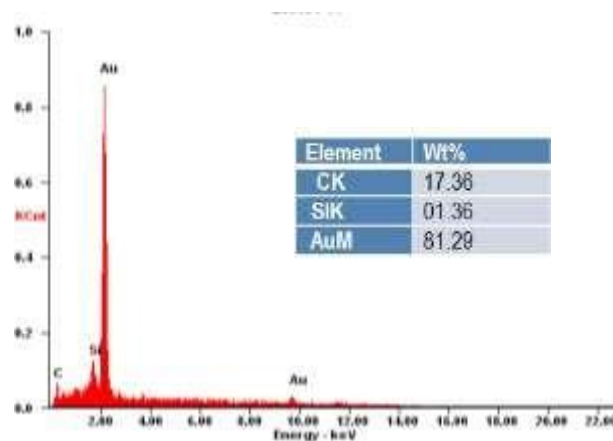


Gráfico 10.1 Análisis EDX realizado sobre la superficie del alambre



Análisis SEM/EDX de muestra sometida a moldeo de plástico por inyección y remoción del plástico usando un láser con posterior limpieza con plasma combinación de gases O₂/Ar (Figura).

Figura 10.4 Imagen SEM mostrando apariencia de alambre de oro después de remoción con láser y limpieza con plasma

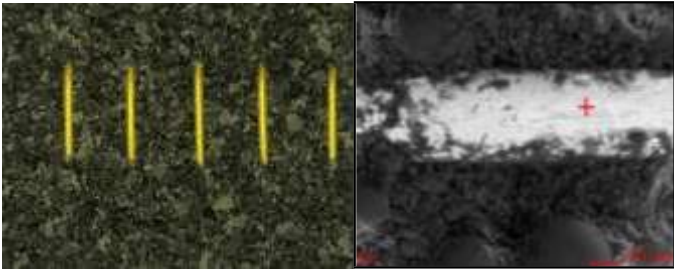
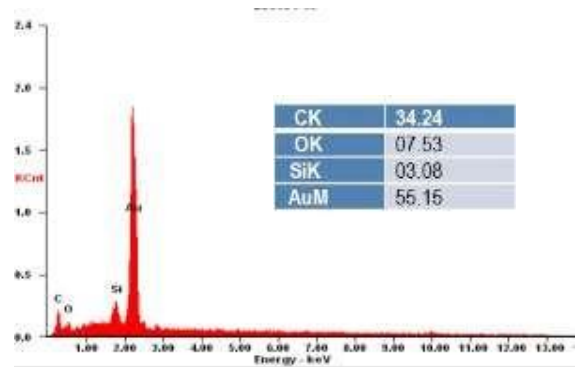


Gráfico 10.2 análisis EDX realizado sobre la superficie del alambre



Análisis SEM/EDX de muestra sometida a moldeo de plástico por inyección con remoción del plástico usando un láser y posterior limpieza fina con láser (Figura).

Figura 10.5 Imagen SEM mostrando apariencia de alambre de oro después de remoción con láser y limpieza con láser

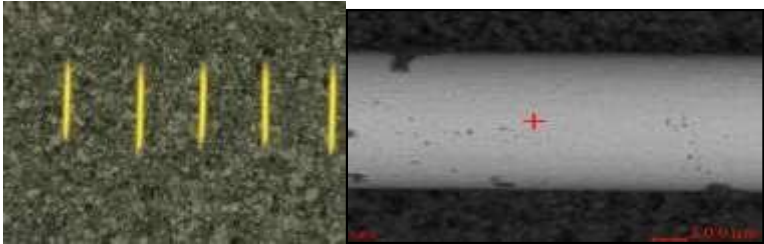
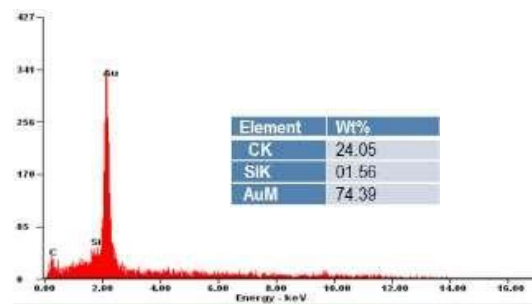


Gráfico 10.3 análisis EDX realizado sobre la superficie del alambre



10.3 Discusión

Proceso remoción por micro abrasión con arena.

- a) Se observa un agresivo ataque sobre el alambre de oro producto de la micro abrasión con arena. El alambre se deforma, en su superficie se observan incrustaciones de plástico y arena. La rugosidad observada crea una situación que favorece una buena adhesión.
- b) El EDX muestra un contenido de Oro 76.3%, Carbón 16% y Oxígeno 6.4%. La combinación de Carbón y Oxígeno delata la presencia de residuos de plástico.

Moldeo de plástico por compresión y posterior limpieza usando plasma con una mezcla de gases O₂/Ar.

Se observa una completa remoción del plástico sobre la superficie del alambre, superficie lisa con externos limpios pero acotados por el plástico alrededor, lo que dificultaría un buen anclaje con la pintura.

EDX no muestra contenido de Oxígeno, lo que representa que se alcanzó una buena limpieza. Aunque, el porcentaje de Oro no mejora sustancialmente.

El tiempo de ciclo de limpieza para plasma 90s es de 2 minutos para 5 tiras, aproximadamente 24 segundos por tira.

Moldeo de plástico por compresión y posterior limpieza usando un láser.

El láser comienza a eliminar plástico en las orillas del alambre pero no logra hacerlo por completo, y arroja residuos de plástico encima en la superficie del alambre. EDX muestra que el porcentaje de Oro aumenta por encima del 81%, pero no hay una limpieza uniforme.

El tiempo de ciclo por tira se eleva a 60 segundos.

Moldeo de plástico por inyección remoción del plástico usando un láser y posterior limpieza con plasma combinación de gases O₂/Ar.

Aunque el láser se considera una alternativa elegante de remoción, al evaporar los sólidos y dejar residuos casi nulos. El proceso de remoción de plástico en las zonas más frías que no alcanzan a evaporarse, se presentan en forma de hojuelas que se desprenden del sólido. Al aplicar limpieza con plasma estas colapsan sobre el alambre. Esta opción más que limpiar ensucia los alambres.

EDX muestra que el porcentaje de Oro cae significativamente hasta un porcentaje de 55% y vuelve a detectarse oxígeno en un 7.5%

El tiempo de tratamiento por tira alcanza 1 min por remoción de plástico con láser + 24 segundos por tira en un proceso de plasma de 2 minutos por 5 tiras.

Moldeo de plástico por inyección remoción del plástico usando un láser y posterior limpieza fina con láser.

- a) Se observa una mayor exposición del alambre en los extremos, extremos muy limpios y con mínimos residuos en la superficie, con alambres lisos libres de ataque.
- b) EDX un porcentaje de Oro en casi 75%, libre de carbono.
- c) El tiempo de ciclo se mantiene en 90 segundos, en un primer tratamiento el láser remueve el 90% del material y en un segundo paso sin salir del equipo, se realiza con menor energía y más velocidad una limpieza fina para terminar el tratamiento.

10.4 Conclusiones

En el desarrollo de este trabajo y de acuerdo a los resultados obtenidos en las distintas corridas, se desarrollaron proceso y parámetros de dos posibles soluciones para la preparación de la superficie del plástico de moldeo de los dispositivos microelectrónicos previa al proceso de blindaje para protegerlo contra la interferencia electromagnética: 1) Moldeo de plástico por compresión y posterior limpieza usando plasma con una mezcla de gases O₂/Ar y 2) Moldeo de plástico por inyección remoción del plástico usando un láser y posterior limpieza fina con láser. A partir de estas soluciones, se propone realizar corridas piloto para realizar pruebas del nivel de resistencia eléctrica, prueba de estrés térmico, humedad y envejecimiento, para corroborar la confiabilidad de los procedimientos propuestos por el laboratorio de análisis de fallas.

Referencias

Fogarrassy E., Lazare S. (1992). Laser ablation of electronic material: Basic mechanism and applications. *European Materials Research Society Monographs*, North Holland.

Foote D. (2012). Using Plasma Processing as a Mold De-Cap Method for Copper Wire Bonded Devices. *Nordson MARCH Inc.*

Zeus Technical Newsletter, EMI Shielding with plastics (2012).

Bao L.R., Wei B., Xiam Y.A. (2007). Conductive Coating Formulations with Low Silver Content. National Starch and Chemical Company. Electronic Components and Technology Conference.

Martens S., Fink M., Mack W., Voelklein F., Wilde J. Simulation-Based Analysis of the Heat-Affected Zone during Target Preparation by Pulsed- Laser Ablation through Stacked Silicon Dies in 3D integrated System-in-Packages. Infineon Technologies AG.

Investigación y desarrollo tecnológico de materiales poliméricos

CABRERA-CÓRDOBA, Eduardo*†, VARGAS-OSUNA, Lidia Esther', ANGUIANO-LIZAOLA, Jorge y SÁNCHEZ-OCAMPO, César

Ingeniería en Manufactura de la Universidad Politécnica de Baja California, Mexicali, México

'Ingeniería Aeroespacial de la Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, México

Recibido Octubre 12, 2017; Aceptado Diciembre 6, 2017

Resumen

En las últimas décadas, la industria del plástico se distingue entre las que han mostrado un mayor crecimiento. En el estado de Baja California y la franja fronteriza de México, se presenta el reto de elevar el nivel de absorción tecnológica por parte de las empresas. La industria maquiladora que anteriormente fabricaba componentes, requiere elevar su especialización tecnológica y la capacitación de alto nivel en la fabricación de productos de mayor integración. La industria del plástico tiene la característica de ser transversal a la industria en general, debido a su creciente número de aplicaciones. El plástico por su baja densidad y versatilidad se encuentra entre los materiales de elección para hacer más eficientes los productos. En este proyecto, se obtuvo un equipo de moldeo para prototipos para la caracterización de materiales y el software necesario para la simulación de procesos, que favorezcan la vinculación con las empresas y la formación de los alumnos en la investigación y desarrollo tecnológico en entornos reales.

Kesterite, película delgada, celda solar, sputtering, CZTS

Abstract

In the last decades, the plastic industry is distinguished between those that have shown greater growth. In the state of Baja California and the border strip of Mexico, the challenge is to raise the level of technological absorption by companies. The maquiladora industry, which previously manufactured components, requires raising its technological specialization and high-level training in the manufacture of products with greater integration. The plastic industry has the characteristic of being transversal to the industry in general, due to its increasing number of applications. Plastic for its low density and versatility is among the materials of choice to make products more efficient. In this project, a prototype's molding machine was obtained for the characterization of materials and the software necessary for the simulation of processes, favoring the link with companies and the training of students in research and technological development in real environments.

Kesterite, thin film, solar cell, sputtering, CZTS

Citación: CABRERA-CÓRDOBA, Eduardo, VARGAS-OSUNA, Lidia Esther', ANGUIANO-LIZAOLA, Jorge y SÁNCHEZ-OCAMPO, César. Investigación y desarrollo tecnológico de materiales poliméricos. Revista del Desarrollo Tecnológico 2017, 1-4: 20-26

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: ecabrerac@upbc.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Las aplicaciones con el uso de plásticos están creciendo debido a sus ventajas en términos de la amplia variedad de propiedades que cubren necesidades muy específicas permitiendo la innovación, con el menor impacto y menor costo de producción. Los plásticos cubren una amplia variedad de aplicaciones. Aunque, cada aplicación requiere uno o varios polímeros con propiedades específicas para realizar su función. Sin embargo, los plásticos comerciales sólo proporcionan una variedad limitada de productos. De allí, la necesidad de conocer a fondo, equipo, procesos y materiales, así como la investigación y desarrollo de nuevos materiales que cumplan especificaciones químicas y físicas requeridas.

Justificación

Los avances de los plásticos en ingeniería prometen un mayor número de productos de calidad en aplicaciones para diferentes industrias, tales como la aeroespacial, la electrónica y la automotriz.

Es necesario adquirir las capacidades de equipo para la aplicación del conocimiento en un entorno industrial, fortaleciendo al cuerpo académico a través de la vinculación y la investigación de problemas que se presentan en la industria, resultado también en un mejor posicionamiento y competitividad de la empresa, e impactando de manera positiva las áreas de innovación, recibo de materiales, aseguramiento de la calidad, proveedores, manufactura e ingeniería, etc.

Objetivos**Objetivo General**

Permitir la participación de la Universidad en los procesos de investigación y desarrollo tecnológico de las empresas. Al obtener las capacidades de equipo y software para la caracterización de materiales. Así como, el desarrollo y la simulación de proceso. Acercando a los alumnos a la investigación de problemas en entornos reales.

Objetivos específicos

- Caracterización de materias primas y desarrollo de procesos que contribuya a la mejora continua y la competitividad de la empresa.
- Promover proyectos de investigación y vinculación con las empresas, con la participación del cuerpo académico y de los alumnos.
- Fortalecimiento, actualización y pertinencia de programas académicos.

Marco Teórico

La prueba de flujo espiral ASTM D3123-2009 es una de las muchas pruebas que ayudan a determinar la naturaleza reológica de los plásticos. Es un método de prueba importante por su ayuda en la determinación de las propiedades físicas más críticas de un plástico. Las propiedades reológicas se centran principalmente en una viscosidad de corte de un flujo de plástico fundido. Es un comportamiento bastante dinámico que podría cambiar con el cambio de temperatura, presión y velocidad de inyección. La determinación de la longitud de flujo de plástico es una de las tareas importantes en la caracterización de plásticos y en el diseño del molde de inyección. A fin de conseguir el llenado perfecto y parámetros de inyección, como temperatura de fusión, presión de inyección, tiempo de ciclo, etc.

Dado que un molde de inyección suele ser importante y su alto costo, para producir piezas de plástico, el diseño de moldes adecuados es un área de interés actual. La predicción de la moldeabilidad a través de la simulación con el uso de software y la relación de longitud de flujo son dos herramientas básicas para alcanzar una mayor calidad y mejores rendimientos.

Resultados

Moldeo de Plásticos

El equipo de moldeo por transferencia que se adquirió es de la marca MediumMachinery, ver figura 1:



Figura 1 Equipo de moldeo por transferencia de MediumMachinery y esquema del molde de prueba de flujo en espiral ASTM D3123

Es una pequeña prensa de moldeo por inyección con molde para evaluación de flujo en espiral de acuerdo a ASTM 3123. Permite también el diseño y desarrollo de productos, prueba de plásticos y parámetros, fabricación de prototipos e investigación. Las características del equipo se muestran a continuación:

Max Capacidad de inyección de plástico	100 grs
Alimentación	10A @ 120V
Max Temperatura	300C
Alimentación de aire	80 psi
Max Tamaño de Molde	200x250x120 mm
Max presión de cierre	10tons
Dimensiones Máximas del equipo	50x50x120 cm
Peso Max	100 kg

Tabla 1 Características del equipo de moldeo MediumMachinery

Parámetros críticos identificados en la operación de moldeo por transferencia.

1. Tipo de plástico, termoestable o termofijo
2. Presión de cierre del Molde.
3. Tiempo y Temperatura del Precalentamiento del molde.
4. Tiempo de precalentamiento del plástico
5. Velocidad de dosificación de la resina.
6. Temperatura del molde y offset de temperatura permitido.
7. Tiempo de Curado.
8. Tiempo de enfriamiento del molde posterior al moldeo
9. Velocidad de apertura del Molde.
10. Mantenimiento y limpieza del molde y plastificador.

Defectos de Calidad considerados rechazos en la operación de moldeo por transferencia.

1. Espesor uniforme
2. Burbujas o Ampollas (Blister)
3. Vacíos o llenado incompleto
4. Material con poros
5. Plástico quemado
6. Pandeo (Warpage)
7. Fuga excesiva de plástico (Flashing)
8. Cambio de color del plástico
9. Plástico crudo
10. Exposición de alambres

Software de simulación de inyección de plástico. Moldex3d

Compatible con plataforma de Solidworks, que permite visualizar, validar y optimizar el diseño de partes y moldes en simulaciones de 3d. Permitiendo minimizar el tiempo de diseño, innovación, costo y desarrollo de productos en moldeo por inyección.

El software evalúa la manufacturabilidad, permite visualizar condiciones de flujo de plástico y temperatura, presión, volumen, tiempo de inyección para optimizar condiciones de proceso, resolución de problemas y predecir defectos como llenado incompleto, líneas frías, orientación de las fibras y pandeo.

Además, permite el análisis de llenado a través de múltiples puertos de inyección, múltiples cavidades, balanceo de flujo, líneas de enfriamiento del molde y generar un reporte electrónico de los resultados encontrados.

El software incluye apoyos con el uso ventanas, wizards, donde por medio de preguntas programadas, el software realiza tareas complejas y la función CAE o ingeniería asistida por computadora.

El reporte de resultados de la simulación. Shell o Modelo de superficie basado en un sólido. Incluye la siguiente información:

1. Introducción del modelo
2. Información del material
3. Condiciones del proceso
4. Resumen de resultados de parámetros
5. Resultados de la simulación

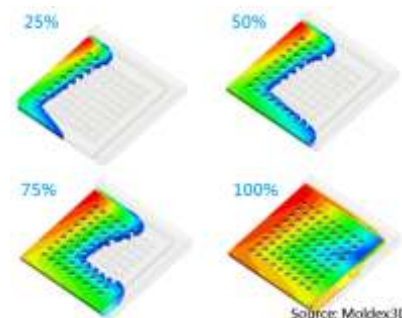


Figura 2 Resultado de simulación de llenado de paquete por transferencia de plástico

Evaluación de capacidades del equipo en la Industria. Empresa Mexicase

Se evaluaron diferentes lotes de plástico, proporcionados por la empresa MEXICASE, basándose en ASTM D 3123. Esta norma introduce las especificaciones para la longitud del flujo en espiral, la relación de viscosidad, temperatura y flujo de los plásticos. Los ensayos experimentales, se compararon para confirmar la consistencia y vigencia de los diferentes lotes. Este método es costo efectivo y una forma confiable de predecir el desempeño del material en el proceso de moldeo por inyección.

Resultados de Parámetros

Se evaluó el proceso de moldeo por logrando desarrollar los parámetros y simulación para caracterizar el proceso.

Presión Máxima de Entrada

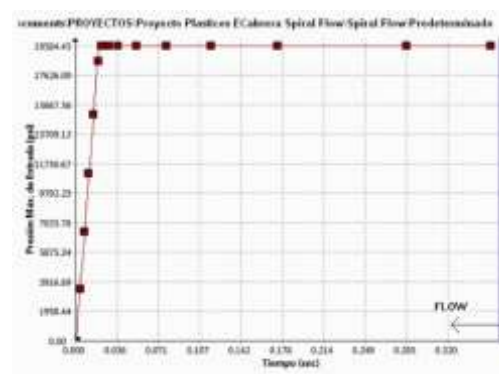


Figura 3

Flujo de Entrada

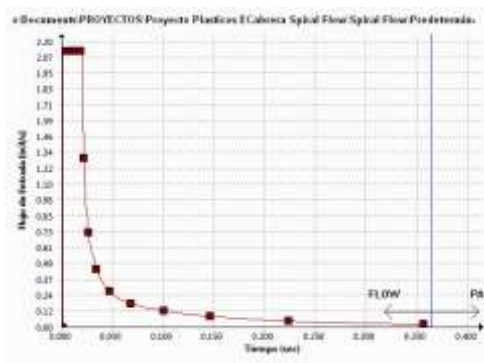


Figura 4

Presión de Cierre

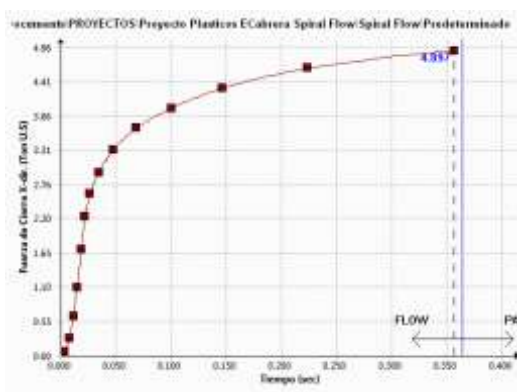


Figura 5

Resultados de la Simulación

Tiempo de llenado

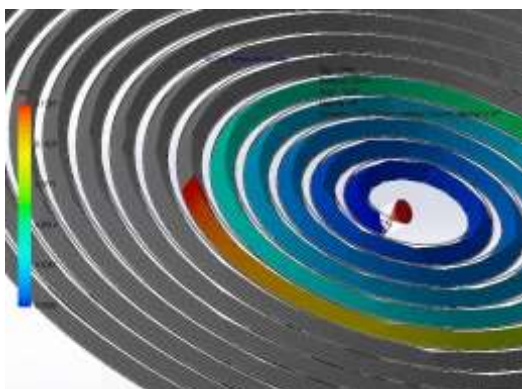


Figura 6

Temperatura de llenado

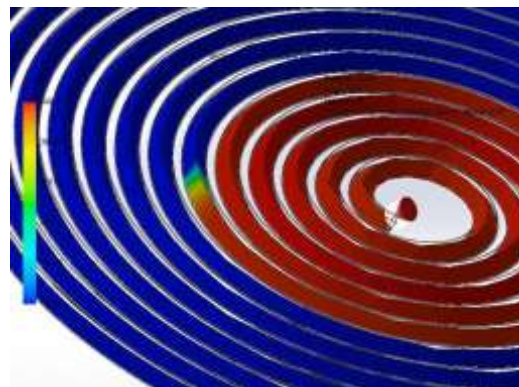


Figura 7

Información del Modelo

Tipo: Shell, Cara de simetría: No

Volumen: 0.45 (pulgadas cúbicas)

Peso: 0.24 (onzas)

Dimensiones: X: 5.04 (pulgadas), Y: 4.95 (pulgadas), Z: 0.06 (pulgadas)

Información del Material

Nombre de material = Polipropileno PP

Nombre del producto = Material Genérico PP

Temperatura del material = 446.00 °F

Temperatura del molde = 122.00 °F

Temperatura de eyección = 203.00 °F

Temperatura de transición cristalina = 275.00 °F

Calor específico = 3.100000e+007

Conductividad = 1.500000e+004

Módulo de elasticidad = 1.350000e+010

Coeficiente de Poisson = 4.000000e-001

Condiciones del Proceso Flujo/Flow*

Tiempo de llenado = 0.21 sec

Temperatura Fusión Material Principal
= 446 °F

Temperatura pared molde = 122 °F

Presión máxima de inyección =
19584.45 psi

Flujo de inyección máximo = 11.838
in³/s

Punto de cambio Flow/Pack en Volumen
Llenado = 100 %

Tiempo de mantenimiento de la presión
= 1.33 sec

Tiempo Total de Empaquetado = 2.13
sec

Tiempo de llenado (1: Existe, 0: No) = 1

Tiempo de empaquetado automático (1:
Existe, 0: No) = 1

Análisis de ventilación (1: Existe, 0: No)
= 0

Presión Inicial del Aire de la Cavity =
14.507 psi

Temperatura Inicial del Aire de la
Cavity = 77 °F

Tiempo de ciclo: 5.13 sec

Enfriamiento/Cool*

Temperatura Colada Entrante = 446 °F

Temperatura Min. Refrigerante = 77 °F

Temperatura de Aire = 86 °F

Tiempo de Apertura Molde = 5 sec

Flujo Medio Refrigerante = 9.153 in³/s

Tipo de Control (1: Temp. de Eyección,
2: Tiempo de Refrigeración) = 1

Temperatura de Eyección = 203 °F

Tiempo de Refrigeración = 2.06 sec

Conclusiones

Se realizó una caracterización de materiales y proceso utilizando equipo de moldeo de transferencia y prototipos.

Así como, software de simulación de moldeo para una empresa de plásticos que fabrica estuches y maletas de uso rudo.

Se logró validar la vigencia y propiedades de distintos lotes de plástico, probando los parámetros, a partir del software de simulación Moldex3d, que permitió conocer parámetros óptimos que reduzcan significativamente los tiempos muertos y rechazo de material. Un ahorro de limpiadores, energía y de materia prima a la que no se le hará disposición.

Agradecimiento

Proyecto realizado gracias al apoyo de la Dirección de Superación Académica en el fortalecimiento de cuerpos académicos de la SEP-PRODEP.

Referencias

Schey, John, Introducción a los procesos de manufactura, Mc Graw Hill, 2002, México.

ISBN: 9701035739

Kalpakjian, Serope, Manufactura, ingeniería y tecnología, Pearson Educación de México. 2002,

ISBN: 9702601371

Anil Kumar y Rakesh K. Gupta, Fundamentals of polymer engineering, Marcel Dekker. CRC Press. India 2003. ISBN: 0824708679

Gabriel O. Shonaike, Suresh G. Advani, Advanced polymeric materials: structure property relationships, CRC Press. 2003. USA. ISBN: 1587160471

Bernie A. Olmsted, Martin E. Davis, Practical injection molding, Marcel Dekker. India.

ISBN: 0824705297

Jean-Pierre Pascault, Thermosetting polymers, Marcel Dekker, CRC Press. 2002. USA. ISBN: 0824706706

Manas Chanda, Salil K. Roy, Plastics technology handbook, Marcel Dekker. 1998. USA. ISBN:082470066X.

Description

Molding tooling for transfer process has a long setup time. We see an opportunity area to find offline cleaning alternatives

Results

Cleaning considered alternatives:

- 1) Laser Cleaning. Lab Test with a CO2 Laser do not remove chrome oxides after cleaning. Also, a challenge to complex geometries. Güdel CleanLaser solution is high speed cleaning of 50 -100 cm²/sec. Laser removes material on the surface that absorbs energy. Once clean the metal reflects energy.
- 2) Ultrasonic Cleaning. Ideal for small precision parts with complex geometry, removal of tightly adhere or embedded particles from parts. Immersion time < 10 min. Ultrasonic cleaning bath available 40 KHz. It stopped working in a search for switching chemicals towards less acid and environmental friendly solutions that delayed or voided cleaning.
- 3) Alkaline Immersion cleaning. It is a slow process. Parts were cleaned with good results. It is a reliable cleaning. Evaporation make up 10-15% volume per week. It requires a well ventilated area and EPP use. Chemical wasted every 2 months.

Conclusion

1. Laser Cleaning. Güdel supplier contacted. It is by far best cleaning approach. Initial investment could be close to \$100K. However, operation cost could be as low as US\$2 per hour. Technology could be manual handling or automation using same laser tool. It provides a solution all across the factory. It adapts easily to different cleaning needs. To provide an accurate quote samples should be send to a USA Lab
2. Ultrasonic Cleaning. Easiest and faster solution. Hardware already in place ready to use. MSDS for Chem Crest 715 & Chem-Crest 103 under review. It is a complement to current cleaning process that speed up setup from 10 hrs to 1 hr.
3. Alkaline Immersion Cleaning. A KOH bath at 10% @140F, immersion Time 1.5hr. Parts cleaned successfully. Hard to get back and deal with a wet process when they have been removed from the factory. Besides chemicals waste.

Proposal



GÜDEL
cleanLASER

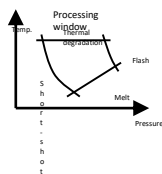


Ultrasonic
Cleaning



Future work

1. As Device complexity and technology is increased, will continue to moved out transfer molding against molding compress.
2. A small lab of prototypes and software as Integrated Circuits IC Moldex3D will improve mold engineers decision making over materials and process characterization.

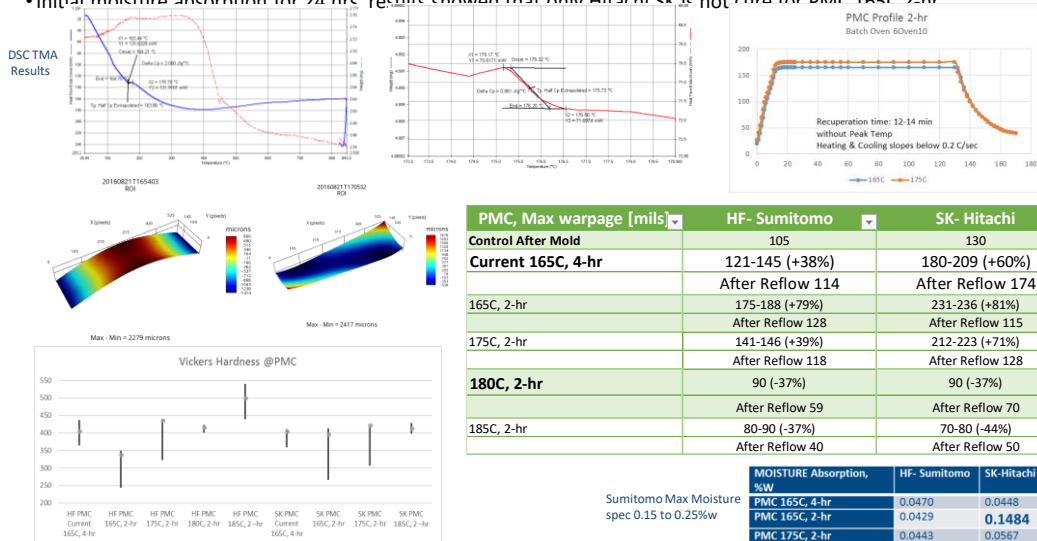


Description

Post mold cure is a significant process on packaging thermosetting polymers as expedite cross-linking and align polymer's molecules thru heating resulting in a stronger device. Cycle time reduction feasibility from 4 hours to 2 hours. Full process and robust product characterization, as: Internal strains, superficial hardness, moisture absorption, thermal- electrical changes (CTE, Tg) and samples for reliability test. Moreover, it can become a strategy for warpage reduction.

Results

- Sumitomo HF-36C including two polymer system including epoxy and phenolic resins. Temperature activates curing at 175C increasing cross-linking. Best results reached at PMC 180C 2-hrs. Actual Sumitomo Tg 163.4 – 178.7C
- Hardness Vickers test shows HF-Sumitomo more consistent showing an incomplete cure for PMC @165C 2-hr. Hardness results higher than current for PMC 185C 2-Hr with a small risk for brittle plastic. Extended test at PMC 180C 2 hours found samples hardness average just slightly above current process. Hitachi SK including a single epoxy resin system that cures faster showing Vickers hardness readings with small changes across experiments.
- HF-Sumitomo PMC 180C 2-hr showing a warpage reduction from Mold Operation. All readings below 90 mils on 0.3 mm and 0.42 mm mold thickness. Reflow at 240 & 260C resulted on complex warpage shapes for an easy singulation vacuum holding. There is a possibility to eliminate reflow operation. A further investigation should be followed on 0.2 mm thinner packages.
- Initial moisture absorption for 24 hrs results showed that only Hitachi SK is not cure for PMC 165C 2-hr



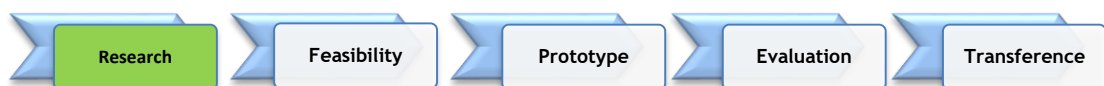
Conclusion

- The highest warpage @PMC could be reduced to below 100 mils without reflow going from PMC 165C 4-hr to PMC 180 2-Hr, inside PMC Sumitomo spec for EME-G770 170C-180C. Results support a 2hr PMC as cross-linking was reached in mechanical samples.
- Molding compound fast cure alternatives are hard to find as criteria of selection is narrow based on dimensional accuracy, better MSL level, halogen free, and higher filler content. However, latest Sumitomo EME-G790 reduced filler size from 55 to 20 micron aims for lower warpage, and better flow. It is already under evaluation by Skyworks.
- NEXT TO CONFIRM RESULTS WITH AN STR BUILDING FUNCTIONAL SAMPLES FOR FULL HYGROSCOPIC ANALYSIS AND RELIABILITY TEST.

Methodology

- Obtain current PMC profile as base line.
- Evaluate mold compound current properties before & after PMC, and after reflow. At every stage: a) Measure Tg, b) Warpage using Thermoire Akrometrix, c) Evaluate superficial hardness using Vickers. d) Obtain Moisture absorption and desorption behavior at 80% RH to confirm environment seal, e) Perform electrical and functional test on devices.
- Develop a new profile maintaining heating and cooling slopes while reduce PMC from 4 hours to 2 hours and/or increase PMC temperature 5C to 10C to reach a cross linking similar to current.

Notes. 1) Thinner packages cure faster, 2) Temperature increase reduces cure cycle time, 3) Sumitomo EME-G770, PMC specification 170-180C 4-8 hrs.



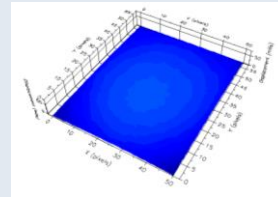
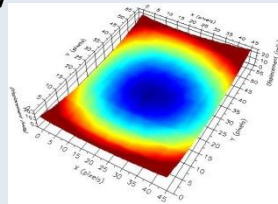
L. Vargas, E. Cabrera¹, V. Morales, S. Huerta, E. Vidales²

¹ Universidad Politécnica de Baja California

² Skyworks Solutions de México S. de R.L. de C.V.

Description

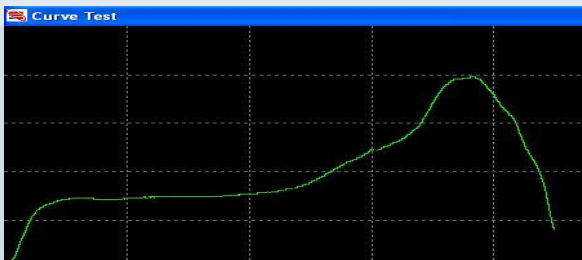
- Warpage is a PCB bend, twist, or variation from flat, a residual stress caused by the mismatch of different materials (CTE) combined with thermo mechanical effects. Warpage represents quality, functional and reliability concerns. Technology challenges as thinner and fragile dies, complex substrates, reduced spacing, and mold cap thickness. Also, a factor that limits equipment capacity.



Warpage
Elimination

Proposal

- Present a validated solution to achieve minimum warpage. Integrated Post Mold Heat treatments as cure and reflow into a single operation.



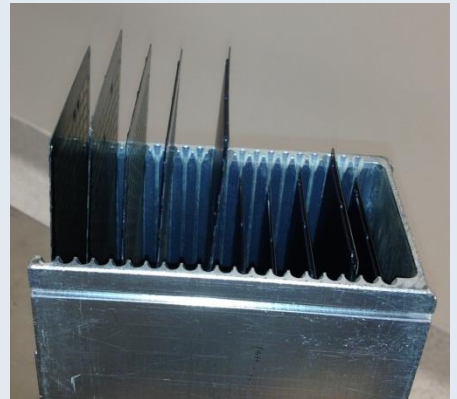
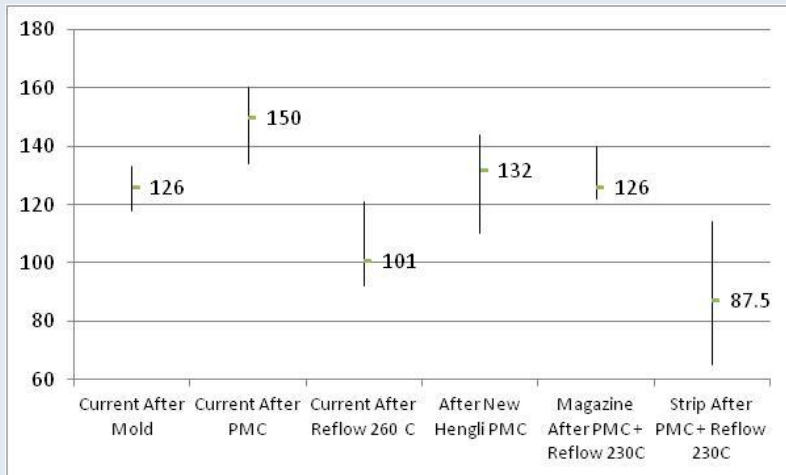
"PMC + REFLOW 230C"
@Hengli Oven

Impacts

- Cost savings as Reflow operation is eliminated.
- Improve yields and equipment capacity at singulation and test.
- Reduced handling and overhead.

Results

- Highest warpage was found at PMC.
- New continuous belt Hengli oven will help with warpage at PMC with a 30% reduction from previous oven. However, warpage at PMC remains as highest in the line.
- Experiment results using Hengli Oven showed that Post Mold Heat treatments as cure and reflow can be integrated as a single operation. Eliminating excessive warpage and getting even a reduction when compared with Mold operation.
- 85% of magazines also presented warpage with narrower PCB paths. Magazines holding PCBs didn't allow warpage reduction. A magazine redesign was requested.



Future work

- Ongoing STR PMC+ Reflow 230C & 260C reliability samples to validate proposal
- PMC mechanical validation thru Tg measurement & Hardness Test.
- Redesigned magazine pilot
- PCBs with 2hr bake and a minimum moisture presented the minimum warpage along all treatments. Further investigation will be required.