

HERMETISCHES FÜGEN MIT REAKTIVSYSTEMEN

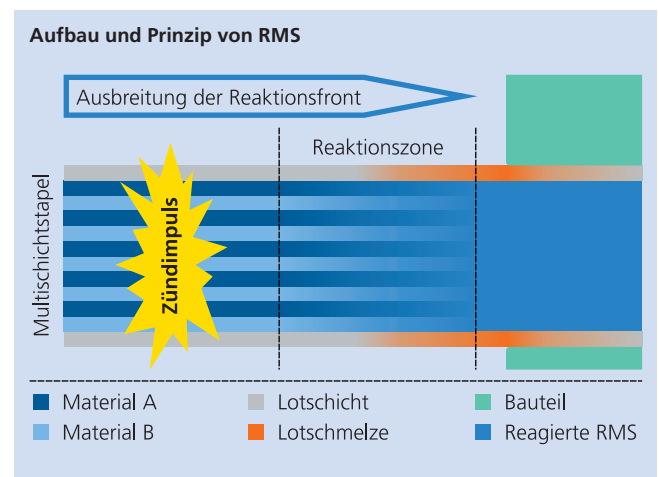
Reaktive Multischichtsysteme (RMS) werden am Fraunhofer IWS erfolgreich sowohl als innovative Fügetechnologie im Maschinenbau, als auch für die Mikrosystemtechnik entwickelt. Sie realisieren eine fügezoninterne Wärmequelle und ultrakurze Prozesszeiten, wodurch sich selbst schwer fügbare Materialien in kürzester Zeit ohne Volumenerwärmung löten lassen. Eine Herausforderung stellt das hermetisch dichte Fügen dar.

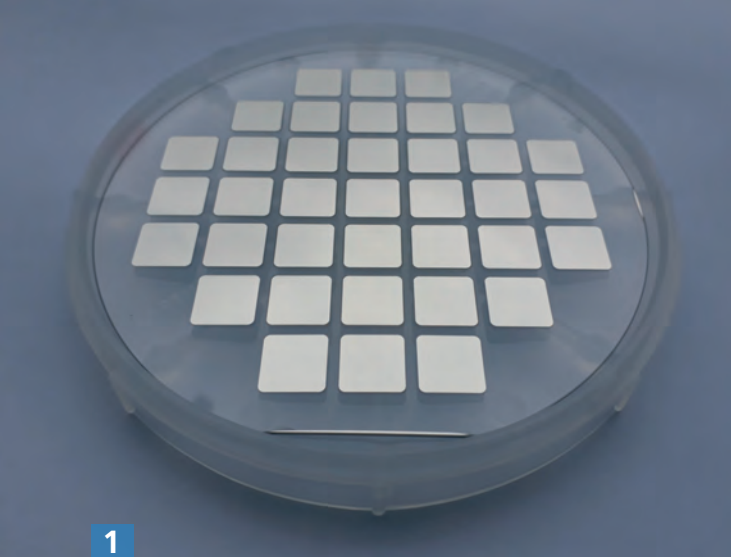
Fügeprozesse sollen in der Mikrosystemtechnik nicht nur eine dauerhafte Verbindung zwischen Komponenten einer Baugruppe herstellen, sie müssen zumeist zusätzliche Funktionen abdecken. Insbesondere realisieren sie auch elektrische Kontakte, Wärmebrücken und hermetisch abgeschlossene Kavitäten. Die derzeit eingesetzten Waferbondverfahren, wie das anodische Fusions-, Glasfritt-, das eutektische oder Thermokompressionsbonden erfordern hohe Prozesstemperaturen. Beim Einsatz verschiedener Materialien mit unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten führt dies zu Stress in der Fügezone und einer hohen Wärmebelastung der Fügepartner. Die genannten Nachteile der Fügeverfahren bei erhöhten Prozesstemperaturen lassen sich vermeiden, wenn die zum Fügeprozess erforderlichen Temperaturen nur auf die Fügestelle begrenzt, die Bauteile selbst aber davor verschont werden. Dies ist aufgrund der kurzen Prozesszeiten beim Fügen mit reaktiven Multischichtsystemen möglich.

Fügefestigkeiten von bis zu 30 Megapascal möglich

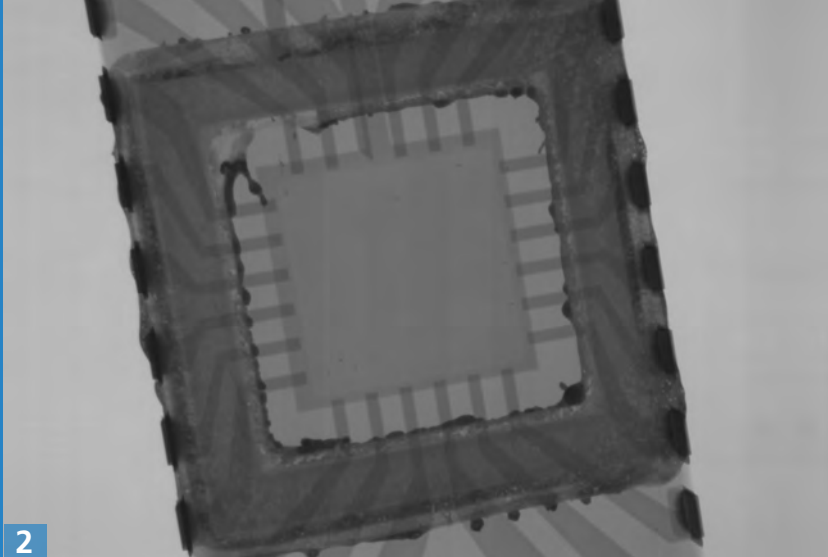
RMS bestehen aus hunderten periodisch aufgebauten Einzelschichten zweier Materialien, die miteinander reagieren können. Die einzelnen Schichtdicken betragen dabei nur wenige Nanometer. Ein RMS weist eine Dicke zwischen 5 und 120 Mikrometern auf und wird direkt in die Fügezone eingebracht – zum Beispiel als freistehende Folie oder auch als integrierte Direktbeschichtung der Fügepartner. Wird anschließend eine Aktivierungsenergie in die RMS eingebracht, so kommt es zu einer chemischen Reaktion. Dabei wird Energie in Form von Wärme

freigesetzt, die Grundmaterialien oder Lote aufschmelzen und darüber eine Fügeverbindung in Sekundenbruchteilen herstellen kann. Die reaktive Fügetechnik ermöglicht es, bereits Weichlot- und Thermoplastverbindungen sowohl auf Bauteil, Chip- und Waferlevel herzustellen. Die Festigkeiten der Fügeverbindungen können 30 Megapascal erreichen. Weiterhin zeichnen sich die Fügungen sowohl durch minimalen Stress in der Fügezone als auch hohe thermische und elektrische Leitfähigkeit sowie ausgezeichnete Beständigkeit gegenüber feuchtwarmen Umgebungen aus. Dem Fraunhofer IWS Dresden gelang es, das Potenzial der reaktiven Fügetechnologie zu demonstrieren. Die kontinuierliche Weiterentwicklung der Technologie eröffnet derzeit weitere Anwendungsfelder. So werden sowohl die Arbeiten zum Hartlöten als auch zum hermetisch dichten Fügen mit RMS vorangetrieben.





1



2

Thermodepots geben Energie verzögert in Fügezogen ab

Bei der Reaktion der gebräuchlichsten und kostengünstigen Nickel-Aluminium-RMS schrumpft das Volumen um 12,4 Prozent. In der Folge bilden sich Risse in der Fügezone, die für das hermetische Fügen eine besondere Herausforderung darstellen. Diese Risse werden bei konventionellen RMS nicht mit Lot oder Grundwerkstoff ausgefüllt und wirken als Kanäle zwischen Kavität und Umgebung. Aktuelle Lösungsansätze befassen sich damit, die Fügeprozesstechnik und das RMS-Design anzupassen, um die Füllung der Risse während der Reaktion zu gewährleisten. Dazu soll mehr Lot bereitgestellt und dieses möglichst lange schmelzflüssig in der Fügezone gehalten werden, um Fließprozesse zu unterstützen. Die Lösung dieser Aufgabe besteht in dem Einbau von Thermodepots in die RMS. Diese speichern die blitzartig freiwerdende Energie aus der RMS-Reaktion zwischen und geben sie verzögert in die Fügezone ab. Vorteilhaft ist die Nutzung von Zinn als Thermodepot, da es zum einen nicht am Reaktionsprozess beteiligt ist und zum anderen als zusätzlicher Lotlieferant direkt in der Fügezone dient. Als besonders erfolgreich erweist es sich, zehn Mikrometer dicke Zinndepots in eine 40 Mikrometer dicke Nickel-Aluminium-RMS einzubringen: So sinkt die Maximaltemperatur in der Fügezone zuverlässig um bis zu 400 Kelvin und das Lot bleibt vier Mal länger schmelzflüssig.

Weniger Risse und zuverlässige Lotfüllung

Fügeversuche zeigen, dass Zinndepots innerhalb von Nickel-Aluminium-RMS das hermetisch dichte Fügen mit Weichloten erlauben. So lassen sich zum einen die Anzahl der Risse in der Fügezone verringern und zum anderen die auftretenden Risse zuverlässig mit Lot füllen. Nickel-Aluminium-RMS mit Zinndepots erlauben aufgrund ihrer gespeicherten Energie ausschließlich die Verwendung von Zinnbasisloten. Aktuelle Arbeiten beschäftigen sich daher mit der Nutzung von hochenergetischen Zirkonium-Silizium-RMS zum hermetischen Fügen von Bauteilen in der Mikrosystemtechnik. Diese Systeme bieten mehrere Vorteile:

So können sie doppelt so viel Energie wie Nickel-Aluminium-Systeme freisetzen und schrumpfen deutlich weniger als diese. Außerdem sind sie sowohl für Weichlote, als auch für Hartlote einsetzbar. Aufgrund der höheren Energiedichte reichen wenige Mikrometer dicke Schichten für das Fügen aus, um Rissbildungen entgegenzuwirken und einen Übertrag auf Waferlevel zu ermöglichen. Erste Untersuchungen zur Nutzung von 25 Mikrometer dicken, freistehenden Zirkonium-Silizium-RMS zeigen eine gute Rissfüllung und hermetisch dichte Fügungen mit zinnbasierten Weichloten. Versuche mit silberbasierten Hartloten erreichten Festigkeiten von über 100 Megapascal.

- 1 *Aktuelle Arbeiten am Fraunhofer IWS fokussieren sich auf die Übertragung der reaktiven Fügetechnologie auf die Mikrosystemtechnik. Die strukturierte Abscheidung von Zirkonium-Silizium-RMS wurde auf Waferebene demonstriert.*
- 2 *Hermetisches Fügen von Sensorgehäusen unter Nutzung von RMS wurde am Fraunhofer IWS erfolgreich durchgeführt. Die Fügezonen der hermetischen Verkapselung eines Sensorgehäuses zeigen in der Röntgenaufnahme keine Risse.*

Teile dieser Arbeiten wurden durch das IGF-Vorhaben 17370B sowie 19069BG der Forschungsvereinigung des Deutschen Verbandes für Schweißen und Verwandte Verfahren e. V. (DVS) über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert vom



KONTAKT

Dipl.-Ing. Georg Dietrich
Energiespeicherschichten

☎ +49 351 83391-3287

✉ georg.dietrich@iws.fraunhofer.de

