

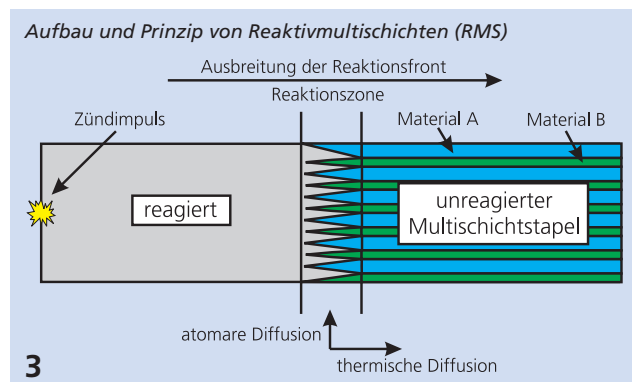
# REAKTIVE NANOMETERMULTISCHICHTEN: MASSGESCHNEIDERTE WÄRMEQUELLEN FÜR SPANNUNGSARMES FÜGEN

## DIE AUFGABE

Üblicherweise zum Fügen eingesetzte Löt- oder Schweißverfahren erfordern in der Regel eine Erwärmung größerer, an die Fügezone angrenzender Bereiche der zu verbindenden Bauteile. Veränderungen der Materialeigenschaften oder das Auftreten von Spannungen in der Fügezone aufgrund der thermischen Belastung könnten vermieden werden, wenn es gelänge, eine Wärmequelle bereit zu stellen, die punktgenau nur unmittelbar in der Fügezone Wärme erzeugt. Erfolgt diese Wärmeeinwirkung nur für kurze Zeit, können Lotmaterialien aufgeschmolzen werden, ohne dass die Grundmaterialien signifikant erwärmt werden müssen.

## UNSERE LÖSUNG

Der Einsatz von Reaktivmultischichten (RMS) eröffnet die Möglichkeit, kurzzeitig Wärmeenergie lokal, äußerst präzise und reproduzierbar in die Fügezone einzubringen. Diese RMS bestehen aus Nanometer-Multischichten, deren hunderte bis tausende Einzelschichten im Ausgangszustand separiert vorliegen und exotherm miteinander reagieren können.



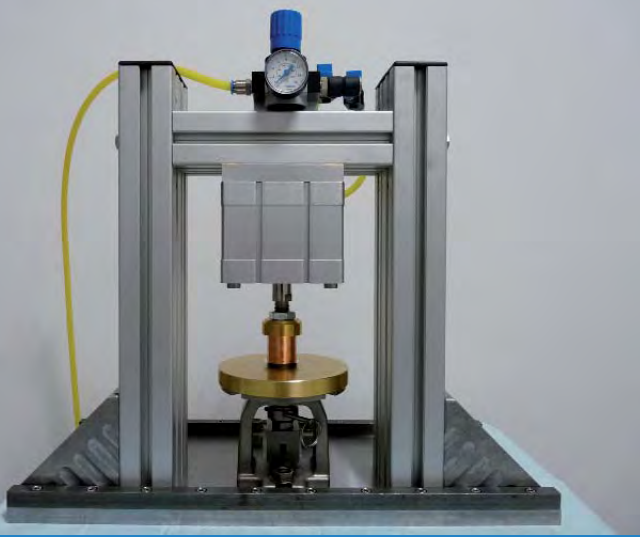
Durch das Einbringen einer Aktivierungsenergie wird an den Grenzflächen die atomare Diffusion der ursprünglich getrennt vorliegenden Materialien angeregt. Bei geeigneter Materialauswahl ist die atomare Interdiffusion mit einer exothermen chemischen Reaktion verbunden (z. B.  $5 \text{ Ti} + 3 \text{ Si} \rightarrow \text{Ti}_5\text{Si}_3$ ), die sich selbstfortschreitend durch die gesamte RMS ausbreitet und Wärmeenergie zum Aufschmelzen von Lötmaterialien bereitstellt. Mit Hilfe einer gezielten Einflussnahme auf das Schichtdesign ist es möglich, speziell an das Fügeproblem angepasste Wärmequellen herzustellen. Reaktivmultischichten können sowohl auf Bauteilebene als auch als freistehende Reaktivmultischichtfolie hergestellt werden. Belagungen sind ebenso möglich.

## ERGEBNISSE

Im Fraunhofer IWS sind Reaktivmultischichten unterschiedlicher Materialkombinationen entwickelt worden. Experimentell bestimmte Maximaltemperaturen nach dem Zünden der RMS liegen derzeit im Bereich von 900 °C bis 1400 °C. Die mittels Differenzthermoanalyse vermessenen freiwerdenden Energiemengen liegen bei rund 1,4 bis 1,6 kJ g<sup>-1</sup>. Die insgesamt freiwerdende Wärmemenge korreliert unmittelbar mit der Gesamtdicke der RMS, welche im Bereich von 10 µm bis derzeit ca. 60 µm liegen kann.

Ein weiterer wichtiger Parameter – die Geschwindigkeit der Reaktionsfront – kann durch das konkrete Design der RMS angepasst werden. Je niedriger die Periodendicken der RMS sind, desto kürzere Diffusionswege entstehen, was zu einer Erhöhung der Ausbreitungsgeschwindigkeit der thermischen Welle und damit der Reaktionsgeschwindigkeit führt.

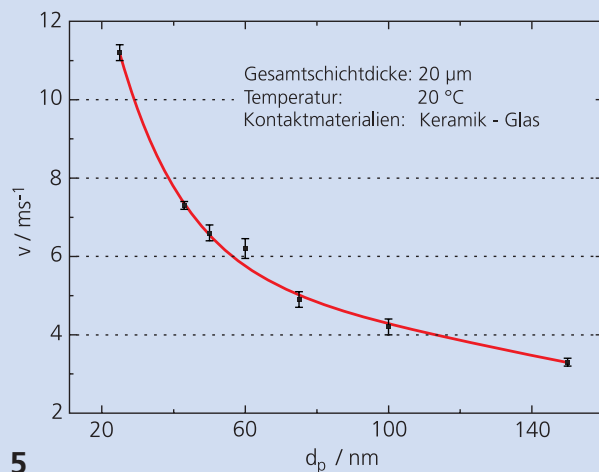
4



Aus der Differenzthermoanalyse (DTA) ist bekannt, dass sich infolge der Änderung der Periodendicke keine Änderung des Energieinhaltes der Reaktivmultischichten ergibt. Somit ist es möglich, RMS-Systeme genau an das Fügeproblem anzupassen.

- 1 Elektrische Zündung einer Reaktivmultischicht (RMS)
- 2 Fügung eines Si-Wafers mit Marcor Glaskeramik unter Anwendung von Reaktivmultischichten
- 4 Vorrichtung zum Druckbeaufschlagten Fügen mit Reaktivmultischichten

Ausbreitungsgeschwindigkeit der Reaktionsfront in Abhängigkeit von der Periodendicke der Reaktivmultischicht



5

Aus der Nutzung von Reaktivmultischichten ergeben sich zahlreiche Vorteile. So kann die freisetzbare Wärmemenge exakt dosiert werden, da die chemische Reaktion der RMS aufgrund ihres definierten Lagenaufbaus berechenbar ist. Weiterhin findet aufgrund der extrem geringen Prozesszeiten von weniger als einer Sekunde keine signifikante Volumen-erwärmung der zu fügenden Bauteile statt. Vielmehr wird die Wärme sehr lokal und kurzzeitig direkt in der Fügezone freigesetzt, so dass auch thermosensitive Bauteile und Werkstoffe mit extrem unterschiedlichen thermodynamischen Kenndaten, wie zum Beispiel Metalle mit Keramiken, ffügbar sind. Aufgrund des definierten RMS-Aufbaus wird eine gute Reproduzierbarkeit der Fügungen gewährleistet. Gegenüber Klebverbindungen bietet das Fügen mit Reaktivmultischichten den Vorteil des Herstellens einer elektrisch und thermisch gut leitenden metallischen Verbindung. Weiterhin ist zu erwarten, dass die Fügeverbindung nicht ausgast oder altert. Zudem

benötigt die exotherme Reaktion der Reaktivmultischicht keinen Sauerstoff. So sind auch Sondereinsatzfälle, wie das Fügen unter Vakuum, Schutzgas oder auch unter Wasser möglich.

Die Anwendung der RMS zum Fügen ist im IWS bisher für folgende Materialkombinationen erfolgreich erprobt worden: Messing-Messing, Keramik-Silizium, Invar-Silizium, Silizium-Silizium, Keramik-Edelstahl. Prinzipiell ist jedoch zu erwarten, dass sich das Fügen mit RMS für beliebige Materialkombinationen anwenden lässt.

Die Nutzung der Reaktivmultischichten zum Fügen bietet sich immer dann an, wenn konventionelle Fügeverfahren nicht anwendbar sind. Besondere Vorteile des RMS-Fügens ergeben sich bei Präzisionsfügungen in der Mikrosystemtechnik, Optik oder Feinwerktechnik, im Maschinen- und Anlagenbau, sowie in der Fahrzeug- und Flugzeugtechnik.

#### KONTAKT

Dipl.-Ing. Georg Dietrich  
Telefon: +49 351 83391-3287  
georg.dietrich@iws.fraunhofer.de

