

## KURZBERICHT

## Schonendes TLP-Fügeverfahren bei Prozesstemperaturen unter 150°C durch Anwendung ternärer Systeme (LowTemp-TLP)

Das Fügeverfahren Transient-Liquid-Phase- (TLP-) Bonding kommt aus dem Bereich der metallischen Niedertemperaturverbindungstechnik und kombiniert damit die positiven Eigenschaften von metallischen Verbindungen, wie beispielsweise mechanische Stabilität und Leitfähigkeit mit dem Vorteil niedriger Prozesstemperaturen. Dies ist möglich, da im Prozess durch Diffusion aus einer niedrig- und einer hochschmelzenden Phase eine temperaturbeständige intermetallische Phase entsteht. In der Kombination Silber (Ag) und Zinn (Sn) kann so beispielsweise bei einer Prozesstemperatur von 250 °C eine Verbindung erzeugt werden, die bis über 400 °C stabil ist. Im Vergleich zu anderen temperaturstabilen Verfahren, wie eutektischem Bonden, AuSn-Löten oder auch Glaslöten sind die TLP-Verfahren daher im Vorteil, da die Differenz zur Raumtemperatur nach dem Prozess und damit auch der thermo-mechanische Stress geringer ist.

Genau dieses Verfahren mit dem binären AgSn-System wurde im IGF-Projekt „Sensor-TLP“ (18476N) bereits durch Hahn-Schickard und IMTEK grundlegend erarbeitet. Dabei zeigten sich allerdings aufgrund der Prozess- und Verbindungseigenschaften die Defizite.

- Die Verbindungen weisen bei Raumtemperatur kaum Plastizität und eine hohe Steifigkeit auf. Durch den Temperaturunterschied von Prozesstemperatur und Raumtemperatur bauen sich starke Restspannungen auf, die zu Rissbildung oder zum Ausfall führen können.
- Die Prozesstemperaturen von deutlich über 200°C sind für viele temperaturempfindliche Materialien (z. B. Harze in Leiterplatten oder Kunststoffe in Bauteilen) zu hoch und führen zur Degradation oder zur völligen Zerstörung.

Um diesen Defiziten entgegenzuwirken, ist eine deutliche Absenkung der Prozesstemperatur wünschenswert. InSn weist in der eutektischen Zusammensetzung einen Schmelzpunkt von 117 °C auf und eignet sich damit auch dazu, bei Temperaturen <150 °C die im Prozess benötigte flüssige Phase zu erzeugen. Gleichzeitig handelt es sich hierbei um Metalle, die für Anwendungen in Lotprozessen bereits bekannt sind.

In Voruntersuchungen hat sich gezeigt, dass sich in einem Fügeprozess gemeinsam mit Ag auch die hochschmelzenden binären Phasen Ag<sub>3</sub>Sn, Ag<sub>4</sub>Sn, und Ag<sub>3</sub>In bilden. Damit lässt sich mit solch einem ternären System ein Prozess entwickeln, der bei einer sehr niedrigen Bondtemperatur folgende

Vorteile aufweist:

- Niedrige thermo-mechanische Belastung bei Raumtemperatur aufgrund eines reduzierten  $\Delta T$  beim Abkühlen nach dem Prozess
- Temperaturstabilität über die Prozesstemperatur hinaus
- Stabile, stoffschlüssige Verbindung zwischen den Fügepartnern
- Gute thermische und elektrische Leitfähigkeit
- Energieeinsparung durch geringere Prozesstemperatur

Zu Projektbeginn wurden, zusammen mit dem projektbegleitenden Ausschuss, die Spezifikationen bezüglich der Testsubstrate, der einzusetzenden Prozessgeräte, der herzustellenden TLP-Schichtsysteme und der zu verwendenden Elektrolyte, erarbeitet. Anschließend erfolgte die detaillierte Untersuchung des ternären Systems In-Sn-Ag bezüglich der kinetischen Aspekte der Phasenbildung. Mittels Querschliff und REM wurde die Mikrostruktur untersucht und der sich ergebende Phasenbestand mit Röntgenspektroskopie (EDX) und Röntgendiffraktometrie (XRD) bestimmt. Zur Bestimmung von Aufschmelz- bzw. Erstarrungsvorgängen wurden dynamische Differenzkalorimetrie-Untersuchungen (DSC) durchgeführt.

Anschließend wurde der Prozess zur Herstellung von galvanischen LowTemp-TLP Lötfolien und Direktbeschichtungen entwickelt. Dabei wurden verschiedene Probenmuster in Form von Folien und Direktbeschichtungen hergestellt. Ausgewählte Proben wurden an den Forschungsstellen gebondet und materialkundlich charakterisiert.

Zur Durchführung der Fügeversuche von Einzelbauteilen und Chips standen bei den Forschungseinrichtungen anwendungsspezifische Prozessgeräte zum Bonden zur Verfügung, die mit zusätzlichen Komponenten zum Platzieren und Ausrichten der Fügepartner ergänzt wurden.

Sowohl mit Multilayerfolien als auch mit Direktbeschichtungen wurden systematische Fügeversuche mit Testobjekten durchgeführt. Die Qualität der Fügeverbindungen wurde in Abhängigkeit von den Materialien und Beschichtungen der Testobjekte sowie vom jeweiligen Prozessgerät untersucht. Hierbei wurde die Festigkeit der Fügeverbindungen sowohl bei Raumtemperatur als auch unter erhöhter Prüftemperatur als maßgebliches Qualitätskriterium herangezogen. Weiter wurde ein ausführliches Design-of-Experiments zur

Optimierung der Prozessparameter bei verschiedenen Fügepartnern durchgeführt. Bei der Betrachtung der Ergebnisse wurden die standardisierten Effekte von Temperatur, Zeit und Druck ausgewertet.

An zwei ausgewählten Funktionsmustern wurden die optimierten Schichtsysteme und Fügeverfahren evaluiert. Das ternäre Schichtsystem SnInAg wurde bei Funktionsmuster 1 als strukturierte Folie zwischen dem Edelstahlgehäuse (1.4404) und einem Sensordummy aus Silizium/Kupfer gefügt. Nach dem Fügeprozess wurden die Bauteile mittels Heliumlecktest sowie der Untersuchung des Gefüges charakterisiert.

Funktionsmuster 2: Einen weiteren Schwerpunkt bildeten die Modellbildung und die Simulation der Temperaturabhängigkeit von Eigenschaften ausgewählter Bauteile. Die thermo-mechanischen Simulationen wurden anschließend anhand von Versuchen mit einer siliziumbasierten Leistungsdiode verifiziert.

Abschließend kann festgehalten werden, dass, durch die erfolgreiche Abscheidung der TLP-Materialsysteme in der erforderlichen Qualität, durch die Planung, Durchführung, Auswertung und Charakterisierung Proben aus den unterschiedlichen Versuchsreihen sowie die abschließende Verifikation der Versuchsergebnisse anhand von zwei Funktionsmustern, die im Projektantrag gesteckten Ziele erfolgreich umgesetzt werden konnten.

### Danksagung

Das IGF-Vorhaben 01IF21868N der Forschungsvereinigungen Hahn-Schickard-Gesellschaft und Edelmetalle und Metallchemie wurde über das DLR im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

AIF 21868 N

01.05.2021-31.01.2024

#### FORSCHUNGSPARTNER

Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung e.V. | Institut für Mikrosystemtechnik – IMTEK

#### ANSPRECHPARTNER

fem | Forschungsinstitut Edelmetalle + Metallchemie | Katharinenstraße 13–17 | 73525 Schwäbisch Gmünd  
Dr. Heidi Willing, willing@fem-online.de | M.Sc. Kayla Johnson, johnson@fem-online.de