

## **Kurzbericht zum Vorhaben**

### **Beständige, dichte Metall-Kunststoff-Verbindungen an Premolded Gehäusen**

#### **1. Forschungsziel**

Forschungsziel ist die Entwicklung und Qualifizierung eines Verfahrens um stabile, dichte Metall-Kunststoff-Durchführungen an Elektronik-Gehäusen herzustellen. Dieses Ziel soll durch eine Verbesserung der Anbindung des spritzgegossenen Kunststoffkörpers an die integrierten Metallrahmen erfolgen. Hierzu ist eine lokale Oberflächen-Vorbehandlung vorgesehen, die unter den identifizierten Randbedingungen folgende Anforderungen erfüllt:

- Verbesserung der Haftfestigkeit über eine stabile chemische Anbindung,
- selektive Behandlung der Oberflächen
- Kompatibilität zum Fertigungsablauf der Premolded Packages

#### **2. Ergebnisse**

##### **2.1. Herstellung geeigneter Testbauelemente**

Vor der Auswahl geeigneter Testbauelemente wurden die für die Untersuchungen zu verwendenden Materialien ausgewählt und definiert. Gemeinsam mit den Partnern des PBA wurde als Gehäusematerial für Premolded Packages das PBT (Polybutylen-Terephthalat) mit höchster Priorität festgelegt. PBT ist für Industrieanwendungen der am häufigsten eingesetzte Kunststoff. Ein weiterer industriell wichtiger Kunststoff ist der Hochtemperatur-Thermoplast LCP (Liquid Crystal Polymer). Mit geringerer Priorität festgelegte Kunststoffe sind PPS (Polyphenylensulfid) sowie PPA (Polyphthalamid). Der Anteil an Glasfasern (20 oder 30%) spielt aus Sicht des PBA eine untergeordnete Rolle. Bei den thermischen Prüfungen müssen die Parameter den jeweiligen thermischen Eigenschaften des Kunststoffs angepasst werden.

Als unbeschichteter und blanker Leiterraum (Leadframe) wurde die Kupferlegierung CuFe2P für alle Teststrukturen und Gehäuse definiert. Als mögliche kostengünstige Alternative regte der PBA Stahl an.

Im Hinblick auf die Auswahl einer typischen Bauform wurde aus dem PBA auf das Fehlen von Designregeln für Premolded Packages hingewiesen. Es solle daher darauf geachtet werden, dass typische Gehäusegrößen für den jeweiligen Kunststoff ausgewählt werden. PBT soll somit nur in Verbindung mit großen Gehäusen verwendet werden, hingegen LCP bei kleinen Gehäusen.

Zur Herstellung von geeigneten Testbauteilen wurde ein Spritzgieß-Formwerkzeug konstruiert (Abb. 1). Mit diesem können zeitnah mit der am Lehrstuhl für Prozesstechnologie des IMTEK vorhandenen Spritzgussmaschine (Abb. 2) Proben hergestellt werden. Diese bestehen aus einem Metall-Kunststoff-Verbund welcher mit einer geeigneten Prüfeinrichtung im Zugversuch zur Delamination gebracht werden kann. Damit ist es möglich, die Haftfestigkeit der Metall-Kunststoff-Grenzfläche zu bestimmen. Auch die Prüfeinrichtung sowie die nötigen Werkzeuge wurden konstruiert und gebaut (siehe Kap. 4).

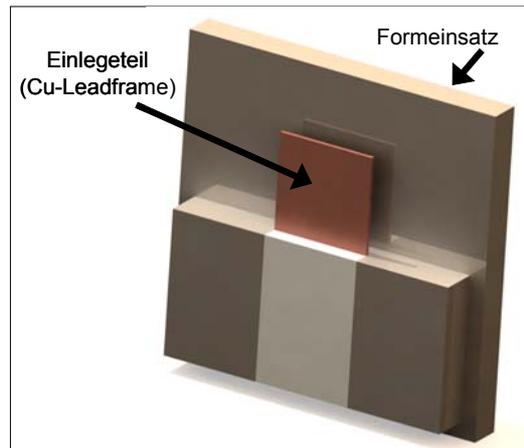


Abb. 1: Konstruierter Formeinsatz für Einlegespritzguss von Prüfkörpern



Abb. 2: Verwendete Battenfeld Microsystem 50 - Spritzgießmaschine

Zusätzlich besteht die Möglichkeit, Testbauteile mit bereits teilweise vorhandenen, von den Firmen Heraeus und Daimler Chrysler bereitgestellten Werkzeugen bei den Industriepartnern herzustellen. Diese Proben sind kompatibel zu den selbst hergestellten Prüfwerkzeugen.

## 2.2. Abscheidung von Haftschichten

Die zu untersuchenden Haftschichten wurden ebenfalls vom PBA festgelegt. Dabei sollen neben dem als Unterauftrag vergebenen Arbeitspaket am Lehrstuhl für Chemie und Physik von Grenzflächen (CPI) des IMTEK auch andere Alternativen zur Haftungsverbesserung verglichen und untersucht werden. Die gewählten Beschichtungsarten zu Erhöhung der Langzeitstabilität von Premolded Packages sind im Folgenden mit absteigender Priorität aufgelistet:

- Polymerbeschichtung (Unterauftrag CPI, IMTEK)
- Reinkupfer (chemisch aktivierte Oberflächen)
- Vernickeln als Sperrschicht
- Sandgestrahlte Oberflächenrauigkeit
- Beschichtung mit Polyurethan Reaktions-Haftvermittler
- Zinn-Nickel Beschichtungen (Prozesstechnologie, IMTEK)
- Dendritisch Kupfer oder Nickel abscheiden, Blumenkohlstruktur
- Stahlblech mit Nickel beschichtet
- Beschichtung mit Reinzinn
- Einseitige Walzplattierung von Aluminium
- Geprägte Oberflächenrauigkeit

Die Polymerbeschichtung des Arbeitspakets CPI ist bereits in der Anlaufphase. Die hierfür zu verwendenden Leadframematerialien wurden auf Kupfer (CuFe2P), vernickeltes Kupfer sowie evtl. Zinn-Nickel beschichtetes Kupfer festgelegt. Zunächst soll dabei die Anbindung über eine kovalent gebundene und geometrisch strukturierbare Polymerschicht an PBT entwickelt werden.

Zusätzlich wurden eine Reihe anderer Beschichtungen vorgenommen und einige bereits im Zugversuch charakterisiert. Weitere Beschichtungen als die oben aufgelisteten sind Schwarzoxid, gesputtertes Aluminium, gesputtertes Titan-Wolfram, Silan-Primer sowie mit O<sub>2</sub>-Plasma aktivierte Oberflächen (Abb. 3).

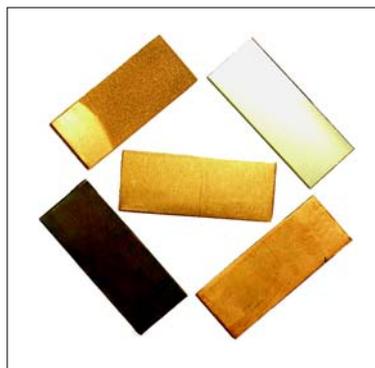


Abb. 3: Behandelte Leadframes: Links oben: sandgestrahlt, rechts oben: aluminiumbeschichtet, links unten: schwarzoxidiert, rechts unten: silanisiert, mittig: unbehandelt.

In einer Screeningphase wurden die Beschichtungen zunächst nur vollflächig angewandt. Nach Qualifizierung einer oder mehrerer dieser Beschichtungen mit Hilfe von ersten Temperatur- und Feuchtetests kann die dafür am Besten geeignete Strukturierungsmethode gefunden werden.

Bei allen Beschichtungen wurden die Leadframes vorher in den gleichen Ausgangszustand gebracht. Dafür werden diese immer den folgenden Reinigungsschritten

unterzogen: Fünf Minuten in Azeton mit Ultraschall, fünf Minuten in Isopropanol mit Ultraschall sowie fünf Minuten in deionisiertem Reinstwasser mit Ultraschall. Anschließend wurden die Leadframes mit Stickstoff getrocknet.

### 2.3. Herstellung von Verbundbauteilen durch Spritzguss

Mit der am IMTEK verfügbaren Spritzgussmaschine und den gefertigten Werkzeugen konnten Verbundbauteile hergestellt werden (Abb. 4). Dabei handelt es sich um Testbauteile zur Untersuchung von Degenerationsprozessen in der Haftschrift nach Klimatests wie z. B. Pressure Cooker, Temperaturwechsel oder Temperaturschock. Die Verbundbauteile bestehen aus einem mit PBT- oder LCP- umhüllten und vorher beschichteten Kupferträger (CuFe2P). Außerdem sind weitere, bei den Industriepartnern hergestellte Test-Verbundbauteile in Planung. Dadurch wird es möglich, mit geringerem Aufwand größere Stückzahlen von Verbundbauteilen zu erhalten.

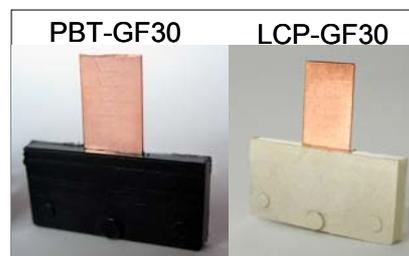


Abb. 4: Hergestellte Verbundbauteile mit beschichteter Leadframe-Oberfläche.

### 2.4. Experimentelle Untersuchung von Haftungsmechanismen

In diesem Arbeitsschritt werden die hergestellten Verbundbauteile mit Hilfe von Ausziehversuchen (Pull-Test) bezüglich der Haftfestigkeit des Verbundes charakterisiert. Dafür wurde zunächst eine geeignete Prüfhalterung konstruiert (Abb. 5).

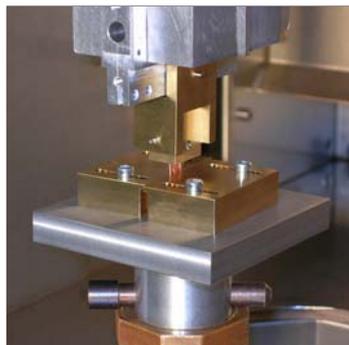


Abb. 5: Prüfhalterung für Zugversuche mit eingespanntem Verbundbauteil.

Damit ist es möglich, die umspritzten Leadframes kontrolliert axial und weitgehend torsionsfrei aus dem Prüfling unter Aufzeichnung der Zugkraft herauszuziehen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen an ausgewählten Verbundproben sind in Abb. 6 dargestellt. Es handelt sich dabei um Messungen bei Raumtemperatur mit Proben im ungealterten Zustand. Dabei entspricht die Bezeichnung „entfettet“ einem Verbundbauteil mit unbehandelten Leadframes. Diese wurden lediglich mit Azeton,

Isopropanol sowie Reinstwasser in Kombination mit Ultraschall von fettlöslichen bzw. ionischen Verunreinigungen befreit.

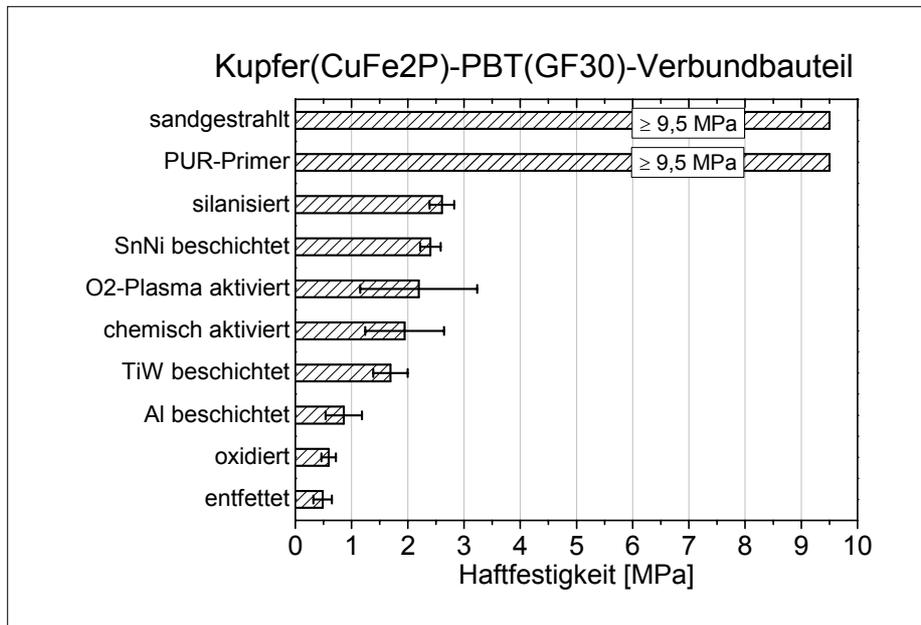


Abb. 6: Hafffestigkeit der jeweiligen Oberflächenbehandlung. Ausziehversuch von PBT-Kupfer-Proben bei Raumtemperatur.

Die in Abb. 6 angegebenen Werte für die mit „sandgestrahlt“ sowie mit „PUR-Primer“ bezeichneten Proben entsprechen lediglich einem Minimalwert. Aufgrund der hohen Hafffestigkeit konnte bei diesen Messungen keine Delamination mehr erzielt werden, sondern der Leiterraum versagte.

Gut zu erkennen ist der Einfluss der Oberflächenrauigkeit auf die Hafffestigkeit. Die sandgestrahlten Proben haben aufgrund ihrer hohen Oberflächenrauigkeit eine um mehr als ca. 20-fach höhere Hafffestigkeit als die mit „entfettet“ bezeichneten Proben. Die arithmetische Mittenrauigkeit  $R_a$  der sandgestrahlten Proben wurde nach DIN 4768 gemessen und beträgt ca.  $1,3 \mu\text{m}$ . Im Vergleich dazu haben die ungestrahlten Leadframes eine um ca. 30-fach geringere Mittenrauigkeit von  $0,044 \mu\text{m}$ .

Auch führt das Beschichten der Leadframes mit speziellen Polyurethan-Reaktionsprimern zu sehr guten Ergebnissen bezüglich der Haftung. Der Primer wird auf die chemisch gereinigten sowie aktivierten Kupfer-Leadframes appliziert und vor der vollständigen Aushärtung mit Kunststoff umspritzt. Die Temperaturen beim Spritzgussprozess sowie beim anschließenden Tempern der Proben lassen den Primer unter Mitwirkung der vorhandenen Restfeuchtigkeit vollständig aushärten. Dadurch entsteht eine Haftschrift, kombiniert aus guter mechanischer Verzahnung sowie guter chemischer Anbindung.

Zusätzlich ist in Abb. 6 die Hafffestigkeit von Verbundteilen mit oxidierten Leadframes dargestellt. Diese wurden vor dem Umspritzen gereinigt und im Ofen 72 h bei einer Temperatur von  $280^\circ\text{C}$  oxidiert. Grund für den insgesamt schwachen Verbund ist die geringe Haftung des spröden Kupferoxides am Kupfer. Bei entsprechend hohem Oxidationsgrad besteht die gesamte Schnittstelle zwischen Kupfer und Kunststoff aus sprödem und porösem Kupferoxid und bietet für den Verbund keinen mechanischen Halt mehr. Unter Umständen muss daher der Schutz des Leadframes

vor Oxidation zur Erzeugung einer langzeitstabilen Verbindung in Betracht gezogen werden.

Weitere Beschichtungen mit nur moderat haftvermittelnden Eigenschaften sind Silanisierung, Beschichtung mit Zinn-Nickel (SnNi) sowie Aktivierung der Oberfläche. Die Aktivierung wurde dabei sowohl nasschemisch als auch mit Hilfe von Sauerstoffplasma durchgeführt. Die Zinn-Nickel Beschichtung hat den Vorteil, dass diese das Leadframe einerseits sehr gut vor Oxidation schützt und andererseits direkt lötlbar ist. Sowohl bei der nasschemischen Aktivierung als bei auch der Silanisierung werden die Substrate lediglich in ein Tauchbad geführt und anschließend gespült bzw. getempert. Der Vorteil liegt hier somit im geringen technischen Aufwand des Verfahrens.

### **3. Management / Bewertung/**

Eine erste Sitzung des Projektbegleitenden Ausschusses hat am 20. November 2006 am IMTEK der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg stattgefunden.

Das Vorhaben verläuft planmäßig.



Prof. Dr.-Ing. J. Wilde