

Intermetallische Kupfer/ Zinn Phasen

1 Allgemein

Eine intermetallische Phase ist eine homogene chemische Verbindung aus zwei oder mehreren Metallen. Sie zeigen im Unterschied zu Legierungen Gitterstrukturen, die sich von denen der Konstituierenden Metallen unterscheiden. Sie entstehen durch Diffusion von Metallen. Unter Diffusion von Metallen versteht man einen natürlich ablaufenden physikalischen Prozess, bei dem die Konzentrationsunterschiede der reinen Ausgangsmetalle mittels Durchmischung ausgeglichen werden. Für diese Durchmischung werden Fehlstellen in den Metallgittern benutzt, d.h. je mehr Gitterfehler vorhanden sind, desto stärker ist die Diffusion. Sie startet augenblicklich an der Phasengrenze der Ausgangsmetalle und kann mit ihrer völligen Durchmischung enden, d.h. wenn das eine Ausgangsmetall an die Oberfläche des anderen Ausgangsmetall gelangt ist. Sie verläuft in der Regel einseitig.

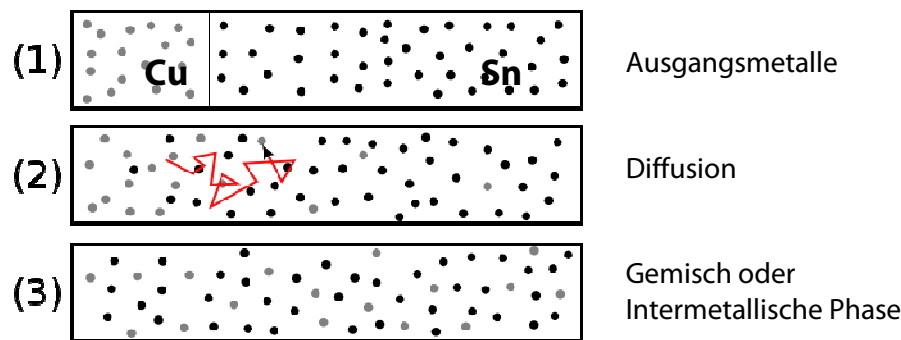


Abb. 1: Schematische Darstellung der Diffusionsdurchmischung¹

Werden Leiterplatten mit chemisch Zinn beschichtet, kommt es an der Grenzfläche Kupfer/Zinn zur Ausbildung von intermetallischen Cu/ Sn-Phasen. **Das hat zur Folge, dass eine sehr zuverlässige und stabile Lötverbindung zwischen Leiterplatte und Bauteil entstehen kann.** Der selbe Mechanismus findet auch bei Leiterplatten mit einer HAL² Oberfläche statt.

2 Wachstum der intermetallischen Phase

Das Wachstum der intermetallischen Phase ist eine Funktion der Zeit und der Temperatur, wobei die Temperatur die Wachstumsgeschwindigkeit deutlich stärker beeinflusst. Das Wachstum der intermetallischen Phase kann annähernd mit folgender Formel³ berechnet werden:

$$\text{Wachstum intermetallische Phase } [\mu\text{m/h}] = 0,125e^{-(155-T)/17}$$

Beispiel:

Werden Leiterplatten mit chemisch Zinn Oberfläche per Seefracht 4 Wochen in einem Container transportiert (Innentemperatur ca. >65 °C), kann die intermetallische Phase bis zu 0,42 µm wachsen. Dieser Wert entspricht einer Lagerzeit von **12 Monate bei 22 °C**.

¹ JKrieger 27.04.2010 - de.wikipedia

² Hot Air Leveling

³ IPC-4554/2007

Intermetallische Kupfer/ Zinn Phasen

Die Verwendung der Formel zur Berechnung des Wachstums der intermetallischen Phasen ergibt lineare Wachstumsverläufe im Verhältnis zu Zeit und Temperatur. Da die Ausgangsmetalle jedoch nicht in gediegener Form vorliegen, sondern es sich ausschließlich um elektrolytisch oder chemisch abgeschiedene Metalle handelt, ist der reelle Wachstumsverlauf der intermetallischen Phase nicht linear. Das Wachstum der intermetallischen Kupfer/ Zinn Phase bedeutet in gleichem Masse die Abnahme der zur Lötung notwendigen Reinzinnschicht on top.

3 Diffusionssystem Kupfer/ Zinn⁴

Im System Kupfer/ Zinn diffundiert das Kupfer in die Zinnschicht. Es bilden sich zwei hauptsächliche Phasen mit unterschiedlichen Zusammensetzungen und Eigenschaften.

Die 1. Phase (zinnarm) befindet sich an der Phasengrenze zum Kupfer und enthält ca. 38% Sn. Sie hat die chemische Formel Cu_3Sn .

Die 2. Phase (zinnreich) befindet sich an der Phasengrenze zum Zinn und enthält ca. 61% Sn. Sie hat die chemische Formel Cu_6Sn_5 .

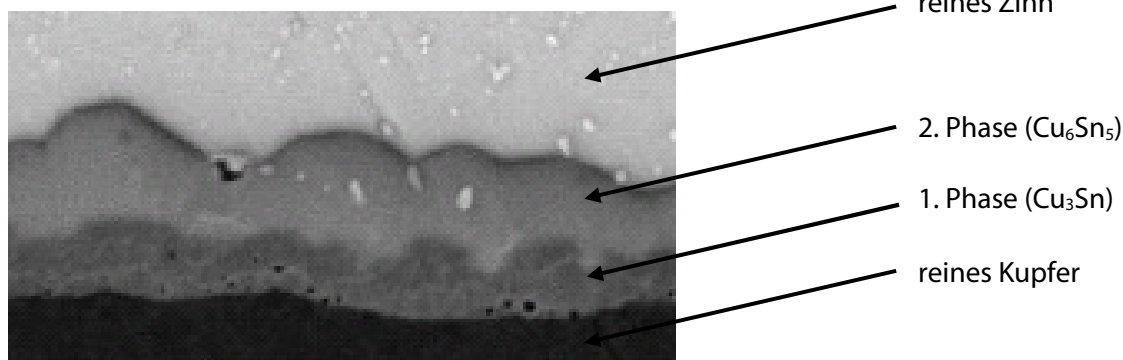


Abb. 2: Schichtaufbau Cu/ chemisch Zinn⁵

Die sich ausbildenden intermetallischen Phasen behindern sich mit zunehmender Schichtstärke gegenseitig in Ihrem Wachstum. Sie wirken ähnlich wie Diffusionssperren, die einem weiteren Wachstum der intermetallischen Phasen entgegen wirkt.

4 smartin® Beschichtung

Bei der Beschichtung von Leiterplattenkupfer mit chemisch Zinn bildet sich die intermetallischen Phasen direkt während des Beschichtungsprozesses. Ihre anfängliche Dicke ist abhängig von:

- der Beschaffenheit des Kupferuntergrundes
- der Reinheit des abgeschiedenen Zinnes

Um die Dicke der anfänglich gebildeten intermetallischen Phasen so gering wie möglich zu halten, verwendet APL eine speziell auf smartin® abgestimmte Kupfervorbehandlung. Außerdem werden im Chemisch-Zinn-Elektrolyten alle störenden Substanzen in sehr geringen Konzentrationen gehalten (unterhalb der Spezifikationsgrenzen). Dadurch wird das Auftreten von Fehlstellen im Metallgitter minimiert, ebenso die Ausbildung der Diffusionsschicht. Die anfängliche Dicke der intermetallischen Phase beim smartin® Prozess beträgt ca. 0,2 - 0,25 μm ⁶.

⁴ Kupfer galvanisch abgeschieden, Zinn über Ladungsaustausch abgeschieden

⁵ Dr. Hans Bell, Rehm Thermal Systems, 01.10.2009 - Hamburger Lötzirkel (Einfluss des Temperaturprofils auf die Reflowqualität)

⁶ Mario Reiter, Fraunhofer ISIT Itzehoe, 02.11.2009 - Projekt 294956

Intermetallische Kupfer/ Zinn Phasen

5 Reelles Wachstum von intermetallischen Kupfer/ Zinn Phasen

Die intermetallischen Kupfer/ Zinn Phasen wachsen in Abhängigkeit von Zeit und Temperatur, nicht linear. Direkt nach der Abscheidung betragen sie zwischen 0,2 und 0,25 μm . Während nach einer 1/2-jährigen Lagerung (normale Umgebungsbedingungen⁷) noch ein Zuwachs der intermetallischen Phasen von 0,18 μm feststellbar ist (rechnerisch müssten es je nach Temperatur 0,195 - 0,261 μm sein), so sind es nach einem Jahr zusätzlich nur noch ca. 0,02 μm .

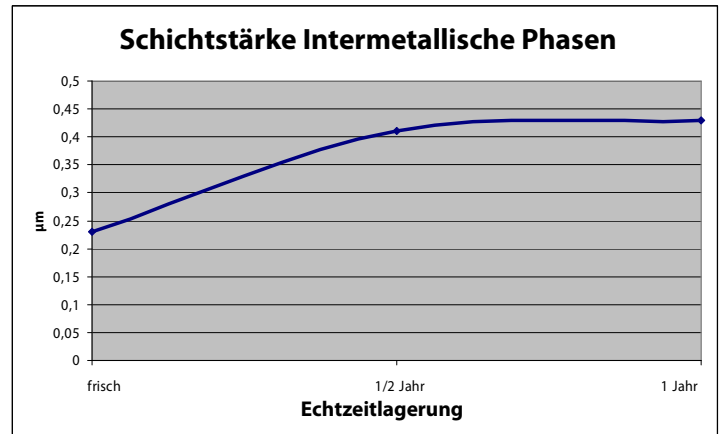


Abb. 3: Wachstum der intermetallische Phasen/ Echtzeitlagerung⁸

Ein deutlich höheres Wachstum der intermetallischen Phasen wird durch thermische Prozesse beobachtet. Bei einem Reflowprozess (Standardwerte für Bleifreilötung mit 245 °C Peak und 480 s Profillänge), je nach Ausgangsschichtstärke der intermetallischen Phasen, kann das einen Zuwachs von 0,37 bis 0,5 μm bedeuten. Bei einem zweiten Reflowprozess beträgt die Zunahme jedoch nur noch 0,04 bis 0,07 μm . Überaus anschaulich werden diese Werte, wenn Echtzeitlagerungen mit thermischen Belastungen kombiniert betrachtet werden.

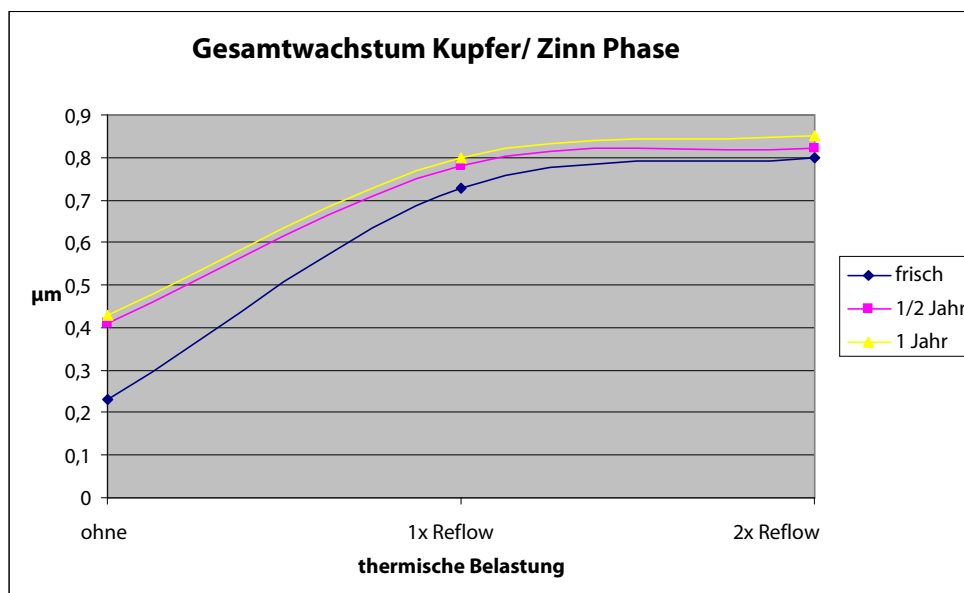


Abb. 4: Wachstum der Diffusionsschicht bei Echtzeitlagerung/ thermischer Belastung⁸

Hinweis:

Alle Werte wurden Mittels X-Ray/ Couloscope entsprechend IPC-4554/ DIN EN ISO 2177 gemessen.

⁷ Lagerungsempfehlung des ZVEI vom 28.02.2008

⁸ A. Krieger, FEM Schwäbisch Gmünd, 11.12.2014 - Projekt 3E14336

Intermetallische Kupfer/ Zinn Phasen

6 Probleme, die intermetallische Phasen hervorrufen können

Auf Grund des Verhaltens von intermetallischen Phasen kann es zum Durchwachsen der Reinzinnschicht kommen. Der Luftsauerstoff oxidiert dann die an der Oberfläche befindlichen Kupferanteile. "Durchgewachsene" und oxidierte intermetallische Phasen können nicht oder nur mit sehr stark aktivierten Flussmittel wieder lötfähig gemacht werden. No Clean Fluxer schaffen das erfahrungsgemäß nicht.

Hauptursachen schlechter Lötbarkeit:

- Zu geringe Zinnschicht (Schichtdicke ist nicht auf den/die Lötprozess(e) abgestimmt)
- Leiterplatten wurden zu lange und/ oder nicht nach den Lagerempfehlungen des ZVEI gelagert.
- Unsachgemäße Behandlung vor dem Bestücken z.B. Tempern, zu lange, bei zu hoher Temperatur
- Mangelhafte Reinheit der chemisch Zinnschicht bzw. schlecht gespülte chemisch Zinnoberfläche

Problembeseitigung:

Kommt es zu Lötschwierigkeiten, ausgelöst durch intermetallische Phasen, zu langer Lagerzeiten etc. **können die betroffenen Leiterplatten sehr effektiv durch den smartin® Refresh Prozess wieder refreshed werden.** Dabei werden die Kupferanteile an der Oberfläche abgelöst und durch Reinzinn substituiert. Die Weiterverarbeitung sollte dann aber zeitnah erfolgen.