

# Analyse des materialspezifischen Fingerabdrucks von Lötstellen durch eine Element- und Isotopenanalyse mittels Massenspektrometrie (ICP-MS)

HTV Halbleiter-Test & Vertriebs-GmbH, Bensheim, Deutschland, 2021

## Kurzfassung

Elektronische Bauteile werden durch Lötverbindungen auf einer gemeinsamen Rohleiterplatte zu einer elektronischen Baugruppe durch das Reflow-Löten verbunden. Jede Lötstelle hat anschließend einen charakteristischen Fingerabdruck in Bezug auf die Konzentration der Spurenelemente und das Verhältnis der stabilen Isotope. In einer vom Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik bei HTV in Auftrag gegebenen Untersuchung wurde dieser Fingerabdruck mit Hilfe der Massenspektrometrie (ICP-MS, Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) näher analysiert.

## 1 Grundmaterial - Lotpaste

Lötzinn liegt vor der maschinellen Verarbeitung in der Regel als Lotpaste vor. Die Paste besteht im Wesentlichen aus kleinen Lotperlen und dem Flussmittel (vgl. Abbildung 1). Wird die Lotpaste umgeschmolzen, verbinden sich die einzelnen Lotkugeln der Paste miteinander zu einem großen Lottropfen (vgl. Abbildung 2).

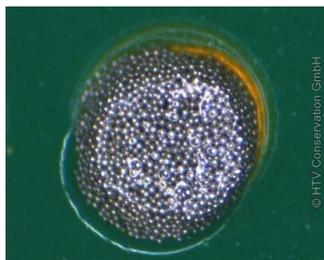


Abbildung 1: Lotpaste appliziert auf Leiterplatte. Kleine Lotperlen in der Paste sind sichtbar.



Abbildung 2: Umgeschmolzene Lotpaste auf Leiterplatte

## 2 Blick in die Lötstelle

In den Lötstellen einer elektronischen Baugruppe ergeben sich unterschiedliche Lotlegierungen, da sich unterschiedliche Materialien im Lötprozess vereinigen.

Die Kupferpads der Leiterplatte weisen für die Montage von BGA-Bauteilen häufig eine ENIG-Lötfläche (Electroless Nickel Immersion Gold) auf. Diese ist sehr planar und schützt den Kupferkontakt vor schädlichen Umwelteinflüssen.

Vor dem Lötprozess wird darauf zunächst die Lotpaste aufgetragen und anschließend das BGA-Bauteil (Ball Grid Array), das auf der Unterseite für die elektrische Kontaktierung eine Kugel aus Lötzinn aufweist, aufgesetzt (vgl. Abbildung 3).

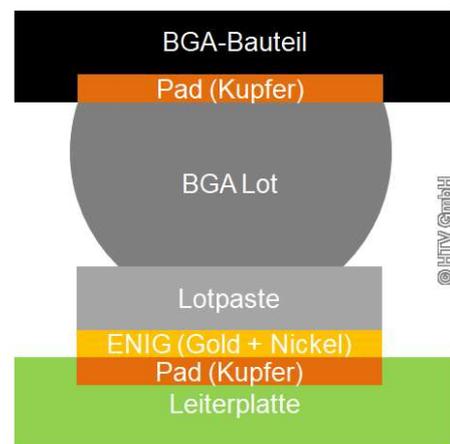


Abbildung 3: Blick in die BGA-Lötstelle (vor dem Reflow)

Im Lötprozess gehen jetzt alle Komponenten der Lötstelle eine individuelle Verbindung miteinander ein (vgl. Abbildung 4). Das Lötzinn der BGA Balls und der Lotpaste sowie das Gold der ENIG-Beschichtung vermischen sich in der Lötstelle. Zwischen der Nickelschicht und dem Lötzinn bildet sich dagegen eine intermetallische Phase aus.

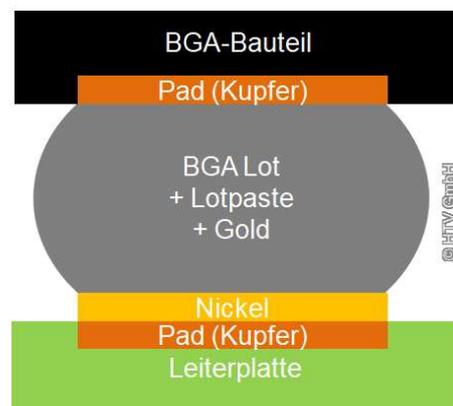


Abbildung 4: Blick in die BGA-Lötstelle (nach dem Reflow)

### 3 Analysen mittels Massenspektrometrie

Mit der Massenspektrometrie können in einer Lötstelle sowohl die Spurenelemente als auch die stabilen Isotope analysiert werden.

Die Analyse kann dabei sowohl an den Rohmaterialien (z. B. Analyse des Lötzinns der BGA-Balls oder der umgeschmolzenen Lotpaste) als auch an der finalen Lötstelle erfolgen.

Für die Bestimmung der Spurenelemente eignet sich als Verfahren für den Materialabtrag z. B. die Laserablation. Bei diesem Verfahren wird Material auf der Oberfläche der Probe verdampft und anschließend dem Messgerät durch einen dünnen Schlauch zugeführt. Abbildung 5 zeigt den Querschnitt durch den Ball eines BGA-Bauteils. Die Oberfläche zeigt die durch Laserablation entstanden streifenförmigen Materialabträge.

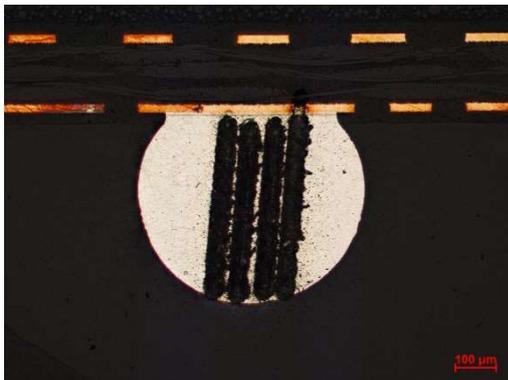


Abbildung 5: Querschnitt durch den Ball eines BGA-Bauteils. Die Oberfläche zeigt die durch Laserablation entstanden streifenförmigen Materialabträge.

#### 3.1 Analyse der Spurenelemente im BGA Lot

Bei den betrachteten BGA-Bauteilen zweier Hersteller zeigen sich bei den Elemente Al, Cd, Fe, Ga, Ge, Se, Te, Tl, und Zn keine signifikanten Ergebnisse.

Für die Elemente Au, As, Bi, Co, In, Ni, Pb, und Sb liefert die Massenspektrometrie dagegen eindeutige Ergebnisse und über die Elemente As, In, Sb, Pb, Ni und Au lassen sich die unterschiedlichen Hersteller deutlich voneinander unterscheiden (vgl. Abbildung 6).

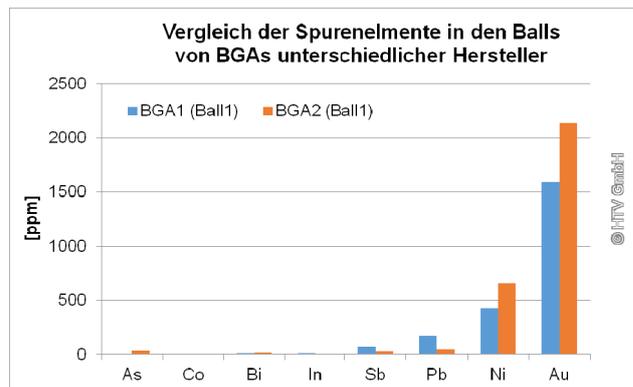


Abbildung 6: Vergleich der Spurenelemente unterschiedlicher BGA Lote

#### 3.2 Bestimmung der Isotope im BGA Lot

Für die Analyse der Zinn-Isotope werden einzelne Balls von BGA-Bauteilen chemisch aufgelöst und in flüssigem Zustand dem Massenspektrometer zugeführt.

In Abbildung 7 ist das Isotopenverhältnis  $^{124}\text{Sn}/^{120}\text{Sn}$  zweier BGA-Lote unterschiedlicher Hersteller in der  $\delta$ -Notation dargestellt. Auch hier zeigt sich eine gute Unterscheidbarkeit der BGA-Bauteile.

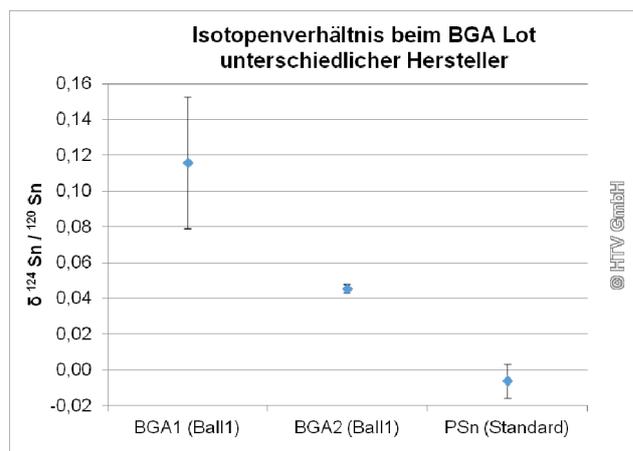


Abbildung 7: Isotopenverhältnis unterschiedlicher BGA Lote

#### 3.3 Analyse der Spurenelemente in der Lotpaste

Für die Untersuchung werden vier aktuelle Lotpasten aus unterschiedlichen Teilen der Welt analysiert, die nominell alle dieselbe SAC-Legierung (Sn96,5Ag3Cu0,5) aufweisen. Bei einer der Lotpasten wird zusätzlich auch eine weitere Charge analysiert.

Die Elemente AL, Cr, Ga, Ge, Mn, Se, Ti, Tl und Zn konnten in den Lotpasten nicht nachgewiesen werden.

Die Elemente As, Au, Bi, Cd, Co, Fe, In, Ni, Pb, Sb und Te lassen sich dagegen in den Lotpasten nachweisen und zeigen zudem auch signifikante

Unterschiede zwischen den einzelnen Herstellern (vgl. Abbildung 8). Pb, Sb, Ni und Bi weisen dabei die größte Häufigkeit in der Legierung auf. Andere Elemente wie z. B. As sind nicht in allen Lotpasten vorhanden und können damit für eine Rückführung der Paste auf einen bestimmten Hersteller verwendet werden.

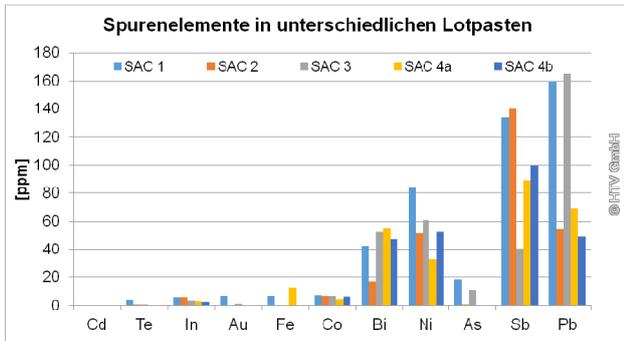


Abbildung 8: Spurenelemente in unterschiedlichen Lotpasten

### 3.4 Bestimmung der Isotope in Lotpasten

Auch über das Isotopenverhältnis z. B. von  $^{124}\text{Sn}/^{120}\text{Sn}$  lassen sich deutlich Unterschiede zwischen einzelnen Herstellern erkennen (vgl. Abbildung 9). Bei den unterschiedlichen Chargen eines Herstellers (SAC 4a/4b) zeigt sich beim Isotopenverhältnis im Gegensatz zur Elementanalyse kein signifikanter Unterschied.

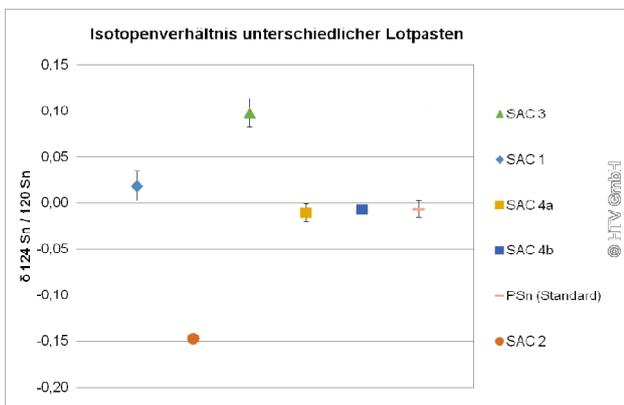


Abbildung 9: Isotopenverhältnis unterschiedlicher Lotpasten

## 4 Fingerabdruck der finalen Lötstelle

In der finalen Lötstelle einer Testleiterplatte (TLP) mischen sich die Spurenelemente (vgl. Abbildung 4). In Abbildung 10 ist die Mischung beispielhaft für das Spurenelement Nickel dargestellt. Während im ursprünglichen Lot (SAC) noch wenig Nickel vorhanden ist, wird im Lötprozess Nickel aus der ENIG-Beschichtung gelöst (SAC+TLP), was in

einem erhöhten Nickelanteil resultiert. Auch das Lot des BGA-Bauteils (BGA 1/2) weist bereits im unverarbeiteten Zustand eine gewisse Menge Nickel auf. In der finalen Lötstelle ergibt sich jetzt daraus eine Mischung.

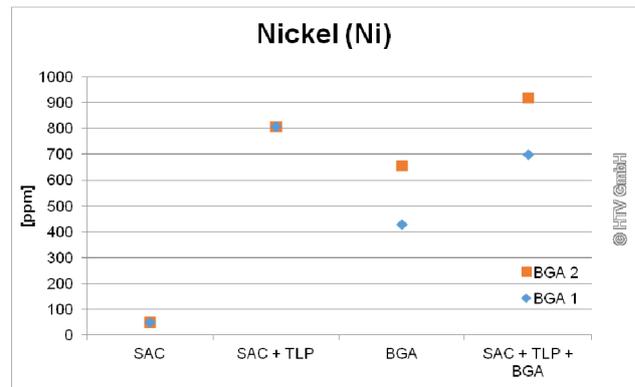


Abbildung 10: Elementzusammensetzung in der finalen Lötstelle am Beispiel Nickel

## 5 Fazit

In dieser Untersuchung wurde gezeigt, wie Lötstellen und die zum Einsatz kommenden Rohmaterialien (Lotpaste, elektronische Bauteile, Leiterplatte mit umgeschmolzenem Lötzinn) mit der Massenspektrometrie (ICP-MS) analysiert und qualifiziert werden können.

Sowohl die Rohmaterialien als auch die finalen Lötstellen weisen dabei sowohl erkennbare Unterschiede in der elementaren Zusammensetzung als auch dem Isotopenverhältnis auf.