

## SERIE: Haftungsschwächen auf chemisch Nickel-Gold – Teil 1

# Black Pads

Auffälligstes Anzeichen von Störungen bei chemisch Nickel-Gold-Leiterplattenoberflächen sind Lötfehler. Daneben können aber Lötverbindungen entstehen, die zunächst in der Sichtprüfung unauffällig sind. Beim Handling der Baugruppe oder unter Belastung zeigen diese Lötverbindungen dann jedoch nur eine geringe mechanische Belastbarkeit. Lötverbindungen, bei denen nach dem Abheben der Lotfüllung die Anschlussfläche unter der abgehobenen Lotfüllung eine dunkle Verfärbung zeigt, haben diesem Phänomen seinen Namen gegeben: „Black Pad“.

Damit die Lötverbindungen von SMDs ihre Funktionen erfüllen können, muss ein ausreichender Kontakt zwischen dem Lot und den Oberflächen der Fügepartner zustande kommen. Merkmal einer guten Lötverbindung ist die Bildung einer gleichmäßigen intermetallischen Zone zwischen dem Lot und der Metallisierung von Bauelement einerseits und zwischen dem Lot und der Leiterplatte andererseits. Auf der Leiterplattenseite erfolgt die Phasenbildung mit der obersten Schicht der benetzungsfähigen Flächen. In der Regel wird das Kupfer auf der Leiterplatte mit lötfähigen Endoberflächen versehen, den sogenannten Finishes.

Das Leiterplattenfinish ENIG (Electroless Nickel – Immersion Gold) ist auf Grund vieler vorteilhafter Eigenschaften eine der am weitesten verbreiteten Endoberflächen bei Leiterplatten. Auf das vorbereitete Kupfer des Leiterzugmusters wird hierbei über katalytische Verfahren erst eine Schicht aus Nickel-Phosphor und darauf eine Schicht Gold abgeschieden.

Für die Dicke dieser Schichten liegen die Empfehlungen bis 3 bis 6  $\mu\text{m}$  für Nickel-Phosphor und 0,075 bis 0,12  $\mu\text{m}$  für die Goldschicht (nach IPC 6012). Im Idealfall erfolgt beim Lötprozess eine schnelle und gleichmäßige Benetzung dieser Schicht mit dem Lotwerkstoff. Das Gold geht in Lösung und zwischen dem Zinn der

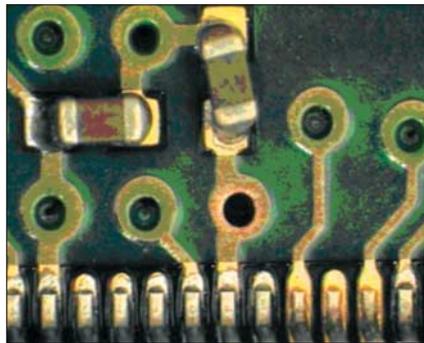


Bild 1: Optische Inspektion einer Baugruppe mit auffälligen Benetzungsinhomogenitäten

Lotfüllung und dem Nickelanteil der Nickel-Phosphor-Schicht bildet sich eine Abfolge von intermetallischen Phasen Nickel-Zinn mit unterschiedlicher Zusammensetzung. Im Idealfall liegt nach dem Erstarren des Lotes eine gleichmäßige intermetallische Zone von wenigen Mikrometern Dicke und einer festen Haftung auf dem Untergrund vor. Dieser Mechanismus kann durch eine Reihe von Umständen gestört sein.

## Was versteht man unter Black Pad?

Black Pad hat sich eingebürgert als Oberbegriff für Effekte, die letztlich eine mechanisch instabile Lötverbindung auf Leiterplatten mit chemisch Nickel-Gold-Oberflächen bewirken. Da aber auch andere Effekte Haftungsschwächen bewirken können, ohne dass die namensgebende farbliche Auffälligkeit der Nickel-Phosphor-Schicht vorliegt, ist es günstiger, allgemein von Haftungsschwächen oder Haftungsmängeln auf ENIG zu reden. Über mögliche Ursachen und Abhilfemaßnahmen ist in den letzten Jahren eine Anzahl von Untersuchungen angestellt worden. Die folgenden Betrachtungen erfolgen aus

der Sicht eines unabhängigen Untersuchungsdienstleiters. Zielstellung der Mehrzahl der zu diesem Thema anfallenden Untersuchungen ist es hier, an vorgelegtem Probenmaterial Beweismittel zu schaffen. Diese Beweismittel dienen der Nachweisführung, ob Schwächen in einzelnen Verbindungsstellen ursächlich auf herstellerbedingte Mängel der verwendeten Leiterplatte zurückzuführen oder ob sonstige Einflüsse oder Regelverstöße bei der Baugruppenherstellung die Ursache sind.

Speziell bei Untersuchungen, die die Erstellung eines Gutachtens zur Verwendung vor Gericht als Ziel haben, ist daher eine neutrale Begriffsfindung notwendig. Eine im Ansatz zunächst unspezifische Haftungsschwäche der Lotfüllung auf einer Nickel-Phosphor-Oberfläche bereits von vorneherein als Black-Pad zu bezeichnen, stellt eine zumindest verbale Vorverurteilung dar. Das ist zu vermeiden. Der Begriff Haftungsschwäche auf chemisch Nickel-Gold ist in diesem Zusammenhang neutral.

## Untersuchungsansatz

Grundproblem dieser Untersuchungen ist der Umstand, dass die gängigen technischen Regelwerke – VDE 3711, IPC 6012, IPC 4552 – keine kanonische Regel vorgeben, wie die ENIG-Schicht beschaffen sein muss, um sichere Lötresultate zu erbringen. Das betrifft insbesondere die Grenzwerte für den Phosphorgehalt und die Phosphorverteilung. Innerhalb der Grenzwerte der Schichtdicken und Rauigkeit und der Richtwerte für den Phosphorgehalt kann ein gutes aber auch ein schlechtes Resultat erzielt werden. ►

### ▶ AUTOR

Lutz Bruderreck arbeitet seit 1996 bei der TechnoLab GmbH in Berlin und betreut dort den Geschäftsbereich Laboranalytik und technische Schadensanalysen an Elektronikaufbauten.

Die weitere Nachweisführung setzt daher auf einer Abfolge von Bewertungsschritten auf, die nachstehend beschrieben werden. Die Methodik der Untersuchung zielt darauf ab, auf der Basis anerkannter Regelwerke eine Zuordnung zu treffen zu den möglichen Einflüssen von Leiterplattenherstellung und Handling.

## Festlegung der Untersuchungsobjekte

Beim Verdacht auf Serienfehler ist es günstig, neben der eigentlich auffälligen Baugruppe weitere Referenzexemplare aus der gleichen Fertigungscharge der Leiterplatte zu sichern (2 bis 5 Exemplare). Für weitere Untersuchungen (optische Inspektion, Schichtdickenbestimmungen, Lötbarkeit mit verschiedenen Parametern) genügen ebenfalls 2 bis 5 Leiterplatten der verdächtigen Charge.

## Optische Inspektion im Anlieferungszustand

Die Proben – Baugruppen und Leiterplatten – werden einer optischen Inspektion unterzogen. Die Inspektion erfolgt mit bloßem Auge und am Stereomikroskop unter verschiedenen Beleuchtungseinstellungen. Wichtig ist es hierbei, mit Lichtquellen mit konstanter Farbtemperatur und variablem Einfallswinkel des Lichts zu arbeiten.

Zielsetzung ist es, auffällige Pads zu erkennen, die dann für die weiteren Untersuchungen besonders interessant sind. Inspektionskriterien der Leiterplatte sind

- ▶ Unterschiede innerhalb der Goldschicht (Glanz, Verfärbung, Flecken) sowie
- ▶ Auffälligkeiten am Lötresist (Abhebungen, Verfärbungen, Aufhellungen). Inspektionskriterien der gelöteten Baugruppen sind
- ▶ Padbenetzung (Füllung der Ecken, Abstand zu Resistkanten bei Solder Mask Defined Pads), Lotrückzug und Entbenetzung sowie
- ▶ Auffälligkeiten am Lötresist (Abhebungen, Unterwandern mit Lot speziell bei Dogbone-Pads, Verfärbungen). Ein wichtiger Indikator für mangelbehaftete Leiterplatten ist dabei, wenn

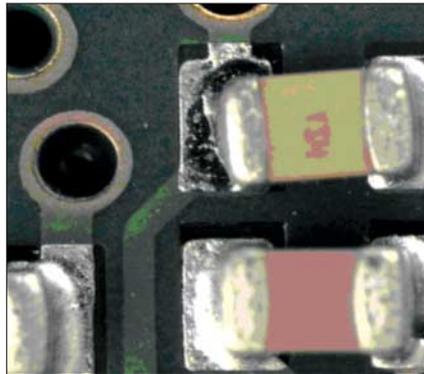


Bild 2: Mangelhafte Padbenetzung, dunkle Padfläche

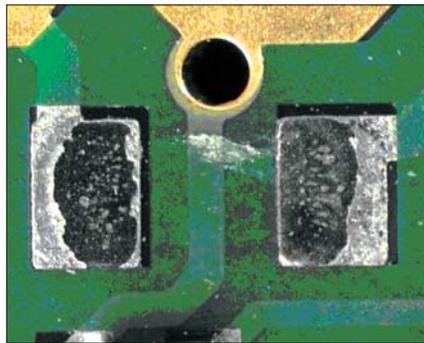


Bild 3: Abgetrenntes Bauelement hinterlässt dunkle Padoberflächen

räumlich unmittelbar nebeneinander Pads mit regelkonformer und regelwidriger Lötung vorliegen. Bei der in den Bildern 1, 2 und 3 dargestellten Baugruppe liegt dieser Sachverhalt vor. Da prinzipiell auch Mängel bei den Lötparametern einen ähnlichen Effekt bewirken können, sind solche Positionen als Nachweis einer nicht regelkonformen Leiterplatte nicht ausreichend. Es liegen aber hier grundsätzlich für weitere Untersuchungsschritte interessante Konfigurationen vor.

Eine endoskopische Inspektion ist dann zu empfehlen, wenn bei Area-Packages wie BGAs verdeckte Lötstellen vorliegen. Die endoskopische Inspektion ist in der Lage, schnell Aussagen zur Topographie der Balloberfläche und damit zu möglichen Lötprozessmängeln zu liefern. Risse lassen sich dann nachweisen, wenn sie bereits klaffende Ränder aufweisen.

## Messung der Schichtdicken

Die zerstörungsfreie Messung mittels Röntgenfluoreszenz (XRF) dient der Überprüfung der Regelkonformität der Schicht-

dicken der angelieferten Leiterplatte. Die gängigen technischen Regelwerke (IPC 6010 / IPC-A-600, PERFAG) setzen hier folgende Richtwerte:

- ▶ Dicke der Goldschicht: 0,08 bis 0,12  $\mu\text{m}$  und
- ▶ Dicke der Nickel-Phosphor-Schicht: 3 bis 6  $\mu\text{m}$ .

Die Messung ist eine Standardmessung bei den meisten Leiterplattenherstellern. Hinsichtlich eines sicheren Nachweises einer späteren regelkonformen Lötbarkeit sind diese Messwerte nicht geeignet. Die Messwerte lassen sich jedoch schnell und zerstörungsfrei gewinnen und liefern eine Aussage über Schichtdickenschwankungen innerhalb der Leiterplatte und extreme Schichtdickenauffälligkeiten.

Eine weitere Bewertung des Schichtaufbaus ist dann zu empfehlen, wenn eine aussergewöhnlich dicke NiP-Schicht vorliegt. In diesem Fall besteht der Verdacht, dass eine bereits fehlerbehaftet abgeschiedene NiP-Schicht reworkt worden ist.

Zu beachten bei der Durchführung von XRF-Messungen ist auch, dass reproduzierbare Ergebnisse nur möglich sind, wenn ein ausreichender Randabstand vom Messfleck des Geräts zum Padrand vorliegt. Wichtig ist auch zu beachten, dass die Dichte der NiP-Schicht in das Messergebnis eingeht. Die Dichte dieser Schicht wird von der Phosphorkonzentration bestimmt. Viele Geräte gestatten hier die Vorgabe eines fiktiven mittleren Gehalts an Phosphor in der NiP-Schicht. Ein gebräuchlicher Wert sind hier 8 bis 5 % Phosphorgehalt.

## Bewertung der mechanischen Belastbarkeit

Eine mangelhafte mechanische Belastbarkeit war in der Mehrzahl der Fälle der Untersuchungsanlass. Um eine im Sinne der Beweissicherheit quantifizierbare Aussage zu treffen, lassen sich zwei Lösungsansätze anwenden.

- ▶ Bewertung der Beständigkeit im Temperaturwechsel- bzw. im Temperaturschocktest: Beide Verfahren setzten jedoch eine lange Prüfdauer voraus, was in vielen Fällen nicht praktikabel ist. Vorteilhaft ist hierbei, dass alle

Bauteile annähernd gleich stark belastet werden.

- Bewertung der mechanischen Belastbarkeit als Einzeltest an ausgewählten Anschlüssen oder Bauelementen: Die beiden wichtigsten Verfahren sind nachstehend beschrieben. Die Prüfungen erfolgen nach den in der DIN IEC/EN 62137 beschriebenen Parametern. Daneben sei auf das Regelwerk der JIS verwiesen.

## Test 1: Ermittlung der Scherfestigkeit von SMDs (Shear-Test)

Untersuchungsgegenstände sind hier quaderförmige Zweipoler (R, L, CMC, Resonatoren) oder zylindrische Zweipoler (MELF-Widerstände, Dioden). Die Kraft wirkt seitlich auf den Bauelementkörper oder alternativ auf Bauelementkörper und Lötverbindung und wird solange erhöht, bis eine Trennung zwischen Bauelement und Leiterplatte erfolgt. Bewertungsgrößen sind hier die absolute Höhe der Scherkraft und deren Schwankung innerhalb einer Messreihe sowie der Zustand der Bruchflächen in der optischen Inspektion.

## Test 2: Ermittlung der Zug-Schäl-Festigkeit von SMDs (Pull-Test)

Untersuchungsgegenstände sind hier die Anschlüsse von mehrpoligen Bauelementen (Gullwing-IC, Steckverbinder, nach Vorbehandlung der Bauelemente auch J-Leads), Bewertungsgrößen die absolute Größe der Pullkraft und deren Schwankung innerhalb einer Messreihe sowie der Zustand der Bruchflächen. Dieser Test eignet sich auch sehr gut als Schnelltest an aufgelöteten Drähten zur gezielten Suche auf ansonsten nicht weiterprozessierten Leiterplatten. Beide Verfahren sind Standardverfahren zur Bewertung der mechanischen Belastbarkeit von Lötverbindungen. Im Sinne der Kernaussage zum hier vorliegenden Untersuchungsmaterial ist jedoch dem Pull-Test der Vorzug zu geben.

Der Pull-Test hat gegenüber dem Shear-Test die bessere Aussage, da die Kraft als Schälkraft in Z-Richtung auf die Oberfläche der Pads wirkt. Beim Shear-Test werden auch bei stark betroffenen Baugruppen häufig gute Kraft-Werte

erreicht, da es bei Copper Defined Pads zu einer seitlichen Umschließung von Pad und Lotfüllung kommt und das Lot fest in den Ätzzpalten sitzt. Dieser Einfluss kommt beim Pull-Test nicht zum Tragen.

Nachteilig bei beiden Verfahren ist, dass es keine normativen Vorgaben für die mechanische Belastbarkeit eines bestimmten Bauelements oder Anschlusstyps gibt. Daher ist den Schwankungen innerhalb einer Messreihe und der Korrelation zum optischen Befund eine besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

Eine Sonderstellung der mechanischen Belastungstests nimmt bei den Area-Packages (BGAs) der Dye and Pry-Test ein. Die Bewertung der Fügesituation des abgesprengten Bauteils erfolgt über die optische Inspektion. Ermittelt wird das Auftreten der Trennstellen. Hierbei wird unterschieden zwischen

- A: Abheben des Pads auf dem Interposer des BGA,
- B: Abheben der Lotfüllung vom Interposer des BGA,
- C: Bruch in der Intermetallischen Zone BGA-seitig,
- D: Bruch im Ball,
- E: Bruch in der Intermetallischen Zone leiterplattenseitig,
- F: Abheben der Lotfüllung leiterplattenseitig sowie
- G: Abheben des Pads leiterplattenseitig.

Die Bewertung der Bruchcharakteristik erfolgt durch optische Inspektion. Optisch verdächtige Pads, also Pads vom Bruchtyp F, die eine dunkle Verfärbung oder nur schmale Lotstege im Radbereich aufweisen, werden einer weiteren Inspektion bei höherer Vergrößerung bzw. im REM unterzogen.

Der Dye and Pry-Test wird regulär mit Farbstoff und Vakuumunterstützung durchgeführt, um Risse oder Anrisse nachzuweisen. Dieses Verfahren versagt häufig dann, wenn die Lötung als Ring um das Pad herum erfolgt ist.

*(wird fortgesetzt)*

	<b>infoDIRECT</b>	<b>411pr0508</b>
<a href="http://www.productronic.de">www.productronic.de</a>		
► <a href="#">Link zu TechnoLab</a>		

SERIE: Haftungsschwächen auf chemisch Nickel-Gold – Teil 2

# Black Pads

Auffälligstes Anzeichen von Störungen bei chemisch Nickel-Gold-Leiterplattenoberflächen sind Lötfehler. Daneben können aber Lötverbindungen entstehen, die zunächst in der Sichtprüfung unauffällig sind. Beim Handling der Baugruppe oder unter Belastung zeigen diese Lötverbindungen dann jedoch nur eine geringe mechanische Belastbarkeit. Lötverbindungen, bei denen nach dem Abheben der Lotfüllung die Anschlussfläche eine dunkle Verfärbung zeigt, haben diesem Phänomen seinen Namen gegeben: „Black Pad“.

### Metallographische Präparation

Die metallographische Präparation ist als Verfahren zu aufwendig, um sie routinemäßig an den Proben flächendeckend anzuwenden. Ihr Einsatz wird daher auf wenige ausgewählte Positionen beschränkt bleiben.

Das betrifft Positionen, die im Teil 1 dieser Beitragsserie in *productronic 5-2008* S. 71 ff im Abschnitt „Optische Inspektion im Anlieferungszustand“ besonders auffällig gezeigt haben, oder besonders ausfallrelevante Bauelemente. Die Präparation erfolgt unter Anwendung der üblichen Präparati-

onsmethodik nach IPC-TM-650 für Leiterplatten und Baugruppen. Ziel ist eine randscharfe Präparation des Schichtenaufbaus. Zusätzlicher Schritt kann die Gefügebetonung durch Anätzen sein.

Das solchermaßen erzeugte metallographische Präparat ist dann Ausgangspunkt für weitere Untersuchungsverfahren.

### Inspektion am metallographischen Schliff

Die Bewertung durch die lichtoptische Inspektion am metallographischen Präparat erfolgt nach einer Anzahl von Kriterien:

- ▶ Topographie der intermetallischen Zone Nickel-Zinn bei Baugruppen (Bewertung Schichtdickenunterschiede, Unterschiede in der Korngröße, Unterschiede in der Form der Körner),
- ▶ Geschlossenheit der intermetallischen Zone (ist die NiP-Schicht gleichmäßig mit einer intermetallischen Phase bedeckt),
- ▶ Größe der einzelnen Nickel-Phosphor-Körner (liegen hier ausgeprägte Unterschiede vor als Indikator für Mängel im Abscheidvorgang des NiP),
- ▶ Bewertung des korrosiven Angriffs an den Korngrenzen (Vorliegen von V-för-

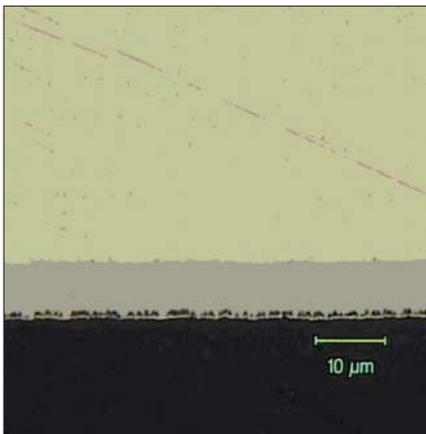


Bild 4: Außergewöhnliche Goldbadkorrosion an ungelöteter Leiterplatte, V-förmige Ätzgräben im Oberflächenbereich

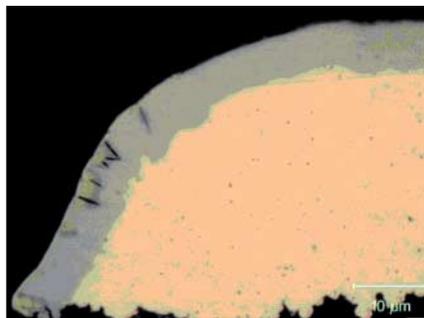


Bild 5: Außergewöhnliche Goldbadkorrosion an ungelöteter Leiterplatte, V-förmige Ätzgräben bis zum Kupfer. Diese sind nicht bewertungsrelevant, da nur an den Padflanken Auffälligkeiten vorliegen

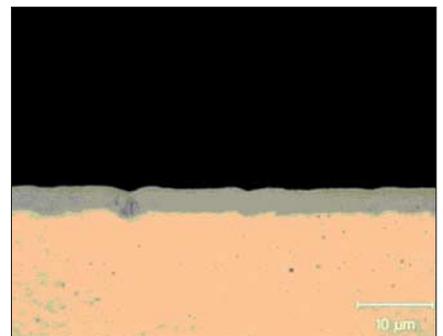


Bild 7: Außergewöhnliche Goldbadkorrosion an ungelöteter Leiterplatte, V-förmige Ätzgräben bis zum Kupfer

**AUTOR**

Lutz Bruderreck arbeitet seit 1996 bei der TechnoLab GmbH in Berlin und betreut dort den Geschäftsbereich Laboranalytik und technische Schadensanalysen an Elektronikaufbauten.

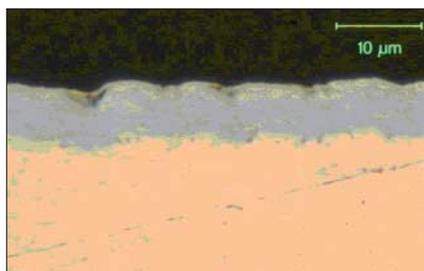


Bild 6: Außergewöhnliche Goldbadkorrosion an ungelöteter Leiterplatte, V-förmige Ätzgräben im Oberflächenbereich

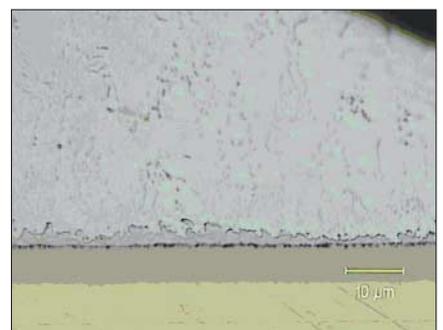


Bild 8: Zustand wie in Bild 4, nach Lotkontakt normale Bildung der intermetallischen Phasen

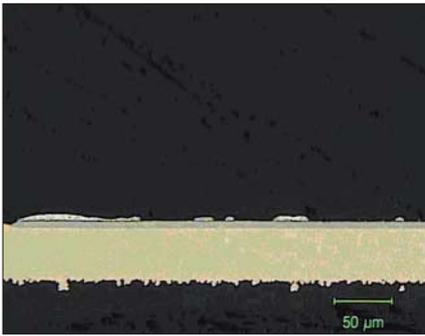


Bild 9: Zustand wie in Bild 4, jedoch nach Lotkontakt Zusammenziehen des Lotes nach benetzbaren Flächen

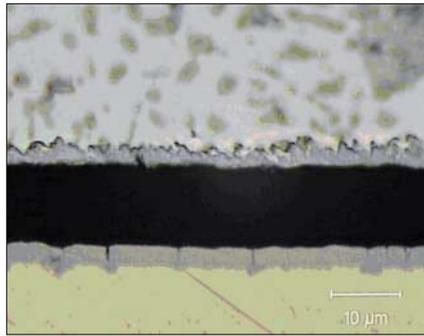


Bild 10: Komplette Trennung der Lötstelle vom Pad, Trennung zwischen intermetallischer Zone und NiP-Oberfläche, bleihaltiges Lot

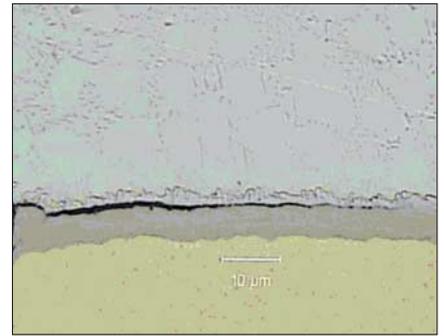


Bild 11: Partielle Trennung der Lötstelle vom Pad, Trennung zwischen intermetallischer Zone und NiP-Oberfläche, bleifreies Lot

migen Ätzgräben entlang von Korngrenzen (**Bild 4**) als Merkmal der außergewöhnlichen Goldbadkorrosion. Eine außergewöhnliche Goldbadkorrosion (**Bild 5**) tritt häufig im Zusammenhang mit Haftungsschwäche auf (**Bild 6**),

- ▶ Topographie der NiP-Schicht (Dicke über Kanten, Verhalten im Randbereich zum Basismaterial bzw. Lötresist hin bei Leiterplatten und Baugruppen) sowie
- ▶ scharfe Grenzen innerhalb der NiP-Schicht als Anzeichen für Rework der Leiterplatten.

Zur Goldschicht ist anzumerken, dass diese in der Regel auf die Haftungsmängel zwischen Lot und Nickel-Phosphor nur einen untergeordneten Einfluss hat.

Eine Bewertung der Dicke der Goldschicht ist bei der lichtoptischen Inspektion am metallographischen Schliff nicht sinnvoll auf Grund der geringen Schichtdicke und möglichen Präparationseffekten. Die Bewertung im REM bietet hier bessere Möglichkeiten, ohne die Problematik von Präparationseffekten völlig ausgleichen zu können.

Es ist sicherer und einfacher, den Nachweis der Geschlossenheit und Dichtigkeit der Goldschicht über eine Qualifizierung der Leiterplatte zu führen. Das betrifft zum einen die Lötbarkeit nach Alterung und zum anderen den Zustand nach Umweltsimulation im Schadgastest.

*(wird fortgesetzt)*

	<b>infoDIRECT</b>	<b>404pr0708</b>
<a href="http://www.productronic.de">www.productronic.de</a> ▶ Link zu Technolab		

SERIE: Haftungsschwächen auf chemisch Nickel-Gold – Teil 3

# Black Pads

Lötverbindungen, bei denen nach dem Abheben der Lotfüllung die Anschlussfläche unter abgehobenen Lotfüllung eine dunkle Verfärbung zeigt, haben diesem Phänomen seinen Namen gegeben: „Black Pad“. Der hier vorliegende Teil 3 bildet den Abschluss dieser Serie (Teil 1: *productronic* 5-2008, S. 71; Teil 2: *productronic* 6/7-2008, S. 42)

### Inspektion im REM

Gegenstand der Bewertung sind die bei der metallographischen Präparation dargestellten Profile, Bruchflächen aus den mechanischen Belastungstests und Oberflächendetails im Anlieferungszustand. Die elektronenoptische Inspektion bietet gegenüber der lichteoptischen Inspektion den Vorteil der höheren Vergrößerung, der deutlich höheren Tiefenschärfe und der Unempfindlichkeit gegen Lichtreflexe auf glänzenden Oberflächen. Vorteilhaft ist weiter, dass ein Elementekонтast eine verbesserte Unterscheidung zwischen dicht benachbarten Bestandteilen ermöglicht. Schwierigkeiten können sich ergeben aus Kanteneffekten sowie aus Präparationsrückständen in Spalten, die dann unter dem Einfluss des Vakuums in die zu inspizierenden Bereiche wandern. Insofern führt die Inspektion an Proben ohne Präparationseinflüsse zunächst schneller zu beweiskräftigen Inspektionsergebnissen.

Wichtige Inspektionskriterien sind

- ▶ Die Struktur der Oberfläche: Im Idealfall liegt eine gleichmäßig abgerundete Struktur vor, vergleichbar Kartoffeln. Eine starke Goldbadkorrosion hinterlässt eine zerfurchte Oberfläche mit Einschnitten an den Grenzen der NiP-Körner (Bild 12).
- ▶ Sonstige auch bei der lichteoptischen Inspektion angewendete Bewertungskriterien, sofern sie die Topographie der Oberfläche betreffen: Das betrifft insbesondere die Ebenheit der Schicht, unterschiedliche Größen von abgetrennten Körnern oder mögliche Einschlüsse wie z. B. von Lötresist (Bild 13).

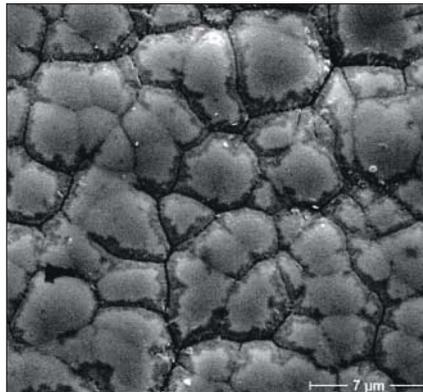


Bild 12: NiP-Oberfläche mit starker Goldbadkorrosion

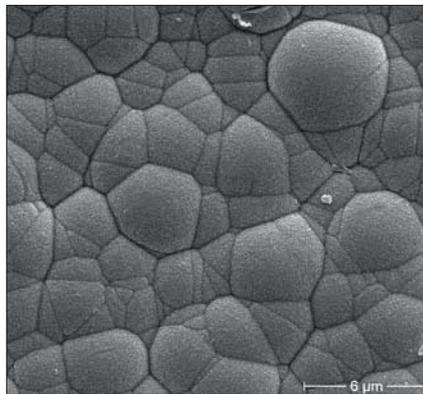


Bild 13: Aussehen einer üblichen ENIG-Oberfläche

kriterien, sofern sie die Topographie der Oberfläche betreffen: Das betrifft insbesondere die Ebenheit der Schicht, unterschiedliche Größen von abgetrennten Körnern oder mögliche Einschlüsse wie z. B. von Lötresist (Bild 13).

### Materialanalyse

Die Materialanalyse hat mehrere Aussagen zum Ziel.

- ▶ Ermittlung des Phosphorgehalts des Grundgefüges: Der Phosphorgehalt soll-

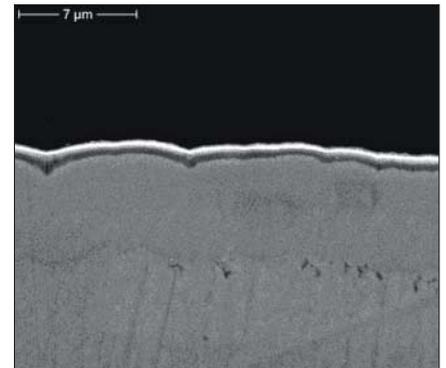


Bild 14: Oberfläche ohne Lotkontakt, Außergewöhnliche Goldbadkorrosion an ungelöteter Leiterplatte, Black Band

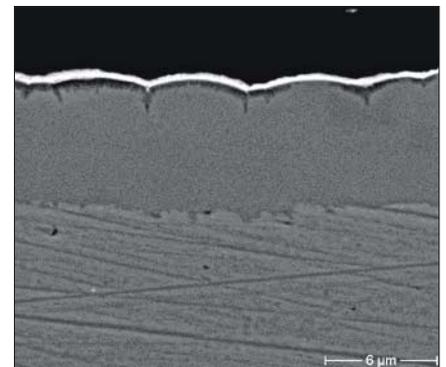


Bild 15: Außergewöhnliche Goldbadkorrosion an ungelöteter Leiterplatte, Black Band und V-förmige Ätzgräben

te hier im Durchschnitt unter 9 % liegen. Die Konzentration kann aber zwischen 6 und 10 % schwanken, ohne das dieses eine mangelhafte Lötbarkeit zwangsläufig nach sich zieht. Der Wert hängt ab von der Badchemie und wird dem Hersteller der Leiterplatten vom Hersteller der Badchemie vorgegeben. Wichtig ist, dass die Konzentration über mehrere Pads annähernd gleich sein sollte.

- ▶ Ermittlung der Phosphorverteilung innerhalb der Schicht: Bänderstrukturu- ▶

**AUTOR**  
Lutz Bruderreck arbeitet seit 1996 bei der TechnoLab GmbH in Berlin und betreut dort den Geschäftsbe-  
reich Laboranalytik und technische  
Schadensanalysen an Elektronik-  
aufbauten.

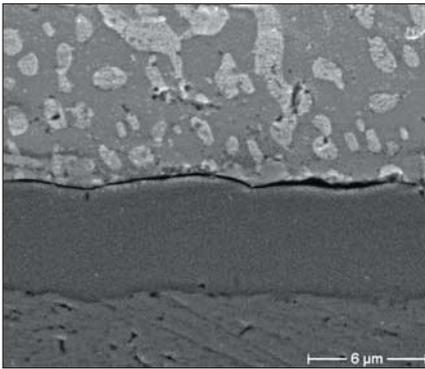


Bild 16: Trennung zwischen unregelmäßiger intermetallischer Zone und NiP-Oberfläche, bleihaltiges Lot

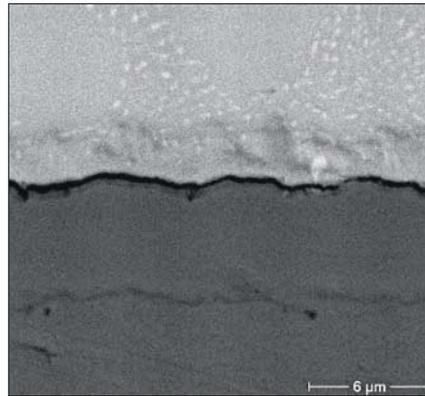


Bild 17: Trennung zwischen intermetallischer Zone und NiP-Oberfläche, bleifreies Lot

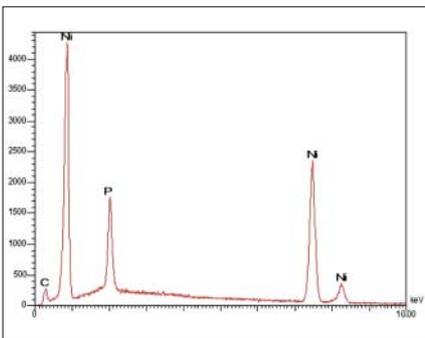


Bild 18: EDX-Spektrum von der Mitte einer unbeeinflussten NiP-Schicht mit einem Phosphorgehalt von 8,5 % P

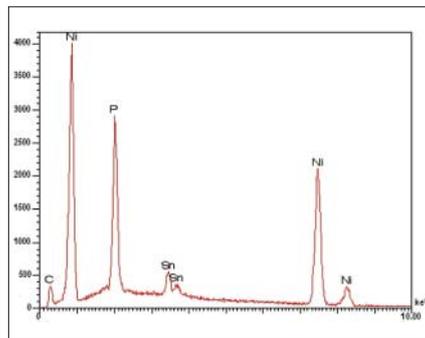


Bild 19: EDX-Spektrum von der NiP-Oberfläche, Phosphor-Anreicherung an NiP-Oberfläche, 14,3 % P-Gehalt

ren („Black Bands“ in Bild 14) innerhalb der Schicht sind an sich nicht abzulehnen. Solche Bänderstrukturen sind aber dann, wenn sie nur einzelne Pads betreffen, ein Indikator für eine gestörte Abscheidung mit der Möglichkeit von Folgeeffekten.

- ▶ Ermittlung der Phosphorkonzentration im oberflächennahen Bereich: Konzentrationen deutlich oberhalb 12 % sind häufig Begleitumstand von späteren Benetzungsmängeln.
- ▶ Ermittlung sonstiger Beläge: Ein erhöhter Gehalt von Kohlenstoff und Sauerstoff ist häufiger Begleitumstand von organischen Schichten, die zu Benetzungsmängeln führen.

Der Nachweis von Elementen wie Schwefel und Halogenen in der Grenzzone zum Gold bei unprozessierten Leiterplatten ist häufiger Begleitumstand von Einflüssen aus Transport und Lagerung der Leiterplatten.

Die Bewertung erfolgt meist durch Inspektion im REM mit EDX-Option (Bilder 18 und 19). Üblich ist eine Kalibrierung des Sys-

tems gegen InP-Standards. Die dabei erzielbare Genauigkeit liegt bei 0,1 %. Nachteilig ist die integrierende Arbeitsweise des Verfahrens durch die Größe des Messflecks und dessen Tiefenwirkung.

Bessere Ergebnisse hinsichtlich Messflecksgröße und Nachweisgenauigkeit liefern ESCA (Elektronenspektroskopie zur Chemischen Analyse) und SIMS (Sekundär-Ionen-Massen-Spektroskopie).

Zu den angewendeten Messverfahren ist anzumerken, dass die höhere Genauigkeit der beiden letztgenannten Verfahren die Beweiskraft der Aussage nur unwesentlich erhöht, da das technische Regelwerk keine exakten Grenzwerte für die Phosphorkonzentration setzt.

Zum Messort ist anzumerken, dass die Messung an den Oberseiten der Pads erfolgen sollte. Messungen an den Seitenflächen von Pads ergeben in der Regel höhere Werte für Phosphor. Die Relevanz dieser Werte für die Bewertung der Schicht wird von vielen Leiterplattenherstellern bezweifelt.

Es ist an dieser Stelle außerdem noch anzumerken, dass ein Nachweis von Fremd-

elementen (Schwefel, Halogene) eine tiefere Ursachenforschung erfordert. Das hat seine Ursache darin, dass die über der NiP-Schicht aufgebrachte Goldschicht nicht diffusionsdicht ist. Werden Leiterplatten Chemisch Nickel-Gold längere Zeit unter schadgashaltiger oder sehr feuchter Atmosphäre gelagert, korrodiert die NiP-Schicht unter der Goldschicht. Die Folge sind dann häufig auffällige Benetzungstörungen. Ein Vorliegen von ursächlichen Mängeln der NiP-Schicht wird hier nur vorgeschlagen. In diesem Falle ist es zu empfehlen, die Lötbarkeit zu überprüfen. Sofern die Probensituation das zulässt, sollten Proben vor und nach Lagerung verglichen werden.

Die Ermittlung der Zusammensetzung der intermetallischen Phasen hinsichtlich Kupfer und Gold-Gehalt ist in begründeten Einzelfällen sinnvoll. Eine Bewertung des Goldeintrags ist insbesondere bei Lötverbindungen mit einem kleinen Volumen (Richtwert kleiner 0,4 mm<sup>3</sup>) sinnvoll. Eine solche Untersuchung erfordert dann auch die Betrachtung des Lotgefüges.

## Zusammenfassung

Haftungsschwächen auf ENIG sind als Phänomene sowohl bei konventionellen Zinnblei-Löten wie auch den bleifreien Mainstream-Legierungen anzutreffen.

Ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten des Phänomens und den Lotlegierungen mit angehobenem Zinngehalt ist nicht festzustellen. Das betrifft insbesondere auch die Lotlegierungen mit einem erhöhten Kupfergehalt.

Das Phänomen wird von beiden Seiten beeinflusst, also sowohl von der Herstellerseite der Leiterplatte als auch der Handlungseite des Baugruppenherstellers sowie ggf. den dazwischengelagerten Stationen. Für eine rechtssichere Beweisführung über die Verantwortlichkeit ist die Kombination mehrerer Bewertungsverfahren erforderlich. Die angewendeten Bewertungsverfahren müssen erkennbar beweisen, dass eine vorliegende Leiterplatte nicht geeignet ist, unter den Bedingungen von regelkonformen Prozessparametern eine regelkonforme Baugruppe herzustellen. Der Phosphorgehalt der NiP-Schicht alleine ist als Beweismittel unzureichend. Für

eine erste Bewertung lassen sich folgende Faustregel anwenden.

Leiterplattenverursachte Schwachstellen liegen meist dann vor, wenn eine ansonsten regelkonform gearbeitete Baugruppe nur selektiv Schwachstellen aufweist.

Ein Einfluss vom Lötprozess liegt meist dann vor, wenn allgemeine Regelabweichungen bei der optischen Inspektion der Baugruppe auffällig werden.

Einen Grenzfall stellen abgehobenen Lötverbindungen an PBGA dar. Als Folge des thermischen Verzugs des Bauelements können eckennahe Verbindungen abgehoben werden, ohne dass die Haftfestigkeit auf dem Pad regelwidrig gering ist. Um diesen Effekt auszuschließen, ist eine Bewertung des Schadensortes erforderlich (Dye and Pry-Test).

Ein Einfluss der Lagerbedingungen ist dann zu hinterfragen, wenn die Probe auffällige Verfärbungen oder Verunreinigungen aufweist. Werden dann in der Materialanalyse größere Mengen von Schwefel oder Halogenen auffällig, ist der Effekt in

der Regel nicht durch den Leiterplattenhersteller zu verantworten.

Hinsichtlich der Temperaturabhängigkeit des Phänomens haben Untersuchungen ergeben, dass eine Erhöhung der Prozess-temperatur beim Löten durchaus in der Lage ist, organische Beläge auf der NiP-Schicht aufzubrechen. Hieraus lässt sich jedoch keine allgemeingültige Empfehlung ableiten. Eine generelle Anhebung der Prozesstemperatur ist als Mittel nicht geeignet, dem Phänomen sicher entgegenzuwirken.

Eine Optimierung der Prozessparameter des Lötprozess ist generell zu empfehlen, da bei gut benetzten Pads kleine Inhomogenitäten der intermetallischen Zone weniger gravierende Auswirkungen haben, als bei löftechnisch kritischen Aufbauten.

Anzumerken ist an dieser Stelle noch, dass nach dem gegenwärtigen Stand der Technik eine sichere, zerstörungsfreie Überprüfung der Leiterplatte im Anlieferzustand nicht möglich ist.

## Normen und Standards

- ▶ IPC-A-610+HDBK: Acceptability of Electronic Assemblies
- ▶ IPC-6012: Qualification and Performance Specification for Rigid Printed Boards
- ▶ IPC-4552: Specification for Electroless Nickel/Immersion Gold (ENIG) Plating for Printed Circuit Boards
- ▶ VDE 3711-Blatt 4-6: Löt- und bondfähige Nickel-Gold-Schichten
- ▶ DIN EN ISO 3497: Metallische Schichten – Schichtdickenmessung – Röntgenfluoreszenz-Verfahren (XRF)
- ▶ DIN EN 62137: Oberflächenmontage-Technik Verfahren zur Prüfung auf Umgebungseinflüsse und zur Prüfung der Haltbarkeit von Oberflächen-Lötverbindungen
- ▶ DIN EN ISO 3452-2: Zerstörungsfreie Prüfung – Eindringprüfung



infoDIRECT

408pr0908

[www.productronic.de](http://www.productronic.de)

▶ [Link zu Technolab](#)