Untersuchungen der Zuverlässigkeit hochtemperaturgeeigneter Baugruppen

Uwe Pape
Fraunhofer IZM
Gustav-Meyer-Allee 25
13355 Berlin
Tel: 03046403-282 / Fax: -271
E-Mail: pape@izm.fraunhofer.de

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Das Verbundprojekt „hotEL“ wurde gefördert vom
Bundesministerium für Bildung und Forschung
und betreut vom
Projektträger des BMBF
Produktion und Fertigungstechnologien
am Forschungszentrum Karlsruhe

Projektträger
Forschungszentrum
Karlsruhe (PTKA)

Zuverlässigkeit hochtemperaturgeeigneter Baugruppen

Untersuchung organischer Baugruppen / Komponenten

Testboard Zuverlässigkeit	Testboard Zuverlässigkeit 2	Testboard 150°C	Demonstrator 150°C	Demonstrator 150°C +

Ausgangsgrößen

17 Basismaterialien
3500 Leiterplatten
3 Oberflächen

> 50 Bauformen
> 350k Bauelemente
~ 10 Metallisierungen

8 Lotpasten

Simulierte Alterung

HT-Auslagerung
4 Temperaturen, 3000 h
T-Schock
4 Temperaturen, 3000 Zyklen
T-Wechsel
3 Temperaturen, 1000 Zyklen
Klima (Feuchte)
85°C/85%, 2000 h
Vibration
Frequenz bis 2kHz,
Beschleunigung bis 40g

Prüfung und Analyse

Visuelle Analyse → ~ 1500 Baugruppen
Elektrische Messung → ~ 600 Baugruppen
Röntgenanalytik → ~ 4000 hochauflösend 2D
~ 600 Baugruppen mit Laminographie
~ 100 µCT-Aufnahmen
Abscheren von BE → ~ 175k Bauelemente
Metallographie → ~ 3000 Schliffe
Härtemessung → 100 Baugruppen
Farbmessung → 200 Baugruppen

Generierung von Millionen Daten

Zuverlässigkeit hochtemperaturgeeigneter Baugruppen

Testboard Zuverlässigkeit

Komponenten → Alterung → Untersuchung

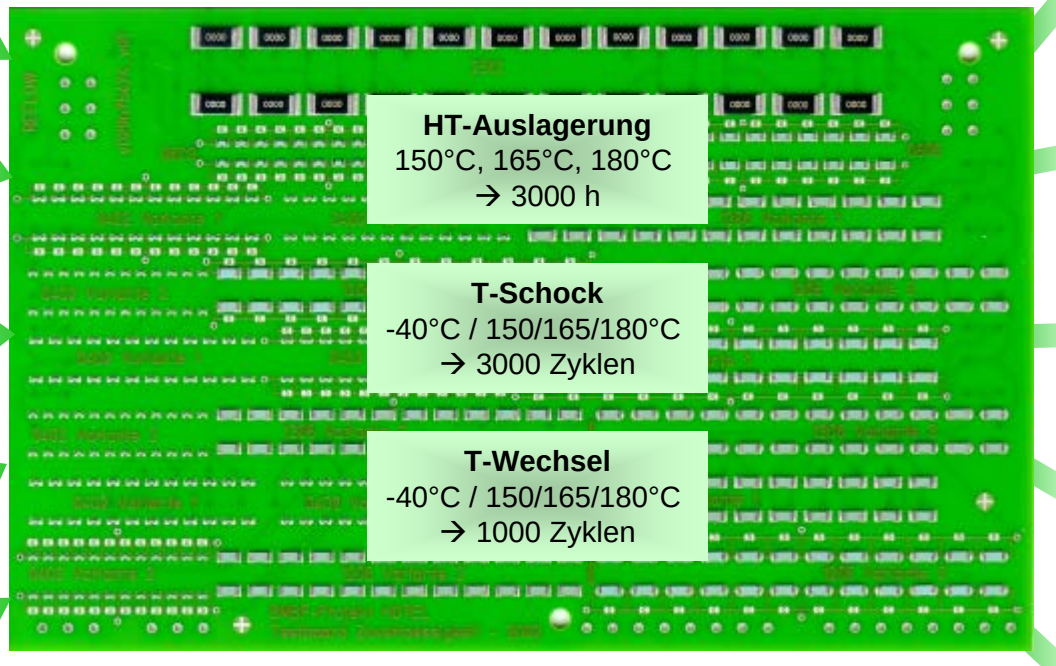
5 Widerstandsformen
2512, 1206, 0805, 0603, 0402

3 Padlayouts
Standard, kleiner, halbrund

4 Lotlegierungen
SnPb, SnAg, SnAgCu, InnoLot

2 Oberflächen
Ni/Au, chem. Sn

2 Basismaterialien
Hoch-Tg, RoHS-konform



HT-Auslagerung
150°C, 165°C, 180°C
→ 3000 h

T-Schock
-40°C / 150/165/180°C
→ 3000 Zyklen

T-Wechsel
-40°C / 150/165/180°C
→ 1000 Zyklen

11 Kombinationen

Visuelle Inspektion

Elektrische Messungen

Röntgen-analyse

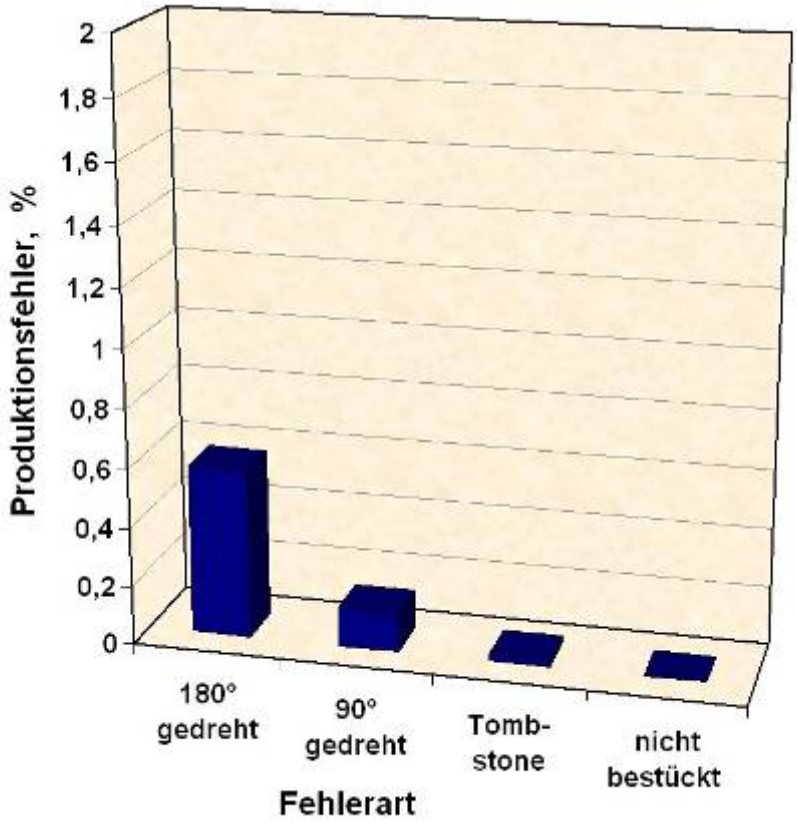
Mechanische Untersuchungen

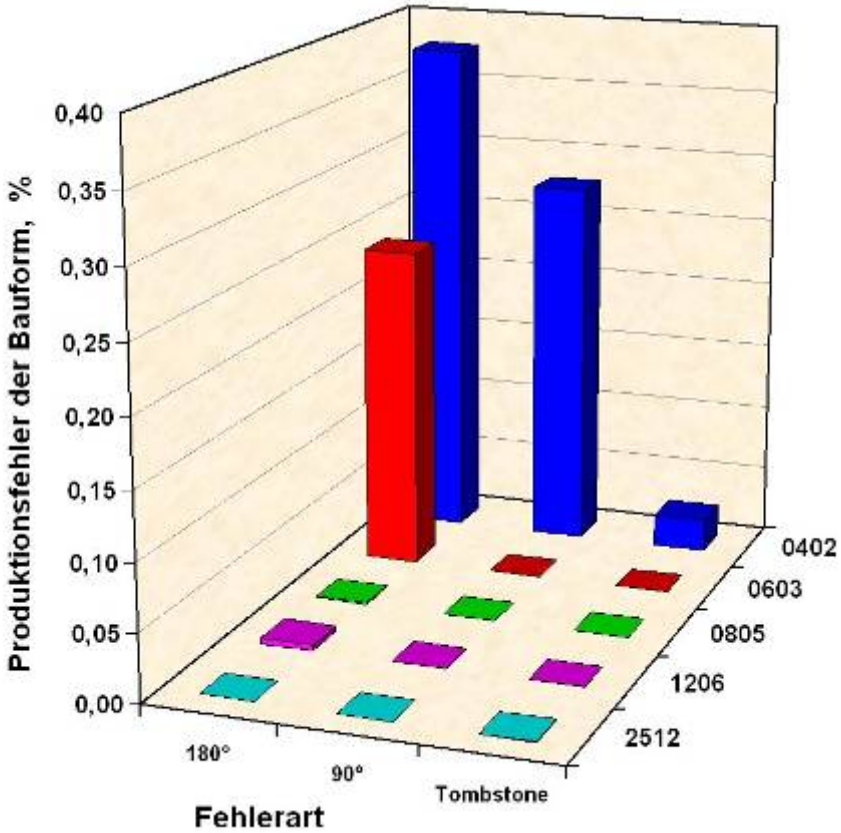
Metallographische Analyse

Zuverlässigkeit hochtemperaturgeeigneter Baugruppen

Testboard Zuverlässigkeit

Visuelle Inspektion / Produktionsfehler





Zuverlässigkeit hochtemperaturgeeigneter Baugruppen

Testboard Zuverlässigkeit
Visuelle Inspektion / Fehlstellen

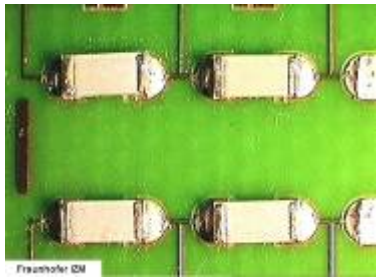
	150°C	165°C	180°C
HT-Auslagerung	keine Fehlstellen bis 3000 h	keine Fehlstellen bis 1700 h	Keine Ausfälle bis 500 h
T-Schock	wenige Fehlstellen bis 1500 Zyklen, ab 2000 Zyklen verstärkt Fehlstellen auf NiAu-Oberfläche, gleiches Verhalten auf chem. Sn ab 2500 Zyklen	vereinzelte Fehlstellen auf beiden Oberflächen ab 500 Zyklen, viele Fehlstellen nach 2000 Zyklen	Ausfälle ab 2000 Zyklen bei allen Varianten
T-Wechsel	nur sehr wenige Fehlstellen nach 1000 Zyklen	vereinzelte Fehlstellen im Gefüge auf NiAu ab 500 Zyklen, sehr wenige auf chem. Sn nach 1000 Zyklen	sehr vereinzelte Ausfälle nach 1000 Zyklen
SnPb (150°C), ‘InnoLot’ (165 & 180°C)	keine Unterschiede zwischen bleifrei und bleihaltig	keine Unterschiede zwischen ‘InnoLot’ und anderen bleifreien Loten	vereinzelte Ausfälle beim ‚InnoLot‘ ab 2000 Zyklen

Zuverlässigkeit hochtemperaturgeeigneter Baugruppen

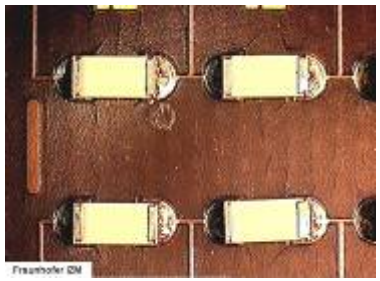
Testboard Zuverlässigkeit

Visuelle Inspektion / Farbveränderung & Rissbildung

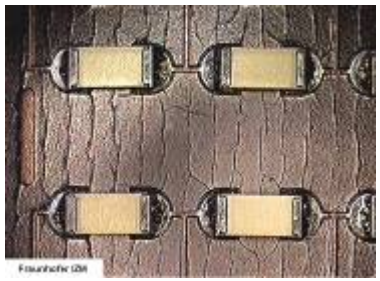
AZ

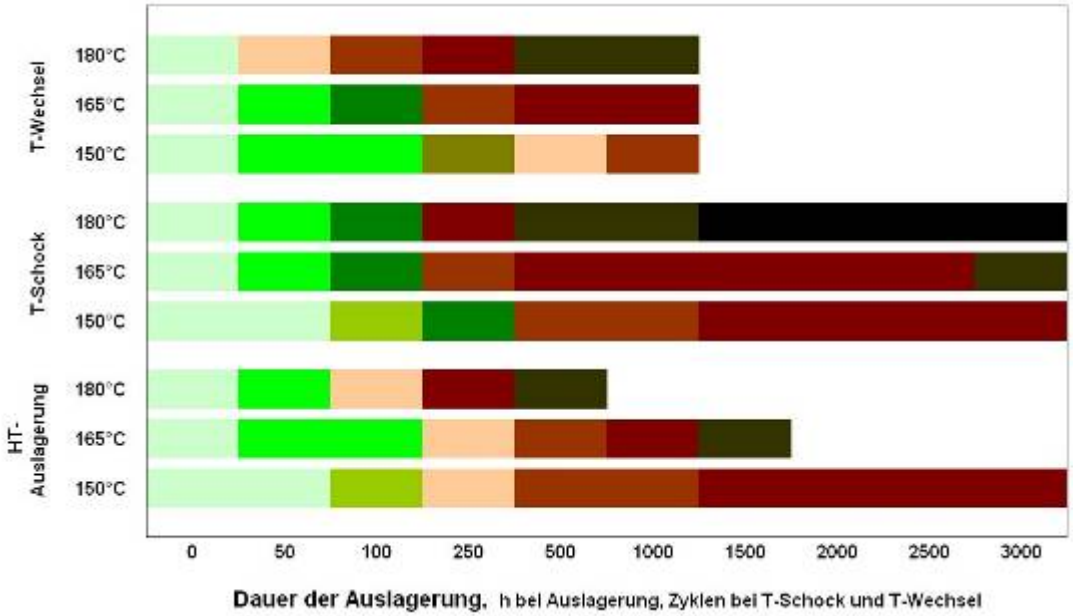


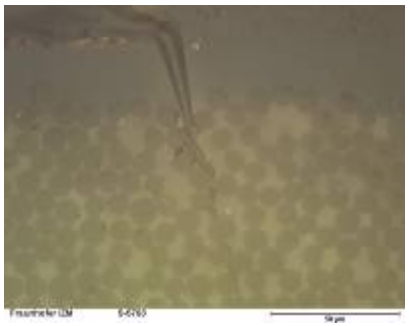
1500 Zyklen TS



3000 Zyklen TS







Zuverlässigkeit hochtemperaturgeeigneter Baugruppen

Testboard Zuverlässigkeit
Visuelle Inspektion / Zusammenfassung

- geringfügige Unterschiede zwischen Basismaterial für bleifreie Anwendungen und für Hochtemperatur-Anwendungen → jedoch frühzeitiges Auftreten von Fehlern, die unter Betriebsbedingungen nicht tolerierbar sind
- untersuchte Basismaterialien aufgrund beobachteter Verfärbung, Rissbildung und Delaminationen in den Leiterplatten nicht für die hier gedachten Einsatztemperaturen geeignet
- Bauelementeablösung nur bei höheren Temperaturen und erst bei hohen Zyklenzahlen → keine wesentliche Veränderung gegenüber dem Istzustand

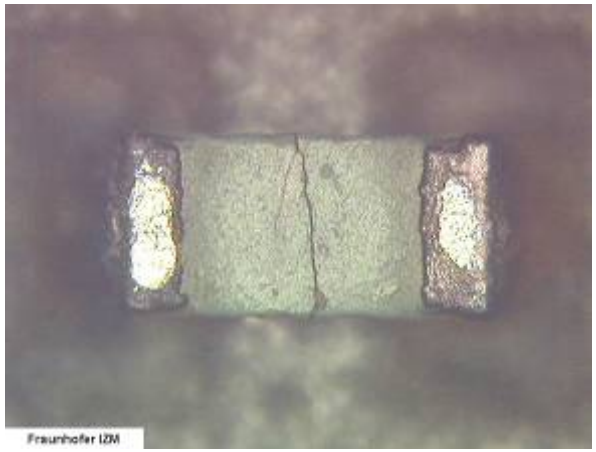
  aber: Kombination einer bleihaltigen Metallisierung auf Bauelement oder Leiterplatte mit einem bleifreien Lot bei diesen Einsatztemperaturen unbedingt zu vermeiden
- überwiegend gute Lötverbindungen trotz Fehlstellen in Form von nach außen geöffneten Poren

  aber: Flussmittelreste deutlich höher und daher ggf. Zuverlässigkeitsrisiko
- größte Schwachstelle in den Untersuchungen sind die Basismaterialien → Stichversuche mit neuen Basismaterialien, die den Anforderungen deutlich besser widerstanden haben
- qualitative und quantitative Farbanalyse muss weiter optimiert werden
- (Härtemessung als Kriterium für Qualität der Leiterplatte nicht geeignet, da Messung auf Lötstopplack unzureichend und Basismaterialien aufgrund Glasfasern mit extrem großen Streuungen messbar)

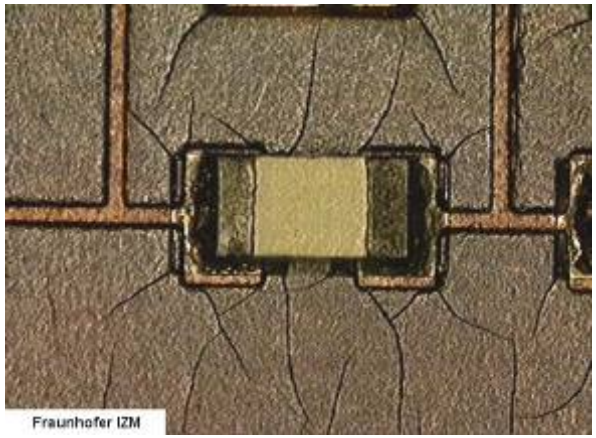
Zuverlässigkeit hochtemperaturgeeigneter Baugruppen

Testboard Zuverlässigkeit

Elektrische Messungen / erkannte Fehler

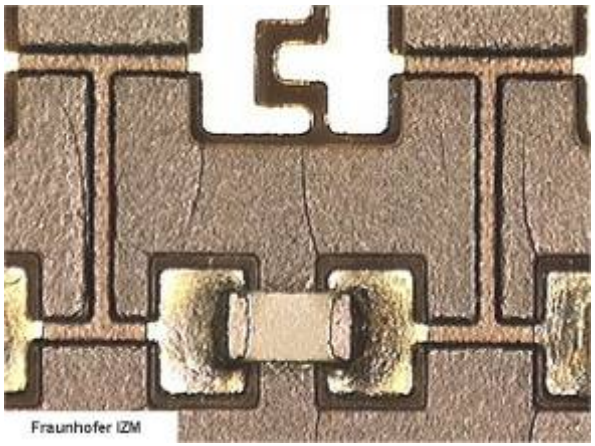


offener Kontakt
Ursache:
Riss im BE



Messwert im kΩ - Bereich
Ursache:
visuell nicht erkennbar

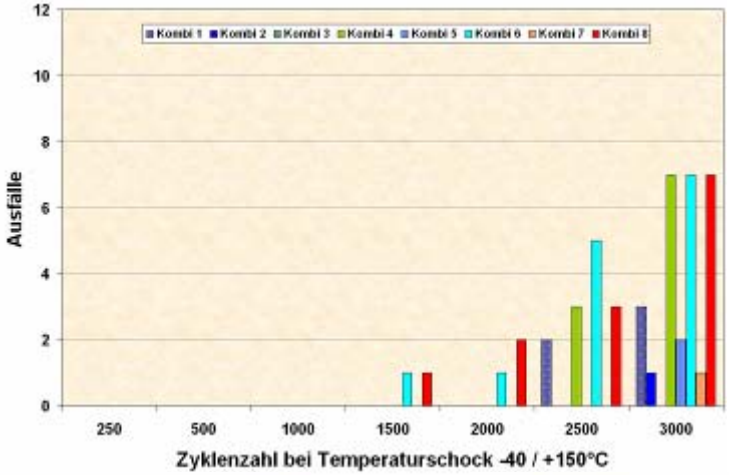
offener Kontakt
Ursache:
visuell nicht erkennbar

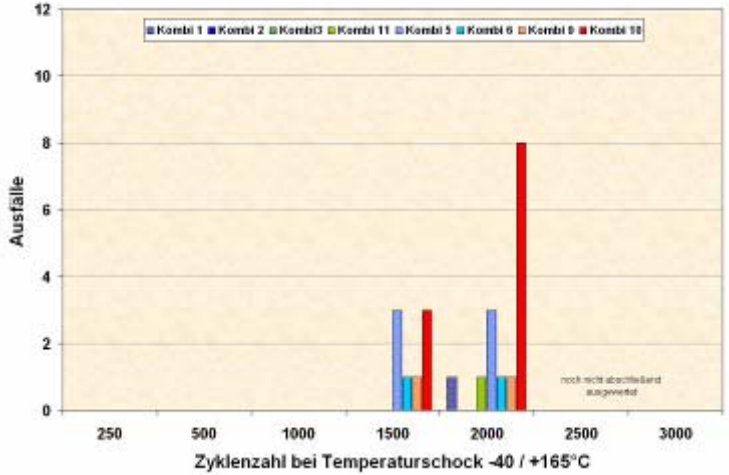


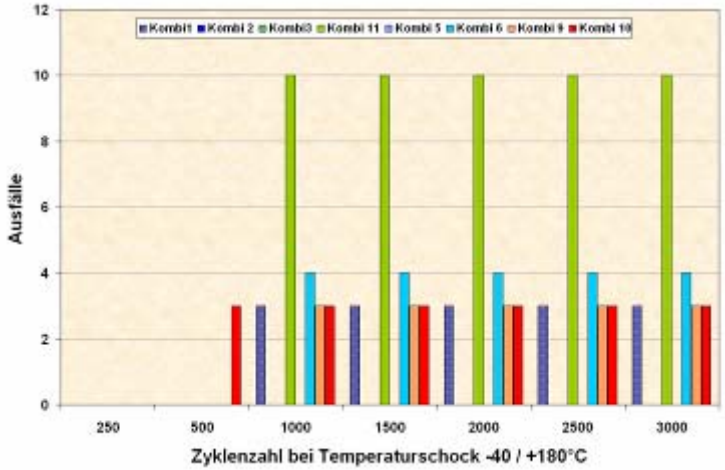
Zuverlässigkeit hochtemperaturgeeigneter Baugruppen

Testboard Zuverlässigkeit

Elektrische Messungen / Ausfälle beim Chipwiderstand 1206 V1







Zuverlässigkeit hochtemperaturgeeigneter Baugruppen

Testboard Zuverlässigkeit

Elektrische Messungen / Ausfallwahrscheinlichkeit

		0402 V1	0402 V2	0402 V3	0603	0805	1206 V1	1206 V2	1206 V3
-40 / + 150°C	Kombi 1	97	98	96	98	98	98	96	97
	Kombi 2	97	98	97	98	98	98	96	98
	Kombi 3	97	98	97	98	98	98	97	97
	Kombi 4	97	98	98	98	97	97	98	96
	Kombi 5	97	98	97	98	98	98	97	96
	Kombi 6	98	98	98	98	97	97	96	96
	Kombi 7	97	98	98	98	98	98	98	98
	Kombi 8	98	98	98	97	96	96	97	96
-40 / + 165°C	Kombi 1	92	97	94	95	96	96	92	96
	Kombi 2	93	97	97	95	97	95	91	94
	Kombi 3	96	97	96	97	96	97	97	96
	Kombi 4	96	97	95	96	96	95	92	95
	Kombi 5	88	90	90	97	93	92	90	91
	Kombi 6	97	97	97	97	96	96	94	94
	Kombi 7	95	97	96	97	94	91	95	94
	Kombi 8	95	97	97	96	97	95	94	96

Ausfallwahrscheinlichkeit am Beispiel der T-Schockbelastung

Aussagewahrscheinlichkeit: 90%, Bezugslebensdauer 2000 Zyklen

Zuverlässigkeit hochtemperaturgeeigneter Baugruppen

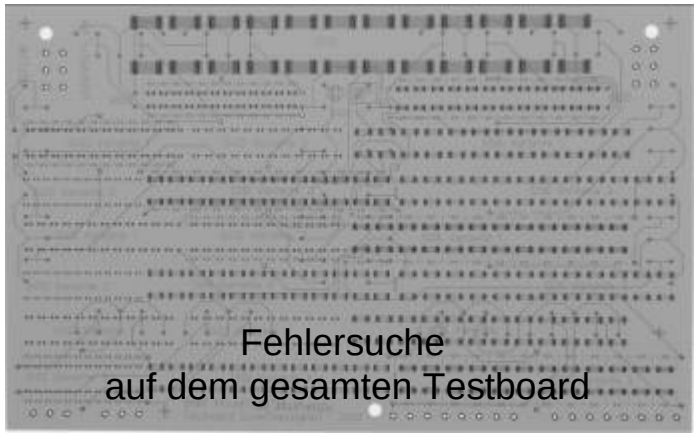
Testboard Zuverlässigkeit
Elektrische Messungen / Zusammenfassung

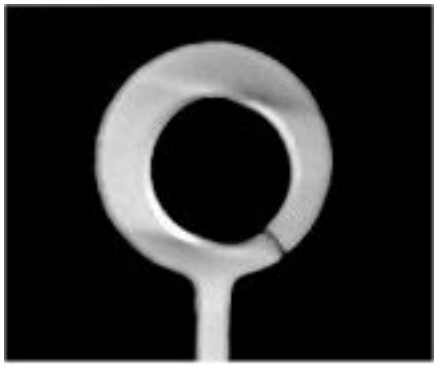
- Hochtemperatur-Auslagerung führt nicht zu elektrischen Ausfällen
- beim langsamen Temperaturwechsel erst bei höheren Temperaturen vereinzelte Ausfälle, vorzugsweise auf der Oberfläche Ni/Au
- schneller Temperaturschock mit deutlich größter Abhängigkeit von der Temperatur, → bei 150°C erst nach 2500 Zyklen vermehrt Ausfälle, dagegen bei 165°C und 180°C schon nach 1500 Zyklen
- je größer das Bauelement desto mehr Ausfälle, d.h. die Bauform 1206 hat mit Abstand die meisten elektrischen Fehler (2512 nicht gemessen)
- konkrete Zuweisung der Fehlerursache in Abhängigkeit der Oberfläche oder des Basismaterials nicht identifizierbar, nur bei Temperaturwechseln ist die NiAu-Oberfläche geringfügig nachteilig
- bei Padlayouts weisen Variante 2 bei der Bauform 0402 und Variante 1 bei der Bauform 1206 die geringsten Ausfälle auf

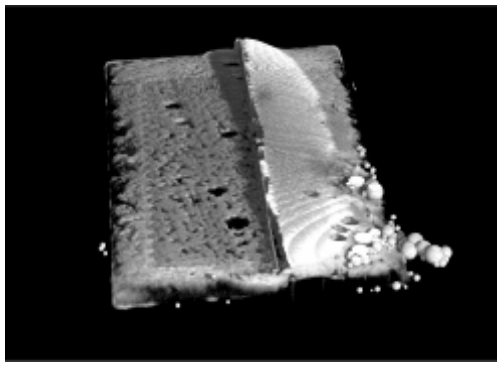
Zuverlässigkeit hochtemperaturgeeigneter Baugruppen

Testboard Zuverlässigkeit

Röntgenprüfung



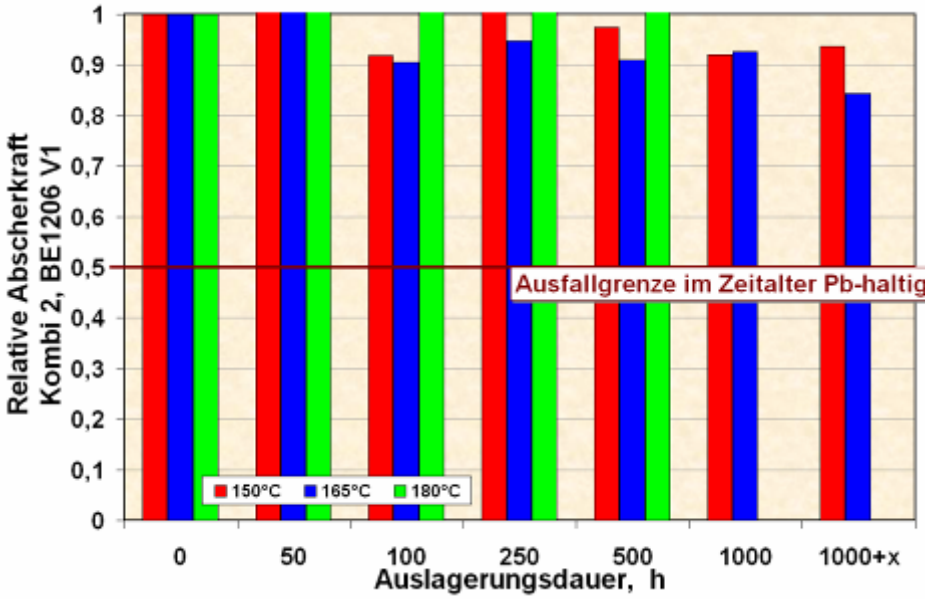


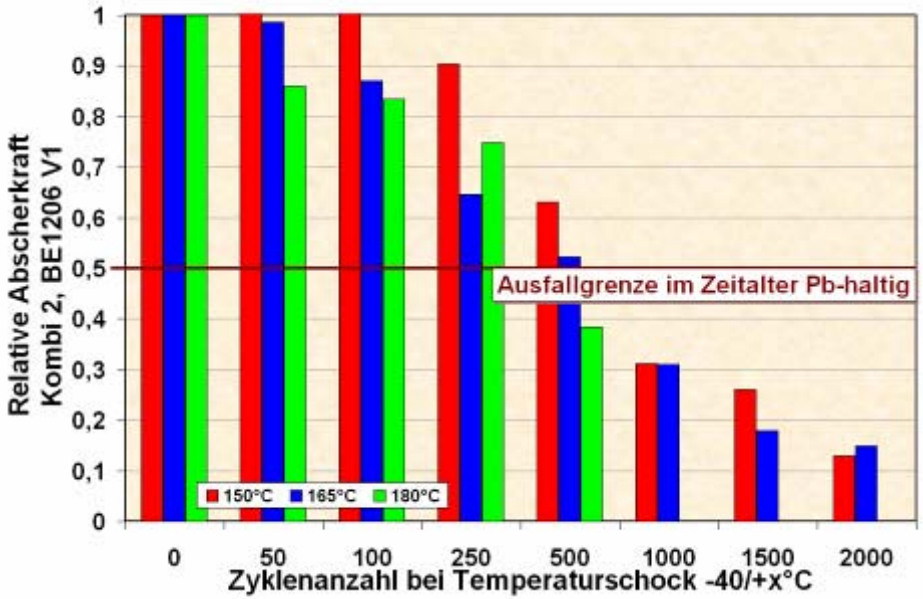


Zuverlässigkeit hochtemperaturgeeigneter Baugruppen

Testboard Zuverlässigkeit

Abscheruntersuchungen / Unterschiede zwischen Auslagerung und T-Schock

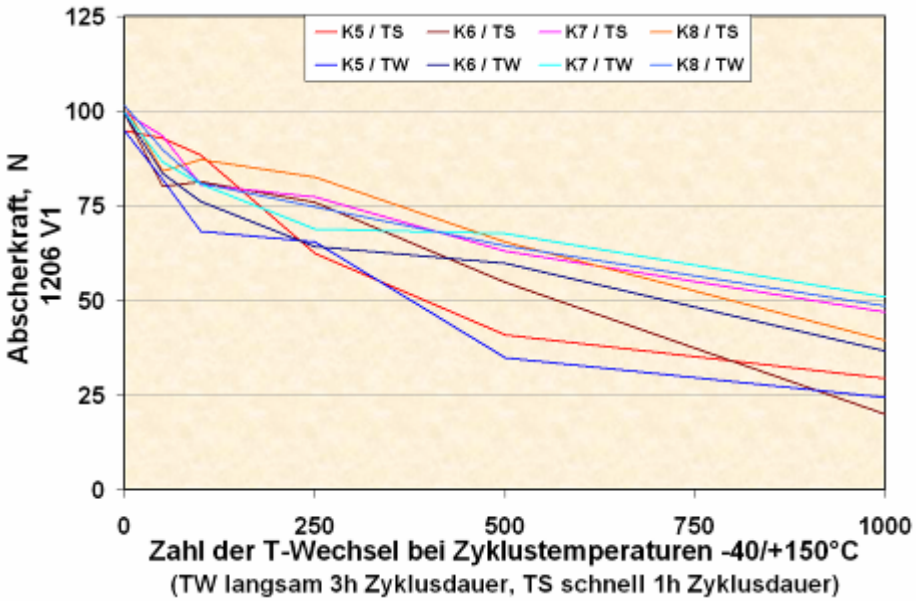


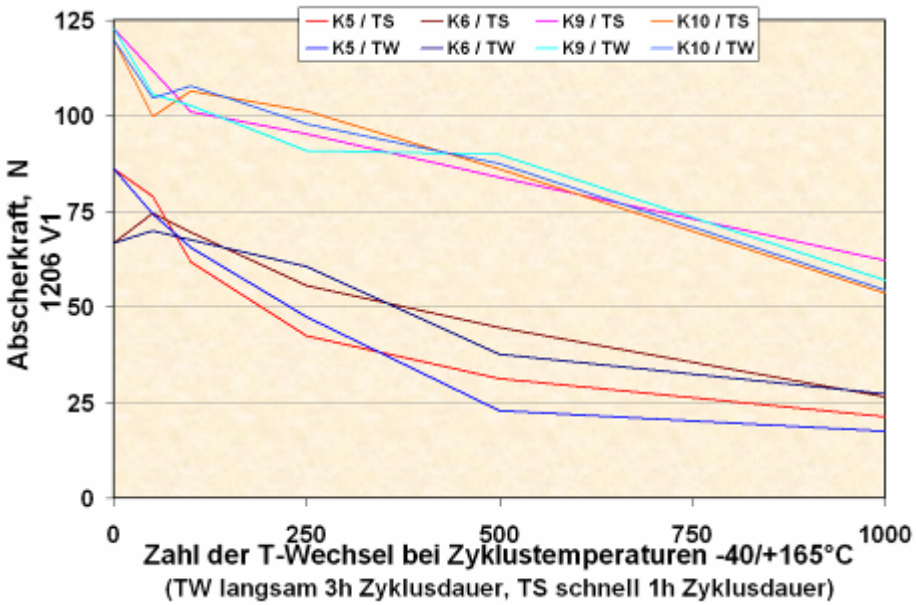


Zuverlässigkeit hochtemperaturgeeigneter Baugruppen

Testboard Zuverlässigkeit

Abscheruntersuchungen / Unterschiede zwischen T-Schock und T-Wechsel

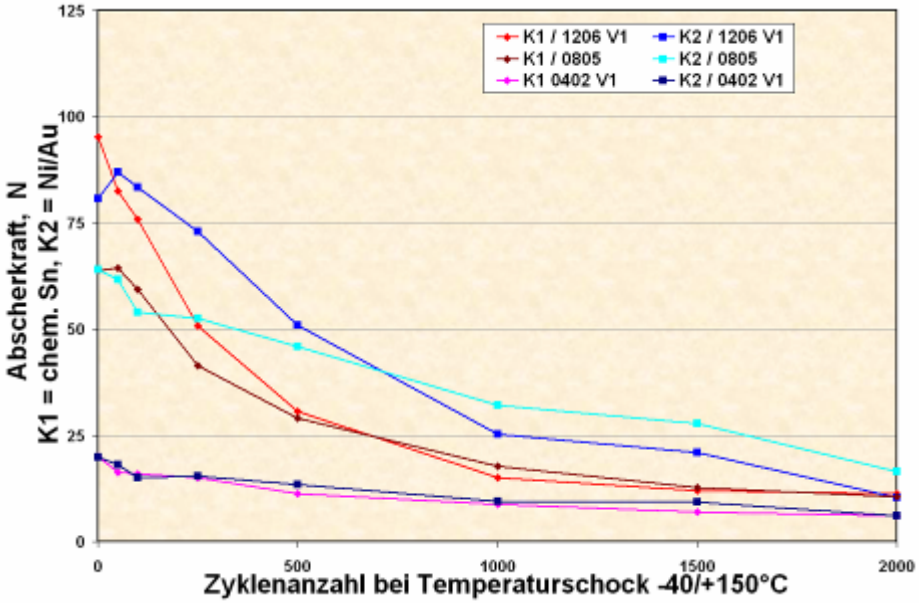


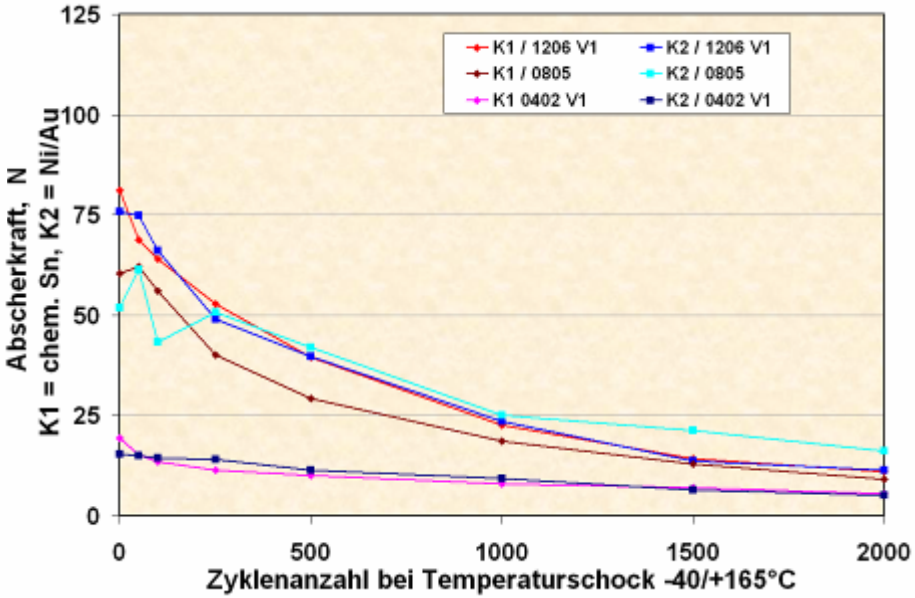


Zuverlässigkeit hochtemperaturgeeigneter Baugruppen

Testboard Zuverlässigkeit

Abscheruntersuchungen / Einfluss der Oberfläche

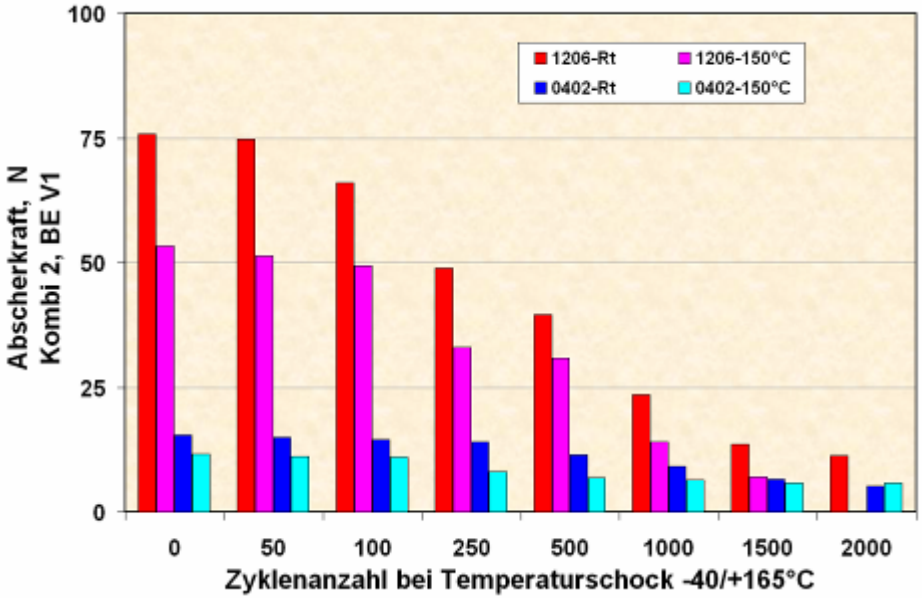


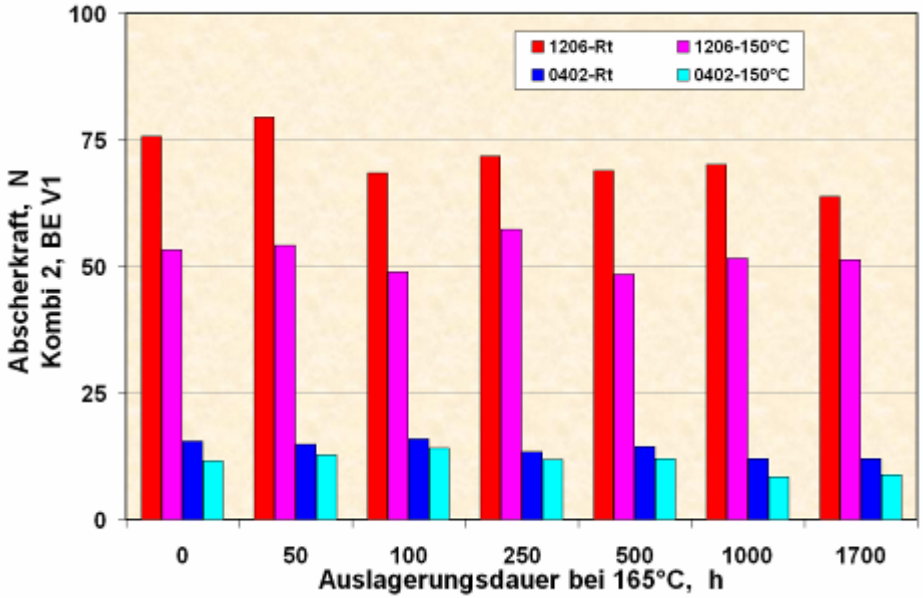


Zuverlässigkeit hochtemperaturgeeigneter Baugruppen

Testboard Zuverlässigkeit

Abscheruntersuchungen / Einfluss der Abschertemperatur

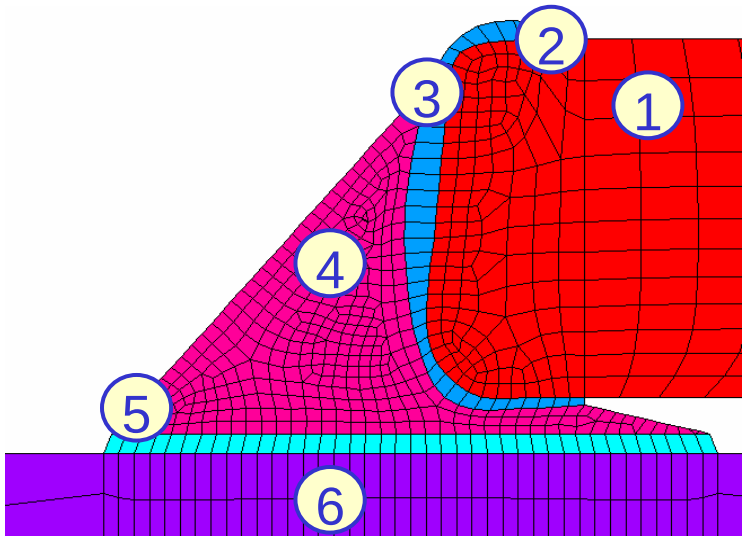


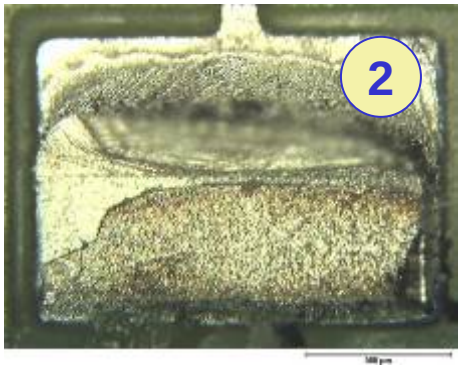


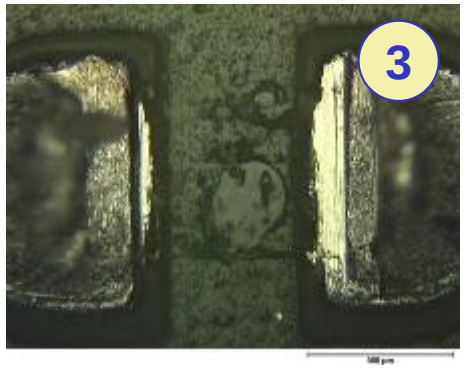
Zuverlässigkeit hochtemperaturgeeigneter Baugruppen

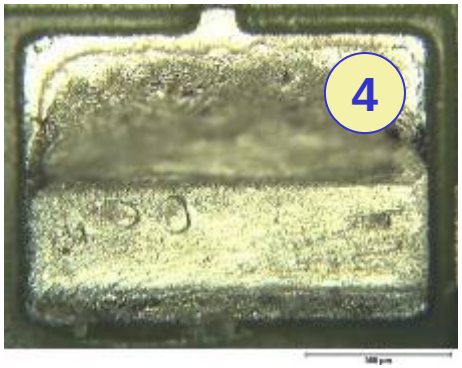
Testboard Zuverlässigkeit

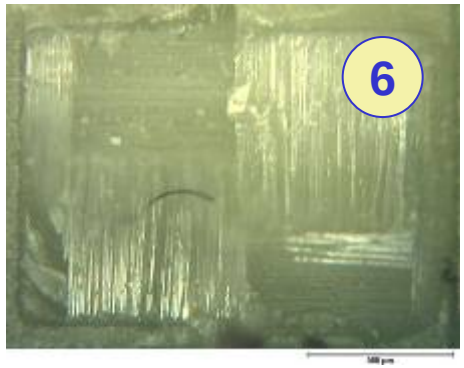
Abscheruntersuchungen / Bruchcodebestimmung











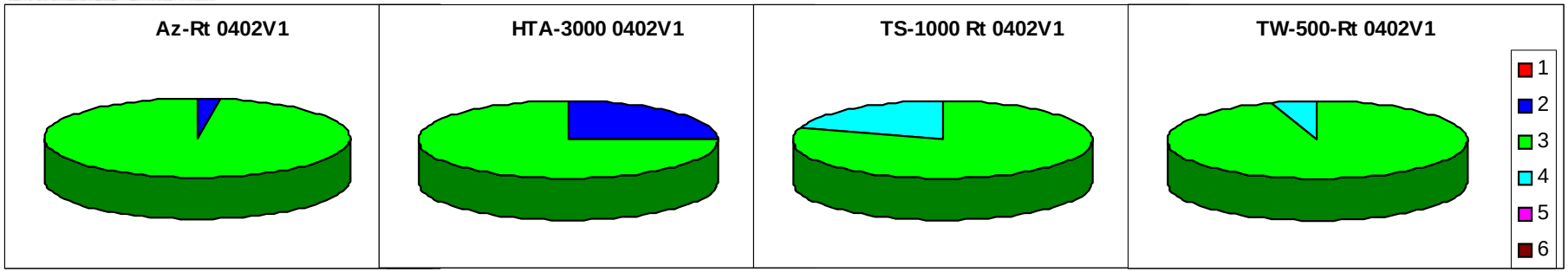
1. Bruch in der Keramik
2. Abriss der Metallisierung am Bauelement
3. Bruch an der Grenzfläche Bauelement/Lot
4. Bruch im Lot
5. Bruch an der Grenzfläche Lot/Pad
6. Bruch in der Leiterplatte / Pad

Zuverlässigkeit hochtemperaturgeeigneter Baugruppen

Testboard Zuverlässigkeit

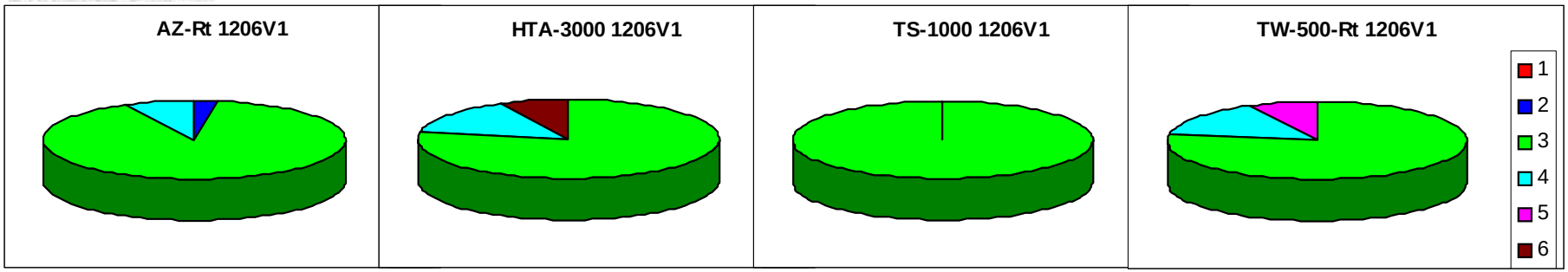
Abscheruntersuchungen / Bruchcode 150°C

BE 0402 V1



Ausgangszustand | nach 3000h HTA | nach 1000 Zyklen T-Schock | nach 500 Zyklen T-Wechsel

BE 1206 V1



Ausgangszustand | nach 3000h HTA | nach 1000 Zyklen T-Schock | nach 500 Zyklen T-Wechsel

Zuverlässigkeit hochtemperaturgeeigneter Baugruppen

Testboard Zuverlässigkeit
Abscheruntersuchungen / Zusammenfassung

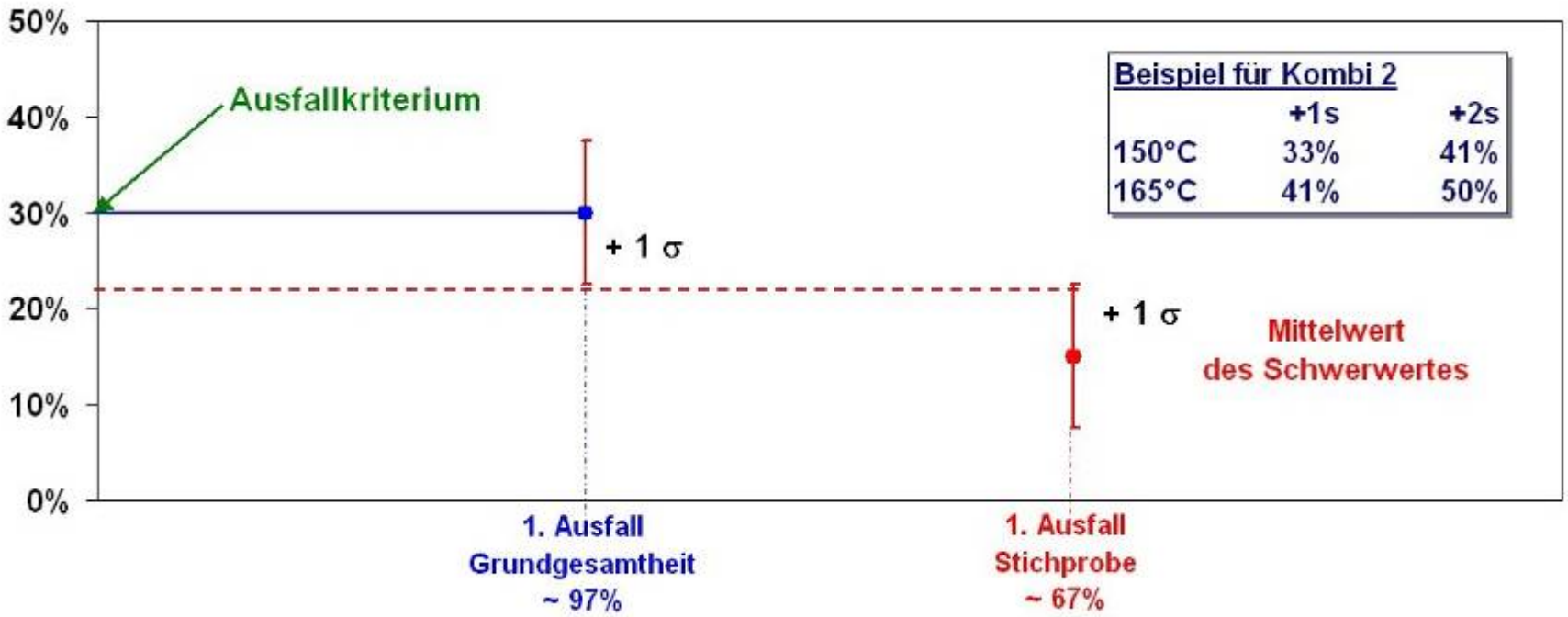
- Hochtemperatur-Auslagerung auch nach langer Dauer mindestens bei 80 % des Ausgangsscherwertes.
- kaum Unterschiede zwischen Temperaturschock und Temperaturwechsel
- kritischer Schwerwert von 50 % teilweise bereits nach 250 Zyklen bei 180°C und nach 500 Zyklen bei 150°C und 165°C erreicht
- SnAgCu und SnAg mit raschem Abfall der Festigkeit und Verbleib auf niedrigem Niveau
- SnPb (150°C) und das ‘InnoLot’ (165, 180°C) mit gleichmäßiger Abnahme und Erreichen der kritischen Grenze zu annähernd gleichen Zeitpunkten
- kein signifikanter Einfluss von Basismaterial und Oberfläche - Ni/Au bei 165°C und 180°C geringfügig besser
- geringer Einfluss durch Geometrie und Größe des Pads, aber: vermehrtes Auftreten des Tombstone-Effektes bei kleinen Bauformen
- Einfluss der Prüftemperatur groß, Werte teilweise unter 50%, aber: der Trend der Entwicklung gleichbleibend

- SnAg und SnAgCu für den Hochtemperaturbereich größer 150°C auf nicht angepassten organischen Schaltungsträgern nicht zuverlässig einsetzbar
- Verwendung von speziell angepassten organischen Hochtemperatur-Substraten mit den für diesen Bereich entwickelten Hochtemperatur-Lotwerkstoffen (wie z.B. ‘InnoLot’) für höhere Zuverlässigkeit unabdingbar

Zuverlässigkeit hochtemperaturgeeigneter Baugruppen

Testboard Zuverlässigkeit

Abscheruntersuchungen / Hypothese Zuverlässigkeitsgrenzwert 50%



Beispiel für Kombi 2	+1s	+2s
150°C	33%	41%
165°C	41%	50%

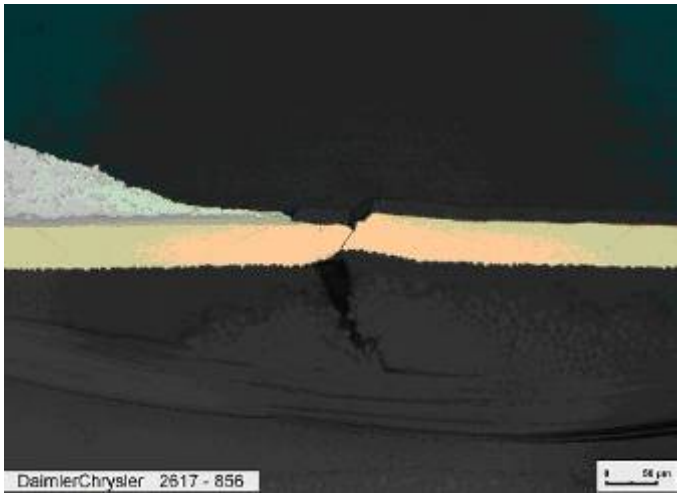
erheblicher Diskussionsbedarf zur 50%-Grenze aus der „bleihaltigen“ Zeit

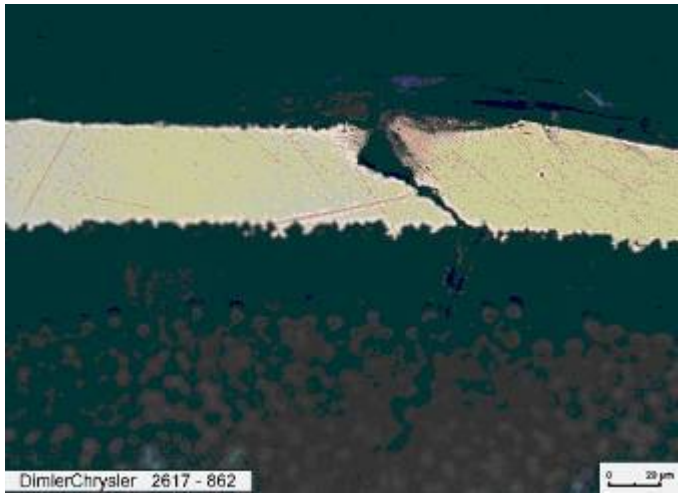
Zuverlässigkeit hochtemperaturgeeigneter Baugruppen

Testboard Zuverlässigkeit

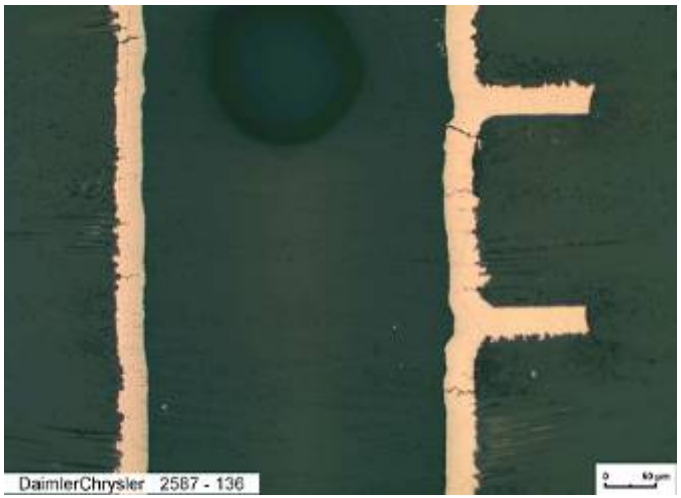
Metallographie / Fehlerbild Risse in der Leiterplatte

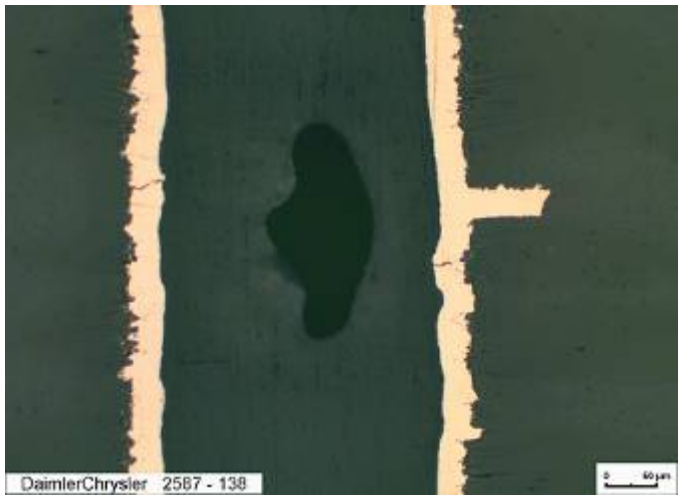
Risse in Leiterbahnen und im Basismaterial





Risse in den Hülsen der Durchkontaktierungen



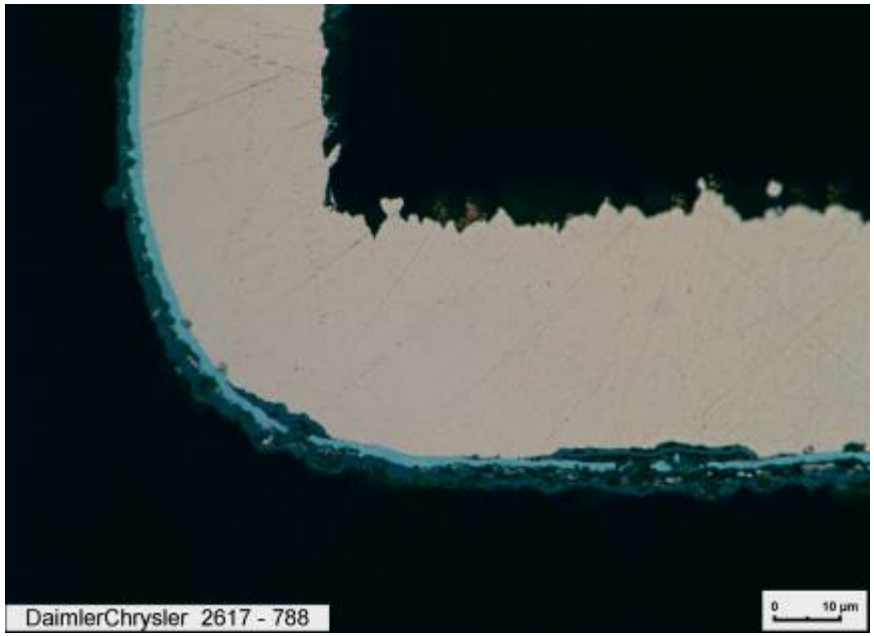


Zuverlässigkeit hochtemperaturgeeigneter Baugruppen

Testboard Zuverlässigkeit

Metallographie / Fehlerbild „Lochfraß“ bei Oberfläche chemisch Zinn

250 h T-Auslagerung



1700 h HT-Auslagerung

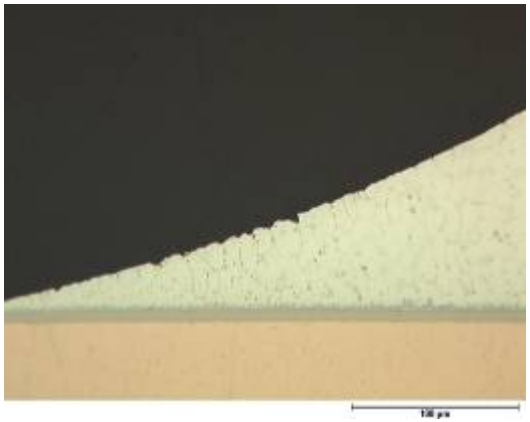
gefüllte Hohlräume, (vermutlich mit Kupferoxid),
mögliche Entstehungsursache: Flussmittelreste

Zuverlässigkeit hochtemperaturgeeigneter Baugruppen

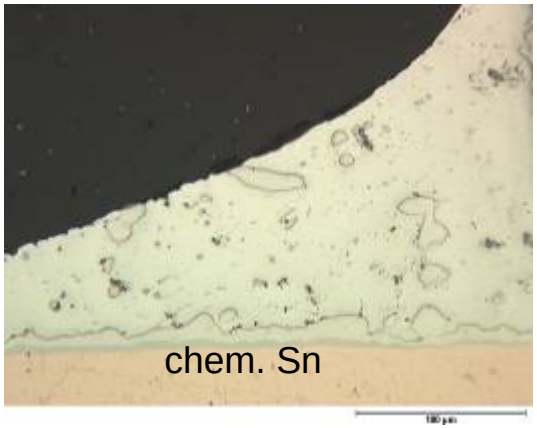
Testboard Zuverlässigkeit

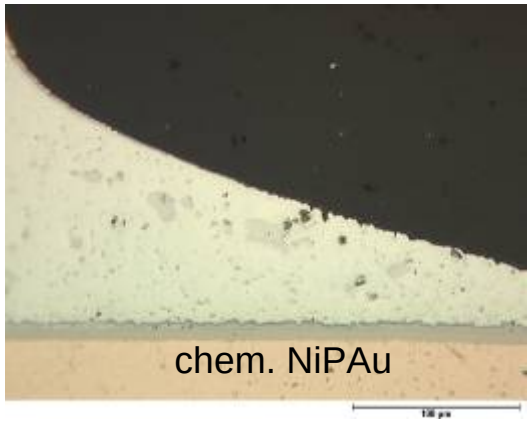
Metallographie / Fehlerbild Phasenwachstum auf chemisch Sn

Ausgangszustand



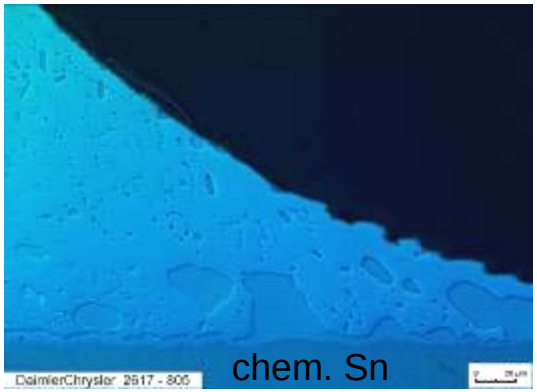
3000h HT-Auslagerung bei 150°C

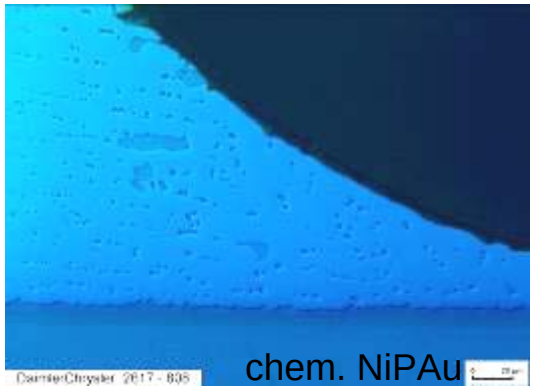




Ausgangszustand

1000h HT-Auslagerung bei 165°C





Zuverlässigkeit hochtemperaturgeeigneter Baugruppen

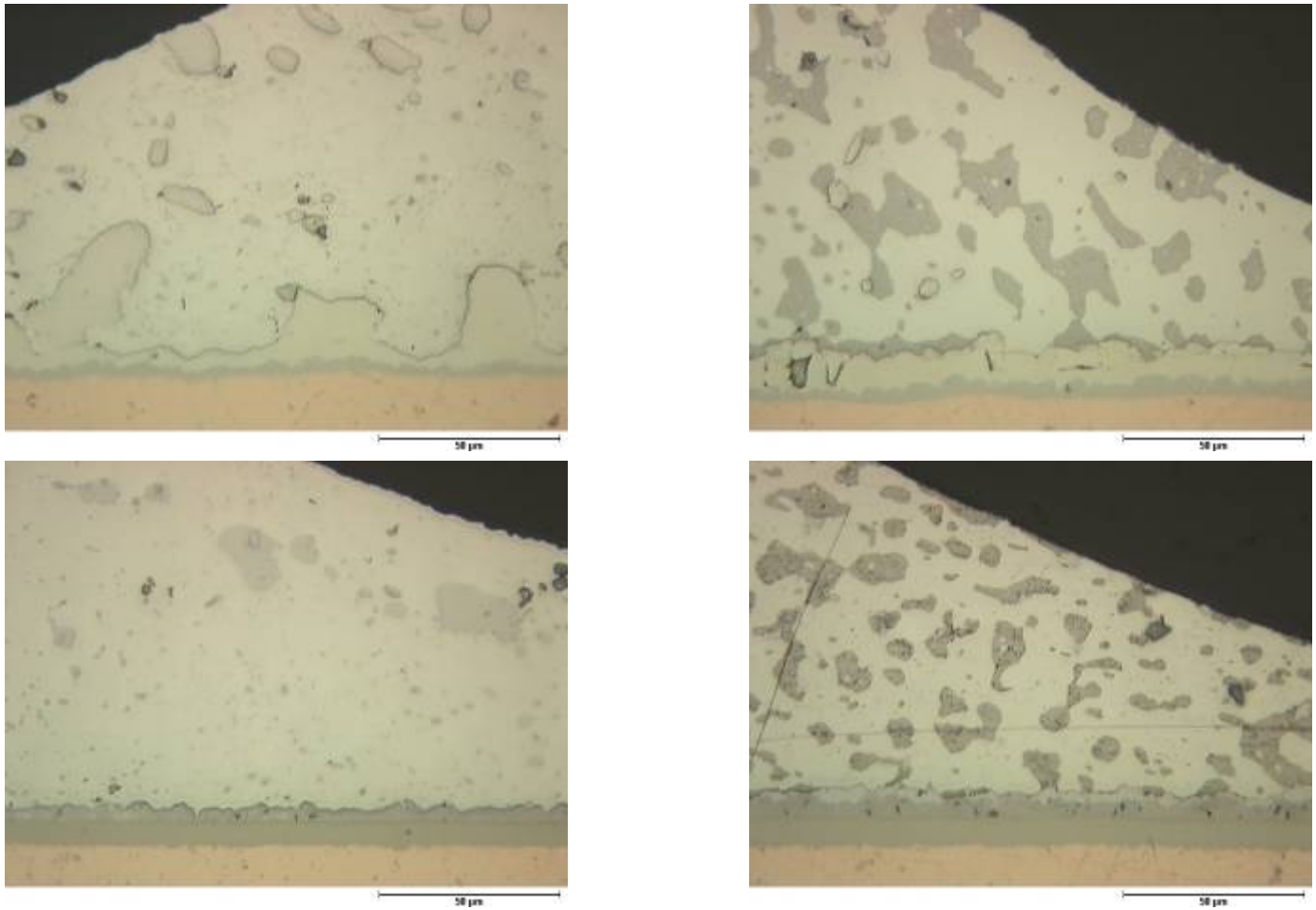
Testboard Zuverlässigkeit

Metallographie / Gefügeausbildung und Phasenwachstum

Gefüge und Phasenwachstum nach 3000h HT-Auslagerung

chem. Sn

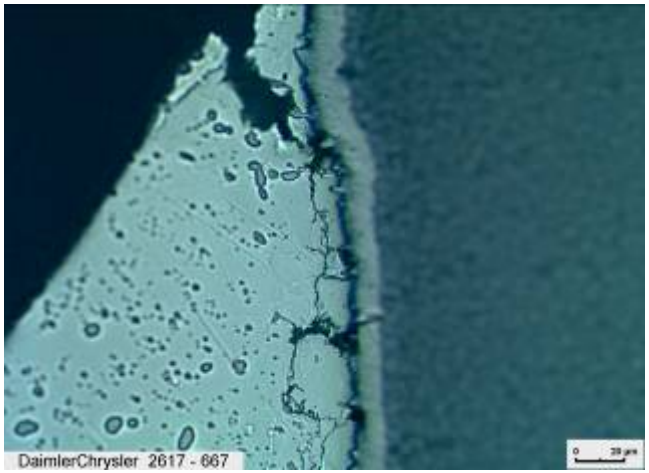
chem. NiP/Au

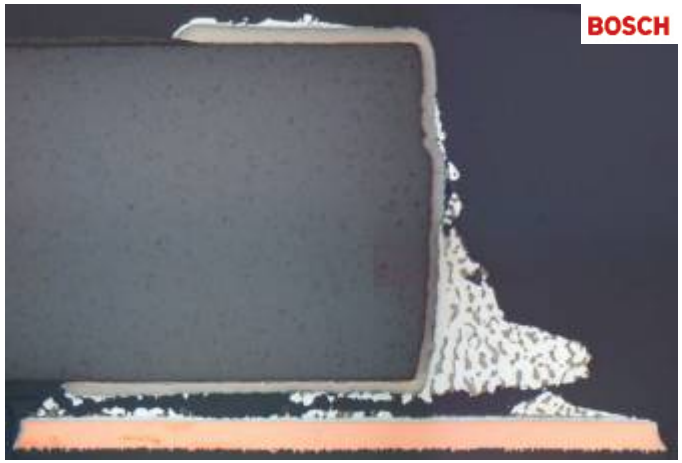


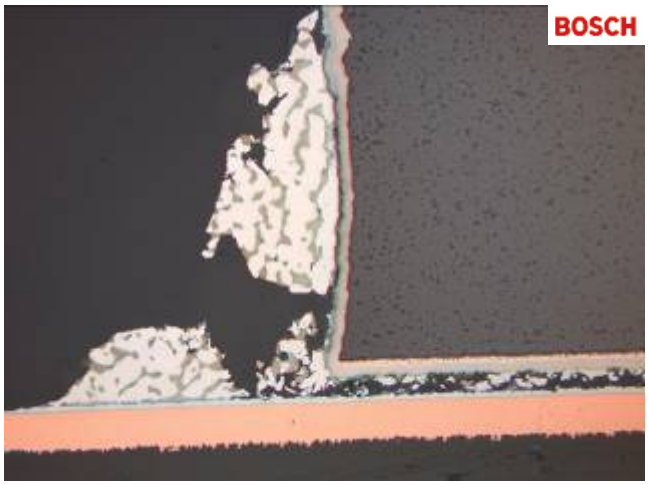
Zuverlässigkeit hochtemperaturgeeigneter Baugruppen

Testboard Zuverlässigkeit

Metallographie / Fehlerbild Rissinitiierung im Lot







Zuverlässigkeit hochtemperaturgeeigneter Baugruppen

Testboard Zuverlässigkeit
Zusammenfassung

- untersuchte organische Standard-Basismaterialien nur bedingt geeignet für hohe Einsatztemperaturen über 150°C
- neue verbesserte Basismaterialien aber bereits verfügbar
- Hauptursache für Risse in Leiterbahnen oder Durchkontaktierungen
- Abscherwerte mit geringem Einfluss hinsichtlich Oberflächen und Padlayout
- Unterschiede zwischen Temperaturschock und Wechsel zu vernachlässigen
- Korrosionsprobleme an Durchkontaktierungen und starkes Wachstum der intermetallischen Phasen bei der Oberfläche chemisch Zinn
- bleifreie Lote SnAg und SnAgCu nur bedingt für Hochtemperatur (Belastbarkeit 50% bei 500 Zyklen)
- vergleichbarer Trend auch beim Hochtemperaturlot ‘InnoLot’, jedoch mit deutlich höheren Absolutwerten
- empirische Festlegung eines Grenzwertes einheitlich für alle Anforderungen und Lote ???
- Bruchverhalten der bleifreien Lote mit stärkerer Neigung zu Rissen an der Grenzfläche zwischen Bauelementemetallisierung und dem Lötgut, direkt zwischen Bauelement und Metallisierung und teilweise auch durch das Lösen von Pads von der Leiterplatte