

Optimierte Padgeometrien reduzieren nicht nur das Tombstone-Effekt-Risiko

Von Roland Ruhfaß, KOENEN GmbH, Ottobrunn

Das Ergebnis des Pastendruckes, d. h. die aufgebraachte Menge sowie die Qualität der einzelnen Pastendepots und des gesamten Druckes, wird wesentlich vom Design der Druckschablonen beeinflusst. Nachfolgend wird erörtert, was beim Druckschablonendesign beachtet werden sollte und wie Druckschablonen ausgeführt werden können, so dass z. B. das Tombstone-Effekt-Risiko reduziert wird.

The result of a solder-paste deposit, i.e. the amount deposited and the quality of the individual deposits and the overall printing process, is significantly affected by the design of the soldermask stencil. It is explained what factors must be taken into account when designing such stencils and how a stencil is best applied so that the risk of defects, such as the tombstone effect, are minimised.

PLUS

Im SMT-Prozess wird Lotpaste in der Regel per Schablonendruck aufgebracht. Per Schablonendruck können auch SMD-Kleber und andere pastöse Medien aufgebracht werden. Im Idealfall entspricht das aufgebraachte Pastendepot in Bezug auf Volumen und Form der Schablonenöffnung, wobei die Höhe von der Schablonendicke bestimmt wird. Das präzise Auftragen kleiner Pastendepots, wie sie beispielsweise in der Fine-Pitch-Technik und beim Wafer-Bumping benötigt werden, ist diffizil. Auch das gleichmäßige Aufbringen relativ großflächiger Pastendepots erfordert Zusatzaufwand. Die Druckschablonen bzw. die darin eingebrachten Öffnungen müssen für diese Anwendungen speziell ausgelegt werden. Denn von deren Eigenschaften werden u. a. folgende Punkte bestimmt bzw. beeinflusst:

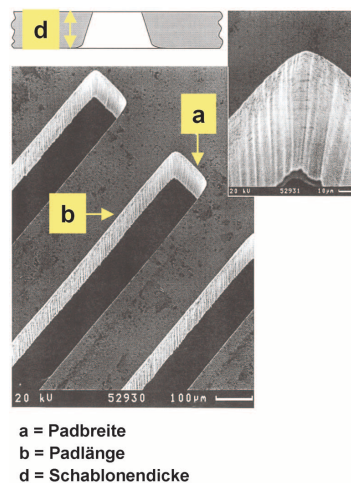
- Menge der aufgebraachten Paste
- Form und Höhe der Pastendepots
- Gleichmäßigkeit und Reproduzierbarkeit des Pastendruckes
- Auslöseverhalten der Paste
- Auf der Druckschablone verbleibende Paste (Rückstände)
- Pastenschmierungen

Von der Qualität des Pastendruckes hängt das Lötresultat ab; ob der Tombstone-Effekt, Lotbrücken, Lotspritzer, Lotkügelchen und/oder andere Lötfehler auftreten, wird zum großen Teil von der verwendeten Druckschablone, insbesondere von der Gestaltung der eingebrachten Öffnungen bestimmt.

Design für gutes Pasten-Auslöseverhalten

Damit die Paste beim Drucken nicht in der Schablonenöffnung haften bleibt, muss die Haftung auf dem Substrat größer sein. Dies ist erfahrungsgemäß nur gewährleistet, wenn die beiden folgenden Regeln erfüllt sind (Abb. 1):

- das Verhältnis von Schablonenöffnung (Breite/Durchmesser) zur Schablonendicke (Aspect Ratio) beträgt mindestens 1,5
- das Verhältnis der Lochfläche zur Wandfläche (Area Ratio) der Schablonenöffnung beträgt mindestens 0,66 (empfehlenswert ist über 1)



a = Padbreite
b = Padlänge
d = Schablonendicke

Abb. 1: Padgeometrie (Höhe, Länge und Breite einer Schablonenöffnung)

Maßnahmen gegen Lotbrückenbildung

Die Schablonendicke und Padgeometrie (Schablonenöffnung) haben vor allem im Fine-Pitch-Bereich auch einen großen Einfluss auf das Risiko der Lotbrückenbildung (Abb. 2, Abb. 3). Neben zu dicken Schablonen und/oder zu großen Öffnungen können allerdings auch Verunreinigungen der Schablone durch Pastenrückstände Ursache von Brückenbildungen zwischen den Bauteil-Anschlüssen sein.

Eine allgemein praktikable Lösung, um die aufgebrauchte Pastenmenge und damit das Lotbrückenrisiko zu reduzieren, ist die Verringerung der Padlänge. Zudem sollten die in Tab. 1 gelisteten Empfehlungen für die Schablonendicke berücksichtigt werden.

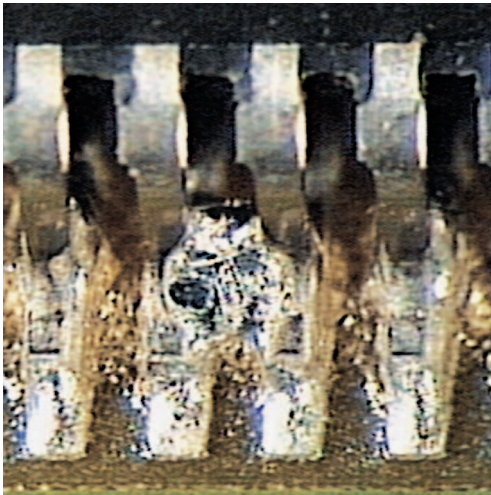


Abb. 2: 0,5 mm Pitch-Druck mit 150 µm Schablone und zu großem Lotpad (Quelle: Texas Instruments)

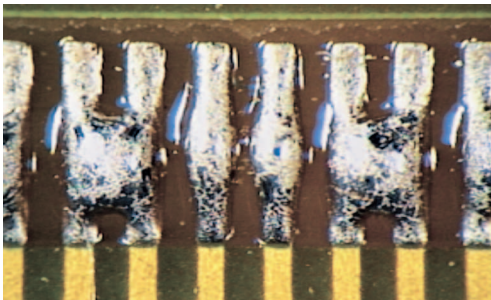


Abb. 3: 0,4 mm Pitch-Druck mit zu großem Lotvolumen (Quelle: Texas Instruments)

Tab. 1: Empfohlene Schablonendicken für den Lotpastenauftrag

Rastermaß mm	Pitch mil	Schablonendicke µm
0,635	25	150 - 180
0,500	20	120 - 150
0,400	16	120
0,300	12	100

Zum Drucken von SMD-Kleber werden dagegen Schablonen mit Dicken im Bereich 250 bis 400 µm empfohlen.

Weiterhin sind Padverkleinerungen, d. h. kleinere Schablonenöffnungen als Löt pads sinnvoll. Möglich sind:

- Umlaufende Verkleinerung um einen festen Faktor (Bis zur Bauteilgröße 0402 können die Schablonen pads umlaufend 30 – 50 µm kleiner als die SMD-Montage-Pads auf der Leiterplatte designt werden.)
- Prozentuale Verkleinerung der Länge oder der Fläche (Für kleinere Bauteile wird eine Padverkleinerung um 10 % bei Breite und Länge empfohlen.)

Eine Flächenverkleinerung um 10 % entspricht einer Längenverkleinerung um 5 %.

Beispiele für eine Padverkleinerung für ein rechteckiges Löt pad von 2 mm x 1 mm = 2 mm² Fläche sind:

- Längenverkleinerung um 10 %: result. Öffnung von 1,8 mm x 0,9 mm = 1,62 mm² Fläche
- Flächenverkleinerung um 10 %: result. Öffnung von 1,80 mm² Fläche = 1,9 mm x 0,95 mm

Die Padbreite sollte wie in Tab. 2 angegeben in Abhängigkeit vom Rastermaß gewählt werden.

Tab. 2: Empfohlene Padbreite für den Lotpastenauftrag

Rastermaß mm	Pitch mil	Padbreite mm
0,635	25	0,30
0,500	20	0,25
0,400	16	0,20
0,300	12	0,15

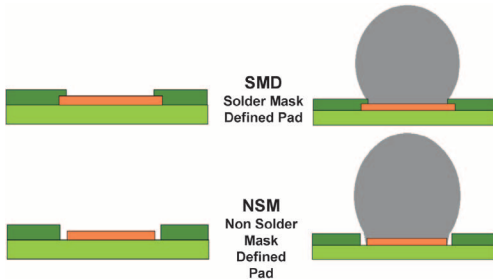


Abb. 4: Montage mit SMD- und NSM-Pads

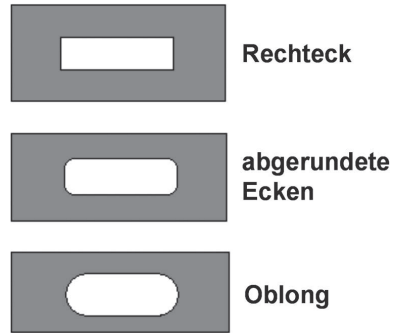


Abb. 5: Padformen

Besondere Padausführungen

Für die Montage von BGA und CSP aber auch Flipchips werden sowohl Leiterplatten mit Solder Mask Defined Pads (SMD-Pads) als auch Leiterplatten mit Non Solder Mask Defined Pads (NSM-Pads) verwendet (Abb. 4). In Tab. 3 und Tab. 4 sind die Vorschläge von Texas Instruments für das Design der Pads von BGA, CSP und Flipchip zusammengestellt.

Padformen

Die Pads bzw. Schablonenöffnungen sollten, wie in Abb. 5 dargestellt, nicht rechteckig sein. Denn bei Rechtecken bleibt die Paste leicht in den Ecken hängen, da dort die Adhäsion größer ist (Abb. 6). In den

Ecken kann sich sehr viel Paste ansammeln, so dass beim Druck auf dem Substrat Pastenschmierungen resultieren und daraus beim Lötten Lotspritzer entstehen können (Abb. 7). Pads mit abgerundeten Ecken zeigen diesen Effekt nicht. Sie sind aufgrund der nur etwas kleineren Fläche im Gegensatz zu den ebenfalls möglichen Oblongs optimal (Abb. 8). Oblongs weisen wegen der ca. 20 % kleineren Fläche ein Risiko für das Auftragen von zu wenig Lotpaste auf. Im Idealfall entspricht der Lotpastenauftrag dem Beispiel in Abb. 9.

Optimale Klebepunkte sind in Abb. 10 dargestellt.

Tab. 3: Design-Vorschlag von Texas Instruments für SMD-Pads

Rastermaß mm	Lötstoppmasken- durchmesser / mm	Montagepad- durchmesser / mm	Schablonendicke µm	Schablonenöffnungs- durchmesser / mm
0,5 N-Star	0,25	0,35	100	0,3 x 0,3
0,5	0,28	0,38	120	0,25 – 0,30
0,65	0,33	0,43	120	0,30 – 0,35
0,8	0,38	0,48	150	0,35 – 0,40
1,0	0,45	0,55	150	0,45 – 0,50

Tab. 4: Design-Vorschlag von Texas Instruments für NSM-Pads

Rastermaß mm	Montagepad- durchmesser / mm	Lötstoppmasken- durchmesser / mm	Schablonendicke µm	Schablonenöffnungs- durchmesser / mm
0,5 N-Star	0,28	0,33	100	0,3 x 0,3
0,5	0,25	0,30	120	0,25 – 0,30
0,65	0,30	0,35	120	0,30 – 0,35
0,8	0,35	0,50	150	0,35 – 0,40
1,0	0,40	0,55	150	0,45 – 0,50

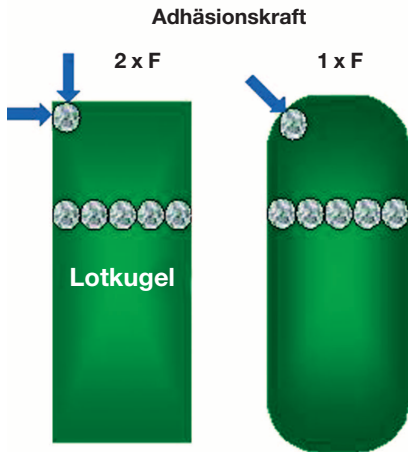


Abb. 6: In eckigen Pads kann sich aufgrund der größeren Adhäsion mehr Lotpaste ansammeln (Quelle: EKRA)

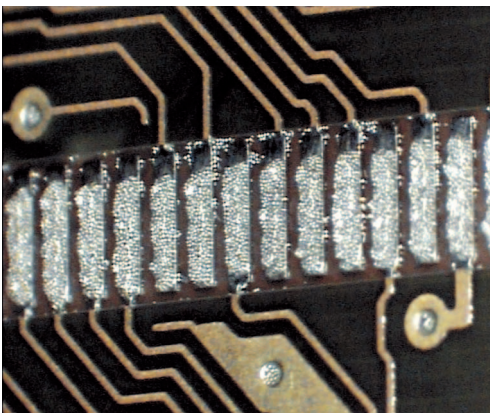


Abb. 7: Lotspritzer

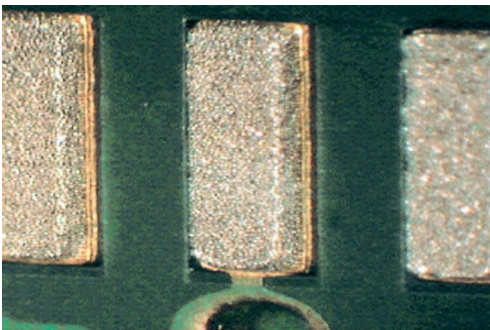


Abb. 8: Lotauftrag mit Pad mit abgerundeten Ecken

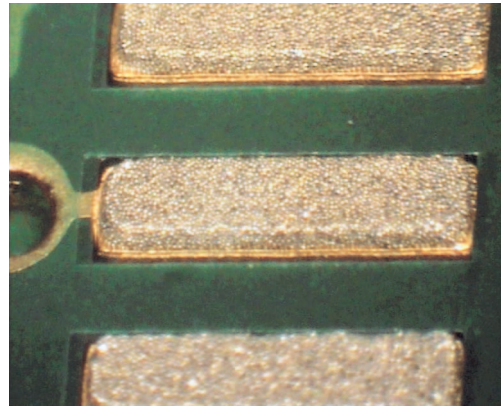
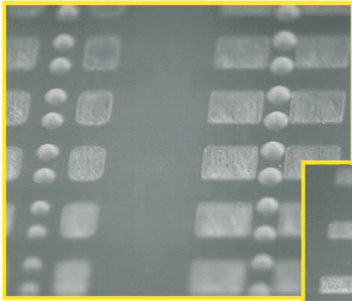


Abb. 9: Beispiel eines idealen Lotpastenauftrags

Maßnahmen zur Vermeidung des Tombstone-Effekts und weiterer Fehler [1]

Tombstones, d. h. ein mehr oder weniger starke Aufrichten von Chip-Bauelementen entsteht durch Unterschiede im Aufschmelzverhalten der beiden Anschlüsse. Das zuerst aufschmelzende Pastendepot entwickelt aufgrund der Adhäsionskräfte und der Oberflächenspannung des flüssigen Lotes große Kraftvektoren, die an der Außenfläche des Anschlusses angreifen und das Bauteil aufrichten. Das wenige Millisekunden später aufschmelzende zweite Pastendepot hat dann keine Chance mehr, den aufgerichteten Anschluss zu erreichen (Abb. 11). Die Ursachen dieses Mechanismus sind in den Toleranzen der am Lötprozess beteiligten Materialien, des Layouts der Leiterplatte und der Bauelementeabmessungen sowie des Prozesses zu suchen, beispielsweise:

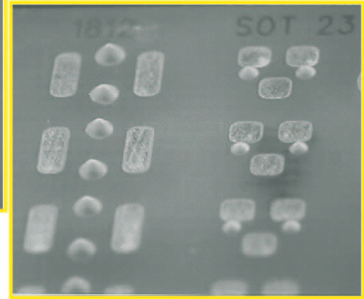
- Dimensionstoleranz der Bauelemente, insbesondere der Anschlüsse
- Unterschiedlich benetzende Bauelementeanschlüsse
- Dimensionstoleranz des Leiterplatten-Layouts
- Topographie (Höhendifferenzen) in der Leiterplatte
- Designbedingte Differenz in der Wärmeleitung der Pads
- Toleranzen beim Schablonendruck
- Toleranzen bei der Bestückung
- Aufschmelzverhalten der Lotpaste
- Temperaturgradienten im Reflowprofil



Bauelementeform 1206



Bauelementeform 0603 und 0805



Bauelementeform 1812 und SOT 23

**P
L
U
S**

Abb. 10: Optimale Klebepunkte für verschiedene Chip-Bauformen

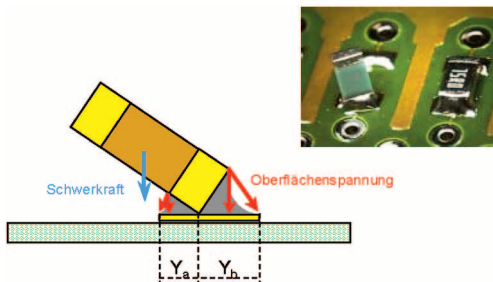
In einer Studie, in der verschiedene Einflussgrößen auf das Tombstoning von 0402-Bauelementen untersucht wurden, konnte nachgewiesen werden, dass der Längsversatz des Pastendrucks einen dominanten Einfluss auf die Tombstone-Anzahl hat. Während bei einem alleinigen Bestückversatz das Auftreten von Tombstones nur geringfügig gegenüber der Idealbestückung erhöht ist, bewirkt ein alleiniger Pastendruckversatz einen starken Anstieg der Tombstone-Anzahl. Bei einer linearen Reflowtemperaturprofilierung ist die Tombstone-Rate geringer als bei einem Stufenprofil. Ein signifikanter Einfluss der Schablonenapertur konnte nicht

nachgewiesen werden. Auch der Einfluss der Padgeometrie (rechteckige oder runde Form) ist gering und hängt zudem von der Chipform ab.

Vor allem ein Lotpastenauftrag mit (Längs-)Versatz muss also vermieden werden, um den Tombstone-Effekt gering zu halten. Nicht nur deshalb ist ein reproduzierbar gleichmäßiger Pastenauftrag anzustreben.

Zur Vermeidung von Lotspritzern aufgrund von auf die Lötstopmmaske aufgebrachtener Lotpaste sollten die Schablonenöffnungen stets etwas kleiner als die Montagepads auf dem Substrat sein.

Bei sehr großen Pads empfiehlt es sich, die Schablonenöffnungen mit Stegen zu teilen, so dass die Rakel nicht durchdrücken kann und so im Mittenbereich weniger oder gar kein Pastenauftrag erfolgt. Öffnungen ab Kantenlänge von 5 mm sollten z. B. mit Stegen einer Breite zwischen 0,5 und 1,5 mm versehen werden.



Das Verhältnis von Y_a / Y_b beeinflusst die Entstehung eines Tombstone!

Abb. 11: Tombstone-Effekt

Auch der Pastentyp und die Padgeometrie müssen passen

Generell sollten wie in *Abb. 12* gezeigt mindestens 5 Kugeln des maximalen Durchmessers nebeneinander in die Schablonenöffnung (Breite) passen,

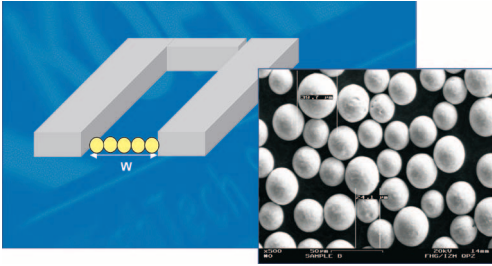


Abb. 12: Mindestens 5 Lotkugeln sollten nebeneinander in die Schablonenöffnung passen

damit die Öffnungen beim Drucken nicht verstopfen und deshalb ein schlechter Pastendruck resultiert.

Wie das Ziel eines reproduzierbar gleichmäßigen Pastenauftrags durch ein entsprechendes Schablonendesign unterstützt werden kann, wurde in mehreren Punkten dargelegt. Weitere Informationen finden sich in speziellen Richtlinien, z. B. den *IPC 7525 Stencil Design Guidelines*. Die *KOENEN GmbH* berät und unterstützt ihre Kunden umfassend in allen Fragen des Druckschablonendesigns.

Kontaktadresse

Roland Ruhfuß, KOENEN GmbH, Technischer Vertrieb, Otto-Hahn-Str. 40, 85521 Ottobrunn, Tel. 089/608650-19, Fax 089/608650-30, r.ruhfass@koenen.de, www.koenen.de

Literatur

[1] H. Bell, Th. Ahrens, H. Schimanski, E. Kastner: „Tombstoning“, GMM-FB 44 „Elektronische Baugruppen“, VDE Verlag, 2004