

## Sichere Inspektion gefährlicher Lufteinschlüsse

Windenergie, Solarstrom, Elektromobilität ... all dies sind Schlagworte die uns permanent begegnen und denen noch nie eine solche Bedeutung beigemessen wurde, wie wir dies heute im globalem Maßstab tun. Neben all den Vorzügen und Sicherheiten, welche durch diese Entwicklungstendenzen möglich werden, stellen sie jedoch auch nicht zu vernachlässigende Anforderungen an die Entwicklung der dafür benötigten Elektronikkomponenten. Speziell im Bereich der Elektromobilität steht neben der eigentlichen Steueraufgabe für Elektro- und Hybridantriebe auch die zwingende Notwendigkeit nach Miniaturisierung der dafür eingesetzten Leistungselektronik. Dies stellt auch die Fertigungstechnologie hinsichtlich wirtschaftlicher Produktion von großen Stückzahlen vor neue Herausforderungen. Gleichermäßen gehört dazu auch die benötigte Prüftechnik, um eine fehlerfreie aber auch effektive Qualitätssicherung zu ermöglichen. Inspektionstechnologien von höchstem Niveau, wie etwa eine 3D-Röntgenanalyse im Fertigungstakt werden dafür benötigt und stehen gleichzeitig vor neuen Anforderungen.

### Geforderte Fertigungstechnologie

Als Technologie für die Fertigung integrierter Leistungselektronik hat sich die direkte Montage von Dies (z.B. IGBTs oder Dioden) auf einem Basissubstrat (z.B. DCB) etabliert. Die notwendigen elektrischen Verbindungen erfolgen dabei zum Einen durch eine großflächige Lötstelle auf der Unterseite des Dies und zum Anderen durch parallelisierte Bondverbindungen auf dessen Oberseite. Um die während des regulären Betriebs solcher Module auftretende Verlustleistung in Form von Wärme wegzuführen, ist vielfach das Basissubstrat großflächig auf einem Kühlkörper aufgelötet. Im Falle des Einsatzes einer solchen Leistungssteuerung z.B. für Elektroantriebe in Hybridfahrzeugen, ist dieser Kühlkörper dann zusätzlich in den Kühlwasserkreislauf des Fahrzeugs eingebunden.

Der schematische Aufbau eines solchen integrierten Leistungsmoduls ist in Bild 1 dargestellt.

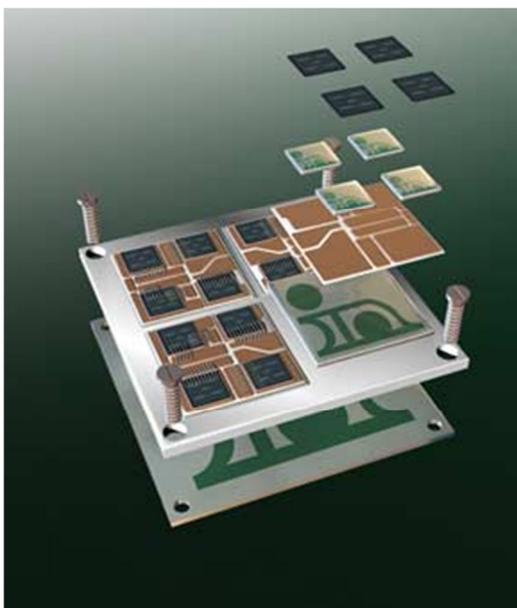


Bild 1: Aufbau eines integrierten Leistungsmoduls (Bild zur Verfügung gestellt von Indium Corporation)

## Freie Fahrt für überschüssige Wärme

Um für diese Leistungsmodule eine hohe Zuverlässigkeit und lange Lebensdauer zu gewährleisten, ist somit beginnend von dem aufgelöteten Die bis zum Kühlkörper eine optimale Wärmeabfuhr zu gewährleisten. Diese benötigte thermische Anbindung wird vorrangig durch einen niedrigen Wärmewiderstand der Lötverbindung erreicht. Einen ganz entscheidenden Anteil an diesem Qualitätskriterium haben dabei Lufteinschlüsse (Voids) innerhalb dieser Lötverbindungen. Speziell in großflächigen Lötstellen, welche u.U. eine Flächenausdehnung von bis zu 25cm<sup>2</sup> haben können, wird das Austreten der eingeschlossenen Gase während des Aufschmelzprozesses erschwert, wodurch oftmals Lufteinschlüsse unterschiedlicher Ausdehnung und Lage innerhalb dieser Verbindung zurückbleiben. Hinsichtlich der thermischen Anbindung können diese nun im Betriebszustand des Moduls zu einem Fehlverhalten bis hin zu dessen Zerstörung führen. Eine Qualitätskontrolle während des Fertigungsprozesses ist somit unablässig.

## Unsichtbares sichtbar machen

Für die Erkennung der Lufteinschlüsse nach erfolgtem Lötprozess stehen nach aktuellem Stand der Technik nur wenige Möglichkeiten zur Verfügung. Eine 100% Prüfung innerhalb des Fertigungstaktes schränkt dabei die Auswahl an Prüfverfahren noch weiter ein. So können Ultraschall-Mikroskopie sowie die Computertomografie mittels einer Röntgen-Analysemaschine aufgrund des Zeitbedarfs für die Bildaufnahme sowie die nachfolgende Auswertung für einen effektiven Einsatz ausgeschlossen werden. Prinzipiell hat sich jedoch die Röntgentechnologie für die Lötstellenanalyse auf elektronischen Baugruppen bewährt und wird im inline Fertigungsprozess für die Qualitätskontrolle vielfach eingesetzt. In dem vorliegenden Fall steht diese Prüftechnologie jedoch vor neuen Herausforderungen:

- Sichere und hochauflösende Erkennung von Lufteinschlüssen in den relevanten Lötstellen
- Trennung von Lufteinschlüssen in unterschiedlichen Ebenen
- Ermittlung qualitätsbestimmender Parameter **für jede Lotebene** (größter Lufteinschluss, Summe aller Lufteinschlüsse, lokale Verteilung der Lufteinschlüsse)
- Inspektion im montierten Zustand (z.B. mit Kühlkörper)
- 100%-Inspektion im Fertigungstakt

Somit lässt sich recht schnell erkennen, dass herkömmliche 2D- und 2,5D-Röntgeninspektionssysteme für diese Prüfaufgabe nicht geeignet sind. Dies wird bei Betrachtung einer orthogonal oder auch schräg durchstrahlten Baugruppe erkennbar (Bild 2). Im aufgenommenen Bild sind zwar Lufteinschlüsse sichtbar; jedoch lassen sich diese nicht der jeweiligen Lotebene zuordnen. Gerade dieser Zuordnung ist jedoch eine wichtige Bedeutung beizumessen, da für die thermische Anbindung von Die und Basismaterial sowie Basismaterial und Kühlkörper signifikant unterschiedliche Qualitätskriterien anzusetzen sind. Eine Auswertung der Lufteinschlüsse in einem im 2D- bzw. 2,5D-Verfahren aufgenommenen Bild würde somit entweder zu Schlupf in der Fehlererkennung oder zu massiv erhöhtem Ausschuss dieser Baugruppen führen.

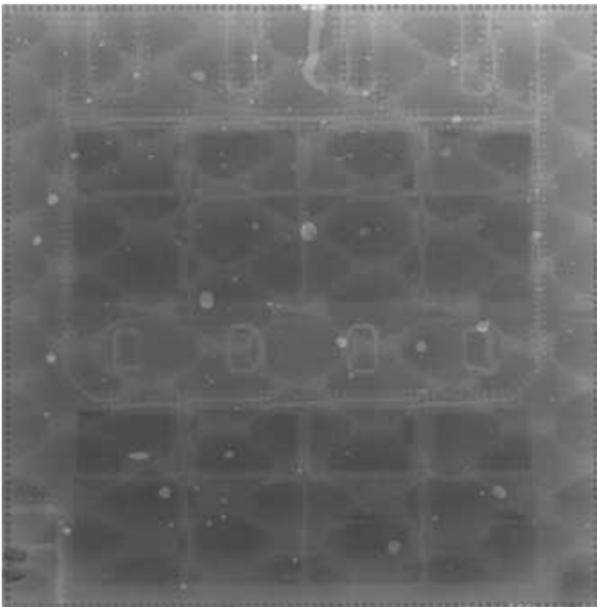


Bild 2: Röntgenbild einer orthogonal bzw. schräg durchstrahlten Baugruppe

### **Gekonnt scheinbarweise inspizieren**

Somit verbleibt als einzig praktikables Verfahren für die Qualitätskontrolle eine 3D-Röntgen-Inspektionstechnologie mit der vollständigen Rekonstruktionsfähigkeit einzelner Schichten. Doch auch dieses Verfahren steht im vorliegenden Fall vor besonderen Herausforderungen und nicht jedes vermeintliche 3D-System ist in der Lage, diese anspruchsvolle Prüfaufgabe zu lösen. Eine entscheidende Ursache dafür ist der bereits montierte Kühlkörper, welcher speziell für die Integration in einem Kühlwasserkreislauf Strukturen für eine möglichst große Kontaktfläche mit dem Kühlmittel aufweist. Diese Formen bewirken jedoch eine unterschiedliche Absorption der Röntgenstrahlung und sind im rekonstruierten Ergebnisbild als Störungen sichtbar. Gleichermäßen bewirkt die Größe der Lötstellen sowie die undefinierte Lage und Ausdehnung von Luftpneinschlüssen ebensolche Artefakte beim Einsatz von Standard-Rekonstruktionsverfahren.

Im 3D-Röntgeninspektionssystem OptiCon X-Line 3D (Bild 3) wurden dementsprechend Anpassungen geschaffen, welche neben einer für diesen Anwendungsfall adaptierten Bildaufnahme auch eine schichtweise Rekonstruktion entsprechend den aufgeführten Anforderungen ermöglichen.



Bild 3: Inline-Röntgeninspektionssystem mit OptiCon X-Line 3D

Die resultierenden Bilder (Bild 4 und Bild 5) gestatten im weiteren Inspektionsverlauf eine automatische Detektion der Luftpfeinschlüsse in jeder Ebene inklusive einer Klassifizierung hinsichtlich der für die jeweiligen Schichten getrennt definierten Qualitätsparameter.

Nach erfolgter Inspektion besteht des Weiteren die Möglichkeit, an einem nachfolgenden Verifizierplatz die Fehler anhand der rekonstruierten Bilder zu begutachten und abschließend zu bewerten.

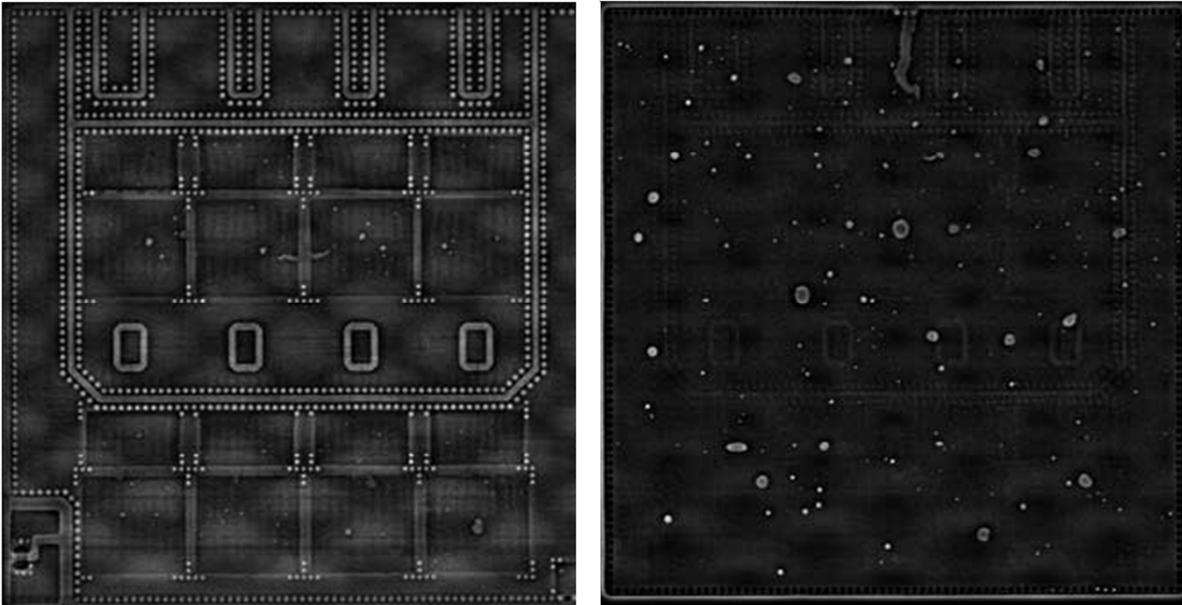


Bild 4 und Bild 5: mit adaptiertem Rekonstruktionsverfahren separierte Schichten zwischen Die-Basismaterial und Basismaterial-Kühlkörper

Zusätzlich zu den o.a. Möglichkeiten ist das AXI-System OptiCon X-Line 3D natürlich auch für die Inline-Röntgeninspektion von doppelseitig-bestückten Leiterplatten geeignet. In einem einzigen Systemdurchlauf können von der Baugruppe gewünschte Ebenen rekonstruiert werden und stehen zur automatischen Analyse zur Verfügung. Diese Eigenschaft bietet u.a. auch die Möglichkeit, kritische Lötstellen (z.B. an BGAs) in einzelne Schichten zu zerlegen und somit automatisch detailliert zu analysieren. Eine vollständige 3D Röntgeninspektion im Linientakt bietet somit die Basis für eine umfangreiche Qualitätsanalyse und höchste Fertigungsqualität.