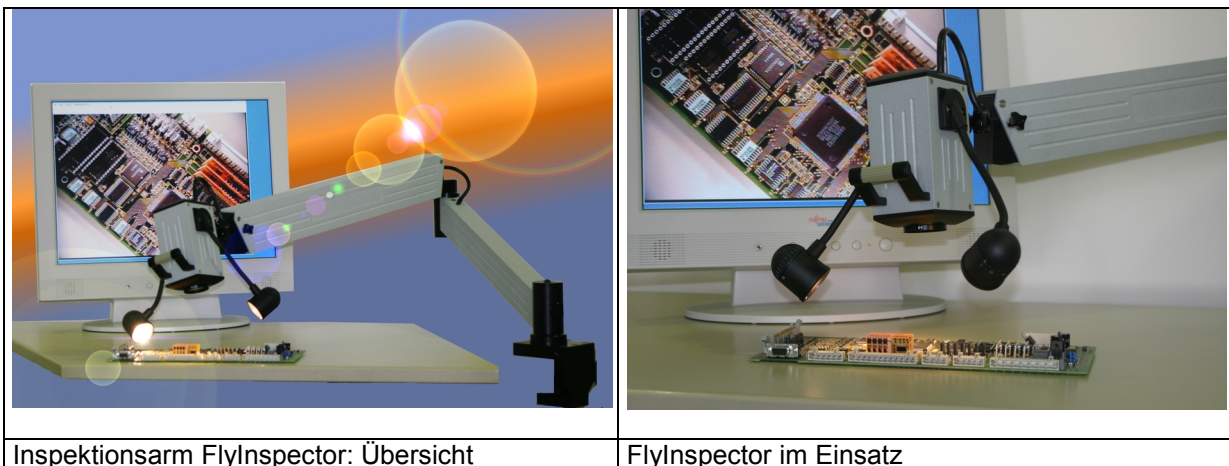


Inspektionslösungen am Beispiel zukünftiger Aufbau- und Verbindungsverfahren

Marco Kämpfert, TechnoLab GmbH Berlin

Die optische Inspektion im Verlauf der hintereinander geschalteten Fertigungsprozesse in der Flachbaugruppenfertigung nimmt eine wichtige Stellung beim Erreichen der gestellten Qualitätsziele ein. Hierfür wird die Kenntnis benötigt, welche Fehler durch eine optimale visuelle, optische Inspektion sichtbar werden können, bzw. welche Fehler wann und wo zu erwarten sind. Diese Kenntnis ist bei der Auswahl der Inspektionslösung daher besonders wichtig, da die Frage nach dem Return of Investment am Fertigungsstandort Europa von besonderer Bedeutung ist. Die Inspektionssysteme stehen direkt in der Wertschöpfungskette der Flachbaugruppenhersteller – die Auswahl- und Entscheidungskriterien für ihre Anschaffung sollen hier praxisnah beleuchtet werden.

Optische Inspektionsgeräte, angefangen von Stereomikroskopen bis hin zu hoch spezialisierten Area-Array-Inspektionslösungen wie z.B. dem A²IS von TechnoLab, stehen dem Anwender schon seit langer Zeit für die standardmäßige Kontrolle und Prozessentwicklung zur Verfügung. Diese Geräte haben teilweise begrenzte Einsatzmöglichkeiten. Besonders an schwer zugänglichen Orten, wie z.B. unter Steckkontakten, an verdeckten Bauelementen oder unter BGAs sind Stereomikroskope nicht einsetzbar. Nicht nur, dass die Orte von besonderem Interesse verdeckt sein können spielt hierbei eine große Rolle, sondern auch die durch die Geometrie solcher Mikroskope begrenzte Fähigkeit, große und übergroße Baugruppen aufnehmen zu können. Darüber hinaus muss die optische Schärfenebene beim Ankippen der Baugruppen immer nachjustiert werden, um z.B. eine Schrägblick zu ermöglichen, was einen erheblichen Mehraufwand und mehr Zeit erfordert. Durch den Einsatz einer auto-focus Spezialkamera in Verbindungen mit einem hochflexiblen Inspektionsarm, der durch eine selbsthaltende Mechanik am Inspektionsort verbleiben kann, wird dieser Nachteil ausgeglichen. Die Fähigkeit des eingesetzten Kamerasystems, innerhalb von Millisekunden die optimale Schärfenebene zu finden, erlaubt ein Schwenken der Baugruppe, schnelles Inspizieren und Dokumentieren.



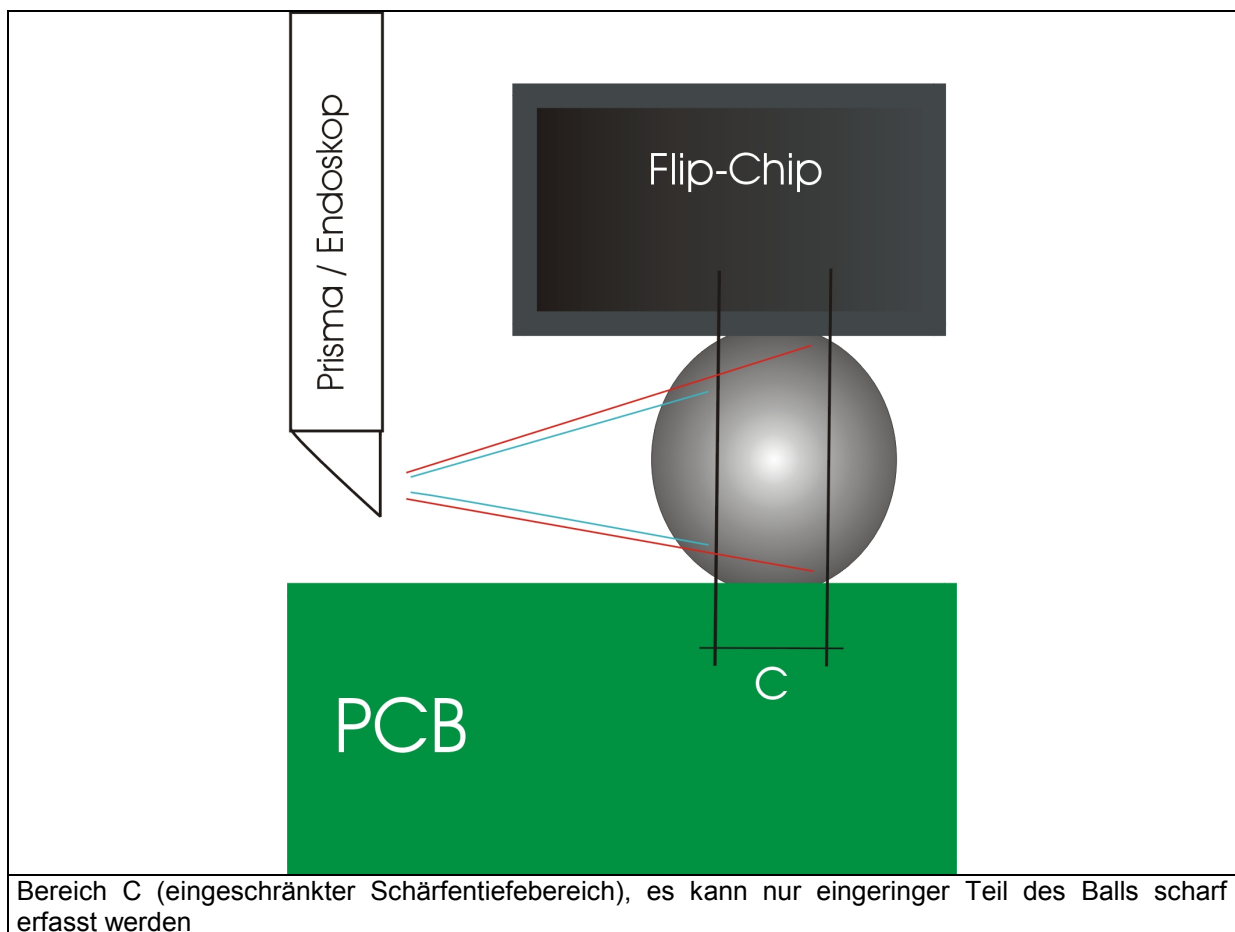
Zudem ist durch die geometrische Ausführung des Inspektionsarmes gewährleistet, dass sehr große Flachbaugruppen inspiziert werden können. Dieser Vorteil wird vor allem bei der Reparatur von großen Backplanes erfolgreich genutzt. Außerdem spielt dieses System für Reworkaufgaben eine große Rolle. Die geschützte Kameraoptik wird hierbei mit optimalen Arbeitsabstand über die Lötstellen geführt, und der Reworkprozess kann somit stark vergrößert verfolgt und dokumentiert werden. Die Installation des Gerätes an den Hot-Spots innerhalb der Fertigungslinie, d.h. direkt an relevanten, inspektionsintensiven Orten, ermöglicht darüber hinaus einen flexiblen Einsatz dieses zweckmäßigen Inspektionssystems.

Die Frage nach dem Return of Investment (ROI) in Verbindung mit der Forderung der ständigen Dokumentation gemäß den Zielsetzungen der ISO 9000:2000 kann durch den Einsatz dieses „intelligenten“ Inspektionssystems schnell beantwortet werden, da diese Lösung nicht mehr Investitionsaufwand als ein übliches Stereomikroskop erfordert.

Starre Endoskope – alte Bekannte

Bei Inspektionsaufgaben an verdeckten, oder schwer zugänglichen Lötstellen ist hingegen ein weit größerer Aufwand erforderlich. Bei der Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten –und Forderungen haben endoskopische Lösungen entscheidende Vorteile. Doch was ist bei der Auswahl endoskopischer Inspektionssysteme besonders zu beachten? Schon in den 80er Jahren wurden diese patentierten Verfahren in Japan bei der Entwicklung neuer Aufbau- und Verbindungstechniken (CSP, μ BGA), angewendet. Der Einsatz solcher Boroskope ist also seit Jahrzehnten bekannt und wird u.a. schwerpunktmäßig in der Medizintechnik angewendet. Anders als dort sind für die industriellen Endoskope spezielle Geometrien erforderlich, um den Anforderungen bei der Inspektion von z.B. BGA-, μ BGA-, oder Flip-Chip-Bauelementen gerecht zu werden. Neben diesen Flächenbauelementen, bei denen die Anschlusskonfigurationen unter den Bauelementen liegen, sind auch neuartige, hoch integrierte Steckkontakte und die konventionellen Bauelemente für die optische Inspektion von hoher Bedeutung, da diese weiterhin zum Fehlerrückmeldung beitragen werden.

Bei der Verwendung von starren Endoskopen (nach Vorbild der Boroskope) soll der Inspektionskopf, also der Bereich, in dem sich die eigentliche Optik des Systems befindet, möglichst klein gehalten werden. Diese Forderung ergibt sich dadurch, dass die Bauelemente immer kleiner werden (Flip-Chip) und in Verbindung damit die Packungsdichte ständig erhöht wird. Dieses wichtige Auswahlkriterium ist von integraler Bedeutung, um die Forderungen nach schnellem ROI zu erfüllen und um kostspielige Nachinvestitionen zu vermeiden. Das A²IS wird dieser Forderung besonders gerecht, da es das kleinste auf dem Markt befindliche starre Endoskop besitzt. Mit dem neuen Flip-Chip-Endoskop „Mk.2“ werden Inspektionen an Flip-Chip- oder CSP-Bauelementen erstmals begründbar. Wichtigstes Argument zugunsten derartiger Endoskope ist ihre Fähigkeit, die Schärfentiefe über einen großen Bereich anpassen zu können, ohne dabei die optische Auflösung zu verändern. Das sich in noch in der Entwicklung befindliche „Mk.3“ wird noch weiter in das technisch Machbare vorstoßen. Mit diesem Endoskop wird es erstmals möglich sein, komplett unter einem Flip-Chip hindurch zu fokussieren.



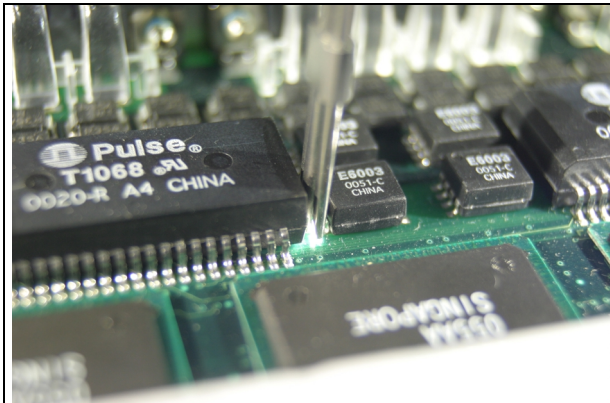
Aus der Grafik wird ersichtlich, dass die Fähigkeit, einen großen Schärfentiefebereich (C) abzudecken, von besonderer Relevanz ist und die Anwendung erst begründet.

Folgende Tabelle zeigt die „State-of-the-Art“-Anforderungen an starre Endoskope bei der Inspektion von BGA, μ BGA und FC:

Einsatzfall			Anforderung
Konventionelle QFP, PLCC, etc	Bauelemente,	CMC,	\varnothing des Endoskopes $\leq 4\text{mm}$ bei seitlicher Betrachtung, bei schräger Betrachtung (Winkel) - Packungsdichte oft nicht direkt für die Inspektion hinderlich
BGA, flache/verdeckte Steckkontakte			\varnothing des Endoskopes $\leq 3\text{mm}$ bei seitlicher Betrachtung - Packungsdichte hat oft direkten Einfluss auf die Erreichbarkeit des zu prüfenden Objektes - Randabstand zu BGA 3mm
BGA, μ BGA, FC			\varnothing des Endoskopes $\leq 2\text{mm}$ bei seitlicher Betrachtung - Packungsdichte hat direkten Einfluss auf die Erreichbarkeit des zu prüfenden Objektes
Bei allen Ausführungen muss der Schärfentiefebereich (C) ausreichend groß sein!			

Der Anwender sollte immer darauf achten, dass sich die Angabe des Durchmessers eines Endoskops, stets auf die gesamte Aufbauhöhe bezieht (Modell 2). Minimalangaben, die oft nur für eine sehr geringe Höhe gelten (Modell 1), helfen dem Anwender bei der Auswahl des geeigneten Inspektionssystems in gar keinen Falle weiter. Jeder Fachmann weiß genau, dass die Platzverhältnisse auf den elektronischen Baugruppen sehr komplex sind und damit oft eine Inspektion erschweren, wenn die Geometrie der Endoskope wie im folgenden gegenübergestellt ungünstig/zu groß ist:

Ungünstiger Aufbau	Günstiger Aufbau
Modell 1 Tatsächlich nutzbarer Bereich A Tatsächlicher Durchmesser des Endoskops B Pfeil: Blickrichtung	Modell 2 Tatsächlich nutzbarer Bereich A Tatsächlicher Durchmesser des Endoskops B Pfeil: Blickrichtung



Alle starren Endoskope von TechnoLab haben einen Durchmesser, der kleiner/gleich 2 mm ist. Die spezielle Trapezgeometrie am Kopf erlaubt Inspektionen in Spalten, die kleiner als 0,8mm breit sind.

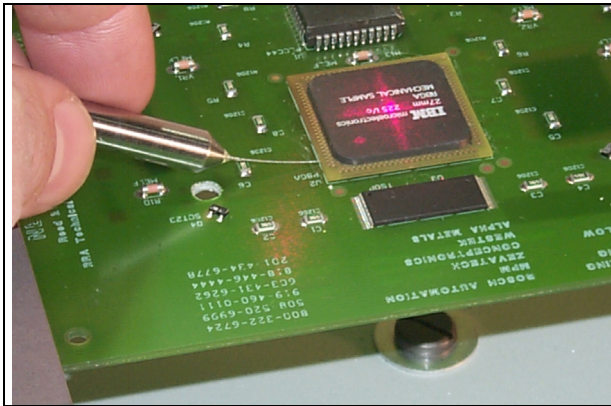
Zusammenhang zwischen Aufbauhöhe und tatsächlich nutzbaren Bereich

Darüber hinaus ist die Robustheit des Systems ebenfalls von großer Bedeutung. Um durch falsche oder fehlerhafte Bedienung Beschädigungen des optischen Systems weitgehend auszuschließen, muss die Tragkonstruktion des optischen Systems so beschaffen sein, dass es bei Überschreiten einer definierten Belastung nachgibt und damit geschützt wird. Somit können etwaige Instandsetzungskosten minimiert werden.

Starre Endoskope bieten u.a. einen seitlichen Blick auf die Inspektionsobjekte. Im Falle einer Inspektion an Flächenbauelementen können so die äußeren Lötstellen erfasst werden. Hierbei können die Oberflächenbeschaffenheit der Lötstellen bewertet, zusammengeflossene Lötstellen (Schlüsse) nachgewiesen und Lotkugeln sowie Flussmittelreste aufgespürt werden. Der zentrale Bereich unter den Bauelementen bleibt jedoch verborgen, da die benachbarten Lötstellen den direkten Blick auf einzelne, im Mittenbereich gelegene Lötstellen verhindern. Dieser Mittenbereich ist von besonderer Bedeutung. Popcorning-Effekte bei Bauelementen mit Kunststoffgehäuse zeigen sich in Form von Lötfehlern immer im zentralen Bereich unter den BGAs. Lötfehler infolge von Abfluss des Lotes in/durch die Vias bei beschädigten Lötstoppabdeckungen sind besonders im Mittenbereich schwer nachzuweisen. Kleinste Lotperlen sowie Flussmittelreste im Zentralbereich sind ebenfalls kaum erkennbar. In vielen Fällen werden zentral unter PGA-Bauelementen, insbesondere bei Mikroprozessoren, bei denen sich in diesem Mittenbereich keine Anschlusskontakte befinden, Stützkondensatoren bestückt. Auch hier kann nicht erfasst werden, ob diese Kondensatoren ordnungsgemäß verlötet wurden und es nicht zu Thombstone- oder Manhattaneffekten gekommen ist.

Flexible Mikroendoskope – neue Wegbegleiter

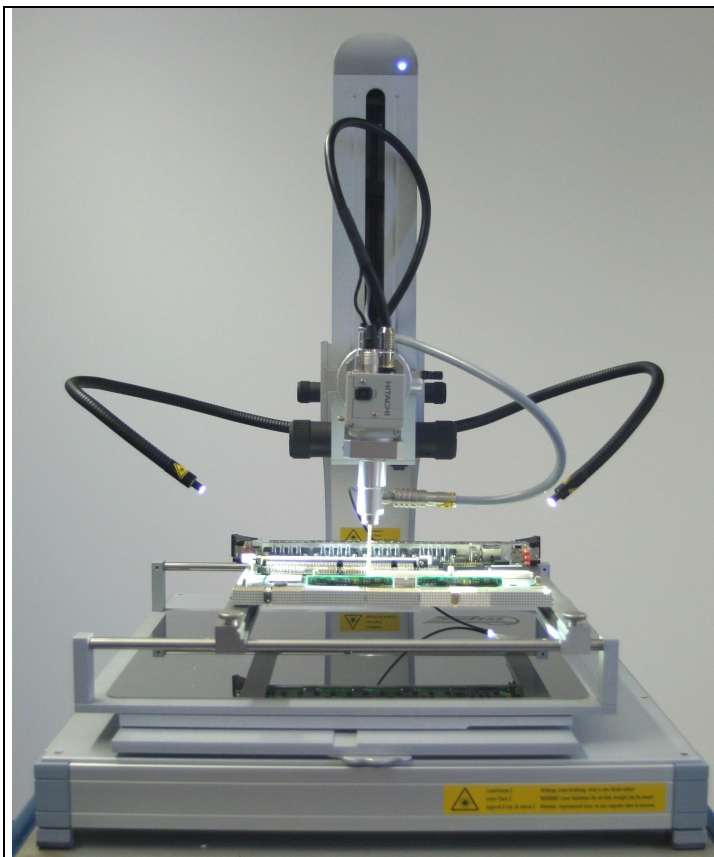
Flexible Mikroendoskope bieten eine Lösung, die o.g. Fehler nachzuweisen. Diese faseroptischen und damit flexiblen Endoskope werden durch die Reihen der Lötstellen geführt und dringen somit in den zentralen Bereich unter den Bauelementen vor. Zwar ist es technisch nicht möglich, die gleiche hohe Bildqualität wie bei starren Endoskopen sicher zu stellen (Bei einem Durchmesser von 0,4mm sind hier 3000 Fasern=Pixel integriert), jedoch reicht die Abbildungsqualität gut aus, um die o.g. Fehler zu dokumentieren. Auch diese Endoskope müssen verschiedene Eigenschaften vorweisen, um einen dauerhaften und sicheren Einsatz zu ermöglichen. Bei diesem Verfahren zur Inspektion an verdeckten Lötstellen ist der Schutz der optischen Fasern sehr wichtig. Nicht geschützte oder nur durch Kunststoff abgedeckte, flexible Endoskope weisen nach wenigen Einsätzen Beschädigungen der äußeren Schutzhülle auf. Um die empfindlichen Fasern vor äußerer Beschädigung infolge von Bewegung (Vorbeiführen am Trägermaterial des BGA) zu schützen, ist es unabdingbar, die Fasern von einem ebenso flexiblen Stahlmantel zu umgeben. Diese technische Ausführung erfordert immenses technisches Know-How, bewahrt den Anwender jedoch vor kostenintensiven Reparaturen und führt zu einer langen Lebensdauer der Endoskope.



Flexibles Endoskop mit Stahlmantel

Systemkonzepte – Modularität schützt vor Neuinvestitionen

Die meisten am Markt befindlichen Inspektionssysteme lösen oft nur eine definierte Aufgabe. Modular erweiterbare Systeme lassen dem Anwender die Freiheit, zu einem späteren Zeitpunkt die passenden optischen Systeme zur Lösung hinzugekommener Inspektionsaufgaben einzusetzen. Zweckmäßigerweise sollten die optischen Systeme (Makroobjektive, Mikroskopobjektive, Endoskope, starr/flexibel) eine gemeinsame Schnittstelle zum verwendeten Kamerasystem aufweisen. Diese Schnittstelle garantiert einen schnellen Wechsel (<10 Sek.) der optischen Systeme ohne jegliches Werkzeug und bietet daher ein hohes Maß an Flexibilität. Zudem können dadurch die verschiedensten, komplexen Inspektionsaufgaben von einem einzigen System übernommen und damit Kosten gespart werden. TechnoLab bietet hier über 10 verschiedene optische Module an, die nahezu jede Inspektionsaufgabe lösen und zudem stets weniger kostenintensiv als Standardlösungen sind.



Vom Makro- bis zum Mikrobereich und im Einsatz moderner Endoskopie.

Verfahren

Der Einfluss, den die unterschiedlichsten Legierungsbestandteile bei der neuen bleifreien Löttechnologie auf die Benetzungseigenschaften und die Oberflächenbeschaffenheit (Rauigkeiten, Lunkerbildungen) ausüben, verändert nachhaltig die optische Inspektion und trägt zu neuen Bewertungsmustern bei.

Nachfolgend werden einige Beispiele genannt für diese Veränderungen gegenüber den konventionellen Zinn/Blei Loten:

- Veränderte Benetzungseigenschaften. Zumeist ist das Anfließverhalten des Lotes in der Schmelze im Vergleich zu Blei/Zinn Loten schlechter ausgeprägt, sobald eine definierte Löttemperatur im Lötprozess verwendet wird. Die Geometrie der Lötstellen ist zumeist von geringeren Lotwinkeln (Fließverhalten, Steighöhe) geprägt. Dies ist vor allem für AOI Inspektionen interessant.
- Die teilweise höheren Oberflächenspannungen der bleifreien Lote in der Schmelze können signifikant zu erhöhtem Tombstoning und zur vermehrten Bildung von Lotperlen (in Abhängigkeit zur verwendeten Lötstopmmaske) führen.
- Durch die am ehesten erstarrenden Bereiche (den Lötstellenoberflächen) entstehen dendritische Bereiche, die für eine raue Oberfläche der Lötstellen verantwortlich gemacht werden.

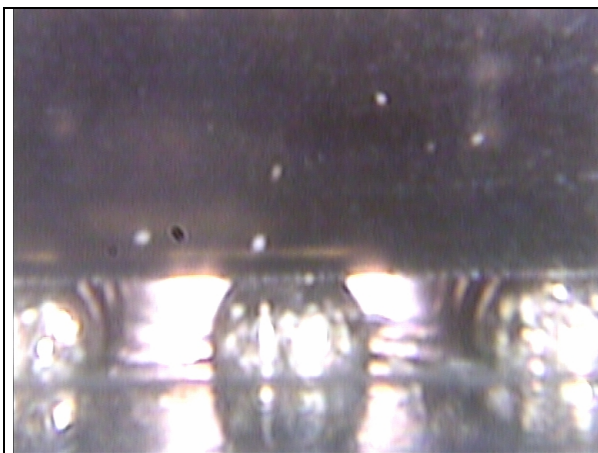
Diesen Veränderungen, die immer in Abhängigkeit zur angewendeten Löttemperatur zu verstehen sind und sich mit Variieren der Löttemperatur ebenfalls verändern können, sollte bei der optischen Inspektion Beachtung geschenkt werden.

Natürlich gelten weiterhin auch alle Erfahrungen und normativen Standards bei der optischen Bewertung von Lötstellen wie bisher aus dem Blei-Zeitalter bekannt.

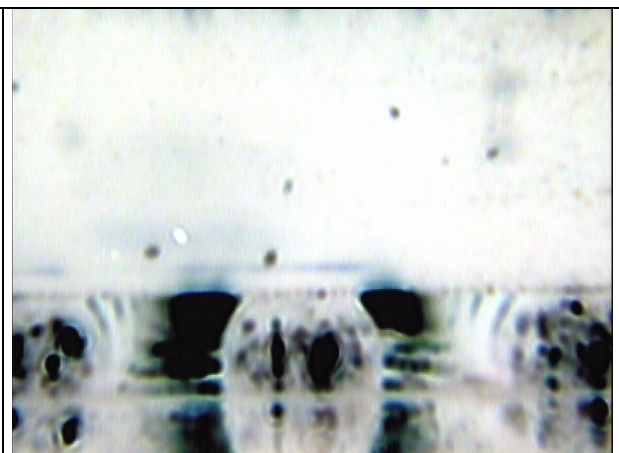
Das gelegentlich diskutierte Anheben des BGAs mit einem Werkzeug, um dadurch sog. Ablösungen der Balls vom Trägermaterial festzustellen (Lichtdurchtritt), kann wohl nur als Aufruf zur aktiven Senkung des Qualitätsstandards verstanden werden. Ähnliche Diskussionen wurden schon bei THD Lötstellen geführt, aus denen noch Anschlussdrähte ragten, die nach dem Löten (!) abgeschnitten werden mußten. In beiden Fällen werden die Lötstellen durch einen nicht definierten Kräfteintrag vorgeschädigt. Viel empfehlenswerter ist es daher, transiente Fehler durch einen Temperaturwechseltest aufzuspüren, da hierbei die (d.h. alle) Lötstellen eine gleichmäßige, geringe Belastung erfahren.

Inspektionen

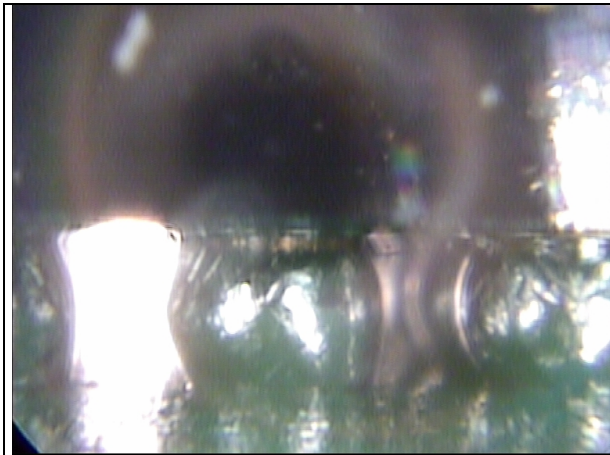
Beispiele moderner Inspektionsmethoden:



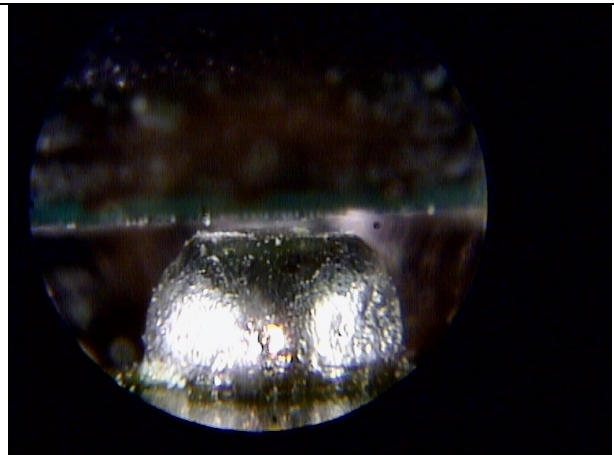
Flip-Chip Inspektion, Farbbild
(die mittlere Höhe der Balls ist circa 10-15µm !)



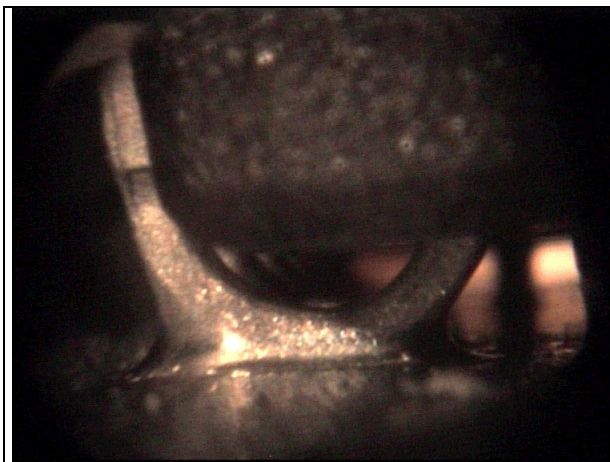
Flip-Chip Inspektion, Negativdarstellung liefert
zusätzliche Informationen



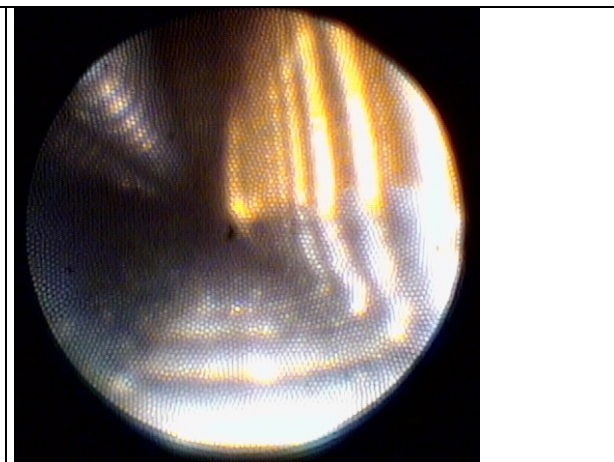
µBGA, Lötstelle gut ausgeformt



BGA, offene Lötstelle am Trägermaterial



J-Lead, bleifreie Lotpaste, gute Benetzung



Gull-Wing, Inspektion der Fersenlötung direkt vor Ort mit einem flexiblen Endoskop

Bleifrei - vom BFE in die Produktion kombiniert mit effizienter Inspektion

Der durch Initiative der TechnoLab GmbH und dem weltweit bekannten Fachmann für Technologiefragen Dr. Gundolf Reichelt gegründete Fachkreis Bleifreie Elektronik (BFE) liefert den Background zum praxisnahen Umgang mit dem Umstieg in das Zeitalter der Substitution des Risikometalls Blei aus der Elektronikproduktion.

Unter anderem hat die Inkraftsetzung der EU-Richtlinien WEEE und ROHS die Folge, dass die Elektronik-Branche sich mit der Einführung der Bleifrei-Technologie auseinandersetzt. Das Anliegen dieses Fachkreises, Anfang 2000 gegründet, ist es, seinen annähernd 50 namhaften Mitgliedsfirmen und -organisationen durch gegenseitige Unterstützung die Einführung der ROHS-konformen Technologien in ihren Häusern zu erleichtern. Dies geschieht vor allem

1. durch Erfahrungsaustausch in bisher 13 Fachkreistagungen mit ständigen Beiträgen der Fachkreisteilnehmer über ihre Ergebnisse und Erfahrungen ebenso wie Vorträge bekannter Experten und
2. durch gemeinsame Projekte, von deren Ergebnissen alle Fachkreisteilnehmer profitieren.

Dazu gehört weiterhin, dass die Entwicklung in der Branche weltweit aufmerksam verfolgt wird.

Diese Entwicklung hat einen direkten Einfluss auf die Lösung zukünftiger Inspektionsaufgaben. Das Hauptaugenmerk liegt wiederum auf der schnellen, effizienten Inspektion von bleifreien Lötverbindungen, die durch die veränderte Zusammensetzung der Legierungsbestandteile neue Herausforderungen mit sich bringt. Neben den veränderten mechanischen, physikalisch-chemischen und technologischen Eigenschaften der Lötverbindung, die wiederum veränderte Fehlermechanismen

und somit veränderte Fehlerbilder nach sich ziehen, zeigen bleifreie Lötstellen in Abhängigkeit ihrer Legierungsbestandteile gegenüber den konventionellen Sn/Pb Lötverbindungen veränderte Oberflächenbeschaffenheiten und somit veränderte Erscheinungsbilder im Rahmen optischer Inspektionen. Die TechnoLab Inspektionssysteme sind heute schon „bleifrei-ready“!

Dipl.-Ing. Marco Kämpfert

www.technolab.de

Informationen zum Thema Bleifreie Elektronikbaugruppen: www.bleifrei.org
Herr Dr.-Ing. Gundolf Reichelt, Tel.: 030 / 8122644

Dipl.-Ing. Marco Kämpfert ist Mitglied der Geschäftsführung der TechnoLab GmbH und Verantwortlich für den Bereich Quality&Reliability sowie Inspektiossysteme.