

New Opportunities for Controlling Pressure in Flip Chip Assembly

Neue Möglichkeiten der Druckkontrolle in der Flip-Chip Montage

George A. Riley, PhD and Jeffrey G. Stark, President, Sensor Products Inc.

A recent conference paper [1] showed the advantages of a pressure-indicating sensor film [2] to establish uniform pressure across the wafers in wafer-to-wafer bonding. The extremely thin (4 to 8 mils) Mylar-based film contains a layer of tiny microcapsules. Applying force to the *Pressurex*® film ruptures the microcapsules, immediately producing an image of pressure variations across the entire area. The colour intensity of the film varies at every point in direct proportion to the local pressure at that point.

Compressing the film between the plates of a wafer bonder produced an irreversible *pressure footprint* of the bonding surfaces. The amount of pressure applied at any point on the map is readily determined by comparing the colour at that point to a calibrated colour correlation chart. The colour comparison is analogous to that made when using litmus paper to determine acidity. Significant differences in bond pressure across the wafer bonder surfaces were revealed and corrected. Repeated pressure samples guided and verified the changes and adjustments made to achieve uniformity. The footprint was also scanned through imaging analysis equipment [3] to produce a multi-colour pressure map.

Figure 1 shows a typical colour map and its pressure interpretation. Visual comparison of a point to the colour correlation chart gives $\pm 10\%$ accuracy in determining pressure. Imaging analysis increases accuracy to $\pm 2\%$ and enables, a pressure profile as shown to be recorded and interpreted along any of the colour map. In many applications, the absolute pressure value is less important than relative pressure comparisons, which reveal non-uniform distributions of pressure over the area for correction. A post-correction map provides verification and a permanent record of pressure uniformity.

The success of pressure-indicating film in wafer bonding suggests that similar applications might be found in flip chip assembly, where both the magni-

Ein kürzlich vorgestellter Konferenzbeitrag [1] zeigte die Vorteile einer Drucksensorfolie [2] zur Gewährleistung eines einheitlichen Drucks auf die Wafer beim Wafer-to-Wafer Bonden. Die extrem dünne (100 bis 200 Mikrometer) Folie auf *Mylar*®-Basis enthält eine Schicht mit Mikrokapseln. Durch eine auf die *Pressurex*®-Folie ausgeübte Kraft brechen die Mikrokapseln auf und erzeugt ein Abbild, dass die Druckschwankungen auf der gesamten Fläche aufzeigt. Die Farbtintensität der Folie variiert an jedem Punkt direkt proportional zum lokalen Druck an jenem Punkt.

Wird die Folie zwischen die Platten eines Waferbonders gepresst, entsteht ein bleibenden Abdruck der Bondfläche. Der auf jedem beliebigen Punkt aufgebrachte Druck kann bestimmt werden, indem die Farbpunkte mit einer kalibrierten Farbvergleichskarte vermessen werden. Der Farbvergleich läuft ähnlich ab wie bei der Messung des Säuregrades mit Lackmuspapier. So wurden erhebliche Unterschiede auf den Waferbonderoberflächen aufgezeigt und entsprechend korrigiert. Änderungen und Anpassungen lassen sich durch wiederholtes Messen verfolgen. Ebenso wurde der Abdruck mittels eines Bildpunktanalysegeräts [3] (Imaging analysis equipment) gescannt, um ein mehrfarbiges Druckabbild zu generieren.

Abbildung 1 zeigt einen typischen Farbabdruck mit entsprechender Druckauswertung. Der visuelle Vergleich der Punkte mit der Farbvergleichskarte liefert Druckwerte mit einer Genauigkeit von $\pm 10\%$. Die Bildpunktanalyse erhöht die Genauigkeit auf bis zu $\pm 2\%$ und erlaubt die Aufnahme eines Druckprofils (Abb. 1) für jeden Punkt des Farbabdrucks. Bei vielen Anwendungen ist der Absolutdruck weniger bedeutend als der Relativdruckvergleich, der ungleichförmige Druckverteilungen auf der zu korrigierenden Fläche aufzeigt. Auch hier empfehlen sich Wiederholungsmessungen zur Kontrolle der Einstellungen.

Der erzielte Erfolg mit Drucksensorfolien beim Waferbonden deutet darauf hin, dass ähnliche Anwendungen bei der Flip-Chip-Montage zum Einsatz

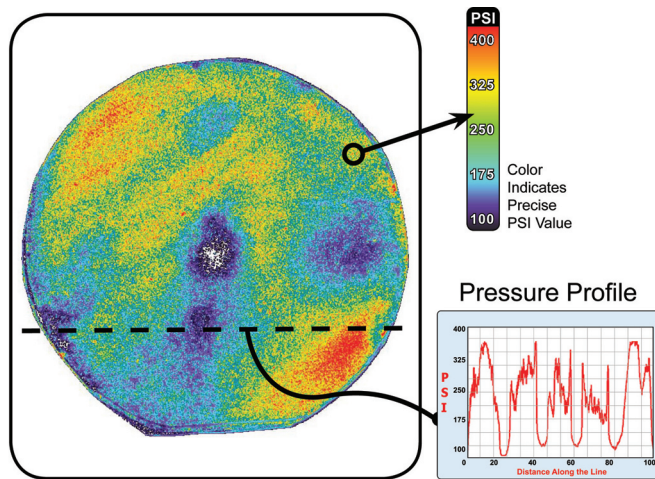


Fig. 1: Colour map shows the pressure variations across a semiconductor wafer. The calibrated colour correlation chart quickly allows determination of point pressures by visually matching colours; the pressure profile records variations along any path
Image Courtesy of Sensor Products Inc.

Abb. 1: Das Farbbild zeigt Druckschwankungen auf einem Halbleiterwafer. Die kalibrierte Farbvergleichskarte ermöglicht eine schnelle Bestimmung punktueller Drücke durch Abgleich der Farben, die Druckprofilschwankungen entlang einem Pfad aufzeigen
Quelle: Sensor Products Inc.

tude and the spatial uniformity of applied pressure may be critical. This is increasingly important with the increasing trend towards larger die, which are becoming common. Die larger than 20 mm square are already in routine production [3].

Potential pressure sensing applications in flip chip assembly include establishing or verifying die-to-substrate co-planarity, controlling the pressure applied to assure uniform bump heights, and optimizing a number of pressure-sensitive bonding methods. Flip chip bonding equipment in general does not directly measure or control pressure. Applied force is set in the machine, and an average distribution of total force over the contact area is assumed to represent pressure. This approach assumes that the force is uniform over the bonding surface. The wafer bonder tests showed that spatial non-uniformities of pressure, for example from tool wear, can be substantial – and can be corrected using pressure-indicating film.

Co-planarity

Successful flip chip assembly, especially of large die with many bumps in applications such as image sensors, requires that the substrate and the die that is be-

kommen können, wo sowohl die Druckgröße als auch die räumliche Verteilung des aufgetragenen Drucks kritisch sein können. Dies gilt besonders durch den Trend zu größeren Chips; solche mit mehr als 20 mm² gehören bereits zur routinenmäßigen Produktion [3].

Drucksensoranwendungen in der Flip-Chip-Montage beinhalten die Bestimmung oder Verifizierung der Chip-auf-Substrat-Koplanarität, die Druckkontrolle, um gleichmäßige Bump-Höhen zu gewährleisten und die Optimierung der drucksensitiven Bondverfahren. Flip-Chip-Bondgeräte messen oder kontrollieren im allgemeinen den Druck nicht direkt. Es wird davon ausgegangen, dass der eingestellte Druck gleichmäßig über die Kontaktfläche verteilt ist, also eine gleichmäßige Kraftbeaufschlagung über die gesamte Bondfläche, vorliegt. Waferbondertests zeigten, dass der Druck, beispielsweise wegen Werkzeugverschleiß, erheblich sein kann, durch Einsatz von Druckmessfolien aber korrigierbar ist.

Koplanarität

Eine erfolgreiche Flip-Chip-Montage, insbesondere von großen Chips mit vielen Bumps beispielsweise für Bildabtaster, erfordert, dass das Substrat und der

ing placed upon it have parallel, co-planar surfaces when they are brought in contact. Any deviation from co-planarity may cause misalignment of the die with the substrate bond pads, resulting in open or poor electrical connections. Extreme cases of misalignment may cause a sideways sliding motion of the die during placement. Pressure differentials across the die may even crack the die. *Figures 2 and 3* show some potential effects of non-coplanar bonding [4].

Conventional approaches for establishing and verifying co-planarity depend upon optical or laser equipment. The optical system establishes co-planarity by adjusting the tilt of one surface relative to the other until the images are aligned in an optical collimator. The laser system compares reflections from different locations while the die or wafer is tilted to establish co-planarity. Reflective gold spots must be added at several locations on the die or wafer for laser reflections. However, most flip chip bonders are not equipped with either of these expensive add-on accessories. Without them, manually establishing co-planarity often requires repeated trial-and-error adjustments to establish a common focal distance to several points on the die with a high-powered microscope. Multiple sample assemblies may be required for co-planarity verification.

Coining

Gold stud bump flip chip assembly places gold bumps on the die using a modified wire bonder. In normal

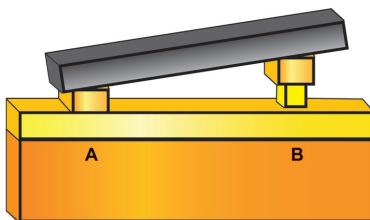


Fig. 2: Misalignment may show acceptable bonds on side A, but create open circuits from failures to bond on side B, where the co-planarity error prevents the bumps from making contact with the pads

Abb. 2: Ein Ausrichtungsfehler kann auf der Seite A durch akzeptable Bonds aufweisen, jedoch Leitungsunterbrechungen verursachen, wenn auf der Seite B ein fehlerhafter Kontakt zustande kommt, wo der Koplanaritätsfehler dazu führt, dass die Bumps mit den Bondpads keine einwandfreie Verbindung bilden

darauf zu platzierende Chip parallele Oberflächen aufweisen. Bereits geringste Abweichungen der Planparallelität können zu Ausrichtungsfehlern des Chips auf den Bondpads und so zu fehlenden oder schlechten elektrischen Verbindungen führen. Im Extremfall tritt eine seitliche Verschiebung des Chips beim Platzieren auf. Druckunterschiede auf dem Chip können sogar den Chip zum Bersten bringen. Die *Abbildungen 2 und 3* zeigen potenzielle Auswirkungen eines nicht koplanaren Kontaktierens (Bondens) [4].

Herkömmliche Methoden zur Bestimmung und Überprüfung der Koplanarität beruhen auf optischen und Lasermethoden. Beim optischen Verfahren wird die Neigung einer Oberfläche zu einer Referenzprobe über einen optischen Kollimator ausgerichtet. Das Lasersystem vergleicht Spiegelbilder von Bezugspunkten, während der Chip oder Wafer geneigt wird bis die Koplanarität hergestellt ist. Dafür müssen auf dem Chip oder Wafer reflektierende Goldpunkte angebracht werden. Die meisten Flip-Chip-Bonder sind jedoch mit keinem dieser teuren Techniken ausgestattet. Die dann notwendige manuelle Sicherstellung der Koplanarität erfordert wiederholte empirische (trial-and-error) Justierungen mit Hilfe eines Hochleistungsmikroskops über die Fokaldistanz verschiedener Referenzpunkte auf dem Chip. Dies erfordert in der Regel mehrere Testmontagedurchgänge.

Coining (Mechanisches Abplatten der Bumps)

Bei der Gold Stud Bump Flip-Chip-Montage werden mit einem modifizierten Drahtbonder Gold-Bumps

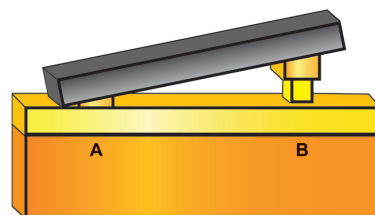


Fig. 3: Another example of misalignment might create short circuits on side A, where excessive pressure compresses and spreads the bump material to adjacent pads, while the bumps on side B may still show acceptable bonds

Abb. 3: Ein weiteres Beispiel für einen Ausrichtungsfehler könnte an der Seite A zu Kurzschlüssen führen, wo ein zu hoher Druck das Bumpmaterial zusammendrückt und sich dadurch an angrenzende Bondpads ausdehnt, während die Bumps auf Seite B noch immer akzeptable Bondverbindungen aufweisen können

wire bonding, the bonder makes a connection on a chip bond pad, and then extends the wire to make a second connection onto a substrate or package lead frame. In stud bumping, the wire bonder makes the first connection, and then breaks the wire.

First, a small gold sphere formed by melting wire at the wire tip is metallurgical bonded to a chip bond pad by heat, pressure, and sonic energy. The bonding tool next clamps on the wire, and pulls it to break the wire somewhere near the bump. The tool then moves to the next bump location, creates a new ball by melting the end of the wire with spark or electric flame-off as in normal wire bonding, and repeats the bump placement sequence on another bond pad. The bumps as deposited have wire tails of varying length, and the bumps themselves may vary in height. *Figure 4* shows a bump as deposited.

Stud bumps may be *coined* by pressing the bumped die against a flat surface as a simple method to reduce height variations and create larger contact areas. *Figure 5* shows a cross-section of a coined bump. Again, inadequate or non-uniform coining pressure across the die surface may cause some bumps to have height differences, leading to open or poor contacts. Pressure-indicating film could be applied to verify uniform bump heights after coining.

Bonding

Many common methods of flip chip bonding require controlled, uniform pressure to avoid open contacts, poor contacts, and die cracking:

auf den Chip platziert. Beim normalen Drahtbonden erzeugt der Bonder auf dem Bondpad eine Verbindung und zieht dann den Draht zu einer zweiten Verbindung auf dem Substrat oder Bauelementrahmen. Beim Stud Bumping stellt der Drahtbonder die erste Verbindung her und durchtrennt dann den Draht.

Zuerst wird ein durch Schmelzen an der Drahtspitze gebildetes Goldkügelchen durch Hitze, Druck und Schallenergie auf ein Chip Bondpad *metallurgisch* geklebt. Das Bondwerkzeug fasst den Draht und trennt ihn durch Ziehen am Bump ab. Das Werkzeug bewegt sich zum nächsten Bump, bildet eine neue Kugel durch Schmelzen des Drahtendes, beispielsweise durch elektrische Entladung, und wiederholt die Platzierung. Die platzierten Bumps haben Drahtenden verschiedener Größe und die Bumps selbst können in ihrer Höhe abweichen. *Abbildung 4* zeigt einen platzierten Bump.

Stud Bumps werden *abgeplattet* (coined), indem der Bumped Die (Chip mit Bondhügeln) gegen die flache Oberfläche gedrückt wird; dadurch werden Höhenschwankungen reduziert und die Kontaktflächen vergrößert. *Abbildung 5* zeigt einen abgeplatteten Bondhügel (Bump) im Querschnitt. Auch hier kann ein unangemessener oder ungleichmäßiger Abplattdruck auf die Chipoberfläche zu Höhenunterschieden bei Bumps führen, was zu fehlenden oder schlechten Kontakten führt. Druckmessfolien können das Problem deutlich verringern.

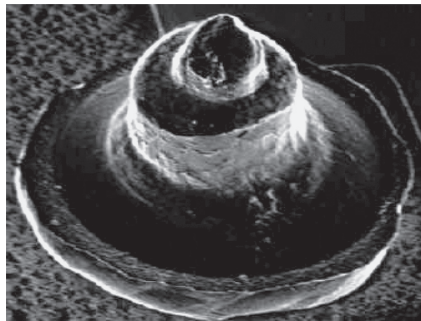


Fig. 4: In this gold stud bump, the gold ball has been pressed flat on the bond pad, with the wire stub protruding from the top of the bump

Abb. 4: Bei diesem Gold Stud Bump wurde die Goldkugel auf dem Bondpad abgeplattet, wobei der Drahtstummel oben aus dem Bump herausragt



Fig. 5: Cross-section of a gold stud bump, with the top surface flattened by pressure

Abb. 5: Querschnitt eines Gold Stud Bumps bei dem die Oberfläche durch Druck abgeplattet wurde

Bonden (Kontaktieren)

Viele gängige Flip-Chip-Kontaktierverfahren erfordern einen kontrollierten, gleichmäßigen Druck zur Vermeidung von fehlenden oder schlechten Kontakten und Rissbildung bei Chips:

- Thermo sonic stud bump bonding experiments determined that there is an optimum pressure for maximum bond adhesion. Bonding pressure was varied across a range from 40 grams to 100 grams per bump. Die shear measurements demonstrated that bump adhesion to the bond pad at the optimum placement pressure was more than 40 % greater than at the extremes [4]
- Thermo compression bonding requires higher bonding pressures than thermo sonic bonding, raising the hazards of inadequate pressure control. Copper/Copper thermo compression bonding of copper *nails* on a die to copper bond pads on a wafer has been demonstrated for high density 3D assemblies [5]
- Copper/Tin interdiffusion bonding of chips to wafers in 3D heterogeneous assemblies depends upon proper pressure at 300 °C to form a stable copper-tin intermetallic, with copper upper and lower bonding surfaces [6]
- Gold/Tin wafer bonding tests show that too much pressure sometimes causes squeeze-out of solder, potentially leading to open or short circuits. Non-uniform pressure may squeeze solder out in some areas, but not in others [1]. A similar problem could occur with large die in chip-to-substrate or chip-to-wafer Gold/Tin bonding.
- Experimente zum Thermokompressions- und Ultraschall Stud Bump Bonding ergaben, dass es einen optimalen Druck für die maximale Bondhaftung gibt. Der Bonddruck wurde zwischen 400 N und 1000 N pro Bump variiert. Die Abschermessungen des Chips zeigten, dass die Bumphaftung zum Bondpad bei Anwendung des optimalen Drucks um über 40 % höher lag als im Extremfall [4]
- Das Thermokompressionsbonds erfordert einen höheren Bonddruck als die Thermokompressions- und Ultraschallkontaktierung, wobei eine mangelhafte Druckkontrolle nachteilig ist. Die Kupfer/Kupfer Thermokompressionskontaktierung von Kupferkontakten auf Kupferbondpads auf einem Chip oder Wafer wurde für 3D-Bestückungen mit hoher Packungsdichte demonstriert [5]
- Das Kupfer/Zinn-Diffusionsbonds von Chips auf Wafer bei inhomogenen 3D-Bestückungen hängt vom richtigen Druck bei 300 °C ab, um eine stabile intermetallische Kupfer/Zinn-Verbindung mit oberen und unteren Kupferbondflächen zu erzielen [6]
- Gold/Zinn-Waferbondtests zeigen, dass ein zu hoher Druck teilweise das Lot aus dem Spalt presst, was zu fehlenden Kontakten und Kurzschlüssen führen kann. Ähnliche Wirkung hat ein ungleichmäßiger Druck [1]. Ein ähnliches Problem könnte sich bei großen Chips beim Chip-auf-Substrat oder Chip-auf-Wafer Gold/Zinn-Bonden ergeben.

While published papers may not have yet reported the results of using pressure-indicating film for controlling flip chip assembly pressure uniformity, the importance of control in all of the above examples suggests that pressure indicating film might significantly improve yield, costs, and set-up time.

About Jeffrey G. Stark

Jeffrey G. Stark founded *Sensor Products Inc.* in 1990 to meet what he thought would become a growing need for pressure indicating sensors that could profile the force distribution between two contacting objects. The company continues to devote itself to providing customized sensor solutions as well as uniform products that meet the needs of a diverse clientele.

About George A. Riley, PhD

George A. Riley has more than 20 years experience in microelectronics packaging, including 10 years developing and manufacturing flip chip assemblies

Auch wenn in Veröffentlichungen die Ergebnisse beim Einsatz von Drucksensorfolien zur Druckkontrolle bei der Flip-Chip-Montage noch nicht ausreichend berücksichtigt wurden, ist die Druckkontrolle wichtig, wie an Beispielen gezeigt wurde. Mit Druckmessfolien lassen sich Produktivität, Kostenstruktur und Einrichtezeit erheblich verbessern.

Über Jeffrey G. Stark

Jeffrey G. Stark gründete 1990 die *Sensor Products Inc.*, um der wachsenden Nachfrage nach Druckanzeigesensoren zur Erfassung der Kraftverteilung gerecht zu werden. Die Firma setzt ihren Schwerpunkt auf maßgeschneiderte Sensorlösungen.

Über George A. Riley, PhD

George A. Riley hat mehr als 20 Jahre Erfahrung auf dem Gebiet des Packagings mikroelektronischer Bauelemente, einschließlich 10 Jahren in der Ent-

for more than 50 customers. He is an industry consultant, educator, and web entrepreneur who has authored more than 90 papers and articles. He can be reached at (508) 753-3572, by emailing griley@flipchips.com or by visiting his website www.flipchips.com

wicklung und Herstellung von Flip-Chip-Montagen für über 50 Kunden. Er ist Industriebereiter, Ausbilder und Autor von über 90 Beiträgen. Er ist erreichbar unter: 001 (508) 753-3572, E-Mail: griley@flipchips.com; Internet: <http://www.flipchips.com/>

Reference/Literatur

- [1] D. Spicer et al, Pressure Indicating Film Characterization of Pressure Distribution in Eutectic Au/Sn Wafer-to-Wafer Bonding, Proceedings International Wafer-Level Packaging Conference, pp. 135-139, October 27-30, 2009
- [2] Sensor Products Inc. Pressurex® Film, www.sensorprod.com
- [3] R. Asgari, Copper Pillar and Micro Bump Inspection Requirements and Challenges, Proceedings International Wafer-Level Packaging Conference, pp. 186-188, October 27-30, 2009
- [4] L. K. Cheah et al, Gold to Gold Thermosonic Flip-Chip Bonding, Proceedings HDI 2001, April 2001, pp 165-175. See also www.flipchips.com/tutorial09.html
- [5] P. De Moor et al, Recent Advances in 3D Integrations at IMEC, MRS Fall Meeting, November 27-December 1, 2006, Boston MA. See also www.flipchips.com/tutorial71.html
- [6] M. Jurgens Wolfe et al, Technologies for 3D Heterogeneous Integration, Proceedings of SMTA Pan Pacific Symposium 2008. See also www.flipchips.com/tutorial90.html