

Mehr Strom, mehr Produktivität – Drahtbonden mit Heavy Aluminium Ribbon

Die Technik des Dickdrahtbondens ist weltweit seit vielen Jahren etabliert und ausgereift. In den letzten Jahren hat eine Neuentwicklung großes Interesse erregt: das Bonden mit dicken Aluminium-Bändchen, auch als HARB - Heavy Aluminium Ribbon Bonding bekannt. Wegen seiner Vorteile bei Leistung, Kosten und Qualität steht es inzwischen an der Schwelle zum Einsatz im großen Maßstab.

Energie bleibt teuer – also Strom möglichst effizient regeln

Der weltweite Energiehunger wird auch zukünftig nicht geringer werden. Besonders in den aufstrebenden, riesigen Märkten China und Indien wird Elektrizität auch mittelfristig knapp und teuer bleiben und möglicherweise sogar das Wachstum der gesamten Wirtschaft begrenzen. Dort ist es also besonders wichtig, Elektrizität möglichst sparsam und effizient einzusetzen - beispielsweise einen Lüfter oder eine Lichtquelle nicht nur ein- und auszuschalten, sondern Drehzahl und Leistung je nach momentaner Anforderung zu regeln. So wird nicht mehr Strom verbraucht als unbedingt nötig. Nicht ohne Grund erfreuen sich Leistungsmodule zur verbrauchsabhängigen Stromregelung derzeit eines sehr dynamischen Marktes, der sich auch in nächster Zeit erfolgreich entwickeln wird.

Der zweite Entwicklungstreiber ist, wie so häufig, die Automobilindustrie. Nicht nur mit anhaltender Energieknappheit und damit hohen Treibstoffpreisen, sondern auch wegen der Emissionsprobleme gerade in den dicht bevölkerten, dabei aber konsumstarken Großstadtreionen sind derzeit Hybridautos im Mittelpunkt des öffentlichen Interesses. Ihr Kernstück ist eine Lichtmaschine, die auch als Motor arbeiten kann und fest mit dem Verbrennungsmotor verflanscht ist. Dieser kombinierte Generator/Motor wird mit einer sehr ausgefeilten Leistungsregelung gesteuert, die wegen der niedrigen Bordspannung von 12 oder 48 V sehr hohe Ströme von einigen 100 A handhaben muss und dies mit möglichst niedrigen Verlusten tun soll. Solche Regelungen enthalten deswegen eine riesige Anzahl von Dickdrahtbonds - und damit entsprechendes Verbesserungspotenzial auf der Kostenseite.

Das Dickdrahtbonden wird seit vielen Jahren nur bis zu einer maximalen Drahtstärke von etwa 500 µm in der Serienfertigung eingesetzt. In Leistungsmodulen sind, anders als bei Einzelbauelementen, Bondlängen von 10 bis 20 mm, gelegentlich auch über 30 mm üblich, so dass die Stromtragfähigkeit pro Bonddraht über 20 bis 30 A nicht hinausgeht. Auch müssen bei diesen Leistungen für größere Chipflächen bereits mehrere Bonds, sog. Stitch-Bonds gesetzt werden, um den Strom- und Leistungsverlust durch die schlechtere Oberflächenleitung auf der dünnen Chipmetallisierung gering zu halten. Mehrfache Bonds und mehrfache Drähte treiben aber den Bonderdurchsatz stark nach unten und damit die Bondkosten in die Höhe. (Abbildung Powermodul) Die naheliegende Abhilfe durch noch dickere Drähte wurde nur sehr vereinzelt aufgegriffen, weil die technischen Verarbeitungsprobleme den Produktivitätsvorteil nicht zur Geltung kommen ließen.

Daher liegt schon seit längerer Zeit der Gedanke nahe, ähnlich wie beim Bonden mit Gold-Bändchen für Hochfrequenz-Anwendungen, statt dem Draht ein breites Aluminiumband einzusetzen, also eine größere, aber gleichzeitig flachere Geometrie zu nutzen. Nach einigen Jahren nur zögerlicher Versuche hat sich inzwischen eine Bändchenform mit 2000 µm Breite und 200 µm Dicke etabliert. Sie bietet einen Querschnitt von 0,4 mm², gut doppelt so viel wie ein Dickdraht von 500 µm (Querschnittsfläche 0,196 mm²). Die nächst dickere Version mit 300 µm ersetzt dementsprechend drei solche Drähte. (Abb. Powermodul mit Bändchen)

Billiger durch höhere Produktivität und dabei noch besser

Um ein typisches Beispiel zu betrachten: ein typisches Modul zur Leistungsregelung verwendet je Chip 3 Aluminiumdrähte von 400 µm Stärke. Der Einzelquerschnitt beträgt 0,1256 mm², der gesamte Leitungsquerschnitt somit 0,377 mm². Die drei Drähte nehmen, nebeneinander gebondet, eine Breite von mindestens 2,5 mm ein, weil die Bonds wegen der Breitendeformation einen gewissen Mindestabstand einhalten müssen. Ein Standard-Heavy-Ribbon von 2000 x 200 µm hat einen größeren Querschnitt von 0,4 mm² bei einem geringeren Platzbedarf von gut 2 mm. Der Bonder wird durch das HARB kaum langsamer, man kann also mit den üblichen etwa 300 ms je Bond (also 600 ms je Draht) auch für das Bändchen rechnen und erreicht folglich die dreifache Produktionsgeschwindigkeit! Die Maschinenkosten sinken entsprechend deutlich.

Dabei bietet der größere Querschnitt bei flacherer Geometrie nicht nur Vorteile in der schnelleren Verarbeitung, also auf der Kostenseite, sondern hat darüber hinaus auch technische Vorzüge:

- Bessere Abdeckung des Bondpads, da kaum Fußverbreiterung
- Durch flache Geometrie niedrigere Loops möglich
- Weniger Schädigung des Bändchens im Heel verglichen mit Dickdraht

So sind bei vergleichbarer Loop-Geometrie die Heelschädigungen, also im empfindlichen Bogenansatz des Bonds, bedeutend geringer als bei vergleichbaren Dickdrähten. Das erlaubt beim Bändchenbonden unüblich hohe Stufen mit kurzen Bonds zu überbrücken und damit attraktive, dicht gepackte Geometrien beim Gehäusebonden zu realisieren.

Technik: Umstieg ist einfach möglich

Das Bonden mit dicken Aluminium-Bändchen unterscheidet sich nicht grundlegend vom üblichen Dickdrahtbonden. Wesentliches Merkmal ist lediglich der höhere Materialquerschnitt, der zum Bonden verformt werden muss. Daher müssen sowohl die Ultraschall-Leistung wie auch die Bondkraft mit diesen Anforderungen Schritt halten können, was bei den meisten heutigen Geräten aber problemlos möglich ist.

Das Bondtool für dicke Bändchen hat, anders als das für Drähte, keine Rille für den Kontakt mit dem Bondmaterial, sondern einen flachen Fuß von definierter Länge. Um den Kraftschluss während der Verformung sicherzustellen, wird der Fuß des Wedge üblicherweise strukturiert, meist mit einem Waffelmuster. Eine eigene Bändchenführung im Tool, etwa durch eine rechteckige Durchlassöffnung, ist nicht notwendig. Diese Funktion kann von einer Bändchenführung übernommen werden, welche

der Drahtführung am Dickdraht-Tool sehr ähnlich ist. Meist wird in der Bändchenführung oder auch an anderer Stelle im Bondkopf eine zusätzliche Klammer vorgesehen, die das Bändchen nach dem zweiten Bond zum Abreißen in seiner Position festhalten kann, um die Stabilität des Prozesses zu verbessern.

Das Schneidmesser wird ebenfalls vom Dickdrahtbonden übernommen, allerdings sind die Anforderungen deutlich höher, denn das breitere Bändchen verlangt nicht nur eine längere und völlig horizontale Schneidkante, sondern wegen der höheren Querschnitte auch eine größere Schneidkraft und damit steifere Klingen bzw. Messerausführungen.

Die höhere Ultraschall-Energie beim HARB stellt entschieden höhere Ansprüche an die Qualität der Bauteilklemmung. Während bei gewöhnlichen Dickdrahtstärken von 300 bis 400 µm viele Flachbaugruppen einfach mit Vakuum angesaugt werden können, ist dies beim HARB oft nicht mehr ausreichend zuverlässig, und mechanische Klemmungen müssen dann alternativ oder zusätzlich eingesetzt werden.

Unterschiede beim HARB

Wie nicht anders zu erwarten, bringt die Bändchen-Technik bei aller Verwandtschaft auch einige Unterschiede zum Standard-Dickdrahtbonden mit sich. Sie erklären sich einfach aus der anders gearteten Geometrie.

So ist beim Schneiden des Bonds ziemlich viel Kraft nötig und die Schneidkante muss exakt parallel zur Fläche des Bondpads liegen, besonders dann, wenn auf dem Chip geschnitten wird.

Eine wesentliche Einschränkung betrifft das Bonden in schwierigen Geometrien, wo das Drahtbonden „um die Ecke“ erfolgen kann, also mit Bondverbindungen in S-Shape. Einleuchtenderweise ist dies beim Bändchen ausgeschlossen.

Bei Anwendungen mit sehr hohem Stromdurchgang, also mehreren Paralleldrähten, setzen manche Anwender heute zur Sicherheit einen oder mehrere Extradrähte. Im Vergleich dazu ist HARB eine Alles-oder-Nichts-Technik, weil normalerweise für ein zweites Bändchen kein Platz auf dem Bondpad ist.

Absehbare Entwicklung und Hemmnisse durch unklare Langzeiteigenschaften

Wie bis hierher klargeworden sein dürfte, besteht derzeit enorm großes Interesse an dem HARB-Verfahren, gleichzeitig aber noch sehr wenig praktische Erfahrung. Gerüchteweise gibt es noch nicht einmal eine Handvoll Anwender (v.a. im Automobilbereich), die bereits im Volumenmaßstab produzieren.

Hauptgrund hierfür sind neben den üblichen Entwicklungshindernissen auch die unklaren Langzeiteigenschaften der Bauteile. Die Hauptsorge richtet sich hier auf die Metallisierung des Bondpads auf dem Chip, die ja der Reibung des Draht- oder Bandkontaktes durch den Ultraschall-Generator während des Bondvorgangs standhalten muss. Hier treffen mehrere Problembereiche zusammen:

- Erforderliche Ultraschall-Leistung und Bondkraft steigen mit zunehmendem Bondquerschnitt an
- Leistungs-Chips werden immer dünner, um die Verlustwärme besser an das Substrat abzuleiten
- Speziell für das HARB optimierte Leistungs-Chips oder Oberflächen gibt es noch nicht, weil das Marktvolumen derzeit zu gering ist
- Schädigungen können zunächst unsichtbar sein (auch für die üblichen analytischen Methoden), aber zu Langzeitausfällen führen

Die zum Bonden erforderliche Ultraschallenergie steigt mit dem Querschnitt des Bondmaterials und der Länge des Bonds, da die US-Energie dieses gesamte Aluminiumvolumen deformieren muss. Bei den wirtschaftlich besonders attraktiven Bändchendimensionen von über 2 mm Breite und über 300 µm Dicke liegen diese Energiewerte mindestens dreimal so hoch wie für einen 500 µm-Draht, und folglich existieren auch keine Erfahrungswerte, die sich guten Gewissens extrapolierbaren ließen.

Ein weiterer Diskussionspunkt ist derzeit, was für den Chip schädlicher ist: wenn ein einzelner Bond mit deutlich höherer Energie aufgebracht wird, oder aber mehrere Bonds nacheinander mit geringeren Einzelenergien, wie beim heutigen Bonden von parallelen Drähten. Denkbar und diskutabel ist jedoch auch, dass die Kerbwirkung der einzelnen Dickdrahtbonds (die Kontaktfläche des Drahtes ist ja zu Anfang schmal und wird erst während des Bondens verbreitert) schädlicher ist als der großflächige und ebene Kontakt mit dem Bändchen. Auch hier ist derzeit die Erfahrungsbasis noch bei weitem nicht breit genug.

Speziell bei den derzeit treibenden Automobil-Anwendungen bremsen diese Risikofragen die zügige Einführung des HARB. Bei diesen Baugruppen treffen nämlich alle Herausforderungen auf einmal zusammen: Sie sollen sehr hohe Ströme transportieren, dabei möglichst kostengünstig und mit niedrigsten Ausfallraten hergestellt werden und andererseits sehr lange Lebensdauer von 12 bis 15 Jahren garantieren. Alles zusammen ist für eine Neuentwicklung extrem schwer zu erreichen, und so ist die Technologie gewissermaßen in einem Teufelskreis gefangen.

Wie geht es weiter?

Das Interesse an der neuen HARB-Technik ist enorm. So gut wie alle Hersteller oder Anwender von Leistungsbau-elementen beschäftigen sich derzeit damit.

Derzeit finden die wichtigen Entwicklungen vor allem bei der Entwicklung der Bändchen selbst statt, sowie bei der Entwicklung und Definition der Prüf- und Messverfahren. Hier ist zumindest bei Anwendern in Europa und USA noch viel Entwicklung nötig. So müssen besonders dringlich Vorgehensweisen zum Pulltest, aber auch zum Schertest definiert werden.

Die Bändchen stehen derzeit an der Schwelle zur Standardisierung von Formaten. Bisher werden sie nur von den wesentlichen Dickdraht-Anbietern gefertigt, und die vorderhand geringen Produktionsmengen stehen einer Massenproduktion mit entsprechend optimierten und kostengünstigen Technologien noch im Wege. So werden üblicherweise die Bändchen aus gezogenen Al-Drähten des gewünschten Querschnitts gewalzt, anstatt sie aus breiteren Blechen in der gewünschten Breite zu

schneiden. Der Preis für Bändchen liegt derzeit daher noch weit über vergleichbarem Al-Draht, wird aber sicherlich mit zunehmender Verbreitung sinken. Das muss er auch, um nicht den Vorteil durch die höhere Maschinenproduktivität bei den Materialkosten wieder zu verspielen.

Erfolgversprechende erste Schritte

Wie schon erwähnt, gibt es als Konsequenz der skizzierten Hindernisse erst wenige Bauteile, die heute schon mit Heavy Ribbon gebondet werden. Am einfachsten, und damit heute am attraktivsten, scheinen noch solche Anwendungen zu sein, wo eine Platine mit dem Gehäuse verbunden wird, also gar keine Silizium-Chips vorkommen. Hier lassen sich sehr gut Erfahrungen sammeln. Außerdem ist es hilfreich, dass Umbausätze zum HARB inzwischen auch für halbautomatische Dickdrahtbonder existieren, so dass man nicht gleich mit den hohen Anschaffungskosten eines Vollautomaten konfrontiert ist. Diese Möglichkeit dürfte auch die „Time to Market“ für einige Produkte deutlich reduzieren und den Weg für diese Technologie und ihr enormes Potenzial ebnen.

Dr. Josef Sedlmair, F&K Delvotec Bondtechnik GmbH, München

Dr. Josef Sedlmair koordiniert den internationalen Vertrieb beim Bonderhersteller F&K Delvotec Bondtechnik in München.

F&K Delvotec Bondtechnik GmbH,
Daimlerstr 5-7
85521 Ottobrunn/München
Tel. 089-62295-112, Fax 089-62295-101
www.fkdelvotec.com