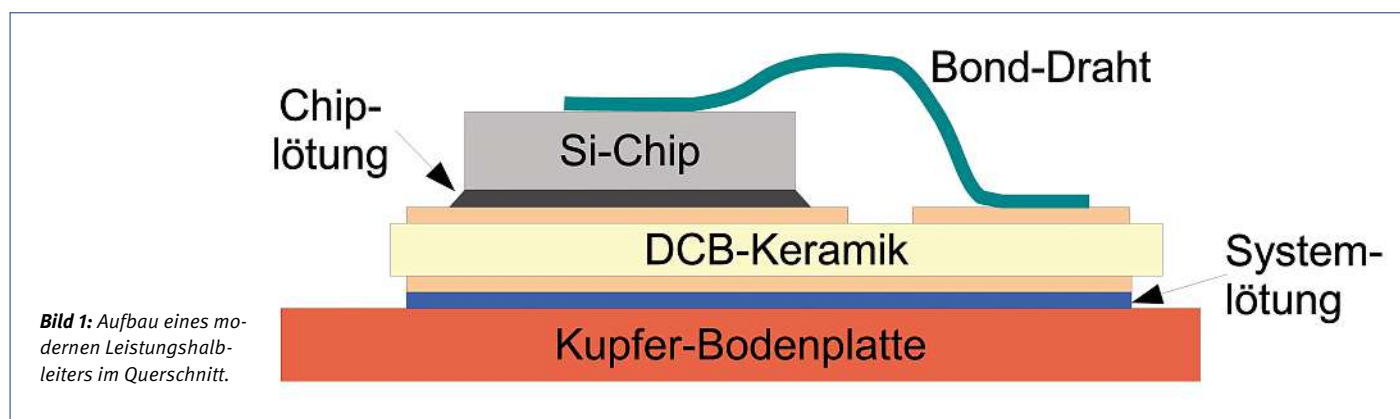


Vervielfachung von Lebensdauer und Leistungsdichte mit IGBT5 & .XT

Leistungselektronik stößt an die Grenzen des technisch Machbaren. Die nächste Halbleiter-Generation durchläuft deshalb einige radikale Veränderungen in Bezug auf Materialien und AVT.

MARTIN SCHULZ *



Bilder: Infineon

Steigende Anforderungen an die Zuverlässigkeit sind die treibenden Kräfte hinter der aktuellen Entwicklung, begleitet von höheren Erwartungen in Sachen Leistungsdichte, kombiniert mit dem Bedürfnis, die Systemkosten zu reduzieren. In der Nutzung von Kraftwerken auf Basis erneuerbarer Energien, insbesondere Wind- und Solaranlagen, sind zwei Faktoren von besonderer Bedeutung. Neben der Verfügbarkeit der Anlage hat die Leistungsdichte einen dominierenden Einfluss. In beiden Applikationen führt eine höhere Leistungsdichte zu einer Reduktion der pro installiertem Kilowatt eingesetzten Ressourcen. Das Verhältnis Ressourcen/kW ist dabei gleichzusetzen mit der Menge an Leistungselektronik, die zum Aufbau einer MW-Installation notwendig ist.

Auch bei industriellen Anwendungen ist die Verfügbarkeit von entscheidender Bedeutung. Pumpen und Lüfter weisen üblicherweise eine prognostizierte Lebensdauer von zehn Jahren bei Dauerbetrieb auf, was etwa 90.000 Betriebsstunden entspricht. Obwohl

das scheinbar eine lange Zeit ist, müssen andere Applikationen noch viel höheren Anforderungen genügen. Landwirtschaftsmaschinen müssen beispielsweise in einer von Staub, Luftfeuchtigkeit und Vibrationen bestimmten Umgebung 20 Jahre durchhalten. Hier kommen ggf. weniger Betriebsstunden zusammen, da es oft nur eine Ernteperiode im Jahr gibt. Kommerziell genutzte Fahrzeuge wie elektrische Busse arbeiten 15 bis 20 Jahre und legen bis zu einer Million Kilometer im Stop-and-Go-Betrieb zurück.

Minenfahrzeuge wie dieselektische Muldenkipper müssen ähnlich lange durchhalten, sind dabei aber 20 Stunden am Tag im Einsatz bei einer Gesamtlaufzeit von 150.000 Stunden. Die zusätzliche Herausforderung in dieser Anwendung ist mechanischer Stress auf unebenen Pfaden, verstärkt durch schwefelhaltige Gase wie sie im Kohlebergbau zu finden sind. Die Lebensdauer dieser kostspieligen Fahrzeuge steht und fällt mit der Robustheit der Leistungshalbleiter in Hinblick auf thermische, chemische und mechanische Belastung.

Typischerweise ist ein Leistungshalbleiter heute wie in Bild 1 skizziert aufgebaut. Silizium-Chips sind in der Regel mithilfe eines Weichlötprozesses auf die DCB aufgebracht, die Verbindungen zwischen den Chips und

der DCB bestehen aus Aluminium-Bonddrähten. Der gesamte Aufbau wird mittels Weichlötprozess auf eine Bodenplatte gelötet, ein Gehäuse wird aufgebracht und anschließend mit isolierendem Gel befüllt. Diese bewährte Technologie stößt mit der Einführung neuer Chip-Technologien mit gesteigerter Stromtragfähigkeit an ihre physikalischen Grenzen.

Das Nadellöhr ist die thermische Belastung

Leistungshalbleiter sind in ihrer Lebensdauer heute limitiert durch die Anzahl an Temperaturhüben die sie durchlaufen können. Abhängig von der Dauer eines thermischen Zyklus können zwei bestimmende Fehlermechanismen zum Tragen kommen. Bei kurzen Zyklen entsteht Stress hauptsächlich in den Bonddrähten, der Effekt wird als Power-Cycling betrachtet. Thermische Ausdehnung führt zu winzigen Bewegungen, und die Unterschiede in der thermischen Ausdehnung unterschiedlicher Materialien bedeuten mechanischen Stress in den Verbindungsstellen. Daraus ergeben sich zwei Hebel zum Ansatz für Verbesserungen.

Durch die Verwendung von Material mit höherer Leitfähigkeit sinken die ohmschen Verluste, was eine Reduktion des Tempera-



* Dr. Martin Schulz
... arbeitet im Application Engineering bei Infineon Technologies, Warstein.

turhubs mit sich bringt. Wenn zusätzlich Materialien mit ähnlichen Ausdehnungskoeffizienten zum Einsatz kommen, lässt sich der Stress in der Verbindungsstelle weiter minimieren. Da auch der Kostenaspekt eine Rolle spielt, fallen Edelmetalle wie Gold und Silber nicht in den Rahmen des Möglichen.

Wächst die Dauer der thermischen Zyklen, dann tritt ein zweiter Effekt in den Vordergrund, der als Thermal-Cycling bezeichnet wird. Die unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten von DCB, Lotverbindung und Bodenplatte sind Ursache für die Entstehung mechanischer Spannungen, die die schlechende Schädigung oder Delamination der Lötverbindung mit sich bringt. Die Haltbarkeit der Verbindungsstelle hängt dabei maßgeblich von den verwendeten Materialien und den zum Einsatz kommenden Prozessen ab.

Kürzlich hat Infineon die neue hochzuverlässige Systemlötung im EconoDUAL 3 vor-



Bild 2: EconoDUAL 3, FF600R12ME4A mit Kupferbonddrähten für die Verbindung auf DCB-Ebene und der neuen, hochzuverlässigen Systemlötung.



Bild 3: Ultraschall-Mikroskopie der neuen Verbindung, links in Neuzustand und rechts das Ergebnis nach 40.000 Zyklen.

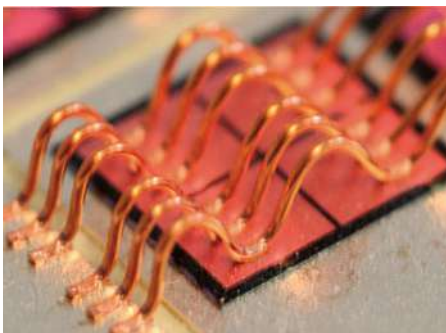


Bild 4: Kupfer-Bonddrähte auf Kupfer-Oberflächen.

gestellt, die gegenüber der herkömmlichen Lösung die dreifache Zyklenfestigkeit aufweist. Ein offenes Modul mit Sicht auf die Kupferbonddrähte der Systembondung ist in Bild 2 dargestellt.

Mehr als Faktor drei höhere Haltbarkeit

Die Kupferdrähte, die als Verbindung zwischen den DCB sowie der Anbindung der Terminals dienen, haben einen geringeren spezifischen Widerstand als vergleichbare Aluminiumverbindungen. Dies ermöglicht größere Ströme bei gleicher Geometrie, ohne technologische Grenzen der umgebenden Materialien zu überschreiten.

Wie aus Bild 2 ersichtlich ist, sind die Bonddrähte zu den Silizium-Chips weiterhin aus Aluminium. Der in diesem Modul eingesetzten IGBT4 lässt sich aus physikalischen Gründen nicht mit Kupferdrähten kontaktieren.

Die neue Verbindungstechnik hat in Lastwechseltests die Haltbarkeit der gegenwärtigen Lösung um mehr als den Faktor drei übertroffen. Statt der für diese Art Modul qualifizierten 12.000 Zyklen hat die neue Verbindung 40.000 Zyklen erreicht. Das für diesen Test gültige Kriterium für „End of Life“, ein Anstieg des thermischen Widerstandes von 20%, wurde dabei deutlich unterboten. Bild 3 zeigt die Aufnahmen aus der Ultraschallmikroskopie, die während der Durchführung des Belastungstests entstanden. Das Bild zeigt gut, dass keine Delamination bis unter die Chipflächen stattgefunden hat. Der thermische Transfer von Chip zu Bodenplatte bleibt weitestgehend ungestört.

Die Chip-Oberfläche – eine technische Herausforderung

Da Kupfer das für die Chip-Bondung gewünschte Material ist, wurde die Entwicklung neuer Strukturen für Chipoberflächen notwendig. Der neue, per Sinterverfahren aufgebraute IGBT5, weist nun Kupferoberflächen auf, die eine höhere Robustheit der Bondverbindung gewährleisten. In Bild 4 ist die neue Aufbautechnik dargestellt. Diese hat ihre Leistungsfähigkeit in Power-Cycling-Tests unter Beweis gestellt und eine Verbesserung gegenüber herkömmlichen Aufbauten um einen Faktor zehn erzielt.

Als ganzheitlicher Ansatz kombiniert .XT neue Chip- und Verbindungstechnik. Hiermit entsteht ein neuer Freiheitsgrad für den Entwickler, der nun die Möglichkeit hat, einen optimalen Punkt zwischen erweiterter Lebensdauer und höherer Ausgangsleistung seiner Applikation zu wählen.

Bild 5: Das PrimePACK FF1800R17IP5, die neue 1800-A-Halbbrücke auf Basis von IGBT5 und .XT.



Die Power-Cycling-Festigkeit eines Moduls ist immer mit dem Temperaturhub verbunden. Eine Steigerung dieser Fähigkeit geht also mit einem Gewinn an Lebensdauer einher, wenn der Temperaturhub der gleiche bleibt. Umgekehrt erlaubt höhere Power-Cycling-Festigkeit höhere Ausgangsleistung bei höherem Temperaturhub bei gleichbleibender Lebensdauer. Es hängt sehr von den Anforderungen der Applikation ab, welcher dieser Parameter von größerer Bedeutung ist. Bei beengtem Bauraum liegt das Augenmerk auf der höheren Leistungsdichte.

Die neue .XT-Technologie ermöglicht eine Steigerung der Leistungsdichte um 30% und mehr. Große Applikationen wie Solarwech-

selrichter im Megawatt-Bereich profitieren damit von der Verringerung der Baugröße und der Materialeinsparung, insbesondere wenn sich mit dem Einsatz eine Reduktion der zu installierenden Schaltschränke erzielen lässt.

Die Stromtragfähigkeit steigt auf 1800 A

Aggregate wie leistungsstarke Windkraftanlagen könnten ebenfalls von der Materialreduktion profitieren. Speziell in Offshore-Windparks spielt allerdings die Verfügbarkeit der Anlagen eine dominante Rolle; ungeplante Ausfallzeiten sind hier unbedingt zu vermeiden. Für diese sehr anspruchsvolle

Nutzung könnte die Optimierung zu Gunsten der höheren Lebensdauer ausfallen und die größere Leistungsausbeute nur teilweise in Betracht kommen. Das erste Produkt, das alle Details dieser neuen Technik in sich vereint, ist das PrimePACK. Im Vergleich zu seinem leistungsstärksten Vorgänger steigt die Stromtragfähigkeit von 1400 auf 1800 A; die Gehäuseabmessungen bleiben identisch. Damit lässt sich die Ausgangsleistung eines gegebenen Umrichters allein durch Austausch der Halbleiter um 30% steigern. Bild 5 zeigt das neue Modul, das auf der PCIM 2015 erstmals präsentiert wurde. Neben den neuen Technologien hat das Modul einen verstärkten AC-Anschluss zur Bewältigung der höheren Ströme sowie einen zusätzlichen Hilfskollektor am Low-Side IGBT zur besseren Ansteuerbarkeit der Halbleiter.

Zukunftsperspektive: Leistungselektronische Komponenten unterliegen gegenwärtig einem Wandel. Die offensichtlichsten Merkmale hierbei sind der Ersatz von Aluminium durch Kupfer, neue Materialien in der Aufbau- und Verbindungstechnik und schlussendlich neue Designs für Leistungshalbleitermodule.

Mit der .XT-Technologie hat Infineon den nächsten Schritt in Richtung höchst zuverlässiger Leistungselektronik unternommen. Neue und zukünftige Entwicklungen werden einzelne Teile oder sogar die Summe der Möglichkeiten dieses neuen Ansatzes aufweisen. // KU

Infineon
+49(0)89 23425869