



Wenn Träume fliegen lernen

Höhere Leistung bei gleicher Chipfläche bieten

Eine hohe Leistungsdichte der Leistungsbausteine ist der Wunschtraum eines jeden Elektronikentwicklers, bedeutet sie doch weniger Platzbedarf und mehr Freiheit bei der Konstruktion. Auch der Einkäufer freut sich über weniger Kosten als positiven Nebeneffekt. Das gilt sowohl für den IGBT als auch für seine Freilaufdiode. Wie es gelang die Diode zu optimieren, zeigt der nachfolgende Beitrag.

Bild: Fotolia, Benicce

Die 1200-Volt-CAL-Diode bietet 30 Prozent höhere Leistung bei gleicher Chipfläche, mehr Platz im Leistungsmodul und höhere Einsatztemperaturen bis 175 Grad Celsius. Sie ist die vierte Generation der bewährten CAL-Freilaufdioden von Semikron. IGBT-Module benötigen nun weniger Platz und können bei höheren Temperaturen eingesetzt werden, was sie für den Einsatz in harten Umgebungsbedingungen zum Beispiel im Motorraum von Hybridfahrzeugen prädestiniert. Für moderne und kosteneffiziente Stromantriebe spielt die Leistungsdichte eine herausragende Rolle, insbesondere wenn es um Leistungshalbleiter wie IGBT und die dazugehörige Freilaufdiode geht. Beide Bausteine stellen die Grundlage moderner Leistungselektronik dar. Hier ist heutzutage nach wie vor die Anforderung nach einer immer höheren Leistung bei gleichem Bauvolumen zu beobachten, ganz egal ob die Chips für die Stromumwandlung in Windenergie- oder Photovoltaikanlagen oder in Motorsteuerungen zum Einsatz kommen. Denn eine hohe Leistungsdichte ist gleich zu setzen mit weniger Platzbedarf und mehr Freiheit für die Konstruktion, was im Ergebnis vor allem heißt: weniger Kosten. Für den IGBT und die Diode bedeutet das

im Endeffekt, dass der nutzbare Strom pro eingesetzter Chipfläche steigen muss.

Die Problematik der Eigenerwärmung erkennen

An dieser Stelle treten in der Regel technische und physikalische Grenzen auf. So führen die unvermeidbaren elektrischen Verluste von Diode und IGBT zur Eigenerwärmung und sorgen folglich für hohe Temperaturen im gesamten leistungselektronischen System. Hohe Betriebstemperaturen sind aber vor allem aus einem Grund unerwünscht: Die Lebensdauer der Leistungshalbleiter wird vermindert. Daher muss die Temperatur der Leistungselektronik oft mit aufwendigen Kühlmaßnahmen in Zaum gehalten werden. Allerdings geht der Kostengewinn durch hohe Ströme pro Chipfläche mit dem Kostenaufwand für verstärkte Kühlmaßnahmen Hand in Hand. Am Ende ergibt sich oft kein verwertbarer Kostenvorteil für das Gesamtsystem. Dem Lösen dieser Problematik hat sich der Nürnberger Leistungshalbleiterhersteller mit Erfolg gewidmet.

Ausgangslage ist, dass der nutzbare Strom durch die maximal zulässige Betriebstemperatur bestimmt wird. Dabei wird die Diode mit

soviel Strom belastet, dass die maximale Betriebstemperatur erreicht wird. Würde eine höhere Strombelastung erfolgen, stiege die Temperatur der Diode weiter, so dass sie schlussendlich versagen würde. Welche Lösungsansätze bietet Semikron nun an? Zunächst ließe sich die Wärmerzeugung der Diode vermindern. Wärme entsteht, weil statische und dynamische Verluste auftreten. Das heißt, die Diode leitet den Strom nicht verlustfrei; des Weiteren entstehen beim Wechsel vom leitenden in den sperrenden Zustand natürlich auch Verluste. Eine Möglichkeit den Strom pro Chipfläche zu erhöhen und dabei die Temperatur konstant zu lassen, ist demnach die statischen oder dynamischen Verluste der Diode zu verringern. An dieser Stelle treten einige Hindernisse auf. Statische und dynamische Verluste lassen sich nicht unabhängig voneinander optimieren. Die Verringerung der statischen Verluste führt zur Erhöhung der dynamischen Verluste und umgekehrt. Resultat: In der Summe bleiben die Verluste gleich, ein sich lohnender Vorteil bezüglich der Chiptemperatur ist nicht in Sicht. Darüber hinaus ist einer Erhöhung der Stromdichte durch diverse Anforderungen an die Diode eine Grenze gesetzt, wie:

- Sie darf im Wechselstrombetrieb keine Überspannungen erzeugen.
- Sie soll widerstandsfähig gegen hohe Ströme sein.
- Sie soll keine hochfrequenten Störsignale (EMI) bewirken.

Deshalb zeichnet sich eine gute Freilaufdiode durch eine wohl ausbalancierte Komposition aller dieser Eigenschaften aus, so das Nürnberger Unternehmen. Denn zusammen genommen führen alle Anforderungen in eine Situation, in der die Erhöhung der Stromdichte über kleinere Verluste mit hohem Entwicklungsaufwand und Kosten verbunden ist.

Höhere Betriebstemperaturen nutzen

Eine Alternative wäre es, höhere Betriebstemperaturen in Kauf zu nehmen. Bisher gilt für Freilaufdioden eine Dauerbetriebstemperatur von 125 Grad Celsius und eine Maximaltemperatur von 150 Grad Celsius. Wenn die Temperatur um 25 Grad Celsius auf 150 Grad Celsius im Dauerbetrieb, beziehungsweise auf 175 Grad Celsius Maximaltemperatur erhöht würde, könnte die Stromdichte der Freilaufdiode um 20 bis 30 Prozent steigen. Problematisch da-

bei ist es, die Langzeitstabilität der Leistungshalbleiter zu gewährleisten. Hier geht es in der Regel um eine durchschnittliche Lebensdauer von acht bis zehn Jahren. Pluspunkt: Die Stromdichte steigt, aber die Eigenschaften der Dioden bleiben unangetastet. Diesen Weg beschritt nun Semikron.

Die Passivierung überarbeiten

Hohe Betriebstemperaturen belasten in erster Linie die Passivierung der Leistungsdiode. Die Passivierung wirkt als Isolation und muss Spannungsdifferenzen von typischerweise 600, 1200 oder 1700 Volt stabil voneinander trennen. Bei den bisherigen Generationen der CAL-Diode wurde diese Aufgabe zuverlässig von einer Passivierung aus einem Verbundglas übernommen. Diese Glaspassivierung hat sich zwar über die Jahre bewährt, allerdings ist mit ihr die Maximaltemperatur auf 150 Grad Celsius beschränkt. Höhere Temperaturen verändern die Eigenschaften des Glases und beeinträchtigen seine Isolationsfähigkeit. Die Folge sind Leckströme, welche die Temperatur in der Diode weiter erhöhen und damit den Veränderungsprozess des Glases beschleunigen. Der Nürnberger Hersteller hat aus diesem Grund die Passivierung vollständig überarbeitet. Bei der CAL4-Generation ersetzt Semikron die bisherige Glaspassivierung durch eine Kombination aus Oxidschicht und Feldplatten. Darüber hinaus schützt eine zusätzliche polymere Passivierungsschicht die gesamte Struktur. Diese Passivierung hat sich als äußerst temperaturstabil und zuverlässig erwiesen. →

Auf einen Blick

Wenig Platz bei hoher Leistung

Das A und O moderner Leistungsbausteine ist eine hohe Stromdichte, weil sie mit einem niedrigen Platzbedarf und hoher Designfreiheit gleichzusetzen ist und dadurch ein erhebliches ökonomisches Potenzial bietet. So die Theorie. Dass diese sich auch die Praxis umsetzen lässt, beweist der Nürnberger Hersteller Semikron mit der CAL4-Freilaufdiode, die durch hohe Kosteneffizienz glänzt, ohne dass ein weiterer Kostenaufwand entsteht, der etwa durch aufwendige Kühlmaßnahmen hervorgerufen wird.

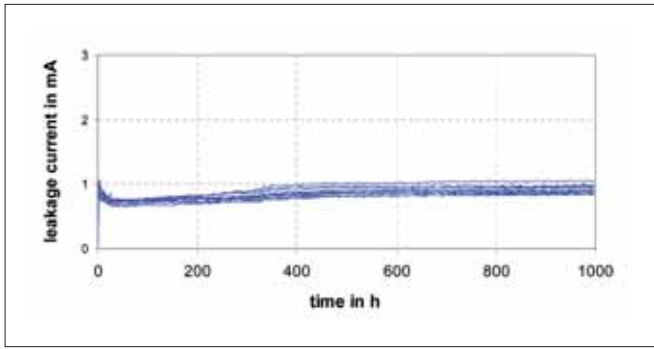


Bild 1: Niedrige Leckströme während des Langzeitsperrspannungstests bei 175 Grad Celsius - ohne Anzeichen, dass der Sperrstrom steigen könnte.

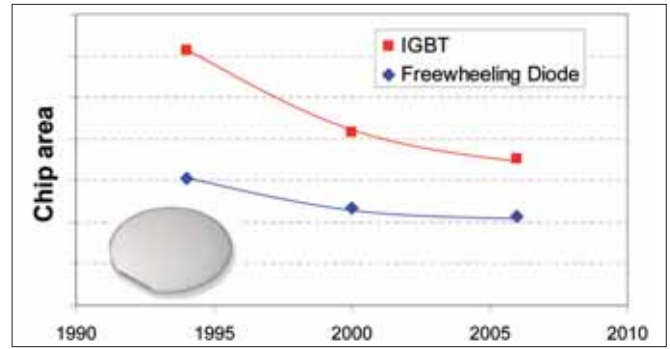


Bild 2: Kleinere Leistungshalbleiter durch eine stete Erhöhung der Stromdichte von IGBT und Freilaufdiode; sichtbar an der Chipflächenreduktion.

Zum Nachweis der Temperaturstabilität werden beschleunigte Zuverlässigkeitstests verwendet, in denen die Diode über einem Zeitraum von 1000 Stunden hohen Temperatur und konstanter Sperrspannung ausgesetzt wird. Der dabei fließende Leckstrom wird über die Testdauer mitgeschrieben. Anwendungskritische Veränderungen der Passivierung äußern sich in einem kontinuierlichen Anstieg des Leckstroms, der sich bis zur Zerstörung des geprüften Bauteils fortsetzen kann. Als Bewertungskriterium für eine zuverlässige Diode gilt ein Sperrstrom, der keine erheblichen Steigerungen während des Tests verzeichnet. Wie auf **Bild 1** zu sehen ist, zeigt der Test bei 175 Grad Celsius das gewünschte Verhalten der Diode und stellt die optimierten Hochtemperatureigenschaften der Passivierung in den Vordergrund – nämlich niedrige Sperrströme der Dioden, die auch bei langen Tests nicht ansteigen.

Die Zuverlässigkeit erhalten

Damit schuf Semikron die Voraussetzungen dafür, die Temperatur der CAL4-Dioden um 25 Grad Celsius auf 150 Grad Celsius im Dauerbetrieb und auf 175 Grad Celsius Maximaltemperatur anzuheben. Dabei erhält der Hersteller nicht nur die Zuverlässigkeit seiner Diode, auch die elektrischen Verluste sowie Robust- und Störfestigkeit halten sich die Waage. Stellt sich nun die Frage, welche Auswirkung die höhere Betriebstemperatur auf die Leistungssteigerung der Diode hat. Simulationen typischer Betriebsbedingungen zeigen, dass die Erhöhung um 25 Grad Celsius je nach Anwendung 20 bis 30 Prozent höhere Lastströme erlaubt. Oder anders ausgedrückt, bei gleichem Laststrom läßt sich die Diodenfläche um rund 20 bis 30 Prozent senken. Der Anwender kann daraus gleich zweimal Kapital schlagen: Die Leistungshalbleiter benötigen zum Einen erheblich weniger Platz und gewähren dadurch zum Anderen mehr Freiheit beim Design von Leistungsmodulen. Zusammen mit den ebenfalls optimierten IGBT-Generationen läßt sich das Volumen der Leistungsmodule weiter minimieren. Diesen Trend zeigt **Bild 2** deutlich auf, wo die Entwicklung der Chipflächen für IGBT und Freilaufdiode in den letzten Jahren zu sehen ist.

Die Chipfläche des IGBT konnte innerhalb der letzten 15 Jahre deutlich reduziert werden. Mit der CAL4 wird dieser Trend auch bei den Freilaufdioden fortgesetzt werden. Allerdings zeigt sich sowohl für Diode als auch für IGBT, das es sich bei der nächsten Chipgeneration schwieriger gestalten wird, die Stromdichter weiter zu erhöhen. Die vierte Generation der Freilaufdiode verfügt über den Kostenvorteil einer hohen Stromdichte – und zwar ohne

einen weiteren Kostenaufwand, wie er zum Beispiel durch aufwendige Kühlmaßnahmen hervorgerufen werden könnte. So sinken folglich Kosten und Volumen des gesamten leistungselektronischen Systems. Das ist vor allem bei platzkritischen Applikationen ein entscheidender Vorteil: Die Leistungselektronik muss nun nicht mehr aus Platzgründen auswandern sondern kann so oft an den Stellen angebracht werden, die technologisch sinnvoller sind. In Kombination mit einer höheren Betriebstemperatur kristallisiert sich dieser

Fakt zum eindeutigen Wettbewerbsvorteil: Leistungshalbleiter lassen sich nun auch dort verbauen, wo sie aufgrund zu hoher Umgebungstemperaturen bisher nicht eingesetzt werden konnten, wie im Motorraum von Hybridfahrzeugen. Dort herrschen Temperaturen von durchschnittlich 105 Grad Celsius. Dazu gesellt sich die Selbsterwärmung der Leistungshalbleiter im Betrieb, so dass der maximale Temperaturwert von 125 Grad Celsius schnell erreicht ist. Die benötigte elektrische Leistung kann nur entweder mit verstärkten Maßnahmen zur Kühlung oder dem Einsatz großer Siliziumflächen kostintensiv erreicht werden. Mit der gesteigerten Betriebstemperatur fällt dieser Nachteil



Die CAL4-Freilaufdiode hat sich den Slogan klein, stark, heiß redlich verdient, punktet sie doch mit niedrigem Platzbedarf und starker Leistung bei hohen Temperaturen.

weg: mehr Leistung bei kleinerem konstruktivem Aufwand – weniger Kosten.

Einen Ausblick geben

Freilaufdiode - quo vadis? Bei diesem Punkt stellt sich vor allem die Frage, ob eine weitere Erhöhung der Stromdichte noch mit Silizium möglich ist oder ob Dioden aus Siliziumkarbid (SiC) die Bausteine aus Silizium ablösen? Es hat den Anschein, dass Freilaufdioden aus Silizium weiter im Rennen bleiben, lässt das Nürnberger Unternehmen verlauten. Zum Einen zeigen vielversprechende Konzepte Wege auf, die Gesamtverluste der Freilaufdiode zu verringern. Zum Anderen scheint die neue Passivierung auch für Temperaturen jenseits von 175 Grad Celsius geeignet. Eine Maximaltemperatur der Diode im Bereich von 200 Grad Celsius könnte möglich sein. Damit ist der Weg zu immer mehr Leistung bei immer weniger Platz frei. (Dr. Volker Demuth / eck)

i infoDIREKT www.elektronikjournal.de
 Link zu Semikron

119ejl0808

✓ VORTEIL Mit optimierten Diodeneigenschaften, wie höherer Leistungsfähigkeit bei gleicher Chipfläche, verbesserter Betriebstemperaturbereich oder mehr Platz im Leistungsmodul kann sich der Hersteller nicht nur Energie- sondern auch Kosteneffizienz auf die Fahne schreiben.