

# Dicker Puffer

Leistungsfähigkeit von IGBTs gesteigert. Hochvolt-Leistungsschalter auf Basis von SiC und GaN sind effizient, aber noch nicht reif für den Massenmarkt. Wie lässt sich der Wirkungsgrad von IGBTs in bestehender Siliziumtechnologie erhöhen?



systemen von heute ist der verfügbare Platz stark eingeschränkt. Die Verbesserung der Schallleistung und folglich des Systemwirkungsgrads verringert den notwendigen Platz für Kühlkörper sowie die Materialkosten, wobei jedoch eine gleichbleibende Zuverlässigkeit gewährleistet ist.

Zwar sind Halbleiter mit weiterem Abstand wie Galliumnitrid (GaN) oder Siliziumkarbid (SiC) für die Zukunft sehr vielversprechend, doch der Stückpreis ist zurzeit noch zu hoch für einen umfangreichen Einsatz. Der breite Aufschwung von GaN- und SiC-Technologien wird erst in fünf bis acht Jahren erwartet, weil eine Ausreifung der Technologie erforderlich ist, um den Preis auf ein akzeptables Niveau zu senken. Anstatt auf neue Halbleitermaterialien überzugehen, muss die Industrie einen Weg finden, um das Leistungsspektrum der bereits vorhandenen IGBT-Technologie auszuweiten: mittels neuer Designansätze.

## IGBT-Schaltverluste reduzieren

Die Schaltverluste von IGBTs setzt sich aus den zwei Komponenten  $E_{on}$  und  $E_{off}$  zusammen (mehr dazu im **Wissenskasten**).  $E_{off}$  lässt sich durch zwei Methoden verringern: eine gesteigerte Geschwindigkeit des Bausteins, also eine Verringerung der Übergangszeit von High zu Low, oder ein Abschneiden des Tailstroms (**Bild 1**). Die Verringerung von  $E_{off}$  (graue Kurven) durch eine Steigerung der Geschwindigkeit (sehr hohes  $di/dt$ ) führt zu beträchtlichen parasitären Schwingungen (Ringing). Das ist nicht nur vom EMV-Standpunkt aus unerwünscht. Die Schwingungen steigern zudem die Verluste. Außerdem besteht ein erhöhtes Risiko, dass der Baustein zerstört wird, wenn die Spitzenspannung die Durchbruchspannung des Bausteins übertrifft. Der alternative Lösungsansatz zur Verringerung des Tailstroms (grüne Wellenformen) ist eindeutig zu bevorzugen, da er die Verluste reduziert und dabei ein weiches Abschaltprofil aufrechterhält.

Während die meisten Entwickler  $E_{off}$  als Schlüsselmesszahl der IGBT-Technologie bewerten, ignorieren sie  $E_{on}$  häufig, weil der Gleichrichter im gleichen Gehäuse  $E_{on}$  dominiert. Dennoch kann  $E_{on}$  wesentlich zu den Systemverlusten beitragen. **Bild 2** zeigt, dass die Senkung des Spitzen-Sperrverzögerungsstroms ( $I_{RRM}$ ) und der Sperrverzögerungszeit ( $T_{RR}$ ) die Sperrverhalten-Performance der Diode verbessert. Ein zu geringer Wert von  $T_{RR}$  führt jedoch zu einem sehr hohen  $di_{RRM}/dt$  und damit zu parasitären Schwingungen. Die beste Methode, Sperrverzögerungsverluste – und damit  $E_{on}$  – zu senken, besteht also darin,  $I_{RRM}$  zu reduzieren.

## Field-Stop-Technologie

Heutzutage werden fast alle IGBTs als vertikale Bausteine entwickelt: mit Emit-

**W**ährend Leistungs-MOSFETs im Allgemeinen Implementierungen mit niedrigen und mittleren Spannungen dienen, sind IGBTs (Insulated Gate Bipolar Transistor) für die Verwendung bei Spannungen über 1 kV optimiert. Die wesentlichen Anliegen der Ingenieure, die diese Bausteine verwenden, sind ein verbesserter Wirkungsgrad sowie geringere Verluste. Eine wachsende Zahl an Applikationen – darunter Hybrid- und Elektrofahrzeuge (HEVs), die Solarinfrastruktur, unterbrechungsfreie Stromversorgungen sowie HEV-Ladestationen – erfordern Hochvolt-IGBT-Bausteine mit höheren Frequenzen, häufig über 20 kHz. Um den Wirkungsgrad bei diesen Frequenzen zu verbessern und Werte bis 95% zu erzielen, sind geringere Schaltverluste in den herkömmlichen IGBT-Technologien notwendig.

Darüber hinaus ist eine Bekämpfung der Wärmeprobleme von großer Bedeutung. In den komplexen Stromversorgungs-

## FAZIT

Ultra-Field-Stop-Technologie. Weil der Einsatz von GaN oder SiC zumindest in Mainstream-Anwendungen in den nächsten Jahren noch zu teuer ist, müssen die Anbieter von Leistungs-IGCs Hochvolt-Schaltbausteine verwenden, die nach wie vor auf etablierten Siliziumprozessen basieren – und dennoch leistungsfähiger als bisher sind. Dabei zählt die IGBT-Technologie derzeit zu den vielversprechendsten. Die 1200-V-IGBTs von ON Semiconductor in Ultra-Field-Stop-Technologie verringern sowohl die Gesamtschalt- als auch die Leitungsverluste, sodass sie Wirkungsgrade über 96% erreichen. UFS kombiniert eine sehr dünne Wafer- mit einer dicken Field-Stop-Schicht. Das erhöht die Gütezahl des IGBT bei gleicher Durchbruchfestigkeit.

**WISSENSWERT**

IGBT-Effizienz. Zwei wesentliche Kriterien bestimmen den IGBT-Betrieb und wirken sich unmittelbar auf dessen Energieeffizienz aus. Erstens die Gesamtschaltverluste ( $E_{ts}$ ), bestehend aus der Summe der Einschalt- und der Abschaltverluste ( $E_{on}$  und  $E_{off}$ ). Die Schaltverluste von IGBTs können erheblich sein, besonders wenn der Baustein bei hohen Schaltfrequenzen und/oder Betriebstemperaturen läuft. Zweitens ist der Leitungsverlust in Betracht zu ziehen, der mit der Kollektor-Emitter-Sättigungsspannung ( $V_{CEsat}$ ) in Beziehung steht. Entwicklungsingenieure müssen einen Kompromiss zwischen Schalt- und Leitungsverlusten finden, um die Gütezahl (Figure of Merit, FoM) zu optimieren:

$$FoM = V_{CEsat} \cdot E_{ts}$$

Anhand des FoM-Werts erhalten Ingenieure einen einheitlichen Benchmark der IGBT-Performance, mit dem sich die Bausteine von verschiedenen Anbietern vergleichen lassen.

ter- und Gate-Anschlüssen auf der einen und Kollektoranschluss auf der anderen Seite des Wafer-Substrats. Die Gütezahl (Figure of Merit, FoM) des Bausteins ist umgekehrt proportional zur Dicke des Wafers. Im Allgemeinen sind die Wafer heutiger IGBTs unter 200µm dick.

Dünnere IGBTs sind der einfachste Weg, ihre Gütezahl zu verbessern. Allerdings bringen dünnere Wafer einige beträchtliche Probleme mit sich. Das Handling von Wafern, die dünner sind als ein menschliches Haar, ist mit großen Herausforderungen während der Fertigung verbunden. Noch wichtiger ist jedoch, dass sich mit der Dicke auch die Durchbruchspannung reduziert. Die neuesten IGBT-Technologien setzen die sogenannte Field-Stop-Technologie ein, um die Dicke zu verringern und gleichzeitig die Durchbruchspannung aufrecht zu erhalten – mithilfe einer Pufferschicht (Field Stop Layer) zwischen der Kollektorschicht und dem Silizium. Neben der höheren Durchbruchspannung bietet diese

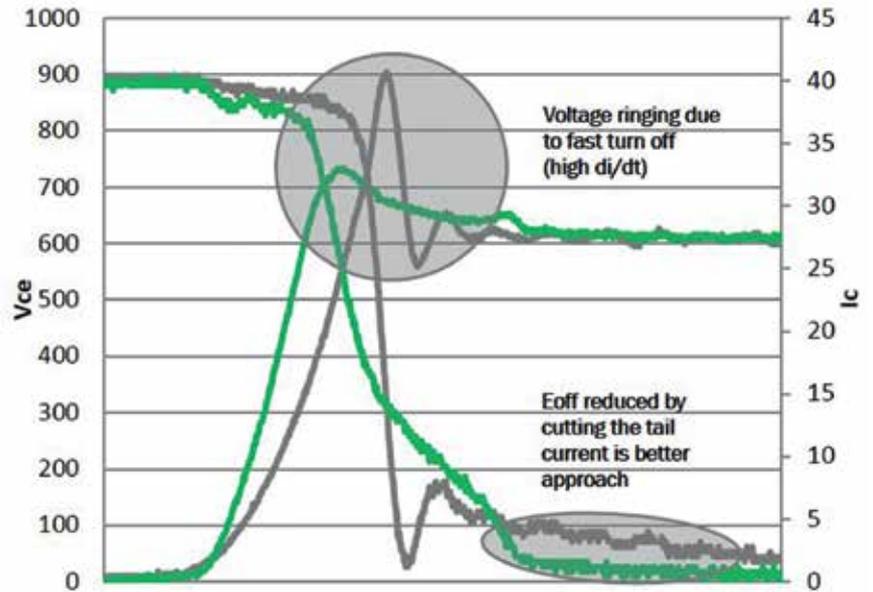
auch den Vorteil, dass sie die Abschaltverluste des IGBT reduziert. Eine dicke Field-Stop-Schicht ist vom Standpunkt der Baustein-Performance aus also wünschenswert, doch die Silizium-Verarbeitungstechniken zu ihrer Herstellung sind anspruchsvoll.

**Effiziente IGBT-Lösungen**

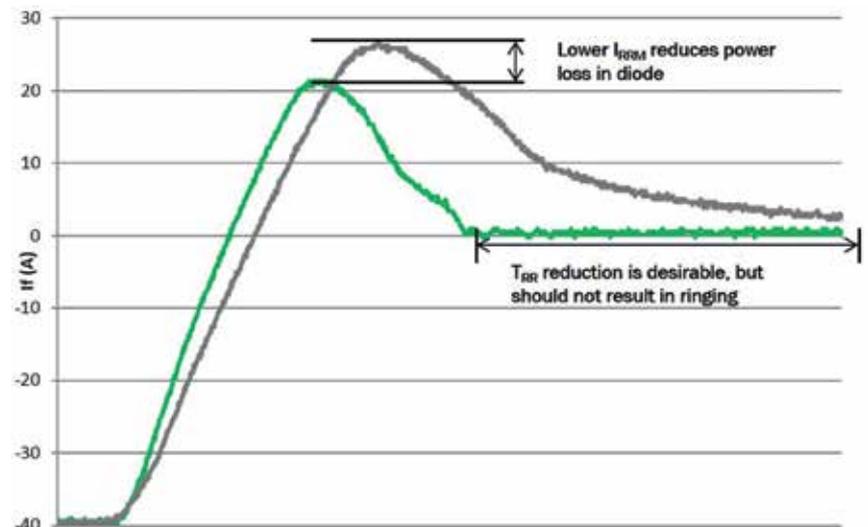
Die IGBTs auf Basis der unternehmenseigenen Ultra-Field Stop-Trench-Technologie (UFS) von ON Semiconductor weisen eine sehr hohe FoM auf. Sowohl die Gesamtschaltverluste als auch  $V_{CEsat}$  der in UFS-Technologie hergestellten Standard-

bausteine mit 1200 V und 40 A sind deutlich niedriger als bei anderen erhältlichen Bausteinen.

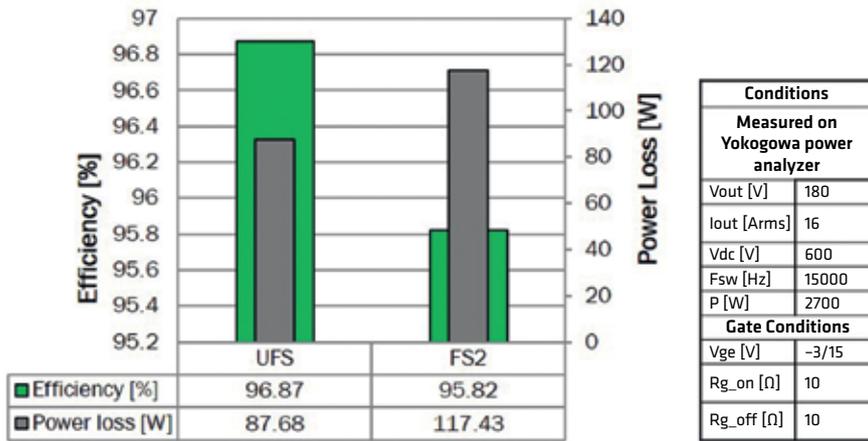
Die UFS-IGBTs werden auf SoI-Substraten (Silicon on Insulator) hergestellt. Zum ersten Mal kommen für 1200-V-IGBTs Wafer zum Einsatz, die nur 105µm dick sind. Die Field-Stop-Schicht ist dagegen besonders dick. Einen weiteren Beitrag zur Performance-Verbesserung leistet der fortschrittliche Gleichrichter auf Platin-Silizium-Basis, der mit dem IGBT-Element im gleichen Gehäuse untergebracht ist. Er ist für den Betrieb in Verbindung mit der UFS-Technologie optimiert



1 | Reduzierung von  $E_{off}$ : Die Methode des abgeschnittenen Tailstroms (grün) ist der höheren Geschwindigkeit des Bausteins (grau) vorzuziehen



2 | Reduzierung von  $E_{on}$ : Die beste Methode ist ein geringerer  $I_{RRM}$ . schnelles Schaltverhalten führt dagegen zu parasitären Schwingungen (Ringing)



3 | Wirkungsgrad: Verbesserungen bei Effizienz und Leistungsverlust durch die UFS-Technologie

und unterstützt die erstrebte Reduzierung der Sperrverzögerungsverluste ohne Ringing.

**Bild 3** vergleicht den Wirkungsgrad und die Leistungsverluste eines standard-

mäßigen Halbbrücken-Wechselrichters mit UFS-Baustein beziehungsweise mit der Vorgängergeneration der Industriestandard-Technologie FS2 von ON Semiconductor. Die Ergebnisse machen deut-

lich, wie sich mit der UFS-Technologie die Leistungsverluste wesentlich verringern lassen. skr

#### Autor

Akhil Nair ist Technical Marketing Manager für IGBTs bei ON Semiconductor.

#### Online-Service

IGBTs bei ON Semiconductor

[www.elektronik-informationen.de/43004](http://www.elektronik-informationen.de/43004)

#### KONTAKT

ON Semiconductor Germany GmbH,  
Zamdorfer Straße 100,  
81677 München,  
Tel. 089 930808-0,  
Fax 089 930808-20,  
[www.onsemi.com](http://www.onsemi.com)  
Electronica A5.225