

# Fortschritt, der begeistert

## IGBT in Hinsicht auf Energieeffizienz und Anwenderfreundlichkeit optimieren

Welche Verbesserungen kann es bei einer sechsten Generation an bipolaren Leistungstransistoren noch geben? Viele – lautete die Antwort von Fuji Electric. Denn egal, ob in Hinsicht auf Energieeffizienz, Zuverlässigkeit, Kompaktheit oder Anwender- und Umweltfreundlichkeit – die Anforderungen an die Bausteine sind hoch.

Bild: Fotolia, Mebra

**IGBT sind das Herzstück** moderner Leistungsstromrichter und Schlüsseltechnologie der modernen Energieumwandlung. Ihre Einsatzbereiche sind vielfältig: Sie reichen von erneuerbarer Energie über Elektroantriebe bis hin zur Induktionserwärmung. Zudem nimmt ihr Bedarf für Transport und Infrastruktur stetig zu. Der nächste Marktdurchbruch kommt unweigerlich mit den Elektroautos. Bereits etabliert haben sich hier Schlüsseltechnologien, wie Trench-Gate-Technologie und Field-Stop-Layer. Wo geht es darüber hinaus hin? Kann es in der Leistungselektronik mit dem bisher verwendeten reinen Silizium noch einen großen Schritt vorwärts gehen oder müssen erst neue Wafermaterialien ins Spiel kommen?

Die heutigen Anforderungen an Leistungstransistoren beschränken sich nicht mehr rein auf Energieeffizienz. Zuverlässigkeit, Kompaktheit, Anwender- und Umweltfreundlichkeit gewinnen immer größere Bedeutung. Anforderungen, die Fuji Electric mit seiner sechsten Generation an IGBT, der V-Serie, bereits erfüllen kann. Wie gelang das dem Hersteller?

### Die Chip-Technologie optimieren

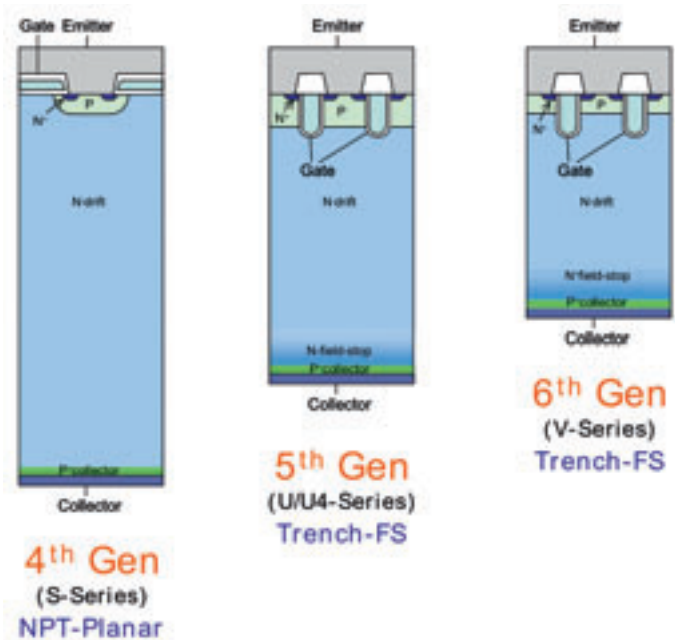
Die V-Serie baut wie die vorherige U-Serie auf der Trench-Gate-Field-Stop-Technologie auf. Mit hohem Aufwand gelang es dem Hersteller, die Gate-Struktur zu verbessern und die Chipdicke zu reduzieren.

Hier spielten folgende Faktoren eine Rolle:

- Isolationskeramik
- Chipanordnung
- Bemessungsstrom

Die Isolationskeramik liegt zwischen Chip und Modulbodenplatte. Aufgrund ihrer hervorragenden thermischen Leitfähigkeit und Spreizung besteht die Bodenplatte in der Regel aus Kupfer. Die thermische Leitfähigkeit beträgt hier etwa 390 Watt pro Meter mal Kelvin ( $W/m^*K$ ). Bei den Isolationskeramiken ist diese meistens schlechter. Das hauptsächlich zum Einsatz kommende kostengünstige Aluminiumoxid hat eine thermische Leitfähigkeit von circa  $22 W/m^*K$ . Deshalb hat sich Aluminiumnitrit durchgesetzt, da es mit einem Wert von ungefähr  $170 W/m^*K$  über eine bessere thermische Leitfähigkeit verfügt. Die mechanischen Eigenschaften erfordern zumeist eine minimale Dicke von 0,63 Millimeter. Fuji Electric setzte auf Siliziumnitrit, das zwar mit  $90 W/m^*K$  eine thermische Leitfähigkeit hat, die nur halb so groß wie die von Aluminiumnitrit ist, aber diesen Fakt durch eine niedrige Substratstärke von 0,32 Millimeter wieder ausgleichen kann. Die Biegefestigkeit und Bruchzähigkeit ist dabei trotz der geringeren Materialdicke doppelt so hoch, wie die von Aluminiumnitrit.

Darüber hinaus ordnete der Hersteller die Chips auf der Keramik im Power Integrated Module (PIM) neu an. Er minimierte die Querverbindungen zwischen den Chips im PIM. Die in der Mitte liegenden IGBT ließen sich durch die außen Liegenden mit aufheizen. Es entsteht ein schwächstes Glied, an dem sich die gesamte Modulleistung orientieren muss. Mit Hilfe seiner Low-Thermal-Impedance-Technologie (LTI-Technologie), die für niedrige thermische Impedanzen steht, konnte Fuji Electric das



Die IGBT der V-Serie bauen wie die vorherige U-Serie auf Trench-Gate-Field-Stop-Technologie auf, glänzen aber mit verbesserter Gate-Struktur und reduzierter Chipdicke.

Prinzip des schwächsten Gliedes zu einem großen Teil unterbinden. Der Anteil der Hotspots hat sich durch die LTI-Technologie, der homogenen Anordnung der IGBT und der modernen Chip-technologie der sechsten Generation deutlich verbessert.

Diese Neuerungen wiederum führten auf Modulebene zu einem Durchbruch in der Strombelastbarkeit. Für das PIM3 hat sich der Bemessungsstrom bei 80 Grad Celsius Sperrschichttemperatur und einer Sperrfähigkeit von 1200 Volt von 75 auf 150 Ampere verdoppelt. Anders ausgedrückt: Die Baugröße der Module ließ sich mit der V-Serie erheblich verkleinern. →

## Auf einen Blick

### Was schlägt denn da?

IGBT sind das Herz moderner Leistungsumrichter. Da sie in vielfältigen Bereichen, wie erneuerbare Energien, Antriebstechnik oder Induktionserwärmung, zum Einsatz kommen, ist ihre stetige Weiterentwicklung unabdingbar. Nun fanden entscheidende Fortschritte, wie Trench-Gate-Technologie und Field-Stop-Layer, bereits bei vorherigen Generationen statt. Wo liegt also das Entwicklungspotential? Zum einen sollte sich natürlich die Energieeffizienz erhöhen lassen, zum anderen spielen aber Faktoren, wie Anwenderfreundlichkeit, Zuverlässigkeit oder eine niedrigere Baugröße eine wichtige Rolle. Hier lassen sich noch einige Optimierungen durchführen.

**infoDIREKT** [www.elektronikjournal.de](http://www.elektronikjournal.de) 102ej15009  
Link zu Fuji Electric, ► Halle 12, Stand 407

**VORTEIL** Die sechste Generation glänzt mit einer optimierten Chip-technologie in Hinsicht auf Isolationskeramik, Chipanordnung und Bemessungsstrom, hoher Anwenderfreundlichkeit, verbesserter EMV-Verträglichkeit und höherer Zuverlässigkeit im Vergleich zur vorherigen Produktfamilie.



## Materialtechnisches

	Aluminumoxid	Siliziumnitrid	Aluminiumnitrid
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	AlN
thermische Leitfähigkeit [W/mK]	22	90	170
erforderliche Materialstärke [mm]	0,38	0,32	0,635
resultierende Wärmewiderstand für 1cm <sup>2</sup> active Fläche [K/W]	0,23	0,14	0,13
Biegefestigkeit [Mpa]	>300	>650	>300
Bruchzähigkeit [Mpam <sup>1/2</sup> ]	4	6,5	3,3
Spezielle BIOS-Version	Über den LPC Firmware Hub Flash Sockel können BIOS Version einfach getestet werden		
Spannungsversorgung	Über drei Status LEDs kann geprüft werden ob 12V, 5V Standby und 5V (am COM) Stromversorgung anliegt.		

Quelle: Fuji Electric

elektronik JOURNAL

**Der goldene Mittelweg.** Der Hersteller setzt auf Siliziumnitrit als Keramikmaterial, das zwar eine niedrigere thermische Leitfähigkeit als Aluminiumnitrit hat, dafür aber mit einer kleineren Substratstärke, höherer Biegefestigkeit und Bruchzähigkeit überzeugt.

sanftere Schaltverhalten der sechsten Chip-Generation trägt zu einer deutlich besseren elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) bei. Zudem werden, wie schon beschrieben, Oszillationen unterbunden.

Die Flankensteilheit der Pulse in Kombination mit dem entsprechend hohen Spannungshub lassen kleine stromführende Flächenanteile, wie Störsender, oberhalb der zehn Megahertz wirken.

Dies darf nahe gelegene Steuerelektronik und Treiberschaltungen nicht beeinflussen. Mit der eingeführten Anordnung innerhalb des Moduls konnte das Unternehmen den wirksamen Störfächenanteil radikal reduzieren.



**Vergleich eines konventionellen Designs mit der LTI-Technologie:** Der Anteil der Hotspots hat sich durch die LTI-Technologie, der homogenen Anordnung der IGBT und der Chiptechnologie der 6. Generation deutlich verbessert.

### Anwenderfreundlichkeit gewährleisten

Bei der Entwicklung der V-Serie legte Fuji Electric nach eigenen Aussagen ein hohes Augenmerk auf die Anwenderfreundlichkeit. So ließ sich die Systemintegration deutlich vereinfachen. Der IGBT lässt sich hervorragend über die Spannung zwischen Gate und Emitter steuern. Die benötigte Treiberschaltung regelt die Schaltflanken über die Anpassung des Gate-Widerstand. Der Hersteller konnte den Optimierungsaufwand minimieren, weil sich die gesuchte Flankensteilheit über die Auswahl des Gate-Widerstandes noch leichter finden lässt, das Schaltverhalten sanfter ausfällt und es beim Abschaltvorgang zu keinen Oszillationen mehr kommt. Dies gilt auch unter extrem schlechten Bedingungen mit einer Streuinduktivität von 300 Nanohenry im Hauptstromkreis bei einem Nennstrom  $I_c$  von 150 Ampere, einer Zwischenkreisspannung von 900 Volt und Umgebungstemperatur von 25 Grad Celsius. Die Gatespannung schaltete zwischen plus 15 und minus 15 Volt. Bedingt durch die vorhandene Verdrahtungsinduktivität kommt es beim Abschalten zu Schaltüberspannungen. Mit der V-Serie ist diese Überspannung verringert und durch einen internen Dynamic-Clamping-Effect begrenzt worden.

### Elektromagnetische Verträglichkeit verbessern

Durch die extrem rechteckförmigen Pulse, mit denen die Leistungselektronik bis zu einer Frequenz von 20 Kilohertz arbeitet, sind Oberschwingungen unvermeidbar. Entsprechende Filter sind kostenintensiv und benötigen zusätzlichen Platz. Das heißt: In der Anwendung muss sich ein Kompromiss finden lassen. Darüber hinaus kommt es beim Abschalten zu kurzen Überspannungen – bedingt durch die vorhandenen Verdrahtungsinduktivitäten. Das

### Zuverlässigkeit steigern

Last, but not least: Fuji Electric konnte eine deutliche Steigerung der Zuverlässigkeit trotz umweltfreundlichem, bleifreiem Lot erzielen. Erreicht wurde das durch Aufbringen von Kupferfilmen mit einer Dicke von 0,25 bis 0,4 Millimeter auf der Ober- und Unterseite der Isolationskeramik. Diese dienen auf der oberen Seite als Lötfelder, um die Chips aufzubringen und die innere Verschaltung zu realisieren. Auf der Unterseite gibt es ein ganzflächiges Feld, um die Keramik mit der Kupferbodenplatte verlöten zu können. Die Lötbereiche können altern oder werden durch die thermischen Längenausdehnungen der verwendeten Materialien, wie Silizium, Kupfer und Keramik, mechanisch so beansprucht, dass oft Mikrorisse entstehen. Dadurch wiederum verschlechtert sich die Abwärmefähigkeit des Moduls. Um vergleichbare Aussagen über die Langlebigkeit und Zuverlässigkeit machen zu können, nutzt das Unternehmen stark beschleunigte Alterungstests in Form von thermischer Wechselbeanspruchung. Den Extremfall stellt ein schneller Temperaturwechsel zwischen minus 40 bis plus 125 Grad Celsius innerhalb von zweieinhalb Stunden dar. Fuji Electric ist es gelungen, ein Lötverfahren zu entwickeln, bei dem das Lot nach 300 Temperaturzyklen in der Röntgenuntersuchung keine Verschlechterung zeigt.

### Schlussfolgerungen ziehen

Die V-Serie, sechste IGBT-Generation, bietet in Kombinationen mit Designkriterien ein echtes Plus in Sachen Energieeffizienz. Die Steigerung der Stromdichte um bis zu 100 Prozent auf Modulebene beim PIM wird auf Stromrichterebene zu kleinen, um bis zu 25 Prozent kostengünstigeren Leistungsendstufen führen, ist sich der Hersteller sicher. Mit ihrer Zuverlässigkeit ergeben sich aus Qualitätsbetrachtungen und damit vor allem vom Standpunkt der Wirtschaftlichkeit neue Möglichkeiten. (eck) ■



**Der Autor:** Peter Dietrich ist Application Engineer bei Fuji Electric Device Technology in Offenbach am Main