

Möglichkeiten der Realisierung und Vorteile eines bidirektional sperrfähigen IGBT's

M. Netzel ⁽¹⁾, R. Herzer ⁽²⁾, R. Siemieniec ⁽¹⁾, D. Schipanski ⁽¹⁾
Technische Universität Ilmenau ⁽¹⁾
SEMIKRON Elektronik GmbH ⁽²⁾

1. Einleitung

Bisher werden IGBT's nahezu ausschließlich an Gleichspannungszwischenkreisen betrieben. Der Einsatz in Kommutierungskreisen mit eingprägten Wechselspannungen wird durch die fehlende bidirektionale Sperrfähigkeit der IGBT's verhindert.

In mehreren Veröffentlichungen, die sich mit Applikationen für Leistungsbaulemente befassen, wird ein robustes bidirektionales Bauelement benötigt [1,2,3,4]. Der Einsatzbereich dieser bidirektionalen Bauelemente kann in Stromwechselrichtern sowie in netzgelöschten Stromrichtern erfolgen. Auch für den weiten Bereich der Stromrichter mit AC-Link, wie den USV-Systemen, der Batterieladetechnik und für Schaltnetzteile könnten diese Strukturen eine Senkung der Verluste und eine Einsparung von Bauelementen bewirken.

Stellvertretend für die genannten Applikationen ist eine Schaltung aus [1] in Abb. 1 dargestellt. Diese erlaubt die Erzeugung einer Netz-Wechselspannung aus einer Batterie wie auch das Laden der Batterie aus dem Netz. Die notwendige bidirektionale Sperrfähigkeit der Schalter S5 bis S8 wird durch die antiserielle Anordnung der IGBT und Hochspannungsdioden (mit einem Stern gekennzeichnet) erreicht, die Dioden ermöglichen auch den Stromfluß.

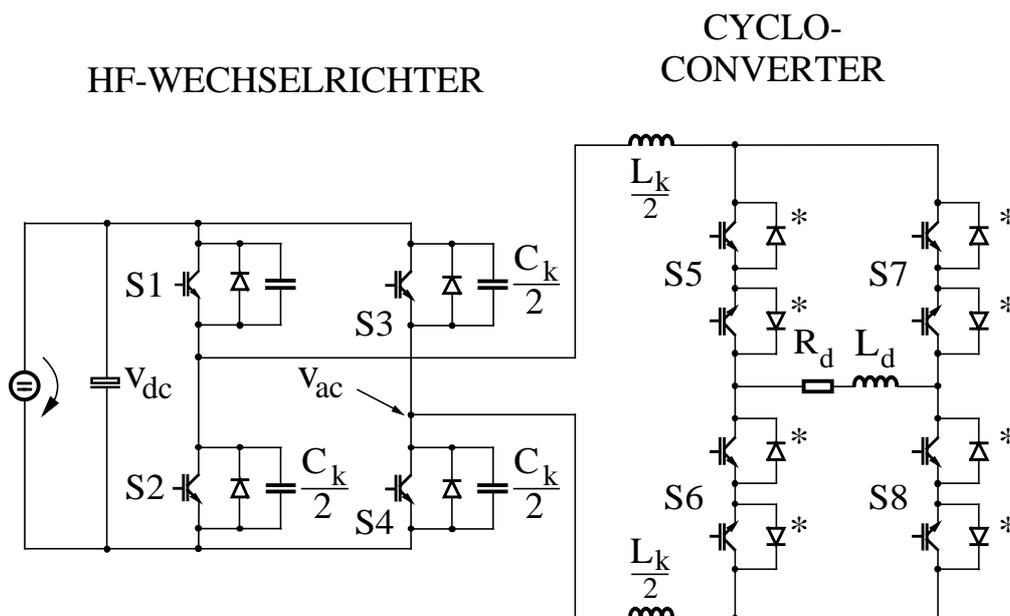


Abb. 1: Applikation für bidirektionale IGBT's



Abb. 2: Chiprand eines NPT-IGBT's

2. Bisherige Lösungen

Die bisher in der Literatur vorgestellten Lösungen beruhen auf hochkomplizierten Technologien.

So wird von *Baliga* in [5] eine Strukturierung der Wafer auf der Vorder- und Rückseite vorgeschlagen. Damit entstehen beiderseitig identische IGBT-Strukturen, die bidirektional sowohl im Sperrfall wie auch im Durchlaßfall betrieben werden können. Durch die beiderseitige Strukturierung wird aber die Kühlung sehr problematisch. Die herkömmliche Montagetechnik, wie sie in Abb. 2 dargestellt ist, kann für diese Chips nicht angewendet werden. Wie auch immer alternativ die Montage erfolgen wird, z.B. getrennte Druckkontaktierung oder Folienkontaktierung, es wird Gebiete des Chips geben, z.B. die Mindestabstände zwischen Gate- und Emitterkontakt oder die Randstruktur, an denen die Kontaktierung unterbrochen werden muß. Damit ist eine gute Wärmeableitung zum Kühlkörper nicht mehr gegeben. Dies wirkt sich negativ auf die Zuverlässigkeit und die Langzeitstabilität der Bauelemente aus.

In [6] wird von *Dolny* ein bidirektionaler MOSFET vorgestellt, dessen Aufbau auch prinzipiell auf IGBT's übertragbar ist. Vorteilhaft ist hier, das zumindest einseitig eine ganzflächige Kontaktierung und Wärmeableitung möglich ist. Der technologische Aufwand zur Realisierung mit vier Epitaxieschichten und der darin vergrabenen MOS-Struktur ist allerdings noch höher als im vorangegangenen Beispiel.

Daher erscheint es aus heutiger Sicht wirtschaftlich wie auch technologisch sinnvoller, anstelle dieses bidirektionalen Bauelementes zwei antiparallele IGBT's einzusetzen. Wünschenswert wären dafür aber IGBT's, die bidirektional sperren können.

In Abb. 1 können dann S5 bis S8 durch antiparallel geschaltete, symmetrisch sperrfähige IGBT's ersetzt werden. Damit entfallen die mit einem Stern gekennzeichneten Hochspannungsdioden, weiterhin sinkt die Flußspannung von S5 bis S8 um den Betrag der Diodenflußspannung. Insgesamt werden dadurch die Gesamtverluste gesenkt und eine Einsparung von Bauelementen erreicht.

Auch der Einsatz von IGBT's in Stromwechselrichtern wird erst durch die bidirektionale Sperrfähigkeit möglich. Gegenüber den hier bisher verwendeten Thyristoren erlauben bidirektional sperrfähige IGBT's einen gepulsten Betrieb mit hohen Frequenzen. Damit werden neuartige Schaltungskonzepte möglich, deren Entwicklung erst am Anfang steht.

3. Gestaltung bidirektional sperrfähiger IGBT's

Moderne PT-IGBT's mit Bufferschicht sind aufgrund der geringen Volumensperrfähigkeit des rückseitigen pn-Übergangs überhaupt nicht für bidirektionales Sperrvermögen konstruierbar. Der Rückseiten-pn-Übergang von NPT-IGBT's weist jedoch eine hohe Volumensperrfähigkeit auf und wäre von dieser Voraussetzung prinzipiell für die Realisierung eines rückwärts sperrfähigen IGBT's geeignet. Der Rückseitenübergang grenzt am Chiprand direkt an die Sägekante. Durch den fehlenden Randabschluß und die ungeschützte Oberfläche der Chipkante kann

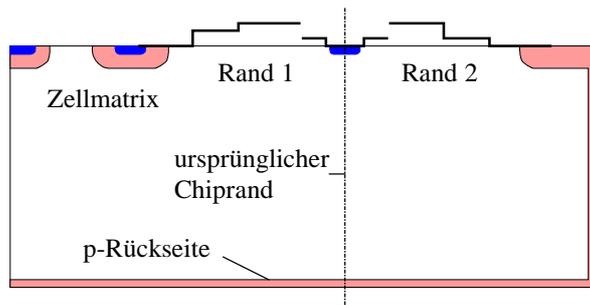


Abb. 3: Prinzip eines bidirektional sperrenden IGBT's

die theoretische Volumensperrfähigkeit nicht zum Tragen kommen (Abb. 2). Ein Randabschluß auf der Rückseite ist, wie bereits für das Beispiel aus [5] erläutert, nicht sinnvoll. Verlagert man den Randabschluß des rückseitigen Übergangs jedoch auf die Oberseite, könnte dieser zusammen mit der Strukturierung der Zellen und der Randpassivierung für das Vorwärtssperrvermögen erzeugt werden.

In Abb. 3 ist die Prinzipdarstellung einer solchen bidirektional sperrfähigen Struktur gezeigt. Gegenüber einem normalen IGBT-Chip wird eine zweite, horizontal gespiegelte Randstruktur eingefügt. Gleichzeitig wird dafür gesorgt, daß entlang der Sägekante kein Spannungsabfall auftritt und damit die Raumladungszone (im Rückwärtssperrfall) an die Oberfläche gedrängt wird. Der zweite Randabschluß verhindert dann einen frühzeitigen Oberflächendurchbruch auf der Chipoberseite.

Die Verlagerung der Raumladungszone an die Chipoberfläche kann z.B. durch eine am Chiprand eingebrachte flache p-Dotierung erreicht werden. Den gleichen Zweck würde eine Metallisierung der Sägekante (eventuell auf dünnem Isolator) erfüllen.

Die zusätzliche Dotierung kann nach dem Chipsägen mittels Vorbelegung und Diffusion bei niedriger Temperatur ($< 400\text{ °C}$) eingebracht werden. Die ebenfalls mögliche Randmetallisierung kann mittels Sputterprozessen oder auch durch Hochziehen des Lotes bis zur Chipoberkante erreicht werden.

Die zweite Randstruktur kann zunächst identisch der ersten Struktur sein. Für maximales Sperrvermögen muß unter Umständen eine Modifikation des Kanalstopperbereiches dieser Randstruktur erfolgen, da die zweite Randstruktur im Vergleich zur Struktur für die Vorwärtssperrfähigkeit etwas stärker im kanalstoppernahen Bereich belastet wird.

Abhängig vom jeweiligen Aufbau der Randstruktur ist es auch möglich, beide Randstrukturen zu einer kompakten Einheit zu verbinden und damit die Baulänge zu verringern. So ist zum Beispiel für die Feldplattenrandstruktur in Abb. 3 der Kanalstopper einschließlich Kanalstopperfeldplatten entbehrlich. Im Fall von Feldring-Randpassivierungen kann beispielsweise ebenfalls eine Verschmelzung erfolgen. Damit wirken ein Teil der Feldringe sowohl im Vorwärts- wie auch im Rückwärtssperrfall, was insgesamt zu einer Einsparung an Feldringen führt. Die Aufzählung weiterer Modifikationsmöglichkeiten soll hier nicht fortgesetzt werden, Angaben dazu sind in [7] zu finden.

Dieser bidirektional sperrende IGBT-Chip kann fast unverändert mit der gleichen Montagetechnik wie bisher aufgebaut werden. Damit bleibt die gute Wärmeableitung vollständig erhalten. Das vorgestellte Prinzip eignet sich für alle bekannten Randpassivierungen. Insbesondere bei größeren Chips dürften die Vorteile eines bidirektional sperrfähigen IGBT's den höheren Flächenbedarf aufgrund der größeren Randstruktur rechtfertigen.

Eine bereits für den Vorwärtssperrfall erprobte neunstufige Feldringrandstruktur wurde entsprechend dem Prinzip von Abb. 3 ohne Änderung der Geometrie umgesetzt und berechnet. Die p-Dotierung am Chiprand weist eine Eindringtiefe von nur 300 nm auf. Damit werden

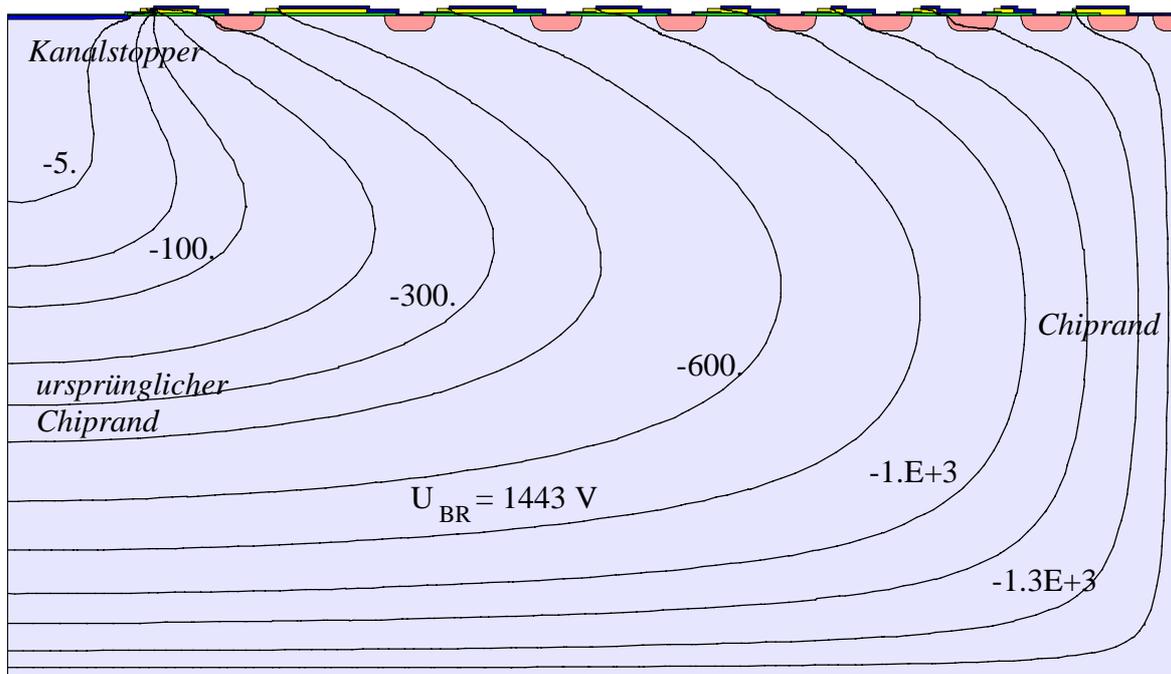


Abb. 5: Potentialverlauf in einem bidirektional sperrfähigen IGBT bei negativer Kollektorspannung (neunstufige OFP-FLR-Struktur), nur Rand 2 dargestellt

auch die Injektionseigenschaften des Emitters nicht nachteilig verändert. Die Potentialverteilung kurz vor dem Durchbruch ist in Abb. 5 dargestellt. Die Randstruktur erreicht eine Sperrfähigkeit von 1443 V gegenüber 1509 V der vorwärts sperrenden Variante. Der Durchbruch erfolgt am Ende der Kanalstopperfeldplatte. Wie bereits erwähnt, könnte mit einer Entschärfung dieser Schwachstelle eine noch höhere Rückwärtssperrspannung erreicht werden.

In Abb. 4 ist zur Illustration des hier vorgestellten Prinzips eine weitere Variante vorgestellt. Dabei handelt es sich um eine mehrstufige Feldplattenrandstruktur für die 1200V-Spannungsklasse. Dargestellt ist der Potentialverlauf für beide Blockierrichtungen. Prinzipiell ist hier der Kanalstopper und seine Feldplatte entbehrlich, was zu einer deutlichen Verkürzung der gesamten Anordnung führt.

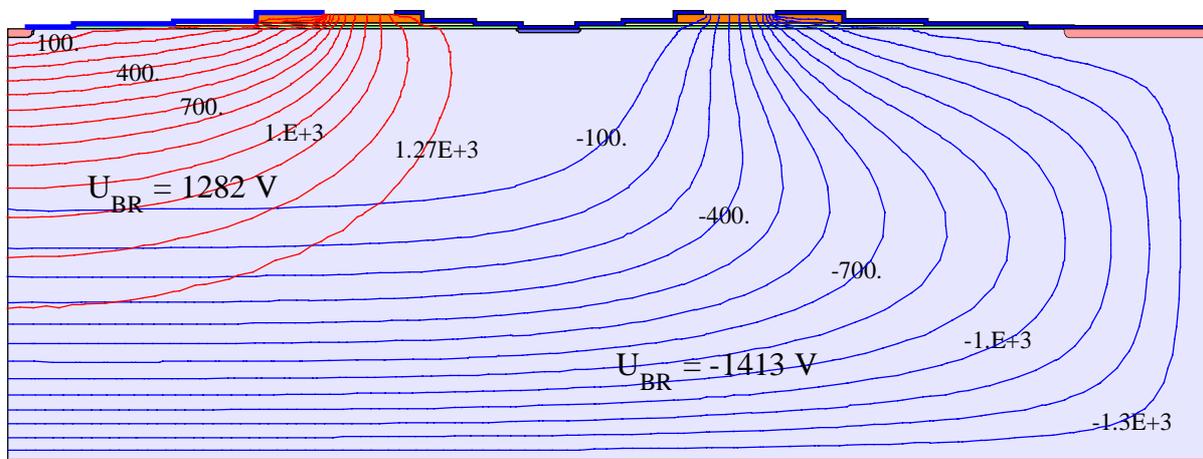


Abb. 4: Potentialverlauf in einem Feldplattenrandabschluß für bidirektionale Sperrfähigkeit eines 1200V-IGBT

4. Zusammenfassung

Es wurde ein IGBT vorgestellt, der durch eine zweite, gespiegelte Randstruktur an der Chipoberseite eine bidirektionale Sperrfähigkeit erreicht. Gegenüber den bisher vorgestellten hochkomplizierten Strukturen kann dieser IGBT fast unverändert mit derselben Technologie und Montagetechnik wie bisher hergestellt und aufgebaut werden. Damit können bidirektional sperrfähige IGBT's mit vertretbaren Kosten gefertigt werden. Weiterhin ist die Wärmeableitung gegenüber üblichen IGBT-Chips nicht verschlechtert.

Durch die bidirektionale Sperrfähigkeit erschließen sich dem IGBT neue Einsatzmöglichkeiten wie z.B. in gepulsten Stromrichtern oder in U-Umrichtern mit Wechselspannungszwischenkreis.

5. Literatur

- [1] S. Bernet, J. Petzold: "AC-Link Converters with MCTs and Reverse Blocking NPT-IGBTs", PESC 1995, Atlanta, USA, Proc. Vol. II, pp. 1258-1264
- [2] S. Bernet, T. Reimann, T. Taleb, J. Petzold: "Special Effects of IGBTs in ZCS and ZVS Applications", PCIM 1994, Nürnberg, Proc. Power Electronics, pp. 203-217
- [3] J. Petzold, S. Bernet, T. Reimann: "Comparison of Power Converters with DC and AC link", EPE 1993, Brighton, Proc. Vol. 3, pp. 189-195
- [4] I. Yamato, N. Tokunaga: "Power loss reduction techniques for three phase high frequency link DC-AC converters", PESC 1993, Seattle, USA, Proc. pp 663-668
- [5] B.J. Baliga: "Bidirectional Insulated-Gate Rectifier Structures and method of operation", European Patent No. 0111 804
- [6] G.M. Dolny: "Bidirectional Vertical Power MOS Device and Fabrication Method", PCT, WO 87/07432
- [7] M. Netzel, R. Herzer: "Bidirektional sperrendes vertikales Leistungsbauerelement", zur Patenterteilung eingereicht, 1995, 1996

Dipl.-Ing. Mario Netzel
TU Ilmenau
Fak. ET/IT, BG Festkörperelektronik
PSF 10565
D-98684 Ilmenau, Germany

Phone: +49/3677/ 693225
FAX: +49/3677/ 693132
e-mail: Mario.Netzel@E-Technik.TU-Ilmenau.DE

http://merlin.e-technik.tu-ilmenau.de/FK/webpage/mos_lbe.html
<http://www.rz.tu-ilmenau.de/~webmast/>