



Whitepaper

Einblicke in die Siliziumkarbid (SiC) Halbleitertechnologie von Bosch

Bosch ist eines der führenden Halbleiterunternehmen für den Automobilbereich. Auf Basis des innovativen Materials Siliziumkarbid (SiC) gefertigte Leistungshalbleiter bietet Bosch als Bare Dies, Discretos, integriert in Leistungsmodulen sowie in umfassenden Elektrifizierungs- und Mobilitätslösungen an. Bosch hat mehr als 20 Jahre Erfahrung bei MOSFETs und SiC für den Automotive-Markt.

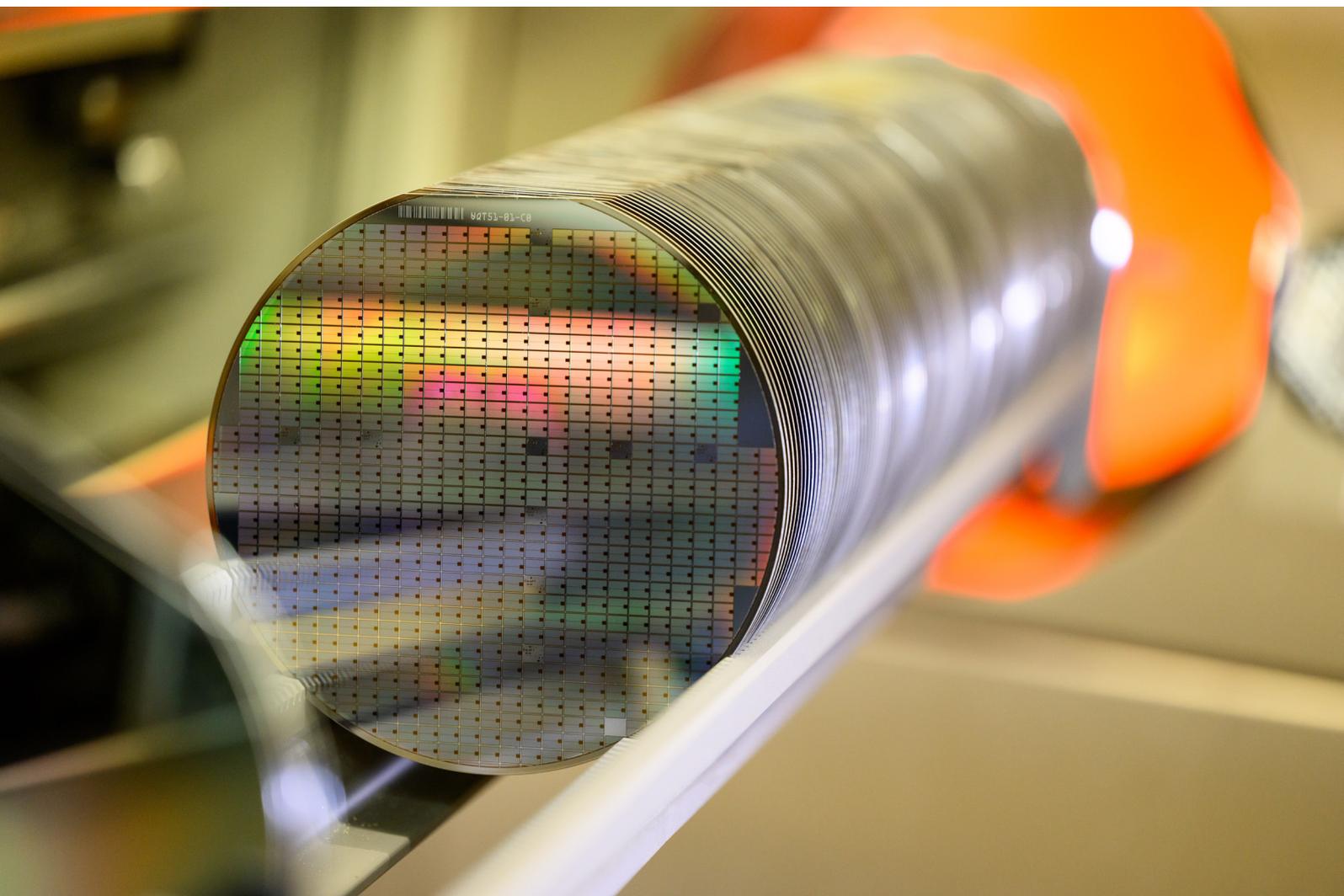
Inhalt

01	
Zusammenfassung	3
02	
Zusammenspiel von Automotive- und Halbleitererfahrung.....	4
03	
Globales Fertigungs- und Partnernetzwerk	6
04	
Roadmap und Technologie	8
SiC-Roadmap.....	8
Zweikanal-Trench-Konzept.....	9
Substrate.....	14
SiC für die Zukunft skalieren: Umstellung auf 200 mm Wafer	16
05	
SiC-Portfolio von Bosch	19

01

Zusammenfassung

Dieses Whitepaper befasst sich mit der Siliziumkarbid (SiC) Halbleitertechnologie von Bosch für Automobilanwendungen. Mit über 20 Jahren Erfahrung im Bereich SiC bietet Bosch ein umfassendes Portfolio, von Bare Dies bis hin zu integrierten Lösungen. Das Whitepaper behandelt die Zweikanal-Trench-MOSFET-Technologie von Bosch, Substratinnovationen sowie den Übergang zu 200 mm Wafern. Es beleuchtet außerdem die globalen Fertigungskapazitäten sowie das Partnernetzwerk von Bosch und unterstreicht das Engagement des Unternehmens für Innovation und eine sichere Lieferkette für die Zukunft der Automobiltechnologie.



02

Zusammenspiel von Automotive- und Halbleitererfahrung

Wie kein anderes Unternehmen bringt Bosch bei der Entwicklung von leistungsstarken elektronischen Systemen Automotive- und Halbleiter-Erfahrung zusammen. Dieses tiefgehende Systemverständnis im Automobilbereich ermöglicht es, Halbleiter maßgeschneidert für die jeweilige Zielanwendung zu entwickeln. Dadurch kann Bosch durch Innovationen mit Halbleitern im System überzeugen und über Skaleneffekte in der Industrialisierung einen Wettbewerbsvorteil schaffen. Mit mehr als 60 Jahren Erfahrung, einem globalen Fertigungs- und Partnernetzwerk sowie nachhaltigen Investitionen in Entwicklung und Produktion gestaltet Bosch heute die Mobilität der Zukunft und ist einer der führenden Halbleiterhersteller für den Automobilsektor.

Bosch ist so genannter „Integrated Device Manufacturer“ (IDM) – ein Unternehmen, das Halbleiter selbst entwickelt, produziert und vermarktet. Bis 2035 rechnet Bosch damit, dass durchschnittlich mehr als 40 eigene Chips in jedes neue Fahrzeug integriert sind.

Bosch entwickelt und fertigt unter anderem MEMS-Sensoren (Mikro-Elektro-Mechanische Systeme), ASICs und AsSoCs (anwen-

dungsspezifische integrierte Schaltungen und anwendungsspezifische System-on-Chips), und ist einer der wenigen Automobilzulieferer weltweit, der Leistungshalbleiter aus Siliziumkarbid (SiC) entwickelt und herstellt.

Bosch verfügt über mehr als 20 Jahre Erfahrung im Bereich automobiler MOSFETs und SiC. Die Entwicklung von SiC-Halbleitern begann 2001, der erste MOSFET Prototyp war 2011 verfügbar.

Seit 2019 hat Bosch sich breiter im externen Markt aufgestellt und bietet Leistungshalbleiter zudem als unabhängiger Zulieferer an: SiC-MOSFETS werden in Form von Bare Dies, Discretes und Leistungsmodulen in jeder Wertschöpfungsstufe direkt an Automobilhersteller, Tier-1- und Tier-2-Lieferanten sowie Distributoren vertrieben. Das Angebot von Bosch erstreckt sich von Standardlösungen bis hin zu maßgeschneiderten SiC-Halbleitern im Sonderlayout für individuelle Kundenprojekte. Damit ist Bosch einer der wenigen Automobilzulieferer weltweit, der bei Halbleitern und insbesondere bei SiC derart flexibel aufgestellt ist.

Bare Die: ein einzelner, unverpackter Chip, der in Hochleistungsanwendungen wie Leistungsmodulen für Wechselrichter verwendet wird.

Discrete: Chip im Moldgehäuse, der z. B. in On-Board-Ladegeräten oder in DC/DC-Wandlern direkt in Verbindung mit Leiterplatten verwendet wird.

Aktuell etablieren viele OEMs Kompetenzen in der vertikalen Integration und fragen verstärkt nach wettbewerbskompatiblen Einzelkomponenten. Hier unterstützt Bosch mit der Eigenfertigung von Halbleitern und der Expertise als Automotive-Zulieferer. Das Unternehmen greift dabei auf langjährige Erfahrungen zurück – bei Halbleiter-Prozessentwicklung in der Produktion oder bezüglich der Auslegung der Anforderungen an Chips für Antriebsstränge. Automobilhersteller, die ihre E/E-Architekturen selbst definieren, erhalten damit maximale Flexibilität und die Unterstützung eines Partners auf Augenhöhe.

Bosch und der chinesische Automobilmarkt: strategische Partnerschaft für die Zukunft

Als weltweit größter Fahrzeugmarkt spielt China neben dem europäischen Heimmarkt und dem amerikanischen Wachstumsmarkt eine wichtige Rolle für Bosch. Der chinesische Elektromobilitätsmarkt entwickelt

sich im weltweiten Vergleich am schnellsten und setzt Maßstäbe in der Elektrifizierung. Bis 2035 wird die Hälfte der Fahrzeuge auf chinesischen Straßen rein elektrisch betrieben sein. Bosch kooperiert bereits heute eng mit nahezu allen chinesischen Automobilherstellern sowie mit zahlreichen internationalen Autobauern, die in China tätig sind. So haben die SiC-Chips von Bosch einen hohen Anteil in der Lieferkette von BYD, dem weltgrößten Elektroautohersteller, und sind in High-End-Fahrzeugmodellen prominent vertreten. Bosch ist zudem Kernlieferant für SiC-Produkte von Great Wall Motors (GWM). Mit dem 2022 von GWM und Partnern gegründeten Gemeinschaftsunternehmen XinDong hat Bosch eine langfristige SiC-Liefervereinbarung geschlossen. Darüber hinaus kommt die 400 V eAchse mit SiC-Technologie von Bosch als Herzstück des elektrischen Antriebs im ersten Automodell von Xiaomi, dem SU7, zum Einsatz.

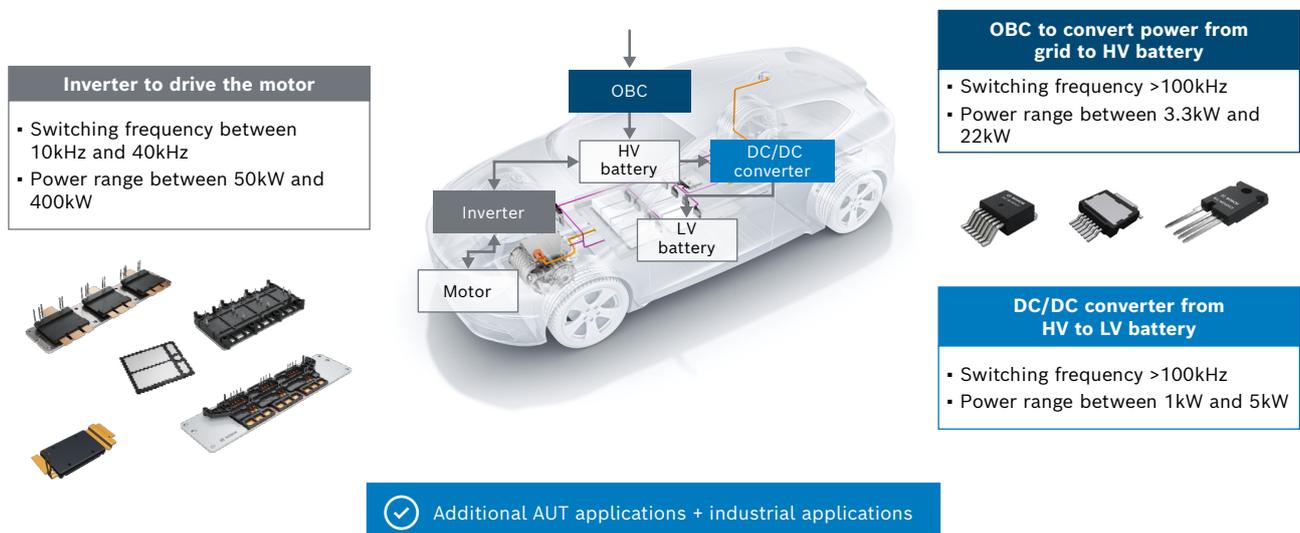


Abb. 1: Die wichtigsten SiC-Anwendungen in der Automobilindustrie auf einen Blick.

03

Globales Fertigungs- und Partnernetzwerk

Die strategische Ausrichtung von Bosch hinsichtlich Standorten und globalem Partnernetzwerk ist entscheidend für Produktionskapazitäten, Innovation und Kundennähe sowie die Stärkung der Lieferketten-sicherheit. Dank dieser geografischen und strategischen Ausrichtung kann Bosch, die globale Verfügbarkeit von Halbleitern verbessern, Innovationen vorantreiben und den lokalen Märkten schnellere und zuverlässigere Lösungen bieten.

Bosch verfügt über ein strategisch ausgelegtes globales Netzwerk an Produktions- und Teststandorten, um höchste Qualitätsstandards und eine zuverlässige Versorgung sicherzustellen. Neben den Waferfabs betreibt Bosch auch Testzentren.

Hier werden die Chips umfassenden Tests unterzogen, um ihre Leistungsfähigkeit, Zuverlässigkeit und Konformität mit den anspruchsvollen Automotive-Standards zu gewährleisten. Mit diesem weltweiten Halbleiternetzwerk aus Frontend- und Backend-Fertigungsstätten ist Bosch global gut aufgestellt.

Verstärkt wird das globale Halbleiternetzwerk von Bosch durch zahlreiche Silizium-Foundry-Partner und OSAT-Anbieter (Outsourced Semiconductor Assembly and Test). Die Zusammenarbeit mit vielen internationalen Partnern trägt dazu bei, die Lieferketten zu sichern und die weltweite Verfügbarkeit von Halbleitern zu verbessern.



Seit Ende 2021 fertigt Bosch in Reutlingen die Generation 1 seiner Siliziumkarbid-Chips auf 150 mm Wafern in Serie.



04 Roadmap und Technologie

SiC-Roadmap

Die Roadmaps für die SiC-Technologie von Bosch in den Klassen 750 V und 1.200 V fördern eine erfolgreiche, langfristige Marktpositionierung. Bosch verfolgt hier einen rasanten Innovationspfad und führt alle 2 bis 2,5 Jahre eine neue Generation ein. Jede Generation weist im Vergleich zur vorherigen eine deutliche Verbesserung der wichtigsten Leistungsindikatoren auf. Die Leistungsdichte des SiC MOSFET steigt mit jeder neuen Generation;

die Schalteigenschaften werden verbessert, während die Robustheit gleichbleibt oder sich sogar erhöht. Neben Verbesserungen in der Zellarchitektur der SiC Leistungs-MOSFETs werden auch neue Eigenschaften wie integrierte Sensorfunktionen oder eine alternative Leistungsmetallisierung hinzugefügt – immer mit dem Ziel, Kunden die höchste Nutzerfreundlichkeit und Flexibilität zu bieten.

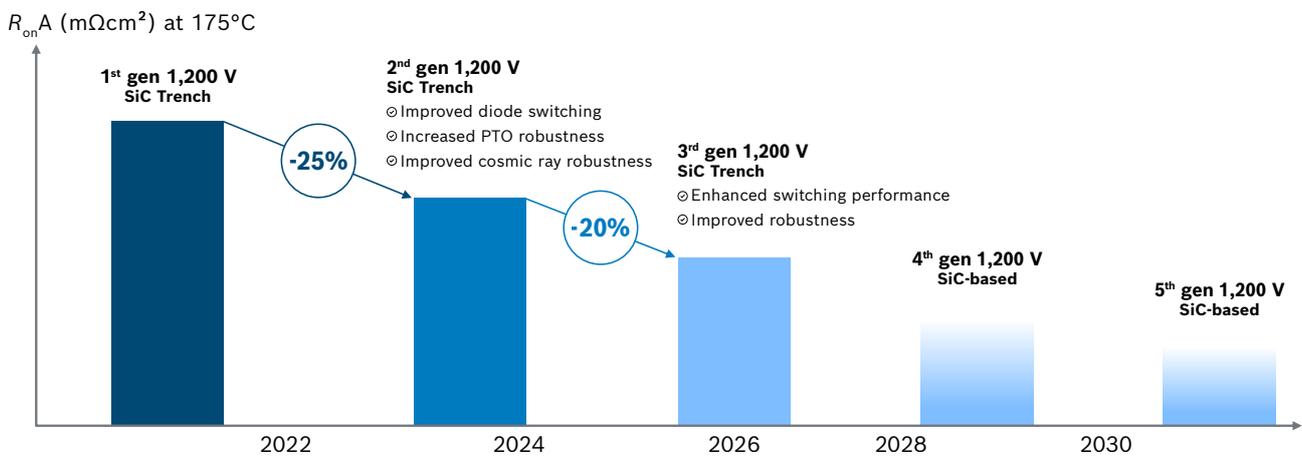


Abb. 2: Roadmap für die 1.200 V Klasse.

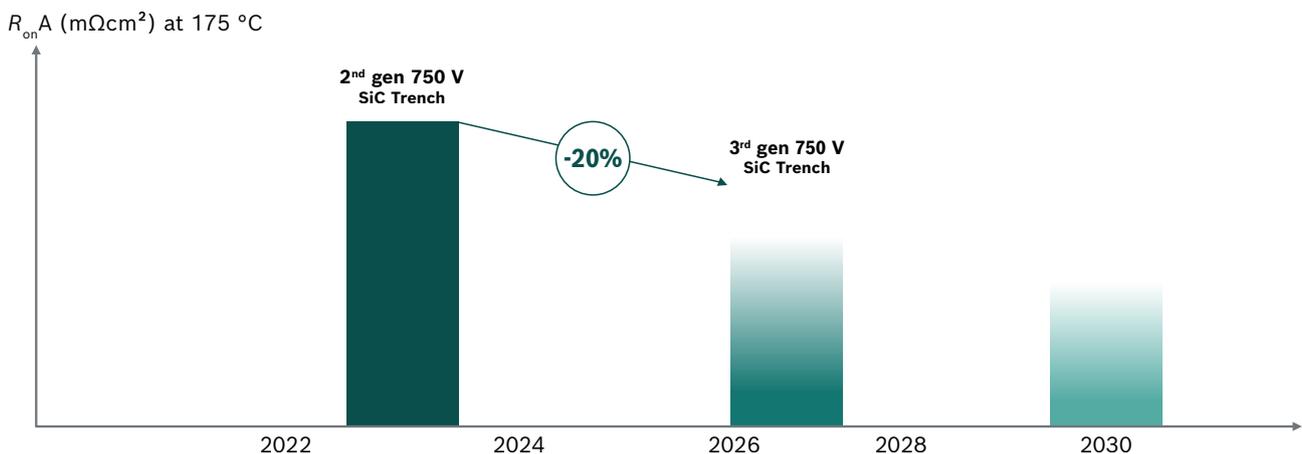
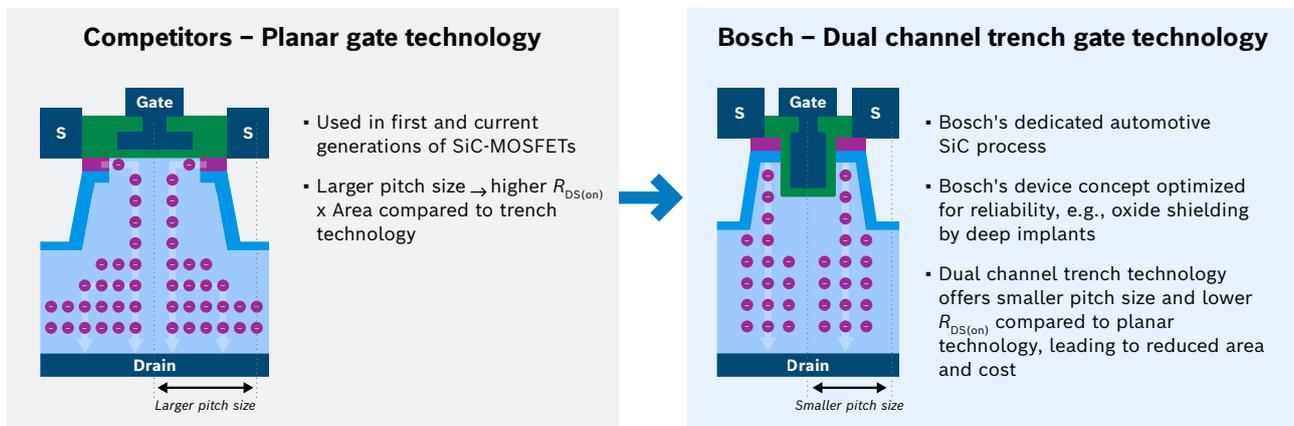


Abb. 3: Roadmap für die 750 V Klasse.

Zweikanal-Trench-Konzept



The first generation of 1,200 V SiC MOSFET devices from Bosch has one of the best performances on the market regarding $R_{DS(on)}$ *A and $R_{DS(on)}$ *Qg¹

1) Source: SiC Transistor Comparison report, Yole Group, 2024

Abb. 4: Bosch produziert derzeit in seiner 150 mm Wafer Fab in Reutlingen SiC MOSFETs in hohen Stückzahlen. Die Komponenten, die auf Boschs eigenem, fortschrittlichem Zweikanal-Trench-Gate MOSFET-Design und -Herstellungsverfahren basieren, bieten Vorteile gegenüber der herkömmlichen Planar-Gate-Technologie.

Drei Aspekte sind für moderne SiC MOSFETs in Leistungsanwendungen für Fahrzeuge von entscheidender Bedeutung:

- Leistung und Robustheit;
- Qualitätskontrolle des SiC-Substrats;
- fortschrittliche Fertigung.

Bei SiC MOSFETs gibt es zwei Hauptstrukturen: den Planar- und den Trench-Gate-MOSFET. Bei der Planarstruktur befindet sich der Gate-Komplex aus Gate-Elektrode und Gate-Oxid an der Oberfläche; der Strom fließt seitlich im Kanal des Transistors. Im Gegensatz dazu befindet sich der Gate-Komplex in einem Trench MOSFET in einer vertikalen Trench-Struktur; der Strom fließt vertikal durch den Kanal. Das Trench-Gate ermöglicht eine deutlich kleinere Einheitszelle (Pitch-Größe) und einen

geringeren Flächenbedarf des Leistungschips (erhöhte Leistungsdichte). Dies ist der entscheidende Vorteil von Trench-Architekturen gegenüber ihren planaren Pendanten. Um die Trench-Architektur auf maximale Leistung zu bringen, hat Bosch eine Zweikanal-Trench-Technologie entwickelt. Diese ermöglicht eine einzigartige Kombination aus hoher statischer und dynamischer Leistung mit gesteigerter Zuverlässigkeit und Robustheit für Anwendungen mit hohen Anforderungen an die Lebensdauer. Die Zweikanal-Technologie verwendet zwei Elektronenkanäle an den Seiten jedes Trenchs. Dadurch kann der Kanalwiderstand, der mit den wichtigsten Anteil des Gesamtwiderstands des Bauelements ausmacht, im Vergleich zu Einkanal-Architekturen halbiert werden.

Zweikanal-Trench-Technologie für längere Lebensdauer und Robustheit

Während der Leistungsvorteil der SiC-Trench-Technologien unbestritten ist, gilt es, ein besonderes Augenmerk auf Zuverlässigkeit und Robustheit zu legen. Bosch hat sich einer Null-Fehler-Strategie und einem zuverlässigkeitsorientierten Design verschrieben und gewährleistet so für seine SiC-Leistungskomponenten einen sicheren und stabilen Betrieb über die gesamte Lebensdauer des Elektrofahrzeugs.

Die Schwachstelle jeder MOSFET-Technologie ist das Gate-Oxid. Durch die Verwendung der Zweikanal-Trench-Technologie lässt sich das Gate-Oxid im ausgeschalteten Zustand des Transistors sehr effizient gegen hohe elektrische Felder abschirmen, während eine sorgfältige Steuerung des Gate-Oxid-Prozesses eine hohe Zuverlässigkeit im eingeschalteten Zustand gewähr-

leistet. Infolgedessen erhöht die Zweikanal-Trench-Technologie von Bosch die Lebensdauer der Leistungskomponenten weit über das typische Maß hinaus und lässt genügend Spielraum, um die niedrigsten FIT (Failure in Time) Raten zu erreichen. Darüber hinaus muss das in den SiC MOSFETs verwendete Gate-Oxid auch eine sehr geringe Schwellenspannungsdrift aufweisen. Durch diese minimale Verschiebung bleiben Schaltvorgänge sowie Leitungs- und Schaltverluste auch bei Anwendungen mit sehr hohen Anforderungen an die Lebensdauer im Designfenster des Leistungsmoduls. Die geringe Drift ermöglicht außerdem Moduldesigns mit insgesamt höherer Performance. Sie lässt sich durch die Verwendung negativer Gate-Spannungen zum Ausschalten erzielen, wie es typischerweise bei Traktionswechsellrichteranwendungen der Fall ist. Dies zeigt sowohl die hohe Zuverlässigkeit des Gate-Oxids als auch den klaren Fokus auf Automobilanwendungen.

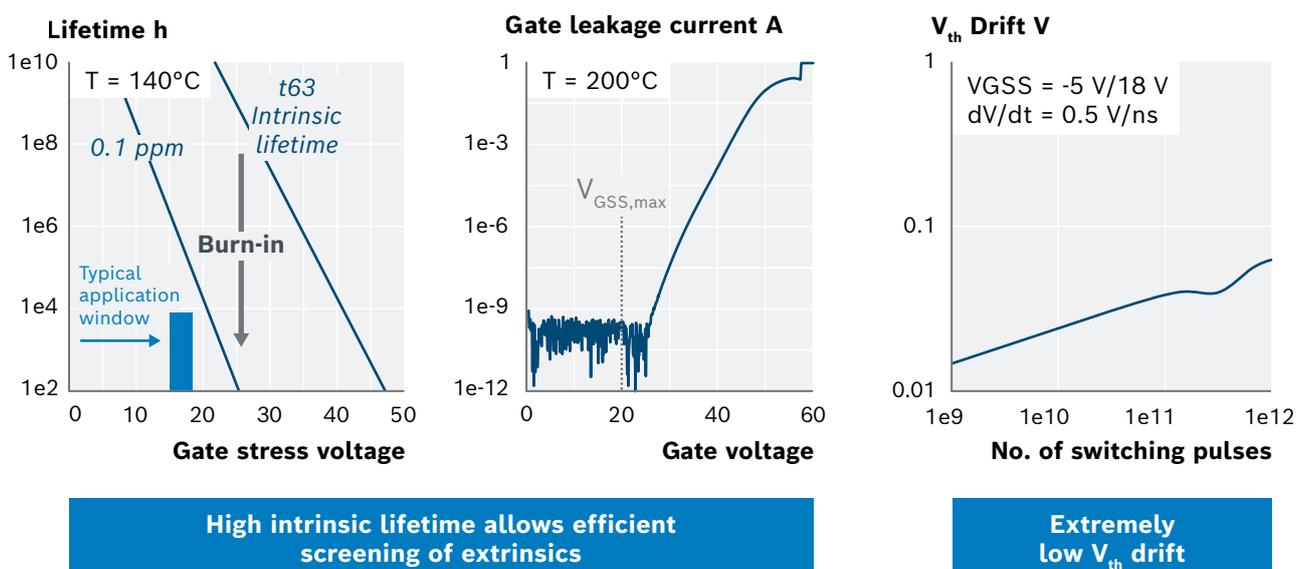


Abb. 5: Beispielhafte Lebensdauer, Leckstrom und Drift des Gate-Oxids in SiC MOSFETs von Bosch.

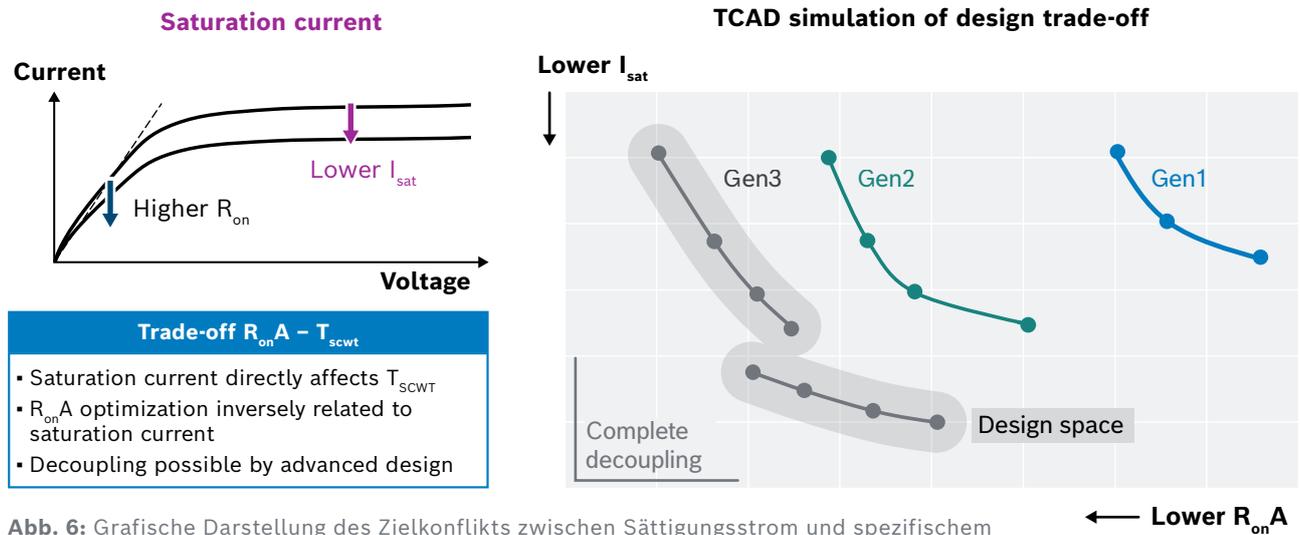


Abb. 6: Grafische Darstellung des Zielkonflikts zwischen Sättigungsstrom und spezifischem Einschaltwiderstand für SiC MOSFET Generationen von Bosch.

Optimiertes Gleichgewicht zwischen Leistung und Kurzschlussfestigkeit

Die Balance zwischen Performance und Robustheit ist immer ein Zielkonflikt. Bosch hat mit jeder Generation die Balance zwischen dem spezifischen Einschaltwiderstand (entspricht der Die-Größe bei einem bestimmten Strom) und dem Sättigungsstrom (entspricht einer verbesserten Kurzschlussfestigkeit) erheblich verbessert. Ein niedriger spezifischer Durchlasswiderstand bei niedrigem Sättigungsstrom ist für Traktionswechselrichteranwendungen in der Automobilindustrie wünschenswert. Damit lassen sich Leistungstransistoren realisieren, die nicht nur hohe Ströme auf kleinen Chipflächen verarbeiten können, sondern auch eine ausreichende Kurzschlussfestigkeit gewährleisten, um die anwendungsspezifischen Anforderungen zu erfüllen. Im Falle eines Kurzschlusses muss der SiC-Chip in der Lage sein, für eine bestimmte Zeit einen sehr hohen Strom (den Sättigungsstrom) zu verarbeiten. Diese Zeit wird als Kurzschlussfestigkeit bezeichnet. Um genügend Zeit zu haben, eine Zerstörung des Chips zu verhindern (Abschalten oder Verringern des Stroms),

muss die interne Kurzschlussfestigkeit des SiC-Chips länger sein als die Zeit, die benötigt wird, um das Kurzschlussereignis zu erkennen – zuzüglich der Reaktionszeit des Gate-Treibers sowie der zum Abschalten des Chips benötigten Zeit. Ein gutes Design eines SiC Leistungs-MOSFET gewährleistet die erforderliche Kurzschlussfestigkeit bei gleichzeitig niedrigem spezifischem Einschaltwiderstand. Ein Modul-Design mit niedriger Induktivität und der Einsatz fortschrittlicher Gate-Treiber-Lösungen (wie dedizierte SiC Gate-Treiber von Bosch) senken die notwendige intrinsische Kurzschlussfestigkeit des SiC MOSFETs durch kürzere Erkennungs- und Reaktionszeiten weiter. Dadurch ist es möglich, den Zielkonflikt in Richtung einer noch höheren Performance zu verschieben.

Als Systemlieferant ist Bosch in der einzigartigen Position, SiC MOSFETs gleichzeitig zu entwickeln, herzustellen und einzusetzen. Dadurch konnte Bosch seine Technologie optimal auf die jeweilige Anwendung abstimmen. Bei Traktionswechselrichtern für Fahrzeuge sorgt ein optimiertes Verhalten der internen Body-Diode für ein vorteilhaftes Reverse-Recovery-Verhalten über den gesamten Temperaturbereich und eine

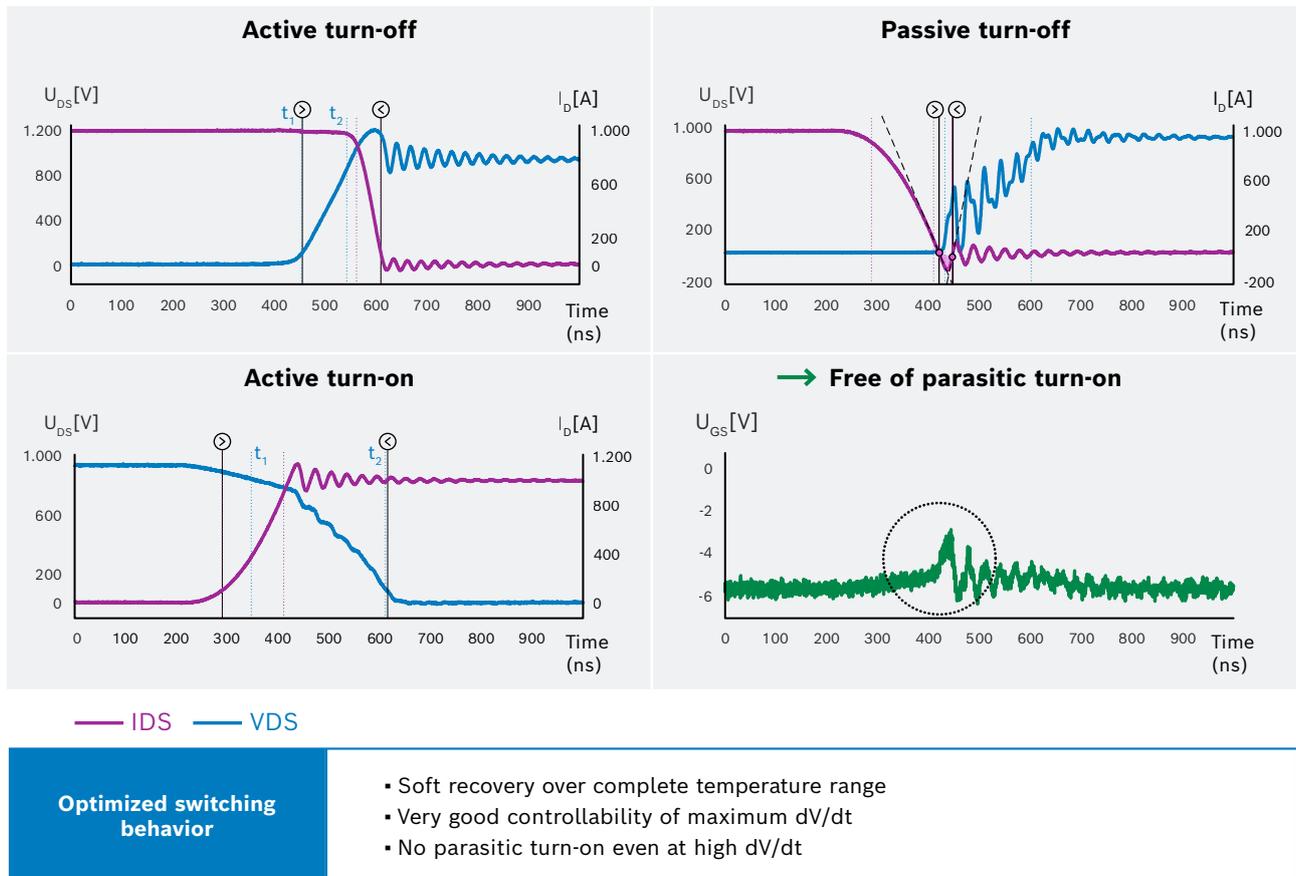


Abb. 7: Schaltkurven von Bosch Gen3 SiC MOSFET-Entwicklungsmustern im Modul (1000A/920V).

sehr gute Steuerbarkeit des maximalen dV/dt . Die neueste Generation der Zweikanal-Trench-Technologie von Bosch eliminiert den unerwünschten parasitären Einschalt-effekt selbst bei hohem dV/dt durch Unterdrückung der kapazitiven Kopplung.

Bosch kennt sich mit Automobilanwendungen bestens aus und lässt das umfangreiche Systemwissen in die Entwicklung von SiC MOSFETs einfließen. Die Definition der Parameter richtet sich nach den Anforderungen der Anwendung. So wird beispielsweise die Durchbruchspannung von SiC MOSFETs anhand der FIT-Rate definiert, die als Ursprung die kosmische Strahlung im Weltall hat. Diese erzeugt im Kontakt mit der Erdatmosphäre Neutronen, die bei Standard-Automobilanwendungen unvermeidbar sind und bei Hochspannungsgeräten zu einem Totalausfall führen

können. Solche Partikel können im ausgeschalteten Zustand durch die Komponenten dringen und diese beschädigen. Daher müssen diese eine hohe Widerstandsfähigkeit gegen solche Partikel und eine ausreichende Durchbruchspannung aufweisen. Da andere Ausfallarten so stark unterdrückt werden, ist der durch den Einfluss kosmischer Strahlung verursachte „Single Event Burn-Out“ entscheidend für die FIT-Rate. Dieser Ansatz gewährleistet eine niedrige FIT-Rate in anwendungsrelevanten Einsatzprofilen. Darüber hinaus lässt sich eine vorübergehende Überspannung, die die Nennspannung der Spannungs-klasse überschreitet, für ein verbessertes Schaltverhalten unter schnellen Schaltbedingungen nutzen. Auf diese Weise schaffen robuste Designs zusätzliche Vorteile in der Anwendung – ohne dabei nennenswert an Leistung zu verlieren.

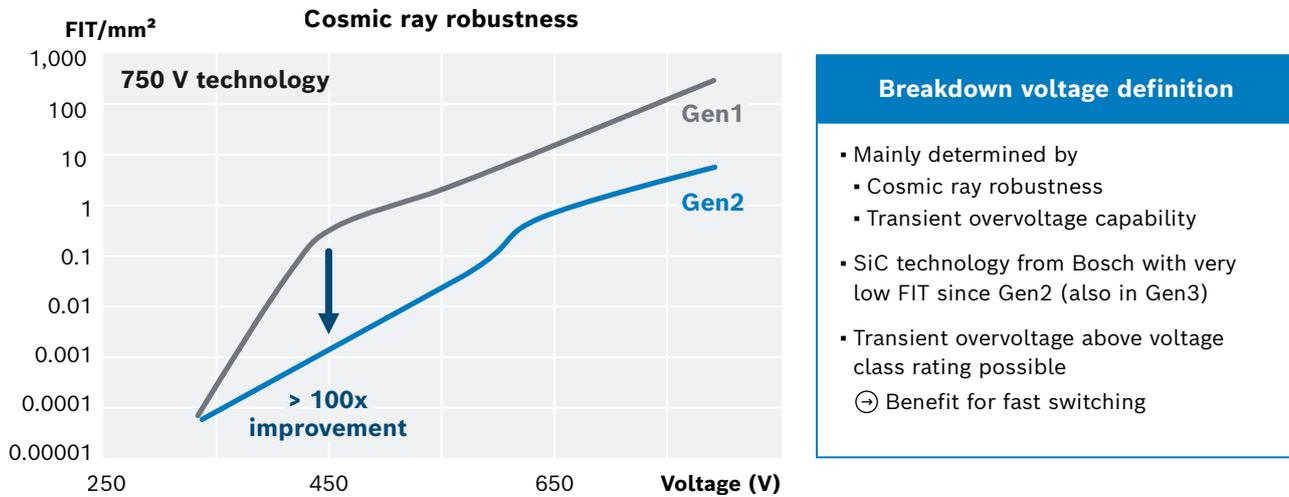


Abb. 8: Beispielhafte FIT-Rate von SiC MOSFETs von Bosch in Gen1- und Gen2-Architektur bei unterschiedlichen Drain-Spannungen bei kosmischer Strahlung.

Die Bewertung von SiC MOSFETs (750 V, 1.200 V) allein reicht jedoch nicht aus, um zu bestimmen, ob ein Chip für eine bestimmte Anwendung geeignet ist. Ein tiefgreifendes Verständnis der Ausfallarten ist unerlässlich, um die Robustheit sowohl

bei normalem Gebrauch als auch unter besonderen Betriebsbedingungen zu gewährleisten. Dieses Verständnis ermöglicht es, die Leistung zu maximieren, ohne die Robustheit zu beeinträchtigen.



Substrate

Das Substrat ist die Grundlage jedes SiC-Halbleiterbauelements. Dieses Rohmaterial hat erheblichen Einfluss auf die Chipausbeute und Gesamtkosten. Siliziumkarbidkristalle enthalten eine hohe Anzahl von Defekten, die je nach ihrer spezifischen Beschaffenheit für die Ausbeute kritisch sein können. Einige der Defekte können bei elektrischen Tests oder elektrischer Belastung zu schwerwiegenden Ausfällen führen. Ein tiefgreifendes Verständnis der Defekte im SiC-Rohmaterial, ihrer Erkennung und ihrer Auswirkungen auf die Bauelemente ist für eine erfolgreiche SiC-Chipproduktion sowie für die Gewährleistung eines hohen Maßes an Zuverlässigkeit und Robustheit von entscheidender Bedeutung. Bosch beobachtet und analysiert kontinuierlich die gesamte Lieferkette von SiC-Substraten – von den Rohmaterialien über Anlagen bis hin zu Verbrauchsmaterialien für das Kristallwachstum und das Wafering, also der Herstellung dünner Scheiben für die Halbleiterfertigung.

Umfassende Substratanalyse von Bosch

Bosch hat umfassende Einblicke in die Qualität und Reife der Substrate von fast allen Lieferanten weltweit. Zur Analyse der Parameter hat Bosch in seinen Einrichtungen spezielle Messgeräte installiert, wie etwa die sehr leistungsstarke Röntgenpografie (XRT) mit spezieller Software zur Analyse der Defektdichte von Substraten. Abbildung 9 zeigt beispielhafte XRT-Analyseergebnisse von 200 mm Material verschiedener Lieferanten. Zwei typische Defektypen, die Durchstoß-Schraubenversetzung (threading screw dislocation, TSD) und die Basalebeneversetzung (basal plane dislocation, BPD), werden für Materialien von mehr als zehn verschiedenen 200 mm Substratanbietern dargestellt und zeigen erhebliche Abweichungen auf. Dieses umfassende Wissen über die Substratqualität und die Reife der Lieferanten ermöglicht es Bosch, aus einer großen Anzahl potenzieller Anbieter die strategisch besten auszuwählen.

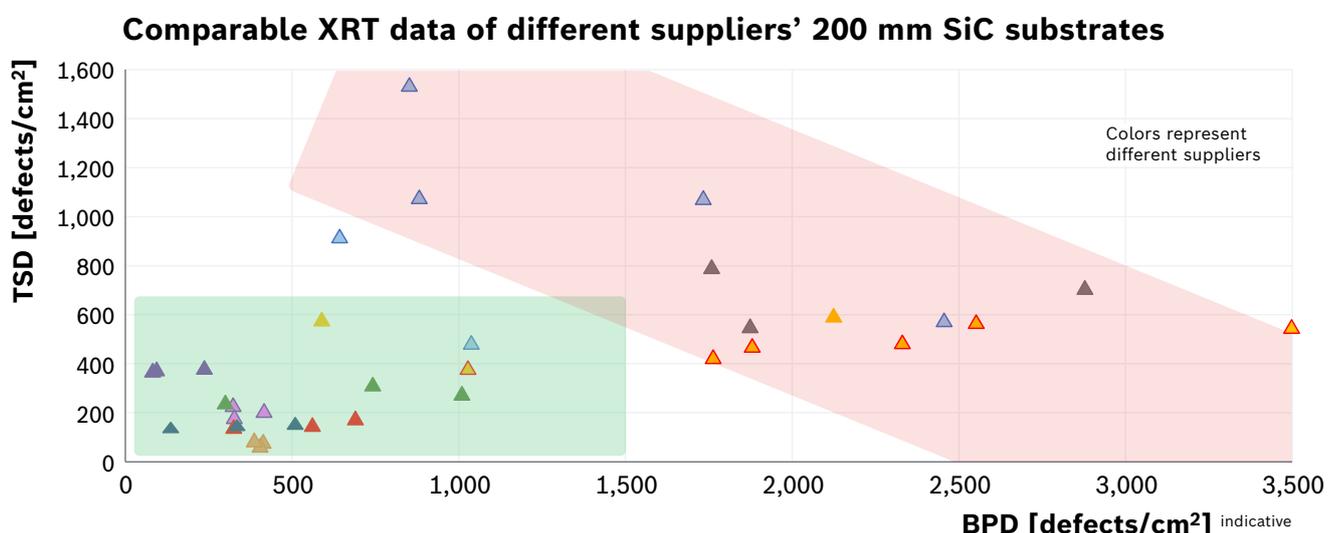
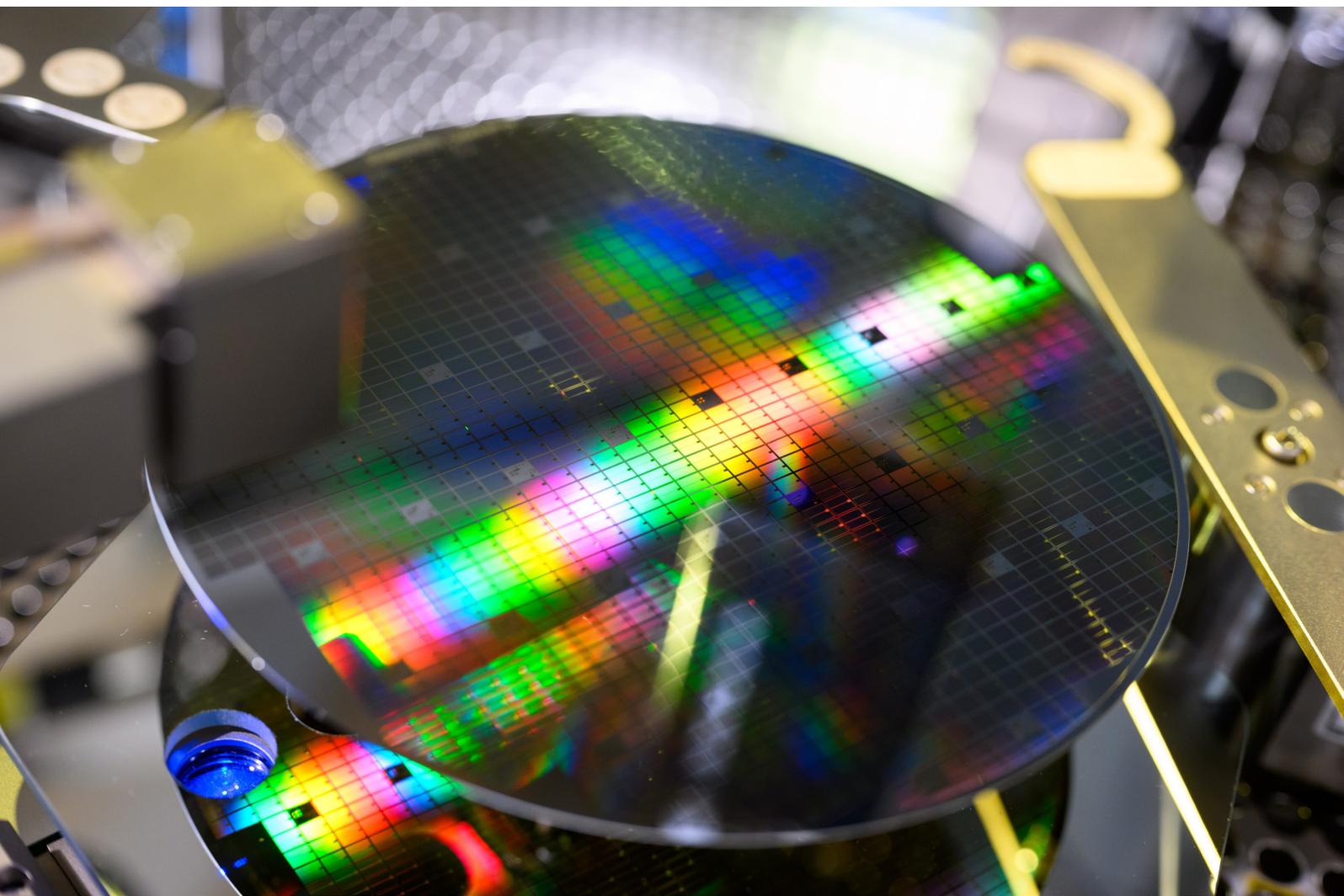


Abb. 9: Fehleranalyse von mehr als zehn verschiedenen 200 mm Lieferanten in den Jahren 2022 und 2023.

Um eine kontinuierliche Substratversorgung zu gewährleisten, hat Bosch ein diversifiziertes Lieferantenportfolio aufgebaut. Dieses basiert auf einer Multi-Sourcing- und Multi-Location-Strategie. Durch die Diversifizierung der Lieferantenbasis über mehrere Regionen hinweg reduziert sich das Risiko geopolitischer Spannungen und möglicher Handelshemmnisse erheblich. Seit 2024 wird im Bosch Werk in Reutlingen mit dem innovativen Lasersplitting-Verfahren ein Teil der benötigten dünnen 200 mm Substrate durch das Wafering von SiC Kristallen selbst hergestellt.



SiC für die Zukunft skalieren: Umstellung auf 200 mm Wafer

Die Umstellung der SiC-Produktionstechnologie von 150 mm auf 200 mm Wafer ist entscheidend, um die Kosten für SiC-Leistungschips zu senken und die Leistung der Bauelemente kontinuierlich zu verbessern. Die Zweikanal-SiC-Trench-Technologie von Bosch ermöglichte es dem Unternehmen, den ersten SiC-Trench MOSFET auf 200 mm Wafern herzustellen. Die ersten Muster wurden zur Kundenqualifizierung und -bewertung in einem in Serie produzierten Elektrofahrzeug genutzt. Dies unterstreicht die starke Position von Bosch als Vorreiter in der 200 mm SiC-Technologie und den hohen Grad an Prozesskontrolle in der SiC-Trench-Technologie.

Wie bereits erwähnt, ist die Qualitätskontrolle des Materials für einen erfolgreichen

Übergang zu größeren Wafern von entscheidender Bedeutung. Die Nutzung einer großen Bandbreite an Werkzeugen für die Fehlercharakterisierung auf Substrat- und Epitaxie-Ebene (epi) ermöglicht eine präzise Ertragsprognose. Schwerwiegende Defekte und damit potenziell fehlerhafte Chips lassen sich identifizieren, sodass die Qualität von Substrat und Epitaxie überwacht und frühzeitig bewertet werden kann. Durch diese Maßnahmen konnte Bosch eine 200 mm Substratqualität erreichen, die sogar die Qualität von 150 mm SiC-Substraten übertrifft. Folglich ermöglicht der Übergang zu 200 mm, den vollen Nutzen aus der größeren Anzahl von SiC-Chips pro Wafer zu ziehen.

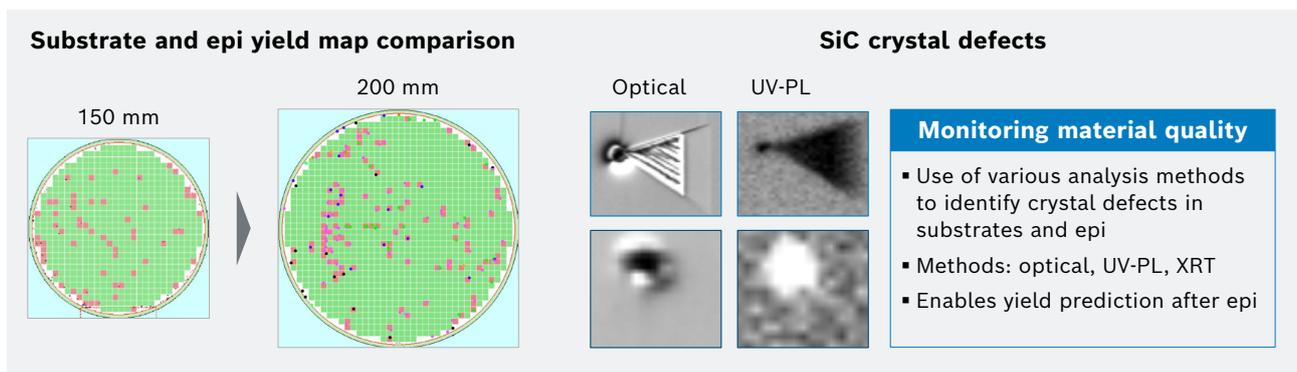
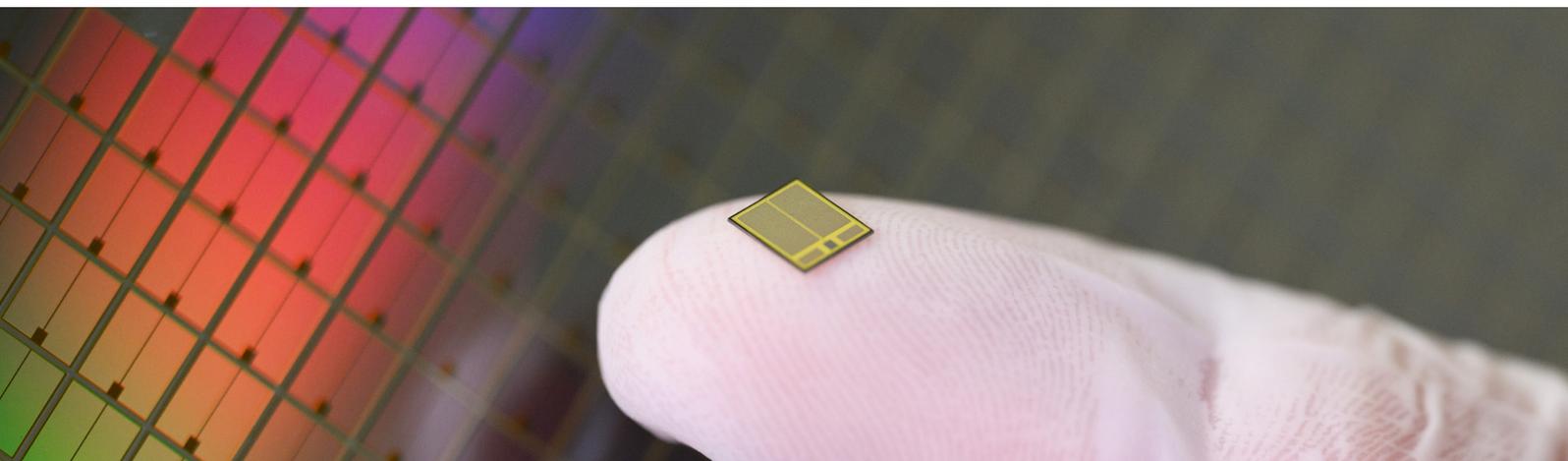


Abb. 10: Beispielhafte epitaktische Ausbeuteprognose nach Defektanalyse von 150 mm und 200 mm SiC-Wafern.



Prozessverbesserungen und fortschrittliche Chip-Designs

Abgesehen von einer größeren Anzahl guter Dies pro Wafer bietet der Übergang zur 200 mm Technologie auch Vorteile bei der Prozessverbesserung und dem Bauteil-design. Die Verwendung von höher entwickeltem 200 mm Equipment kann zu einer erheblichen Verbesserung der Prozessgleichmäßigkeit führen. Wie in Abbildung 11 am Beispiel eines Ätzprozesses für eine dicke Hartmaske dargestellt, wird die

Homogenität dieses Prozesses auf dem Wafer bei 200 mm erheblich verbessert. Dasselbe gilt für andere Schlüsselprozesse wie die Lithografie, die von einer besseren Ausrichtung sowie kleineren kritischen Abmessungen bei typischem 200 mm Equipment profitiert. Die verbesserten Prozessfähigkeiten ermöglichen aggressivere Chipdesigns mit engeren Toleranzen.

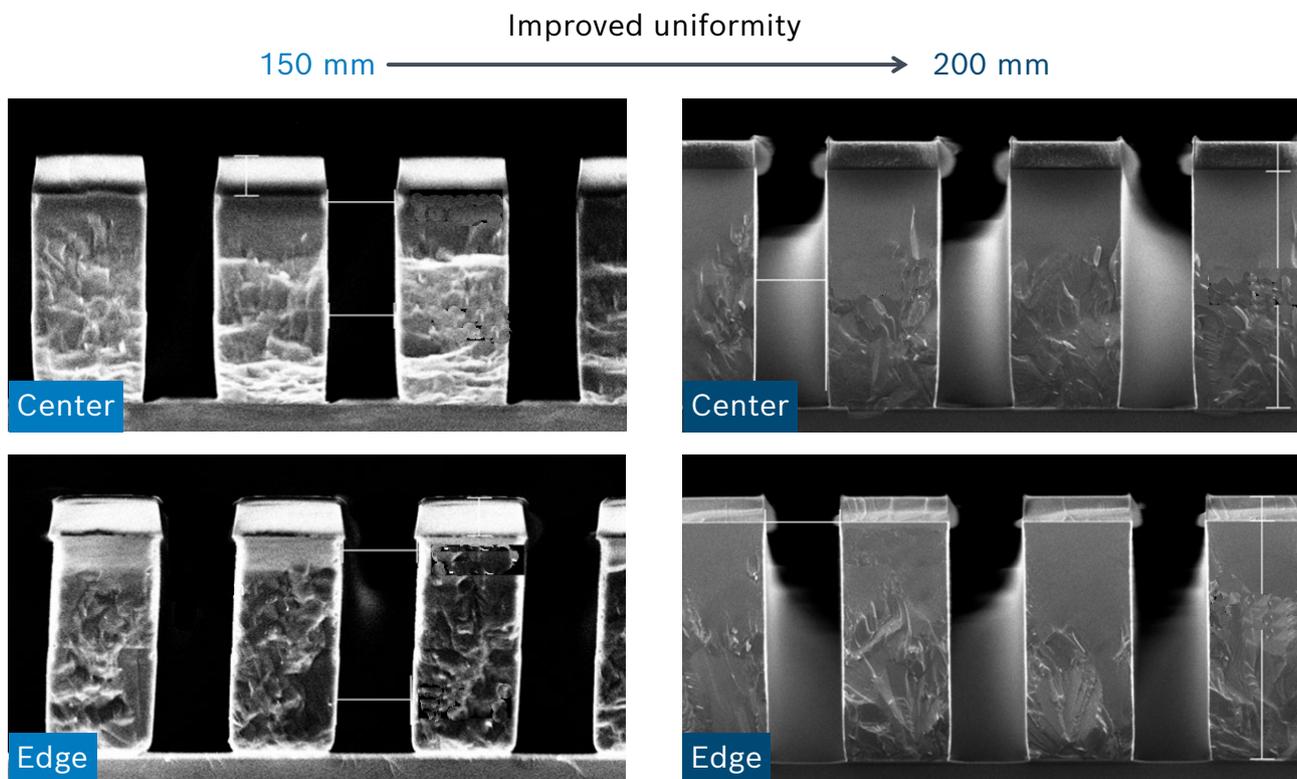
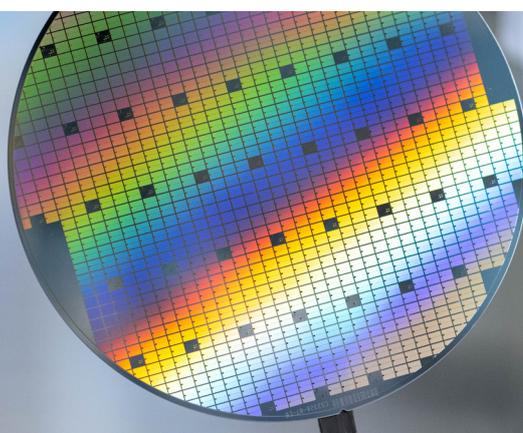


Abb. 11: Beispiel für die Gleichförmigkeit einer Hartmaske, die für die Ionenimplantation auf 150 mm und 200 mm SiC-Wafern verwendet wird.

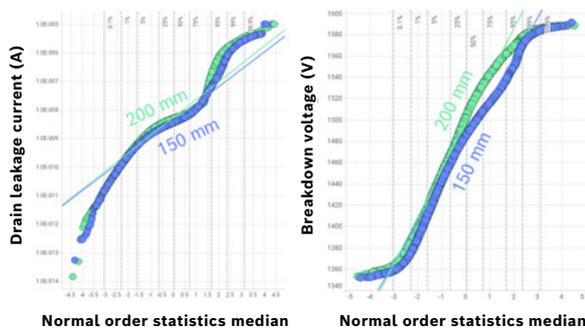


Erfolgreicher Prozessübergang

Die wichtigsten elektrischen Antriebsparameter sind der endgültige Beweis für einen erfolgreichen Prozessübergang von einer Wafergröße zur nächsten. Abbildung 12 zeigt einen Vergleich der Verteilung des Leckstroms für ein identisches SiC-Leistungstransistordesign, das auf 150 mm und 200 mm Wafern hergestellt wurde. Die sehr gute Übereinstimmung in den normalen Wahrscheinlichkeitsnetzen deutet auf eine sehr ähnliche Defektdichte des Wafers und des Epi-Materials hin. Bosch hat diesen hohen Übereinstimmungsgrad für alle wichtigen Parameter erreicht und

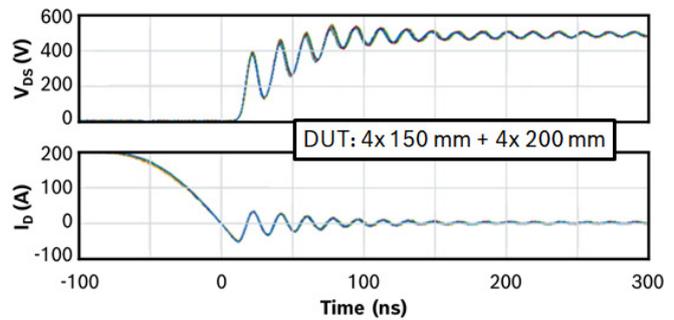
damit einen erfolgreichen Prozessübergang von 150 mm auf 200 mm SiC demonstriert. Der Vergleich der Schaltkurven (hier des passiven Ausschaltens) desselben SiC MOSFET-Designs von Bosch, das auf 150 mm bzw. 200 mm hergestellt wurde, zeigt keinen sichtbaren Unterschied zwischen den vier 150 mm Chips und den vier 200 mm Chips. Dies unterstreicht die erfolgreiche Prozessübertragung auf die größeren Wafer und beweist, dass die Grundlage für die Nutzung der oben genannten Vorteile aus verbesserten Prozessen gegeben ist.

Matching of static performance



Shown here: distribution of I_{DSS} and V_{BD}

Matching of dynamic performance



Shown here: passive switching

Abb. 12: Beispiel für einen Vergleich der Verteilung von Leckstrom, Durchbruchspannung und dynamischen Eigenschaften für ein identisches SiC-Leistungstransistordesign, das auf 150 mm und 200 mm Wafern hergestellt wurde.

05 SiC-Portfolio von Bosch

Bosch bietet maßgeschneiderte SiC-Lösungen für die Mobilitätsindustrie – Leistungs-MOSFETs und Leistungs-Module für verschiedene Anwendungen wie Inverter, DC/DC-Wandler oder Onboard-Charger. Bosch SiC MOSFETs sind sowohl als reiner Chip (Bare Die) als auch als Discretes in verschiedenen Standardverpackungen oder als Leistungsmodule erhältlich. Alle Produkte gibt es in den Spannungsklassen 1.200 V und 750 V.

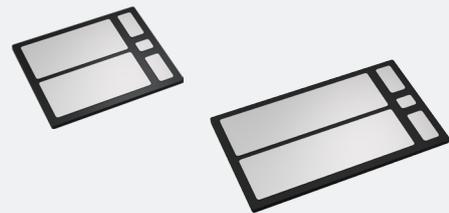
Bare Dies

Für Kunden, die eigene Designs in Leistungsmodulen integrieren möchten, bietet Bosch Bare Dies mit verschiedenen Layouts und Größen für maximale Flexibilität an. Bare Dies der Generation 2 mit der Spannungsklasse 1.200 V sind in den Varianten 8mOhm, 9mOhm, 11mOhm und 13mOhm verfügbar. Zudem sind höherohmige Bare Dies im Bereich von 22-50mOhm aus Generation 1 und 2 erhältlich.

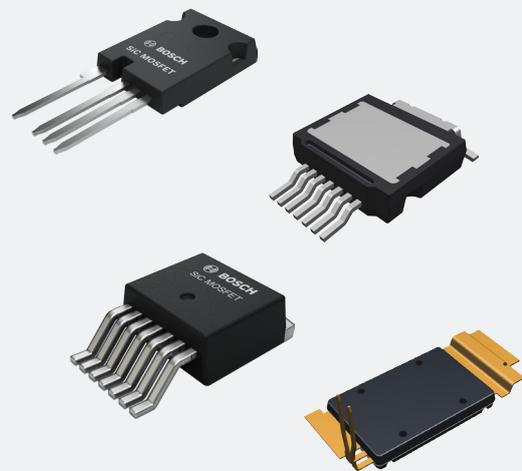
Für die 750 V Spannungsklasse stehen Bare Dies der Generation 2 mit 5mOhm und 6mOhm zur Verfügung. Zusätzlich gibt es höherohmige Varianten mit 13mOhm und 28mOhm.

Kunden können zwischen verschiedenen Metallisierungen und zusätzlichen Design-Elementen wählen. Auf Anfrage sind auch kundenspezifische Layouts möglich. Alle Bare Dies sind für eine maximale Temperatur von 175°C und 100 Stunden bei 200°C ausgelegt und basieren auf der AEC-Q101-Qualifikation.

SiC bare dies for inverters



SiC discretes for power conversion (e. g. DC/DC converter, on-board-charger)



SiC B6 modules on cooler

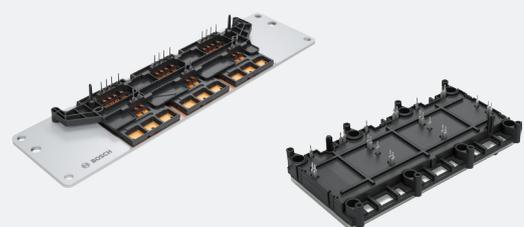


Abb. 13: Kunden von Bosch können aus einem breiten Portfolio an SiC MOSFETs auswählen.

Discretes

SiC MOSFET Discretes sind für die Anwendungen wie DC/DC-Wandler, Ladegeräten (Onboard-Charger) oder Inverter für kleinere Motoren optimiert. Sie sind in verschiedenen, marktkompatiblen Standardgehäusen erhältlich, die die Anforderungen der höheren Spannungsklasse berücksichtigen:

- TO-247-4L
- TO-263-7L
- HV-CPAK

Alle Gehäuse verfügen über einen Kelvin-Source-Anschluss für ein optimiertes Schalt-

verhalten und werden nach AEC-Q101 qualifiziert. Das Portfolio umfasst

- 1.200 V: Widerstandsbereiche von 22 bis 60mOhm
- 750 V: Widerstandsbereiche von 13mOhm und 28mOhm

Eine weitere Option ist die Discrete SiC Line (DSL), die für wesentlich höhere Ströme ausgelegt ist und schweißbare Leistungsanschlüsse besitzt. Die Grundfläche des Gehäuses ist marktkompatibel und für Inverterapplikationen optimiert.

Powermodule

Bosch SiC MOSFETs sind zusätzlich als B6-Leistungsmodul auf Kühler erhältlich. Um verschiedene Kundensysteme flexibel abzudecken, stehen unterschiedliche Optionen zur Auswahl. Alle Module sind auf AQG 324 ausgelegt.

Compact SiC Line (CSL) Modul

Das CSL-Modul ist ein Rahmenmodul auf PinFin-Kühler, das für eine einfache Integration beim Kunden optimiert ist. Es bietet:

- 1.200 V: 275A und 355A
- 750 V: 420A und 515A
- Schweißbare Leistungskontakte für eine niederinduktive Zwischenkreisbindung
- Kompakte Abmessungen von 158 x 84 mm²
- Optionale Schraubkontakte
- Sintertechnologie auf AMB und kupfergebundene MOSFETs für erhöhte Robustheit

PM6.1 Modul

Das PM6.1 ist ein Bosch-eigenes, für SiC optimiertes Design mit höchster Leistungsdichte und sehr kompaktem Layout.

Merkmale:

- Schweißkontakte für die Leistungsanschlüsse
- Erhältlich mit PinFin-Kühler oder geschlossenem Al-Kühler

- Doppelseitig gesinterte SiC MOSFETs
- Sandwichaufbau mit zwei keramischen Substraten für einen bondfreien Leistungspfad mit hoher Zuverlässigkeit
- 3D-Aufbau für hohe Symmetrie und geringe Schaltverluste

Zusätzlich zu diesen B6-Leistungsmodulen ist das DSL als Einzelschalter (siehe Discretes) für Inverterapplikationen verfügbar. Dieses bietet maximale Flexibilität für die Systemskalierung.

Das Portfolio enthält Leistungsklassen für 750 V und 1.200 V.

EG120: isolierter Gate-Treiber für SiC- oder IGBT-Leistungstransistoren

EG120 ist ein Gate-Treiber-IC für SiC- oder IGBT-Leistungstransistoren bis 1.200 V. Er wurde für Traktionswechselrichter in Fahrzeugen entwickelt und verfügt über eine optimierte Gate-Treibersteuerung, die Ungleichgewichte in der Last und Schaltverluste reduziert. Der Gate-Treiber-IC bietet galvanische Trennung, einstellbare Gate-Ströme, intelligente Profilauswahl, Zustandsüberwachung und AEC-Q104-Qualifikationen.

Entdecken Sie das SiC-Portfolio von Bosch:

<https://www.bosch-semiconductors.com/products/sic-power-devices>.

Gemeinschaftsprojekte – Partnerschaft für Fortschritt

[Mehr erfahren](#)



Important Projects of Common European Interest (IPCEI) – Semiconductors made in Europe

[Mehr erfahren](#)



Das Projekt IPCEI ME/CT wird gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages, vom Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg aufgrund eines Beschlusses des Landtages von Baden-Württemberg, vom Freistaat Sachsen aufgrund des vom Sächsischen Landtag beschlossenen Haushalts, vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie und aus Mitteln der Europäischen Union – NextGenerationEU.

Jetzt Kontakt aufnehmen

**Bosch Vertriebs-
niederlassungen >**

**Vertragshändler
weltweit >**

 Erfahren Sie mehr auf unserer Website
www.bosch-semiconductors.com

 Bosch Mobility auf LinkedIn
[www.linkedin.com/showcase/
bosch-mobility](http://www.linkedin.com/showcase/bosch-mobility)

Herausgeber

Robert Bosch GmbH
Robert-Bosch-Platz 1
70839 Gerlingen-Schillerhöhe
Deutschland