NACHHALTIGE TECHNOLOGIEN

WIDE BANDGAP

SCHLÜSSELTECHNOLOGIEN SILIZIUMKARBID UND GALLIUMNITRID

Bild: Texas Instruments

at.rs-online.com

Wide Bandgap

Schlüsseltechnologien Siliziumkarbid und Galliumnitrid

Der Prozess der Umwandlung von elektrischem Strom in Wechsel- und Gleichstrom-Pegel, um Anwendungen zum Beispiel in der Antriebstechnik oder in Netzteilen zu realisieren, hat sich im Laufe der Jahre stark verändert. Der Einsatz einer geschalteten Umwandlung - des „Switched-Modes"- gehört zu den einschneidendsten Veränderungen.

Switched-Mode-Techniken, die fast ausschließlich durch Halbleiterschalter realisiert werden, steigern die Effizienz der Leistungsumwandlung exponentiell. Aktuell steht eine große Auswahl an Leistungsschaltern für diesen Zweck zur Verfügung: Es sind IGBTs (Insulated-Gate Bipolar Transistors) und Silizium-MOSFETs sowie die sogenannten Wide-Bandgap-Bauelemente (breite Bandlücke), die auf Siliziumkarbid (SiC) und auf Galliumnitrid (GaN) basieren.

Was sind Wide-Bandgap-Halbleiter?

Ohne in die Tiefen von Kristallgitterstrukturen und Energieniveaus eines Halbleiters einzugehen, kann gesagt werden, dass das Wide-Bandgap-Modell beschreibt, wie Elektronen (Strom) in einem Halbleiter eines bestimmten Materials fließen. Es ist die Energie, die erforderlich ist, um ein Elektron der äußeren Atomhülle freizusetzen, damit es sich frei im Festkörper (z. B. Metall) bewegt. Oder anders gesagt: Es ist die Energiedifferenz zwischen dem oberen Valenzband und dem unteren Ende des Leitungsbandes in einem kristallinen Halbleiter. Tabelle 1 zeigt die Bandgap-Energie verschiedener Halbleitermaterialien.

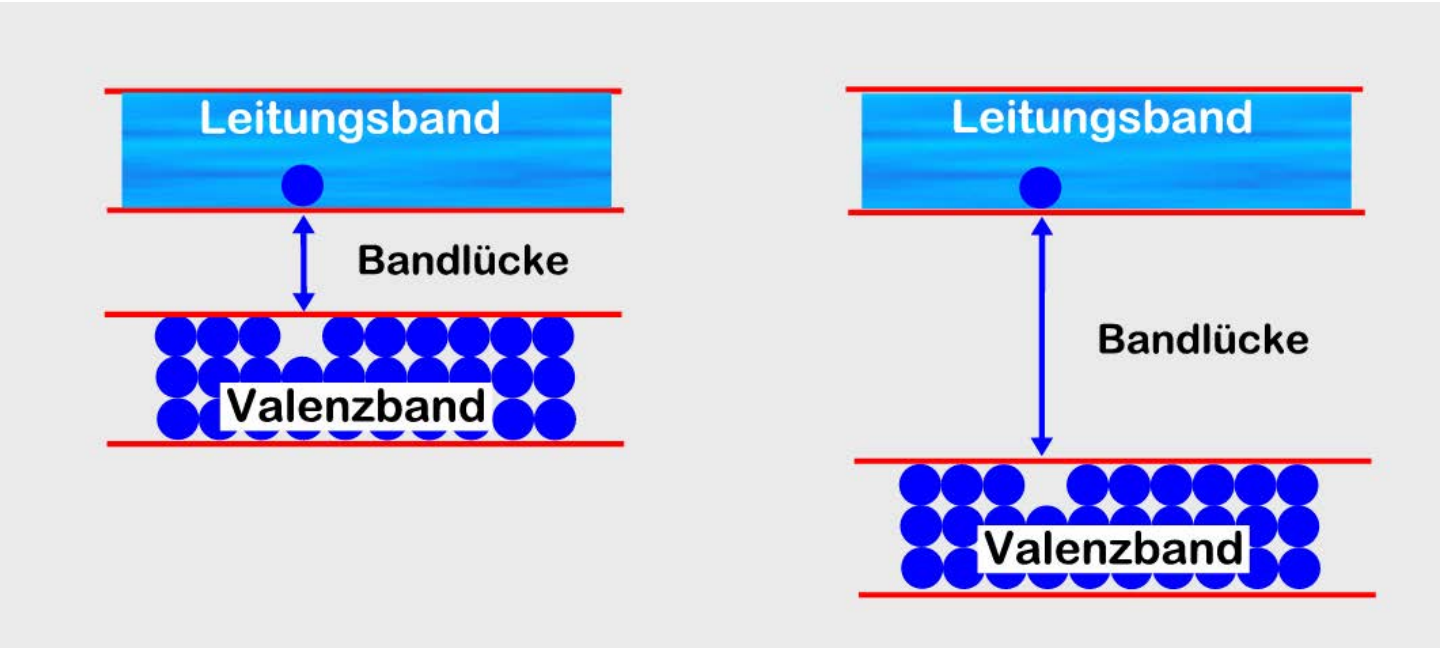

Bild 1. Die Bandlücke bestimmt den Energieaufwand, der erforderlich ist, um ein Elektron der äußeren Hülle freizusetzen, damit es sich frei im Festkörper bewegen kann.

Bei Wide-Bandgap-Halbleitern wie SiC und GaN ist die Bandlücke, also der Energieunterschied zwischen isolierendem und leitendem Zustand (Valenzband und Leitband) deutlich höher als bei Silizium. Die praktischen Folgen dieser breiteren Lücke sind ein geringerer Energieverbrauch. Das Bauelement kann mit hoher Spannung, hoher Temperatur und hohen Schaltfrequenzen arbeiten.

Anwendungen mit SiC- und GaN-Halbleitern verfügen deshalb über eine hohe Leistungsdichte, kleinere Abmessungen, eine hohe Sperrspannung, niedrige Leistungsverluste, eine höhere EMV-Verträglichkeit sowie ein besseres Ausfall- und Temperaturverhalten gegenüber Silizium-basierten Applikationen.

Halbleiter Bandgap-Vergleich

Material	Chemisches Symbol	Bandgap-Energie [eV]
Germanium	Ge	0,7
Silizium	Si	1,1
Gallium Arsenid	GaAs	1,4
Siliziumcarbid	SiC	3,3
Galliumnitrid	GaN	3,4
Diamant	C	5,5

Tabelle 1. Übersicht über die Bandgap-Energie verschiedener Halbleitermaterialien.

SiC oder GaN?

GaN kam später als SiC und wurde aufgrund von Kosten-, Ertrags- und Zuverlässigkeitsbedenken nur langsam eingeführt. Dieses Material ist zwar theoretisch in der Lage, mit seiner viel höheren Elektronenbeweglichkeit eine höhere Schaltgeschwindigkeit als SiC oder Si zu erreichen, aber mit einer um den Faktor drei niedrigeren Wärmeleitfähigkeit als SiC ist sein Leistungsdichte-Potential begrenzt.

Derzeit sind SiC-Bauelemente mit einer Nennleistung von etwa 650V bis 1,2kV und höher üblich, während GaN auf etwa 650V beschränkt ist. Mit den derzeit niedrigeren Kosten und der nachgewiesenen Robustheit des ausgereifteren SiC-Angebots hat GaN Schwierigkeiten, bei derselben Spannung mit SiC zu konkurrieren.

Bild 2 zeigt die Einsatzbereiche der unterschiedlichen Technologien bezüglich Leistung und Schaltfrequenzen. Es ist jedoch zu beachten, dass die angezeigten Bereiche den “ungefähren” Einsatzbereich zeigen. Technologieentwicklungen können die Einsatzbereiche aber verschieben. Es gibt viele Überschneidungen der konkurrierenden Technologien und das Preis/Leistungs-Verhältnis für unterschiedliche Einsatzgebiete ist nicht berücksichtigt.

GaN-Lieferanten hoffen, dass sich der Niedrigspannungs-/Strommarkt einschließlich Rechenzentren, EV/HEV und Photovoltaik öffnet, wenn die erhofften Kosteneinsparungen eintreten. SiC-Kaskoden (Reihenschaltung eines selbstsperrenden Silizium-MOSFETs und eines selbstleitenden SiC-JFETs) adressieren jedoch auch diese Marktbereiche, insbesondere in Anwendungen für bidirektionale DC/DC-Wandler und Totem-Pole-PFC. SiC hat sich mittlerweile gut in der Lieferkette etabliert und Komponenten sind in den Katalogen von High-Service-Distributoren erhältlich.

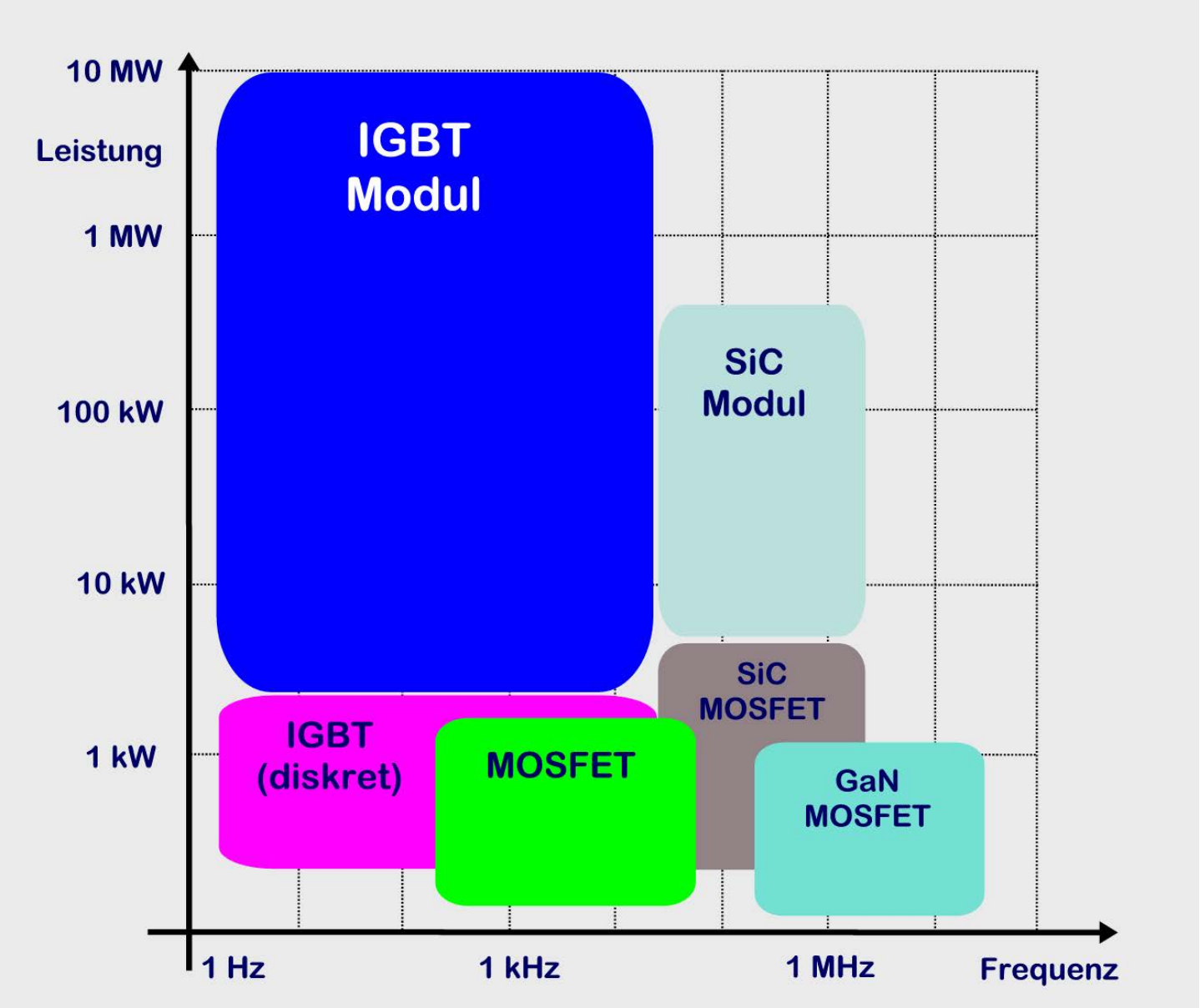

Bild 2. Einsatzbereiche der unterschiedlichen Technologien bezüglich Leistung und Schaltfrequenzen.

Wer liefert was?

Der Markt für Wide-Bandgap-Komponenten spiegelt sich mit einiger Relevanz im SiC-Segment. Der Umsatz mit SiC-Leistungshalbleitern soll sich laut Marktforscher Trendforce im Jahr 2021 auf 660 Mio. US$ belaufen. Die Prognosen von Yole Développement lauten: 973,4 Mio. US$ im Jahr 2022 und 2,5 Mrd. US$ im Jahr 2025 (Bild 3).

Entsprechend turbulent geht es innerhalb der Lieferkette im Bereich SiC-Wafer zu: Die geplante Übernahme des Cree-Geschäftsbereichs Wafer-Produktion Wolfspeed durch Infineon in diesem Bereich wurde von der damaligen US-Administration verboten. Daraufhin stieß Cree sein LED-Geschäft ab und konzentriert sich nunmehr als Wolfspeed auf die Wafer- und Leistungshalbleiter-Produktion.

STMicroelectronics hat einen seiner bevorzugten Lieferanten für Wafer Norstel übernommen und die koreanische SK Siltron erwarb für 450 Mio. US$ das SiC-Wafer-Geschäft von DuPont. Das “zu kurz gekommene” Unternehmen Infineon wiederum hat sich mit der 124-Mio.-Euro-Übernahme von Siltectra eine Technologie eingekauft, mit der sich aus einem dicken SiC-Wafer zwei dünne machen lassen. Das Ranking in diesem Wafer-Markt lautet nun: Die Nummer eins mit 40% Marktanteil ist Wolfspeed, gefolgt von II-VI mit 35%. Den dritten Platz nimmt SK Siltron ein.

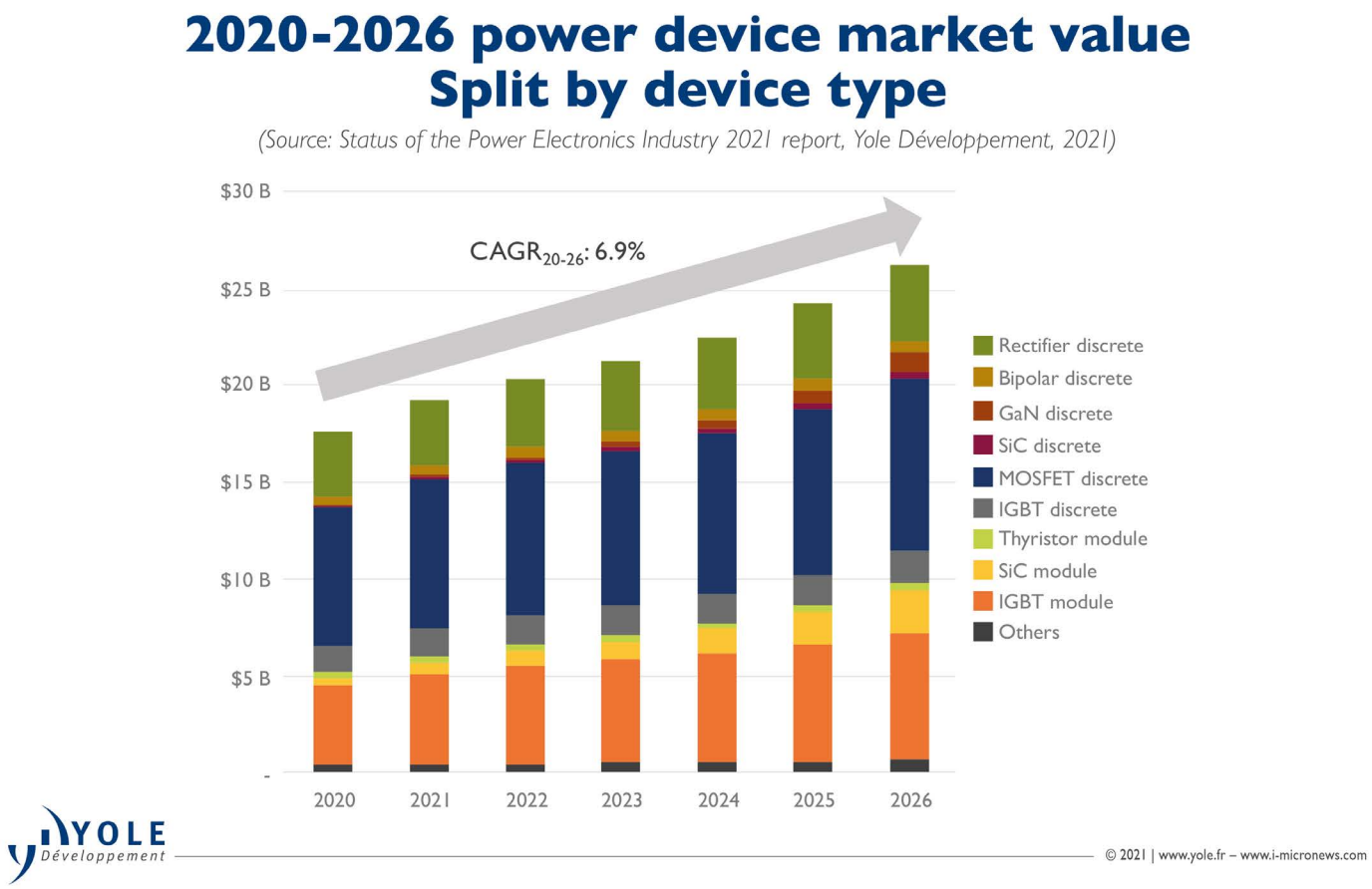

Bild 3. Der Markt für Leistungshalbleiter, projiziert bis 2026. (Bild: Yole)

Um bei dieser Entwicklung den Anschluss nicht zu verlieren, fördert die Europäische Union mit fast 90 Mio. Euro ein Konsortium zum Aufbau einer europäischen Lieferkette für Siliziumkarbid-Halbleitertechnologie: Unter der Konsortialführerschaft von Bosch vereint das Projekt "Transform" europaweit 34 Schlüsselakteure aus sieben Ländern aus der gesamten Siliziumkarbid-Wertschöpfungskette. Im Rahmen des Förderprojekts sollen sowohl neue SiC-Technologien als auch Prozesse und Verfahren für ihre Herstellung entwickelt werden. Darüber hinaus soll die Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen zur Herstellung von Substraten und Wafern bis zu den Leistungselektroniken europäischer Lieferanten sichergestellt werden.

Diamanten-FETs

Diamant hat als Halbleitermaterial eine größere Bandlücke (Tabelle 1) als SiC und GaN. Auch seine Wärmeleitfähigkeit liegt weit über der von derzeit in der Elektronik verwendeten Materialien - es leitet Wärme 22-mal besser als Silizium und fünfmal besser als Kupfer. Diamant kann hohe Spannungen mit einem Bruchteil der Materialdicke isolieren, die bei heutigen Techniken erforderlich wäre (Bild 4). Um z.B. 10kV zu isolieren, ist eine 50-mal kleinere Menge an Diamant erforderlich als Silizium.

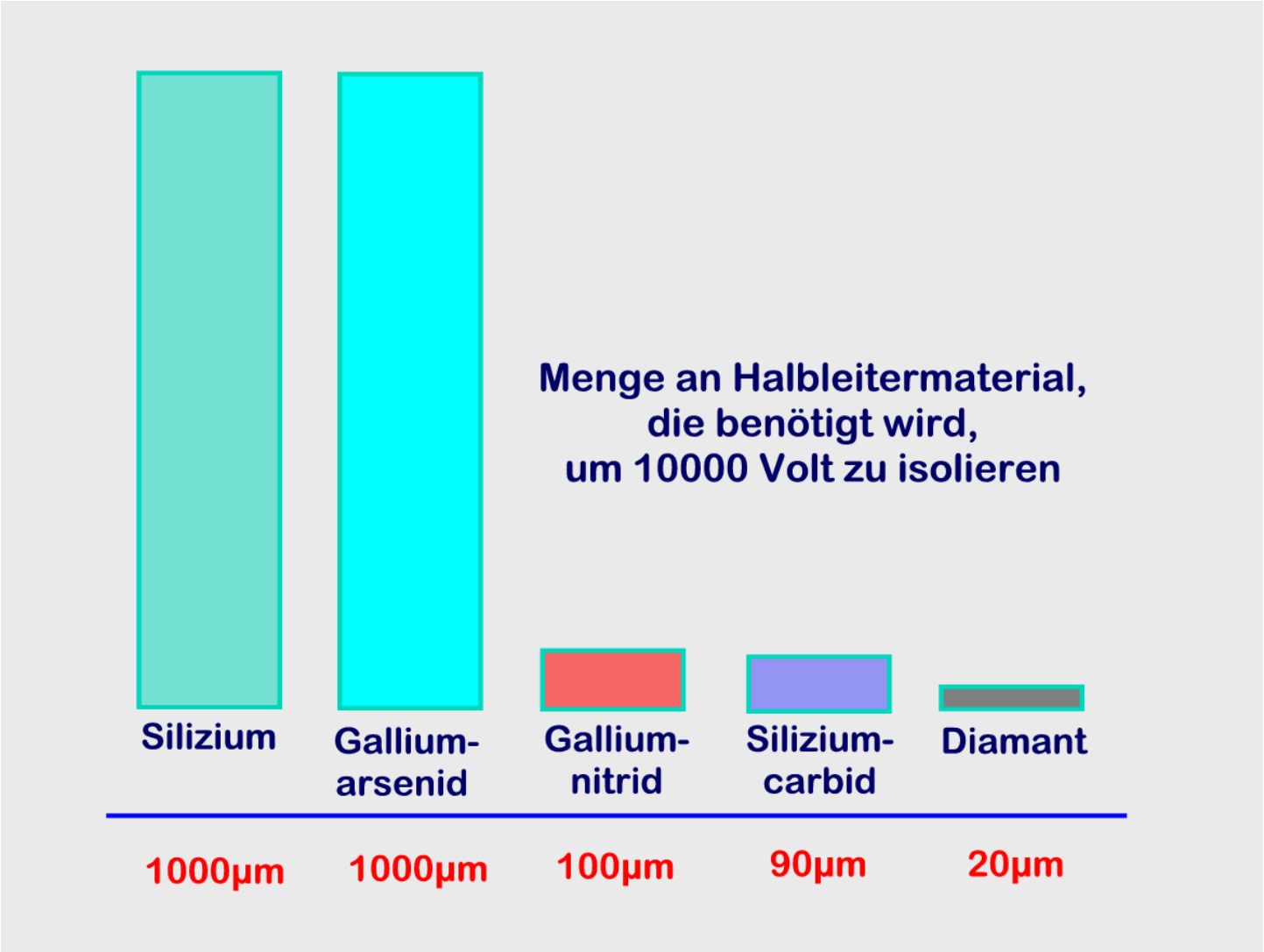

Bild 4. Diamant kann hohe Spannungen mit einem Bruchteil der Materialdicke isolieren.

Das soll letztlich dazu führen, dass Halbleiterchips, die dünner sind und weniger Strom benötigen, bei noch höheren Temperaturen arbeiten können als bisher verfügbare Wide-Bandgap-Halbleiter.

Akhan Semiconductor hat sich den Halbleitern aus Diamant verschrieben und arbeitet an der Miraj-Diamond-Plattform. Halbleiter-Produkte werden auf der Website des Unternehmens allerdings bislang nicht gezeigt, stattdessen besonders widerstandsfähiges “Gorilla”-Glas für Smartphones.

Evince aus Großbritannien ist ein weiteres Startup, das die Diamant-Technologie verfolgt: “Wir haben ein Prinzip ausgenutzt, das nur mit Diamant möglich ist – das feldverstärkte Quantentunneln –, um das erste völlig neue Elektronik Konzept seit den 1960er Jahren zu entwickeln. Unser einzigartiger Ansatz kombiniert eingebettete Feldemissionsstrukturen mit fortschrittlicher Oberflächentechnik, um Elektronen mit hoher Effizienz direkt in Diamant zu injizieren. Diese „freien Elektronen“ können dann innerhalb des Substrats manipuliert oder für andere Zwecke extrahiert werden.” Auch hier werden vom Unternehmen noch keine Bauteile gezeigt.

Diamant-Chips scheinen derzeit noch nicht ausgereift zu sein, deshalb sind im Bereich breite Bandlücke zur Zeit die SiC- und GaN-Technologien präsent.