

Halbleitertechnologie von A bis Z

Verbindungshalbleiter

Grundlagen & Materialsystem	3
<i>Warum Verbindungshalbleiter für Leistungselektronik?</i>	3
<i>Materialvergleich: SiC, GaN und Silizium</i>	3
<i>Die Baliga-Figure-of-Merit</i>	3
<i>Einordnung: Wo kommt was zum Einsatz?</i>	4

Grundlagen & Materialsystem

Warum Verbindungshalbleiter für Leistungselektronik?

Silizium dominiert die Leistungselektronik seit Jahrzehnten, stößt aber an physikalische Grenzen: Bei hohen Sperrspannungen benötigt ein Si-Bauelement eine dicke, schwach dotierte Driftzone, um das elektrische Feld sicher aufzunehmen – das kostet Durchlasswiderstand und damit Verluste.

Verbindungshalbleiter wie Siliziumcarbid (SiC) und Galliumnitrid (GaN) besitzen eine deutlich höhere Durchbruchfeldstärke als Silizium. Das erlaubt dünnere, höher dotierte Driftzonen bei gleicher Sperrspannung – und dadurch spürbar geringere Durchlassverluste bei gleichzeitig kleinerer Chipfläche.

Materialvergleich: SiC, GaN und Silizium

Im direkten Vergleich zeigen sich deutliche Unterschiede: Silizium hat eine Bandlücke von 1,12 eV, 4H-Siliziumcarbid liegt bei 3,26 eV und Galliumnitrid bei 3,4 eV – beide Verbindungshalbleiter sind damit klar breitbandiger. Die kritische Durchbruchfeldstärke steigt von rund 0,3 MV/cm bei Silizium auf etwa 2,8 MV/cm bei SiC und 3,3 MV/cm bei GaN. SiC punktet zusätzlich mit hoher Wärmeleitfähigkeit (etwa 4,9 W/cmK gegenüber 1,5 W/cmK bei Silizium), was die Wärmeabfuhr bei hohen Leistungen erleichtert. GaN wiederum erreicht eine sehr hohe Elektronensättigungsgeschwindigkeit, was besonders hohe Schaltfrequenzen ermöglicht.

Eigenschaft	Silizium	4H-SiC	GaN
Bandlücke (eV)	1,12	3,26	3,4
Krit. Feldstärke (MV/cm)	0,3	2,8	3,3
Wärmeleitfähigkeit (W/cmK)	1,5	4,9	1,3
Sättigungsgeschwindigkeit (10^7 cm/s)	1,0	2,0	2,5
Elektronenbeweglichkeit (cm^2/Vs)	1400	900	1200

Werte für 4H-SiC und Silizium bei Raumtemperatur, intrinsisches Volumenmaterial. GaN-Elektronenbeweglichkeit im 2DEG (AlGaIn/GaN-Heterostruktur) kann deutlich höher liegen.

Die Baliga-Figure-of-Merit

Um Halbleitermaterialien für Leistungsschalter objektiv zu vergleichen, definierte B. Jayant Baliga eine Kennzahl: $\text{BFOM} = \epsilon_r \cdot \mu \cdot E_c^3$, gebildet aus Permittivität, Ladungsträgerbeweglichkeit und der dritten Potenz der kritischen Feldstärke. Sie bewertet, wie klein der spezifische Durchlasswiderstand bei gegebener Sperrspannung theoretisch ausfallen kann. Weil die kritische Feldstärke in dritter Potenz eingeht, wirkt sich der Materialvorteil von SiC und GaN besonders stark aus: Beide liegen bei der Baliga-Figure-of-Merit um mehr als zwei Größenordnungen über Silizium.

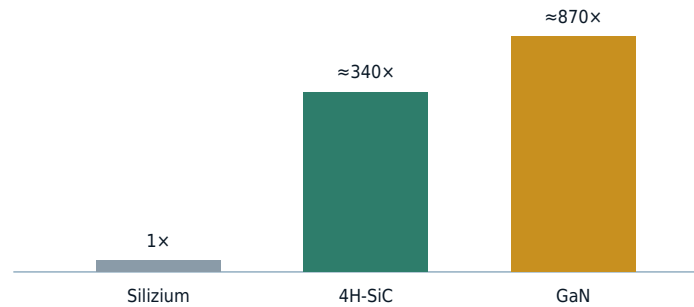
Baliga-Figure-of-Merit (BFOM)

Materialkennzahl für den minimal erreichbaren Durchlasswiderstand

$$\text{BFOM} = \epsilon_r \cdot \mu \cdot E_c^3$$

ϵ_r : Permittivität · μ : Ladungsträgerbeweglichkeit · E_c : kritische Durchbruchfeldstärke

BFOM relativ zu Si



Einordnung: Wo kommt was zum Einsatz?

SiC spielt seine Stärken vor allem bei hohen Spannungen und Leistungen aus – etwa in Traktionswechselrichtern für die E-Mobility oder in industriellen Anwendungen. GaN punktet dagegen bei hohen Schaltfrequenzen und mittleren Spannungen, etwa in Ladegeräten und Schnellladeinfrastruktur, wo kompakte Bauform und geringe Schaltverluste zählen. Die folgenden Kapitel behandeln zunächst Kristallwachstum und Substrate, dann die Bauelemente beider Materialsysteme im Detail.