

Halbleitertechnologie von A bis Z

Verbindungshalbleiter

Kristallwachstum & Substrate	3
<i>SiC-Kristallwachstum: Physical Vapor Transport</i>	<i>3</i>
<i>Polytypen: Warum 4H-SiC?</i>	<i>3</i>
<i>GaN-Epitaxie: Heteroepitaxie statt nativem Substrat</i>	<i>3</i>
<i>Gitteranpassung, Verspannung und Defektdichte</i>	<i>3</i>

Kristallwachstum & Substrate

SiC-Kristallwachstum: Physical Vapor Transport

Anders als Silizium lässt sich SiC nicht aus der Schmelze ziehen – bei den nötigen Temperaturen sublimiert SiC, statt zu schmelzen. Stattdessen kommt das PVT-Verfahren (Physical Vapor Transport, auch modifizierte Lely-Methode) zum Einsatz: Ein SiC-Pulvervorrat wird auf über 2000 °C erhitzt und sublimiert, die Gasphase wandert entlang eines Temperaturgradienten zu einem kühleren SiC-Keimkristall und kristallisiert dort epitaktisch. Der Prozess läuft über Tage bis Wochen und wächst eine zylindrische Boule, aus der anschließend Wafer gesägt werden.

Polytypen: Warum 4H-SiC?

SiC kommt in über 200 Kristallstrukturen (Polytypen) vor, die sich nur in der Stapelfolge der Si-C-Doppellagen unterscheiden. Für die Leistungselektronik hat sich 4H-SiC durchgesetzt, weil es eine höhere und isotropere Elektronenbeweglichkeit bietet als etwa 6H-SiC. Die Wachstumsrichtung erfolgt meist off-axis (typisch 4° Fehlschnitt zur c-Achse), um beim Homoepitaxie-Wachstum stufenvermitteltes Wachstum zu erzwingen und Polytyp-Einschlüsse zu vermeiden.

GaN-Epitaxie: Heteroepitaxie statt nativem Substrat

Native GaN-Substrate sind teuer und nur in kleinen Durchmessern verfügbar, weil GaN unter Normaldruck nicht kongruent schmilzt. In der Praxis wird GaN daher heteroepitaktisch auf Fremdsubstraten abgeschieden – meist Silizium (GaN-on-Si, kostengünstig, große Durchmesser bis 200 mm) oder Siliziumcarbid (GaN-on-SiC, bessere Wärmeableitung, aber teurer). Eine dünne AlN-Nukleationsschicht sowie stufenweise gestufte AlGaN-Pufferschichten fangen die Gitter- und Wärmeausdehnungsfehlانpassung ab, bevor die eigentliche GaN-Schicht aufwächst.

Gitteranpassung, Verspannung und Defektdichte

Die Gitterkonstanten von GaN und Silizium unterscheiden sich um rund 17 %, die Wärmeausdehnungskoeffizienten um mehr als 50 % – ohne Pufferschichten würde die GaN-Schicht beim Abkühlen reißen. Trotz Pufferstrategie bleibt eine relevante Versetzungsdichte zurück (typisch 10^8 – 10^9 cm⁻² bei GaN-on-Si, gegenüber 10^3 – 10^4 cm⁻² bei nativen SiC-Substraten). Das erklärt den Kompromiss der Branche: GaN-on-Si für kosten- und flächengetriebene Anwendungen, GaN-on-SiC oder native SiC-Substrate, wo Zuverlässigkeit und Wärmemanagement im Vordergrund stehen.