

Halbleitertechnologie von A bis Z

Verbindungshalbleiter

HEMT und HBT für RF-Anwendungen	3
<i>Das HEMT-Prinzip für Hochfrequenzanwendungen</i>	<i>3</i>
<i>Der Heterojunction-Bipolartransistor (HBT)</i>	<i>3</i>
<i>Anwendungen in der Hochfrequenztechnik</i>	<i>3</i>

HEMT und HBT für RF-Anwendungen

Das HEMT-Prinzip für Hochfrequenzanwendungen

Der High Electron Mobility Transistor (HEMT) nutzt eine Heterostruktur aus zwei Halbleitern unterschiedlicher Bandlücke, üblicherweise AlGaAs auf GaAs oder AlGaN auf GaN, um an der Grenzfläche ein zweidimensionales Elektronengas (2DEG) zu erzeugen. Da die Elektronen räumlich vom dotierten Donatorgebiet getrennt in einem undotierten Kanal fließen, entfällt die Streuung an ionisierten Störstellen weitgehend, wodurch die Elektronenbeweglichkeit im 2DEG bei Raumtemperatur typischerweise 6000 bis 9000 cm²/Vs erreicht – deutlich mehr als die 400 bis 600 cm²/Vs eines vergleichbaren Silicium-MOSFET-Kanals.

Für Hochfrequenzanwendungen wird meist GaAs als pseudomorpher HEMT (pHEMT) oder als metamorpher HEMT (mHEMT) mit InGaAs-Kanal ausgeführt, da InGaAs mit Beweglichkeiten von 10.000 bis 12.000 cm²/Vs eine noch höhere Elektronenbeweglichkeit als reines GaAs bietet. Kenngrößen wie die Transitfrequenz f_T und die maximale Schwingfrequenz f_{max} liegen bei modernen GaAs-pHEMTs im Bereich von 100 bis 150 GHz, bei hochskalierten InP-HEMTs mit Gatelängen unter 50 nm sind im Labor bereits f_T -Werte von über 600 GHz demonstriert worden, wodurch sich diese Bauelemente bis in den Terahertz-nahen Millimeterwellenbereich einsetzen lassen.

Der Heterojunction-Bipolartransistor (HBT)

Der Heterojunction Bipolar Transistor (HBT) überträgt das Heterostrukturprinzip auf den Bipolartransistor, indem der Emitter aus einem Material mit größerer Bandlücke besteht als die Basis – etwa InGaP oder AlGaAs als Emitter auf einer GaAs-Basis. Die größere Bandlücke des Emitters unterdrückt die Rückinjektion von Löchern aus der Basis in den Emitter, so dass die Basis im Gegensatz zum klassischen Bipolartransistor sehr hoch dotiert werden kann (typisch 10^{19} bis 10^{20} cm⁻³), ohne dass die Stromverstärkung darunter leidet, die bei GaAs-HBTs üblicherweise Werte von 50 bis 150 erreicht.

Die hohe Basisdotierung senkt den Basiswiderstand und ermöglicht dünnere Basisschichten von oft nur 50 bis 100 nm, was die Transitzeit der Ladungsträger und damit die Grenzfrequenz deutlich verbessert – kommerzielle GaAs-HBTs erreichen f_T - und f_{max} -Werte im Bereich von 150 bis 300 GHz. HBTs zeichnen sich zudem durch eine sehr lineare Übertragungskennlinie und geringes Phasenrauschen aus, was sie für Leistungsverstärker besonders geeignet macht.

Anwendungen in der Hochfrequenztechnik

GaAs-basierte HEMTs und HBTs bilden seit Jahrzehnten das Rückgrat der Leistungsverstärker (Power Amplifier, PA) in Mobilfunkendgeräten, wo sie bei Ausgangsleistungen von typischerweise 0,5 bis 2 W und Versorgungsspannungen um 3,4 bis 5 V einen hohen Wirkungsgrad und eine gute Linearität liefern. Rauscharme Verstärker (Low Noise Amplifier, LNA) im Empfangspfad von Satellitenkommunikation und Radaranwendungen setzen dagegen bevorzugt auf HEMTs, deren Rauschzahlen bei einigen Zehntel dB bis wenigen dB im relevanten Frequenzbereich liegen und deren geringe parasitäre Kapazitäten und niedriges Eigenrauschen entscheidend sind.

Im Unterschied zu den GaN-Leistungs-HEMTs, die auf hohe Sperrspannungen und Schaltleistung optimiert sind, zielen GaAs- und InP-basierte RF-HEMTs auf minimales Rauschen und maximale Grenzfrequenz. Für Basisstationen und Radaranwendungen im Hochleistungsbereich gewinnt jedoch auch GaN-HEMT-Technologie zunehmend an Bedeutung: GaN-RF-Bauelemente erreichen dort Ausgangsleistungsdichten von mehreren W/mm Gateweite und ermöglichen so Sendeleistungen von mehreren zehn bis über hundert Watt in kompakten Baugrößen, wo GaAs-Bauelemente an ihre thermischen und Durchbruchspannungsgrenzen stoßen würden.