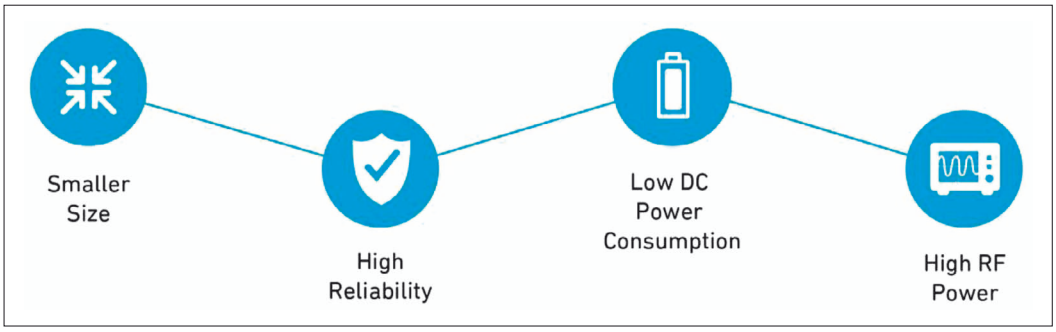
GaN-Technologie verändert das Frontend-Design von Sat-Empfängern



Festkörpertechnologien wie Galliumnitrid (GaN) spielen in der Satellitenkommunikation (Satcom) mittlerweile eine große Rolle. Warum?

Die Vorteile von GaN sind hohe HF-Leistung, geringer Gleichstromverbrauch, hohe Zuverlässigkeit und geringere Größe, was sich auch positiv auf das Systemgewicht auswirkt. Diese Technologie eröffnet damit neue Märkte und revolutioniert auch das RF-Frontend (RFFE) in Satcom-Anwendungen.

Interessante Entwicklung

Für viele Jahre waren der Wanderwellen-Röhrenverstärker (TWTA) und Galliumarsenid (GaAs) die erste Wahl für RFFE-Technologien zur Leistungsverstärkung in Satcom-Anwendungen. TWTAs ermöglichten Hochleistungsanwendungen und GaAs-Technologie geringeren Stromverbrauch als Vortreiber. Aber die Situation hat sich in den letzten Jahren aufgrund von rasanten Fortschritte im GaN-Bereich deutlich verändert. Jetzt werden GaN- und GaAs-Halbleitertechnologien zu den bevorzugten Lösungen. GaN hat TWTAs aufgrund seiner hohen Leistung und Zuverlässigkeit in Kombination mit einem kleinen Formfaktor ersetzt.

GaN und GaAs ermöglichen eine Vielzahl von kommerziellen und militärischen Satcom-Anwendungen wie 5G-Backhaul und Ultra-HD-TV-Übertragung, Satcom-on-the-Move, Internetzugang für Flugzeugpassagiere und Manpack-Terminals (tragbar).

Satcom-Trends

Satcom-Geräte spielen eine wichtige Rolle im globalen Kommunikationsökosystem und im täglichen Leben der Menschen. Sie unterstützen eine breite und wachsende Vielfalt von Anwendungen in den Bereichen Telekommunikation, Wetterüberwachung, Luftfahrtkommunikation, maritime Projekte, militärische Zwecke und Navigation (s. Bild 1). Gemäß Prognosen der Markforschung wird der Satcom-Equipment-Markt mit etwa 8,5% pro Jahr wachsen und zwar auf ein Volumen von 30 Mrd. US-Dollar bis 2022. Strategische Analysten prognostizieren Ausgaben für globale militärische Kommunikationssysteme und -dienste bis 2026 auf über 36,7 Mrd. USD, was einer jährlichen Wachstumsrate von 3,5% entspricht.

Mehrere allgemeine Trends schaffen neue und anspruchsvollere Anforderungen an die RFFEs in Satcom-Geräten. Die zunehmende Verwendung kleinerer Satelliten und tragbarer mobiler Satcom-Geräte führt zu einem Bedarf an kompakten, leichten Komponenten mit geringerem Stromverbrauch. Darüber hinaus müssen diese Komponenten viel mehr Bandbreite und Datendurchsatz zur Unterstützung von Fortschritten wie 5G und Ultra-HD-TV ununterbrochen und sicher ermöglichen. Es besteht auch der Druck, die Entwicklungskosten zu senken und die Zuverlässigkeit zu erhöhen.

Diese Trends treiben den Übergang von TWTAs zu Solid-State-Geräten voran, die einen höheren Datendurchsatz unterstützen und kleinere Formfaktoren aufwei-

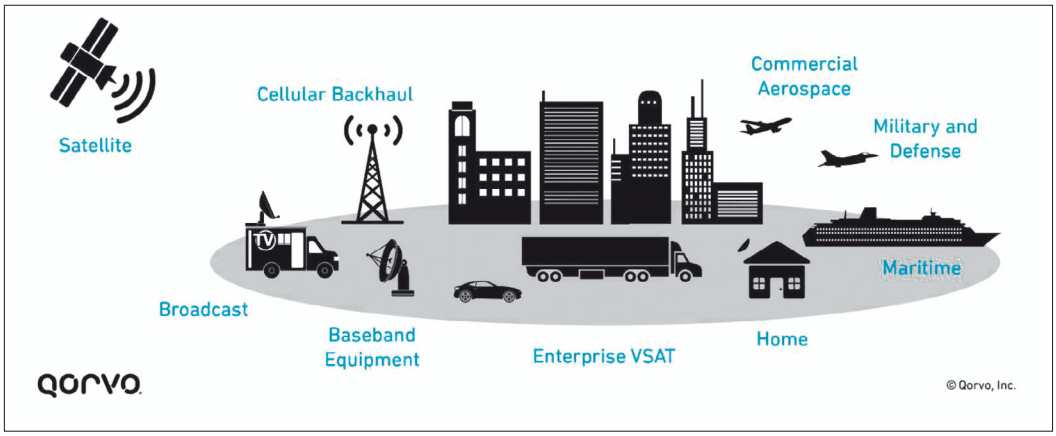


Bild 1: Globale Märkte von Satcom

Quelle: How GaN is Changing the Satcom RF Front-End, by David Schnaufer, Technical Marketing Manager, Corporate Marketing Dean White, Director of Aerospace & Defense Market Strategy, Infrastructure & Defense Products Quovo, März 2019 übersetzt von FS

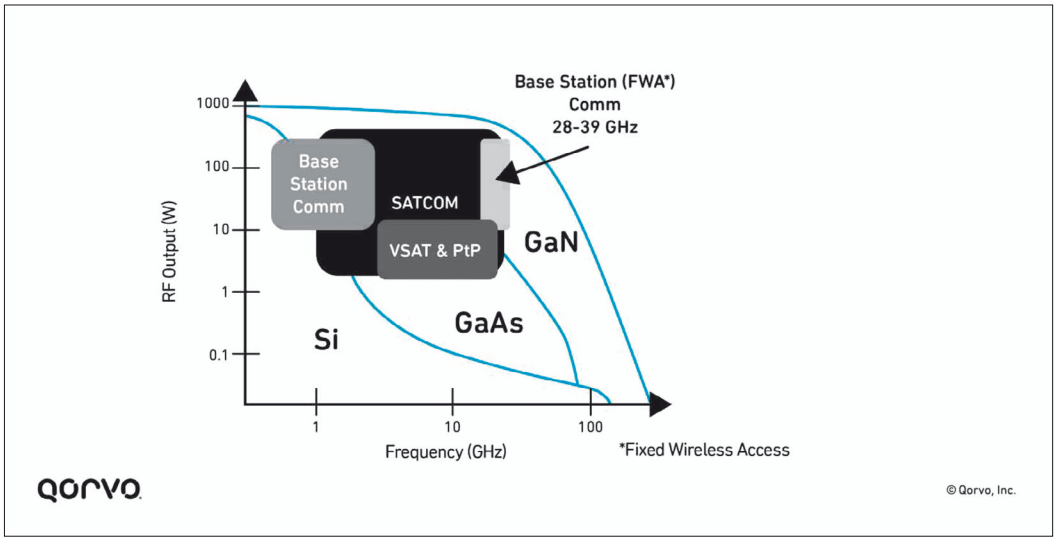


Bild 2: Eignung von Halbleitertechnologien für verschiedene Anwendungen

sen. Obwohl GaAs und Silizium (Si) in einigen Systemen verwendet wurden, bietet GaN signifikante Vorteile für die Hochleistungsverstärkung in Satcom-Anwendungen. Dazu gehören gute Sättigungseigenschaften, hohe Durchbruchsspannung und gute Wärmeleitfähigkeit. Diese Eigenschaften führen zu einer Verbesserung der Leistungsdichte um eine Größenordnung und zu einer hohen Zuverlässigkeit auch unter Wärmebelastung. Als Ergebnis ist GaN einzigartig für die hohen Leistungsanforderungen von aktuellen und zukünftigen Satcom-Projekten mit Very Small Aperture Terminals (VSATs), Point-to-Point-Technologien (PtP) and Basisstationen geeignet, wie in Bild 2 dargestellt.

Und das Potenzial von GaN für den Raumfahrt- und Satellitenkommunikationssektor beginnt sich erst zu zeigen. Beispielsweise wird erwartet, dass GaN die Gewichtsreduzierung in Satelliten- und Luftfahrtanwendungen erleichtert.

Frequenzbänder

Die Satcom-Industrie ist zunehmend auf höherfrequente Bänder umgestiegen, um die wachsende Nachfrage nach Bandbreite zu unterstützen einschließlich der in Tabelle 1 gezeigten X-, Ku-, K- und Ka-Bänder. GaN unterstützt problemlos einen hohen Durchsatz und eine große Bandbreite bei diesen höheren Frequenzen. Heutzutage werden viele identische Satcom-Komponenten für mehrere Militärs verwendet, ebenso für ähnliche Raumfahrt- und kommerzielle Anwendungen in diesen Bändern.

TWTAs durch GaN ersetzen

Bis vor kurzem waren TWTAs die Hauptstütze in vielen Satcom-Anwendungen, da Festkörpergeräte nicht in der Lage waren, ähnliche Leistungen erzeugen. Leistungskombinationstechniken ermöglichen es jetzt jedoch, noch viel höhere Werte mit mit GaN-Stufen zu erzeugen, wodurch TWTAs durch zuverlässigere Festkörpergeräte ersetzt werden können.

Der GaN-Leistungskombinations-Ansatz kombiniert die Ausgangsleistung mehrerer MMICs mit einem einzelnen Leistungsverstärker unter Verwendung eines vollständig isolierten Kopplungsnetzwerks. Ein Beispiel ist Qorvos Spatium, ein Kombinationsprodukt, das eine patentierte Kombinationstechnik für hohe HF-Leistung, hohe Effizienz und Breitbandbetrieb verwendet. Spatium nutzt Breitband-Fin-Line-Antennen als Übergangspunkt zum und vom Koaxialmodus, aufgeteilt in mehrere Mikrostreifen-Schaltkreise (s. Bild 3). Anschließend wird die Leistung dieser Schaltkreise nach der Verstärkung mit einem Leistungs-MMIC kombiniert. Ein typisches Spatium-Design kombiniert 16 Einheiten mit einem gesamten Verlust von 0,5 dB. Spatium wird in der Ka-Band-Satellitentechnik auf der Erde verwendet mit Stationen, die mit 100 W auf 27 bis 31 GHz arbeiten und sowohl militärische als auch kommerzielle Bänder abdecken. Innerhalb dieser Stationen wird das Design senderseitig am Antennen-Hub in Block-Up-Convertern (BUCs) eingesetzt.

Dieser Solid-State-Power-Combining-Ansatz bietet gegenüber TWTAs mehrere Leistungsvorteile:

- TWTAs müssen sich aufwärmen, bevor sie eine stabile HF-Leistung erreichen können. Das Erwärmen der Röhre kann einige Minuten dauern. Daher müssen Sicherungssysteme im Hot-Standby-Modus ausgeführt werden. Dies führt zu großen Energiekosten. Diese Backup-Systeme sind bei Verwendung von Spatium nicht erforderlich, da kein Aufwärmen erforderlich ist.
- TWTAs erfordern Hochspannungsnetzteile, typischerweise im Multi-kV-Bereich, wodurch die Kosten steigen, da diese Netzteile nicht billig produziert werden können. Außer-

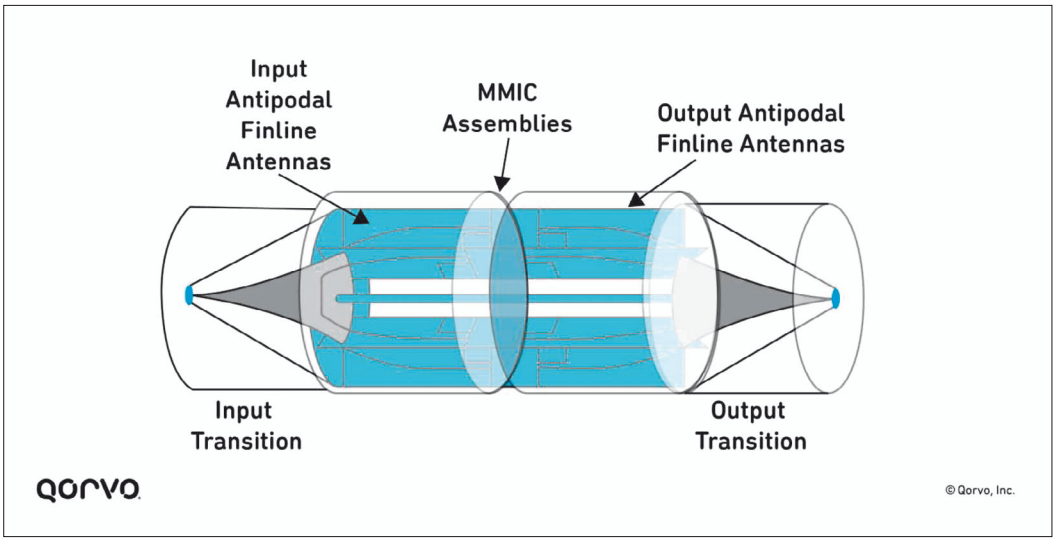


Bild 3: Skizze des patentierten Spatium-Designs für die räumliche Leistungsteilung und -zusammenführung

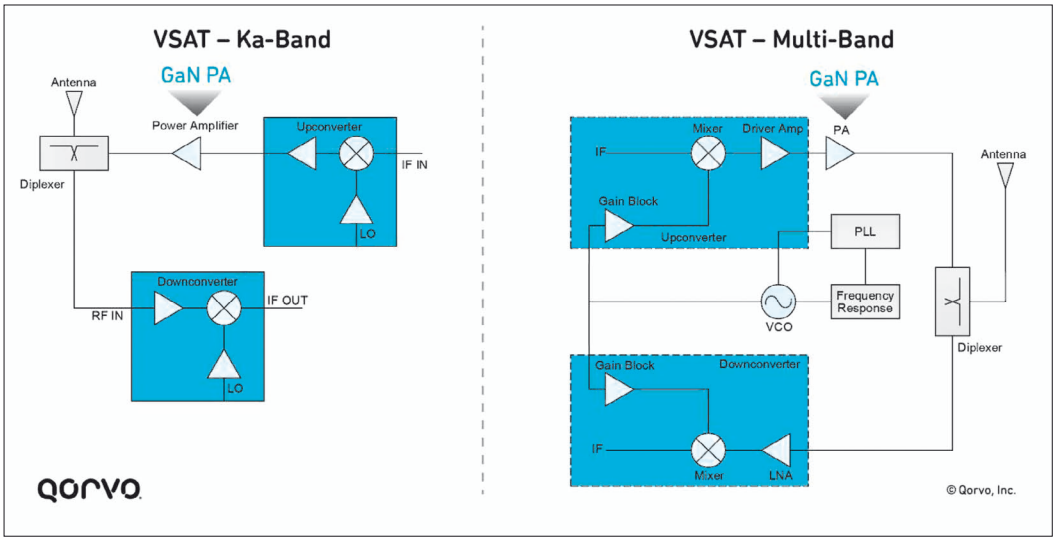


Bild 4: Blockaufbau zweier VSAT-Systeme

dem ergibt sich ein ungünstiger Wirkungsgrad. GaN-Geräte benötigen keine Hochspannungsnetzteile.

- Festkörper-GaN-Technologie erzeugt ein geringeres Rauschen und ermöglichen eine bessere Linearität als TWTAs. Die Rauschwerte für mittlere Leistung können bei TWTAs etwa 30 dB betragen gegenüber etwa 10 dB für eine integrierte monolithische Festkörper-GaN-Mikrowellen-PA-Schaltung (MMIC).
- Ein weiterer Betriebsvorteil des GaN-Senders ist der reduzierte Oberwellengehalt im Ausgangssignal.

GaN-Vorteile für Satcom

GaN bietet eine Reihe weiterer Vorteile gegenüber TWTAs und anderen Festkörpertechnologien speziell für Satcom-Anwendungen:

• Zuverlässigkeit und Robustheit

Zuverlässigkeit ist extrem wichtig in Satcom-Anwendungen. GaN bietet aus mehreren Gründen eine viel höhere Zuverlässigkeit als TWTAs: Bei TWTAs verursacht ein Ausfall der Röhre insgesamt eine Leistungsaufschlüsselung. Im Gegensatz dazu bietet eine räumliche Kombinationstechnik wie Spatium höhere Robustheit und Zuverlässigkeit. Der Ausfall eines Transistors bedeutet hier nicht, dass die gesamte Einheit heruntergefahren wird; stattdessen funktioniert sie weiterhin mit den verbleibenden GaN-Verstärker-MMICs. Jedes Festkörpergerät ist für sich genommen auch hochzuverlässig, obwohl die Lebensdauer eines Transistors theoretisch begrenzt ist. Aufgrund der Elektromigration ist die Zeit bis zum Ausfall normalerweise erst nach 100 Jahren abgelaufen.

• hohe Energieeffizienz

Dies reduziert auch die Wärmeabgabe, was weiter zu einer höheren Zuverlässigkeit beiträgt.

• hohe Betriebstemperatur

Darüber hinaus toleriert GaN wegen seiner großen Bandlücke viel höhere Betriebstemperaturen, sodass die Kühlung reduziert werden kann. Das führt zu kompakten Bauformen, ohne die Leistung und Zuverlässigkeit zu beeinträchtigen. Dieser Punkt der Reduzierung des Bedarfs an Lüftern und Kühlkörpern ist auch infolge des dadurch reduzierten Gewichts wichtig für die Größenanforderungen an die Satelliten und daher die Kosten für den Start in den Orbit.

• kleine, leichte Geräte

Gewicht und Größe sind zu kritischen Faktoren in Satcom-Anwendungen geworden mit dem Trend zu kleineren Satelliten und dem Wachstum anderer Satcom-Anwendungen für unterwegs. Die GaN-Technologie ermöglicht eine hohe HF-Leistung, einen kleinen Ausgangs- und Einschaltwiderstand sowie eine hohe Durchbruchspannung, um Satelliten und andere Anwendungen zu optimieren. Die höhere Leistungsdichte führt zu weniger Gewicht und Größe pro gegebener Einheit der Ausgangsleistung. Die hohe Durchbruchspannung ermöglicht den Betrieb mit höherer Spannung und erhöhtem Wirkungsgrad und hilft, die Impedanzanpassungsanforderungen zu vereinfachen, was den Bedarf an Tuning-Komponenten reduziert und somit eine kleinere Board-Größe ermöglicht.

• geringer Stromverbrauch

Hohe Betriebsspannung bzw. niedriger Stromverbrauch bedeutet geringere Betriebskosten und weniger Wärme, die man ableiten muss. Das bedeutet reduzierte Kosten für Hersteller und Betreiber.

• thermische Robustheit & Breitbandigkeit

Die Reduzierung des Temperaturanstiegs in einem System macht es einfacher, die Leistung zu steigern und die Kosten für diese Anwendung zu senken. Weil die GaN-Technologie eine hohe Leistung bietet, effizient ist und höhere Betriebstemperaturen toleriert, kann diese Technologie Systementwicklern dabei helfen, innerhalb engerer thermischer Bereiche RFFEs mit hoher Leistung und Frequenzbandbreite zu entwerfen. Erhöhte Bandbreite wird in der gesamten Kommunikationsbranche gefordert. Heutige GaN-Module und -Leistungsverstärker ermöglichen Breitbandbetrieb zur Unterstützung der Bandbreitenanforderungen von 5G und anderer kommenden Anwendungen.

• einfache Integration

Die Integration wird jetzt in Satcom-RFFEs möglich. Die Nachfrage nach kleineren Lösungen etwa für Luftfahrtanwendungen und Satelliten fordern hersteller dazu auf, kleinere Lösungen anzubieten. Daher ersetzen sie große diskrete HF-Frontends mit mehreren Technologien durch monolithische vollintegrierte Lösungen. GaN-Hersteller begleiten diese Prozess und bieten vollintegrierte Lösungen, die Sende- und Empfangskette in einem einzigen Paket kombinieren. Diese reduzieren Systemgröße, Gewicht und Time to Market.

Wichtige GaN-Satcom-Anwendungen

GaN geht seinen Weg in vielen kommerziellen und militärischen Satcom-Anwendungen einschließlich Satelliten, Manpack, Satcom-Mobiltechnik, Verkehrsflugzeuge und VSATs (Very Small Aperture Terminals). In der Raumfahrtindustrie ersetzt GaN aufgrund seiner Vorteile wie geringe Größe, geringes Gewicht und hohe Effizienz Si und GaAs.

Die im Vergleich zu Si kleinere Chip-Größe eines GaN-Projekts ermöglicht auch Leistungsverbesserungen in Power-Switching-Anwendungen. Parasitics wie Ausgangskapazität und Layout-Induktivität werden reduziert, was zu einer geringeren Einfügungsdämpfung und einem Betrieb mit höherer Frequenz führt.

Darüber hinaus werden derzeit neue vollelektrische Satel-

IEEE Microwave Band	Frequency Range	Description
L-Band	1 GHz – 2 GHz	Global positioning system (GPS) carriers and also satellite mobile phones, some communications
S-Band	2 GHz – 4 GHz	Weather radar, surface ship radar, and some communications satellites
C-Band	4 GHz – 8 GHz	Primarily used for satellite communications, for full-time satellite TV networks or raw
X-Band	8 GHz – 12 GHz	Primarily used by the military, also used in radar applications
Ku-Band	12 GHz – 18 GHz	Used for satellite communications, fixed satellite services and broadcast satellite services
K-Band	18 GHz – 26 GHz	Used for fixed satellite services and broadcast satellite services
Ka-Band	26 GHz – 40 GHz	Communications satellites, uplink in either the 27.5 GHz and 31 GHz bands, and high-resolution, ctlose-range targeting radars on military aircraft

Tabelle 1: Die IEEE-Mikrowellenbänder

liten untersucht. GaN wird ein Schlüsselelement für diese Entwicklungen sein.

Größenreduzierung, geringes Gewicht und geringer Stromverbrauch sind wichtig für den Erfolg. Einige GaN-Lieferanten wie Qorvo haben ihre Technologie für den Weltraum qualifiziert, was die klaren Möglichkeiten für GaN in diesem Sektor unterstreicht.

GaN ist auch bereit, den VSAT-Satcom-Sektor mit niedrigerer Leistung zu transformieren. Die Verwendung von VSAT-Systemen expandiert: Diese Terminals werden für eine Vielzahl von Anwendungen eingesetzt, einschließlich fester und tragbarer Breitbandsysteme für Verbraucher-, Handels-, Verteidigungs- und Seekommunikation sowie für Transaktionenverarbeitung, Datenerfassung und Fernüberwachung. GaN ersetzt GaAs und arbeitet traditionell mit allen GaAs-Systemen zusammen, die in VSATs aufgrund seiner Fähigkeit verwendet werden, eine höhere Ausgangsleistung bereitzustellen, die höhere Geschwindigkeiten unterstützt und erhöhte Bandbreite für höheren Datendurchsatz ermöglicht. Dies beschleunigt anspruchsvolle Anwendungen wie die kommerzielle Zweiwege-Anwendung oder die Datenübertragung von Videos und anderen großen Dateien. GaN übertrifft Si auch in PA-bezogenen Anwendungen. Die Zuverlässigkeit von GaN unter rauen Umgebungsbedingungen ist auch in diesem Bereich wichtig. VSAT-Geräte finden in der Regel Verwendung in Umgebungen, in denen sie rauen Bedingungen ausgesetzt sind. Fortschritte im Wärmemanagement mit einzigartigen Gehäusen verbessern die schon hohe Zuverlässigkeit von GaN unter diesen Bedingungen weiter. Zwei VSAT-Anwendungen auf hohem Niveau unter Verwendung von GaN-PAs sind in Bild 4 gezeigt.

Fazit

GaN transformiert das HF-Frontend über mehrere Satcom-Anwendungssektoren hinweg. GaN ersetzt traditionelle Technologien wie TWTAs, GaAs und Si, weil es zuverlässiger, effizienter, kleiner und besser in der Leistungsdichte ist und geringeren Stromverbrauch ermöglicht. Satcom-Hersteller verwenden GaN, um die aktuelle Satcom-Technik durch neue Produkte zu verbessern, welche es wiederum ermöglichen, neue Wege zu gehen und mögliche neue Anwendungen zu erkunden.

Die Autoren:

David Schnaufer

Technischer Marketing Manager, Unternehmensmarketing

Dean White

Direktor für Luft- und Raumfahrt- und Verteidigungsmarktstrategie, Infrastruktur- und Verteidigungsprodukte ◄