

Ein vergleichender Überblick

## GaN, LDMOS und GaAs für HF- und Mikrowellen-Anwendungen



**Der NuPower Xtender SCISR-20 Triband Bidirectional Amplifier nutzt die extreme Leistungsdichte und Frequenzflexibilität von GaN, um 20 W Psat im L/S-Band und 10 W Psat im C-Band zu liefern, dies bei einem Formfaktor von nur 7,25 x 4,5 x 1,38 Zoll**

Jeder, der in den letzten 10 bis 15 Jahren irgendetwas mit der HF-Industrie zu tun hatte, weiß von der Existenz von Galliumnitrid (GaN) und seiner schrittweisen Markteinführung. Unzählige technische Abhandlungen, Anwendungsberichte, Blogs usw. haben sich damit beschäftigt, die Überlegenheit von GaN gegenüber seinen Konkurrenten auf Si- und GaAs-Basis zu preisen. Um die Fakten von der Fiktion zu trennen, ist es wichtig, die Unterschiede zwischen diesen Technologien zu verstehen, damit man ihre Vorteile (und Nachteile) für eine bestimmte Anwendung am besten einschätzen kann.

### Wanderfeldröhren (Traveling Wave Tubes)

TWTs sind seit jeher das Mittel der Wahl für HF-Leistungsverstärkung bei hoher Leistung und hohen Frequenzen. TWTs sind Vakuumröhren zur Verstärkung von HF-Signalen von 300 MHz bis hin zu 50 GHz. Sie können zwar hohe Leis-

tungen verarbeiten und werden in bestimmten Anwendungen immer noch eingesetzt, doch gelten TWT aufgrund ihrer geringen Zuverlässigkeit, ihrer großen Abmessungen und ihrer geringen Gestaltungsspielräume als problematisch.

### Lateral-diffundierte Metall-Oxid-Feldeffekttransistoren

Lateral-diffundierte MOSFETs (LDMOS) haben erhebliche Vorteile, da die meisten LDMOS-Bauelemente auf Silizium basieren und eine hohe Leistungsverstärkung zu niedrigen Kosten ermöglichen. LDMOS-Bauteile können bei höheren Frequenzen eine HF-Ausgangsleistung von über 100 W und bis maximal 1 GHz eine Leistung im Kilowattbereich erbringen. Allgemeine Faustregel: gut für Breitband <1 GHz, gut für Schmalband >1 GHz. Darüber hinaus gilt LDMOS als extrem robust und zuverlässig und hat auch den Vorteil hoher Betriebsspannungen von bis zu 50 V. Die Leistungsdichte von LDMOS-

Bauelementen liegt zwischen 1 und 2 W/mm. 3...4 GHz gelten im Allgemeinen als Grenze für die Betriebsfrequenzen.

### Galliumarsenid

GaAs als Halbleitermaterial ist sowohl vielseitig als auch, wie Si-LDMOS, voll ausgereift. GaAs-Transistoren sind in der Lage, in einem sehr breiten Frequenzbereich zu arbeiten, der von 30 MHz bis zu 250 GHz reicht, und können sowohl für Schmalband- als auch für Breitbandanwendungen eingesetzt werden. GaAs-Bauelemente sind auch sehr rauscharm. Die Leistungsdichte von GaAs liegt typischerweise bei 1,5 W/mm. Nachteile von GaAs sind seine niedrige Durchbruchspannung (zwischen 5 und 12 V) und seiner Unfähigkeit, den höheren Temperaturen von GaN und Si standzuhalten, sodass man normalerweise auf etwa 5...10 W Ausgangsleistung begrenzt ist. Bis zu 20...40 W sind jedoch möglich, da mehrere GaAs-Bauelemente in Push-Pull-, Parallel- oder kombinierten Ausgangskonfigurationen verwendet werden können. Dies jedoch nicht ohne Abstriche bei der Effizienz und dem Platzbedarf für periphere Schaltungen.

### Galliumnitrid

GaN hat sich schnell zum Liebling der Halbleitertechnologien in der RF/Mikrowellen-Welt entwickelt. Der Hauptvorteil ist seine hohe Leistungsdichte, die bis zum Fünffachen eines vergleichbaren GaAs-Bauteils betragen kann. Für den Laien bedeutet dies die fünffache Ausgangsleistung bei einer um 80% geringeren Gehäusegröße. GaN kann dutzende bis hunderte von Watt liefern und im Vergleich zu Si- und GaAs-Bauelementen bis zu Millimeterwellenbändern mit verbesserter Effizienz und

Quelle:

*A Comparative Review of GaN, LDMOS and GaAs for RF and Microwave Applications*  
Anthony Combs  
NuWaves Engineering  
www.nuwaves.com  
übersetzt und leicht gekürzt  
von FS

	GaN	GaAs	LDMOS
<b>Frequency</b>	Up to 30 GHz	Up to 250 GHz	Up to 3-4 GHz
<b>Power</b>	10-100s of watts, high power density (5-10 W/mm)	10-20 watts, low power density (1.5 W/mm)	100-1000s of watts, low power density (1-1.5 W/mm)
<b>Cost</b>	High (4-5 \$/Watt)	Moderate (1-2 \$/watt)	Low (1-2 \$/watt)
<b>Bandwidth</b>	Wide	Narrow to Moderate	Narrow (>1 GHz) Wideband (<1 GHz)
<b>Linearity</b>	Poor <sup>1</sup>	Moderate	High

## Vergleich der Technologien

Bandbreite arbeiten. Dies liegt zum Teil daran, dass GaN-Bauelemente eine sanftere Übergangskurve in die Sättigung haben. GaN-Bauelemente haben außerdem Durchbruchsspannungen zwischen 28 und 50 V. Die daraus resultierende geringere Kapazität und die höheren Widerstandsimpedanzen führen zu höheren Gesamtimpedanzen, was den Anpassungsprozess vereinfacht und eine überlegene Breitbandfunktionalität ermöglicht.

GaN-Bauelemente werden fast immer auf einem verlustarmen Substrat mit hoher Wärmeleitfähigkeit hergestellt, z.B. auf Siliziumkarbid (GaN-on-SiC), um die schlechten Wärmeeigenschaften von GaN zu verbessern. Silizium ist ein weiteres hier häufig verwendetes Substrat. GaN-on-Si ist eine billigere Alternative, da die Herstellungsprozesse von Silizium genutzt werden können, allerdings auf Kosten einer geringeren Leistung im Vergleich zu GaN-on-

SiC (etwa 10 W). GaN-on-Si ist auch auf Anwendungen unter 6 GHz beschränkt.

Am interessantesten ist vielleicht, dass synthetischer Diamant zunehmend als Substrat für GaN-Bauelemente genutzt wird. Diamant hat die höchste Wärmeleitfähigkeit aller Materialien. Es scheint, dass mit GaN-on-Diamond eine bis zu zehnfach höhere Leistungsdichte als mit dem derzeit verfügbaren GaN-on-SiC erreicht werden kann.

### LDMOS vs. GaAs vs. GaN: Was sollte ich wann verwenden?

Angesichts der außerordentlichen Vorteile, die GaN-Technologien bieten, könnte man leicht annehmen, dass GaN für alle Anwendungen ein vollwertiger Ersatz für LDMOS und GaAs ist. So einfach ist es natürlich nicht, und viele erwarten, dass LDMOS und GaAs noch viele Jahre lang verwendet werden.

Die Tabelle gibt einen Überblick über die drei Technolo-

gien. Im Allgemeinen ist GaN eine eindeutige Entscheidung für Anwendungen über 3 GHz, die Ausgangsleistungen von >25 W erfordern. Außerhalb dieser allgemeinen Bedingungen wird die Entscheidung zwischen LDMOS, GaAs und GaN zu einer schwierigeren Angelegenheit, die eine sorgfältige Abwägung von Leistungskompromissen und Kosten erfordert. Anwendungen mit hoher Leistung, die einen Betrieb unter 3 GHz erfordern, wie z.B. Basisstationen, profitieren oft mehr von der Verwendung billigerer und voll ausgereifter LDMOS-Technologien. Anwendungen, die über 30 GHz hinausgehen, werden ebenfalls in der GaAs-Domäne betrachtet. Man sollte auch bedenken, dass die Siliziumhersteller in der 10. Generation Wafer herstellen mit 12 bis 18 Zoll. Im Gegensatz dazu befindet sich GaN in der 2. Generation und kann nur auf 4-Zoll-Wafern hergestellt werden, während die Input-Kosten vergleichbar bleiben. Daher wer-

den Anwendungen mit geringer Leistung wahrscheinlich weiterhin am besten durch billigere GaAs-Bauteile bedient, bis die Kosten für GaN durch eine breitere Akzeptanz in der Industrie in Kombination mit technologischen Fortschritten gesenkt werden.

### Schluss

Obwohl die Auswirkungen von GaN nicht ignoriert werden können, ist klar, dass es wie bei allen neuen Technologien einen Kompromiss mit Vor- und Nachteilen gibt, den der kluge Ingenieur sorgfältig abwägen muss. LDMOS und GaAs werden in absehbarer Zeit nicht verschwinden. Die Hersteller von GaN haben heute eine rosige Zukunft. Wenn die Technologie ausgereift ist, die Verfahren verfeinert werden und eine breitere Akzeptanz die Kosten senkt, kann man davon ausgehen, dass GaN fast so allgegenwärtig sein wird wie die elektromagnetischen Wellen, die es ausstrahlt. ◀