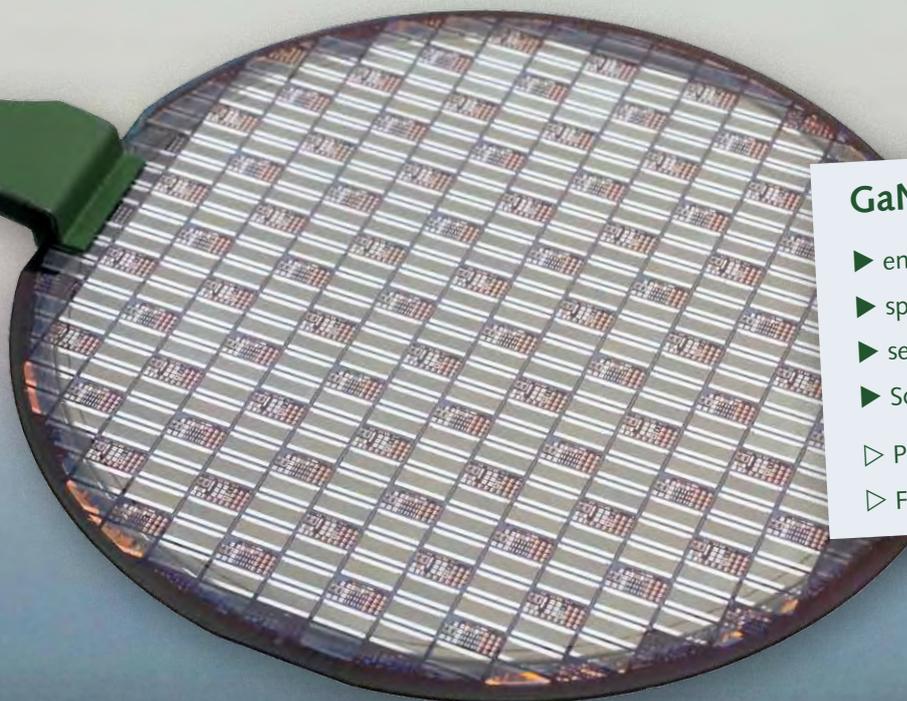


frequent

Forschungsnews aus dem
Ferdinand-Braun-Institut



GaN-Leistungselektronik

- ▶ energieeffiziente technologische Lösungen
- ▶ spannungsfeste Transistoren
- ▶ selbstsperrende Transistoren
- ▶ Schottkydioden
- ▷ Produkte im Fokus
- ▷ Forschung im Fokus

GaN-Leistungselektronik

für energieeffizientere technologische Lösungen

Energieeffizienz ist international eines der wichtigsten gesellschaftlichen Zukunftsthemen. Technische Lösungen, die weniger Energie verbrauchen oder diese effizienter nutzen, spielen dabei eine zentrale Rolle. Die Ansatzpunkte sind vielfältig. Eine Möglichkeit sind moderne Leistungskonverter, die den Primärenergieverbrauch reduzieren, indem sie Gleich- und Wechselstrom besonders effizient umwandeln und auf unterschiedliche Spannungen transformieren. Bei steigenden Leistungsdichten bieten sie zudem geringere Abmessungen und weniger Gewicht – dies spart zusätzlich Energie. Als elementare Bauelemente werden sie etwa in Solarmodulen und Windkraftanlagen, Stromversorgungen für Mobilfunk-Basisstationen und Computersysteme oder in Energieumsetzern für moderne Elektrofahrzeuge eingesetzt. Aufgrund der hohen Strahlungsfestigkeit von GaN-Bauelementen steigt auch das Interesse an einem Einsatz in der Raumfahrttechnik, speziell bei satellitengestützten Solarkonvertern.

Bei der technologischen Umsetzung dieser Konverter sind Galliumnitrid-basierte Halbleiter von besonderer Bedeutung. Damit aufgebaute Leistungskonverter können aufgrund der Materialeigenschaften von Galliumnitrid (GaN) hohe Leistungen bei kleinen System-Bauvolumina im MHz-Bereich schnell schalten. Der Einschaltwiderstand bei gegebener Nennspannung lässt sich

damit gegenüber Silizium (Si)-Transistoren um mindestens eine Größenordnung verbessern. Dieses Potenzial wurde im Labormaßstab am FBH und auf internationaler Ebene mehrfach nachgewiesen; die Technologie steht kurz vor der industriellen Reife. Auch die hohen Qualitätsanforderungen für den Einsatz im Weltraum haben GaN-Transistoren aus dem FBH bestanden: Sie kommen in Kürze an Bord des geostationären Alphasat-Satelliten im All zum Einsatz.

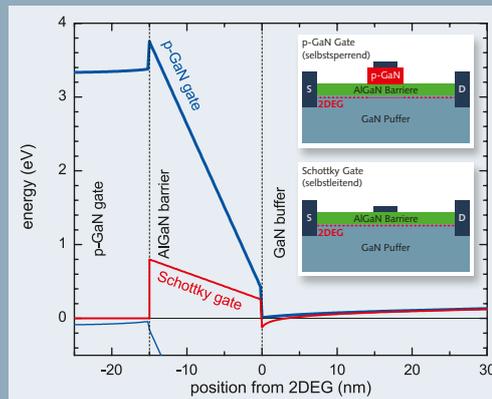
Schlüsselbauelemente für diese und weitere Anwendungen in der Leistungselektronik sind selbstsperrende Leistungstransistoren. Diese werden mit einer positiven Steuerspannung am Gate eingeschaltet und schalten bei fehlender Steuerspannung automatisch ab. Somit sind sie inhärent sicher und eignen sich für den Einsatz in Konvertersystemen, die eine besonders hohe Zuverlässigkeit erfordern. Dank der langjährigen Forschungen auf diesem Gebiet kann das FBH Ergebnisse auf dem internationalen Stand der Technik vorweisen. Das Portfolio der bislang realisierten selbstsperrenden Leistungstransistoren reicht von Bauelementen mit hoher Stromtragfähigkeit von 150 A und 250 V Sperrspannung bis hin zu Transistoren mit 5 A Stromtragfähigkeit und 1200 V Sperrspannung.

Da GaN-Halbleiterschichten mittlerweile auf bis zu 200 mm großen Si-Substraten abgeschieden werden, lassen sich die hervorragenden elektronischen Eigenschaften der GaN-Halbleiter mit den kostengünstigen Produktionsmöglichkeiten der Si-Halbleiterindustrie kombinieren. Daher ist zu erwarten, dass sich GaN-basierte Leistungstransistoren mittelfristig auch hinsichtlich der Kosten mit Si-Transistoren messen können. ■



P-GAN-GATE-TECHNOLOGIE FÜR SELBSTSPERRENDE GAN-TRANSISTOREN

GaN-HEMTs nutzen eine dünne leitfähige Schicht an der Grenzfläche zwischen dem GaN-Puffer und der AlGaN-Barriere als Transistorkanal. Mit zunehmend negativer Spannung an der metallischen Steuerelektrode (Gate) auf der Oberfläche der AlGaN-Barriere kommt es unter der Elektrode zu einer Verarmung an Elektronen, der Transistor beginnt zu sperren. In p-GaN-Gate-Transistoren wird das Gate des GaN-HEMTs durch ein p-leitendes GaN-Halbleitergate ersetzt. Dadurch entsteht eine negativ geladene Raumladungszone, die die Elektronen im Transistorkanal unterhalb des Gates verdrängt. Dies geschieht auch ohne extern angelegte Gatespannung (selbstsperrender Transistor). Der Transistorkanal beginnt sich bei einer positiven Schwellenspannung von circa 1,5 V zu öffnen, voll geöffnet (eingeschaltet) ist er bei etwa 5 V. Beim geöffneten Transistor fließen die Elektronen etwa 10–20 nm unterhalb des p-dotierten Gatebereichs und damit räumlich getrennt von den Akzeptoren. Die Elektronenbeweglichkeit im Kanal bleibt somit vollständig erhalten.

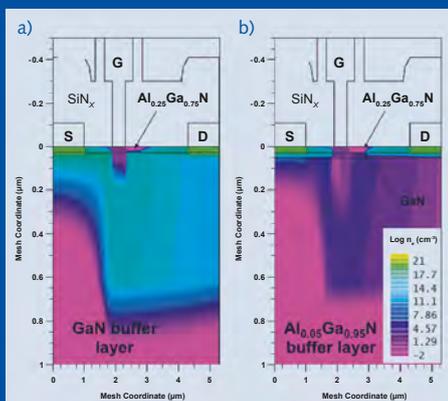


▲ Leitungsbandverlauf unterhalb eines selbstsperrenden p-GaN-Gates (blaue Linie, Aufbau: Inset oben) im Vergleich zu einem Schottky-Gate (rote Linie, Aufbau: Inset unten)

KONZEPTE FÜR GAN-HOCHSPANNUNGS-LEISTUNGSTRANSISTOREN

Der elektrische Durchbruch in einem gesperrten GaN-HEMT zeigt sich durch einen schnell ansteigenden Drainleakstrom. Bei hohen Drainspannungen können Elektronen dabei den Einflussbereich des Gates umgehen und zu einem vorzeitigen Durchbruch des Transistors beitragen. Dieser als ›Punch-through‹ bezeichnete Effekt kann durch eine Potenzialbarriere verhindert

werden, etwa durch einen AlGaN-Puffer, der die Elektronen auf den Kanalbereich konzentriert. Dabei wirkt die AlGaN-Schicht durch die Polarisationsdotierung wie eine p-Dotierung und baut somit nach unten zum Puffer hin eine Barriere für die Elektronen auf. Eine Kohlenstoff- oder Eisendotierung im Puffer bewirkt einen vergleichbaren Effekt. Auf Basis dieser Konzepte wurden am FBH Transistoren realisiert, die eine Durchbruchfestigkeit von 190 V/μm Gate-Drainabstand und eine Sperrspannung von mehr als 1000 V bieten.



◀ Simulation der Elektronenkonzentration in einem gesperrten GaN-HEMT (a) mit GaN-Pufferschicht und deutlich ausgeprägtem Punch-through-Effekt und (b) mit AlGaN-Pufferschicht und unterdrücktem Punch-through-Effekt

EDITORIAL



Als branchenübergreifende Schlüsseltechnologie erschließt die Leistungselektronik zahlreiche Anwendungen: von der Automobilindustrie über Industrienetze bis hin zu Leistungswandlern in Solar- oder Windkraftanlagen. Dank sinkender Kosten, verbesserter Zuverlässigkeit und höheren Leistungsdichten wächst die weltweite Nachfrage nach energiesparenden Leistungsbau-elementen auf der Basis von Galliumnitrid. Das FBH entwickelt die dafür notwendigen neuartigen Topologien und Designs, mit denen sich das Leistungspotenzial des Materials erschließen lässt.

Mit der dritten **frequent** stellen wir Ihnen unsere Konzepte und Lösungen für energieeffiziente Leistungskomponenten vor. Wir wünschen Ihnen eine anregende Lektüre.

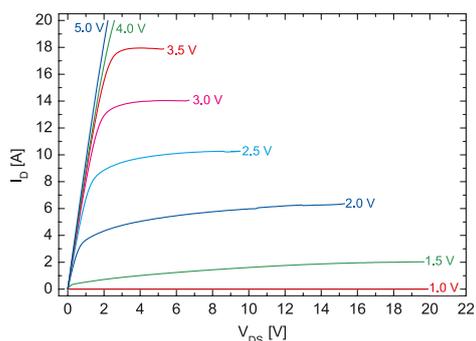
Ihr

Günther Tränkle

Günther Tränkle

► www.fbh-berlin.de/frequent

GaN-Hochvolttransistoren für die Leistungselektronik



▲ Ausgangskennlinienfeld eines selbst-sperrenden GaN-Leistungstransistors (250 V Betriebsspannung, 85 mΩ Einschaltwiderstand)

▼ Selbstsperrender 250 V/150 A-Leistungstransistor mit Blei-Zinn-Bumps für Flip-Chip-Montage



Galliumnitrid (GaN) zeichnet sich durch eine hervorragende Durchbruchfeldstärke von 3,3 MV/cm aus – dieser Wert liegt etwa zehnmal höher als der von Silizium (Si). Daher lassen sich mit GaN-basierten Leistungstransistoren deutlich höhere Leistungsdichten und Schaltfrequenzen als mit Si-Transistoren realisieren. High Electron Mobility Transistoren (HEMTs) kombinieren hohe Elektronenbeweglichkeit und hohe Sättigungsgeschwindigkeit. Damit eignen sie sich für hohe Frequenzen und sehr schnelle Schaltanwendungen. Sie bestehen aus Schichten verschiedener Halbleitermaterialien mit unterschiedlich großen Bandlücken. Bei GaN-basierten HEMTs ermöglicht ein AlGaN/GaN-Heteroübergang dank seines vergleichsweise hohen Bandabstands höhere Betriebsspannungen. Dabei bildet sich an der Grenzfläche eine sehr leitfähige Elektronenschicht, die den Kanal im Transistor bildet, das so genannte zweidimensionale Elektronengas (2DEG). Unipolare Bauelemente mit einem besonders großen Verhältnis aus Spannungsfestigkeit zu flächenbezogenem Einschaltwiderstand können so realisiert werden. Sie weisen daher nur geringe Schaltverluste auf. Konvertersysteme mit GaN-Transistoren profitieren daher von hoher Spannungsfestigkeit, hohen Strömen und hohen Schaltfrequenzen bis in den MHz-Bereich.

Aufgrund ihres Funktionsprinzips sind GaN-HEMTs inhärent selbstleitend; sie können jedoch in selbstsperrende Transistoren umgewandelt werden. Diese werden in der Leistungselektronik aus Sicherheitsgründen bevorzugt.

Schwerpunkte der Entwicklungsarbeiten am FBH:

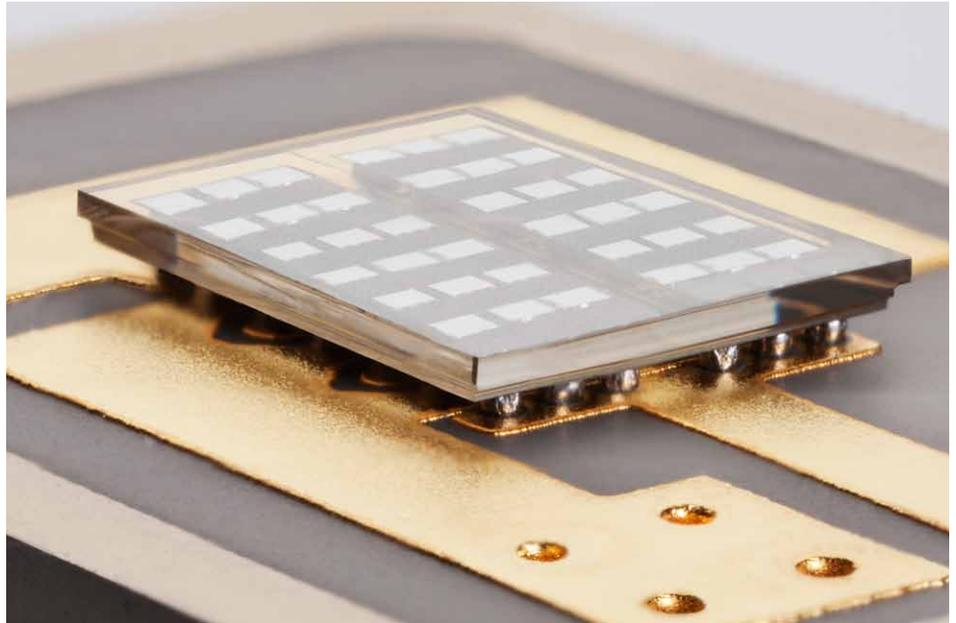
- ▶ **Selbstsperrende GaN-Transistoren**
Bei selbstsperrenden GaN-Leistungstransistoren setzt das FBH auf die p-GaN-Gate-Technologie. Dabei wird ein intrinsischer Potenzialverlauf in der Nähe des Gates so erzeugt, dass die Bauelemente nur durch eine positive Steuerspannung einschaltbar sind. Charakteristisch ist eine Einsatzspannung von etwa +1,5 V und eine Gateaussteuerbarkeit bis etwa +5 V. Bei 0 V Gatespannung sind die Transistoren daher sicher ausgeschaltet. Die Schaltdynamik, das heißt der Unterschied zwischen ein- und ausgeschaltetem Strom, beträgt mindestens sechs Größenordnungen.
- ▶ **GaN-Transistoren mit 1000 V Spannungsfestigkeit**
Durch den Einbau einer rückseitigen Barriere in die GaN-Halbleiterschichten können die Elektronen auch bei hohen Sperrspannungen im Kanal konzentriert werden. Spannungsfestigkeiten oberhalb 150 V/μm Gate-Drain-Abstand werden erreicht. Der flächenspezifische Einschaltwiderstand von 1000 V-Bauelementen wird auf < 1 mΩcm² reduziert.
- ▶ **Hochstromtransistoren bis 150 A**
Ein am FBH entwickeltes, zellular aufgebautes Transistorlayout erlaubt die einfache zweidimensionale Skalierung hin zu hoher Stromtragfähigkeit. Realisiert wurden 150 A/250 V-Transistoren für Flip-Chip-Montage auf einem Keramik-Submount mit integrierter Hochstrom-Verdrahtungsebene.

Die Kombination dieser Eigenschaften qualifiziert FBH-Transistoren für Hochleistungsanwendungen in der Automobil-elektronik, der terrestrischen oder welt-raumgestützten Solarkonvertertechnik und anderen Applikationen. ■

Montage von GaN-Leistungstransistoren

GaN-Leistungstransistoren aus dem FBH zeichnen sich durch einen lateralen Aufbau aus. Alle Anschlüsse befinden sich dabei auf der Chip-Vorderseite. Dies erlaubt die einfache Flip-Chip-Montage, die im Vergleich zu anderen Montageverfahren zu geringeren parasitären Induktivitäten führt. Dies wiederum ist eine der Voraussetzungen für schnelles und effizientes Schalten.

Zur optimalen Wärmeabfuhr hat das FBH eine Bump-Technologie entwickelt, bei der kleine Metallkugeln vollautomatisch auf einer angepassten Under-Bump-Metallisierung sehr präzise platziert werden. Diese Kugeln verschmelzen in einem Temperprozess zu den Bumps genannten »Lothöckern«. Die derzeitige Technologie ist für Blei-Zinn-Bumps optimiert; Kupfer-Bumps für eine noch bessere Wärmeableitung werden derzeit entwickelt. Selbstverständlich ermöglicht der Leistungstransistor-Prozess auch die



▲ 50 A GaN-Hochvoltchip mit Blei-Zinn-Bumps in Flip-Chip-Montage auf thermisch angepasstem Submount

Montage in herkömmlicher Drahtbond-technik. Neben den lateralen Konzepten entwickelt das FBH derzeit auch Leistungstransistoren mit einem quasi-vertikalen Aufbau. Dieses Konzept eignet sich für die beidseitige Chipentwärmung und

nutzt die Chipfläche noch besser aus. GaN-Hochvolt-Leistungstransistoren auf Siliziumkarbid-Substraten sind ab 2012 über die FBH-Ausgründung BeMiTec kommerziell verfügbar. ■

GaN-Schottkydioden für effiziente Konvertertechnologien

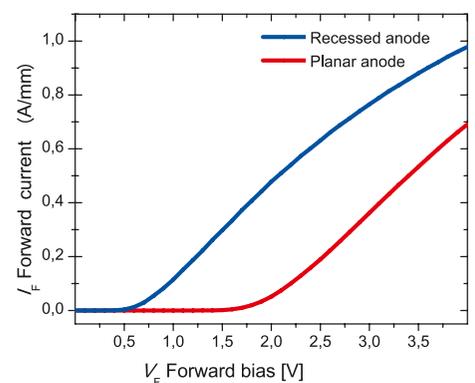
Breitlückige Halbleitermaterialien wie beispielsweise GaN/AlGaIn-Heterostrukturen sind hoch attraktiv, da sie hohe Durchbruchspannungsfestigkeit im gesperrten Zustand mit elektrischer Leitfähigkeit im eingeschalteten Zustand kombinieren.

Ein wesentlicher Nachteil ist bislang die vergleichsweise hohe Einschaltspannung, die im eingeschalteten Zustand zu deutlichen Verlusten führt. Ideal sind Schottkydioden mit geringer Einschaltspannung in Kombination mit schnellem Schaltverhalten und geringen Speicherzeiten. Aufgrund der in GaN-HEMTs prinzipiell fehlenden Bodydiode sind nahezu ideale, schnell schaltende Schottkydioden notwendig, die als Freilaufdioden in schnell schaltenden Invertertopologien eingesetzt werden können. Die elektrischen Eigenschaften der Dioden wie Durchbruchspannung, Einschaltwiderstand und



▲ Montierte GaN-Schottkydioden für den Betrieb bei 600 V, 1 A

Schaltverhalten müssen zu neuen hocheffizienten GaN-Schaltern kompatibel sein, um effiziente Konvertertopologien zu ermöglichen. In diesem Zusammenhang hat das FBH GaN-Schottkydioden mit lateraler Topologie entwickelt, welche die hohe elektrische Leitfähigkeit des 2-dimensionalen Elektronengases an der GaN/AlGaIn-Grenzfläche sehr effizient ausnutzen. Sie zeichnen sich durch eine sehr geringe Einschaltspannung von nur 0,5 V in Verbindung mit einer hohen Spannungsfestigkeit von über 1000 V, eine hohe Schaltgeschwindigkeit und geringe Speicherzeiten aus. ■

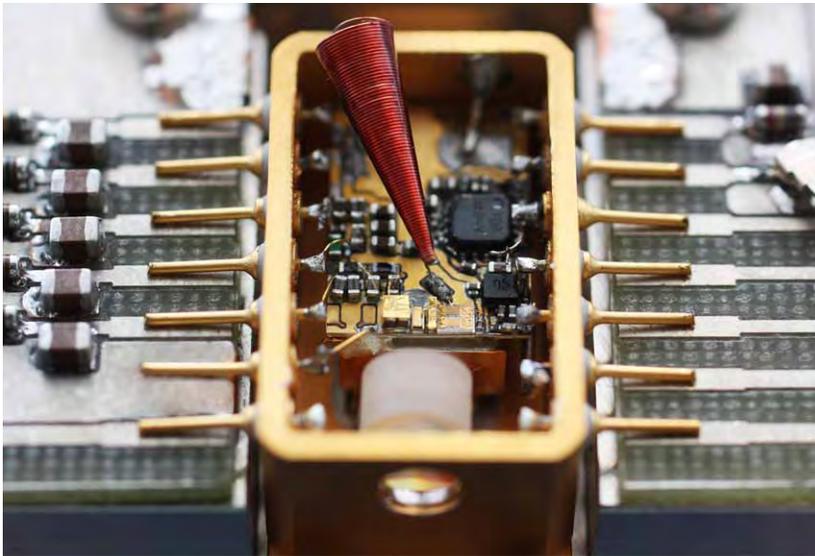


▲ Typische Kennlinie von Schottkydioden mit Kohlenstoff-dotiertem GaN-Puffer

PRODUKTE IM FOKUS

Kompakte maßgeschneiderte ns-Lichtimpulsquellen

Für Anwendungen, etwa in der Material- und Bioanalytik, Materialbearbeitung, Freiraumkommunikation oder Metrologie, entwickelt das FBH leistungsfähige ns-Laserlichtquellen in einem Butterfly-Modul. In diesem Gehäusety wurden weltweit erstmalig gewinngeschaltete 1064 nm DFB-Laserdioden mit Ansteuerlektronik integriert. Durch die Anordnung von ultraschnellen GaN-Hochleistungstransistoren mit zugehöriger Treiberstufe direkt neben dem Laser lassen sich 1–10 ns Laserimpulse mit 2 W Ausgangsleistung bei einem maximalen Impulsstrom von 3 A erzeugen. Die Anstiegs- und Abfallzeiten der Impulse sind kleiner 0,5 ns. Mithilfe einer Auskoppeloptik wird die Strahlung kollimiert. Die spektrale Breite der Laserpulse bei einer Wellenlänge von 1064 nm ist kleiner 0,04 nm. Ein Peltierelement und ein Thermistor regeln die Temperatur im Gehäuse.



▲ Neuartige Laserquelle liefert ns-Impulse maßgeschneiderter Länge und Folgefrequenz

Durch diesen speziellen Aufbau und das umfassende Schaltungs-Know-how ist eine kompakte Quelle entstanden, mit der sich maßgeschneiderte ns-Impulsfolgen im Bereich von 10 MHz bis zu Einzelimpulsen erzeugen lassen. In das Modul können Diodenlaser beliebiger Wellenlänge montiert werden.

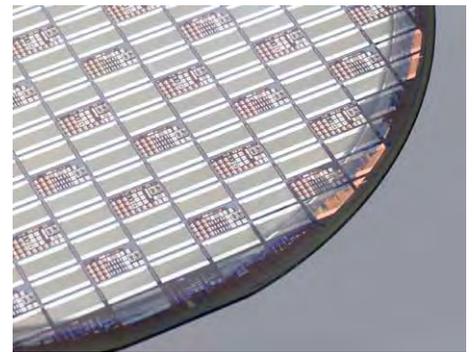
GaN-basierte Mikrowellen-Leistungstransistoren

Die Anwendungen für diskrete GaN-Mikrowellen-Leistungstransistoren für den Frequenzbereich von 1 bis ca. 4 GHz sind weit gefächert. Sie reichen von Kommunikationssystemen bis zur industriellen HF-Erzeugung. Derartige Leistungsbau-elemente auf GaN-Basis entwickelt und produziert das FBH für Ausgangsleistungen von 25 W, 50 W und 100 W per Chip. Diese zeichnen sich durch hohe Effizienz und Reproduzierbarkeit aus. Das FBH fertigt die Transistoren auf 4" SiC-Substraten mit epitaktisch abgeschiedenen GaN/AlGaN-Funktionsschichten. Die Produktentwicklung und Vermarktung solcher Mikrowellen-Leistungsbau-elemente realisiert das FBH in enger Zusammenarbeit mit seiner Ausgründung BeMiTec AG.

FORSCHUNG IM FOKUS

GaN-HFETs mit hohen Strömen und hoher Durchbruchspannung

Zur Leistungsumwandlung, z.B. in Elektroautos oder Photovoltaik-Anlagen, werden Transistoren mit geringem Einschaltwiderstand und hoher Spannungsfestigkeit benötigt. Dafür eignen sich GaN-HFETs besonders, deren Durchbruchspannung durch Fe- oder C-dotierte GaN-Puffer erhöht werden kann.



▲ Selbstsperrende Hochvolt-Leistungstransistoren für 600 V Betriebsspannung und 75 A Spitzenstrom

Aufgrund der größeren Barriere, im Vergleich zu nicht dotierten Pufferschichten, sinkt jedoch die Konzentration der Ladungsträger im Kanal – dasselbe gilt für AlGaN-Puffer, die zusätzlich den Widerstand erhöhen. Diese sinkende Konzentration kann durch n-Dotierung einer dünnen (10 nm) AlGaN-Barriere zwischen C-dotiertem Puffer und undotierter GaN-Kanalschicht kompensiert werden. Die zusätzlichen Elektronen aus dieser Schicht verdoppeln den Strom $I_{ds,max}$ im Vergleich zu einem ansonsten gleich aufgebauten Transistor. Die Spannungsfestigkeit wird davon nicht beeinträchtigt und die Leckströme im abgeschwächten Zustand bleiben niedrig. Eine solche dünne n-dotierte AlGaN-Schicht unter dem Kanal führt damit zu einem deutlich günstigeren Verhältnis von Einschaltwiderstand zu Durchbruchspannung und damit besseren GaN-HFETs für Anwendungen als Leistungsschalter.

780 nm-Module für Präzisionsmessungen im All

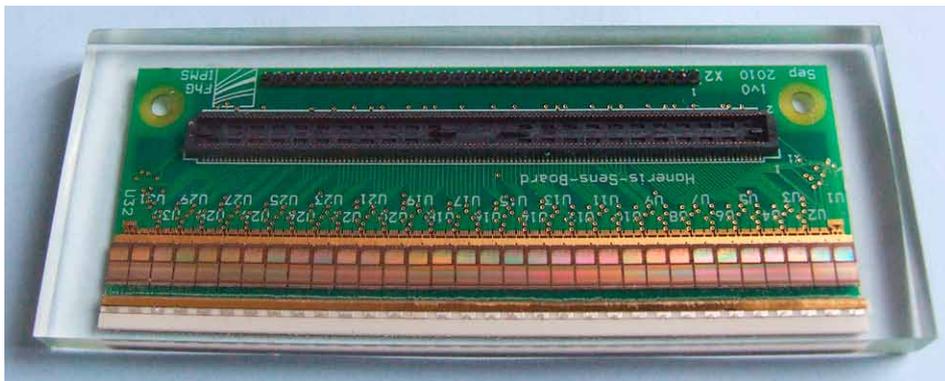
Die Gruppe Lasermetrologie am FBH entwickelt mikrointegrierte Lasermodule, die sich insbesondere für Präzisionsmessungen im Weltraum eignen. Derzeit stehen Lasermodule für spektroskopische Anwendungen im Mittelpunkt, die 2013 an Bord einer Rakete ins All starten werden. Mittelfristig sollen die Module an Bord der ISS oder im Rahmen einer geeigneten Satellitenmission zum Einsatz kommen. Das Konzept setzt auf die Mikrointegration von Laserchips, optischen Komponenten und Elektronik auf einer AlN-Mikrobank. Dies reduziert Volumen und Gewicht um einen Faktor von mehreren 100 im Vergleich zu kommerziellen Systemen. Die Lasermodule zeigen eine außerordentlich hohe spektrale Kurzzeit-Stabilität (wenige kHz Linienbreite) bei Ausgangsleistungen von 1 W und mehr. Sie haben zudem alle erforderlichen mechanischen Vibrations- und Stresstests für Weltraumanwendungen erfolgreich bestanden. Die verwendeten Aufbautechniken und Komponenten sind weltraumqualifiziert oder besitzen die dafür nötigen Voraussetzungen. Derzeit entwickelt das FBH ein weltraumqualifizierbares Aufbau- und Verbindungskonzept mit integrierter Faserkopplung auf der Mikrobank. Dieses ist für 780 nm optimiert, kann jedoch sehr einfach auf andere Wellenlängen zwischen 650 nm und 1100 nm übertragen werden.



► Mikrointegriertes Lasermodul für Präzisionsmessungen im Weltraum

Sensorstreifen für neuartige Röntgendetektoren

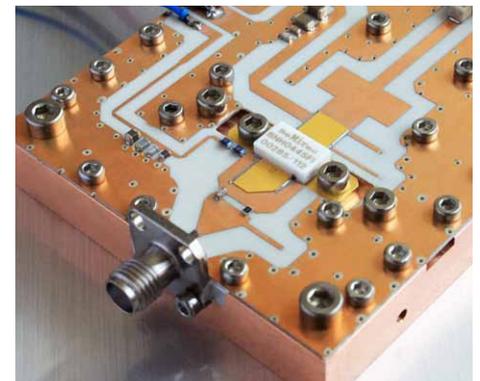
In enger Zusammenarbeit mit der TU Dresden – Institut für Aufbau- und Verbindungstechnik der Elektronik – entwickelt das FBH Sensorstreifen für neuartige Röntgendetektoren. Erst kürzlich wurden direkt wandelnde Zeilensensoren demonstriert, die die Nachteile bisheriger Sensoraufbauten aus Szintillator und Photodetektor beseitigen. Die Vorteile sind insbesondere das sehr geringe Übersprechen zwischen benachbarten Pixeln, der einfachere Aufbau und die längere Lebensdauer der Detektorchips. GaAs-Sensoren wandeln dabei Röntgenphotonen mit einer lateralen Auflösung von 100 μm je Pixel direkt in Ladungsträger um. Der Demonstrator mit einem Sensor aus 1024 Pixeln entstand in Kooperation mit den Fraunhofer-Instituten IZFP und IPMS, die die Sensorbaugruppen der Verstärker- und Auswerteelektronik entwickelten.



▲ Direkt wandelnder Zeilensensor mit 1024 Pixeln und 100 μm lateraler Auflösung

Hocheffiziente Leistungsverstärker und Oszillatoren

Im Rahmen des regionalen Wachstumskerns »Berlin WideBaSe« arbeitet das FBH gemeinsam mit den regionalen KMUs BeMiTec, GloMic und Sentech an der Entwicklung und Vermarktung hocheffizienter Leistungs-Mikrowellenverstärker und Oszillatoren. Der Schwerpunkt liegt auf technologischen und schaltungstechnischen Konzepten, die den Wirkungsgrad von Mikrowellen-Leistungsverstärkern erhöhen. Die Verstärker werden als Demonstratoren bei zwei verschiedenen Frequenzen realisiert. Angestrebt sind 1 kW Ausgangsleistung mit 70% Wirkungsgrad bei der Frequenz von 80 MHz, beziehungsweise 200 W mit 60% Effizienz bei 2,45 GHz. Die neuartigen Verstärker sollen anschließend zur Generierung von Hochdichte-Plasmen in Plasmaquellen von Sentech eingesetzt werden. Nach Abschluss des Projektes soll das erworbene Know-how von den beteiligten Firmen vermarktet werden.



▲ Hocheffizienter 30 Watt-Verstärker bei 2,45 GHz



Das Ferdinand-Braun-Institut, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik, erforscht elektronische und optische Komponenten, Module und Systeme auf der Basis von Verbindungshalbleitern. Diese sind Schlüsselbausteine für Innovationen in den gesellschaftlichen Bedarfsfeldern Kommunikation, Energie, Gesundheit und Mobilität. Leistungsstarke und hochbrillante Diodenlaser, UV-Leuchtdioden und hybride Lasersysteme entwickelt das Institut vom sichtbaren bis zum ultravioletten Spektralbereich. Die Anwendungsfelder reichen von der Medizintechnik, Präzisionsmesstechnik und Sensorik bis hin zur optischen Satellitenkommunikation. In der Mikrowellentechnik realisiert das FBH hocheffiziente, multifunktionale Verstärker und Schaltungen, unter anderem für energieeffiziente Mobilfunksysteme und Komponenten zur Erhöhung der Kfz-Fahrsicherheit. Kompakte atmosphärische Mikrowellenplasmaquellen mit

Niederspannungsversorgung entwickelt es für medizinische Anwendungen, etwa zur Behandlung von Hauterkrankungen.

Das FBH ist ein international anerkanntes Zentrum für III/V-Verbindungshalbleiter mit allen Kompetenzen: vom Entwurf, über die Fertigung bis hin zur Charakterisierung von Bauelementen.

Seine Forschungsergebnisse setzt das FBH in enger Zusammenarbeit mit der Industrie um und transferiert innovative Produktideen und Technologien erfolgreich durch Spin-offs. In strategischen Partnerschaften mit der Industrie sichert es in der Höchstfrequenztechnik die technologische Kompetenz Deutschlands.

Für Partner aus Forschung und Industrie entwickelt das FBH hochwertige Produkte und Services, die exakt auf individuelle Anforderungen zugeschnitten sind. Seinem internationalen Kundenstamm bietet es Know-how und Komplettlösungen aus einer Hand: vom Entwurf bis zum lieferfähigen Modul. ■



IMPRESSUM

Herausgeber:

Ferdinand-Braun-Institut, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik
Gustav-Kirchhoff-Straße 4
12489 Berlin, Tel: 030-63 92 26 26

Redaktion:

Petra Immerz, Gisela Gurr

Layout:

vitamin-a-design

Fotos:

Umschlag Hintergrund: © Mortimer Müller/Shotshop.com; S. 2: © Jiss/Dreamstime.com; S. 3 Porträt G. Tränkle: M. Schönenberger; S. 5 unten, S. 6 links, S. 7 unten rechts, alle Grafiken: FBH; S. 7 unten links: M. Oppermann/TU Dresden; S. 8: FBH/S. Schulz; alle weiteren: schurian.com

03_2011

www.fbh-berlin.de/frequent