

# frequent

Forschungsnews aus dem  
Ferdinand-Braun-Institut

## Thema: Mikrowellenplasmaquellen

- ▶ Alleskönner mit riesigem Marktpotenzial
- ▶ Von der Hautbehandlung bis zur Desinfektion
- ▶ Plasmaquelle für Oberflächentechnologien
- ▷ Produkte im Fokus
- ▷ Forschung im Fokus

# Mikrowellenplasmen

Alleskönner mit riesigem Marktpotenzial

## WAS IST EIN PLASMA?

Als Plasma bezeichnet man ein ionisiertes Gas, das teilweise oder komplett aus freien Ladungsträgern (Ionen und Elektronen) besteht. Es gilt als der vierte Aggregatzustand der Materie und tritt auf wenn Stoffe stark erhitzt werden.

Mehr als 90 % des sichtbaren Universums befindet sich im Plasmazustand, etwa die Sonne und die Sterne.

Auf der Erde treten thermische Plasmen im Feuer und elektrische Plasmen als Blitze oder Polarlichter auf. Charakteristisch ist ihr typisches Leuchten, das durch Strahlungsemission angeregter Gasatome, Ionen oder Moleküle verursacht wird.

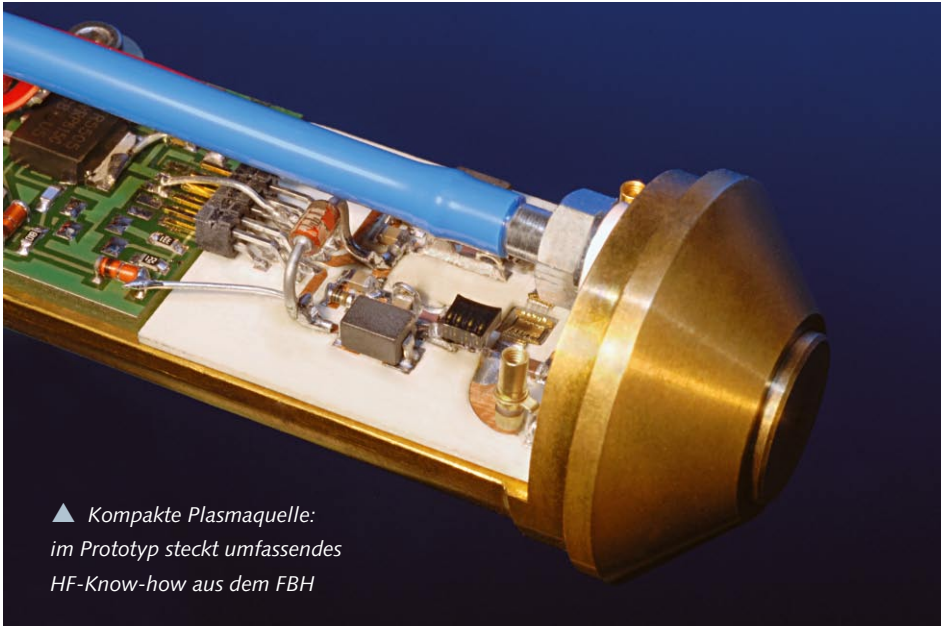
Niederdruckplasmen werden als Werkzeug seit langem technisch genutzt, jedoch erst seitdem Plasmen an der Atmosphäre erzeugt werden können, stehen neue Anwendungsgebiete offen. Mit kalten Plasmen können auch temperaturempfindliche Materialien, Instrumente und Oberflächen behandelt werden. Neuerdings etablieren sich Plasmaverfahren in Medizin und Medizintechnik, etwa zur Unterstützung bei der Wundheilung und der Sterilisation medizinischer Instrumente. Der Marktwert der Produkte, die mit Plasmaverfahren hergestellt oder vergütet werden, wächst laut Deutscher Physikalischer Gesellschaft jährlich um ca. 15%.

Anders als bei Niederdruckplasmaverfahren, benötigen die FBH-Plasmaquellen weder eine Unterdruckkammer noch eine Hochspannungsversorgung. Sie funktionieren an normaler Umgebungsluft. Mit ihnen lassen sich hohe Plasmadichten und damit hohe Reaktionsraten erzielen. Um das Plasma zu erzeugen, wird einem Gas durch Anlegen eines elektrischen Feldes elektrische Leistung zugeführt. Die Eigenschaften des Plasmas lassen sich durch die Energiezufuhr, die Zusammensetzung des Gases und den Druck steuern. Mithilfe dieser drei Parameter können Wissenschaftler die Eigenschaften des Plasmas einstellen. Ein Durchbruch bei Plasmaquellen für medizinische Anwendungen konnte vor kurzem am Ferdinand-Braun-Institut erreicht werden.

Dabei ist es gelungen, das für die Wundheilung so wichtige Stickstoffmonoxid, das an der normalen Umgebungsluft zerfällt, direkt in der Plasmaflamme aus den Gasen Stickstoff und Sauerstoff zu erzeugen.

Hinter diesen Prototypen steht ein umfassendes Know-how in der Mikrowellentechnik: Ein integrierter Oszillator erzeugt ein Mikrowellensignal im 10-Watt-Bereich direkt in der Quelle und nutzt dazu einen ebenfalls am FBH entwickelten Hochleistungs-Galliumnitridtransistor. Dazu gibt der Oszillator sein Hochfrequenzsignal an eine resonante Struktur weiter, in der die Teilchen beschleunigt werden und in der hohe elektrische Wechselfelder entstehen. Bei ausreichend großer Feldstärke ionisiert das Gas schlagartig und das Plasma entzündet sich. Die Mikrowellenfrequenz liegt bei 2,45 Gigahertz, dadurch brennt das Plasma homogen und stabil. Die Galliumnitrid (GaN)-Technologie der FBH-Plasmaquellen ermöglicht die charakteristischen hohen Leistungen verbunden mit hohen Wirkungsgraden und wird durch die Forschung zur GaN-Leistungselektronik am FBH weiter vorangebracht.

Bis zur maßgeschneiderten Plasmaquelle ist eine aufwändige Entwicklungsarbeit nötig, die in Zusammenarbeit mit den zukünftigen Anwendern geleistet wird. Dafür wurde erst kürzlich ein Applikationslabor als zentrale Anlaufstelle für Unternehmen und Institute geschaffen, um den Weg zum Produkt zu verkürzen und den Transfer von Forschungsergebnissen in konkrete Anwendungen zügig voranzubringen. ■



▲ *Kompakte Plasmaquelle:  
im Prototyp steckt umfassendes  
HF-Know-how aus dem FBH*

## TECHNISCHE DETAILS UND PRINZIP

- ▶ **Stabiles und „kühles“ Plasma:** Frequenzen im Mikrowellenbereich (2,45 GHz) erzeugen die benötigte lokal hohe Spannung. Anschließend wird der Strom durch die nun leitende, weil ionisierte Luft stabilisiert. Es entsteht ein stabiles Plasma, eine kalte Variante des Lichtbogens.
- ▶ **Integrierte und kompakte Quelle:** Oszillator mit einem GaN-Hochleistungstransistor, der mit einem Resonator einen Schwingkreis bildet. Das Plasma wird in der Spitze einer Antenne im Resonator erzeugt, durch den das Gas geleitet wird.
- ▶ **Effizient:** Der elektrische Resonator mit integrierten Plasmaelektroden bestimmt die Betriebsfrequenz der Quelle und wirkt so gleichzeitig als Transformator für die benötigten Spannungen.



## PLASMEN NUTZEN!

Den technischen Gasentladungsplasmen muss permanent Energie zugeführt werden, sonst erlischt das Plasma. Die positiven und negativen Ladungsträger vereinen sich dann wieder zu neutralen Atomen und Molekülen. Die in Plasmen freigesetzten Elektronen verleihen der Materie neue physikalische Eigenschaften und wirken auf ihre Umgebung.

Sowohl durch elektrische wie magnetische Felder können Plasmen so gesteuert werden, dass sie auf eine bestimmte Oberfläche gelenkt oder von einer anderen ferngehalten werden. Dies wird unter anderem zur Materialbeschichtung oder Oberflächenhärtung genutzt. Das Anwendungsspektrum ist breit und reicht von der Lichterzeugung in Plasmascreens, Leuchtstoffröhren oder Energiesparlampen bis zur Materialbearbeitung wie Schneiden oder Schweißen. Im medizinischen Bereich werden sie zur Desinfektion und zur Wundheilung eingesetzt.

## EDITORIAL



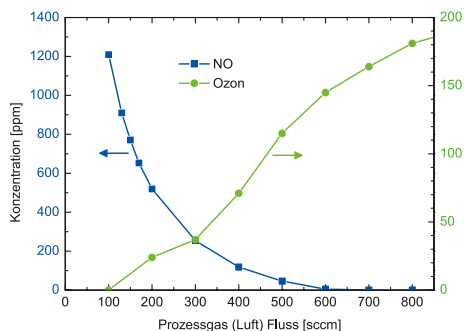
**Mikrowellenplasmaquellen sind wie Schweizer Taschenmesser: für jede Herausforderung das richtige Werkzeug.** Das Ferdinand-Braun-Institut entwickelt kompakte und unkompliziert einsetzbare Mikrowellenplasmaquellen, die bei Atmosphärendruck arbeiten und dadurch weitere Einsatzmöglichkeiten eröffnen. Das breite Spektrum und die Leistungsfähigkeit solcher Plasmaquellen stellen wir Ihnen als Schwerpunktthema der neu konzipierten **frequent** vor. Außerdem halten wir Sie mit Kurznachrichten zu aktuellen Forschungsergebnissen und Produktentwicklungen aus dem Ferdinand-Braun-Institut auf dem Laufenden. Dies werden wir künftig regelmäßig mit weiteren Themenheften wiederholen und wünschen Ihnen eine spannende Lektüre der ersten Ausgabe.

Ihr

Günther Tränkle

# Mikrowellenplasmen für Medizin und Kosmetik

## Von der Hautbehandlung bis zur Desinfektion



▲ Die Konzentration von Stickstoffmonoxid und Ozon kann über den Prozessgasfluss eingestellt werden

Hauterkrankungen wie Schuppenflechte oder Akne, aber auch Wundheilungsstörungen könnten schon bald mit den kalten Flammen eines Mikrowellenplasmas behandelt werden. Die positive medizinische Wirkung bei der Behandlung menschlicher Hautzellen mit Stickstoffmonoxid (NO) mit einer Mikrowellenplasmaquelle aus dem Ferdinand-Braun-Institut konnte anhand biochemischer Analysen der Heinrich-Heine-Universität in Düsseldorf bereits nachgewiesen werden; wichtige Parameter für die spätere Behandlung von Patienten wurden dabei festgelegt.

Zudem funktioniert die Quelle unkompliziert an der normalen Umgebungsluft, es werden also weder aufwändige Druckkammern noch Hochspannungsversorgung benötigt. Auch die Haut verbrennt nicht, da die Flamme des Mikrowellenplasmas kalt ist. Dazu werden ein oder mehrere Gase in geringen Mengen von weniger als einem Liter pro Minute ionisiert, also elektrisch geladen. Dadurch entsteht ein Zustand, der dem eines sehr heißen Gases bzw. einer Flamme ähnelt. Allerdings werden nur die leichten Elektronen schnell und folglich „heiß“, das eigentliche Gas bleibt kühl.



▲ Eine von vielen Anwendungen: Prototyp der Mikrowellenplasmaquelle bei der Hautbehandlung

Insbesondere konnte gezeigt werden, dass NO bis in die Zellen vordringt und dort mit Proteinen interagiert, was entscheidend für die physiologische Wirkung von NO ist. Neuere medizinische Erkenntnisse haben nämlich ergeben, dass der Heilungsprozess durch NO beeinflusst werden kann. NO zerfällt jedoch an der Luft. Mit der Atmosphärenplasmaquelle aus dem Ferdinand-Braun-Institut ist es dagegen möglich, NO aus den Basisgasen Stickstoff und Sauerstoff direkt in einer kleinen Plasmaflamme herzustellen – es wirkt also, bevor es zerfallen kann.

Viren und Bakterien werden bei einer direkten Behandlung mit Plasma abgetötet. Das eröffnet weitere Einsatzbereiche, etwa in der Lebensmittelindustrie oder der Medizintechnik. Schwere und großformatige Druckkammern, die derzeit in der Medizintechnik bei der Sterilisation hitzeempfindlicher medizinischer Instrumente und Geräte eingesetzt werden, könnten dank der Plasmaquelle aus dem FBH künftig überflüssig werden. Die FBH-Quelle arbeitet nämlich bei Atmosphärendruck und kann direkt eingesetzt werden.

Sogar im kosmetischen Bereich gibt es Anwendungen. Plasma reinigt nicht nur Fuß- und Fingernägel, sondern lässt auch Nagellack besser haften. Schönheitszentren setzen Plasmageräte ein, um Pigmentflecken zu beseitigen, Narben und Hautfalten zu glätten sowie die Elastizität der Haut zu verbessern, indem Bindegewebsverbindungen zwischen den Hautzellen aufgelöst und Gewebe schichtweise abgetragen wird. ■

# Werkzeug für die Industrie

## Innovative atmosphärische Plasmaquelle für neue Oberflächentechnologien

Struktur, Farbe und Funktion – die Oberfläche eines Produkts, von Mikrochips, bei elektronischen Geräten oder Automobilen spielt sowohl technologisch als auch optisch eine zentrale Rolle. Dank neuer Querschnittstechnologien wie Verfahren mit atmosphärischen Plasmaquellen können Prozessschritte eingespart oder neue Produkte entwickelt werden. Da so effizienter und kostengünstiger produziert werden kann, gilt den Oberflächentechnologien im Herstellungsprozess die besondere Aufmerksamkeit der Ingenieure. Eine neue, kompakte und hocheffiziente Plasmaquelle für die Oberflächenbearbeitung wurde kürzlich am FBH demonstriert. Sie hat einen Durchmesser von lediglich 30 mm, ist nur 127 mm lang und ihre Leistung liegt bei ca. 10 Watt, also in etwa im Bereich einer Energiesparlampe. Die Plasmaquelle arbeitet mit verschiedenen Prozessgasen wie Umgebungsluft und reinem Sauerstoff. Sie wurde bereits an verschiedenen Kunststoffen erfolgreich getestet. Als kompakte Quelle ist sie vor allem dann

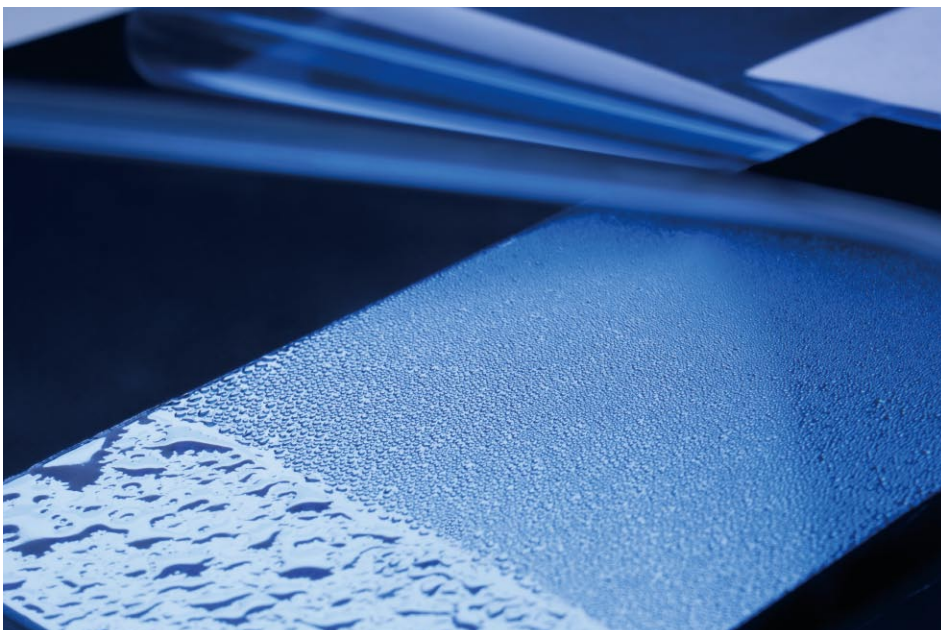
gefragt, wenn schwer zugängliche oder temperaturempfindliche Oberflächen bearbeitet werden müssen.

Sie bietet jedoch weitere Vorteile. So könnte die FBH-Quelle künftig zur Chipfertigung, etwa beim Plasmaätzen oder der Lackveraschung eingesetzt werden, wo dank Plasmatechnologie der Einsatz und die Entsorgung umweltschädlicher Säuren entfällt. Die Reinigung von Bauteilen, Oberflächen und Produktionsanlagen ist ein weiteres Anwendungsgebiet im industriellen Maßstab. Auch der Produktionsaufwand für funktionale Oberflächenbeschichtungen bei Wärmeschutzverglasungen oder Kratzschutzbeschichtungen kann

▲ *Vielfältig einsetzbar: handliche Mikrowellenplasmaquelle aus dem FBH*

mit atmosphärischen Mikrowellenplasmen reduziert werden. Gleiches gilt für die Oberflächenaktivierung von Kunststoffen, die bislang aufwändig mit Niederdruckplasmen vorbehandelt werden, damit Klebungen, Lacke oder Druckfarben halten. Mit atmosphärischen Plasmen könnte dieser Schritt einfach in existierende Produktionsstraßen integriert werden. ■

▼ *Bessere Haftung dank Plasmabehandlung: links aktivierte, rechts unbehandelte Fläche*



### FBH-MIKROWELLEN-PLASMAQUELLE AUF EINEN BLICK

- ▶ Handliche Quelle mit normaler Stromversorgung (24 V DC – keine Hochspannung)
- ▶ Kompakt, da alle kritischen Hochfrequenzbauteile in einer Baugruppe integriert sind
- ▶ Funktioniert an der normalen Umgebungsluft (keine Vakuumkammer)
- ▶ Niedertemperatur: Temperaturen < 100 °C erlauben die Behandlung empfindlicher Oberflächen (Haut, Folien, etc.)
- ▶ Flexibel auf Anwendung anpassbar: funktioniert mit den unterschiedlichsten Inert- und Reaktivgasen (Stickstoff, Sauerstoff, Argon, Helium, etc.)

## PRODUKTE IM FOKUS

### Hocheffiziente Diodenlaser bei 640 nm

Das FBH bietet neu entwickelte hocheffiziente, rote Laser an, die in der Displaytechnologie, Medizin- und Messtechnik eingesetzt werden können. Sie erreichen bei 15 °C und einer optischen Ausgangsleistung von 420 mW eine Konversions-effizienz von 37 %. Dies ist ein Weltbestwert für Laser mit passiver Kühlung. Durch die hohe Effizienz wird einerseits Energie gespart, andererseits sind auch höhere Ausgangsleistungen möglich, da sich der Laserchip nicht so stark erwärmt und das so genannte „thermische Überrollen“ der Kennlinie erst bei höheren Ausgangsleistungen einsetzt. Mehr als 500 mW wurden damit bereits erreicht. Der elektrisch gepumpte Bereich hat eine Fläche von nur 30 µm x 750 µm. Diese Laser werden mit der p-dotierten Seite auf Diamant-Wärmespreizer aufgelötet, um eine gute Wärmeabfuhr aus der aktiven Zone zu gewährleisten.

### Diodenlaser für Freiraumkommunikation und optische Metrologie

Das FBH arbeitet an Diodenlasern, die in einer extrem geringen spektralen Bandbreite emittieren. Mit einer Genauigkeit

von besser als 1:10<sup>9</sup> wird dabei die Frequenz des Lichtes bestimmt und festgehalten. Die Diodenlaser des FBH ermöglichen einen kompakten und stabilen Aufbau derartiger Lasersysteme und brauchen zudem wesentlich weniger Energie als bisherige Systeme. Das macht derartige Strahlquellen insbesondere für die Raumfahrt interessant. Bei der optischen Kommunikation zwischen Satelliten oder zwischen Raumstationen und Raumschiffen etwa, die dank der Lasereigenschaften mit sehr geringer Energie pro Bit auskommt. Weitere spannende Anwendungen sind quantenoptische Präzisionsmessungen von Naturkonstanten oder der Stärke von Gravitationsfeldern zur Bestimmung verborgener Hohlräume.

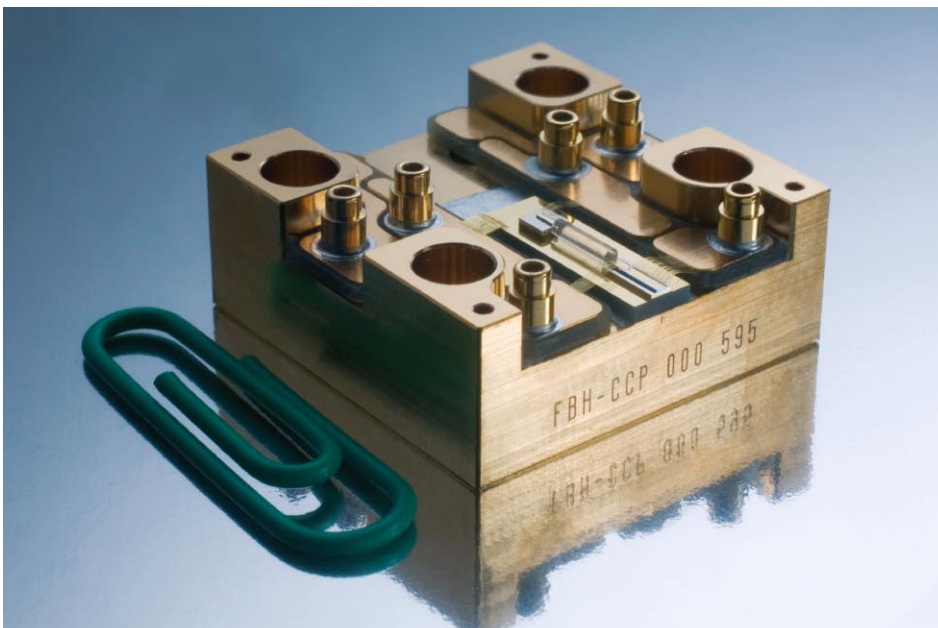
Die Forschungsarbeiten des FBH konzentrieren sich momentan auf die weitere Erhöhung der optischen Leistung sowie der weiteren Verbesserung der spektralen Eigenschaften. Aktuell erreichen Diodenlaser aus dem FBH mit monolithisch integriertem Gitter Ausgangsleistungen von mehr als 250 mW bei 1060 nm mit einer intrinsischen Linienbreite unter 50 kHz. Dies sind internationale Bestwerte für Diodenlaser. Die Wellenlänge wiederum ist für die optische Freiraumkommunikation hoch interessant.



Für quantenoptische Präzisionsmessungen sind Diodenlaser mit ähnlichen Eigenschaften für den Wellenlängenbereich um 780 nm in der Entwicklung. Dabei sollen mit Hilfe von optischen Verstärkern Ausgangsleistungen im Wattbereich erreicht werden. Diese ebenfalls am FBH entwickelten optischen Verstärker auf Halbleiterbasis werden auf mikrooptischen Bänken mit den Diodenlasern und weiteren Sensoren für die Frequenzstabilisierung hybrid integriert. Auf diese Weise entsteht eine kompakte, stabile Laserstrahlquelle mit höchster spektraler Brillanz.

### 20-W-Leistungstransistoren

Am FBH sind jetzt Galliumnitrid-Leistungstransistoren für den 2-4 GHz-Frequenzbereich verfügbar. Ein erster 20-Watt-Typ wird über die Ausgründung BeMiTec vermarktet. 60-Watt-Typen sind derzeit in der Entwicklung und wurden als Prototypen bereits an Industriepartner geliefert. Die Transistoren sind in Mikrowellengehäusen aufgebaut, ein Modell für den Schaltungsentwurf ist verfügbar. Gegenüber Transistoren der Wettbewerber zeichnen sich die FBH-Bauelemente durch ihre sehr gute Linearität aus. Daher sind sie in Mikrowellenverstärkern zur effizienten Verstärkung von digital modulierten Signalen geeignet und können beispielsweise in Mobilfunk-Basisstationen oder im WIMAX-Bereich eingesetzt werden.



◀ Hybrid integrierte Laserstrahlquelle

### GaN-Leistungsverstärker mit internationalen Bestwerten

Mobil zu telefonieren, Daten auszutauschen und unterwegs zu Surfen ist Standard für Nutzer der mobilen Kommunikation. In der Folge haben sich Basisstationen für Mobilfunk und drahtlose Datenübertragung weltweit zu einem Großverbraucher elektrischer Energie entwickelt. Um die Übertragungsverfahren der nächsten Generation für höhere Datenraten überhaupt umweltverträglich umsetzen zu können, zielen Forschungsarbeiten auf die Energieeffizienz der Basisstationen.

Das FBH erforscht in einem BMBF-Projekt gemeinsam mit den Industriepartnern Alcatel-Lucent und EADS Mikrowellen-Leistungsverstärker auf der Basis von Galliumnitrid (GaN), die nach dem neuartigen Klasse-S-Konzept aufgebaut sind. Ein FBH-Demonstrator erzielte nun mit digitalen GaN-ICs eine Leistung von 9 Watt und drang damit erstmals in den 10-Watt-Bereich vor. Ein Bestwert, bei dem die Projektpartner zugleich Pionierarbeit leisten, denn die Arbeiten zu Klasse-S-Verstärkern befinden sich international noch im Anfangsstadium. Dabei sind sie für die Industrie hoch attraktiv, da derartige Verstärker auch in der Endstufe mit digitalen Signalen arbeiten, die erst direkt vor der Antenne mithilfe eines

Filters in ein analoges Signal umgewandelt werden. Dies ermöglicht theoretische Effizienzen von bis zu 100 Prozent.

Zudem kann einer dieser Klasse-S-Verstärker viele verschiedene Funktionen übernehmen, etwa mehrere Frequenzbänder bedienen und diverse Services ausführen – für jede Aufgabe war bisher jeweils ein spezieller Verstärker notwendig.

### Kurzpulsdiodenlaser mit hoher Leistung und Zuverlässigkeit

Ob zur optischen Vermessung, Illumination, Fernerkundung oder zum Entfernen von Lacken – überall wo kurze, energiereiche Lichtpulse benötigt werden, kommen zunehmend Diodenlaser zum Einsatz. Sie ersetzen größere, unflexible Festkörperlaser und erschließen durch ihre besonderen Eigenschaften neue Anwendungen. Bei diesen Diodenlasern kann die Dauer und Folgefrequenz der Laserpulse durch die elektrische Ansteuerung in einfacher Weise – mit einem Stromimpuls durch die Laserdiode – eingestellt werden. Dauer und Frequenz liegen typischerweise bei einigen 10 ns bis 100 ns beziehungsweise einigen kHz.

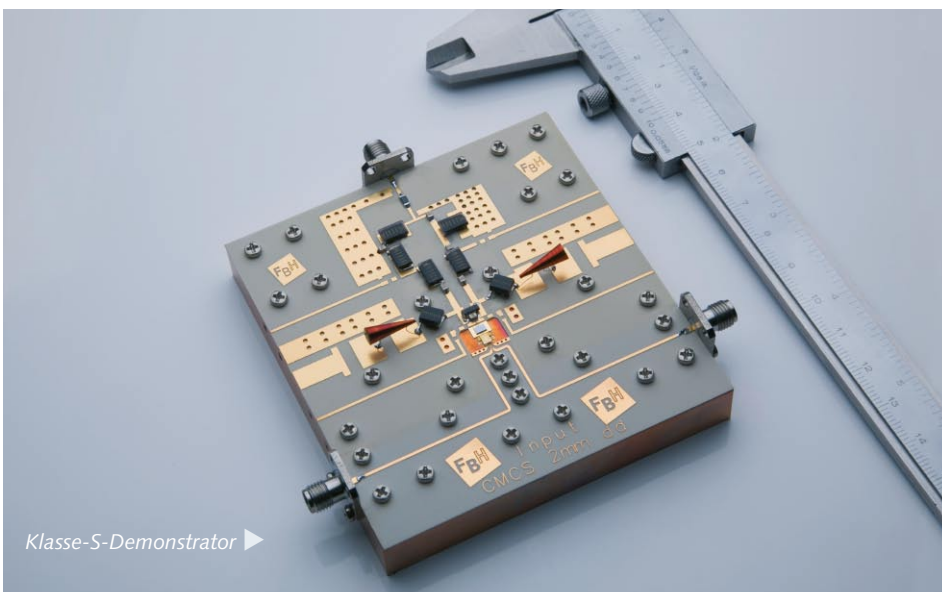
Am FBH ist es jetzt gelungen, die Leistungsfähigkeit solcher Kurzpulsdiodenlaser weiter zu steigern. Durch spezielle Designs der internen Schichtstruktur und

der Resonatorgeometrie sowie der am FBH entwickelten Spiegeltechnologie konnte die Ausgangsleistung aus einem Diodenlaser mit 100  $\mu\text{m}$  breiten Kontaktstreifen auf nahezu 100 W im Impulsbetrieb gesteigert werden. Damit sind Impulsenergien von 30  $\mu\text{J}$  bei Impulsdauern von 300 ns möglich, die für viele der genannten Anwendungen interessant sind. Erste Tests der Zuverlässigkeit zeigen, dass nach  $3 \times 10^7$  Impulsen keinerlei Leistungsabfall oder gar eine Schädigung der Spiegel, die immerhin Leistungsdichten oberhalb 100  $\text{MW}/\text{cm}^2$  ausgesetzt sind, auftreten.

### GaN-Schichten für leistungsfähigere Bauelemente

Galliumnitrid (GaN)-Substrate sind die Voraussetzung für violette Laser und ermöglichen die hohen Speicherdichten der Blu-ray Discs. Auch für Leistungstransistoren aus GaN wären sie hochinteressant – sobald sie kostengünstig zur Verfügung stehen. Die Substrate werden gegenwärtig aufwändig als Einzelstücke gefertigt, da größere Kristalle derzeit nicht herstellbar sind. Das FBH entwickelt dazu das Verfahren der Hydrid-Gasphasenepitaxie, das Wachstumsraten von mehreren hundert Mikrometern in der Stunde erlaubt. Bisher wurden Kristalle mit 2 Zoll Durchmesser und 3 mm Länge in der benötigten Qualität hergestellt. Das FBH arbeitet an Verbesserungen der Kristallqualität als Voraussetzung für noch längere Kristalle.

▼ 2,6 mm dickes Galliumnitrid





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 Bedarfsebenen 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 Nieder-

spannungsversorgung 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:

Gisela Gurr, Petra Immerz

### Layout:

vitamin-a-design

### Fotos:

Sonne S. 2: ESA/SOHO-EIT, Porträt G. Tränkle S. 3: M. Schönenberger, Plasmaquelle S. 3: FBH, Diagramm S. 4: Ruhr-Universität Bochum, Galliumnitrid S.7, Gebäudeansicht S. 8: FBH, alle weiteren: schurian.com

01\_2010

[www.fbh-berlin.de/frequent](http://www.fbh-berlin.de/frequent)