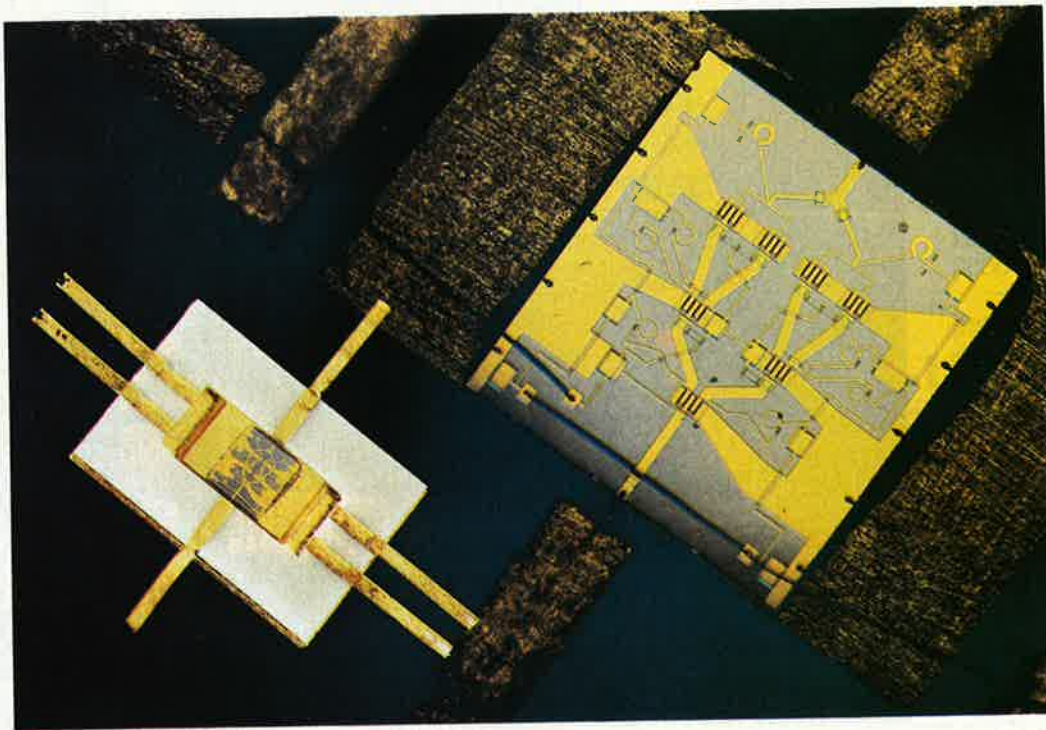


# GaAs: Der Stoff, aus dem die „Mikrowellen“-Träume sind

## III/V-Halbleiter: hochfrequenter und rauschärmer



Überall dort, wo Bauelemente und Schaltkreise Signale weit jenseits der Gbit/s bzw. GHz-Grenze verarbeiten können, spielt GaAs als Halbleitermaterial eine Schlüsselrolle. Und es stellt sich die Frage, in welcher Form die deutschen Elektronikfirmen auf diese Innovationswelle reagieren. Dem Bundesministerium für Forschung und Technologie jedenfalls dauerte die Antwort der

„Betroffenen“ etwas zu lange. Minister Riesenhuber und seine Mannen schufen ein Forschungsprogramm, das die Entwicklungsbemühungen einzelner Unternehmen koordinieren soll. Mit der Aufgabe, den Worten nun Taten folgen zu lassen, betrauten sie Herrn Dr. Rupprecht vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik in Freiburg. Inzwischen hat sich ein

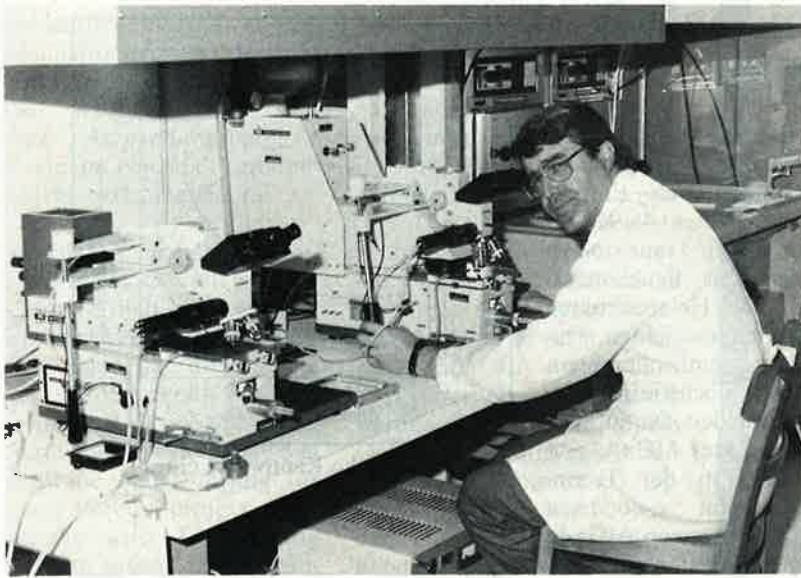
von mehreren Partnern getragener Forschungsverbund etabliert, dessen Programm deutliche Umrisse angenommen hat. Am Zustandekommen des Forschungsprogramms hat u.a. auch Dr. Roland Diehl beigetragen, der in einem Gespräch mit der »ep«-Redaktion Einzelheiten dieses ehrgeizigen Vorhabens vorstellte.

**»elektronikpraxis«:** Das BMFT hat Sie vor zwei Jahren beauftragt, sich in der Bundesrepublik nach Firmen umzusehen, die sich bereits in der GaAs-Entwicklung engagierten. Letztendlich konnten Sie fünf Unternehmen für das Programm gewinnen. Wie lassen sich die sicher verschiedenartigen Interessen der einzelnen Teilnehmer unter einen Hut bringen?

**Dr. Diehl:** Das gesamte Forschungsprogramm ist in fünf einzelne Verbundprojekte aufgliedert worden, für die jeweils eines dieser Unternehmen die Federführung übernimmt. Die einzelnen Forschungsvorhaben tragen die ersten Buchstaben im Alphabet.

**»ep«:** Welches Projekt verbirgt sich denn nun hinter dem Buchstaben „A“?

**Dr. Diehl:** In erster Linie sind einmal die Voraussetzungen für ein GaAs-Bauelemente-programm zu schaffen; d.h., es muß genügend semiisolierendes Substratmaterial vorhanden sein, und es muß qualitativ einwandfrei sein. Diese Forderungen können bislang nicht erfüllt werden, da Einkristalle aus Galliumarsenid bezüglich ihrer elektronischen Eigenschaften immer noch zu inhomogen sind und große Kristallfehlerdichten aufweisen. Diese Fehlerdichte bewegt sich bei GaAs noch in der Größenordnung von 5000 bis 10 000 Versetzungen je cm<sup>2</sup>, während Silizium-Kristalle heute frei von Versetzungen sind. Darüber hinaus besteht noch völlige Ungewißheit darüber, wie die Fehlerdichte sich bei der Bauelemente-Herstellung in dieser oder jener Form auswirkt. Alle diese Fragen sollen in



**Dr. Roland Diehl:**  
„GaAs wird in jene Nischen stoßen, wo die Silizium-technologie an ihre Grenzen stößt“

Zusammenarbeit mit dem Kristallhersteller Wacker-Chemitronic geklärt werden, der bereits GaAs-Einkristalle und Substratwafer zu fertigen vermag, allerdings mit einer noch unbefriedigenden Qualität.

»ep«: Nehmen wir mal an, die Probleme mit dem Substratmaterial seien gelöst. Gibt es dann immer noch Probleme, die der Serienfertigung von GaAs-Schaltkreisen im Wege stehen?

**Dr. Diehl:** Ja, mehr als reichlich! Denn es müssen weitgehend neue Prozeßtechnologien für die Herstellung von Bauelementen und IC erarbeitet werden. GaAs-Wafer werden als semiisolierendes Substratmaterial verwendet, d.h., einzelne Schaltungselemente (z.B. Transistoren) sind aufgrund der Materialeigenschaften des GaAs an sich schon voneinander isoliert. Transistoren benötigen jedoch für ihre Funktion aktiv leitende Bereiche. Solche Bereiche wiederum werden durch Ionenimplantation erzeugt oder auch durch Abscheiden epitaktischer Schichten. Ionenimplantation verursacht jedoch Strahlenschäden im Kristallgitter, die durch eine Wärmebehandlung bei ca. 800 °C geheilt werden müssen. Bei 800 °C

allerdings würde das Arsen aus der Substratoberfläche herausdampfen. Es müssen also neue Wege gefunden werden, die u.A. auch die Metallisierung betreffen. Die Realisierung temperaturstabiler sperrender Kontakte auf GaAs ist sehr schwierig. Zudem müssen völlig neue Ätztechniken entwickelt werden, und zwar sogenannte trockene Ätztechniken, die spezifisch für das GaAs sind. Federführend für das Verbundprojekt „B“, das sich mit der Prozeßentwicklung befaßt, wird das Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik in Freiburg sein, wo auch ich meinen Teil beizutragen hoffe.

»ep«: Ihre Erklärungen erwecken den Eindruck, als seien Bauelemente aus GaAs noch ungeeignet für Anwendungen in großen Stückzahlen. Gibt es denn nicht bereits eine Reihe von GaAs-Bauelementen, z.B. Gunn-Dioden oder FET, die bei Schaltungen im GHz-Bereich eingesetzt werden?

**Dr. Diehl:** Natürlich gibt es verschiedene diskrete Bauelemente aus GaAs; es gibt auch bereits erste integrierte Schaltungen, sowohl in der Nachrichtentechnik als auch in der digitalen Signalverarbeitung. Diese Fortschritte finden

auch in den drei übrigen Verbundprojekten ihren Niederschlag. Im Verbund „C“ forschen die Entwickler nach neuen Bauelement- und Schaltungskonzepten. So kann GaAs als Trägermaterial nicht nur „n“ und „p“ dotiert werden, es können auch AlGaAs-Schichten aufgebracht werden, mit denen sich modulierte Strukturen mit unterschiedlichem Bandabstand realisieren lassen. Diese zusätzlichen Variationsmöglichkeiten sollen in ihrer ganzen Breite im Max-Planck-Institut Stuttgart erst einmal ausgelotet werden. In diesem Zusammenhang arbeiten die Forscher unter der Leitung von Nobelpreisträger von Klitzing an den Grundlagen des ballistischen Transistors. Ich gebe Ihnen zum Verständnis einige Erklärungen: Die Elektronen im GaAs weisen eine wesentlich kleinere effektive Masse auf als im Silizium; gleichzeitig legen diese Elektronen weit größere Wegstrecken zurück, bevor sie an Atomrümpfe anstoßen. Versuchen Sie, sich eine freie Weglänge vorzustellen, die bei 77 K Umgebungstemperatur in der Größenordnung von 0,3 bis 0,4 µm liegt. Mit eben dieser Länge kann man heute schon Transistorgates herstellen; das wiederum hieße, daß die Elektronen frei durch das

# Diehl electronic

MESSDATENERFASSUNG

PROZESS-LEITSYSTEME

ENTWICKLUNG - FERTIGUNG  
STANDARD- UND KUNDENSPEZIFISCHE  
LÖSUNGEN

KRIEGSBERGSTR. 4 · 7050 WAIBLINGEN

TELEFON: 07151/22998

TELEX: 724377

Gate fliegen könnten. Mit diesem Prinzip scheinen sogar Schaltzeiten von 100 bis 10 Femtosekunden (also  $10^{-15}$  s) erreichbar.

»ep«: Gibt es denn noch andere Entwicklungen, die in diesem Verbundprojekt ins Auge gefaßt werden?

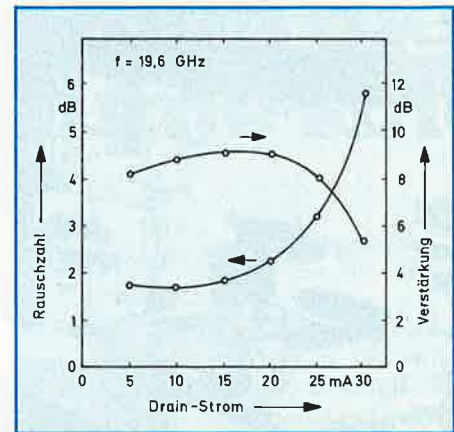
**Dr. Diehl:** Zweifellos! Es gibt ein Bauelementkonzept, bei denen FET unter Verwendung von Heterostrukturen weiterentwickelt werden. Diese neue FET-Generation, die bereits unter der Bezeichnung HEMT (= High Electron Mobility Transistor) von verschiedenen Herstellern angekündigt wird, zeichnet sich durch außerordentlich hohe Elektronen-Transportgeschwindigkeiten und damit Schaltfrequenzen aus. Erste Anwendungen in Ringoszillatoren zeigen, daß bei 77 K mit dem HEMT Gatterlaufzeiten um 10 ps möglich werden.

»ep«: Sie erwähnten in Ihren Einführungen zum Projekt „C“, daß nicht nur Bauelement- sondern auch Schaltungskonzepte zum Forschungsprogramm gehören. Könnten Sie das etwas weiter ausführen?

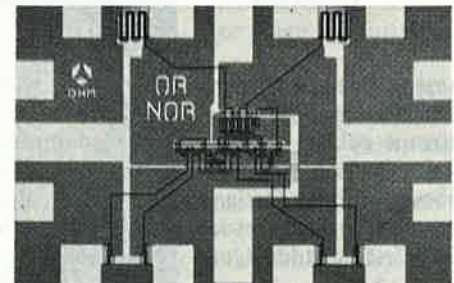
**Dr. Diehl:** Sie haben sicher schon einmal von optoelektronischen integrierten Schaltkreisen gehört. Diese sogenannten OEIC sind von besonderem Interesse für den Einsatz in kurzreichweitigen, lokalen Glasfasernetzen. In diesen IC sollen optische Sendekomponenten wie LED- und Laserdioden, Empfängerdioden samt Verstärkern und schnelle Signalprozessoren, wie z.B. Teiler oder Multiplexer, auf einem Chip monolithisch integriert werden. Schwierigkeiten in der Verwirklichung ergeben sich aufgrund der verschiedenartigen Strukturen der Einzelelemente, die bei der Schaltkreisfertigung viele Maskenebenen erfordern.

## Was ist eigentlich ein HEMT?

Der HEMT (= High Electron Mobility Transistor) gilt als das Grundelement kommender IC-Generationen. Es gibt bereits erste Muster eines 4K-RAM-Speichers, in dem dieser Transistortyp Anwendung findet. Das Bauelementkonzept basiert auf einer Heterostruktur der einzelnen Halbleiterschichten. Dabei wird auf dem semiisolierenden GaAs-Substrat eine höchstreine AlGaAs-Schicht abgeschieden. Darauf wiederum wird ein n-dotiertes AlGaAs epitaktisch aufgebracht. In der Trennschicht zwischen dem n-dotierten AlGaAs und dem höchstreinen AlGaAs bildet sich ein zweidimensionales Elektronengas aus. Die Elektronen aus der n-dotierten Schicht diffundieren in das reine AlGaAs, wobei sie gerade in der Grenzfläche sehr schnell werden. Dieser Stromfluß läßt sich durch Anlegen einer Gatevorspannung ganz gezielt steuern. Grundsätzlich ist ein Halbleiter mit dem eben beschriebenen Aufbau doppelt so schnell als ein MESFET, mit dem bislang schon Gate-Laufzeiten von 100 ps technisch machbar waren. Bild 1 zeigt hierzu typische Kennwerte eines bereits entwickelten HEMT.



**Bild 1: Typische Kennwerte eines HEMT**  
(Quelle: Fujitsu)

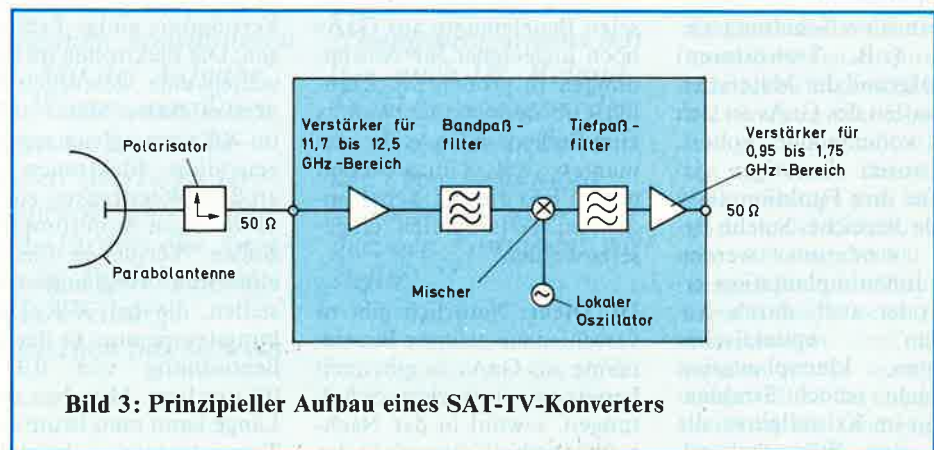


**Bild 2: Elemente einer Zellenbibliothek für GaAs-Gate-Arrays**  
(Foto: Thomson-CSF)

## Das Satellitenfernsehen kommt bestimmt

Wenn das Satellitenfernsehen im Herbst dieses Jahres erste konkrete Formen annimmt, werden auch die Entwicklungsaktivitäten in Sachen monolithisch integrierte Mikrowellen-IC erheblich forciert werden. Für den Empfang dieser Satellitenprogramme gibt es bereits erste Konverterbaugruppen. Bild 3 zeigt in diesem Zusammenhang den prinzipiellen Aufbau eines SAT-TV-Konverters.

Einzelne Funktionselemente dieser Baugruppe werden bereits als Integrierte Mikrowellenbausteine ausgeführt. Es gibt ein- und mehrstufige Verstärkerbausteine, die eigens für die Frequenzbereiche 11,7 bis 12,5 GHz sowie 0,95 bis 1,75 GHz entwickelt wurden. Auch lokale Oszillatoren für den Frequenzbereich von 10 bis 11,5 GHz sind in integrierter Bauweise verfügbar.



**Bild 3: Prinzipieller Aufbau eines SAT-TV-Konverters**

»ep«: Sie haben bislang das Gebiet der integrierten Logikschaltungen sowie der Halbleiterspeicher mit keinem Wort erwähnt. Sind diese Anwendungsbereiche in einem eigenen Verbundprojekt zusammengefaßt?

**Dr. Diehl:** Sie haben recht! Das Projekt „D“ zielt exakt in Richtung digitale integrierte Schaltkreise (DIC). Erste Entwicklungen auf diesem Gebiet werden wohl bei den Speicherzellen möglich sein, womit auch feststeht, daß Siemens die Federführung für dieses Verbundprojekt übernehmen wird. Gegenwärtig läßt sich sagen, daß die einzelnen Speicherelemente vorerst in MESFET-Technologie aufgebaut werden. Es konnten auch bereits erste HEMT-Schaltkreise realisiert werden. Die Zugriffszeiten, z.B. bei statischen RAM, werden nach heutigem Wissen im Vergleich zu Si-Speicherbausteinen noch um den Faktor 5 vermindert werden können. In einer zweiten Phase sollen dann GaAs-DIC für den Einsatz in Informationsübertragungs- und -verarbeitungssystemen zur Verfügung stehen, wobei der Wert 2,048 Gbit/s in der künftigen Glasfaserkommunikation eine wichtige Rolle spielen wird. Gearbeitet wird auch an zentralen Prozessoreinheiten (CPU), die in den Höchstgeschwindigkeitsrechnern zum Einsatz kommen sollen.

»ep«: Sehen Sie für GaAs noch weitere Anwendungsmöglichkeiten?

**Dr. Diehl:** Was bislang nicht zur Sprache kam, betrifft die Hochfrequenz-Nachrichtentechnik und damit Projekt „E“. Baugruppen für diesen Frequenzbereich werden in den meisten Fällen in Hybridtechnik aufgebaut. In Zukunft jedoch sollen auch Mikrowellen- und Millimeterwellen-Baugruppen monolithisch aufgebaut werden können. Diese Schaltkreise werden als MMIC bezeichnet und bestehen aus Transisto-

ren bzw. Dioden, die zusammen mit passiven Komponenten, wie Spulen, Kondensatoren und Widerständen, zu Sender- und Empfängerbausteinen integriert werden. Ihre Anwendung ist unter anderem das Satellitenfernsehen. Die Signale werden als Mikro- bzw. Millimeterwellen über schlüsselförmige Antennen empfangen, wobei sie beim Empfänger in einem Front-end auf UHF bzw. VHF heruntertransformiert werden. Hierzu sind lokale Oszillatoren nötig, mit deren Hilfe die ankommenden Frequenzsignale gemischt werden. Die am Mischer entstehende Zwischenfrequenz wird dann vom Fernsehempfänger ausgewertet. Für alle Sende- und Empfangsstufen sowie für den lokalen Oszillator werden diese absolut rauscharmen MMIC-Schaltungen nötig. Auch in der Telefonie und im Richtfunk werden mit den steigenden Übertragungsfrequenzen GaAs-Schaltungen den Vorzug erhalten.

»ep«: Zum Abschluß noch zwei generelle Fragen! Welche Bedeutung messen Sie dem GaAs als Halbleitermaterial insgesamt bei, und wie wird sich der Markt in den kommenden Jahren entwickeln?

**Dr. Diehl:** Eines läßt sich sicher voraussagen: GaAs wird Silizium als Arbeitspferd nicht verdrängen. Es wird in jene Nischen stoßen, wo es auf besondere Leistungsfähigkeit ankommt bzw. wo die Siliziumtechnologie an ihre Grenzen stößt. Auf dem Halbleitermarkt werden GaAs-Produkte im Jahre 1992 voraussichtlich einen Anteil von 5% innehaben. Wenn man den Markt in absoluten Zahlen beschreiben will, so werden diese OEIC, MMIC und DIC in sechs Jahren rd. sieben Milliarden Dollar Umsatz bedeuten.

»ep«: Herr Dr. Diehl, wir danken Ihnen für dieses Gespräch. ⊕

**Mini-Circuits . . .**  
Konzepte, Technologien, Lösungen

## Ringmischer (HIGH LEVEL, LOW COST)



# TFM-2 H

F-Bereich:	LO/RF: 5-1000 MHz
	IF: DC-1000 MHz
LO-Pegel:	+17 dBm
RF-Pegel:	+14 dBm
Mischdämpfung:	7 dB
Entkopplung:	40 dB
Impedanz:	50 Ohm
Abmessungen:	13 x 6 x 6 mm
Umgebungsbedingungen:	MIL-M-28837/IA MIL-STD-202 E

INDUSTRIAL GMBH  
ELECTRONICS  
KLUBERSTRASSE 14  
D-6000 FRANKFURT/M. 1  
TEL. (069) 72 47 52 - TLX. 4 12 507

▲ Leserdienst-Kennziffer 16

**Mini-Circuits . . .**  
Konzepte, Technologien, Lösungen

## PIN Dioden HF-Schalter



# PSW-1111/1211

(SPST/SPDT) Ausführung:	
F-Bereich:	10-2500 MHz
Einfügungsdämpfung:	1.7 dB
Entkopplung:	30 dB
Schaltzeit:	1 µs
Input:	+20 dBm
Abmessungen:	10 x 20 x 7.5 mm
Umgebungsspezifikation:	MIL-STD-202 E

INDUSTRIAL GMBH  
ELECTRONICS  
KLUBERSTRASSE 14  
D-6000 FRANKFURT/M. 1  
TEL. (069) 72 47 52 - TLX. 4 12 507

▲ Leserdienst-Kennziffer 17