

Monolithisch integrierter Millimeterwellenoszillator

C. G. Diskus, K. Lübke, A. L. Springer, H. W. Lettenmayr, H. W. Thim
Institut für Mikroelektronik, Universität Linz,
4040 Linz

In diesem Beitrag werden die neuesten Ergebnisse, welche mit einem MMIC-TEO (transferred electron oscillator) – dem sogenannten FECTED (field effect controlled transferred electron device) – erzielt worden sind, präsentiert. Es handelt sich dabei um ein planares Bauelement, welches wegen seiner Einfachheit ideal für die Erzeugung von Millimeterwellen geeignet ist. Zur Schwingungserzeugung wird der Gunneffekt ausgenutzt, doch wird die übliche Laufzeitbedingung durch eine Begrenzung der Elektroneninjektion an der Kathode umgangen. Durch diese Maßnahme kann einerseits die Betriebsfrequenz wesentlich höher als die Laufzeit-schwingung gewählt werden, andererseits ermöglicht die Einstellbarkeit der Injektion die Abstimmung über einen Bereich von ± 500 MHz. Mit dem neuesten Schaltungsdesign konnte bei 35 GHz eine Ausgangsleistung von 14 mW und ein Wirkungsgrad von 3,8 % für Dauerstrich erzielt werden.

This contribution reports the latest results achieved with an MMIC-TEO (transferred electron oscillator) – the so-called FECTED (field effect controlled transferred electron device) – which utilizes the frequency independent negative resistance of the stationary charge dipole domain that forms in the channel of a GaAs MESFET. The big advantage of this oscillator is the fact that the length of the gate electrode is not related to the transit-time frequency and can thus be made longer than a MESFET gate. Good microwave performance is thus obtained with less critical structure dimensions. Another advantage is the simplicity of a two terminal device as far as the loading circuitry is concerned: the gate of an FET oscillator is connected to the RF circuit whereas the gate of the FECTED is a DC connected electrode used for adjusting the electron injection. Furthermore, VCO operation with 1 GHz tuning range is easily accomplished by varying the gate bias voltage. Output power and efficiency achieved with newly designed 35 GHz circuits are 14 mW and 3.8 % for CW operation, respectively. Work to build 61 GHz oscillators is in progress.

1. Einleitung

Monolithisch integrierte Millimeterwellen-Schaltkreise (MMICs) gewinnen für den Aufbau kostengünstiger Subsysteme für Anwendungen in der Prozeßmeßtechnik (Abstands- und Geschwindigkeitsmessung) und für die Breitband-Kommunikationstechnik in zunehmendem Maße an Bedeutung. Ein zentrales Problem ist die Herstellung einer empfindlichen Empfängerschaltung, für die sich die Integration von rauscharmen Feldeffekttransistoren, Mischerdioden und spannungsgesteuerten Oszillatoren (LOs) auf einem semi-isolierenden GaAs Chip als günstigste Lösung anbieten. Während die monolithische Integration von Mischerdiode und Zwischenfrequenzverstärker bereits gut beherrscht wird [1], ist die Herstellung eines integrierten Oszillators noch nicht zufriedenstellend gelöst. Die dafür in Frage kommenden Bauelemente sind der Heterostruktur-Feldeffekttransistor (HEMT) [2], der Heterostruktur-Bipolartransistor (HBT) [3], die planare Gunnediode [4] und die Gunnediode mit Feldeffektkathode (FECTED) [5], [6]. Sollen Sende- und Empfangsstufe integriert werden, so ist für Anwendungen, welche nur geringe Sendeleistungen benötigen, ebenfalls ein monolithisch integrierbarer Oszillator als Sender erwünscht.

2. FECTED

2.1. Wirkungsweise

Die Funktion dieses Bauelements basiert auf dem frequenzunabhängigen negativen differentiellen Widerstand der stationären Ladungsdomäne, welche sich im Kanal eines MESFET bildet. Der große Vorteil dieser Anordnung ist die Tatsache, daß die Gatelänge nicht so kurz sein muß, wie es bei einem FET notwendig ist. Es lassen sich so mit unkritischen Abmessungen gute Hochfrequenzeigenschaften erzielen. Ein zweiter großer Vorteil ist der einfache Aufbau, da nur zwei Anschlüsse hochfrequenzmäßig beschaltet werden müssen. Das Gate des FECTED dient in erster Linie der Einstellung der Elektroneninjektion in die Driftzone und wird nur mit Gleichspannung vorgespannt (es liegt hochfrequenzmäßig auf Sourcepotential), während beim FET alle drei Anschlüsse Hochfrequenzsignale führen. Durch Veränderung der Vorspannung der Gateelektrode beim FECTED-Oszillator läßt sich die Frequenz des Ausgangssignals um bis zu 1 GHz verstimmen.

2.2. Aufbau

Abb. 1 zeigt den Aufbau des Bauelements. Es besteht aus einer 200 µm breiten, 0,8 µm dicken n-dotierten GaAs Schicht (Donatordichte $5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$), die mit Hilfe einer metallorganischen Gasphasenepitaxieanlage (MOVPE) auf semi-isolierendem Substrat aufgewachsen wurde. Auf ihrer Oberfläche wurde eine MESFET-Struktur mit drei Kontakten (Source, Gate und Drain) aufgebracht. Diese unterscheidet sich vom klassischen MESFET durch eine großflächige Gateüberlappung mit einer 500 nm dicken SiO_2 -Zwischenschicht, die das Gate wechselstrommäßig (kapazitiv, $C = 10 \text{ pF}$) mit Source verbindet. Das Gate wird nur zur Begrenzung des Injektionsgleichstromes verwendet. Das Bauelement besitzt wechselstrommäßig daher nur zwei Pole, an denen aufgrund des Elektronentransfers in höhere, schwach gekrümmte Leitungsbandminima ein negativer differentieller Widerstand ("Gunn-Effekt") auftritt. Dieser wird zur Verstärkung oder zur Erzeugung von höchstfrequenten Signalen herangezogen.

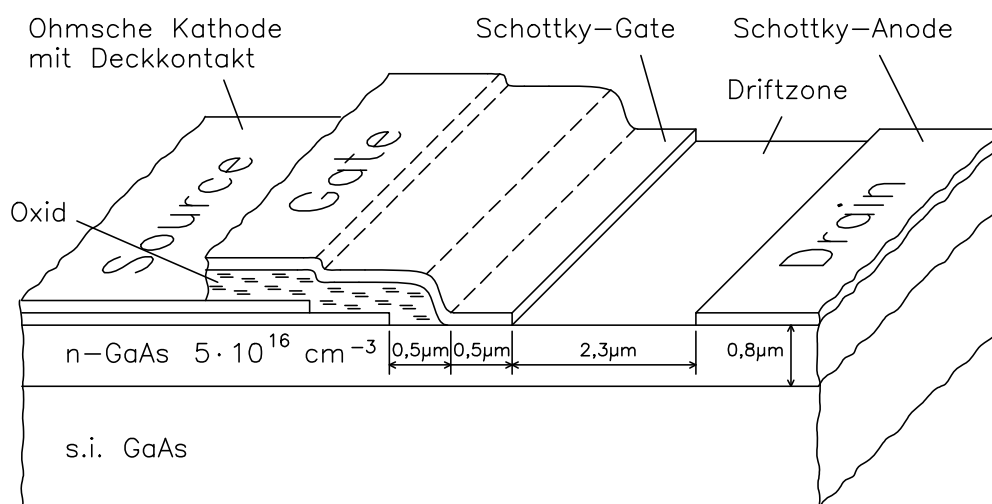


Abb. 1. Querschnitt durch einen FECTED

Die durch die negative Gatevorspannung hervorgerufene Injektionsbegrenzung verhindert die Injektion von Raumladungsdomänen und damit die Ausbildung von Laufzeitschwingungen, sodaß das Bauelement nicht mehr der Laufzeitbegrenzung ($1/f^2$ -Abhängigkeit) unterliegt und somit bei höheren, oberhalb der Laufzeitfrequenz liegenden Frequenzen betrieben werden

kann. Die obere Grenzfrequenz wird durch die RC-Konstante und den Gunneffekt bestimmt, wobei letzterer bei GaAs bis 150 GHz einen negativen differentiellen Widerstand erzeugen sollte.

2.3. Oszillator MMIC

Bei den ersten Versuchen wurde der FECTED in eine Mikrostreifenleitung auf Duroid®-Substrat eingebondet. Durch die Induktivitäten der Bonddrähte war die Oszillatorfrequenz jedoch nicht reproduzierbar. Werden die Filter in den Versorgungsleitungen jedoch am GaAs-Chip realisiert und der Streifenleiter/Koaxial-Übergang zum Auskoppeln der Schwingung direkt auf den Chip aufgesetzt, so ist die Reproduzierbarkeit ausgezeichnet. Abbildung 2. zeigt die Schaltung des MMICs.

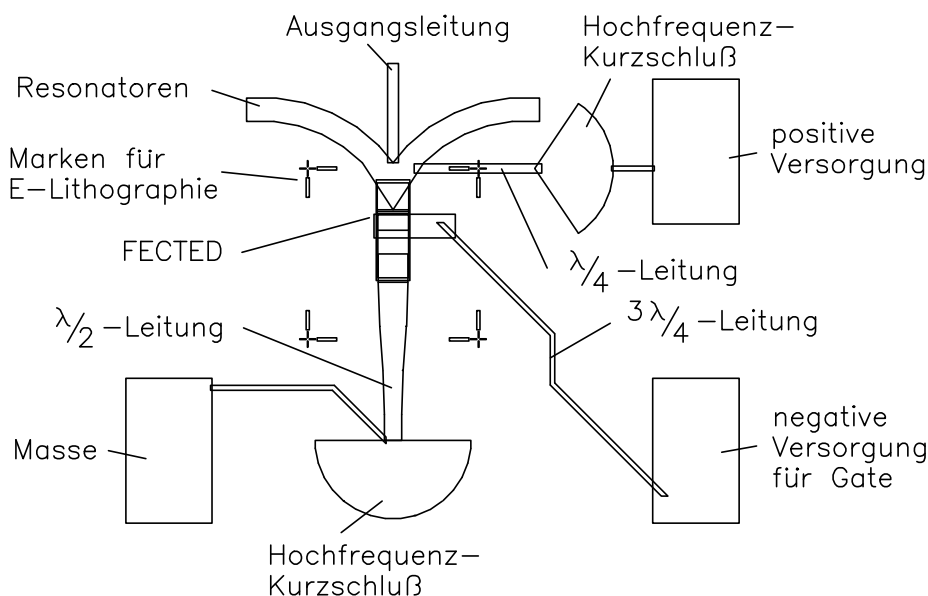


Abb. 2. Schaltung eines 35 GHz Oszillator MMICs

3. Experimentelle Ergebnisse

Es hat sich gezeigt, daß zwischen Wirkungsgrad und Modulierbarkeit beziehungsweise Phasenrauschen ein Kompromiß geschlossen werden muß. Die bei der Optimierung des Wirkungsgrades erzielten Ergebnisse [7] sind in der Tabelle 1 angeführt.

Oszillatorfrequenz	35,0	GHz
Versorgungsspannung	5,3	V
Versorgungsstrom	71,3	mA
Ausgangsleistung	14,3	mW
	11,5	dBm
Wirkungsgrad	3,8	%

Tab. 1: Meßergebnisse an einem 35 GHz Oszillator MMIC

Wird auf Modulierbarkeit Wert gelegt, so darf die Auslegung nicht auf maximalen Wirkungsgrad abzielen. Bei geringerer Leistung konnte ein Modulationsbereich von ± 500 MHz und ein Phasenrauschen von ungefähr -90 dBc/Hz @ 1 MHz off carrier erzielt werden.

4. Zusammenfassung

Für die Anwendung als Lokaloszillator in Kommunikationseinrichtungen sowie als Mikrowellenquelle in Dopplerradar-Meßköpfen wurde ein Oszillator-MMIC für 35 GHz entwickelt und erfolgreich getestet. Als modulierbarer Mikrowellenoszillator in Abstandsradar-Meßköpfen ist der vorgestellte MMIC ebenfalls bestens geeignet, da er einen großen Modulationsbereich (1 GHz), Integrierbarkeit mit Empfängerschaltungen und wesentlich einfacheren Aufbau als Transistor-Oszillatoren in sich vereinigt. An der Realisierung von MMICs mit einer Oszillatorfrequenz von 61 GHz wird gearbeitet.

Danksagung

Die Autoren danken Frau G. Hinterberger und den Herren J. Katzenmayer und G. Hofmann für die Herstellung und Messung der Bauelemente, sowie dem österreichischen Fond zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (P8697) für die finanzielle Unterstützung dieser Arbeit.

Literaturverzeichnis

- [1] A. Colquhoun, B. Adelseck: "A Monolithic Integrated 35 GHz Receiver Employing a Schottky Diode Mixer and a MESFET IF Amplifier", Digest of the IEEE GaAs IC Symposium, 1987, p. 151.
- [2] Y. Kwon, D. Pavlidis, M. Tutt, G. I. Ng, R. Lai, T. Brock: "W-Band Monolithic Oscillator Using InAlAs/InGaAs HEMT", Electronics Letters, Vol. 26, No. 18, 1990, pp. 1425-1426.
- [3] N. Hayama, J. Shimizu, K. Honjo: "Fully monolithic 22 GHz-Band AlGaAs/GaAs HBT oscillator", Electronics Letters, Vol. 27, No. 20, 1991, pp. 1862 - 1863.
- [4] S. C. Binary, R. E. Neidert, K. E. Meissner: "Monolithic and Discrete MM-Wave InP Lateral Transferred Electron Oscillators", IEEE MTT-Symposium Digest, 1988, p. 683.
- [5] R. Kuch, K. Lübke, G. Lindner, H. Thim: "A Planar Gunn Diode with an Injection-Limited FET Cathode Contact", Inst. Phys. Conf. Ser., Vol. 63, 1981, p. 293.
- [6] H. Scheiber, K. Lübke, D. Grützmacher, C. G. Diskus, and H. W. Thim: "MIMIC-Compatible GaAs and InP Field Effect Controlled Transferred Electron (FECTED) Oscillators", IEEE MTT, Vol. 37, No. 12, 1989, pp. 2093 - 2098.
- [7] C. G. Diskus, A. L. Springer, K. Lübke, H. W. Lettenmayr, H. W. Thim: "Composite Anode Contact for Transferred Electron Devices", eingereicht zur Veröffentlichung in IEEE Microwave and Guided Wave Letters, Vol. 3, 1992.