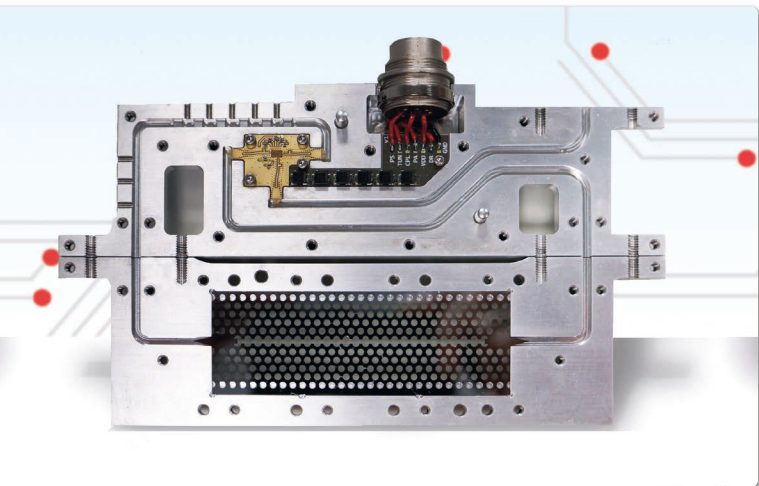


Millimeterwellenoszillator mit extrem niedrigem Phasenrauschen

Ein neuartiger spannungsgesteuerter Oszillator erreicht bei 45 GHz einen Gütefaktor von 115.000.



Lokaloszillatoren sind zentrale Komponenten moderner Kommunikationssysteme und HF Sensoren. Ihre Frequenzstabilität und insbesondere ihr Phasenrauschen haben direkten Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems. In Kommunikationssystemen begrenzt das Phasenrauschen unter anderem die erreichbare Datenrate und beeinflusst die Fehlervektorgroße EVM. Bei Radarsystemen bestimmt es maßgeblich die Empfindlichkeit und damit die Fähigkeit, schwache Echosignale zuverlässig zu erkennen.

IMST GmbH
www.imst.de

Der Klassiker und die Alternative

Für Frequenzen bis etwa 30 GHz werden häufig dielektrische Resonatoroszillatoren, sogenannte Dielectric Resonator Oscillators DROs, eingesetzt. Für höhere Frequenzen kommen dagegen oftmals Frequenzvervielfacher und zusätzliche Bandpassfilter zum Einsatz. Diese Lösung erhöht jedoch das Phasenrauschen und führt zu einer höheren Schaltungskomplexität, zusätzlichem Platzbedarf, höherem Energieverbrauch und einer geringeren Zuverlässigkeit.

Eine Alternative bietet die direkte Signalerzeugung im Millimeterwellenbereich. Ein internationales Entwicklungsteam

unter Führung der IMST GmbH hat hierzu einen neuartigen spannungsgesteuerten Millimeterwellenoszillator entwickelt, der auf einem hochgütigen elektromagnetischen Bandlückenresonator, kurz EBG Resonator, basiert.

Hohe Resonatorgüte durch reduzierten Füllfaktor

Eine wesentliche Besonderheit des entwickelten Konzepts ist die Reduzierung des dielektrischen Füllfaktors des Resonators. Der EBG Resonator besteht aus hochreinem, hochohmigem Silizium (HRS) und verfügt über eine zweidimensionale elektromagnetische Bandlückenstruktur.

Durch einen integrierten Luftspalt wird der Anteil der im Silizium gespeicherten elektromagnetischen Energie reduziert. Dadurch lassen sich die dielektrischen Verluste verringern und gleichzeitig sehr hohe Gütefaktoren erreichen.

Bei Raumtemperatur wurde für den Resonator bei einer Resonanzfrequenz von 45,77 GHz ein unbelasteter Gütefaktor Q von 115.000 gemessen. Bei einer Temperatur von -40 °C stieg der Gütefaktor sogar auf 200.000.

Die Herstellung des Resonators stellt dabei hohe Anforderungen an die Fertigung. Verwendet wurden 1 mm dicke, neutronentransmutationsdotierte HRS Wafer. Die für die EBG Struktur erforderlichen Bohrungen wurden mittels Deep Reactive Ion Etching DRIE hergestellt. Besonders wichtig ist dabei die präzise Ausföhrung der Seitenwände mit einem möglichst konstanten Winkel von 90°, da bereits geringe Abweichungen den Gütefaktor beeinflussen können.

Kompakter VCO-Aufbau

Der eigentliche spannungsgesteuerte Oszillator (VCO) kombiniert den EBG-Resonator mit einem aktiven MMIC. Das Gesamtsystem ist in einem zweiteiligen Aluminiumgehäuse untergebracht. Die HF-Signale werden über WR19-Wellenleiter geführt.

Das MMIC basiert auf der 130 nm SiGe BiCMOS Technologie SG13S von IHP Microelectronics. Es integriert einen zweistufigen Schleifenverstärker, einen 10 dB Koppler, einen elektronischen Phasenschieber sowie einen Ausgangsverstärker.

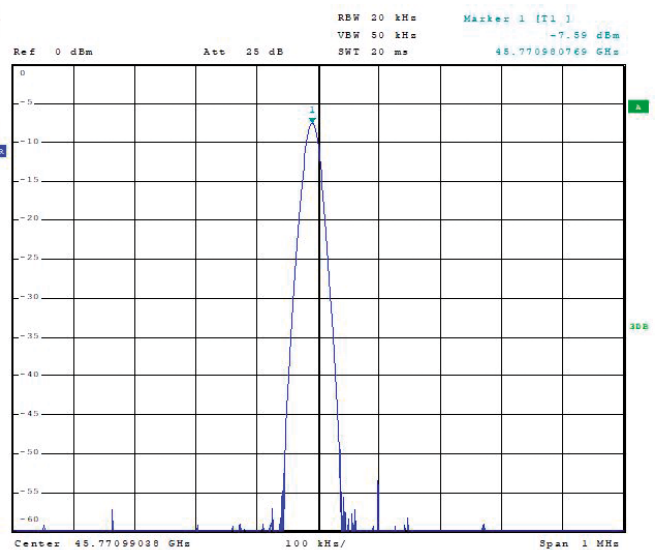
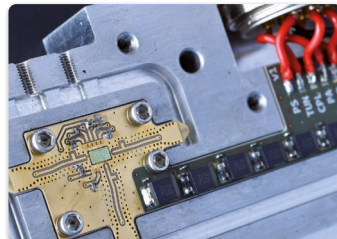
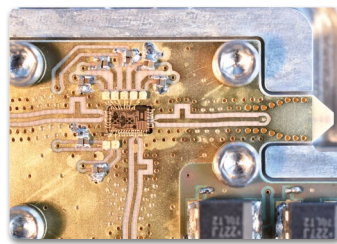
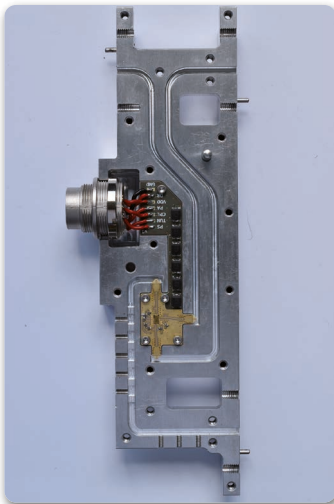
Der elektronische Phasenschieber ermöglicht die Abstimmung



Phasenrauschen bei -10 °C



Phasenrauschen bei -220 °C



der Rückkopplungsphase und damit die elektronische Frequenzabstimmung des Oszillators. Ergänzend kommen mechanische Fein und Grobphasenschieber zum Einsatz, um die erforderliche Phasenlage der Rückkopplung präzise einzustellen.

Ein zusätzliches Wellenleiter-Bandpassfilter unterdrückt unerwünschte Schwingungen anderer Resonator oder Gehäusemoden.

Phasenrauschen auf sehr niedrigem Niveau

Die Messergebnisse zeigen die Leistungsfähigkeit des entwickelten Konzepts. Bei einer Betriebstemperatur von -10°C wurden Phasenrauschwerte von

-95 dBc/Hz bei 1 kHz Offset
-120 dBc/Hz bei 10 kHz Offset
-143 dBc/Hz bei 100 kHz Offset
gemessen. Die Ausgangsleistung des Oszillators beträgt dabei -1,2 dBm. Die elektrische Abstimmreichweite liegt bei 239 kHz.

Nach Kenntnis der Entwickler handelt es sich bei den erzielten Phasenrauschwerten um die

niedrigsten bislang veröffentlichten Werte in diesem Frequenzbereich für elektronische Rückkopplungsozillatoren ohne Noise Degeneration.

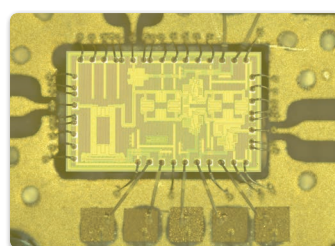
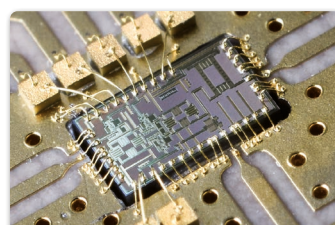
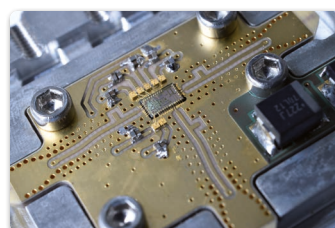
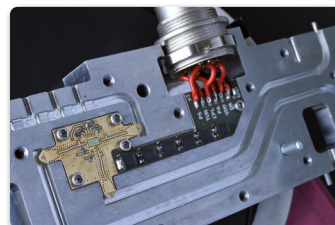
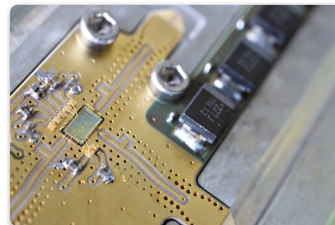
Perspektive für zukünftige Radar und Kommunikationssysteme

Neben dem extrem niedrigen Phasenrauschen zeichnet sich der entwickelte Oszillator durch einen geringen Energieverbrauch und eine kompakte Bauweise aus. Die Leistungsaufnahme beträgt lediglich 215 mW. Das Gesamtsystem misst $157 \times 88 \times 29 \text{ mm}$ und wiegt einschließlich der Anschlüsse 442 g.

Die Ergebnisse zeigen das Potenzial des EBG-Resonator-Konzepts für die direkte Erzeugung besonders rauscharmer Millimeterwellensignale. Anwendungen sind insbesondere in zukünftigen Radar und Kommunikationssystemen denkbar. Darüber hinaus bietet die Technologie interessante Perspektiven für Raumfahrtanwendungen, beispielsweise für die Erdbeobachtung.

Im nächsten Entwicklungsschritt soll insbesondere die elektronische Frequenzabstimmung erweitert werden. Ziel ist es, die Anforderungen an die Temperaturstabilität zu reduzieren und gleichzeitig die Technologiereife für zukünftige Raumfahrtanwendungen weiter zu erhöhen. ◀

Spektrumdarstellung des Ausgangssignals



Die Autoren:

Indra Ghosh,
Jan Buchholz,
Horst Fischer,
Ulrich Altmann,
Jörg Berben,
Jonas Lehmke,
Ulrich Lewark,
Uwe Gollor,
Wolfgang Wischmann,
Rüdiger Follmann,
alle bei
IMST GmbH

Enrico Lia
European Space Agency
www.esa.int

Stephen M. Hanham
University of Birmingham
www.birmingham.ac.uk

Benjamin Walter,

Fuanki Bavedila,

Marc Faucher
VMicro SAS
www.vmicroafmprobes.com

Marc Faucher
Université de Lille
www.univ-lille.fr

Leif Jensen
TopSil Global Wafers A/S
<https://e-wafers.com/>

Förderung

Die Arbeiten wurden durch die Europäische Welt- raumorganisation ESA ESTEC im Rahmen des Vertrags ESA Contract No. 4000130082/20/NL/HK gefördert.