

Differenzielle HF-On-Wafer-Messungen bis 110 GHz

Mit der fortschreitenden Entwicklung von 5G-, 6G- und anderen Millimeterwellenanwendungen steigt der Anspruch an die messtechnische Charakterisierung von Halbleiterbauelementen deutlich.



Bild 1: Messaufbau mit Probe-Station und R&S ZNA Vektornetzwerkanalysator

Etwa bei Verstärkern, Mischern oder Differenzialleitungen sind genaue On-Wafer-Messungen bis in den Bereich von 110 GHz eine wesentliche Voraussetzung, um elektrische Eigenschaften belastbar zu erfassen und für die weitere Integration in Baugruppen und Systeme nutzbar zu machen.

Hohe Frequenzen erhöhen die Anforderungen an den Messaufbau

On-Wafer-Messungen im Millimeterwellenbereich stellen hohe Anforderungen an die gesamte Signalkette. Mit zunehmender Frequenz und damit abnehmenden Wellenlängen spielen mechanische Abmessungen, Kabelbewegungen, zusätzliche Verluste und Phasenfehler im Vergleich zu dem zu messenden Signal eine immer größere Rolle und wirken sich unmittelbar auf die Messqualität aus.

Autor:
Mathias Leutiger
Manager Partner Networks and
Marketing Operations
Vector Network Analyzers
Rohde & Schwarz
www.rohde-schwarz.com

Dies gilt in besonderem Maße bei differenziellen Messungen, bei denen neben der Erfassung von klassischen S-Parametern auch die phasenkohärente Bestimmung von Mixed-Mode-Parametern eine Rolle spielen kann.

In der Praxis muss ein Messaufbau daher mehr leisten als nur den erforderlichen Frequenzbereich abzudecken. Er muss kurze und reproduzierbare Signalwege zum Messobjekt sicherstellen, unterschiedliche Prüflingsszenarien unterstützen und sich so in eine On-wafer Probe-Station integrieren lassen, dass wiederholte Touchdowns keine signifikante Verschlechterung der Messergebnisse und -stabilität verursachen. Gleichzeitig bleibt die Kalibrierung des gesamten Aufbaus ein kritischer Faktor, da die erreichbare Gesamtgenauigkeit wesentlich von der Qualität der Kalibrierstandards und der Kalibriermethodik abhängt.

Single-Sweep-Ansatz für differenzielle Messungen bis 110 GHz

Diese Anforderungen sind auf Basis des R&S ZNA67EXT Vektor-Netzwerkanalysators vergleichsweise leicht zu realisieren. Der R&S ZNA67EXT mit seinen externen Frequenzkonvertern ermöglicht präzise und wiederholbare Single-Sweep Messungen bis 110 GHz. Für Anwender ist dabei insbesondere relevant, dass die VNA-Architektur mehrere phasenkohärente Quellen und parallele Messempfänger bereitstellt. Dadurch werden genaue Mehrtoranalysen ebenso unterstützt wie echte differenzielle Mixed-Mode-S-Parameter-Messungen über den gesamten betrachteten Frequenzbereich.

Der Aufbau mit Probe-Station ist sowohl für die Charakterisierung unterschiedlicher Verstärker und Mischer als auch bei der Analyse differentieller Komponenten direkt auf dem Wafer geeignet (Bild 1).

Mechanische Integration als Schlüsselfaktor der Messintegrität

Neben der HF-Messtechnik ist die mechanische Integration der Frequenzkonverter auf der Probe-Station für die Qualität von On-Wafer-Messungen im Frequenzbereich bis 110 GHz von zentraler Bedeutung.

Bei den Probe Stations der MPI Corporation werden die Frequenzkonverter so angeordnet, dass der Abstand zwischen Konvertern und HF-Probes zu dem Messobjekt minimiert und damit die HF-Signalwege kürzest möglichst gehalten werden. Gleichzeitig werden Kabelbiegungen minimiert, was sich positiv auf die HF-Performance auswirkt (Bild 2).

MPI bietet Probestationen in manuellen und automatisierten Varianten an, ergänzt um Thermo-Chuck-Optionen und Vibrationsisolierung. Für differenzielle mmWave-Messungen kommen MPI mmWave Dual TITAN Probes in GSGSG-Konfiguration zum Einsatz. Diese Probes sind für differenzielle Messungen bis 120 GHz ausgelegt. Relevante Eigenschaften sind dabei eine hohe Lebensdauer, günstige Rückfluss- und Einfügedämpfungswerte sowie eine gute Portisolation über den gesamten Frequenzbereich. Hinzu kommt die gute Sichtbarkeit der Probespitzen im Mikroskop, was einen präzise Touch-Down auf dem Messpad ermöglicht und damit ebenfalls zur Wiederholgenauigkeit beiträgt.

Die mechanische Integration der Frequenzkonverter hat MPI so umgesetzt, dass Messungen auch bei wiederholten Touch-Downs stabil bleiben.

Kalibrierung als Voraussetzung für exzellente Ergebnisse

Eine leistungsfähige On-Wafer-Messlösung im Millimeterwellenbereich ist ohne eine adäquate Kalibrierstrategie nicht vollständig. In dem beschriebenen System erfolgt die Kalibrierung mit MPI

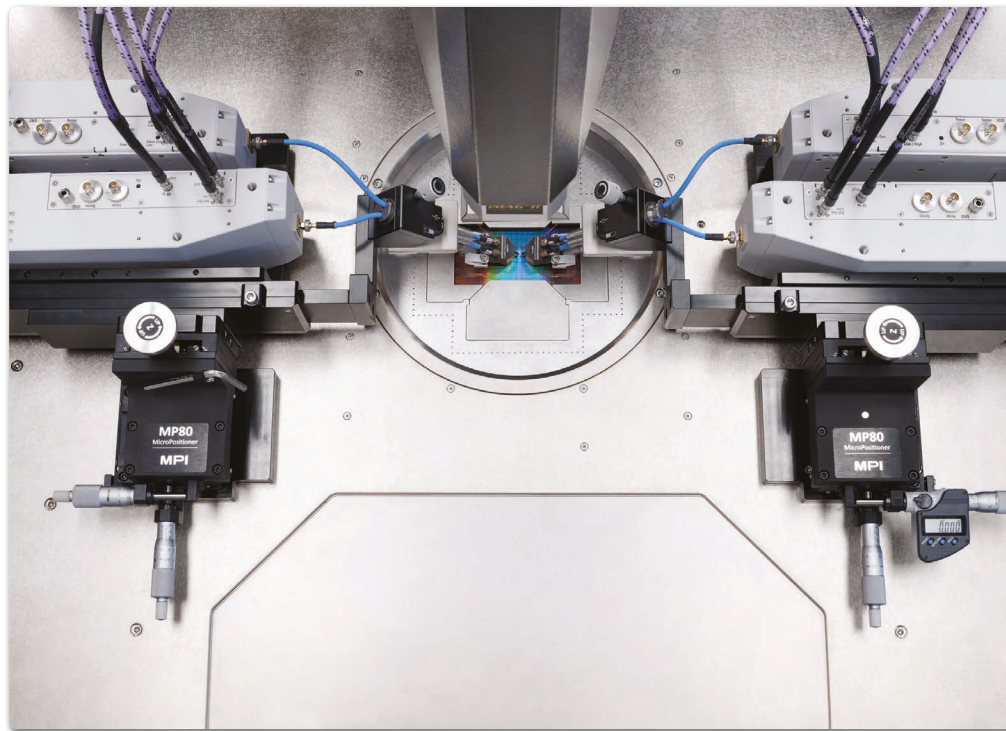


Bild 2: Mechanische Integration mit Probe-Station

TCS-Dual-Kalibriersubstraten, die speziell für GSGSG-Konfigurationen ausgelegt und auf den Pitch der verwendeten HF-Probes abgestimmt sind. Die MPI-TCS-Familie wurde für moderne HF-Kalibriermethoden auf Wafer-Ebene und aktuelle empfohlene Kalibrierverfahren entwickelt.

Besonders relevant ist in diesem Zusammenhang der Einsatz von Peer-Terminated-Standards, mit denen sich auch oberhalb von 110 GHz eine hohe Kalibrierengenauigkeit erzielen

lässt. Unterstützt wird der Prozess durch die MPI Softwarelösungen QAlibria und SENTIO, die eine schnelle, genaue und zuverlässige Kalibrierung ermöglichen (Bild 3).

Die Kalibrierung des gesamten Messaufbaus bis zur Spitze der HF-Probes werden in den R&S ZNA67EXT eingespielt und damit sind alle erzielten Messungen kalibriert. Für den Anwender steht damit ein On-Wafer-Messsystem zur Verfügung, in dem die hervorragenden messtechnischen Qualitäten des R&S ZNA67EXT mit der mechanischen und kalibriertechnischen Infrastruktur von MPI zusammengeführt werden.

Fazit

Differenzielle On-Wafer-Messungen bis 110 GHz erfordern eine enge Abstimmung von VNA-Architektur, mechanischer Integration der Frequenzkonverter, HF-Probing und Kalibrierung. Der kombinierte Aufbau aus R&S ZNA67EXT und einer entsprechend integrierten MPI Probe Station adressiert diese Anforderungen mit kurzen Signalwegen, hoher Phasenstabilität und einer auf Millimeterwellenanwendungen ausgelegten Kalibrierkette. Damit steht eine robuste Messumgebung für die Charakterisierung moderner Halbleiterbauelemente zur Verfügung, die sowohl den Präzisionsanforderungen in Entwicklung und Validierung gerecht werden kann. ◀

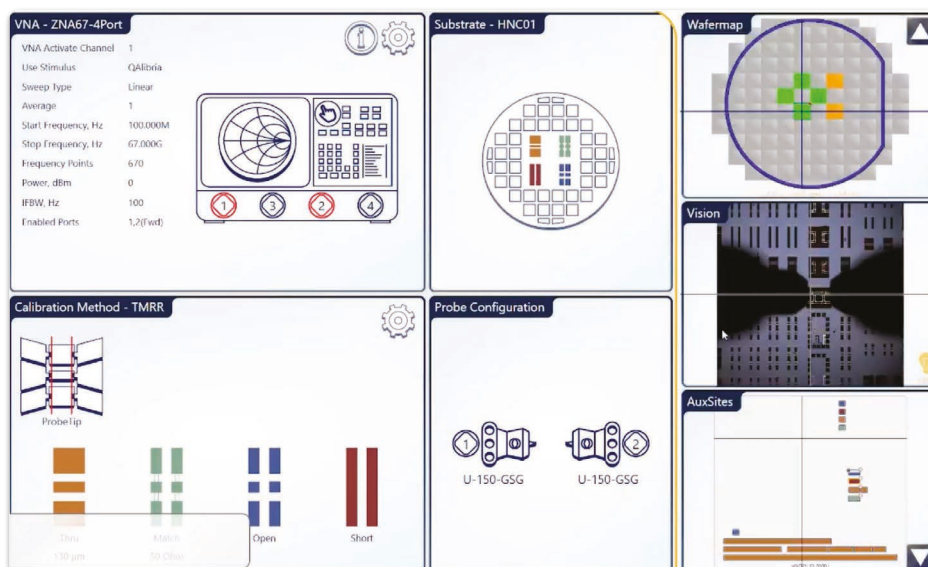


Bild 3: QAlibria-Software für die HF-Kalibrierung auf Wafer-Ebene