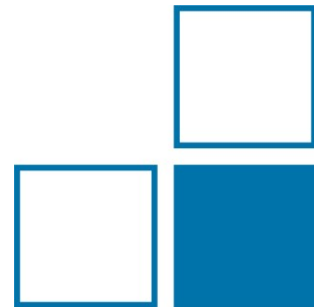


319. PTB-Seminar: Charakterisierung parasitärer Probe-Effekte in On-Wafer-Messungen von koplanaren Wellenleitern mit Rückseitenmetallisierung

AG 2.23 On-Wafer-Streuparametermesstechnik

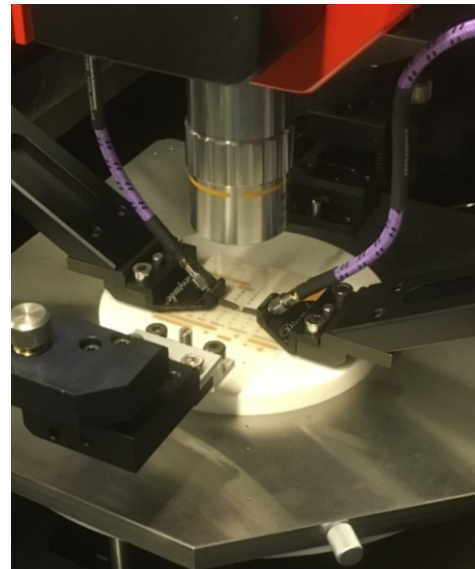
Gia Ngoc Phung, Uwe Arz, AG 2.23



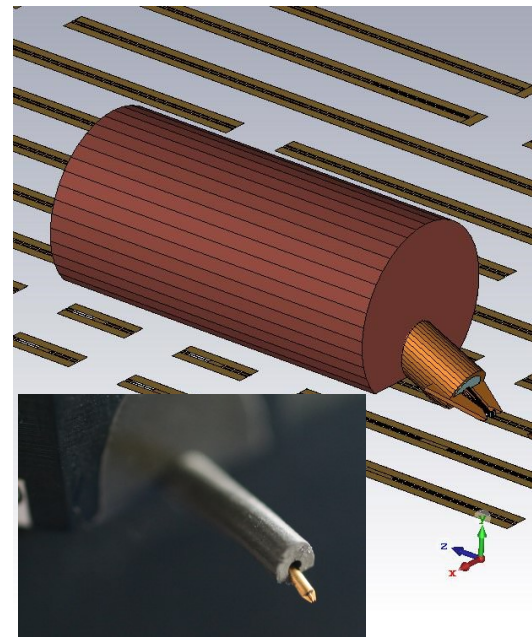
- Motivation
 - On-Wafer-Messtechnik
 - Koplanarleitung mit Rückseitenmetallisierung
 - Vorgehensweise
- Problemstellung
 - Mess- und Simulationsergebnisse
 - Felddarstellung
- Beschreibung parasitärer Effekte
 - Untersuchung des Einflusses der Probe-Eigenschaften
 - Herleitung einer analytischen Formel zur Bestimmung der Resonanzfrequenzen
- Zusammenfassung

On-Wafer-Messtechnik

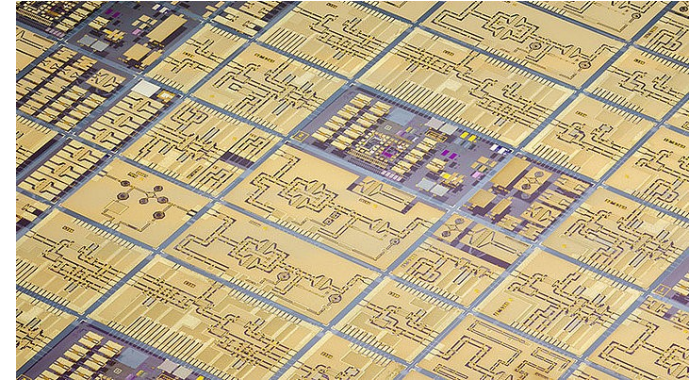
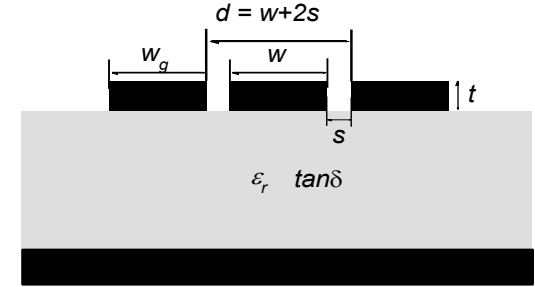
- Frequenzbereich: 0.1 ... 330 GHz (demnächst bis 500 GHz)
- On-Wafer-Messung
 - Charakterisierung eines bestimmten elektrischen Bauteils (DUT)
 - Messung ohne Gehäuse und Bonding → On-Wafer
 - Kontaktierung mit GSG-Probes (Ground Signal Ground)
- Eigenschaften der Messumgebung in den Rohdaten (Messung und Simulation)
 - Übertragungsstrecke: Messgerät, Messleitungen, Schaltung mit DUT
 - Parasitäre Moden und Abstrahlung



- Charakterisierungsmethode
 - Messung und Simulation einzelner DUTs und Kalibrierelemente
 - mTRL-Kalibrierung für Messung und Simulation
 - Berechnung der Ausbreitungseigenschaften und Fehlerterme
 - Anwendung der Fehlerterme auf DUTs
- Vorteile der Simulationsmethodik
 - 3D-Simulation ermöglicht ein besseres Verständnis
 - Untersuchung parasitärer Effekte durch Parameterstudien
 - Benutzung von EM-Software: CST Microwave Studio
 - Diskretisierung mit 100 Millionen Zellen für gute Genauigkeit



- Standardkonfiguration für On-Wafer-Messungen auf Stahlchuck
- Wellenleiter weit verbreitet für integrierte Schaltungen (GaAs, GaN, InP)
- Viele Anwendungen nutzen untere Rückseitenmetallisierung
- Bessere mechanische Stabilität und thermische Leitfähigkeit



Courtesy of FBH

CPW-Mode

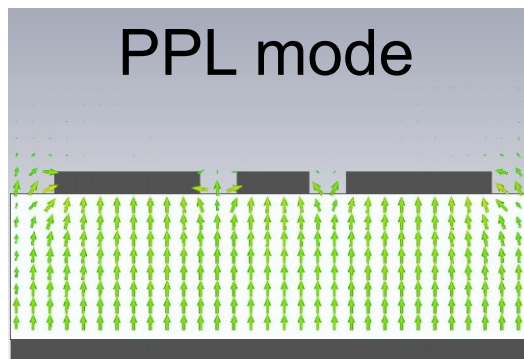
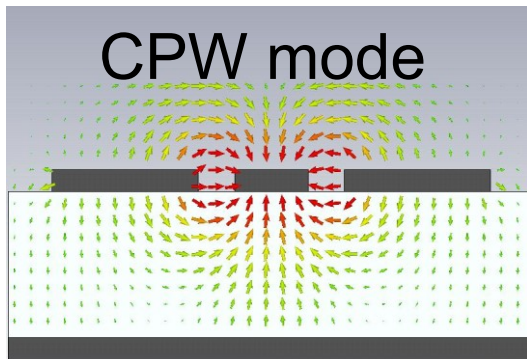
Koplanarmode = Quasi-TEM-Mode, ab $f = 0$ GHz ausbreitungsfähig

- Feldlinien gehen vom Signalleiter jeweils zum GND
- Feldlinien teilweise im Luftraum und Substrat \rightarrow statische effektive Permittivität $\epsilon_{\text{reff,CPW}} \sim (\epsilon_r + 1)/2$ bei dünnen Metallisierung

PPL-Mode

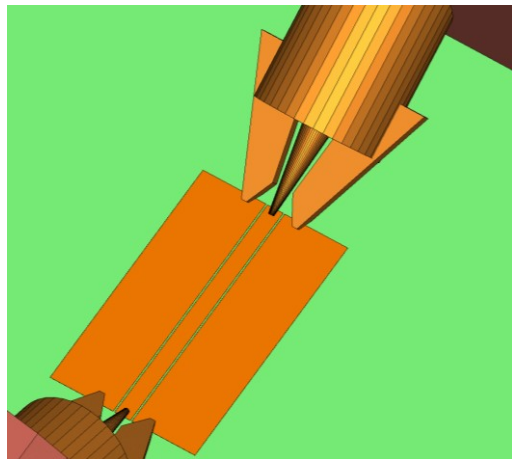
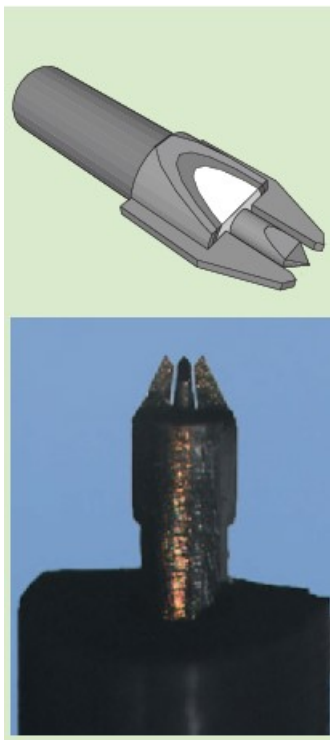
Zusätzlich Parallelplattenleitungs-Mode (PPL-Mode), ab $f = 0$ GHz ausbreitungsfähig

- Mode getragen zwischen zwei Platten; Signalleiter mit den Masseleitern - obere Platte; Rückseitenmetallisierung - untere Platte
- Feldlinien sind im Substrat konzentriert \rightarrow effektive Permittivität $\epsilon_{\text{reff,PPL}} \sim \epsilon_r$

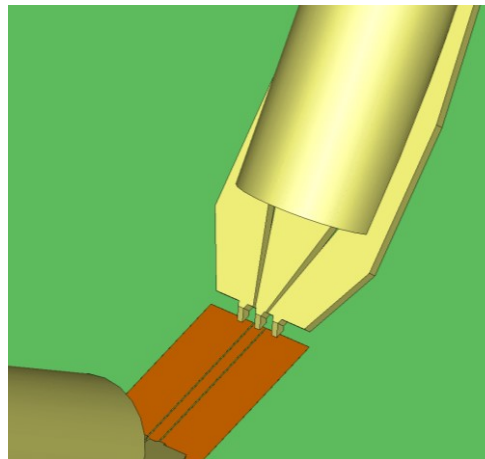


$$\epsilon_{\text{reff,PPL}} > \epsilon_{\text{reff,CPW}}$$

PPL-Mode interagiert immer mit dem gewünschten CPW-Mode.



GGB-Messspitzen

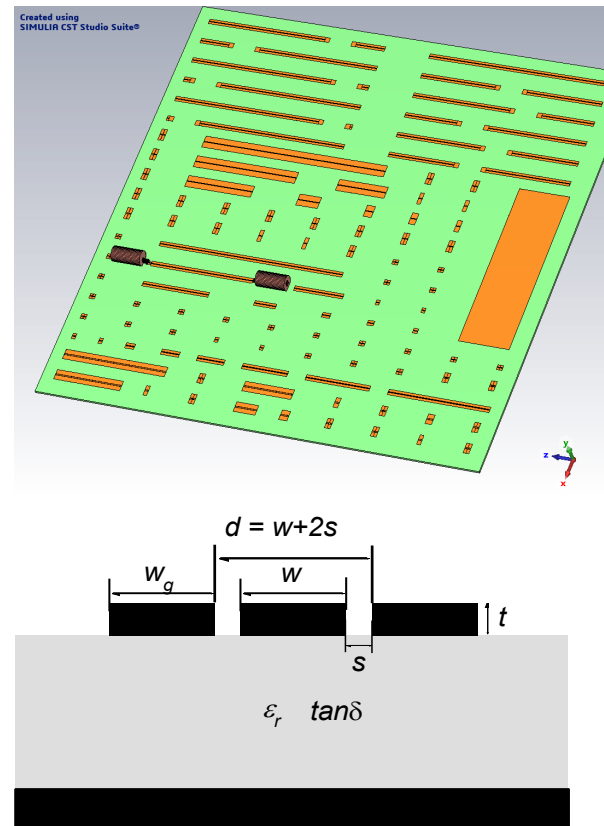


Titan-Messspitzen



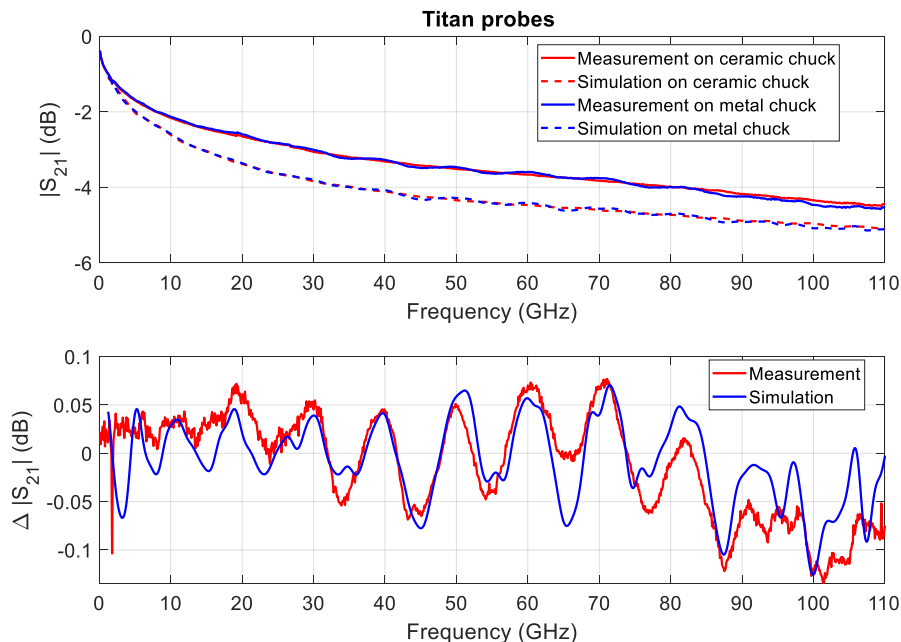
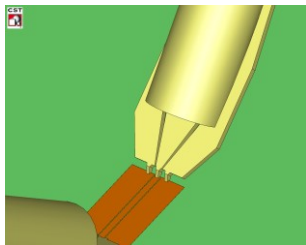
Modellierung der kommerziellen
Messspitzen in EM-Simulation

- Koplanarleitung auf Quarzglas-Substrat ($\epsilon_r = 3.78$)
 - Signalleiterbreite $w = 62 \mu\text{m}$,
 - Schlitzbreite $s = 6 \mu\text{m}$,
 - CPW Groundbreite $w_g = 250 \mu\text{m}$,
 - Metalldicke $t = 0.534 \mu\text{m}$
- mTRL-Kalibrierset
 - Short als Reflect-Standard,
 - $400 \mu\text{m}$ lange CPW als Thru-Standard,
 - Sieben zusätzliche Leitungen mit der Länge zwischen $500 \dots 11400 \mu\text{m}$



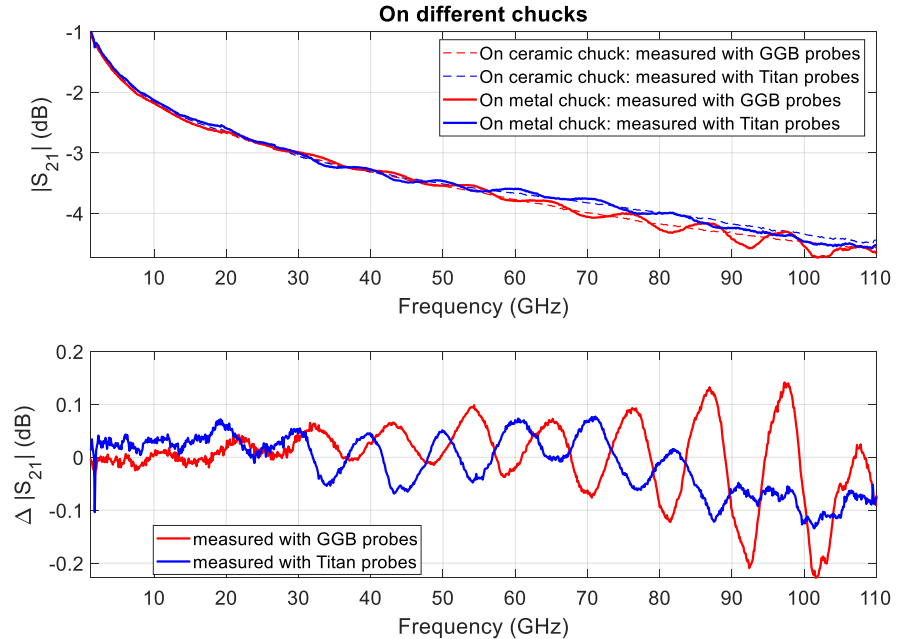
Problemstellung

- Messung gut reproduzierbar durch Simulation des gesamten Wafers
- Keramikunterlage: Glatter Kurvenverlauf
- Metallunterlage: Starke Welligkeiten in $|S_{21}|$ and $\Delta|S_{21}|$.

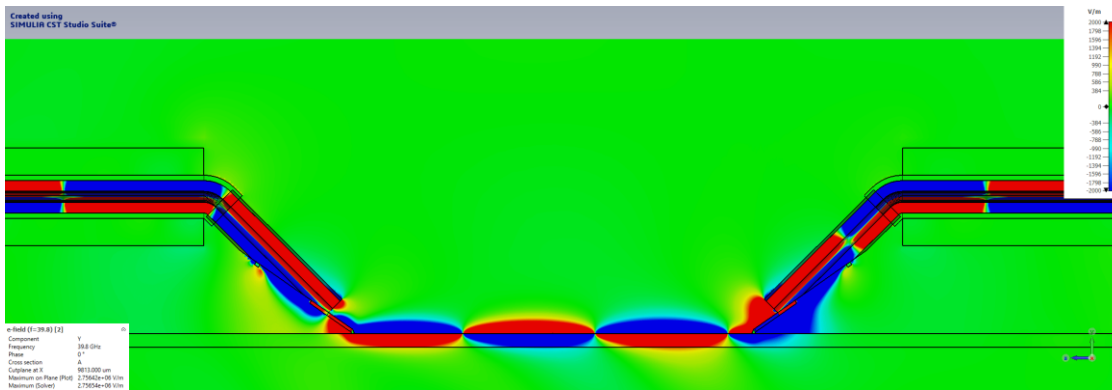


$$\Delta|S_{21,\text{dB}}| = |S_{21,\text{met}}|_{\text{dB}} - |S_{21,\text{cer}}|_{\text{dB}} \quad (1)$$

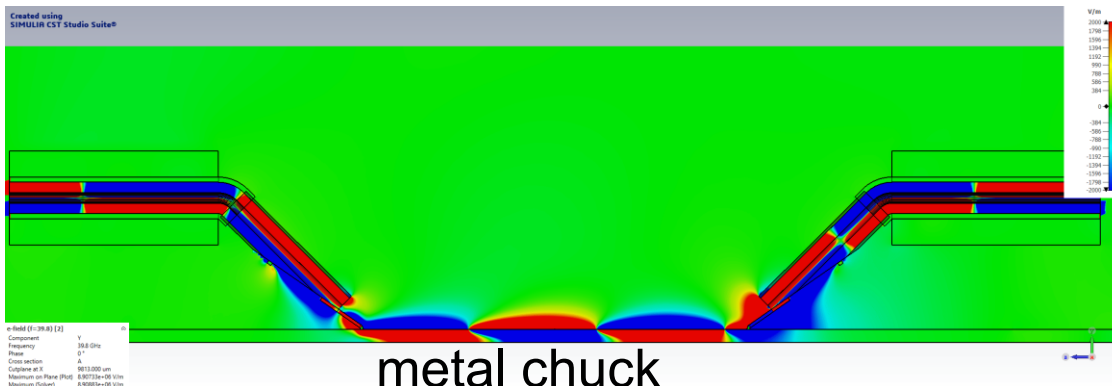
- Keramikunterlage: Glatter Kurvenverlauf unabhängig welche Messspitzen verwendet werden.
- Metallunterlage:
 - Unterschiede in der Form, Position und Stärke der Welligkeit je nach Messspitzenauswahl



$$\Delta |S_{21,\text{dB}}| = |S_{21,\text{met}}|_{\text{dB}} - |S_{21,\text{cer}}|_{\text{dB}} \quad (1)$$



ceramic chuck



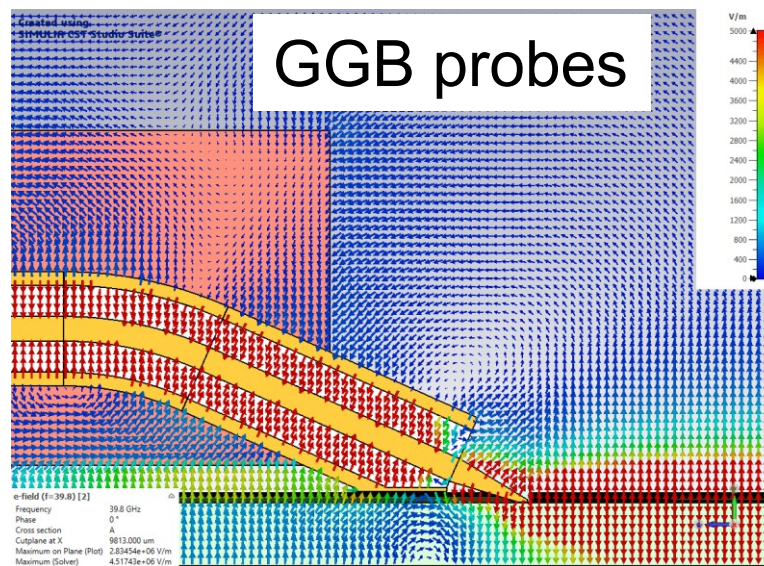
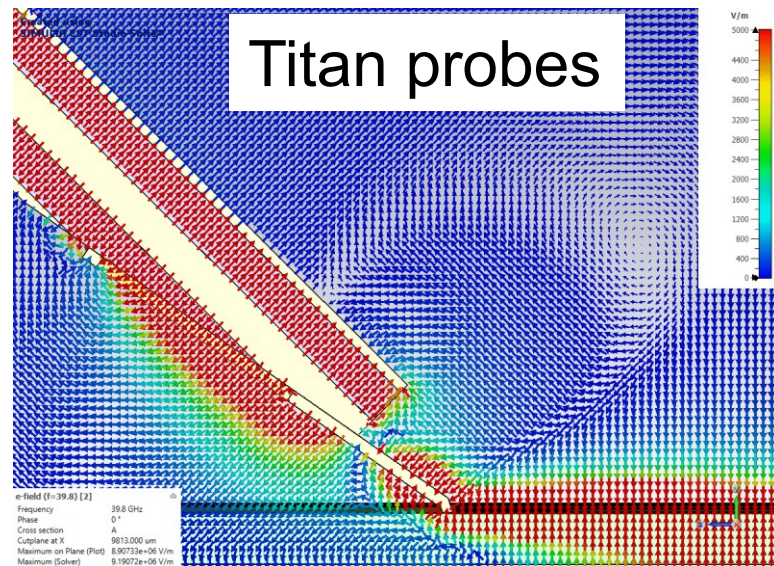
metal chuck

Keramik-Unterlage:

- Ausbreitung eines ungestörten CPW-Modes mit konstanter Phase

Metall-Unterlage:

- Ausbreitung von zwei Moden, CPW- und PPL-Mode mit unterschiedlichen Phasenkonstanten
- Phasenverzerrung durch die Überlagerung und Interaktion beider Moden
- Destruktive Interferenz der beiden Moden führt zu der Resonanz/Welligkeit in S_{21} .



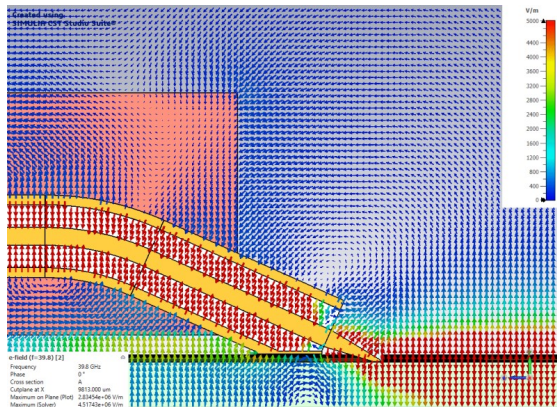
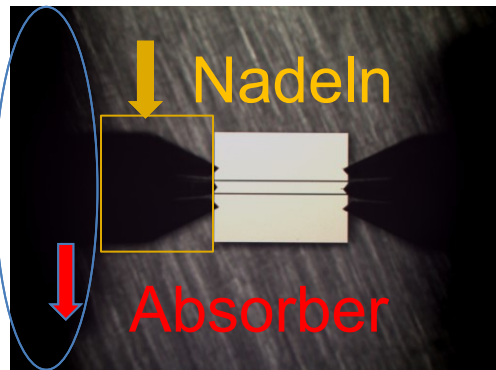
Unterschiede in der Messspitzenkonstruktion

- Unterschiedliche Feldkopplung des PPL-Modes
- GGB-Spitzen “paralleler” zum Substrat
- Stärkere Kopplung des PPL-Modes

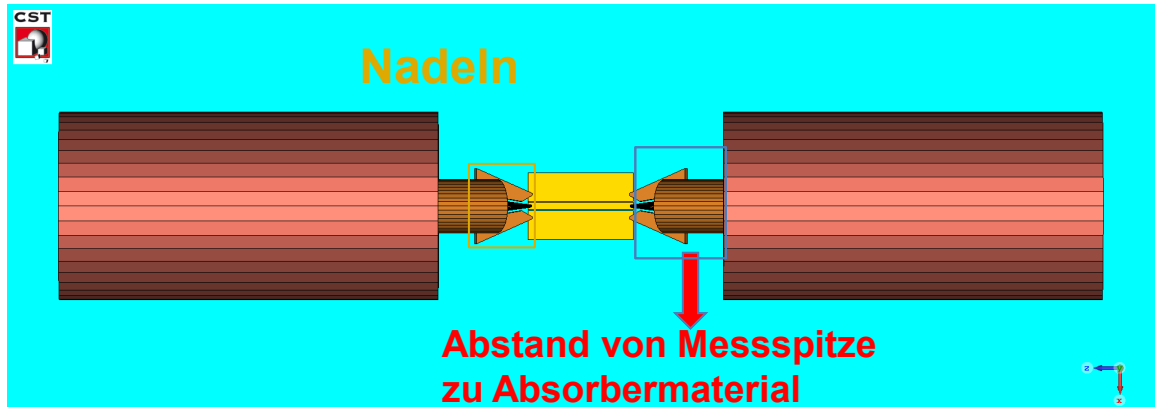
unterschiedlich
starke Welligkeiten

Analytische Beschreibung parasitärer Effekte

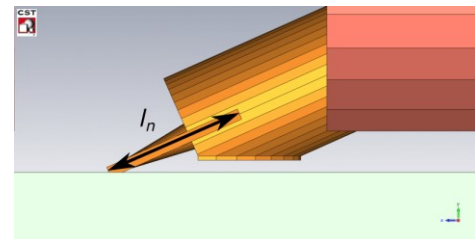
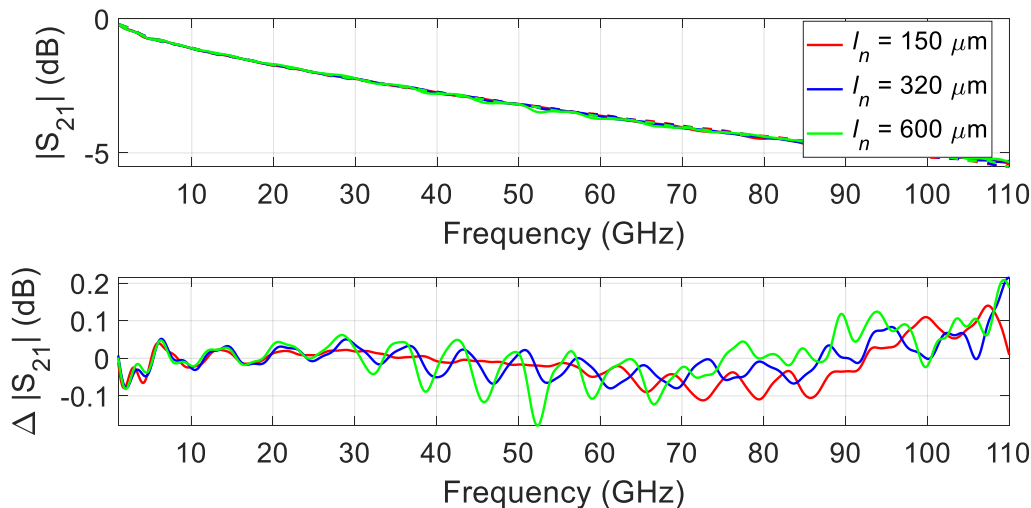
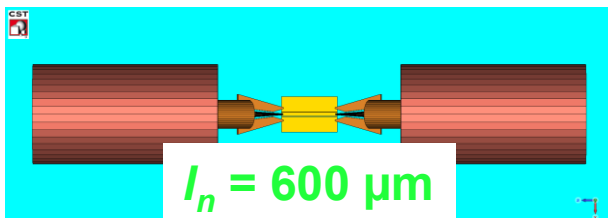
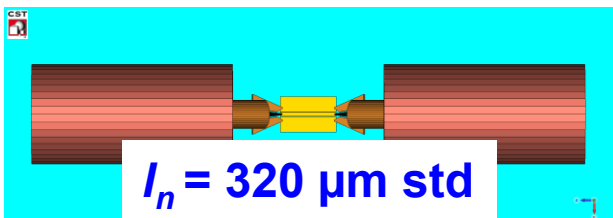
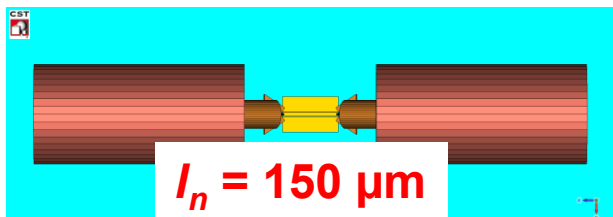
Untersuchung des Einflusses der Probe-Eigenschaften



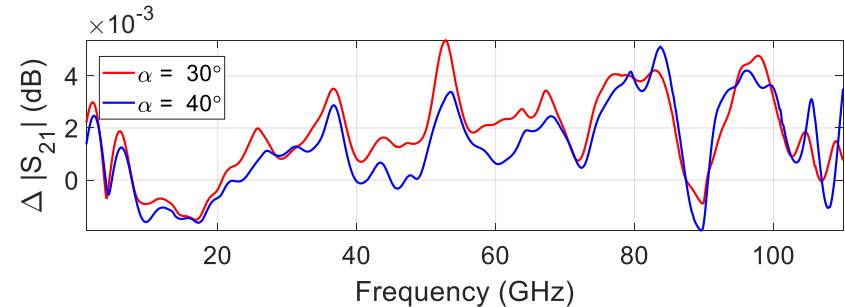
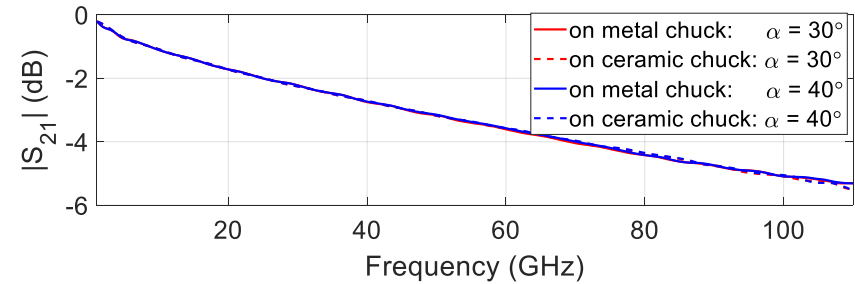
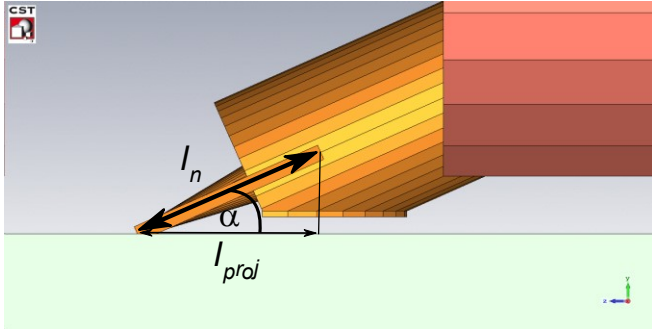
Welche Parameter
der Messspitze
beeinflussen
die Resonanzen ?



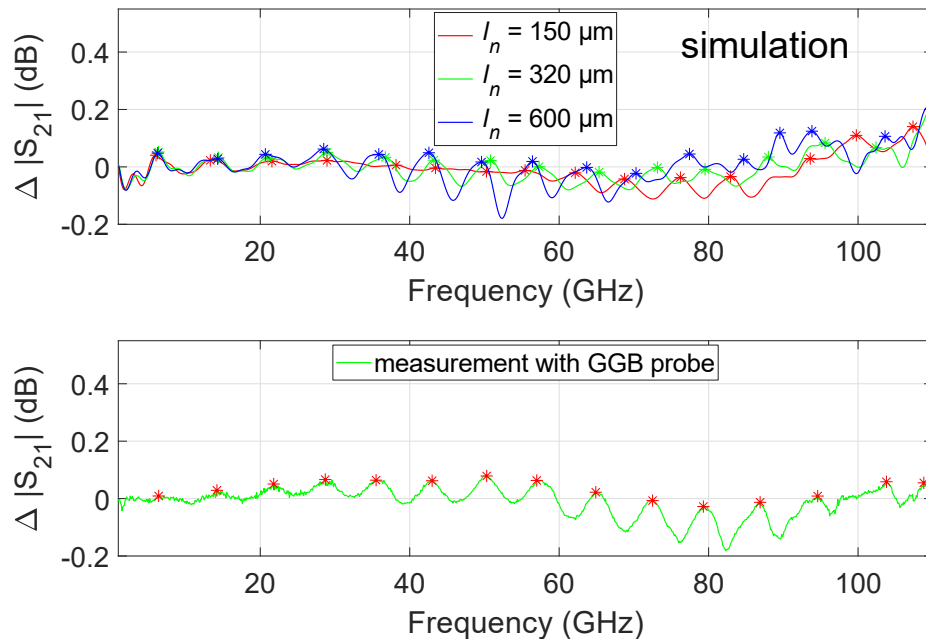
- Länge der Nadeln beeinflusst die Position, Stärke und Form der Resonanzen.



- Der Aufsetzwinkel beeinflusst die Stärke der Resonanzen.



- Extraktion der Resonanzfrequenzen aus Mess- und Simulationsdaten
- Position der Resonanzfrequenz abhängig von:
 - Nadellänge
 - Aufsetzwinkel
 - Leitungslänge
 - Substratmaterial



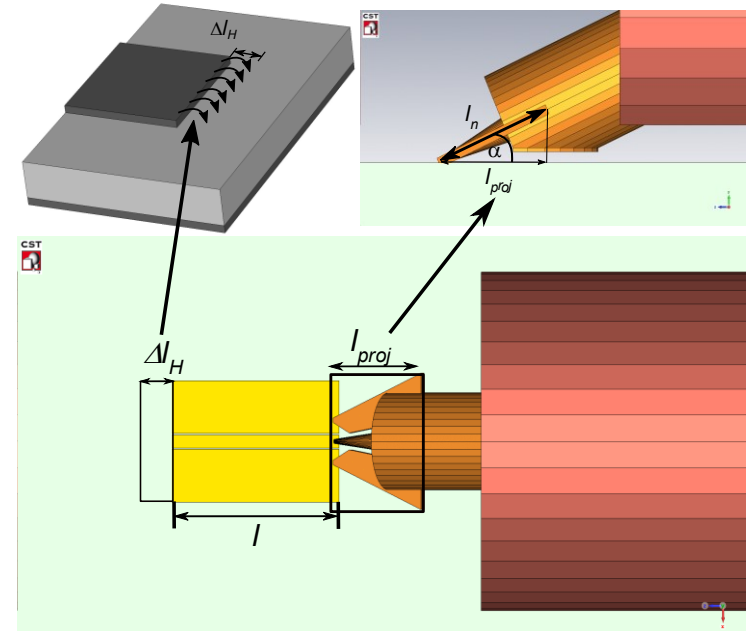
$$\Delta l_H = 0.412h \cdot \left(\frac{\epsilon_{\text{reff,PPL}} + 0.3}{\epsilon_{\text{reff,PPL}} - 0.258} \right) \cdot \left(\frac{w_{\text{tot}}/h + 0.262}{w_{\text{tot}}/h + 0.813} \right) \quad (2)$$

$$w_{\text{tot}} = w + 2 \cdot (s + w_g) \quad (3)$$

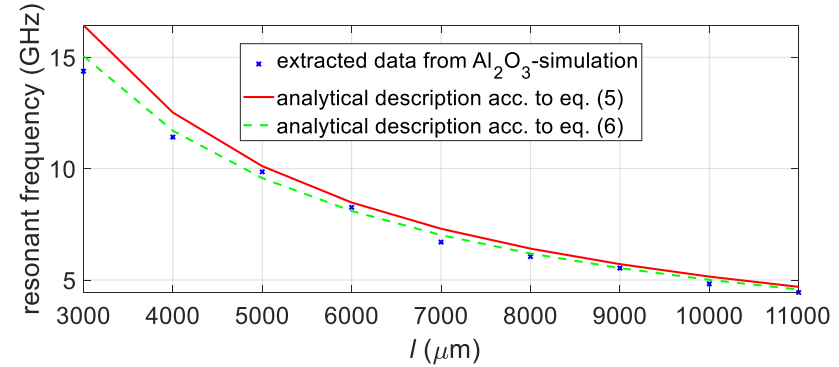
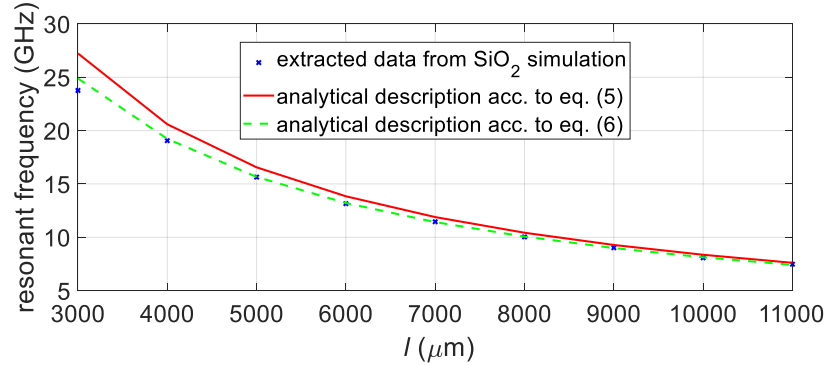
$$l_{\text{proj}} = l_n \cdot \cos(\alpha) \quad (4)$$

$$\Delta f_{\text{res},1} = \frac{c_0}{2 \cdot (l + \Delta l_H) \cdot \sqrt{\epsilon_{\text{reff,PPL}}}} \quad (5)$$

$$\Delta f_{\text{res},2} = \frac{c_0}{2 \cdot (l + \Delta l_H + l_{\text{proj}}) \cdot \sqrt{\epsilon_{\text{reff,PPL}}}} \quad (6)$$



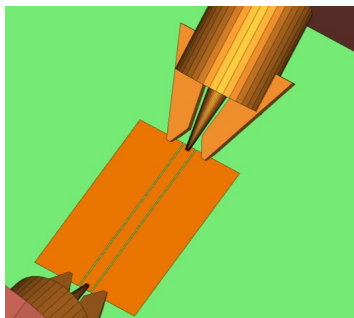
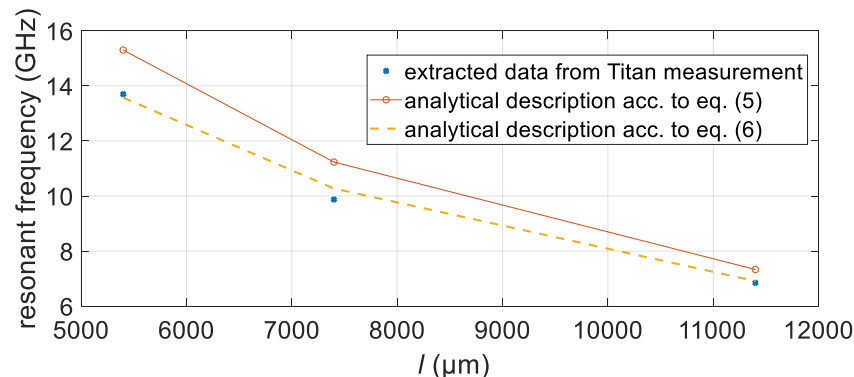
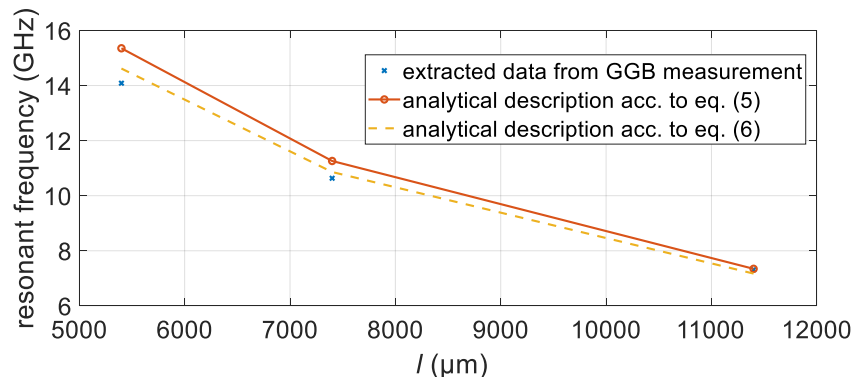
Analytische Formeln zur Voraussage der Resonanzfrequenzen



$$\Delta f_{res,1} = \frac{c_0}{2 \cdot (l + \Delta l_H) \cdot \sqrt{\epsilon_{\text{reff,PPL}}}} \quad (5)$$

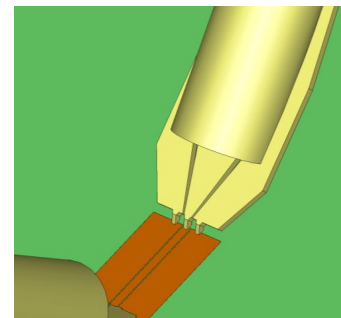
$$\Delta f_{res,2} = \frac{c_0}{2 \cdot (l + \Delta l_H + l_{proj}) \cdot \sqrt{\epsilon_{\text{reff,PPL}}}} \quad (6)$$

Formel (6) besser, validiert durch EM-Simulation



$$\Delta f_{res,1} = \frac{c_0}{2 \cdot (l + \Delta l_H) \cdot \sqrt{\epsilon_{\text{reff,PPL}}}} \quad (5)$$

$$\Delta f_{res,2} = \frac{c_0}{2 \cdot (l + \Delta l_H + l_{proj}) \cdot \sqrt{\epsilon_{\text{reff,PPL}}}} \quad (6)$$



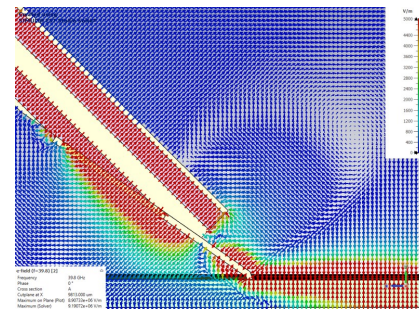
Formel (6) besser, validiert durch Messung für beide Messspitzentypen !

Zusammenfassung

- Analytische Formel zur Bestimmung der Resonanzfrequenzen auf CB-CPWs mit Berücksichtigung der Messpitzeigenschaften validiert durch Simulationen und Messungen
- Kein Unterschied in der Messqualität zwischen Metall- und Keramikchuck an Resonanzstellen für Leitungs-DUTs
- Grundlage für potentielle Rückführung auch auf Metall-Chuck

G. N. Phung and U. Arz, "On the Influence of Metal Chucks in Wideband On-Wafer Measurements," to appear in *2022 98th ARFTG Microwave Measurement Conference (ARFTG)*, pp. 1-4, 2022.

G. N. Phung and U. Arz, "Parasitic Probe Effects in Measurements of Conductor-Backed Coplanar Waveguides," *2021 Kleinheubach Conference*, 2021, pp. 1-4,
doi: 10.23919/IEEECONF54431.2021.9598396.



The authors acknowledge support by the European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR) Projects 14IND02 PlanarCal and 18SIB09 TEMMT.

Both projects (14IND02 and 18SIB09) have received funding from the EMPIR programme co-financed by the Participating States and from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme.

The authors are also grateful to Rohde & Schwarz for manufacturing the calibration substrates and to Dr. Andrej Rumiantsev for providing us the CST model of the Titan probes.

The authors are thankful to Dirk Schubert for his technical expertise.

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.
Fragen?**



**Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin**

Bundesallee 100
38116 Braunschweig



Gia Ngoc Phung
Telefon: 0531 592 2226
E-Mail: gia.phung@ptb.de



www.ptb.de

Stand: 05/22