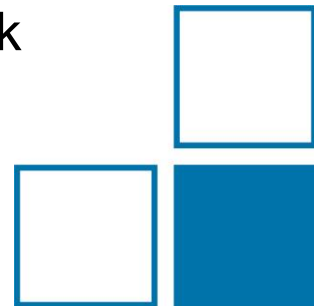


316. PTB-Seminar:

Einfluss parasitärer Effekte bei On-Wafer-Messungen im Millimeter- und Submillimeterwellenbereich

AG 2.23 Grundlagen der Streuparametermesstechnik

Gia Ngoc Phung, Uwe Arz (PTB)

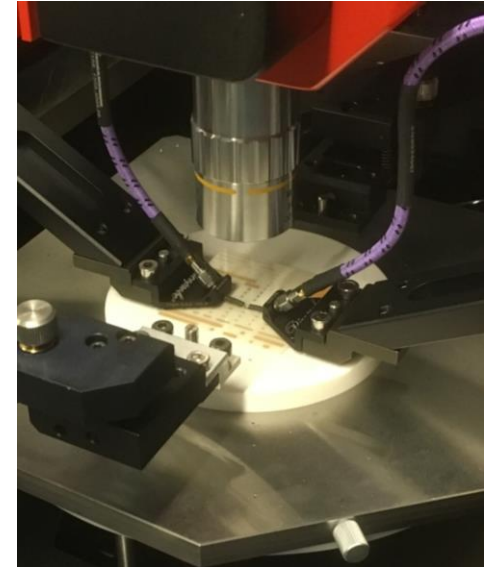


- Motivation: On-Wafer-Messtechnik
- Problemstellung
 - Kopplung benachbarter Leitungen
 - Untersuchung des Einflusses der Probe-Eigenschaften
 - Einfluss der Mehrmodigkeit
 - Analytisches Abstrahlungsmodell
- Zusammenfassung

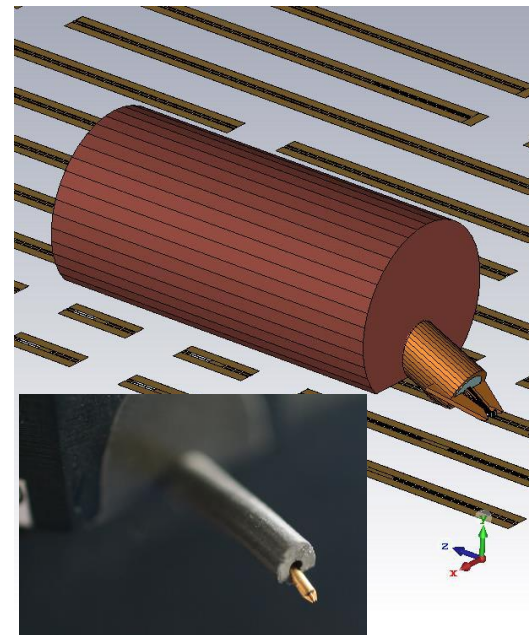
On-Wafer Messtechnik

Frequenzbereich: 1 ... 110 GHz

- On-Wafer Messung
 - Charakterisierung eines bestimmten elektrischen Bauteils (DUT)
 - Messung ohne Gehäuse und Bonding → On-Wafer
 - Messeingriff 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



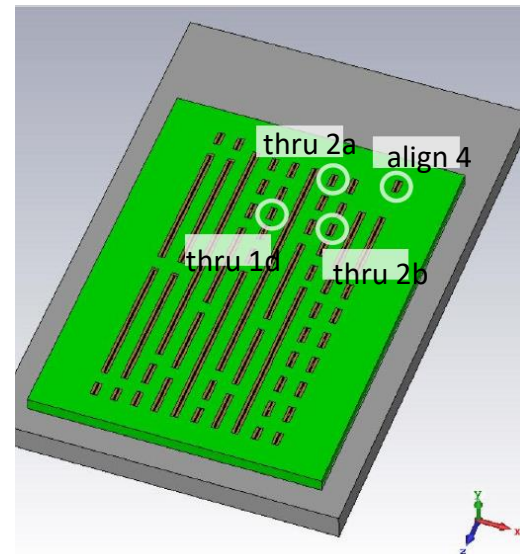
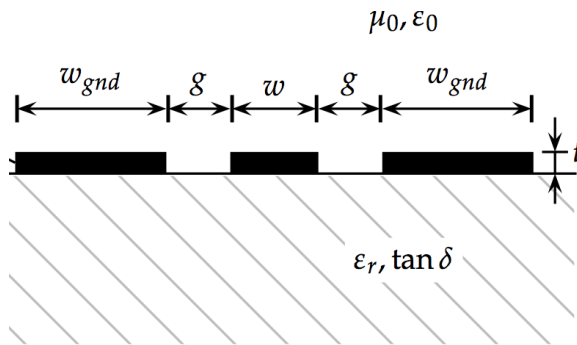
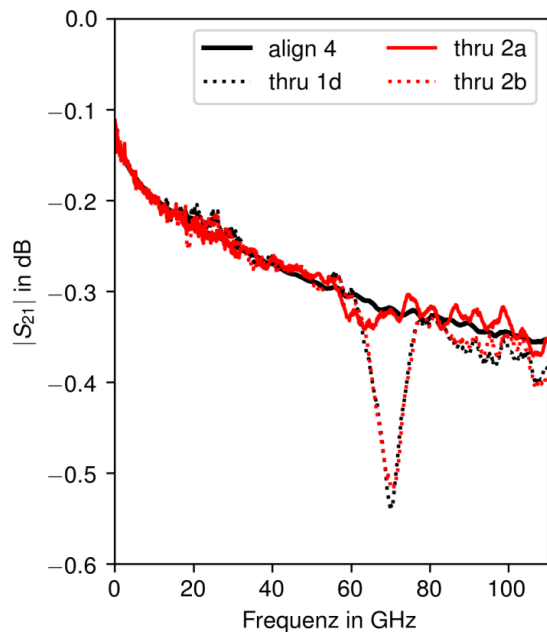
- Methode
 - Charakterisierung: Messung und Simulation einzelner DUTs und Kalibrierelemente
 - Durchführung der mTRL-Kalibrierung
 - Berechnung der Ausbreitungseigenschaften und Fehlerterme
 - Anwendung des Fehlerkorrekturs auf DUTs
- Vorteile der Simulationsmethodik
 - 3D Simulation ermöglicht einen guten Einblick in die Problematik
 - Untersuchung parasitärer Effekte durch Parameterstudien
 - Benutzung von EM-Software Tools: CST Microwave Studio
 - Diskretisierung von 100 Millionen Zellen für gute Genauigkeit



Problemstellung

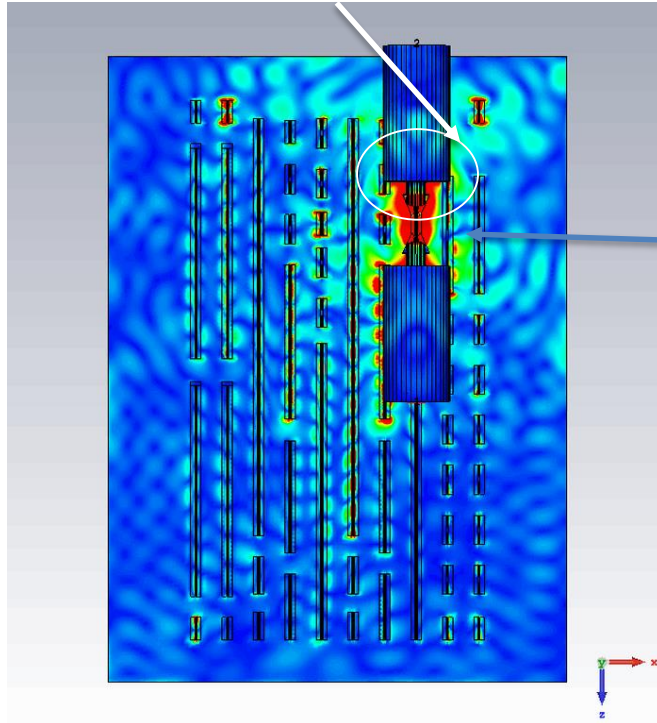
Wafer mit Koplanarleitungen

- Identische Koplanarleitungen an verschiedenen Positionen

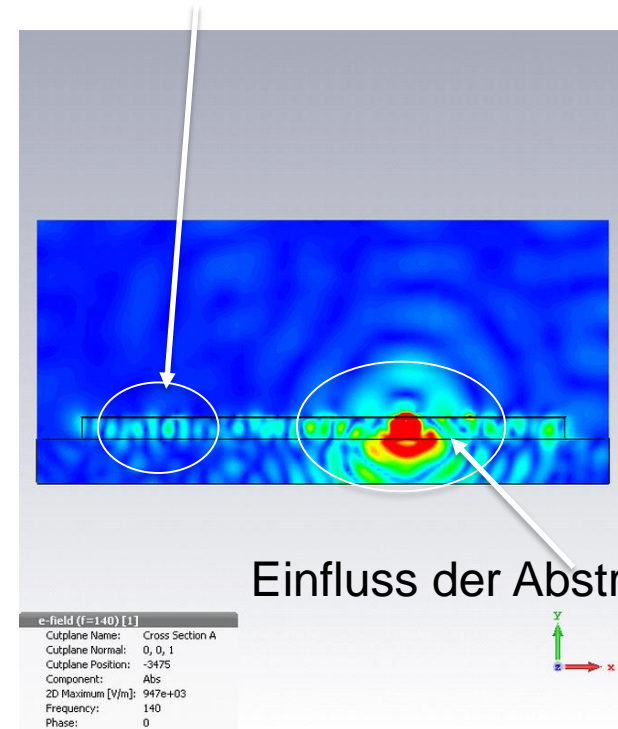


[1] F.J. Schmückle, T. Probst, U. Arz, G.N. Phung, R. Doerner, and W. Heinrich, "Mutual Interference in Calibration Line Configurations," in 89th Automatic RF Techniques Group Microwave Measurement Conference (ARFTG) Digest, Honolulu, HI, USA, Jun. 2017.

Einfluss der Probe-Effekte



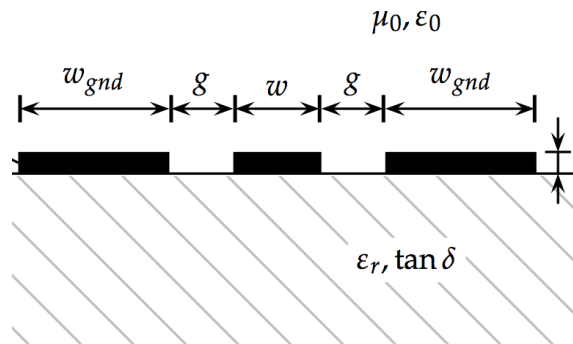
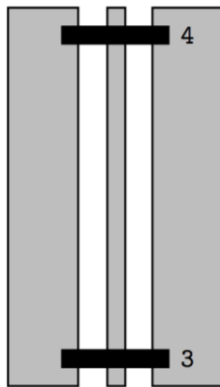
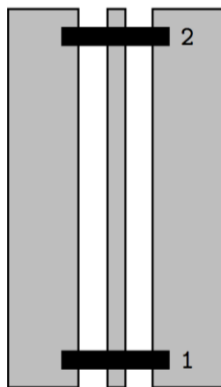
Einfluss der Mehrmodigkeit



Kopplung benachbarter Leitungen

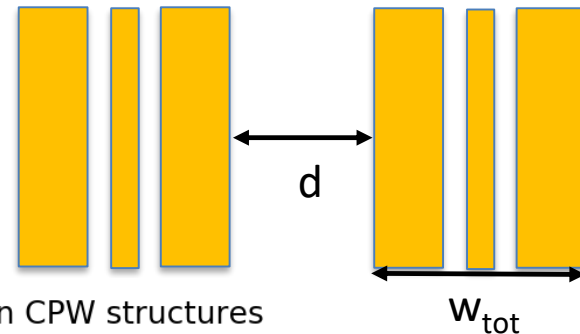
Kopplung benachbarter CPWs

- Frequenzbereich 0 ... 110 GHz
- Wellenimpedanz $Z_L = 50 \Omega$
- Offene Randbedingung (PML) in allen Richtungen
 - Ausschließen parasitärer Moden

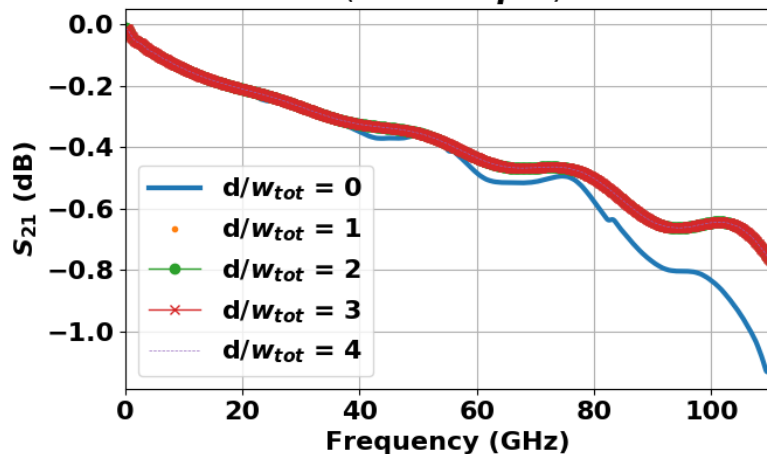


Kopplung benachbarter CPWs

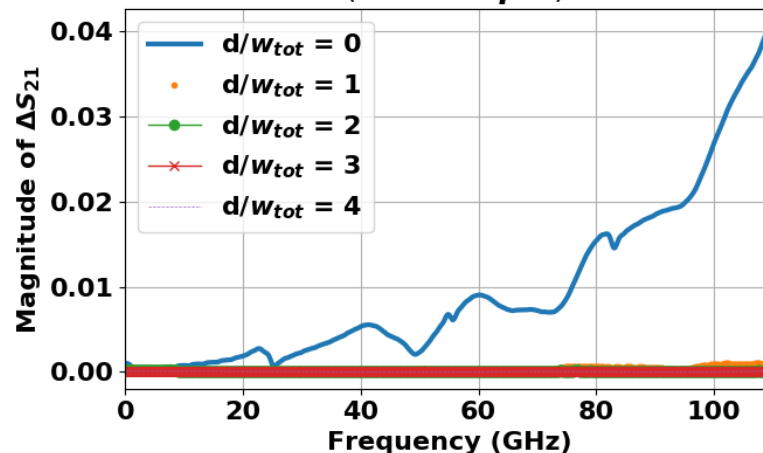
- Variation des lateralen Abstandes zwischen CPW-Leitungen



Coupling between CPW structures
($l = 2400 \mu\text{m}$)

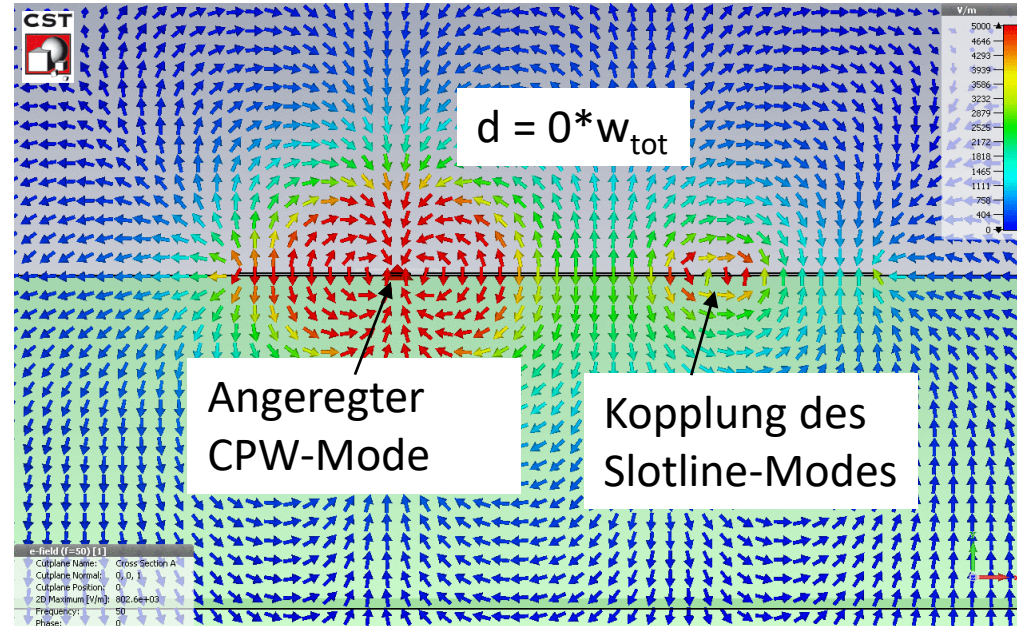
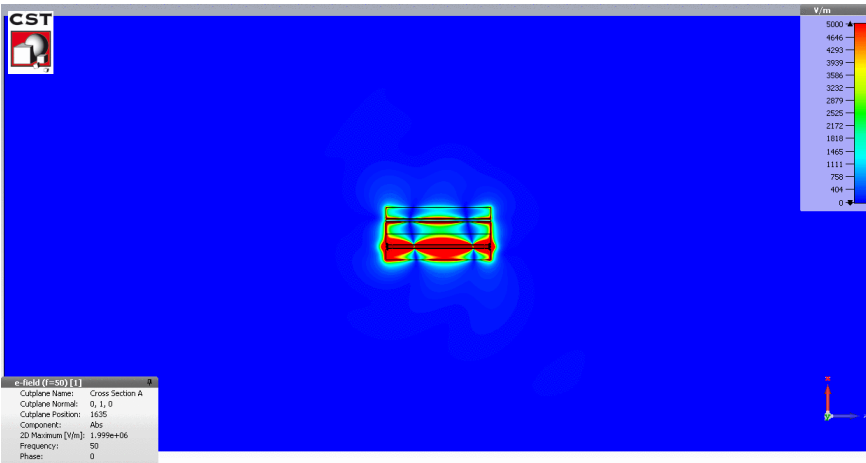


Coupling between CPW structures
($l = 2400 \mu\text{m}$)



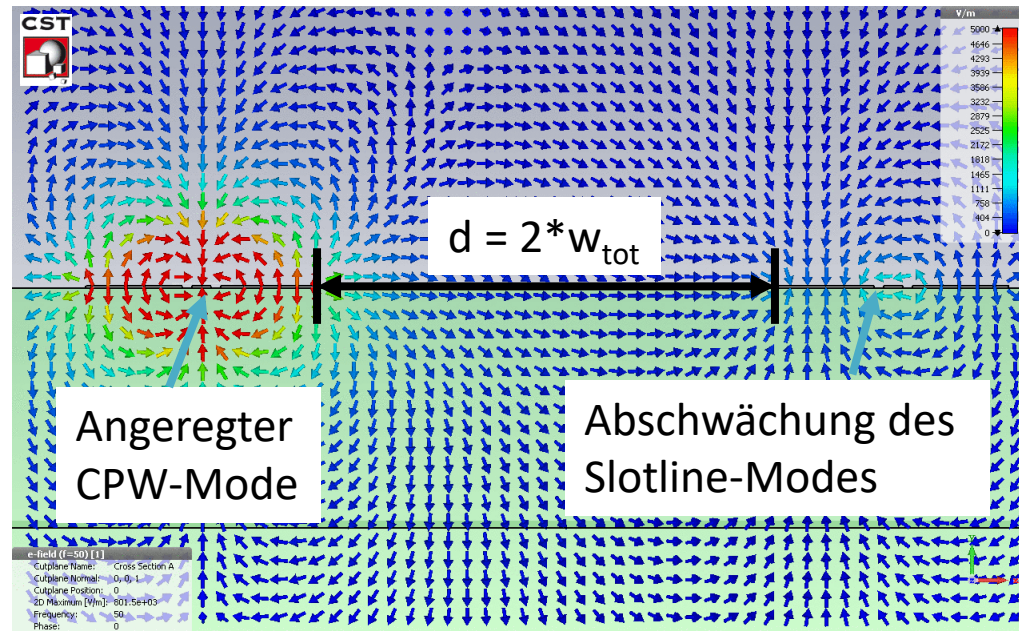
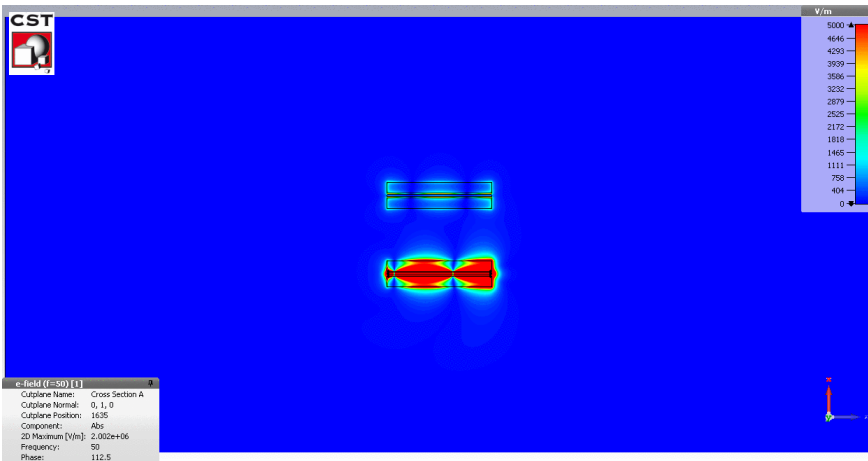
Kopplung benachbarter CPWs: Felder (I)

- Kopplung des asymmetrischen Slotline-Modes



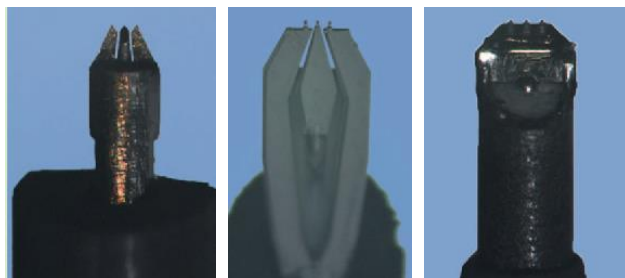
Kopplung benachbarter CPWs: Felder (II)

- Abschwächung der Kopplung eines asymmetrischen Slotline-Modes



Untersuchung des Einflusses der Probe- Eigenschaften

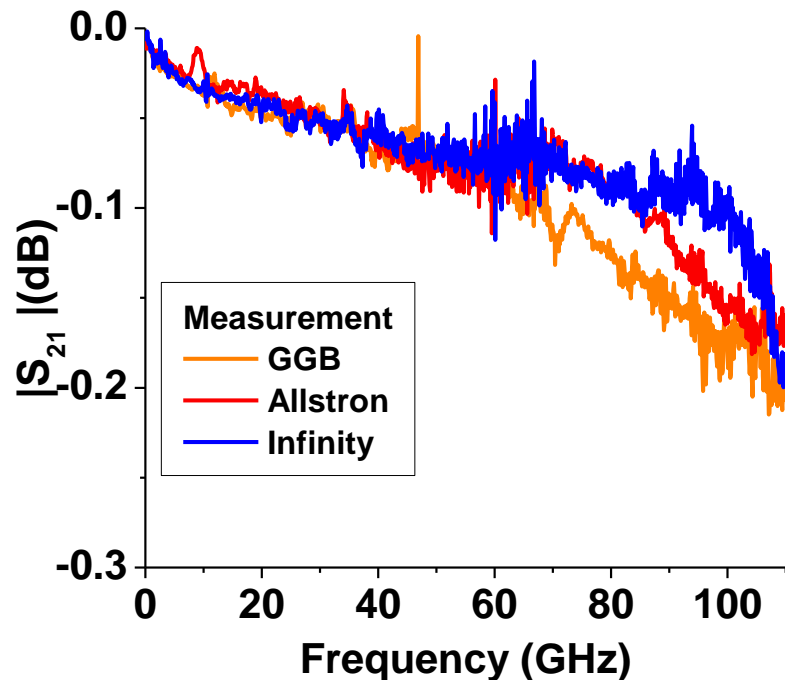
Unterschiede in den Messungen mit Messspitzen verschiedener Hersteller



GGB

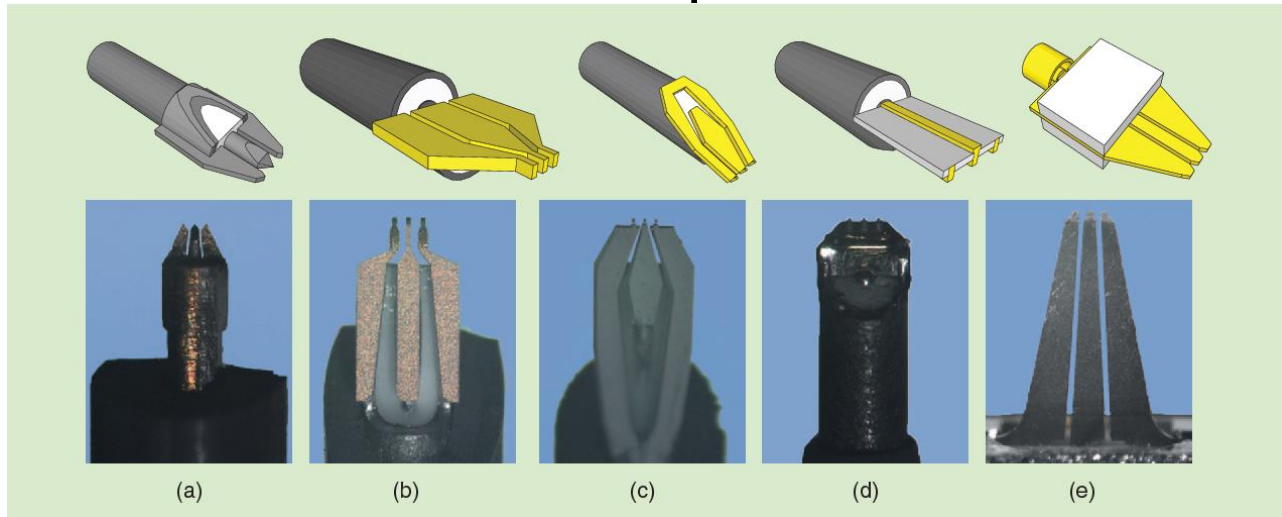
Allstron

Infinity



[2] G. N. Phung, F. J. Schmückle, R. Doerner, W. Heinrich, T. Probst and U. Arz, "Effects Degrading Accuracy of CPW mTRL Calibration at W Band," *2018 IEEE/MTT-S International Microwave Symposium - IMS*, Philadelphia, PA, 2018, pp. 1296-1299.

- Große Vielfalt an Messspitzen verschiedener Hersteller

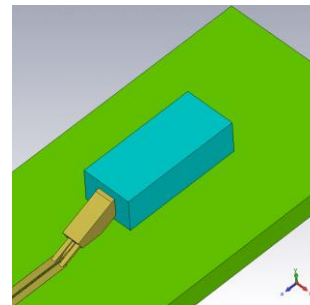
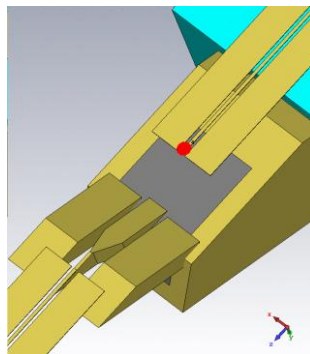
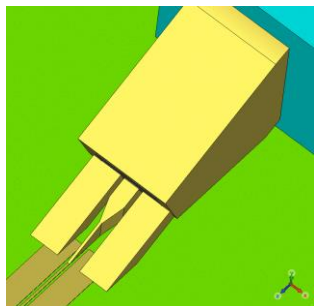
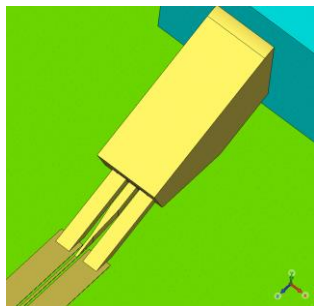


(a) Picoprobe (top view, 100-nm pitch), (b) ACP (125-nm pitch), (c) Allstron (100-nm pitch), (d) Infinity Probe (125-nm pitch; all bottom view), and (e) |Z| Probe (125-nm pitch).

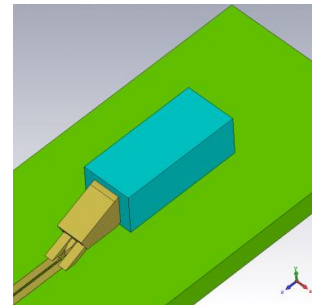
[3] Rumiantsev, Andrej and R. Doerner. "RF Probe Technology: History and Selected Topics." IEEE Microwave Magazine 14 (2013): 46-58.

Künstliches Probe-Modell

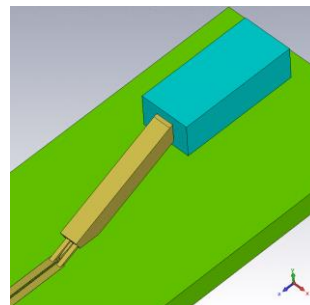
- Anzahl der Diskretisierungszellen verringert
- Abmessungen absichtlich übertrieben, um Effekte zu verstärken und eine bessere Zuordnung zu gewinnen
- Einfache Parametrisierung zu untersuchender geometrischer Eigenschaften (Länge der Nadeln, Länge der Schräge)



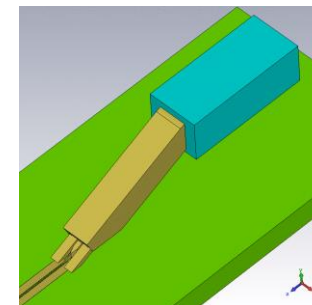
Probe 1.1



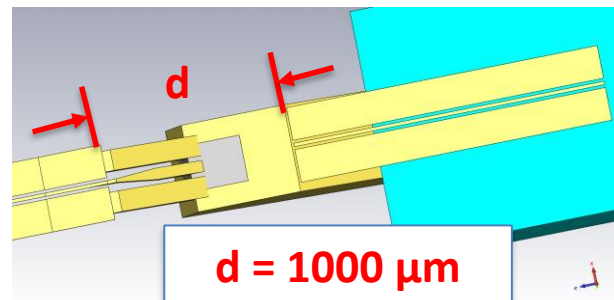
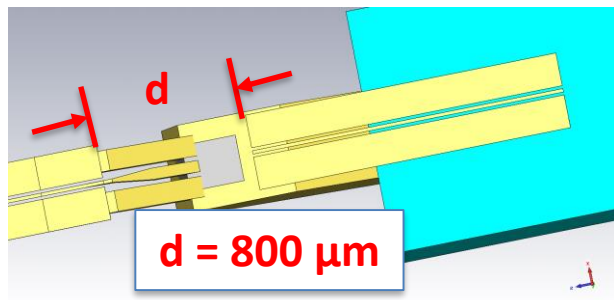
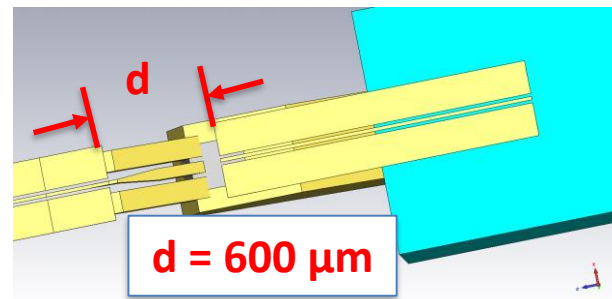
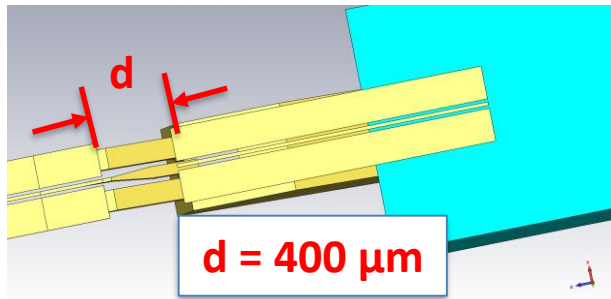
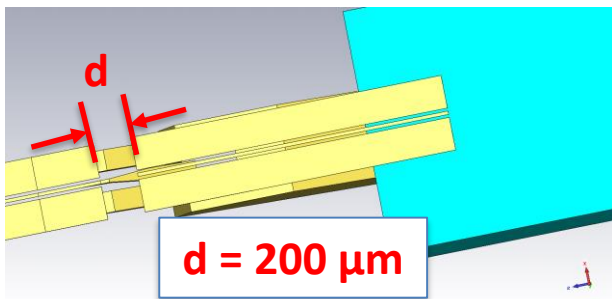
Probe 2.1



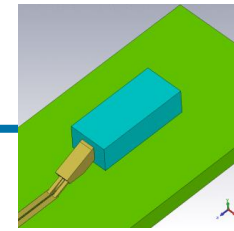
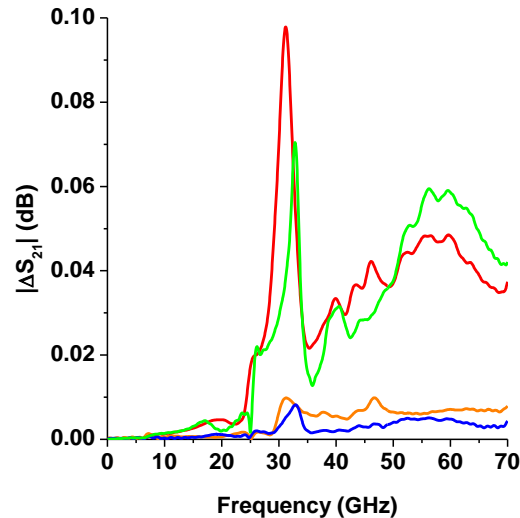
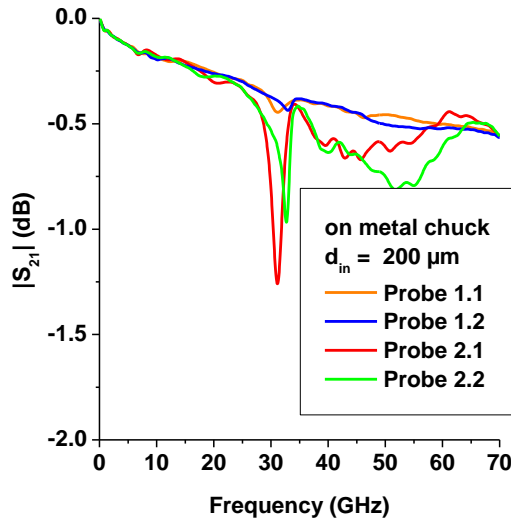
Probe 1.2



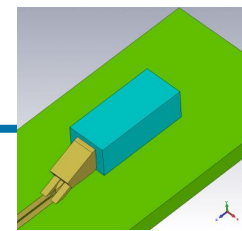
Probe 2.2



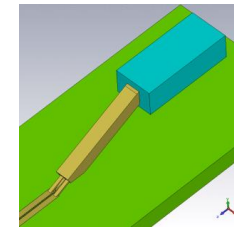
■ Variation des Abstandes $d = 200 \mu\text{m}$



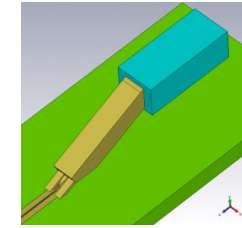
Probe 1.1



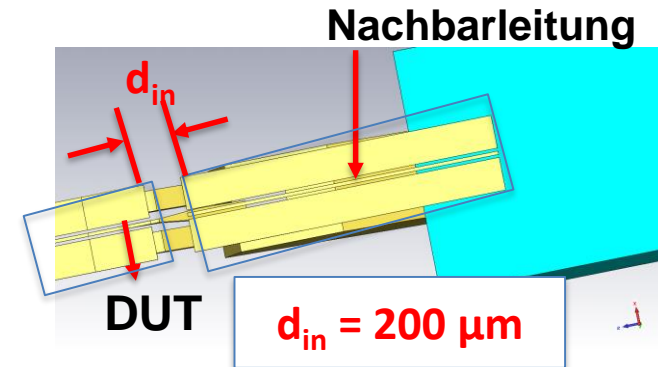
Probe 2.1



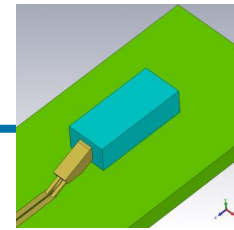
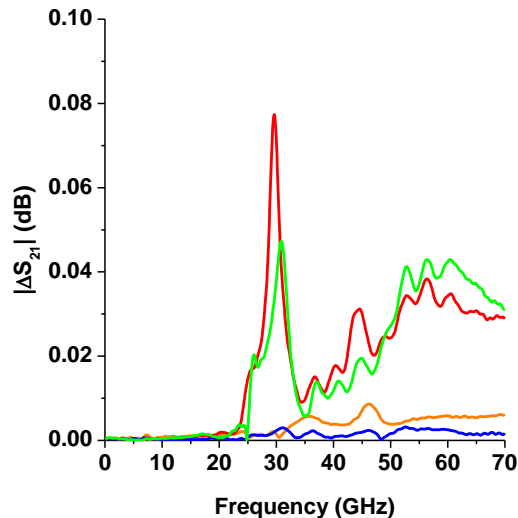
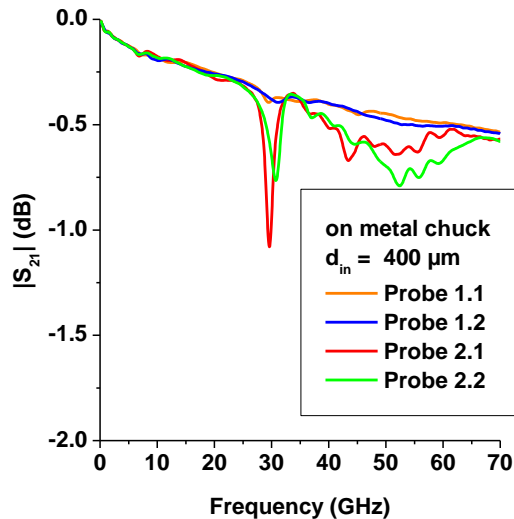
Probe 1.2



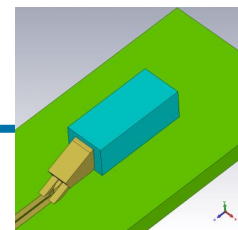
Probe 2.2



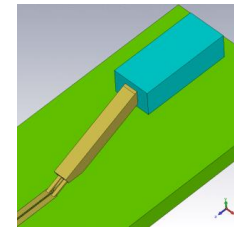
■ Variation des Abstandes $d = 400 \mu\text{m}$



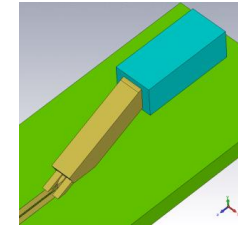
Probe 1.1



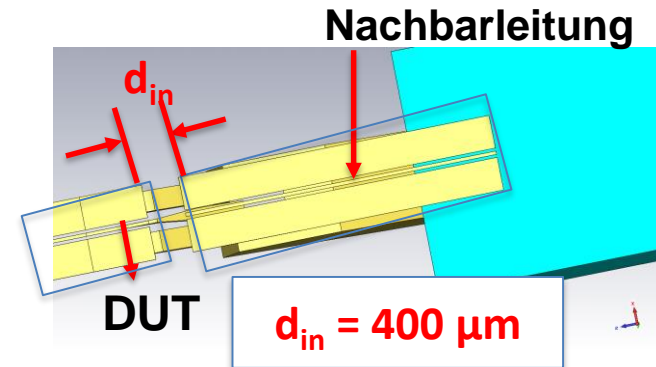
Probe 2.1



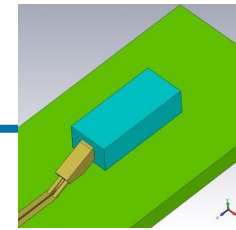
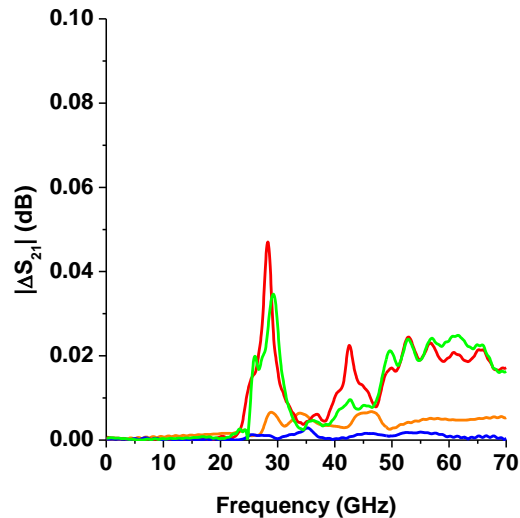
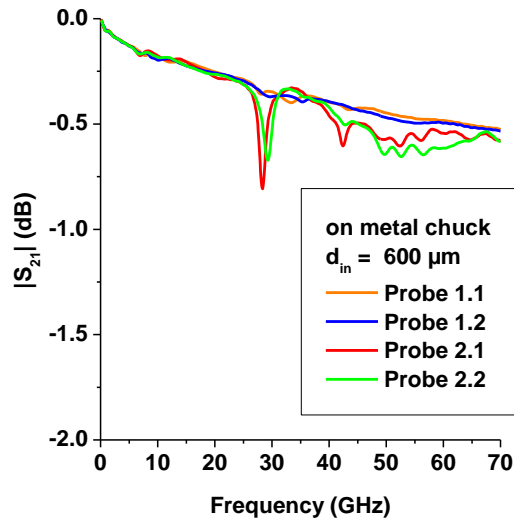
Probe 1.2



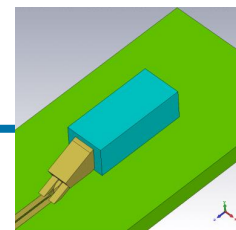
Probe 2.2



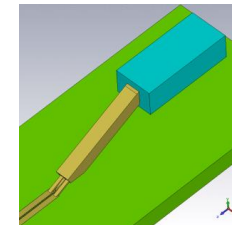
■ Variation des Abstandes $d = 600 \mu\text{m}$



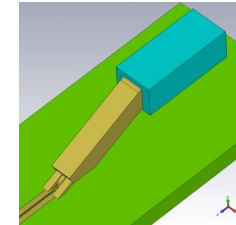
Probe 1.1



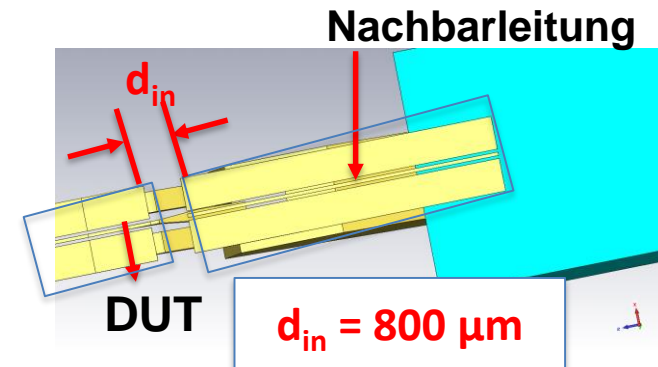
Probe 2.1



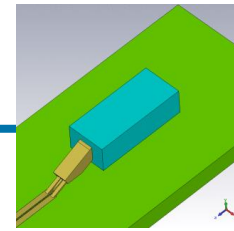
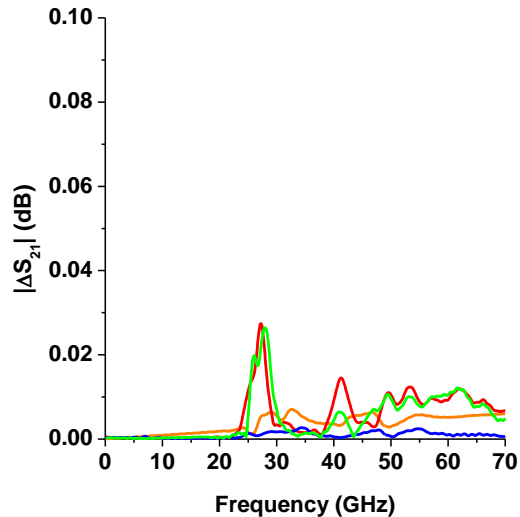
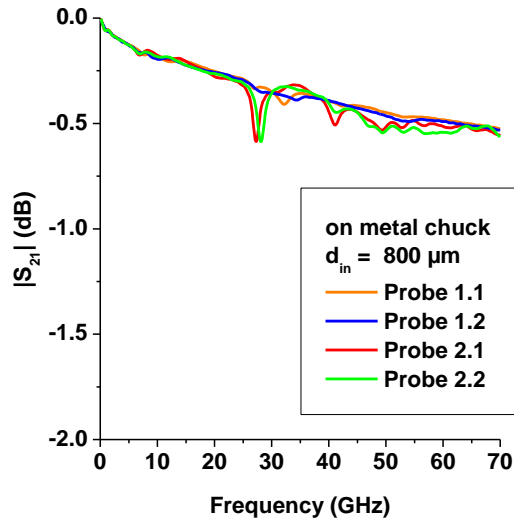
Probe 1.2



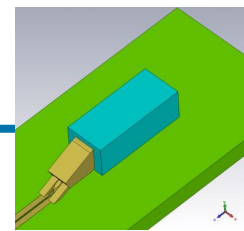
Probe 2.2



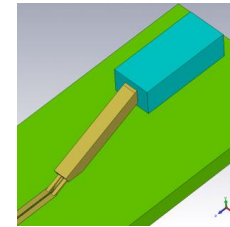
■ Variation des Abstandes $d = 800 \mu\text{m}$



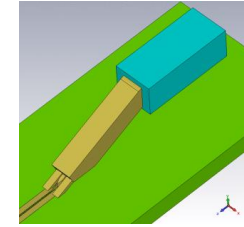
Probe 1.1



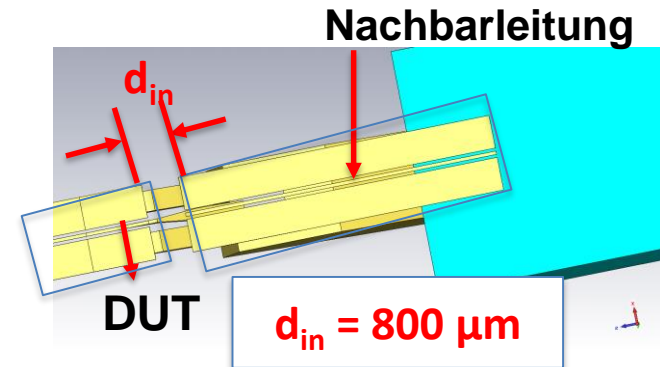
Probe 2.1



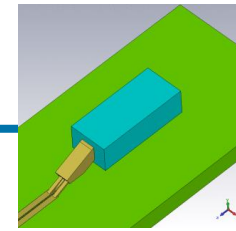
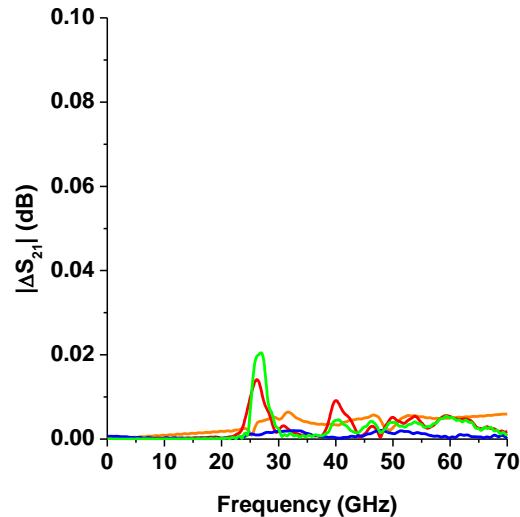
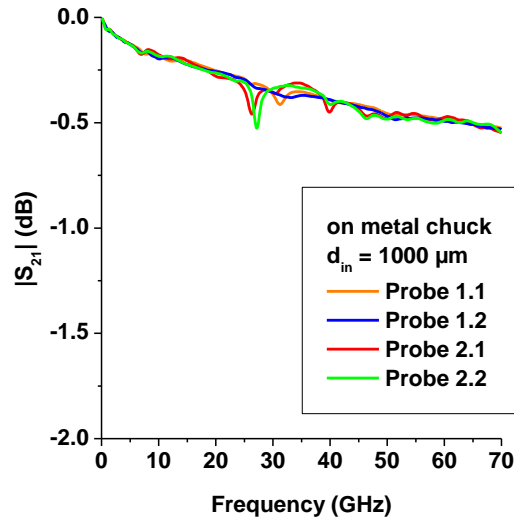
Probe 1.2



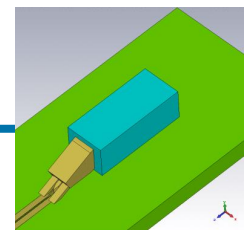
Probe 2.2



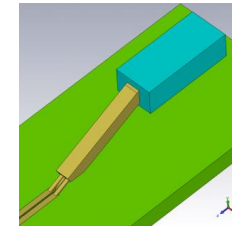
■ Variation des Abstandes $d = 1000 \mu\text{m}$



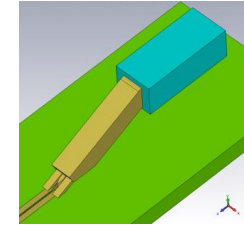
Probe 1.1



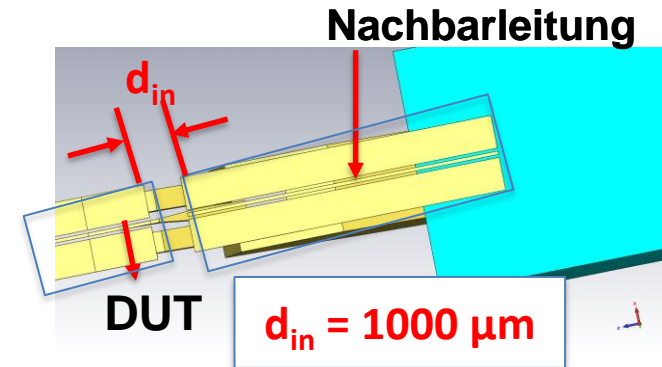
Probe 2.1



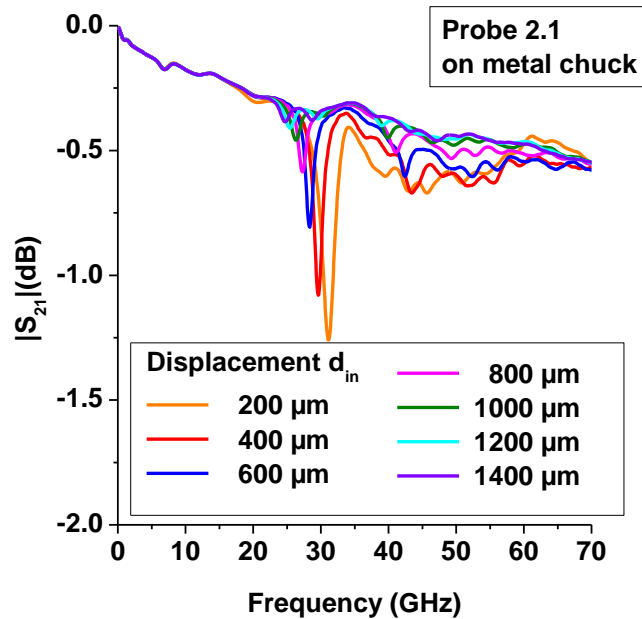
Probe 1.2



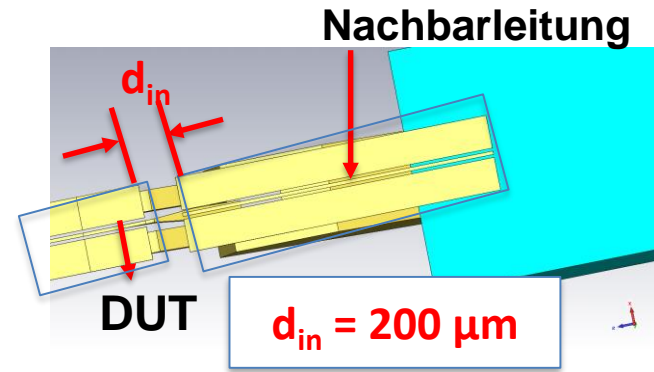
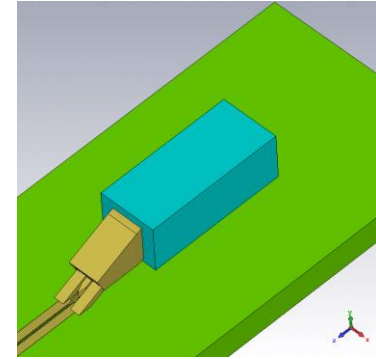
Probe 2.2



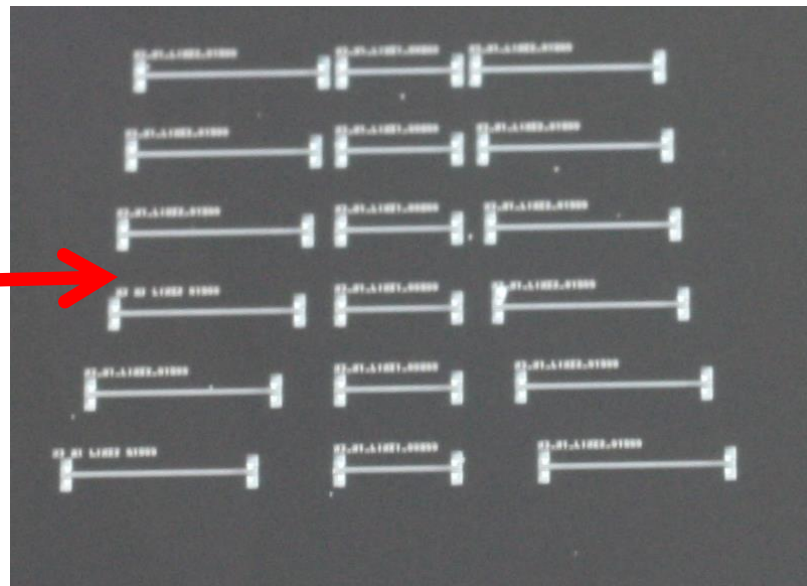
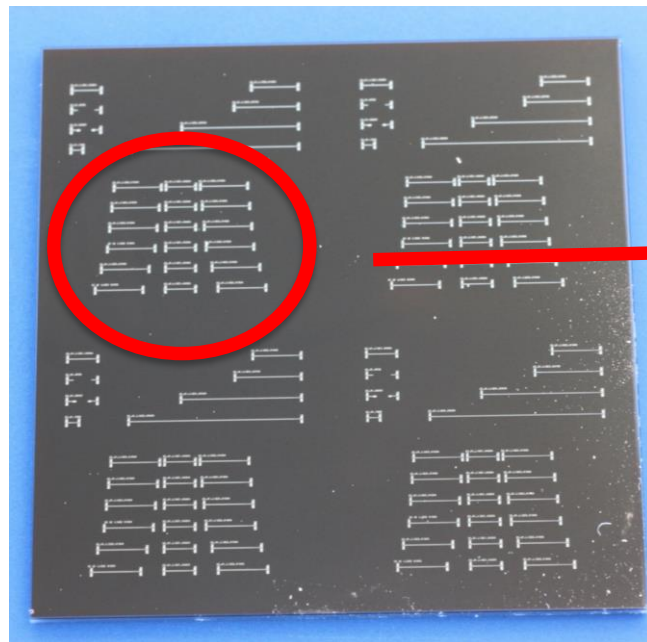
■ Variation des Abstandes



Probe 2.1

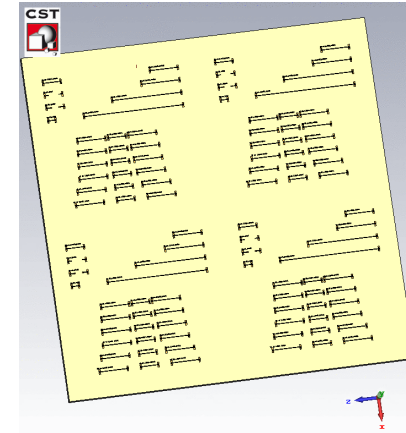
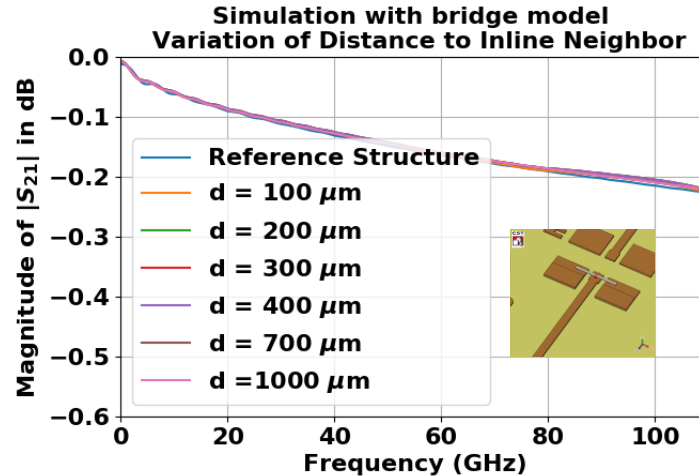
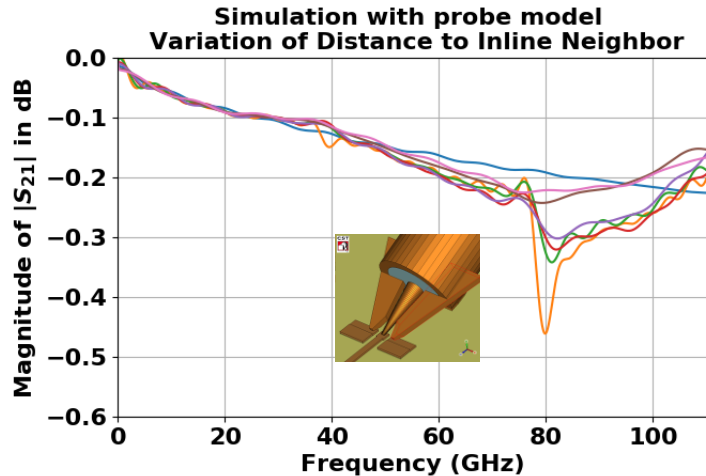
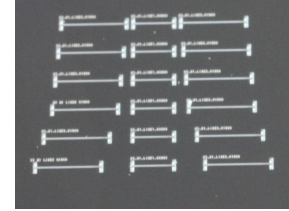
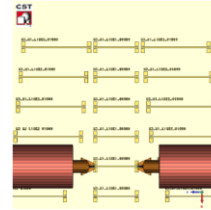


- Testwafer zur Verifikation



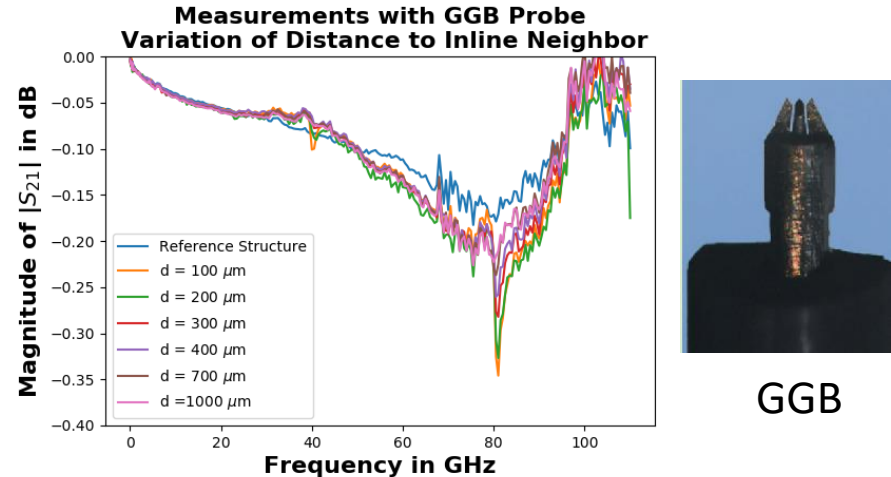
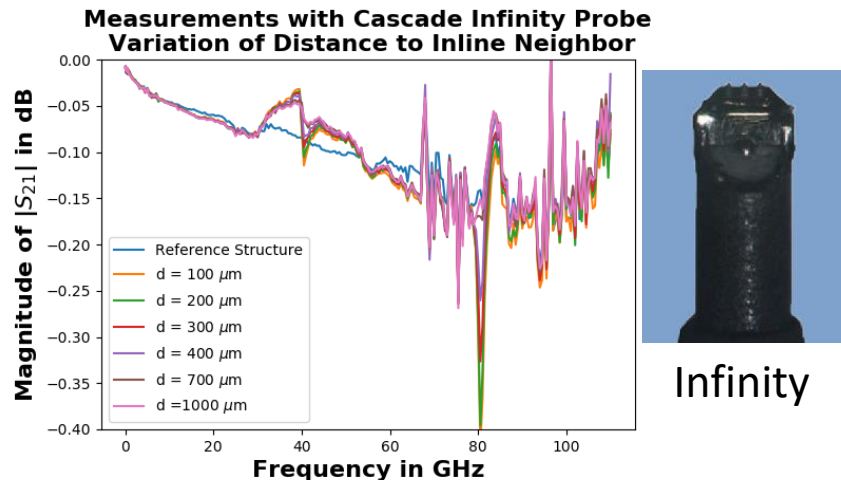
Simulation des Gesamtwafers

- Glatter Kurvenverlauf mit Brückenmodell
- Resonanzverhaltens mit Probe

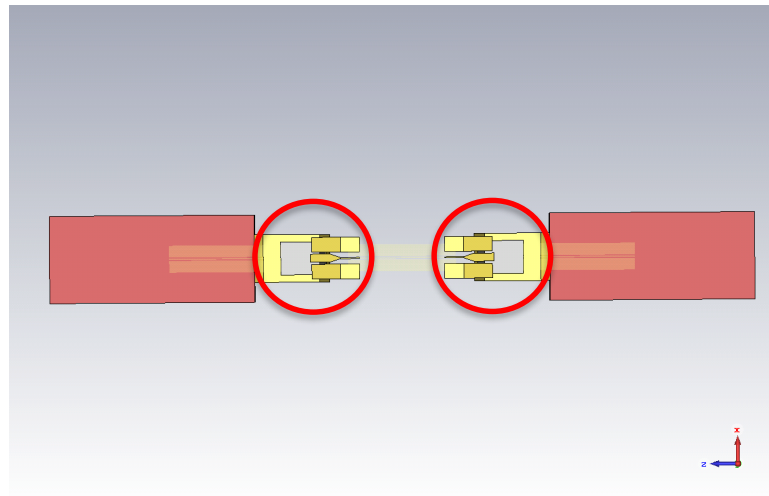


■ Messergebnisse: Validierung der Ergebnisse

- Messspitzen verschiedener Hersteller zeigen unterschiedliche Ergebnisse
- Solange die Nachbarstruktur außerhalb des Probeschattens liegt, wird das Resonanzverhalten abgeschwächt



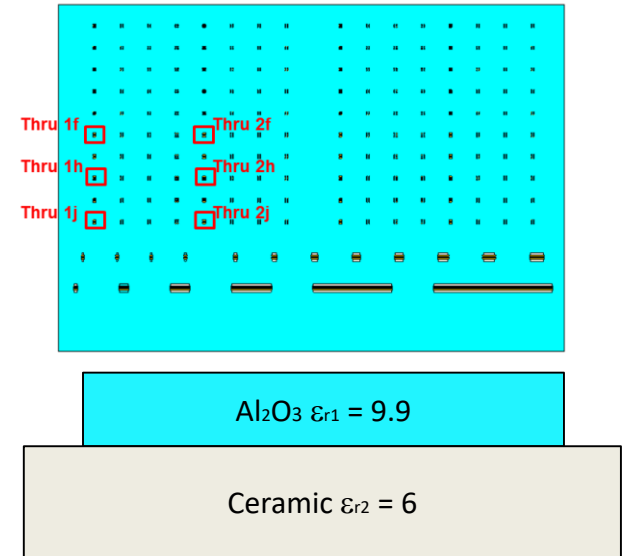
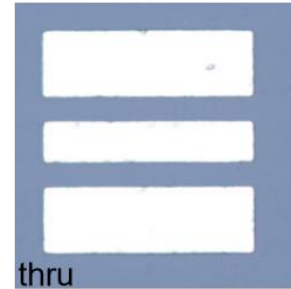
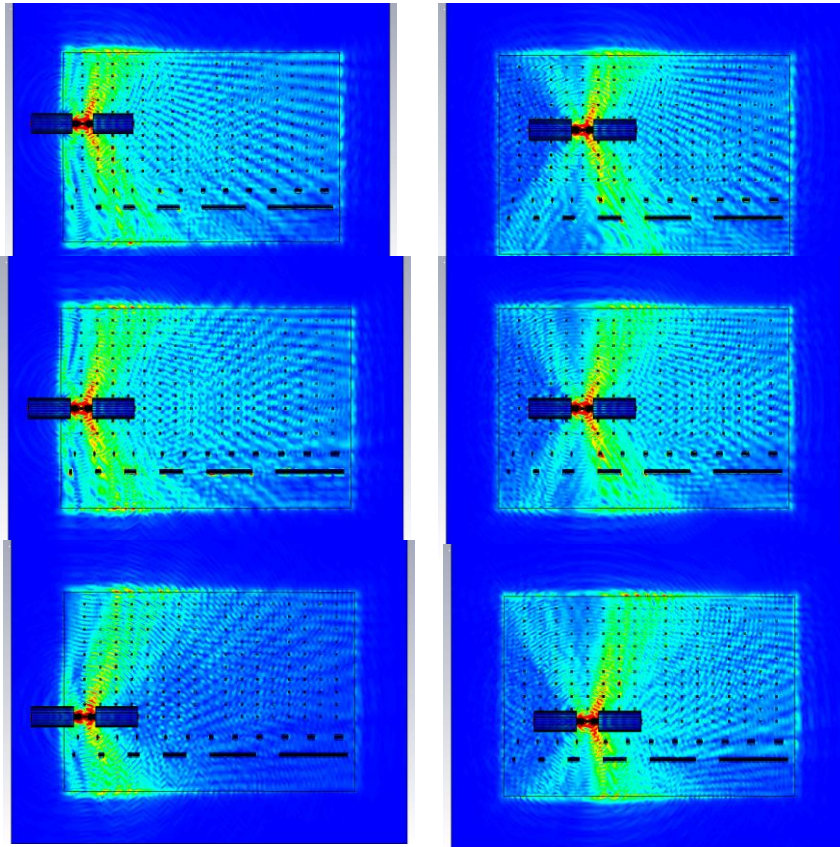
- Systematische Untersuchung zeigt:
 - Der Bereich unterhalb der Messspitzen (Probe-Schatten) ist ausschlaggebend für die parasitäre Effekte



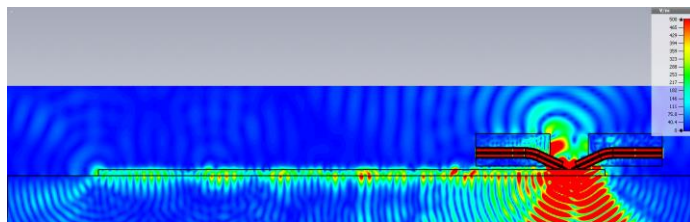
[4] G. N. Phung *et al.*, "Influence of Microwave Probes on Calibrated On-Wafer Measurements," in *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 67, no. 5, pp. 1892-1900, May 2019, doi: 10.1109/TMTT.2019.2903400.

Einfluss der Mehrmodigkeit

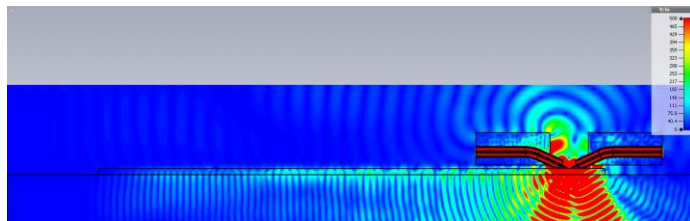
PTB Einfluss der Mehrmodigkeit (I)



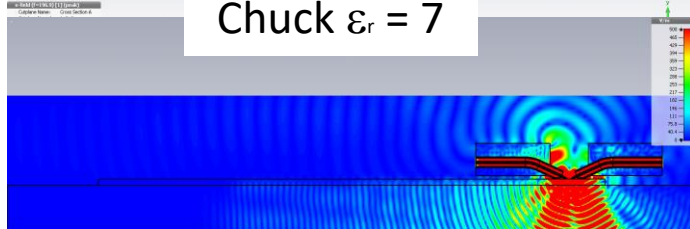
Einfluss der Mehrmodigkeit (II)



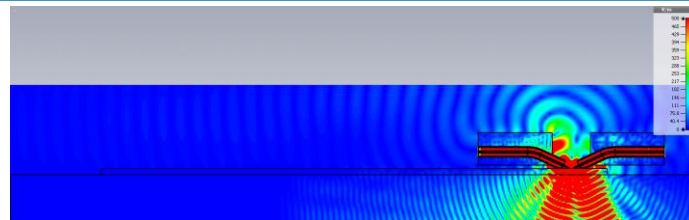
Chuck $\epsilon_r = 6$



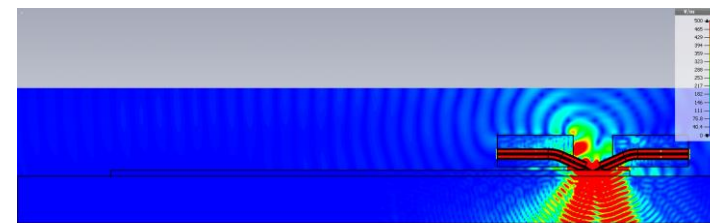
Chuck $\epsilon_r = 7$



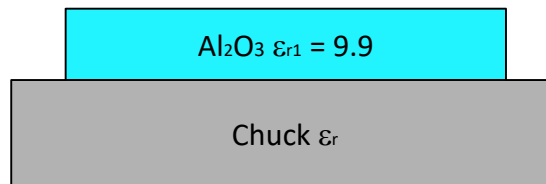
Chuck $\epsilon_r = 8$



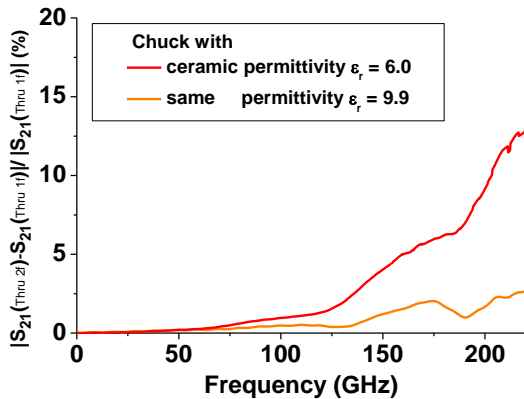
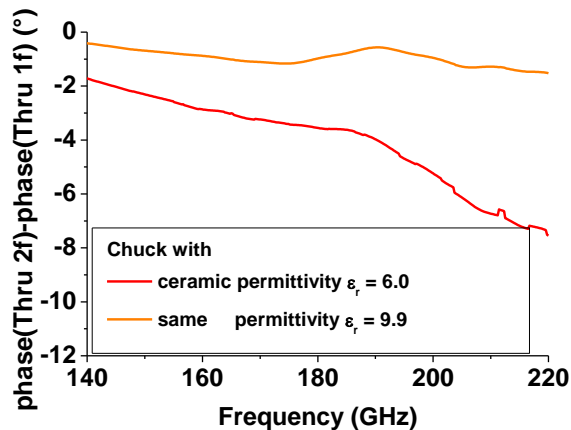
Chuck $\epsilon_r = 9$



Chuck $\epsilon_r = 12$



- Substratmode-Unterdrückung
 - Reduzierter Phasenfehler
→ Verbesserung der Messgenauigkeit



Thru 1f

Thru 2f

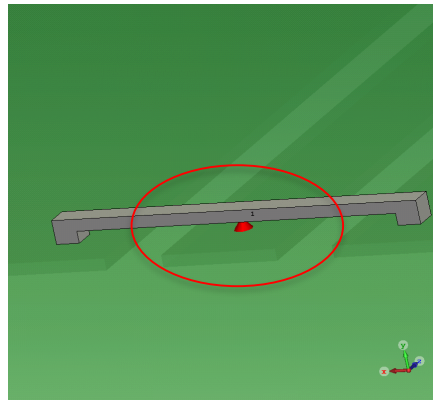
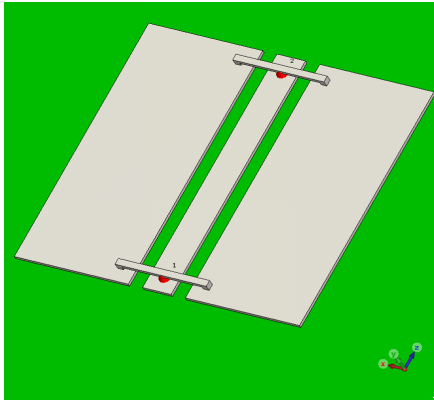
Auswahl eines
ähnlichen
Materials für die
Unterlage wie des
Wafers !!!

[5] G.N. Phung, F.J. Schmückle, R. Doerner, W. Heinrich, T. Probst, U. Arz, "Impact of Substrate Modes on mTRL-Calibrated CPW Measurements in G Band," in Proc. of the 48th European Microwave Conference (EuMC), Madrid, Spain, Sep. 2018, pp.194-197.

Analytisches Abstrahlungsmodell

Um das Abstrahlverhalten von CPW-Leitungen zu charakterisieren

- Systematische Untersuchung/ EM Simulation von CPW-Leitungen durch Parameterstudien im Frequenzbereich bis 300 GHz
- Bestimmung der Ausbreitungseigenschaften durch Kalibrierung der Simulationsergebnisse
- Vergleich der Ergebnisse mit dem analytischen Modell [6]



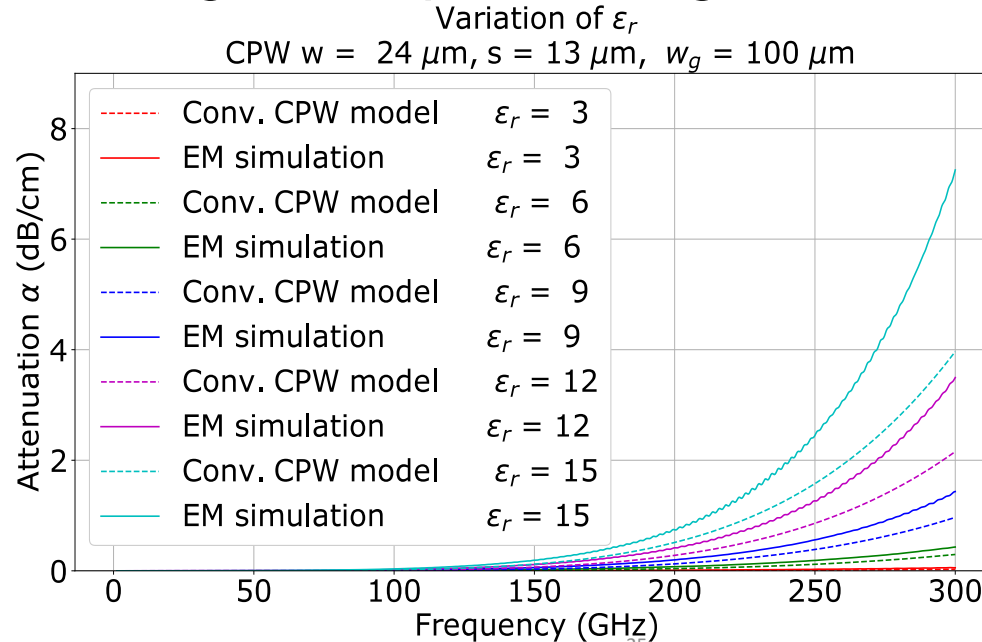
Idealisierte Anregung

[6] F. Schnieder, T. Tischler and W. Heinrich, "Modeling dispersion and radiation characteristics of conductor-backed CPW with finite ground width," in *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 51, no. 1, pp. 137-143, Jan. 2003.

Vergleich mit konventionellem Modell

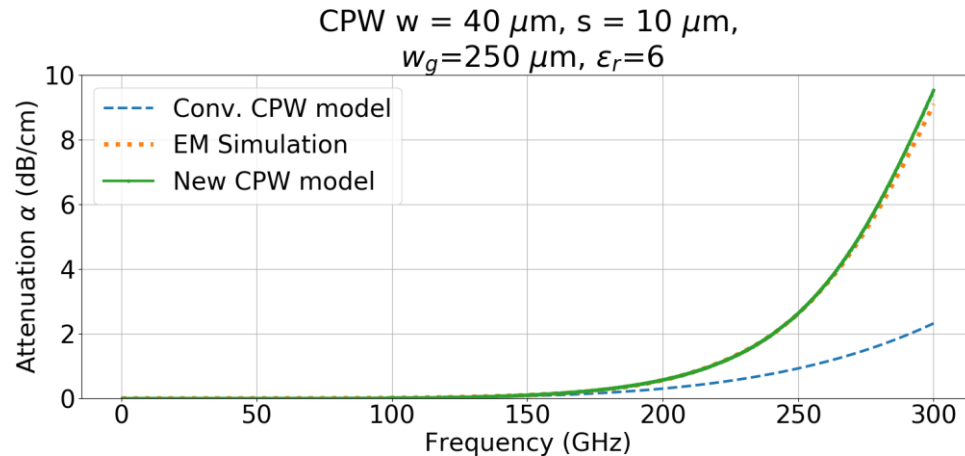
Starke Abweichungen zwischen CPW-Modell und EM Simulation !!!

- Verbesserung und Optimierung notwendig



Neuentwicklung des CPW-Modells

- Anpassung des CPW-Modells durch Fitting-Formeln
- Gute Übereinstimmung zwischen EM Simulation und Neuentwicklung des CPW-Modells



$$\frac{\alpha_{CST}}{\alpha_{conv.CPW \text{ model}}} = 1 + \frac{f_1\left(\frac{w}{d}\right)f_2(\epsilon_r)f_3(w_{tot}, w_g)}{1 + 19.83\left(\frac{f}{f_{g1}} - 1\right)^2}$$

$$f_1\left(\frac{w}{d}\right) = 1 + 0.45\left(\frac{w}{d}\right)^4$$

$$f_2(\epsilon_r) = 1.87 + \frac{273.18}{47.60 + 1.29 * (\epsilon_r - 9)^2}$$

$$f_3(w_{tot}, w_g) = \frac{w_g}{w_{tot}}$$

[7] G.N. Phung, U. Arz, K. Kuhlmann, R. Doerner, W. Heinrich, "Improved Modeling of Radiation Effects in Coplanar Waveguides with Finite Ground Width", 2020 EuMC, accepted.

Vorteile der Modellerweiterung für den erhöhten Frequenzbereich

- Bessere Abschätzung der CPW-Ausbreitungseigenschaften insbesondere beim Schaltungsentwurf in MMICs
- CPW-Modellierung mit verbesserter Genauigkeit für eine bessere Abschätzung in der Unsicherheitsanalyse der Messung

Zusammenfassung

Zusammenfassung

Einfluss benachbarter Leitungen:

- Kopplung des Slotline-Modes und Abschwächung durch $d > 2 \cdot w_{\text{tot}}$

Einfluss der Probe-Eigenschaften:

- Der Bereich unterhalb der Messspitzen (Probe-Schatten) ist ausschlaggebend für die parasitären Effekte und soll möglichst frei von Strukturen sein

Einfluss der Mehrmodigkeit:

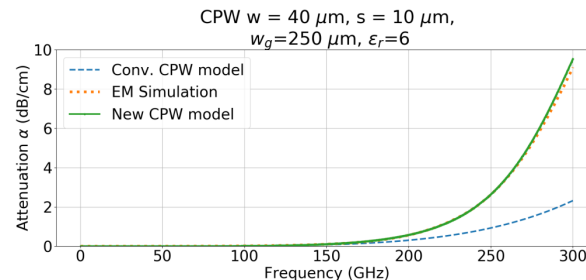
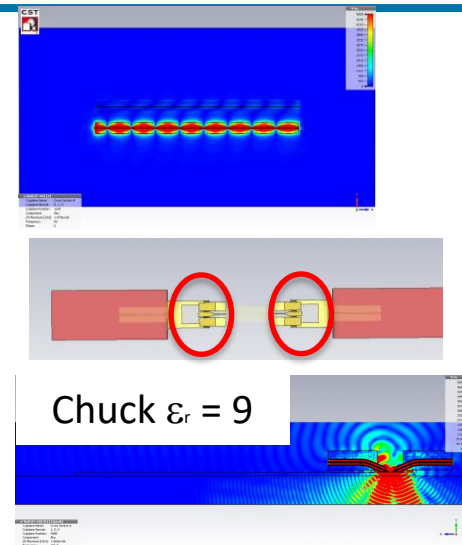
- Verwendung eines Materials mit ähnlichen Eigenschaften wie des Wafers unterdrückt die Ausbreitung der Substratmoden

Entwicklung des analytischen Abstrahlungsmodells:

- CPW-Modell mit verbesserter Genauigkeit beim Schaltungsentwurf in MMICs und für eine bessere Abschätzung der Unsicherheitsanalyse der Messung

Zusammenfassung der Guidelines

[8] M. Spirito, U. Arz, G.N. Phung ; F.J. Schmückle, W. Heinrich, R. Lozar.
Guidelines for the design of calibration substrates, including the suppression of parasitic modes for frequencies up to and including 325 GHz : EMPIR 14IND02 – PlanarCal, 2018. Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB).



- [1] F.J. Schmückle, T. Probst, U. Arz, G.N. Phung, R. Doerner, and W. Heinrich, "Mutual Interference in Calibration Line Configurations," in 89th Automatic RF Techniques Group Microwave Measurement Conference (ARFTG) Digest, Honolulu, HI, USA, Jun. 2017.
- [2] Rumiantsev, Andrej and R. Doerner. "RF Probe Technology: History and Selected Topics." IEEE Microwave Magazine 14 (2013): 46-58.
- [3] G. N. Phung, F. J. Schmückle, R. Doerner, W. Heinrich, T. Probst and U. Arz, "Effects Degrading Accuracy of CPW mTRL Calibration at W Band," *2018 IEEE/MTT-S International Microwave Symposium - IMS*, Philadelphia, PA, 2018, pp. 1296-1299.
- [4] G. N. Phung *et al.*, "Influence of Microwave Probes on Calibrated On-Wafer Measurements," in *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 67, no. 5, pp. 1892-1900, May 2019, doi: 10.1109/TMTT.2019.2903400.
- [5] G.N. Phung, F.J. Schmückle, R. Doerner, W. Heinrich, T. Probst, U. Arz, "Impact of Substrate Modes on mTRL-Calibrated CPW Measurements in G Band," in Proc. of the 48th European Microwave Conference (EuMC), Madrid, Spain, Sep. 2018, pp.194-197.
- [6] F. Schnieder, T. Tischler and W. Heinrich, "Modeling dispersion and radiation characteristics of conductor-backed CPW with finite ground width," in *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 51, no. 1, pp. 137-143, Jan. 2003.
- [7] G.N. Phung, U. Arz, K. Kuhlmann, R. Doerner, W. Heinrich, "Improved Modeling of Radiation Effects in Coplanar Waveguides with Finite Ground Width", 2020 EuMC, accepted.
- [8] M. Spirito, U. Arz, G.N. Phung ; F.J. Schmückle, W. Heinrich, R. Lozar. Guidelines for the design of calibration substrates, including the suppression of parasitic modes for frequencies up to and including 325 GHz : EMPIR 14IND02 – PlanarCal, 2018. Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB).

Acknowledgement

The author acknowledges support by the European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR) Project 14IND02 "Microwave measurements for planar circuits and components".

The EMPIR programme is co-financed by the Participating States and from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme.

EMPIR



The EMPIR initiative is co-funded by the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and the EMPIR Participating States

**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: 08/20

Auf unterschiedlichen Chuckmaterialien

- Variation des Abstandes d_{in}
- Die Stärke des Resonanzverhaltens beeinflusst vom Chuck-Material

