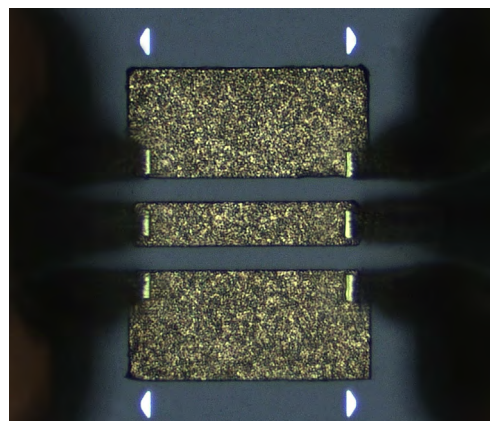


TCS-050-100-W Calibration Substrate

MPI TITAN™ TCS-050-100-W は12のヨーロッパ組織で構成される PlanarCal コンソーシアムによって開発された推奨事項に基づいて設計された、業界初の商用RF校正基板です [1, 2]。この校正基板は325GHzまでの周波数範囲で、プローブ先端のRF校正および校正の不確かさの推定を可能にします。TCS-050-100-W はコプレーナおよびプローブ先端の校正において、NMI(国立計量研究所)の基準に対する確立されたトレーサビリティを備えた唯一の商用RF校正基板です [3]。

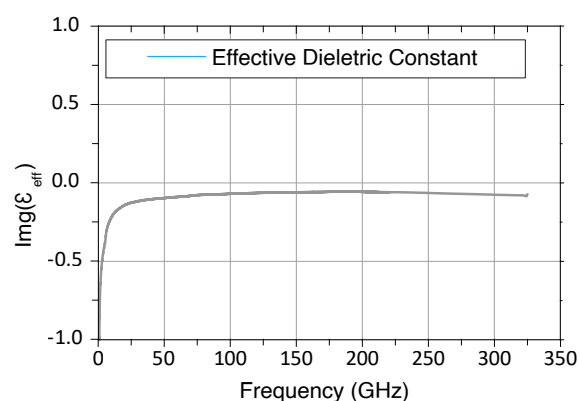
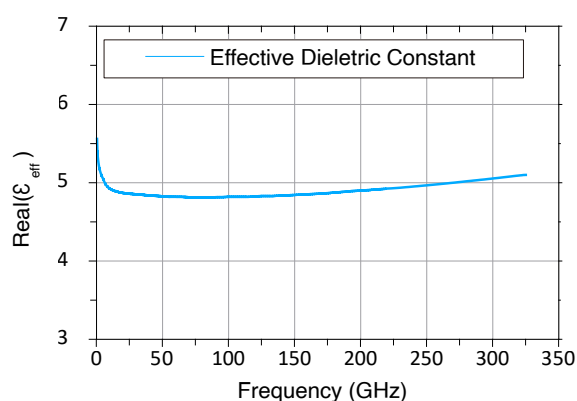
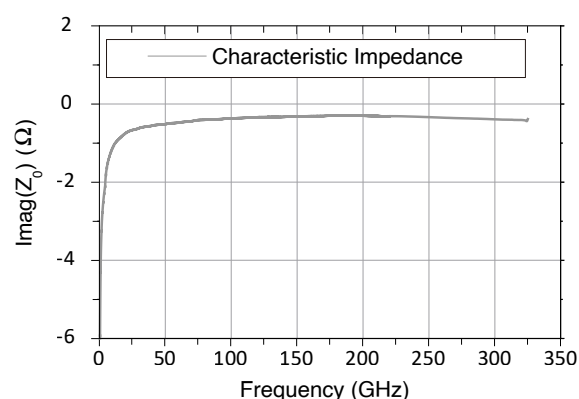
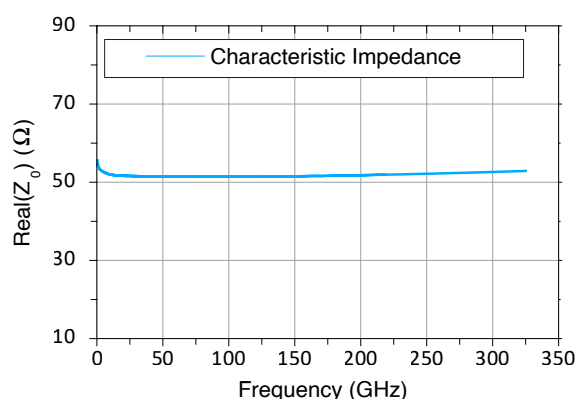
TCS-050-100-W RF校正基板は、50μmから100μmのプローブピッチに対応したMPI TITAN™ RFプローブファミリーのGround-Signal-Ground (GSG) プローブ先端の正確な校正を提供するように設計されています。業界標準のShort-Open-Load-Thru (SOLT/TOSM) 校正法をサポートするだけでなく、先進的なThru-Match-Reflect (TMR/LRM)、Thru-Match-Reflect-Reflect (TMRR) および NIST マルチライン Thru-Line-Reflect (mTRL) 校正法 にも対応しています。

TCS-050-100-W RF校正基板には11 グループの集中定数標準素子が含まれており、また325GHz まで使用可能な NIST マルチライン TRL 校正用に必要の完全コプレーナ伝送線のセットも含まれています。さらに、S パラメータおよび RF ノイズパラメータの校正検証用に、3 dB、6 dB、および 10 dB の対称アッテネーターも含まれています。



TCS-050-100-WのThru標準器上でT110A-GSG050-RCプローブを10μmでオーバトラベルした後、セパレートした時の写真。

代表的電気特性



TCS-050-100-Wライン標準器の代表的特性インピーダンスと実効誘電率はNIST(米国国立標準技術研究所、コロラド州ボルダー)の測定法を使用して測定[4, 5]。

RF校正基板特性

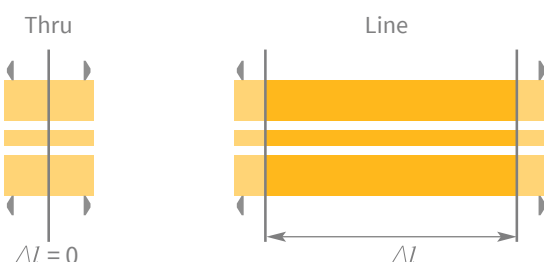
材質	アルミナ
大きさ	16.5 x 12.5 mm
厚さ	254 μ m
標準器設計	コプレーナ
プローブ構成	GSG
サポートピッチ幅	50 ~ 100 μ m
集中定数標準器 数	11
校正標準器およびライン数	5
校正検証エレメント	有り
サポートされているRF校正法	SOLT, LRM, TMR, TMRR および multiline TRL
ロード抵抗値(代表値)	50 Ω
ロード・トリミング精度(代表値)	± 0.3 %
オープン標準器	基板に金パッド
TITAN™ プローブの推奨オーバトラベル	10 μ m

CPW標準ライン電気特性

単位長当たり公称容量 (pF/cm)	1.44
公称特性インピーダンス @20 GHz	50 Ω
実効比誘電率(実数部) @20 GHz	4.9
速度係数@20 GHz	0.452
単純化ラインモデル・パラメータ	
基準損失(dB)	0.54
基準遅延時間(ps)	18
基準周波数(GHz)	60
ラインの電気長(ps)	
Thru	1.10
Line 1 (0104)	2.65
Line 2 (0204)	4.50
Line 3 (0304)	8.70
Line 4 (0205)	18.00
Line 5 (0105)	38.50

NIST マルチライン TRL(m TRL)校正を使った校正精度

mTRL校正キットは、DUTと同じ半導体プロセスを使用して簡単に設計および製造することができます。カスタマイズされた「オンウエハ」mTRL校正キットを使用することで、DUTの測定結果からデバイスのパッドの寄生インピーダンスをディエンベディングする必要がなくなります。mTRLは220GHzを超える測定周波数で信頼できる校正結果を提供できる唯一の方法です。mTRLアルゴリズムは、異なる物理長の複数のライン標準器を必要とし、常に最初のライン（「Thru」）標準器をゼロ長のラインとして扱います。後続のライン標準器の長さであるDelta-lは、Thru（最初のライン）の長さに対して定義されます。MPI MP80-DXマイクロポジショナを操作する際、オペレーターは最初にRFプローブを調整した後、すなわちThru標準器でデジタル・マイクロメーターをゼロに設定するだけで済みます。その後、RFプローブ間の距離を簡単に再調整し、必要な Δl の値に1 μm 以下の精度で合わせることができます。MPI MP80-DXは経験の浅いオペレーターでも、mTRLの校正精度と再現性を向上させ、セットアップ時間を短縮することができます。



TRLライン標準器の Δl の定義



MP80-DXマイクロポジショナ。X軸のデジタル・マイクロメータ使用

標準器タイプ (ID)	物理長(μm)	実使用長l(μm)	Δl (μm)
Thru	182	150	0
Line 1 (0104)	392	360	210
Line 2 (0204)	642	610	460
Line 3 (0304)	1207	1175	1025
Line 4 (0205)	2457	2425	2275
Line 5 (0105)	5232	5200	5050

スルー標準器に対して約30～150度の位相遅延を持つ伝送線路の推奨周波数帯仕様です。TRL RF校正用のVNAに実装されているCalKitには以下の値を使用してください。下記の最小および最大の周波数に加えて、他の周波数または中間の周波数を確認するためにMPIのQAlibria®ソフトウェアも使用できます。

	f_{min} , GHz	f_{max} , GHz
Thru	0	325
Line 1 (0104)	60	240
Line 2 (0204)	30	110
Line 3 (0304)	15	50
Line 4 (0205)	5	20
Line 5 (0105)	2.5	10

■ プローブのプラナリティ調整

MPI TITAN™ RFプローブは、独自の突起型先端設計によりティップ接触の優れた可視性を提供します。これにより、経験の浅いオペレーターでも、RF校正用標準器やDUTパッド上でRFプローブを正確に位置決めすることが可能です。TITAN™ プローブは非常に頑丈ですが、過度のオーバートラベルはプローブを損傷する可能性があるためプローブを降ろす際には注意が必要です。プローブのプラナリティ調整には、RF校正基板の金プレートまたは専用の接触基板PN TCS-1（図1）を使用することをお勧めします。高解像度の顕微鏡でプローブの先端を監視しながらZ軸の高さを調整し、プローブの先端が表面に接触するようにします。プローブの先端が表面に接触すると先端が前方に滑り始めます。表面に接触したらプローブを上げ、プローブマークを確認します。プローブの先端がパッドの表面に平行であれば、各先端に均一なプローブマークが見られるはずです（図2）。プローブの先端が表面に平行でない場合（図3）、マイクロポジショナの平面ノブを回転させ、プローブマークを再確認します（図4）。これには数回の試行が必要な場合があります。



図 1. TITAN™ コンタクト基板 TCS-1

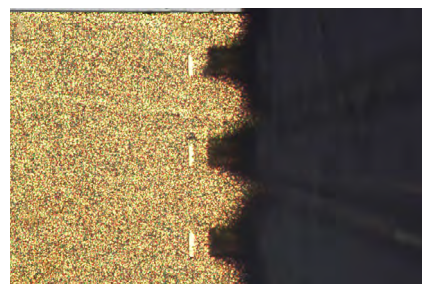


図 2. プラナリティが取れたプローブマーク



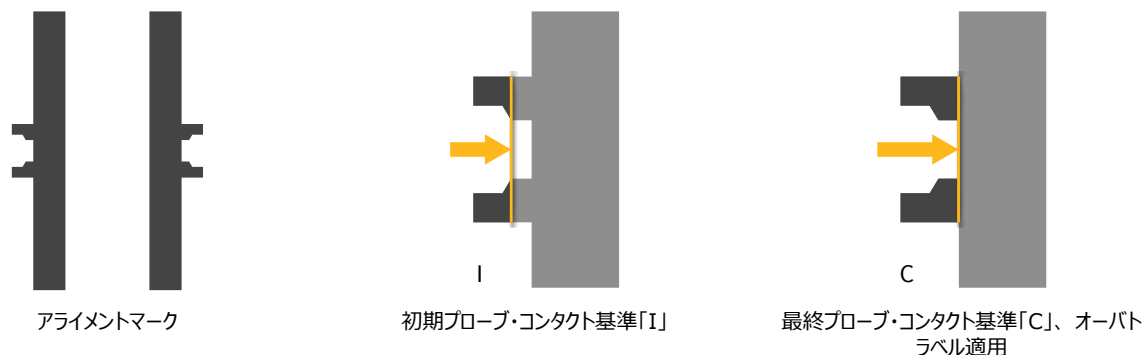
図3. 表面に平行でない場合



図 4. TITAN™ プローブのプラナリティ調整

■ アライメントマークのガイドライン

TITAN™プローブアライメント・エレメントはオペレーターがマニュアル型プローブシステムで、プローブ間隔を正確に調整し推奨されるプローブのオーバトラベルを設定するのに役立ちます。プローブ間隔は、校正されたシステムの測定プレーンを正確に定義するために不可欠なThru標準器の長さを定義します。推奨されるプローブのオーバトラベルは一貫したプローブ接触、校正標準器の再現性のある測定データ、そして信頼性のあるシステム校正結果を保証します。同時に、過剰なプローブのオーバトラベルによって引き起こされる標準器の損傷を最小限に抑えます。このように、適切なプローブアライメントの使用はRF校正の精度と再現性を向上させるだけでなく、校正標準器の寿命を大幅に向上し、テストのコストを削減します。



■ プローブのアライメントの手順

1. 図5（左）および図6（左）に示すように、プローブの先端を基準面Xに合わせ移動させます。
2. RFポジショナーのZノブを使用してプローブの高さを調整し、プローブがセラミック表面に接触するまで移動させ、プローブの先端が前方に滑り始めるのを確認します。
3. プローブの高さをさらに調整してオーバトラベルを適用し、プローブの先端の縁が基準面Yに達するまで調整します。これについては、図5（右）および図6（右）に示されています。

結果として得られるプローブの位置は、Thru標準の150 μm （または1.1 ps）の長さに相当します。

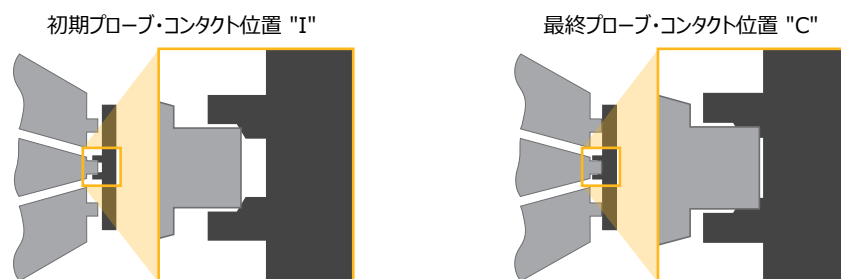


図 5. 写真は30 μm プローブ先端幅を持つTITAN™プローブ(スタンダードタイプ)の正しい位置合わせと配置を示しています。

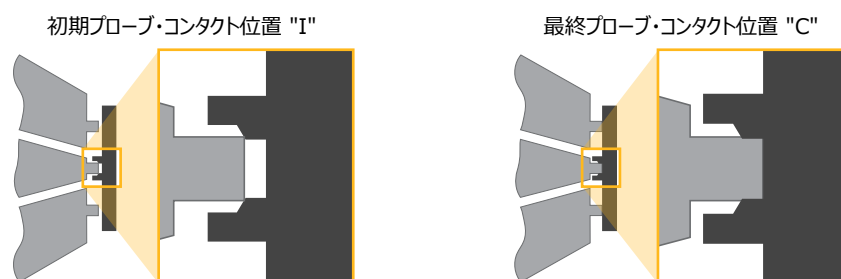
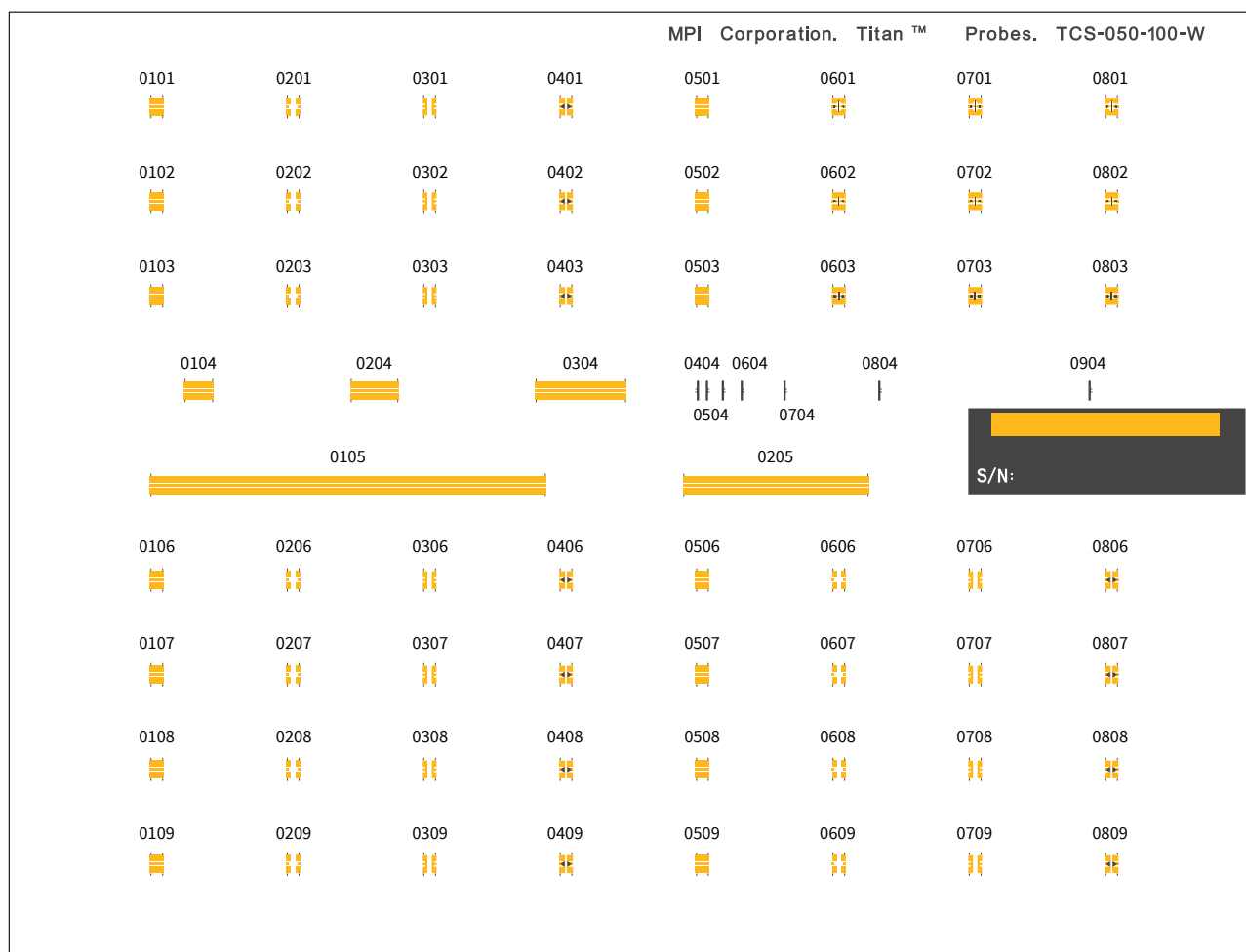
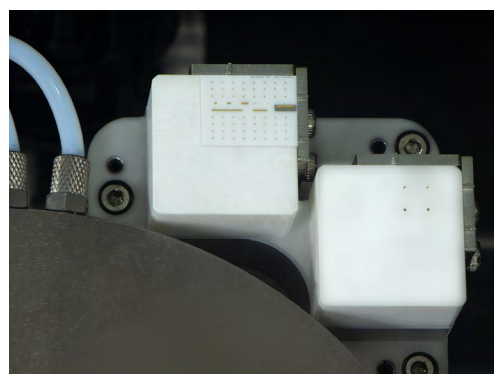
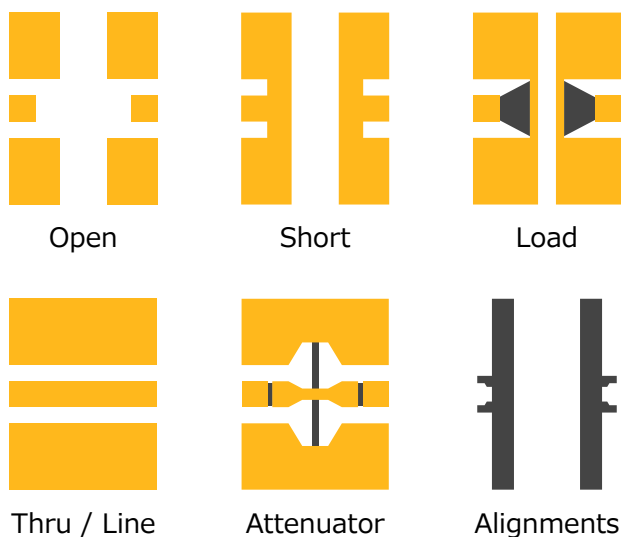


図 6. 写真は20 μm プローブ先端幅を持つTITAN™ RCタイプ・プローブの正しい位置合わせと配置を示しています。

RF校正基板レイアウト



標準器



TS200マニュアル型プローブシステムのセラミック補助チャックに載っているTCS-050-100-W 校正基板

■ スルー標準器

ID	Type	X μ m	Y μ m	Location Reference	Spacing μ m	Length μ m
0101	THRU	-7200	3750	0404	150	182
0102	THRU	-7200	2500	0404	150	182
0103	THRU	-7200	1250	0404	150	182
0106	THRU	-7200	-2500	0404	150	182
0107	THRU	-7200	-3750	0404	150	182
0108	THRU	-7200	-5000	0404	150	182
0109	THRU	-7200	-6250	0404	150	182
0501	THRU	0	3750	0404	150	182
0502	THRU	0	2500	0404	150	182
0503	THRU	0	1250	0404	150	182
0506	THRU	0	-2500	0404	150	182
0507	THRU	0	-3750	0404	150	182
0508	THRU	0	-5000	0404	150	182
0509	THRU	0	-6250	0404	150	182

■ ライン標準器

ID	Type	X μ m	Y μ m	Location Ref.	Spacing μ m	Length μ m	Δ I	Note
0104	LINE 1	-6750	0	0404	360	392	210	mTRL
0204	LINE 2	-4558	0	0404	610	642	460	mTRL
0304	LINE 3	-2116	0	0404	1175	1207	1025	mTRL
0205	LINE 4	-168	-1250	0404	2425	2457	2275	mTRL
0105	LINE 5	-7200	-1250	0404	5200	5232	5050	mTRL

■ ロード標準器

ID	Type	X μ m	Y μ m	Location Reference	Spacing μ m
0401	LOAD	-1800	3750	0404	150
0402	LOAD	-1800	2500	0404	150
0403	LOAD	-1800	1250	0404	150
0406	LOAD	-1800	-2500	0404	150
0407	LOAD	-1800	-3750	0404	150
0408	LOAD	-1800	-5000	0404	150
0409	LOAD	-1800	-6250	0404	150
0806	LOAD	5400	-2500	0404	150
0807	LOAD	5400	-3750	0404	150
0808	LOAD	5400	-5000	0404	150
0809	LOAD	5400	-6250	0404	150

■ アテネータ標準器

ID	Type	Attenuation	X μ m	Y μ m	Location Ref.	Spacing μ m
0601	ATTENUATOR	3 dB	1800	3750	0404	150
0602	ATTENUATOR	6 dB	1800	2500	0404	150
0603	ATTENUATOR	10 dB	1800	1250	0404	150
0701	ATTENUATOR	3 dB	3600	3750	0404	150
0702	ATTENUATOR	6 dB	3600	2500	0404	150
0703	ATTENUATOR	10 dB	3600	1250	0404	150
0801	ATTENUATOR	3 dB	5400	3750	0404	150
0802	ATTENUATOR	6 dB	5400	2500	0404	150
0803	ATTENUATOR	10 dB	5400	1250	0404	150

■ ショート標準器

ID	Type	X μ m	Y μ m	Location Reference	Spacing μ m
0301	SHORT	-3600	3750	0404	150
0302	SHORT	-3600	2500	0404	150
0303	SHORT	-3600	1250	0404	150
0306	SHORT	-3600	-2500	0404	150
0307	SHORT	-3600	-3750	0404	150
0308	SHORT	-3600	-5000	0404	150
0309	SHORT	-3600	-6250	0404	150
0706	SHORT	3600	-2500	0404	150
0707	SHORT	3600	-3750	0404	150
0708	SHORT	3600	-5000	0404	150
0709	SHORT	3600	-6250	0404	150

■ オープン標準器

ID	Type	X μ m	Y μ m	Location Reference	Spacing μ m
0201	OPEN	-5400	3750	0404	150
0202	OPEN	-5400	2500	0404	150
0203	OPEN	-5400	1250	0404	150
0206	OPEN	-5400	-2500	0404	150
0207	OPEN	-5400	-3750	0404	150
0208	OPEN	-5400	-5000	0404	150
0209	OPEN	-5400	-6250	0404	150
0606	OPEN	1800	-2500	0404	150
0607	OPEN	1800	-3750	0404	150
0608	OPEN	1800	-5000	0404	150
0609	OPEN	1800	-6250	0404	150

RF校正標準器の電気モデル

プローブモデル	ピッチ	C-Open, fF	L-Short, pH	L-Load, pH
T220A	50	4.8	12.0	5.2
	75	5.0	12.0	6.0
	90	5.3	12.0	7.1
	100	5.5	12.0	8.0
TITAN™	50	3.7	8.8	6.0
	75	4.3	11.5	6.1
	90	4.4	13.0	6.5
	100	4.4	14.0	7.0
TITAN™ RC Reduced Contact	50	3.7	9.0	6.0
	75	4.3	14.0	7.0
	90	4.5	14.1	7.6
	100	4.5	13.0	8.0

一部のVNAモデルでは上記の図に示されているロード標準インピーダンスの直列R-Lモデルをサポートしていません。その代わりに、ロード・インピーダンスのリアクタンス成分は所定の遅延（オフセット遅延）を持つライン上でモデル化でき、特性インピーダンス（オフセットインピーダンス、Z_{off}）がシステム基準インピーダンスZ₀の50オームと異なる場合があります。以下を参照してください。

プローブモデル	ピッチ	R-Load, Ohm	Offset Impedance, Z _{off} , Ohm	Offset Delay, pS
T220A	50	50	500	0.01051
	75	50	500	0.01212
	90	50	500	0.01425
	100	50	500	0.01616
TITAN™	50	50	500	0.01212
	75	50	500	0.01232
	90	50	500	0.01322
	100	50	500	0.01414
TITAN™ RC Reduced Contact	50	50	500	0.01212
	75	50	500	0.01414
	90	50	500	0.01535
	100	50	500	0.01616

参考文献

- [1] M. Spirito, U. Arz, G. N. Phung, F. J. Schmückle, W. Heinrich, and R. Lozar, "Guidelines for the design of calibration substrates, including the suppression of parasitic modes for frequencies up to and including 325 GHz," in "EMPIR 14IND02 – PlanarCal," Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), 2018.
- [2] A. Rumiantsev, R. Doerner, and G. N. Phung, "Calibration Substrate Design for Accurate mm-Wave Probe-Tip Calibration," in 2020 94th ARFTG Microwave Measurement Symposium (ARFTG), 26-29 Jan. 2020, pp. 1-4.
- [3] U. Arz, G.-N. Phung, and A. Rumiantsev, "Traceable Lumped-Element Calibrations up to 110 GHz on Commercial Calibration Substrates", ARFTG-100th, Jan. 2023, pp. 1-4.
- [4] R. B. Marks and D. F. Williams, "Characteristic impedance determination using propagation constant measurement," IEEE Microwave and Guided Wave Letters, vol. 1, pp. 141-143, June 1991.
- [5] D. F. Williams and R. B. Marks, "Transmission line capacitance measurement," Microwave and Guided Wave Letters, IEEE, vol. 1, pp. 243-245, 1991.

See MPI Corporation's Terms and Conditions of Sale for more details.

Direct contact:
Asia region: ast-asia@mpi-corporation.com
EMEA region: ast-europe@mpi-corporation.com
America region: ast-americas@mpi-corporation.com

MPI global presence: for your local support, please find the right contact here:
www.mpi-corporation.com/ast/support/local-support-worldwide

