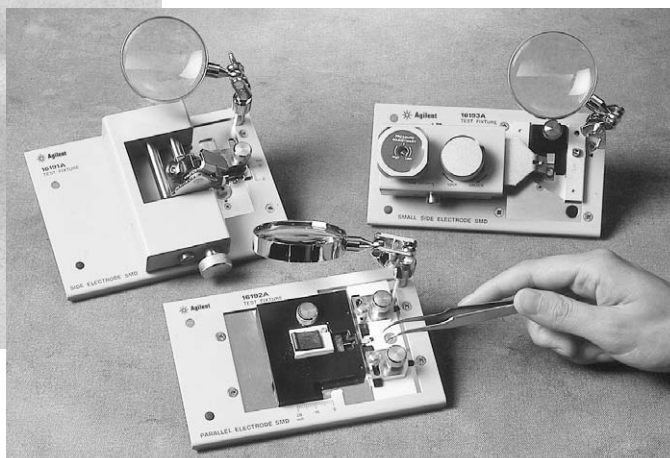


SMD テスト・フィクスチャを用いた 相関性のある RF インピーダンス測定

Agilent 16196A/B/C/D 平行電極
SMD テスト・フィクスチャ

AN 16196-1



はじめに

近年、携帯電話や情報端末の小型化にはめざましいものがあり、これらに使用される電子部品もまた小型化が進んでいます。その中でも表面実装部品の進歩はめざましく、現在、1608や1005サイズのチップ部品の使用が最盛期を迎え、さらに0603や0402サイズのチップ部品も立ち上がりそうな勢いです。

使用される周波数帯も、携帯電話に代表される 800 MHz 帯から、CDMA、ワ

イヤレス LAN など、GHz 帯にまで及び高周波化が進んでおり、部品の評価についても従来よりも高い周波数での評価／テストが求められてきています。

また、高周波化に伴い、値の微小化が著しく、最近の RF チップインダクタでは 1 nH という非常に小さな値のものが開発されています。現在、このような微小インダクタを高精度でかつ再現性良く測るニーズが益々高まっています。そのニーズを実現するには、高精度インピーダンス測定器と高精度

なテスト・フィクスチャが必要となりますが、それらを使ったとしても「同じ試料のインピーダンス値を測定しても測定器によって値が異なる」などのインピーダンス測定値の相関性についての問題が発生してきています。

本アプリケーションノートでは、インピーダンス測定値の相関性に影響を及ぼす要因と、より高い相関性・測定再現性を実現するために開発された 16196A/B/C/D の解決策を紹介します。



Agilent Technologies

インピーダンス測定値の 相関性に影響を与える要因

同じ試料をどのような測定器で測定しても同一の測定結果が期待されますが、実際には様々な要因によって結果に差異が生じます。

一般にインピーダンス測定器は校正面と呼ばれる物理的な基準面を持っています。RF帯インピーダンス測定器では、7 mm コネクタが校正面となります。この校正面において測定器の測定精度が規定されています。言い換えれば、校正面上で試料を測定した場合、測定値は測定精度のみによって影響を受け、異なる測定器間の相関性には問題が生じません。(ただし、測定条件(測定器の設定条件)が同じことが前提となります。)

しかし、試料を校正面上で正確に測定することはきわめて困難なので、通常は校正面と試料の接続にテスト・フィクスチャが用いられます。このテスト・フィクスチャの存在により、測定値に影響を与える様々な要因が発生します。そして、これらの要因が、テスト・フィクスチャを用いて試料を測定すると校正面上では良好だった相関性を悪化させます。したがって、値の相関を良好に保つためには、少なくとも同じテスト・フィクスチャを用いることが絶対条件となります。

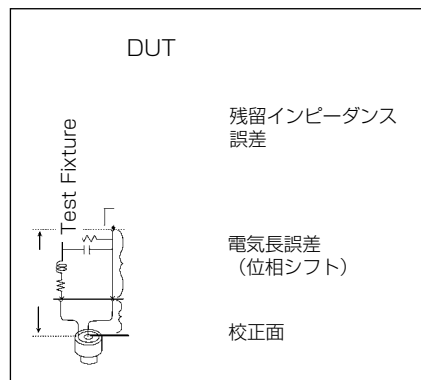


図1. テスト・フィクスチャの誤差モデル

テスト・フィクスチャが測定値 の相関に影響を与える要因

同じインピーダンス測定器モデル及び同じテスト・フィクスチャモデルを用いたとしても、測定値の相関が取れない場合があります。これには様々な要因が考えられますが、以下に代表的な要因をあげ、それぞれに関して検討します。

1. テスト・フィクスチャの残留分を取り除く補正方法の違い
 - 1-1 補正方法
 - 1-2 SHORTバーの取り扱い
2. テスト・フィクスチャの構造による違い
 - 2-1 デバイスの位置決め
 - 2-2 試料付近の構造

これ以降、各項目について説明します。

1. テスト・フィクスチャの残留分 を取り除く補正方法の違い

1-1 補正方法

テスト・フィクスチャの電気的特性は試料の特性と合わさって測定されるために測定誤差の原因となりますが、このテスト・フィクスチャによる影響を除去するために種々の補正機能がインピーダンス測定器に装備されています。しかし、装備され

る補正機能は測定器によって異なる場合があります、この違いが測定値の相関性に影響を与えます。

図1にテスト・フィクスチャによる誤差モデルを示します。テスト・フィクスチャによって生じる誤差には、残留インピーダンス誤差と電気長誤差があります。残留インピーダンス誤差は、テスト・フィクスチャ内部の残留分によるもので、試料のインピーダンス測定時に誤差をもたらします。電気長誤差は、校正面から試料までの伝送路の電気長によって測定信号が受ける位相シフトによるもので、試料の持つ位相シフトを測定している場合のインピーダンス測定に誤差をもたらします。

残留インピーダンス誤差はOPEN/SHORT補正で、また電気長誤差は、電気長補正で補正することができます。このことから、補正方法が電気長補正だけ行った場合とOPEN/SHORT補正及び電気長補正の両方を行った場合では、誤差成分の除去される要素が異なるため、測定結果が図2のように異なります。つまり、補正を異なる方法で行うと、相関のある結果を得ることができません。

1-2 SHORTバーの取り扱い

前記のように、精度の良い測定を実現するためには、OPEN/SHORT補正および電気長補正をする必要があります。

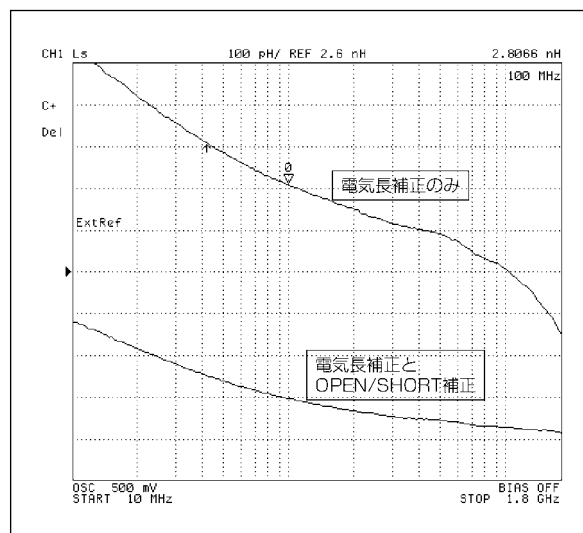


図2. 電気長補正のみ場合と電気長補正及びOPEN/SHORT補正の両方を行った場合の測定結果の違い

しかし、近年、OPEN状態やSHORT状態の残留分に近い値を持つチップ部品が登場してきたため、OPEN状態やSHORT状態の定義が重要視されてきています。その中でも、特に、チップ・インダクタは微小化してきており、1 nHのようなSHORT状態に近いものも開発されてきています。このような微小インダクタを測定する場合には、SHORT補正時のSHORTバーの取り扱いを注意する必要があります。

まず、「SHORT状態を作るためにはSHORTバーのサイズはなんでもよい」と判断し、形状の異なるSHORTバーを用いてSHORT補正を実行すると、測定値の相関をとることができません。これはSHORTバーの形状によって残留インピーダンスが異なるために、その測定結果も異なることにより生じます。このような状況を防ぐためには、いつも同じ形状・サイズのSHORTバーを用いて測定することが必要です。図3は、2 nHのチップ・インダクタを、長さが異なる2種類のSHORTバーを使用して測定した結果で、約200 pHの測定誤差を生じていることがわかります。

また、このSHORTバーの残留分の定義の仕方によって測定結果が異なります。SHORTバーの残留分は、単にそれが持つ残留分だけで決まるわけでは

なく、そのSHORTバーが置かれた状態、たとえば、ストリップラインやその基盤の誘電率、厚さ、グランド状態等々、その環境全体によって決まるため、厳密に考えると特定の環境条件を決めない限り一律には決定できません。ただし、この議論は昨今の微小チップ・インダクタのようなSHORT状態に近い測定物を測る場合にのみ関係し、すべての場合に問題となるわけではありません。

一つの考え方として、SHORTバーの残留インダクタンス値を定義するのではなく、SHORTバーのサイズ・形状を定義して、チップ・インダクタの値とSHORTバーの値との差分(相対値)をチップ・インダクタの測定値として定義する方法があります。これはSHORT = 0 Hとすることに等しく、歴史的にこれまではすべてこの考え方が“常識”となっていました。

一方、あるSHORTバーのサイズ・形状を定義した上で、更に特定の条件下でSHORTバーの残留インダクタンス値を定義し、その値をリファレンス値として使用することによりチップ・インダクタの絶対値を測定値とする方法もあります。これは、具体的にSHORT = x Hとする考え方で、試料の絶対値を求めるというアプローチです。

これらは考え方や定義による違いであり、どちらも“正しい”測定結果と言えます。しかし、実際の測定値はそれぞれの場合で異なるので、値の相関という観点からみると、どちらも“正しい”というままにしておいては問題が残ります。

例えば、10 nHのインダクタを測定する際に、まったく同じSHORTバーを使ったとしても、SHORTバーの残留インダクタンス値を0 nHとする場合と0.4 nHとする場合で、測定結果は表1のように4%異なる結果となってしまいます。

表1. SHORTバーの残留インダクタンス値による測定値の違い

SHORTバーの 残留インダクタンス	測定結果
0 nH	10 nH
0.4 nH	10.4 nH

また、同様に100 pFのコンデンサを測る場合、図4のように共振周波数が200 MHz以上ずれてしまいます。

これを防ぐには、SHORTバーのサイズ、形状、残留インダクタンス値の考え方を統一して測定する必要があります。

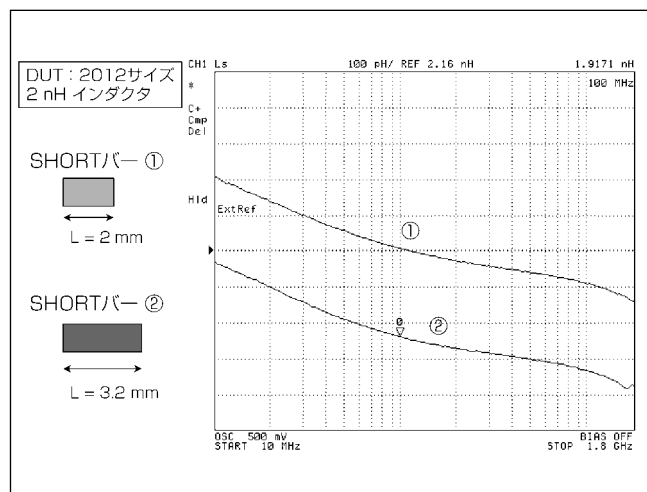


図3. SHORTバーのサイズ・形状の統一の必要性

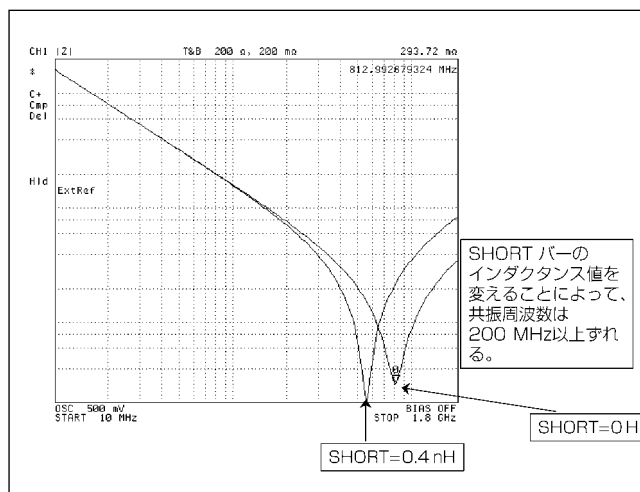


図4. SHORT補正のインダクタンス値の違いによるコンデンサの共振点の違い

2. テスト・フィクスチャの構造による違い

2-1 デバイスの位置決め

一般に、試料の電極には、側面電極型と底面電極型の二種類があります。これに合わせて、テスト・フィクスチャも横方向から接触するタイプと下方向から接触するタイプがあります。しかし、側面電極の試料で横方向からも下方向からも接触できるものの場合、どちらのテスト・フィクスチャも使用することができます。

その際、図5のようにテスト・フィクスチャの電極位置の違いにより試料を

流れる電流経路が異なるため、「横方向から接触する場合(16192A)の測定値」と「下方向から接触する場合(16193A)*の測定値」では値が異なる場合があります。たとえば、2 nHのインダクタを測定した場合、16192Aと16193Aでは値が図6のように異なります。

また、テスト・フィクスチャの電極は、いろいろな試料サイズに対応するために、フレキシブルに動く構造になっています。これにより電流経路や電極の接触状態が変わってしまうので、テスト・フィクスチャの電極位置が異なると値の相関が取れない場合があります。

2-2 試料付近の構造

一般に試料(特にインダクタ)に測定電流が流れることによって、試料の周りに磁界が発生します。試料の近くに金属部がある場合、その磁界によって金属内にその磁界を防げる方向にうず電流が励起されます(図7参照)。この電流によるうず電流損が測定結果に誤差を生じる事があります。このうず電流損による誤差は無視できないほどの測定誤差を与えることがあるので、試料付近に金属部が配置されていないテスト・フィクスチャを使用する必要があります。

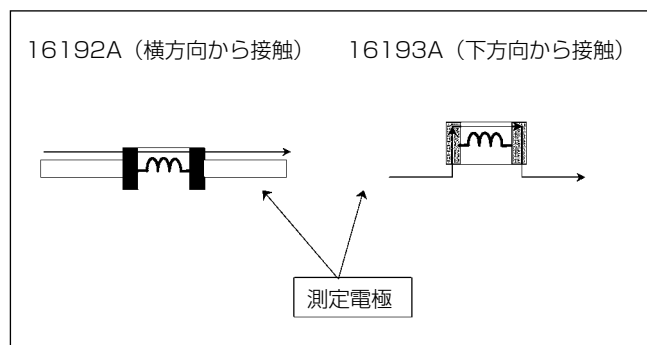


図5. 電極位置の違いによって異なる電流経路

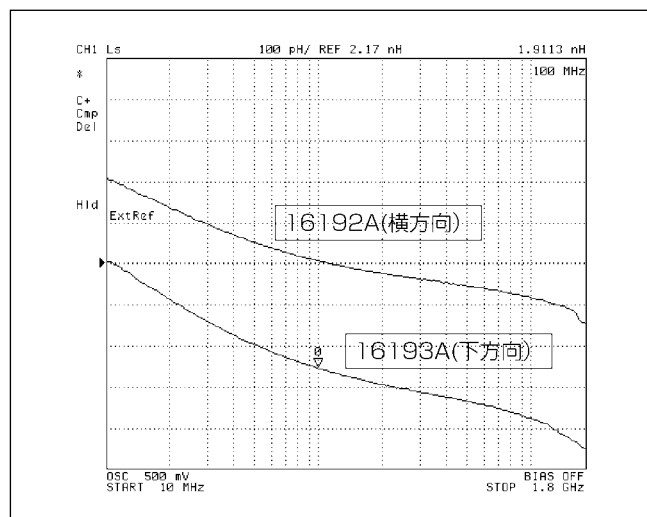


図6. 横方向から接触する場合と下方向から接触する場合の値の違い

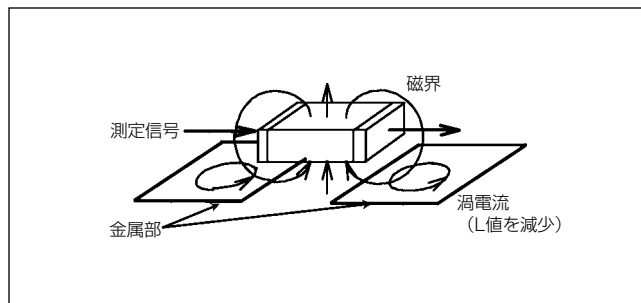


図7. 試料付近の構造による影響

* 16193Aは廃止製品です

Agilent 16196A/B/C/Dでの 解決策

これまでのテスト・フィクスチャでは、種々の形状やサイズの試料に対応できるように、フレキシビリティを重要視してきました。しかしながら、近年の微小インダクタや微小コンデンサを正確に再現性よく測定することは、それ自体ひじょうに難しい測定領域に達したため、本来有益であるはずのテスト・フィクスチャのフレキシビリティが微小値測定の妨げになる場合が出てきました。16196A/B/C/Dは、このような問題を解決したテスト・フィクスチャです。

1. 補正方法を考慮した各種機能

1-1 高い測定再現性を実現

16196A/B/C/Dは、7-mm コネクタで測定器と接続します。図8のように、7-mm コネクタの芯線は中心導体に接続され、50 Ω系の同軸構造は試料まで保たれます。電流は、試料通過後、上部キャップの電極を経由して外部導体に流れ、再び7-mm コネクタの外被に戻って理想的なシールド構造を形成します。

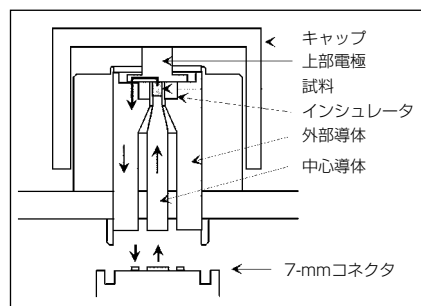


図8. 16196A/B/Cの電極構造

試料は16196A/B/C/Dの上下電極のバネ構造により一律の力(16196A/B/C:約

400g重、16196D:約300g重)で押されて接触するので、再現性の良い安定した測定が可能です。たとえば、 $L_s = 1 \text{ nH}$ 、 $Q=7$ のインダクタを100 MHzで測定した場合のバラツキ結果(3シグマ)を表2に示します。既存フィクスチャは、いろいろなサイズに適合できるようなフレキシブルな電極構造となっている反面、対ばらつき性能という点では、最近のような微小値を測定する場合には徐々に不利になりつつあります。16196A/B/C/Dでは、適合チップ・サイズを特定することにより位置決め精度を上げ、優れた測定再現性を実現しています。

1-2. SHORT プレートの 残留インダクタンス値定義

16196A/B/C/Dは構造が同軸であることに加え、SHORTバー自体も円柱形(SHORTプレートと呼ぶ)で同軸配置されるので、測定系全体が理想状態に近

表2. 既存フィクスチャと16196A/B/Cのばらつき比較

		既存フィクスチャ	16196A/B/C
適合チップ・サイズ		フレキシブル	固定サイズのみ
3シグマ	L_s	0.023 nH	0.007 nH
	R_s	18.6 mΩ	2.2 mΩ

注記：この表の値は、特定のチップ・インダクタを測定した場合の一例です。バラツキは、チップの種類に依存するのでそれぞれのチップ毎に確認する必要があります。

同軸構造

インダクタンスの算出

同軸構造の単位長あたりのインダクタンスは以下の式で与えられる。

$$L = Z_0 \sqrt{(\mu_0 \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r)} = Z_0 \sqrt{(\epsilon_r)} / c$$

L : 単位長あたりのインダクタンス
 Z_0 : 伝送線路の特性インピーダンス
 ϵ_r : 誘電体(絶縁体)比誘電率
 μ_0 : 真空の透磁率 $4\pi \times 10E-7 \text{ [H/m]}$
 ϵ_0 : 真空の誘電率 $8.854 \times 10E-12 \text{ [F/m]}$
 c : 真空中の光の速さ $= 2.998 \times 10E8 \text{ [m/s]}$

長さ ℓ に相当するインダクタンス L_x は

$$L_x = 0.1668 \text{ [nH/mm]} \cdot \ell \text{ [mm]} \cdot \sqrt{\epsilon_r} \text{ (@ } Z_0 = 50 \text{ [Ω])}$$

図9. 同軸構造でのSHORTプレートの理論的計算方法

い同軸構造を形成します。そのため、SHORTプレートの残留インダクタンス値を理論的に算出することができま。従来の棒タイプのSHORTバーでは、同軸構造を前提とできなかったため、残留分の定義に関して十分な拠り所を持つことができませんでしたが、16196A/B/C/Dでは、同軸構造を前提とすることにより、一義的に算出することが可能となりました。(図9参照)上記の式を用いて算出した16196A/B/C/DのSHORTプレートの残留インダクタンス値を表3に示します。

表3. 16196A/B/C/DのSHORTプレートの
残留インダクタンス値

モデル	残留インダクタンス値(参考値)
16196A	0.43 nH
16196B	0.27 nH
16196C	0.16 nH
16196D	0.11 nH

但し、ここで紹介した残留インダクタンス値は、あくまでもSHORTバーに値付けするという立場をとった場合の一例で、これが絶対的であるというものではありません。

弊社としては、これまで使用いただいている既存のテスト・フィクスチャや測定結果との整合性を考慮して、従来

からの慣習である SHORT = 0 nH という立場をとっています。しかし、既に述べたようにどちらが正しいかという議論ではなく、考え方や定義の問題なので、積極的に SHORT = 0 nH にしてくださいと言っているわけでもありません。

SHORT バーの値付けに起因する測定値の相関の問題は、考え方や定義の問題で、必ず同一条件で測定することを徹底すれば相関がとれないという問題はなくなります。したがって、特に微小値の測定を行う場合には、最低限、測定条件を相互に合わせ込む、または、測定条件を明記するという共通認識を持てば、相関に関して混乱することはほとんどないと考えています。

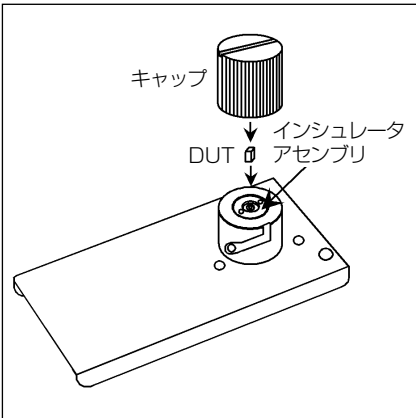


図 10. デバイスの位置決め

2. テスト・フィクスチャの構造の改革

2-1 デバイスの位置決め

16196A/B/C/D は、試料を円筒形のインシュレータの穴に長さ方向に装着し、側面からバネ構造によって接触する側面電極構造です。試料はインシュレータの穴に保持されることによって位置決めされるため、位置決めに関して使用者の介入や調整箇所がなく、測定結果が使用者に依存しないという大きな特長を持ちます。このため、テスト・フィクスチャが持っていたフレキシビリティ(種々の形状やサイズの試料に対応)が原因で発生していた測定結果の相関の問題を著しく改善できます。

さらに、試料の位置決め精度をより高めるために、このテスト・フィクスチャ

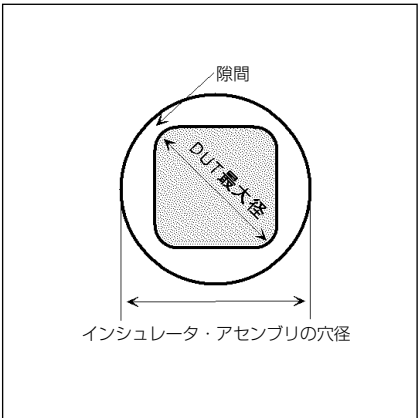


図 11. 位置決め精度を高めるインシュレータ・アセンブリ

には、異なった穴径のインシュレータ・アセンブリ(表 4 参照)を付属しています(16196C は 1 種類)。図 11 に示すように、穴径と試料の間の隙間が大きいとぐらつきが生じて測定値に影響を与えるので、3 種類の穴径をサポートすることにより、最もぐらつきの小さい状態で測定できます。

図 12 は、1608 サイズ(対角線約 0.94 mm)の 1 nH のインダクタをそれぞれ 3 種類の穴径のインシュレータで測定した場合の測定再現性を示します。測定は、同じ試料を続けて 20 回測定し、測定毎に試料をテスト・フィクスチャから挿抜することにより実施しました。このように、隙間がもっとも小さくなる適切な穴径のインシュレータ・アセンブリを選択すれば、優れた測定再現性を得られます。

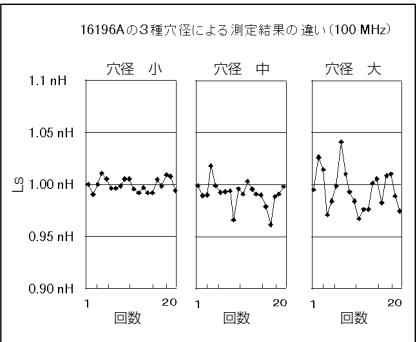


図 12. 穴径による測定結果の違い (1 nH)

表 4. インシュレータ・アセンブリの寸法と対応チップ・サイズ

	インシュレータ・アセンブリ 穴直径 (mm)	対応チップ部品の一例 長さ L x 幅 W x 高さ H (mm)
16196A	φ 1.34	1.6 x 0.8 x 0.8
	φ 1.14	1.6 x 0.8 x 0.6
	φ 1.08	1.6 x 0.8 x 0.5
16196B	φ 0.85	1.0 x 0.5 x 0.5
	φ 0.75	1.0 x 0.5 x 0.35
	φ 0.68	1.0 x 0.5 x 0.35
16196C	φ 0.47	0.6 x 0.3 x 0.3
16196D	φ 0.34	0.4 x 0.2 x 0.2
	φ 0.30	0.4 x 0.2 x 0.2/0.13

2-2. 試料付近の構造

試料は、16196A/B/C/Dの中で周りをインシュレータ・アセンブリに囲われて保持されます。したがって、周りの金属による影響からは遮断された状態で測定され、環境に左右されない測定が可能になります。

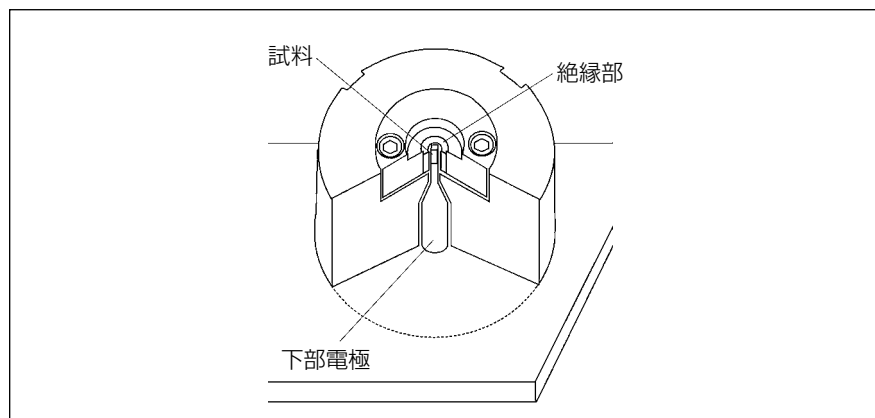


図 13. 16196A/B/C/D の試料付近の構造

16196A/B/C/D の仕様

上記のような特長を持つ 16196A/B/C/D の主な仕様を以下に示します。

仕様

周波数範囲： DC ～ 3 GHz

最大 DC 電圧： ± 40 V peak max.
(AC+DC)

最大 DC 電流： 5 A

動作環境： 温度： -55℃ から +85℃
湿度： 15 % から 95 %RH
(湿球温度 < 40℃)

保管環境： 温度： -55℃ から +85℃
湿度： ≤ 90 %RH
(湿球温度 < 65℃)

サイズ： 約 140(W) × 51(H) ×
78(D) mm (公約値)

質量： 約 250 g (公約値)

参考データ

比例誤差： $1.0 \times f^2$ [%] (f [GHz])

SHORT 再現性： $30 + 125 \times f$ [mΩ]
(f [GHz])

OPEN 再現性： $5 + 40 \times f$ [μS]
(f [GHz])

(詳細はインピーダンス測定アクセサリ・カタログ(part number 5965-4792JA) 参照)

適合チップ・サイズ

図 14 のような直方体の側面電極構造を持つチップ部品に対応し、表 5 に示すチップ部品サイズに適合します。

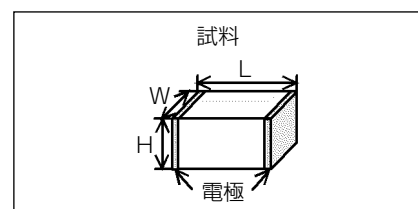


図 14. 測定可能な試料(側面電極構造)

表 5. 適応チップ部品サイズ

	チップ部品 サイズコード	適合チップ部品サイズ 長さ L × 幅 W × 高さ H (mm)
16196A	1608(mm)/0603(inch)	$(1.6 \pm 0.15) \times (0.8 \pm 0.15) \times (0.4 \sim 0.95)$
16196B	1005(mm)/0402(inch)	$(1.0 \pm 0.1) \times (0.5 \pm 0.1) \times (0.3 \sim 0.6)$
16196C	0603(mm)/0201(inch)	$(0.6 \pm 0.03) \times (0.3 \pm 0.03) \times (0.3 \pm 0.03)$
16196D	0402(mm)/01005(inch)	$(0.4 \pm 0.02) \times (0.2 \pm 0.02) \times (0.11 \sim 0.22)$

付属アクセサリ

インシュレータ・アセンブリ、オープン・プレート、ショート・プレート、プッシュ・リング、クリーニング棒、レンチ、キャリング・ケース、マニュアル



オーダリング情報

16196A 1608 (mm)/0603 (インチ)用平行電極SMDテスト・フィクスチャ

オプション

16196A-710 拡大鏡、ピンセット
16196A-ABJ 取扱説明書（和文）選択
16196A-ABA 取扱説明書（英文）選択

16196B 1005 (mm)/0402 (インチ)用平行電極SMDテスト・フィクスチャ

オプション

16196B-710 拡大鏡、ピンセット
16196B-ABJ 取扱説明書（和文）選択
16196B-ABA 取扱説明書（英文）選択

16196C 0603 (mm)/0201 (インチ)用平行電極SMDテスト・フィクスチャ

オプション

16196C-710 拡大鏡、ピンセット
16196C-ABJ 取扱説明書（和文）選択
16196C-ABA 取扱説明書（英文）選択

16196D 0402 (mm)/01005 (インチ)用平行電極SMDテスト・フィクスチャ

オプション

16196D-710 拡大鏡、ピンセット
16196D-ABJ 取扱説明書（和文）選択
16196D-ABA 取扱説明書（英文）選択

*拡大鏡、ピンセットは標準付属品ではありません。マニュアルは言語をお選びください。

メンテナンス／消耗品

十分な測定性能を維持するためには、電極部分やショート・プレートの状態を良好に保つことが重要で、特に微小値を測定する場合、これらの汚れや劣化は測定結果を大きく左右します。したがって、クリーニングや部品交換の頻度を管理して、測定性能が劣化する前に対処する必要があります。

本テスト・フィクスチャでは、消耗部品をユーザが簡単に交換できるよう設計されており、特に交換頻度の高い消耗部品に関しては、下記のようなメンテナンス用部品セットを用意しています。

16196U メインテナンス・キット

Opt. 16196U-010

上部電極 5 個セット
(16196A/B/C モデル共通)

Opt. 16196U-020

上部電極 5 個セット (16196D 用)

Opt. 16196U-100

1608 用ショート・プレート
5 個セット (16196A 用)

Opt. 16196U-110

1608 用下部電極 5 個セット
(16196A 用)

Opt. 16196U-200

1005 用ショート・プレート
5 個セット (16196B 用)

Opt. 16196U-210

1005 用下部電極 5 個セット
(16196B 用)

Opt. 16196U-300

0603 用ショート・プレート
5 個セット (16196C 用)

Opt. 16196U-310

0603 用下部電極 5 個セット
(16196C 用)

Opt. 16196U-400

0402 用ショート・プレート
5 個セット (16196D 用)

Opt. 16196U-410

0402 用下部電極 5 個セット
(16196D 用)

おわりに

このようにインピーダンス測定値の相関を取るには、様々な点を考慮する必要があります。しかし、基本的な考え方は非常に単純で、以下の 2 項目を満足すれば高い相関をとることが可能です。

- テスト条件を同じにする。
- 再現性に優れたテスト・フィクスチャを使用する。

テスト条件に関しては、以下の項目を特に注意して同じ条件に揃えることが必要です。

- 同じテスト・フィクスチャを使用する。
- 同じ補正方法を使用する。

計測お客様窓口

受付時間 9:00-19:00

(12:00-13:00 もお受けしています。土・日・祭日を除く)

FAX、E-mail、Web は 24 時間受け付けています。

TEL ■■■ 0120-421-345
(0426-56-7832)

FAX ■■■ 0120-421-678
(0426-56-7840)

Email contact_japan@agilent.com

電子計測ホームページ
www.agilent.co.jp/find/tm

- 記載事項は変更になる場合があります。
ご発注の際はご確認ください。

Copyright 2005
アジレント・テクノロジー株式会社

- 同じ残留インピーダンス定義を使用する。
- 同じ測定周波数、信号印加レベルを使用する。
- 電極のコンタクトや SHORT プレート良好な状態にする。

テスト・フィクスチャに関しては、特に昨今の微小値測定に対応して高い測定再現性を持つ 16196A/B/C/D を使用することにより、高い相関性を得ることができます。

電子計測UPDATE

www.agilent.co.jp/find/emailupdates-Japan

Agilent からの最新情報を記載した電子メールを無料でお送りします。

Agilent 電子計測ソフトウェアおよびコネクティビティ

Agilent の電子計測ソフトウェアおよびコネクティビティ製品、ソリューション、デベロッパ・ネットワークは、PC 標準に基づくツールによって測定器とコンピュータとの接続時間を短縮し、本来の仕事に集中することを可能にします。詳細については www.agilent.co.jp/find/jpconnectivity を参照してください。

Windows は Microsoft 社の米国における登録商標です。



Agilent Technologies

March 11, 2005

5980-1336JA
0000-02H