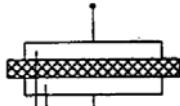
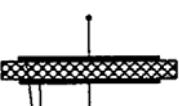
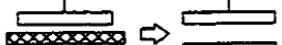


■ 電気材料の誘電率測定

● 測定準備

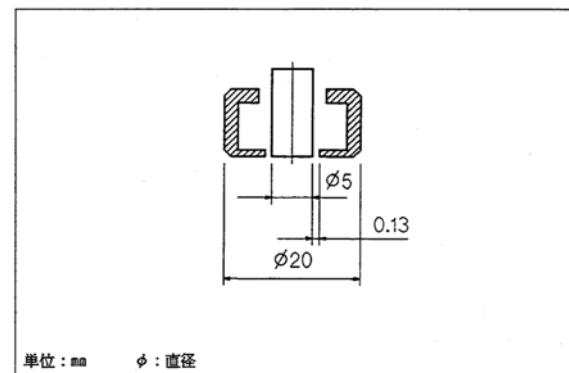
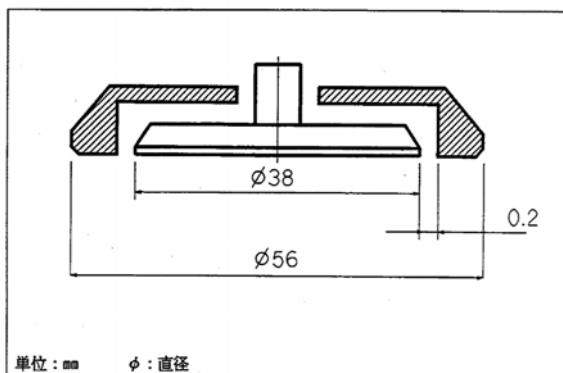
1. 測定方法の選択

誘電率の測定に使用する HP16451B テスト・フィックスチャは、3種類の測定法をサポートしています。測定したい試料の特性に合わせて、測定方法を選択します。

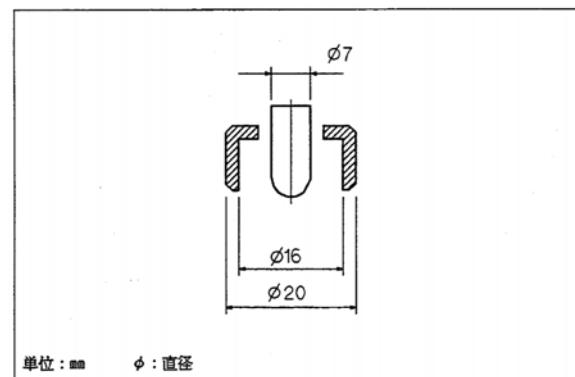
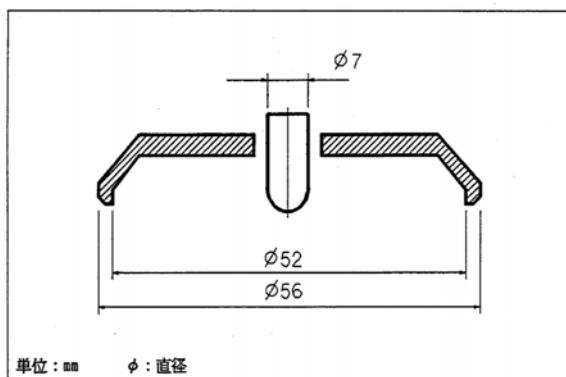
測定方法	電極接触法 (金属板電極)	電極接触法 (薄膜電極)	電極非接触法 (間隙法)
電極構成	 金属板電極	 薄膜電極	
測定確度	低		高
操作	容易		難
長所	<ul style="list-style-type: none"> 測定が容易 薄膜電極の形成が不要 計算が単純 	<ul style="list-style-type: none"> エアフィルム誤差が小 測定が容易 計算が単純 	<ul style="list-style-type: none"> エアフィルム誤差が無 薄膜電極の形成が不要
短所	<ul style="list-style-type: none"> エアフィルム誤差が大 	<ul style="list-style-type: none"> 薄膜電極の形成が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 測定が複雑 計算が複雑
適した試料	<ul style="list-style-type: none"> 厚い試料 表面が平坦な試料 やや圧縮性のある試料 	<ul style="list-style-type: none"> 薄膜電極を形成しても特性が変化しない試料 表面が平坦でない試料 	<ul style="list-style-type: none"> 柔らかい試料 非常に薄い試料
使用電極	電極-A、電極-B	電極-C、電極-D	電極-A、電極-B

2. 測定電極の選択

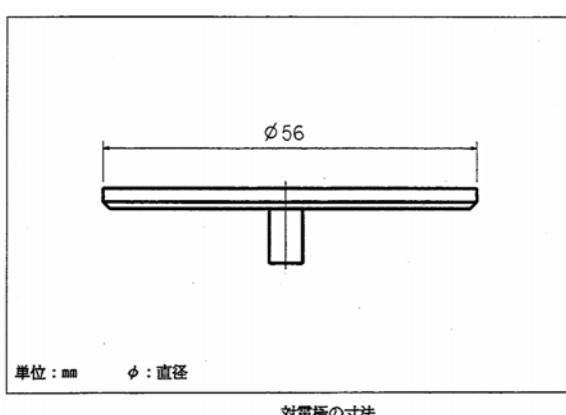
○電極接触法（金属板電極）／電極非接触法 --- 電極-A、電極-B



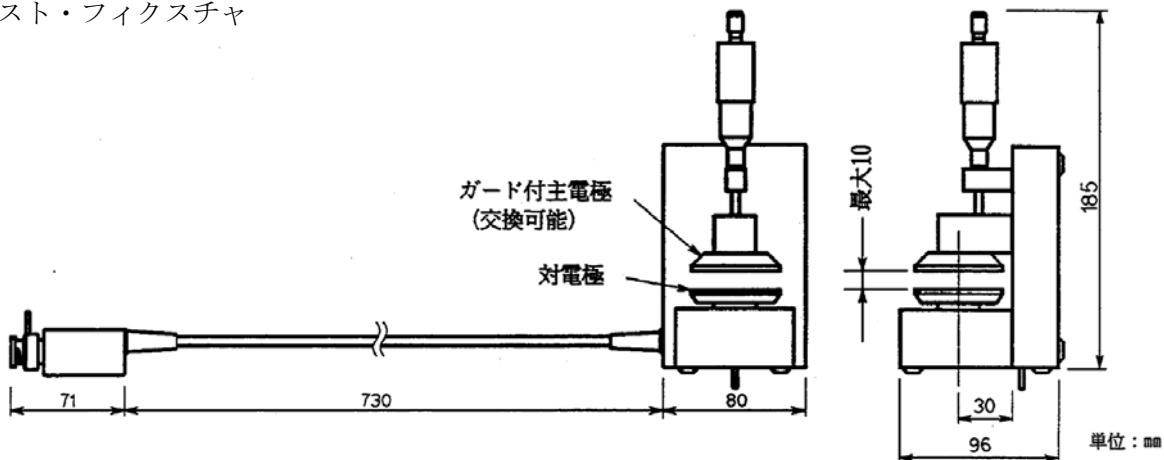
○電極接触法（薄膜電極） --- 電極-C、電極-D



○対電極



○テスト・フィクスチャ



3. 試料の準備

選択した測定法と電極に基づいて、必要な試料を準備します。

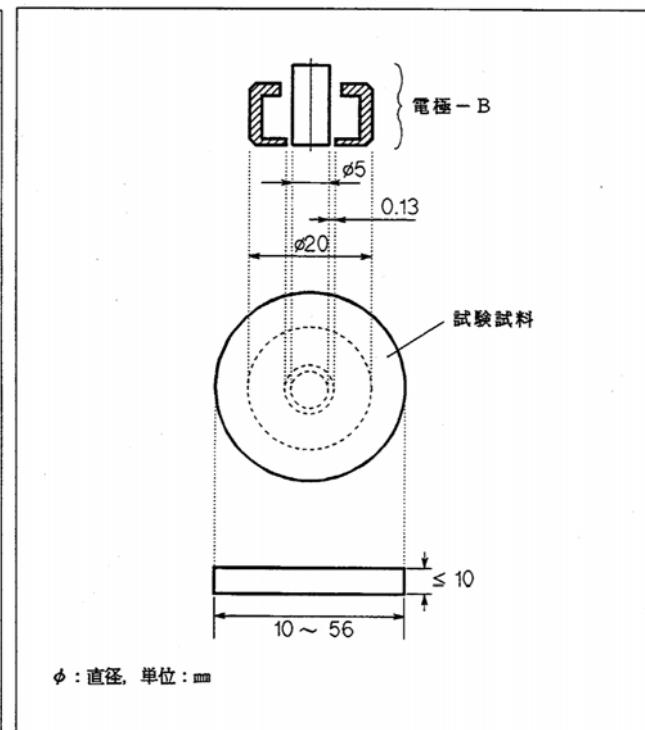
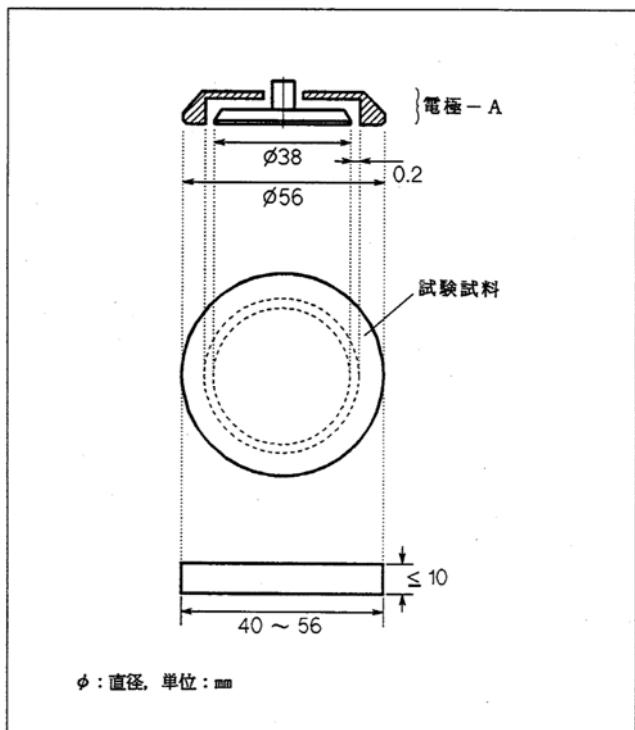
電極A、B使用時の適応可能MUT寸法

使用主電極	誘電体直径	誘電体厚さ	主電極直径
A	40 mm ~ 56 mm	$t \leq 10$ mm	38 mm
B	10 mm ~ 56 mm	$t \leq 10$ mm	5 mm

電極C、D使用時の適応可能MUT寸法

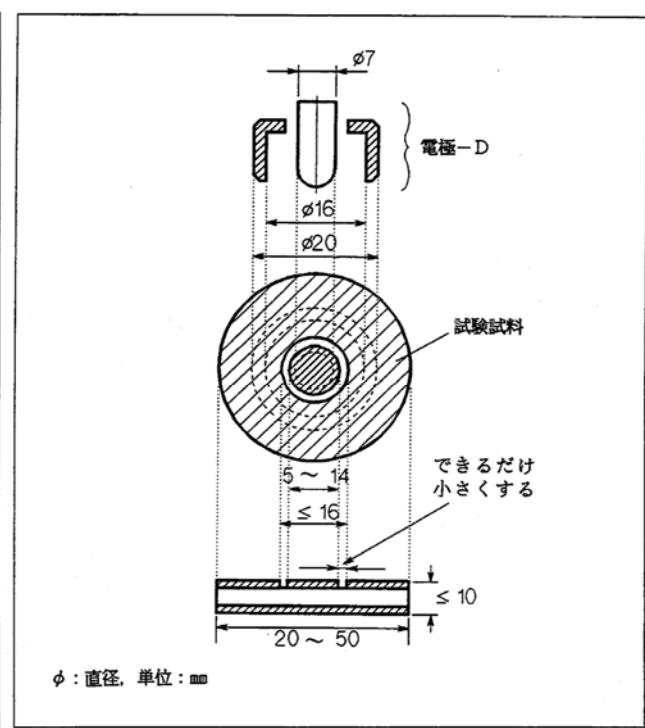
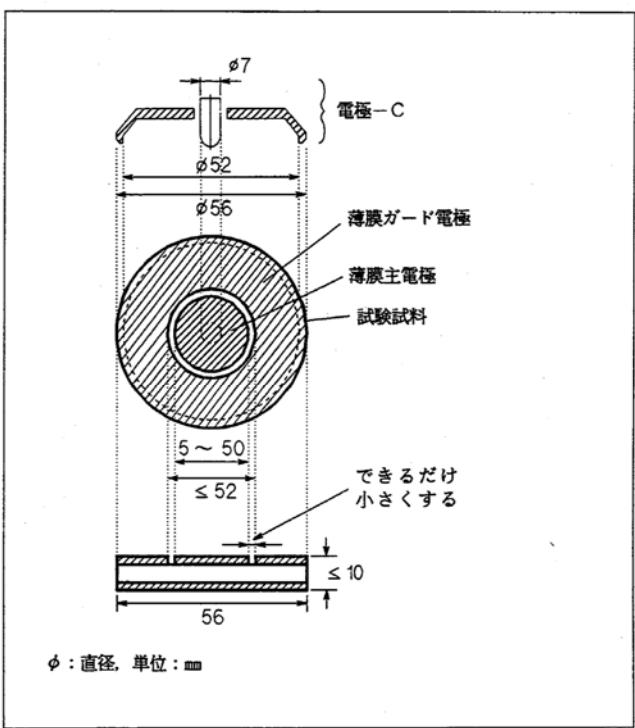
使用主電極	誘電体直径	誘電体厚さ	主電極直径*
C	56 mm	$t \leq 10$ mm	5 ~ 50 mm
D	20 mm ~ 56 mm	$t \leq 10$ mm	5 ~ 14 mm

*誘電体に付ける薄膜主電極直径



電極-Aの試験試料推奨サイズ

電極-Bの試験試料推奨サイズ



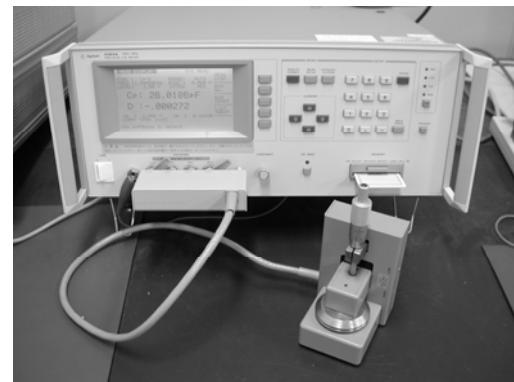
電極-Cの試験試料推奨サイズ

電極-Dの試験試料推奨サイズ

- ※ 試料の大きさ（直径）は、使用するガード電極の内径より大きくします。試料が円板型でない場合でも、この条件を満足する大きさであれば測定が行えます。
- ※ 誘電率をより正確に測定するためには、測定する容量値が大きくなるように、試料の厚さをなるべく薄くするか、試料および電極の直径をなるべく大きくします。
- ※ 電極接触法（金属板電極）により測定を行う場合には、電極と試料の間にできる空気の隙間（エア・フィルム）による測定誤差が小さくなるよう、表面を十分に平坦に加工します。
- ※ 電極接触法（薄膜電極）により測定を行う場合には、金属箔、導電性塗料、金属焼付、金属吹付、金属蒸着、スパッタリングなどにより、試料表面に薄膜電極を形成します。

4. テスト・フィックスチャの測定器への接続

HP16451B テスト・フィックスチャを測定器の UNKNOWN 端子に接続します。



● 測定

1. 電源

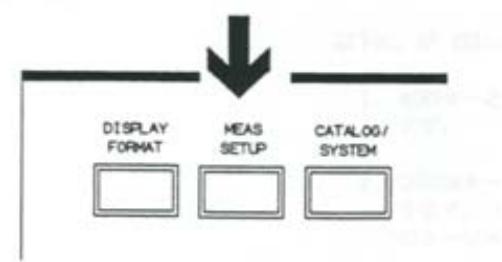
HP4284 の電源を ON します。

2. ケーブル長補正

HP16451B テスト・フィックスチャのテスト・リードによる誤差を補正するために、測定器のケーブル長 (CABLE LENGTH) を以下の手順により 1m に設定します。

(1) MEAS SETUP ページの CORRECTION ソフトキーを押すと表示される CORRECTION ページにおいて、カーソールを CABLE フィールドに移動させ、"0m" ソフトキーを押します。

MEAS SETUP MENU



CORRECTION ページ

<CORRECTION>		SYS MENU	MEAS SETUP
OPEN :	ON	CABLE :	0 m
SHORT :	ON	MODE :	MULTI
LOAD :	ON	CH No. :	100
		FUNC :	Cp-D
FREQ1 :	1.00000kHz	B:	0.00010
REF A:	100.000pF	B:	0.00011
MEA A:	100.001pF		
FREQ2 :	10.0000kHz	B:	0.00012
REF A:	100.020pF	B:	0.00013
MEA A:	100.021pF		
FREQ3 :	100.000kHz	B:	0.00014
REF A:	100.040pF	B:	0.00015
MEA A:	100.041pF		

: フィールド

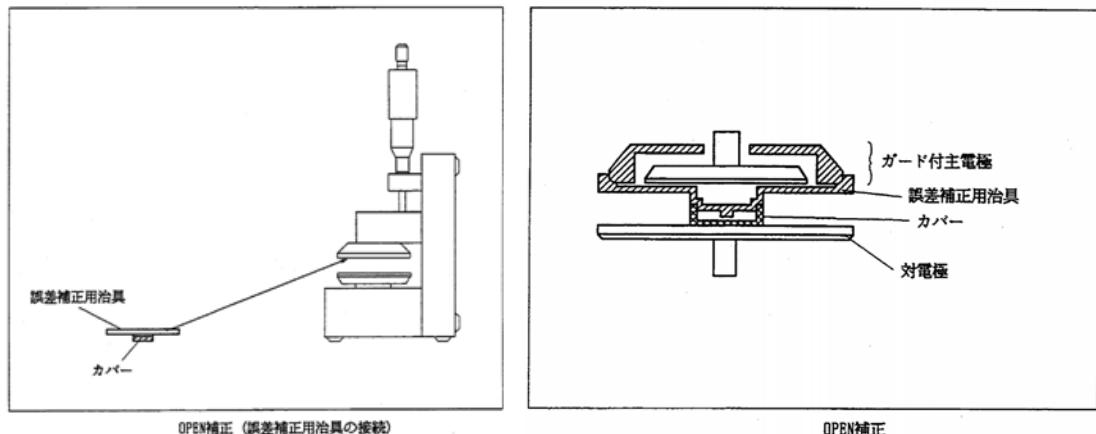
: モニタ

3. OPEN/SHORT 補正

HP16451B テスト・フィックスチャの残留／浮遊成分の補正のため、OPEN/SHORT 補正を行います。

3-1. OPEN 補正

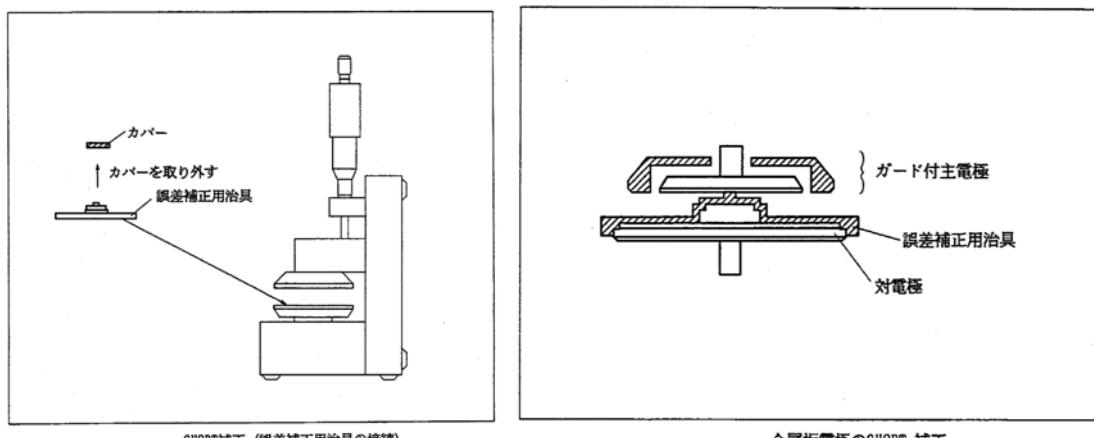
- (1) HP16451B テスト・フィクスチャの小さいノブを反時計方向に回して、ガード付き主電極を対電極から離します。
- (2) 下図のように、誤差補正用治具とそのカバーをガード付き主電極に接続します。
- (3) 小さいノブを時計方向にクラッチが滑るまで回し、対電極が誤差補正用治具に接触するようになります。



- (4) MEAS SETUP ページの CORRECTION ソフトキーを押すと表示される CORRECTION ページにおいて、カーソルを OPEN フィールドに移動させ、"MEAS OPEN" ソフトキーを押して OPEN 補正を実行します。
OPEN 補正の実行中は、補正データへの影響を避けるため、テスト・フィクスチャに触ったり、その近くで手を動かしたりしないようにします。
- (5) "OPEN measurement completed" というメッセージが表示されたら、"ON" ソフトキーを押して、OPEN 補正機能を ON に設定します。
- (6) 小さいノブを反時計方向に回し、電極を引き離し、誤差補正用治具を取り外します。

3-2. SHORT 補正（金属板電極）

- (1) HP16451B テスト・フィクスチャの小さいノブを反時計方向に回して、ガード付き主電極を対電極から離します。
- (2) 下図のように、誤差補正用治具のカバーを取り外し、誤差補正用治具を対電極に接続します。
- (3) 小さいノブを時計方向にクラッチが滑るまで回し、ガード付き主電極が誤差補正用治具に接触するようにします



- (4) MEAS SETUP ページの CORRECTION ソフトキーを押すと表示される CORRECTION ページにおいて、カーソルを SHORT フィールドに移動させ、"MEAS SHORT" ソフトキーを押して SHORT 補正を実行します。
- (5) "SHORT measurement completed" というメッセージが表示されたら、"ON" ソフトキーを押して、SHORT 補正機能を ON に設定します。
- (6) 測定後、小さなノブを反時計方向に回し、電極を引き離し、誤差補正用治具を取り外します。

3-3. SHORT 補正（薄膜電極）

- (1) 小さなノブを時計方向に回し、主電極が対電極に接触するようにします。ただし、ガード電極が対電極に接触しないようにします
- (2) MEAS SETUP ページの CORRECTION ソフトキーを押すと表示される CORRECTION ページにおいて、カーソルを SHORT フィールドに移動させ、"MEAS SHORT" ソフトキーを押して SHORT 補正を実行します。
- (3) "SHORT measurement completed" というメッセージが表示されたら、"ON" ソフトキーを押して、SHORT 補正機能を ON に設定します。
- (4) 小さなノブを反時計方向に回し、電極を引き離します。

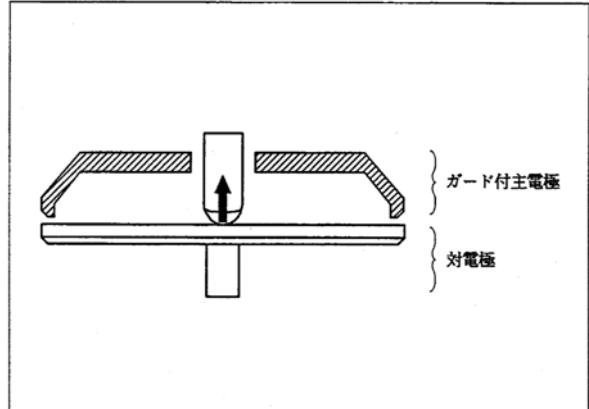


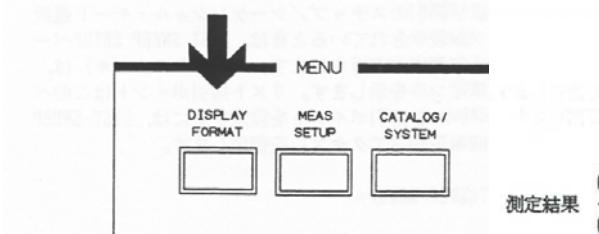
図 3-25. 薄膜電極用電極のSHORT 補正

4. 測定

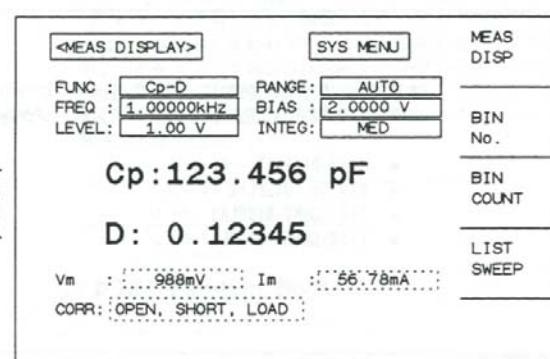
4-1 (電極接触法)

- (1) MEAS DISPLAY ページにおいて、カーソルを測定ファンクション (FUNC) フィールドに移動させて、容量測定 (Cp-D) に設定します。
- (2) 同様に、カーソルを周波数 (FREQ)、信号レベル (LEVEL)、バイアス (BIAS) 等の各フィールドに移動させて、測定条件を設定します。

DISPLAY FORMAT MENU



MEAS DISPLAY ページ



_____ : フィールド

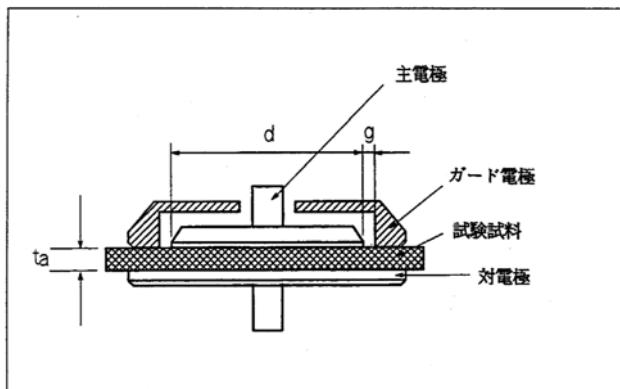
_____ : モニタ

- (3) 試料を HP16451B テスト・フィックスチャの電極間に挿入します。
- (4) MEAS DISPLAY ページに拡大文字で表示さる容量 (Cp) および誘電正接 (D) を測定し、以下の式から試料の誘電率および誘電正接を計算します。

$$\epsilon_r = \frac{t_a \times C_p}{A \times \epsilon_0}$$

$$= \frac{t_a \times C_p}{\pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 \times \epsilon_0}$$

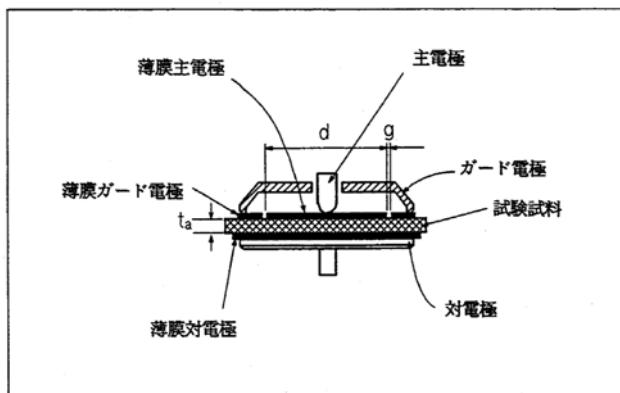
$$D_t = D$$



電極接触法 (金属板電極)

ここで、

ϵ_r	：試験試料の誘電率
D_t	：試験試料の誘電正接
C_p	：等価の並列容量 [F]
D	：誘電正接
t_a	：試験試料の平均の厚さ [m]
A	：主電極の面積 [m^2]
d	：主電極の直径 [m]
ϵ_0	：真空の誘電率 ($=8.854 \times 10^{-12}$)

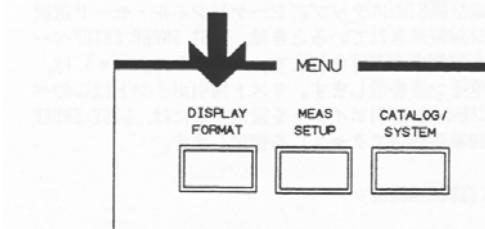


電極接触法 (薄膜電極)

4-2 (電極非接触法)

- (1) MEAS DISPLAY ページにおいて、カーソールを測定ファンクション (FUNC) フィールドに移動させて、容量測定 (Cs-D) に設定します。
- (2) 同様に、カーソールを周波数 (FREQ)、信号レベル (LEVEL)、バイアス (BIAS) 等の各フィールドに移動させて、測定条件を設定します。

DISPLAY FORMAT MENU



測定結果

MEAS DISPLAY ページ

<MEAS DISPLAY>		SYS MENU	MEAS DISP
FUNC :	Cp-D	RANGE:	AUTO
FREQ :	1.00000kHz	BIAS :	2.0000 V
LEVEL:	1.00 V	INTEG:	MED
Cp: 123.456 pF			BIN No.
D: 0.12345			BIN COUNT
Vm : 999mV Im : 56.7mA			LIST SWEEP
CORR: OPEN, SHORT, LOAD			

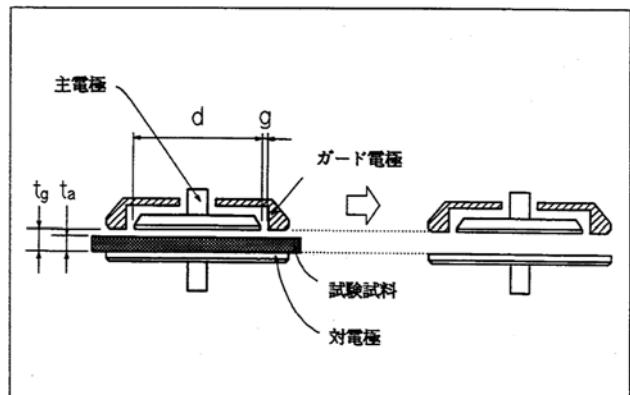
： フィールド

： モニタ

- (3) 試料を HP16451B テスト・フィクスチャの電極間に挿入します。
- (4) 試料とガード付き主電極の間に、試料の厚さの約 10%以下の隙間を空けるようにマイクロメータを設定し、この時のマイクロメータの読みを t_g とします。
- (5) MEAS DISPLAY ページに拡大文字で表示さる容量 (C_s) および誘電正接 (D) を測定し、これらの値を C_{s2} 、 D_2 とします。
- (6) 試料を電極間からゆっくり抜き取ります。
- (7) MEAS DISPLAY ページに拡大文字で表示さる容量 (C_s) および誘電正接 (D) を測定し、これらの値を C_{s1} 、 D_1 とします。
- (8) 以下の式から試料の誘電率および誘電正接を計算します。

$$\epsilon_r = \frac{1}{1 - \left(1 - \frac{C_{s1}}{C_{s2}}\right) \times \frac{t_g}{t_a}}$$

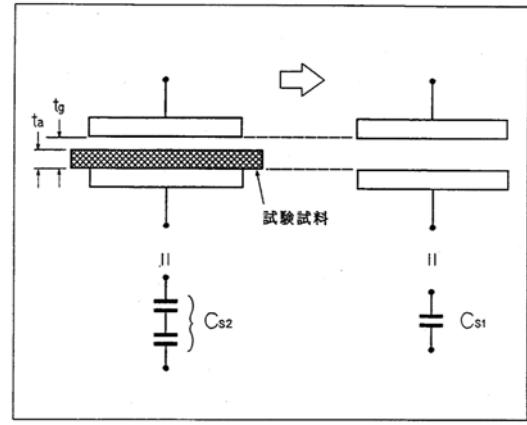
$$D_t = D_2 + \epsilon_r \times (D_2 - D_1) \times \left(\frac{t_g}{t_a} - 1\right)$$



電極非接触法(間隙法)

ここで、

ϵ_r : 試験試料の誘電率
 D_t : 試験試料の誘電正接
 C_{s1} : 試験試料を挿入しないときの容量 [F]
 D_1 : 試験試料を挿入しないときの誘電正接
 t_g : ガード付主電極と対電極の間の隙間 [m]
 C_{s2} : 試験試料を挿入したときの容量 [F]
 D_2 : 試験試料を挿入したときの誘電正接
 t_a : 試験試料の平均の厚さ [m]



電極非接触法(間隙法)