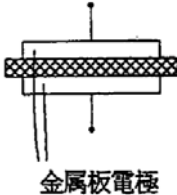

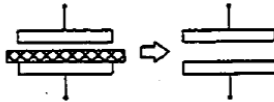




## ■ 電気材料の誘電率測定

### ● 測定準備

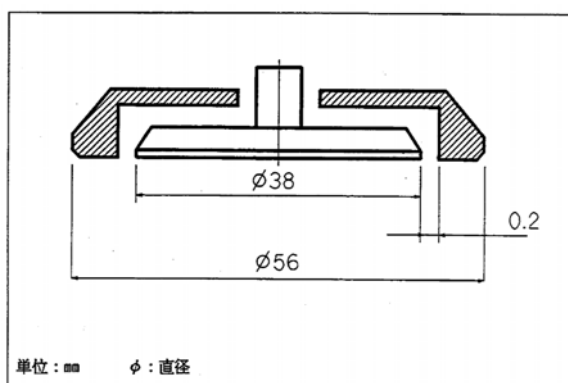
#### 1. 測定方法の選択

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。

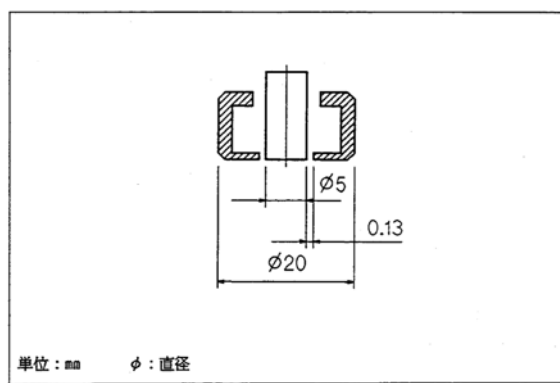
測定方法	電極接触法 (金属板電極)	電極接触法 (薄膜電極)	電極非接触法 (間隙法)
電極構成			
測定確度	低	 高	
操作	容易	 難	
長所	<ul style="list-style-type: none"><li>・測定が容易</li><li>・薄膜電極の形成が不要</li><li>・計算が単純</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・エアフィルム誤差が小</li><li>・測定が容易</li><li>・計算が単純</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・エアフィ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

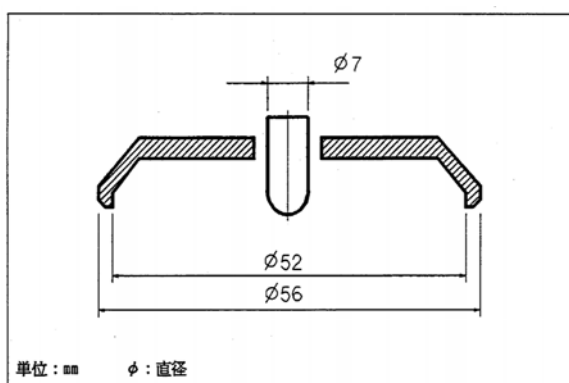


電極-Aの寸法

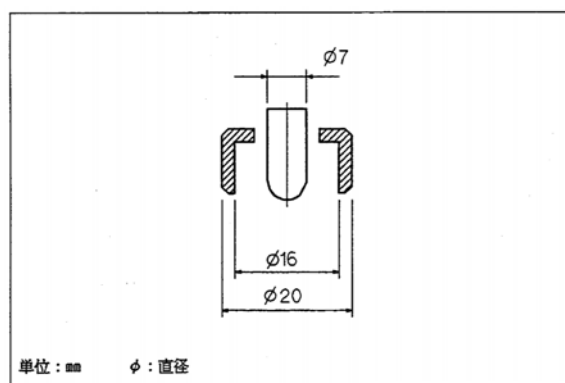


電極-Bの寸法

○電極接触法（薄膜電極） --- 電極-C、電極-D

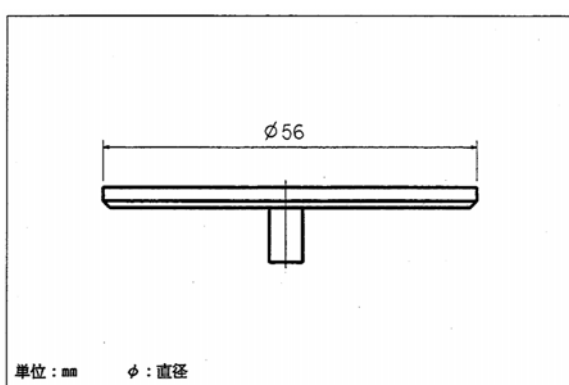


電極-Cの寸法



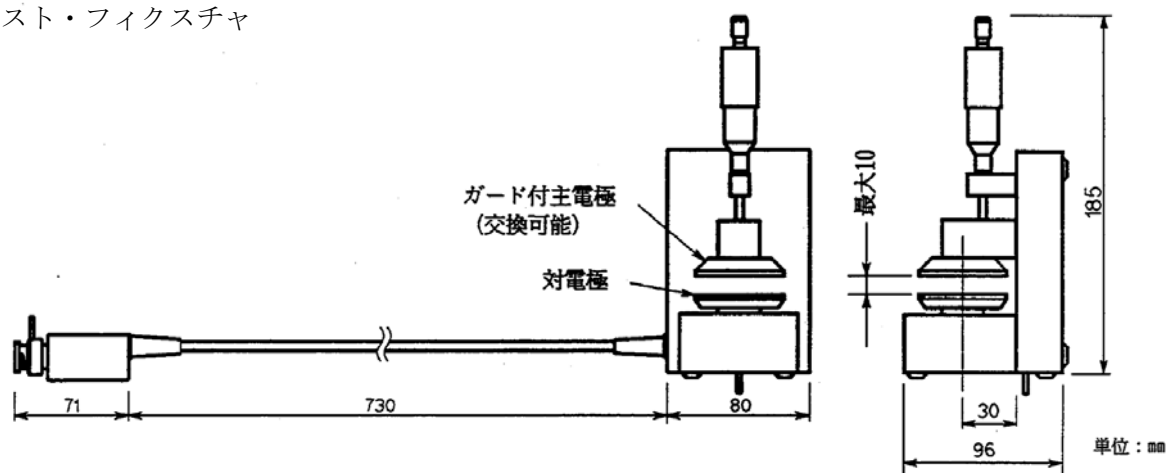
電極-Dの寸法

○対電極



対電極の寸法

○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。

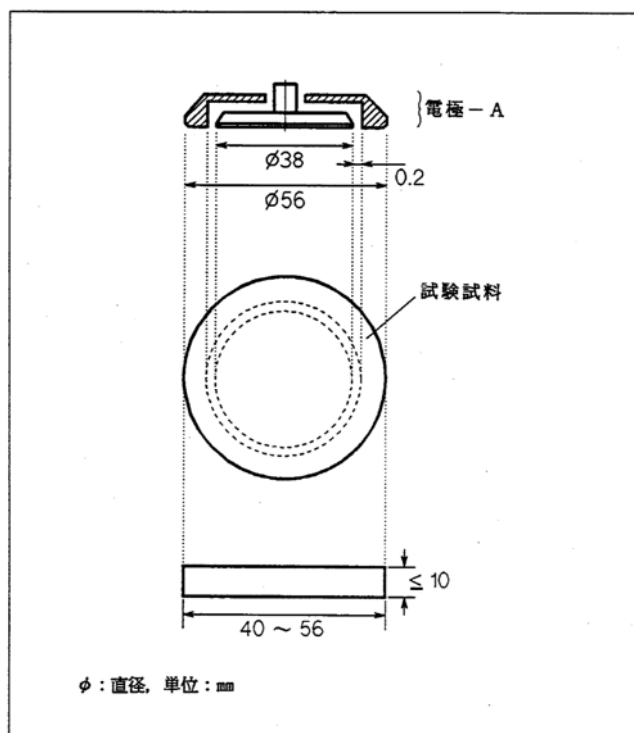
電極A、B使用時の適応可能MUT寸法

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

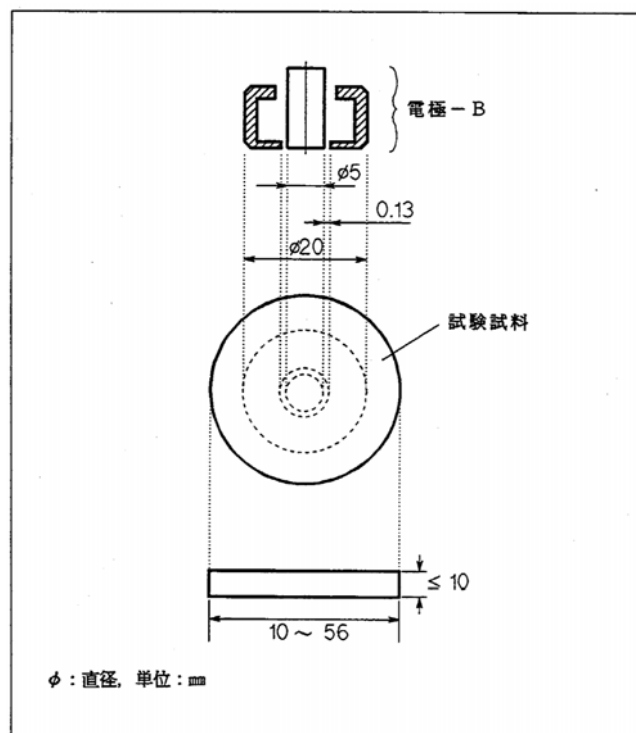
電極C、D使用時の適応可能MUT寸法

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

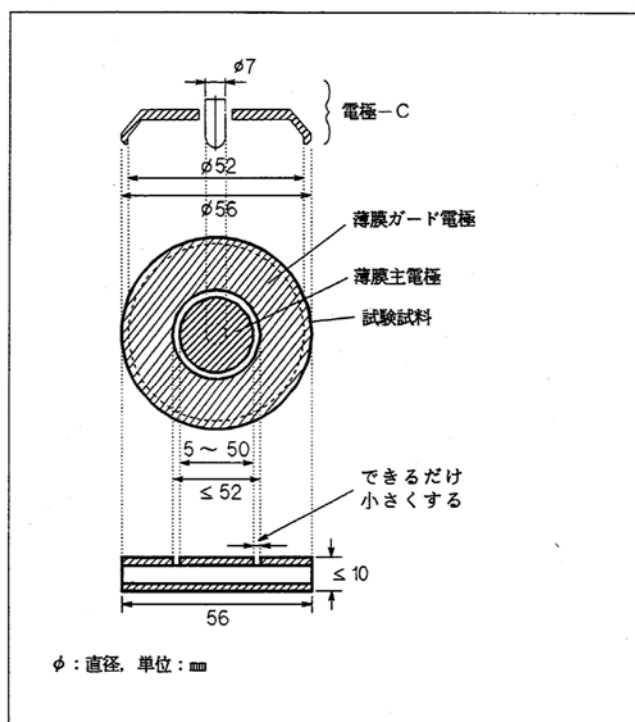
\*誘電体に付ける薄膜主電極直径



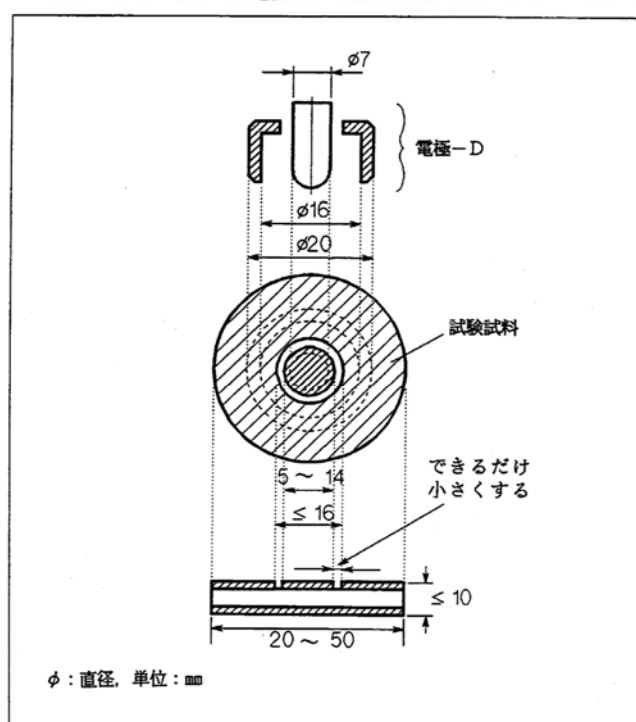
電極-Aの試験試料推奨サイズ



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

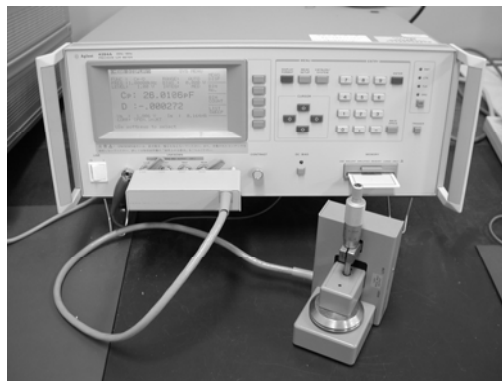


電極-Dの試験試料推奨サイズ

- ※ 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間隙（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・フィクスチャの測定器への接続

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



### ● 測定

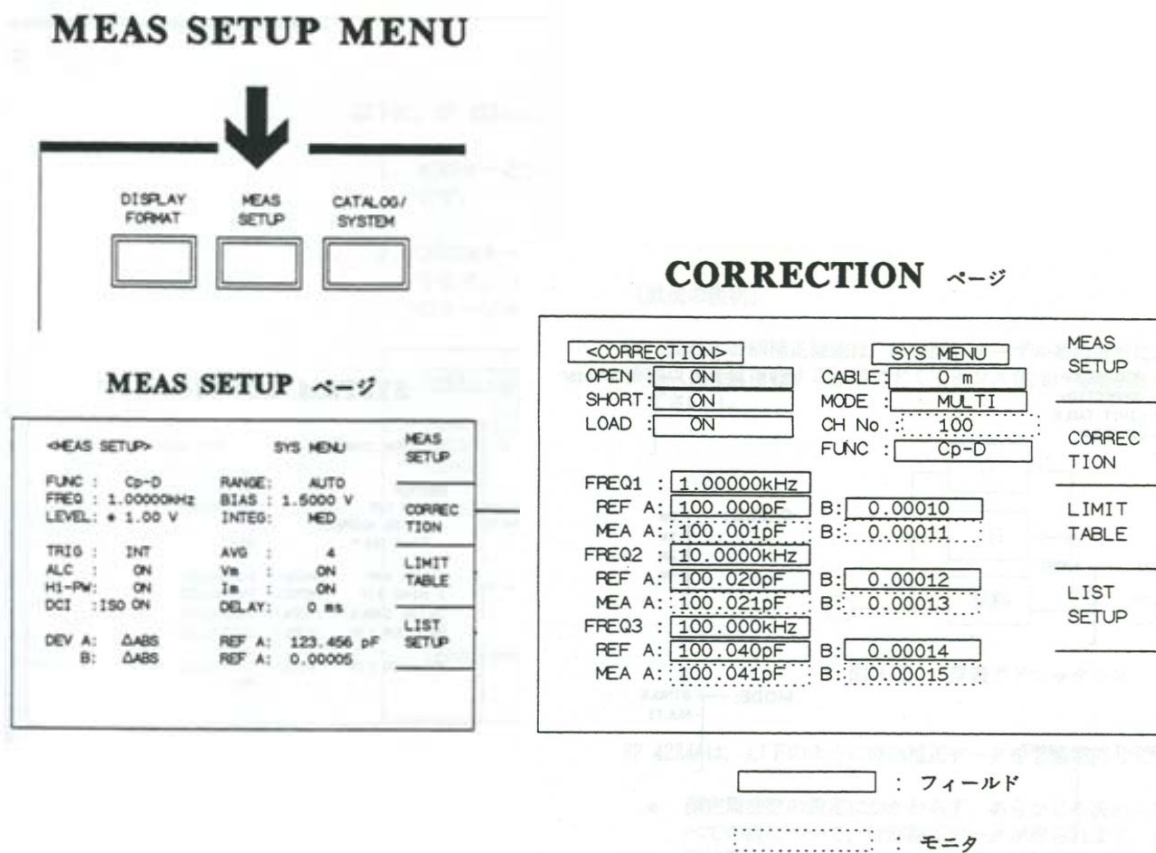
#### 1. 電源

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、カーソルを CABLE フィールドに移動させ、"0m" ソフトキーを押します。

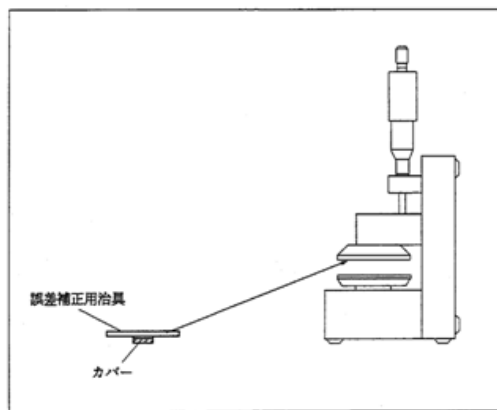


#### 3. OPEN/SHORT 補正

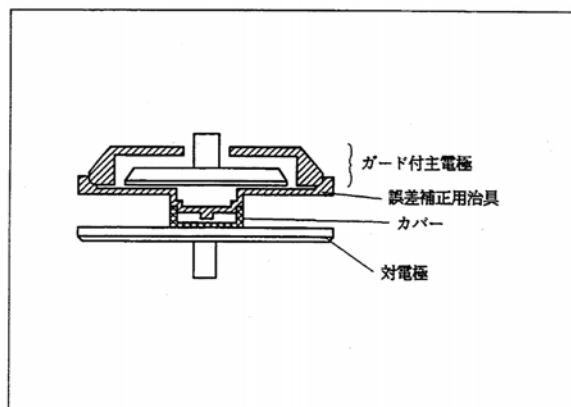
HP16451B テスト・フィクスチャの残留／浮遊成分の補正のため、OPEN/SHORT 補正を行います。

### 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します。



OPEN補正 (誤差補正用治具の接続)

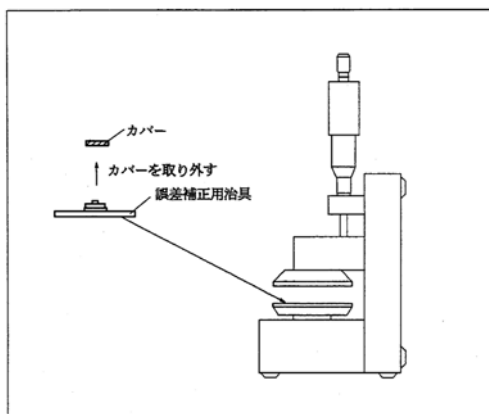


OPEN補正

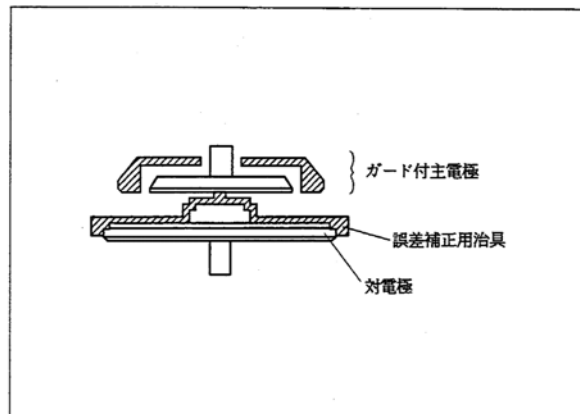
- (4) MEAS SETUP ページの CORRECTION ソフトキーを押すと表示される CORRECTION ページにおいて、カーソルを OPEN フィールドに移動させ、"MEAS OPEN"ソフトキーを押して OPEN 補正を実行します。  
OPEN 補正の実行中は、補正データへの影響を避けるため、テスト・フィクスチャに触ったり、その近くで手を動かしたりしないようにします。
- (5) "OPEN measurement completed"というメッセージが表示されたら、"ON"ソフトキーを押して、OPEN 補正機能を ON に設定します。
- (6) 小さいノブを反時計方向に回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



SHORT補正 (誤差補正用治具の接続)



金属板電極のSHORT 補正

- (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、カーソールを 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) 小さい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、カーソールを 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。

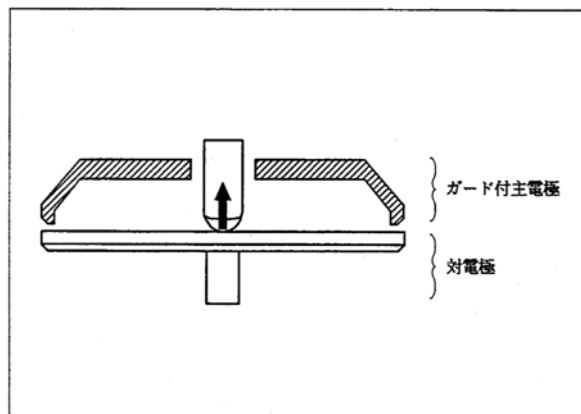


図 3-25. 薄膜電極用電極のSHORT 補正

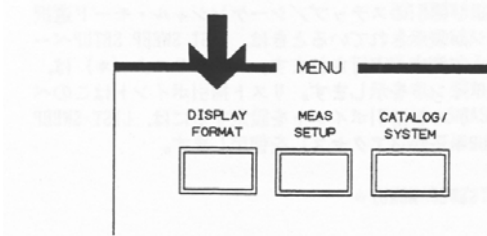
- (3) “SHORT measurement completed”というメッセージが表示されたら、“ON”ソフトキーを押して、SHORT 補正機能を ON に設定します。
- (4) 小さなノブを反時計方向に回し、電極を引き離します。

## 4. 測定

### 4-1（電極接触法）

- (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（Cp-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 :	988mV	Im :	56.78mA
CORR: OPEN, SHORT, LOAD		LIST SWEEP	

フィールド

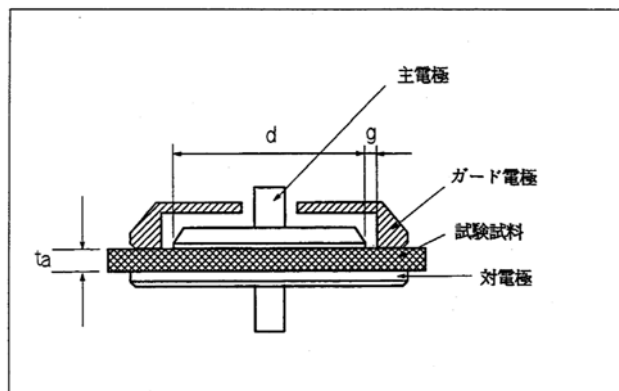
モニタ

- (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) MEAS DISPLAY ページに拡大文字で表示される容量 (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。

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

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

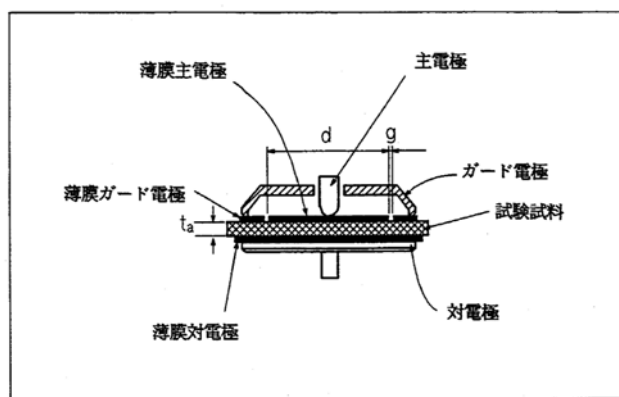
$$D_t = D$$



電極接触法 (金属板電極)

ここで,

$\epsilon_r$  : 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<sup>2</sup>]  
 $d$  : 主電極の直径 [m]  
 $\epsilon_o$  : 真空の誘電率 (=8.854×10<sup>-12</sup>)

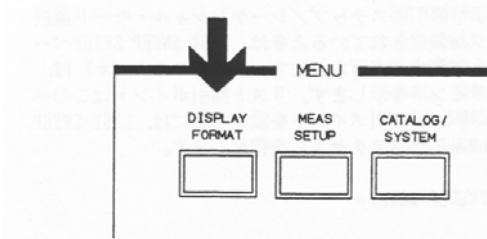


電極接触法 (薄膜電極)

#### 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 :	988mV	Im :	56.78mA
CORR: OPEN, SHORT, LOAD			LIST SWEEP

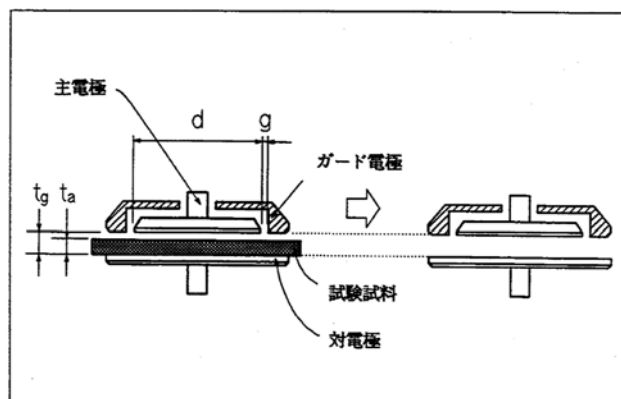
フィールド

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。

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

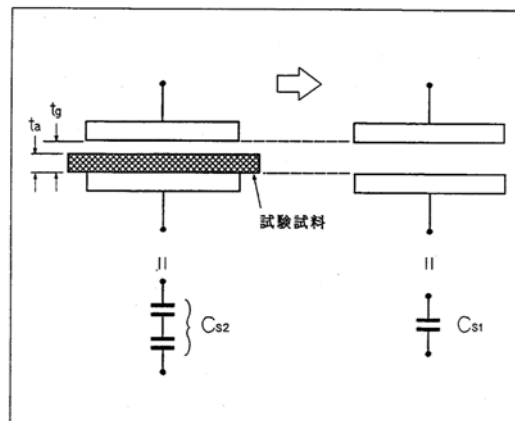
$$D_t = D_2 + \epsilon_r \times (D_2 - D_1) \times \left(\frac{t_g}{t_a} - 1\right)$$



電極非接触法 (間隙法)

ここで、

$\epsilon_r$  : 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)