

高周波デバイス測定用テストフィクスチャ

Test Fixture for High Frequency Device Measurement

UDC 621.316.8 + 621.318/.319 : 621.317.799

鈴木 文和

Fumikazu Suzuki

計測器事業本部 計測器事業部 計測システム開発部

山岸 祐一

Yuichi Yamagishi

計測器事業本部 計測器事業部 計測システム開発部

1 まえがき

近年の電子機器は高機能化，高集積化，小型化の一途をたどっており，これに貢献しているのが半導体デバイスの高密度実装技術，パッケージ技術である。半導体デバイスは，プロセスのサブミクロン化，配線の多層化により高集積化しており，半導体パッケージにおいても，BGA（Ball Grid Array）技術等により端子ピッチの縮小・表面実装化，多ピン化を実現している。

図1に示すプラスチックパッケージ外形の動向に示すように，DIP（Dual Inline Package）から発達した半導体パッケージは，多ピン化のQFP（Quad Flat Package），小型化のSOP（Small Outline Package），SSOP（Shrink Small Outline Package）などで高密度実装を実現している。

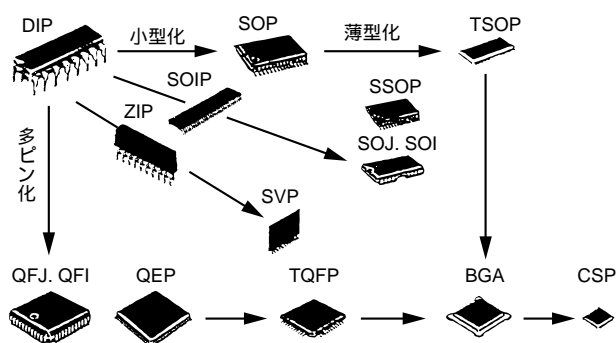


図1 プラスチックパッケージ外形の動向
Trend of plastic package

このような多ピン化，狭ピッチ端子化された半導体デバイスは，PDC・PHS等の移動体通信デバイスとしても用いられ移動通信端末の小型化に寄与している。また，移動通信の急激な進展に伴って準マイクロ波帯およびマイクロ波帯の利用が図られ高周波化している。

この高周波デバイスは，性能保証のため高周波かつ小型デバイス対応のテストフィクスチャ（測定器具）が必要であり，

自動化された生産ラインで使用されるため高周波測定装置の高再現性，耐久性が要求される。

このような要求に応えるため当社では，これまでSOP対応（端子ピッチ1.27mm以上）でDC～6GHzの周波数範囲をもつME0100シリーズのテストフィクスチャを提供している。表1にME0101A，表2にME0104Aテストフィクスチャの主要性能を示す。今回は新たにSSOP（Shrink Small Outline Package）対応（端子ピッチ0.5mm以上）でDC～8GHzの周波数範囲をもつMU740000シリーズのテストフィクスチャを開発したので，その設計方針，設計の要点，主要性能について述べる。図2にMU740000テストフィクスチャの外観を示す。

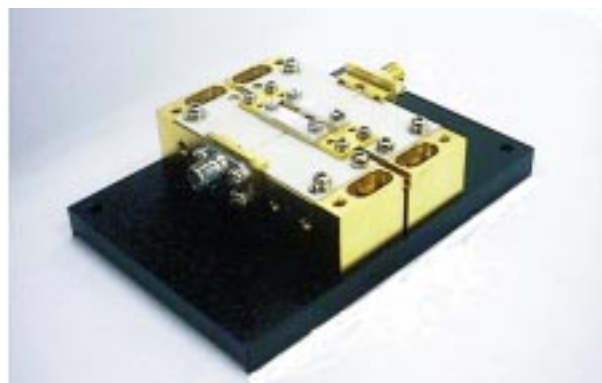


図2 MU740000 テストフィクスチャ外観
External view of MU740000 test fixture

2 設計・開発方針

今回，MU740000シリーズのテストフィクスチャを開発するに当たり，市場要求を調査するため，顧客数社と情報交換を密にし試作品のユーザエバレーションを実施して問題点の早期改善を図るように計画した。

表1 ME0101A テストフィクスチャの主要規格
Specification of ME0101A test fixture

規格（測定条件：入出力SMAコネクタを基準面とした2ポートOSL校正による）

周波数範囲	DC ~ 6GHz		
	1GHz	3GHz	6GHz
インピーダンス	50		
リターンロス ^{*1}	20dB以上	15dB以上	10dB以上
挿入損失 ^{*2}	1dB以下	1.5dB以下	2dB以下
アイソレーション	80dB以上 ^{*3} 60dB以上 ^{*4}	70dB以上 ^{*3} 60dB以上 ^{*4}	70dB以上 ^{*3} 30dB以上 ^{*4}
再現性 ^{*5}	±0.05dB	±0.1dB	±0.1dB
寿命 ^{*6} （参考値）	入出力コンタクト：100万回（デバイス端子が金メッキの場合） アースコンタクト：10万回（消耗品，交換可能）		
測定系校正基準面	入出力SMAコネクタを基準面とする校正		
コネクタ	SMA		
環境条件	温度：15～35，湿度：40～70%		
寸法 ^{*7} ・質量 ^{*7}	30H x 170W x 100Dmm，600g以下		

- *1：スルーキットを挿入したテストフィクスチャで入出力総合を評価
- *2：スルーキットを挿入したテストフィクスチャ入出力間の挿入損失
- *3：入出力の接点端子間が4mm以上で，入出力接点がオープン
- *4：入出力の接点端子間が3mm以上で，入出力接点がオープン
- *5：スルーキットを用いて，S21を30回測定したデータから求めた2値で規定
- *6：マニュアル操作の場合は除く
- *7：マニュアル用デバイスの押え治具は除く

表2 ME0104A テストフィクスチャの主要規格
Specification of ME0104A test fixture

規格（測定条件：入出力SMAコネクタを基準面とした2ポートOSL校正による）

周波数範囲	DC ~ 2GHz
インピーダンス	50
リターンロス ^{*1}	20dB以上
挿入損失 ^{*2}	1dB以下
アイソレーション ^{*3}	50dB以上
許容最大電流	3A
再現性 ^{*4}	±0.1dB以下
寿命 ^{*5} （参考値）	入出力コンタクト：10万回（デバイス端子が金メッキの場合。交換可能） 電源コンタクト：10万回（デバイス端子が金メッキ，各コンタクトは交換可能） アースコンタクト：10万回（デバイス端子が金メッキ，交換可能）
測定系校正基準面	入出力SMAコンタクトを基準面にした校正
コネクタ	SMA
環境条件	温度：15～35，湿度：40～70%
寸法 ^{*6} ・質量 ^{*6}	50H x 120W x 140Dmm，1.0kg以下

- *1：スルーキットを挿入したテストフィクスチャで，入出力総合の値
- *2：スルーキットを挿入したテストフィクスチャ入出力間の値
- *3：接点端子間が7mm以上で，入出力がオープン
- *4：スルーキットを用いて，S21（3dB以内）を30回測定したデータから求めた2値で規定
- *5：マニュアル操作の場合は除く
- *6：マニュアル用押え治具は除く

以下に設計の狙いについて主な点を述べる。

(1) 高周波特性

移動通信（動作周波数：～2.5GHz）の高周波デバイス（AMP，MIX，Switch）をターゲットデバイスとし、動作周波数の2～3倍波の特性評価を望んでいる顧客要求に応えるためテストフィクスチャの周波数範囲はDC～8GHzとし、特性インピーダンスは50Ω，反射減衰量は20dB/2GHz，15dB/8GHzを目標性能とした。

(2) 対象パッケージ

対象パッケージは、今後主流となるSSOPとし、リードピッチは3種類（0.5mm，0.65mm，0.95mm），リード数はMAX28本/0.5mm，MAX20本/0.65mm，MAX6本/0.95mmとして、ほとんどのターゲットデバイスについて対応できるようにした。

(3) 繰り返し再現性・耐久性

テストフィクスチャは量産ラインの検査工程で使用されるため、繰り返し再現性・耐久性の高性能が要求される。

当社のME0100シリーズテストフィクスチャの市場実績、およびデバイスリードのメッキがAuメッキではなくはんだメッキである現状から、繰り返し再現性は±0.1dB（2σ），耐久性は30万回（対はんだメッキ）を目標性能とし、かつテストフィクスチャの接触部は交換が容易にでき、交換再現性の良好な構造を目標とした。

(4) Active Device 対応

Active Device（Power Amp等）の測定は、デバイスのインピーダンス整合のためL，Cチップ部品を搭載した整合回路をテストフィクスチャに付加する必要がある。この時、デバイス端子からチップ部品までの距離は極力短いことが望まれる。この距離は少なくとも動作周波数の波長に対して1/20以下（6mm/2.5GHz）でないと、整合回路が集中定数として扱えないため、今回は2mm以下を目標にした。

(5) メンテナンス性

繰り返し再現性・耐久性の項でも述べたようにテストフィクスチャの接触部は消耗品である。この消耗品交換においては、交換再現性が良好であるとともに、交換作業性が簡単で、かつ交換時間が短いことも要求される。そこで、交換部品点数は2点以内、交換時間は15分以内を目標とした。

3 設計の要点

現状のME0100シリーズテストフィクスチャは、SSOPデバイスを対象とすると、以下のような問題点があった。

・接点構造が板ばね式であるため、接点部と整合回路間の距離が長くなり（20mm以上）、Active Device対応が難しい。

・デバイスリードがはんだメッキの場合、耐久性が約1万回である。

・狭ピッチ対応ができない。（1.27mm以上）

また、市販のICソケット方式や、整合回路を組み込んだプリント板方式のテストフィクスチャは、構造がシンプルで安価であるという特徴があるが、高周波化の限界、繰り返し再

表3 テストフィクスチャ各方式の比較
Comparison of test fixture

	ME0100 シリーズ	ICソケット 方式	プリント板 方式	MU740000 シリーズ
0.5mmピッチ対応	×			
測定再現性			×	
Active Device対応		×		
メンテナンス性			×	
高周波対応		×		
データ相関性	×	×		

現性・耐久性が悪い等の問題点があった。各方式の比較表を表3に示す。

以下に、それぞれの問題点の解決方法について述べる。

(1) Active Device 対応

現状のME0100シリーズテストフィクスチャの接点部構造は、セラミックを用いた片持ちばね構造で、デバイス電極の高さ方向のパラツキを吸収し、かつ接触時の衝撃力を緩和できるとともに接触安定に必要な接圧を加えることで良好な繰り返し再現性を実現している。しかし、板ばねは材料強度からある長さを必要とし、接点部と整合回路までの長さは短くするのに限界があった。

そこで、接点部と整合回路までの長さを短くし、かつ良好な繰り返し再現性を実現するために新接点部構造を開発した。概略図を図3に示す。

この新接点部構造は、デバイス端子と整合回路用チップ部品が搭載されたプリント板の間に接点材が挟み込まれている構造になっていて接点材上面でデバイス端子と、接点材下面でプリント板のパターンエッジと電気的に接続される。

また、整合回路までの長さについても、接点材のスペースが約0.8mmしかないため、絶縁シート分を考慮しても約1.5mmとなり、目標値2mmを十分下回ることができた。

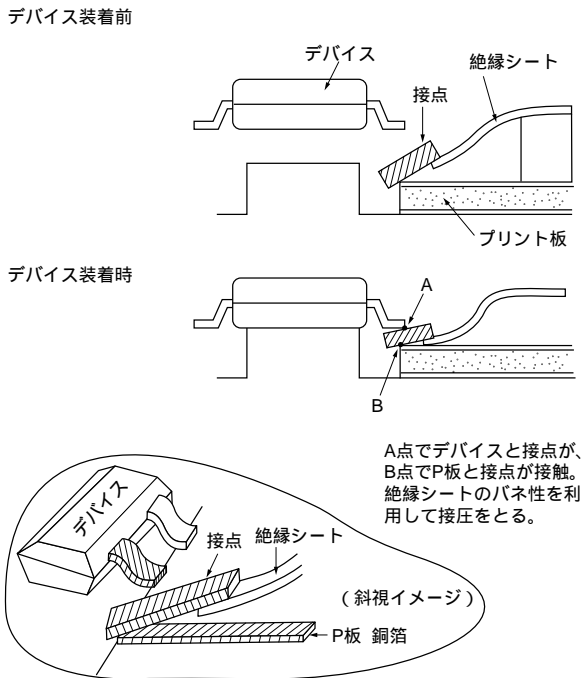


図3 接点部構造
Structure of contact unit

(2) 繰り返し再現性・耐久性

はんだメッキに対する繰り返し再現性・耐久性を向上させるためには、転移（はんだが対接触面に移転する現象）の影響を低減する必要がある。

この転移を防止することは非常に困難であるが、転移しづらいようにはんだメッキされたデバイス電極面とテストフィクスチャ接点部を積極的に摺動させるようにした。これは、図3の新接点構造概略図に示すようにデバイスを装着した時、接点材はプリント板パターンのエッジを支点として回転するため摺動する。また、これまでの実績からテストフィクスチャ接点部はNiメッキが有効であると確認できているため、この対策も施した。はんだメッキとNiメッキとの接触は、接触安定に必要な接圧が約25g以上であるため、製造バラツキ等を考慮して30～60gになるよう設計してある。この結果、接点材をエアブロー等のクリーニング併用で繰り返し再現性±0.1dB、耐久性30万回以上を実現できた。寿命試験結果を図4に示す。

(3) 狭ピッチ対応

ME0100シリーズの接点部構造は、板厚：0.3mm、板幅：1.2mmのセラミックを用いた片持ちばね方式となっており、対応可能なデバイスピッチは1.27mm以上である。0.5mmピッチまで対応させるためセラミックの板幅を0.3mmにすると、

接触安定に必要な接圧を得るためにはセラミックの板厚を厚くするか、長さを短くしなければならない。ところが、板厚を厚くするとセラミック基板カットの加工が困難であるという問題点があった。長さを短くすると（約20mm 約12mm）しても、Active Device対応で要求される接点部と整合回路までの距離2mm以下の実現は困難である。

そこで、今回開発した新接点部構造では、セラミックの代わりにポリイミドシートを使用し、デバイス端子との接触部には接点材を固着している。ポリイミドシートはセラミックに比べ加工性が良く、例えば0.5mmピッチでスリットをいれる加工（測定再現性を向上させるため、接点部の個別動作に必要な加工）も可能である。

このポリイミドシートを採用することで、接点部幅を0.3mmとすることができ、0.5mmピッチのデバイス対応が可能となった。

また、ポリイミドシート厚を0.125mm、長さを2.3mm、最大たわみを0.4mmとすることで接圧30gを得ることができる。この時の設計最大応力は約15kg/mm²で、ポリイミドシートの許容曲げ応力を十分満足しており、実験においても図4の寿命試験結果に示すように100万回の機械的寿命を確認している。以下に設計式とポリイミドシートの主な機械的特性を示す。

$$W = bh^2 / 6L$$

$$= 2L^2 / 3hE$$

ただし

W：接圧
：最大たわみ

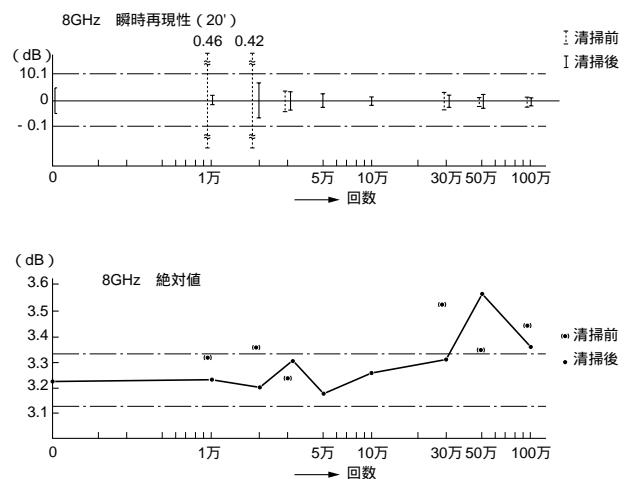


図4 寿命試験データ
Life test data

：許容曲げ応力

E：縦弾性係数

b：シート幅

h：シート厚

L：シート長さ

ポリイミドシートの主な機械的特性

縦弾性係数：338 kg/mm²

許容曲げ応力：20 kg/mm²

(4) メンテナンス性

テストフィクスチャの接点材は消耗品であるため、寿命時に交換しなければならない。今回開発した新接点部構造では、この接点材と絶縁シートが一体化され接点シートとなっているため、この接点シートの交換になる。接点シートには、位置決めピン用のガイド穴が設けられているため、簡単に位置

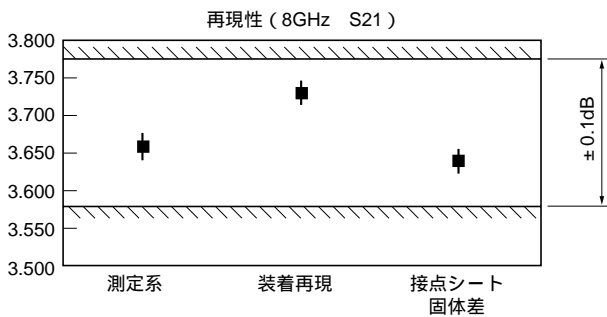


図5 再現性データ
Measurement repeatability data

精度が決まり交換再現性を良好なものにしている。交換再現性結果を図5に示す。

また、テストフィクスチャ本体にも位置決めピン用のガイド穴を設けているため、測定対象デバイスの品種交換時にも容易にテストフィクスチャの交換ができ、かつ交換再現性も良好である。

(5) 高周波特性

周波数範囲をDC～8GHzとするため、高周波伝送線路はマイクロストリップラインとし、かつライン幅を0.53mmとなるよう高誘電率プリント板を用いた。プリント板パターンと接点材の接触部はパターン幅が狭くなっており、狭ピッチ対応ができると共に接点材のインピーダンス補正を行うようになっている。また、伝送線路は不連続部分をできるだけ少なくするように考慮した。不連続部は入出力コネクタとプリント板の接続部、プリント板と接点材の接続部の2ヶ所とし構造の簡素化を図った。この構造は、顧客の評価基板に近いものと

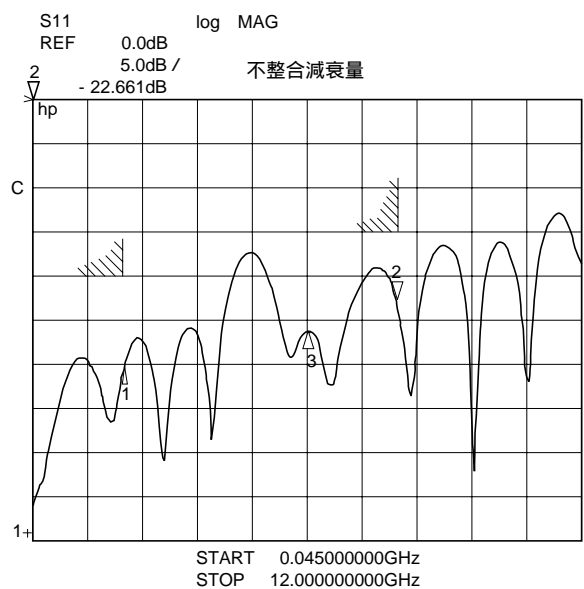
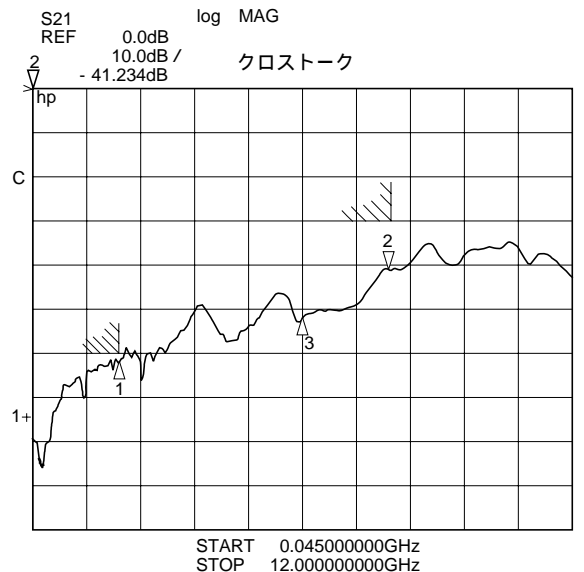
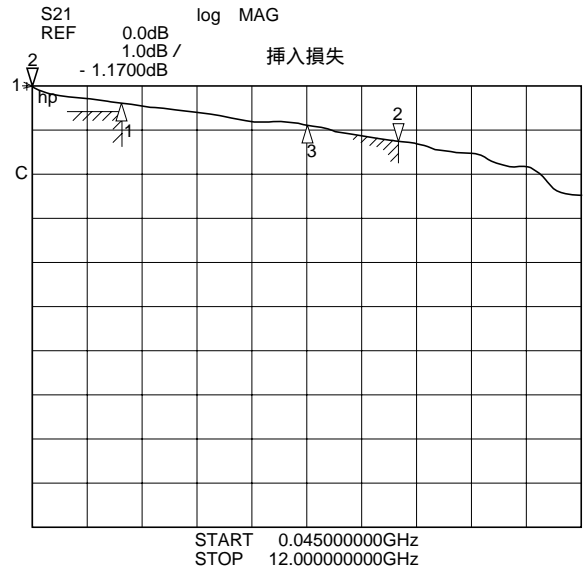


図6 MU740000 テストフィクスチャ高周波特性
Characteristic of MU740000 test fixture

なり顧客データとのデータ相関が得やすいという効果も得られている。高周波特性結果を図6に示す。また、プリント板

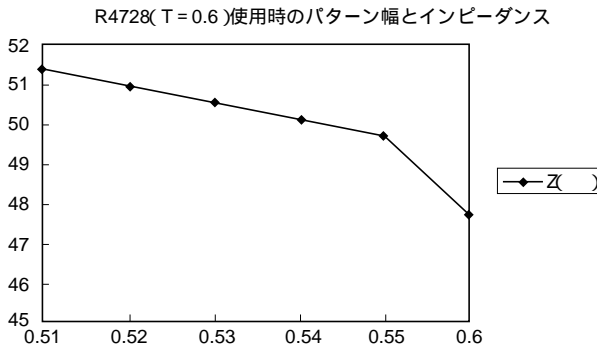


図7 高周波特性シミュレーション
Simulation data of line impedance

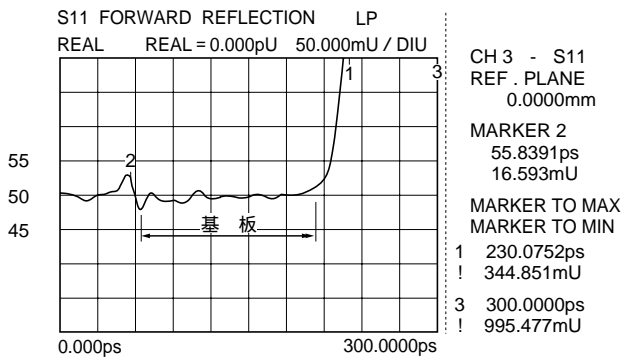


図8 高周波特性実測結果(タイムドメイン)
Time domain data of MU740000 test fixture

のパターン幅とインピーダンスのシミュレーション結果を図7に、タイムドメインでの実測結果を図8に示す。

(6) ユーザエバレーション

試作テストフィクスチャによるPower Amp評価のユーザーエバレーションを実施した。表4にPower Ampデバイスの測定値及び繰り返し再現性の評価結果を示す。

測定値はユーザ治具による測定値との相関性を検証でき、

表4 ユーザエバレーション結果
User evaluation

パワーアンプ測定値と繰り返し再現性

項目	出力電力 1 (dBm)	出力電力 2 (dBm)	動作電流 1 (mA)	動作電流 2 (Am)
測定値	31.02	29.83	65.7	540.0
繰り返し再現性(2)	0.06	0.06	9.2	4.0

繰り返し再現性は出力電力において $\pm 0.06\text{dB}$ で目標規格 $\pm 0.1\text{dB}$ 以内に収まっていることが確認できた。

また、テストフィクスチャのグランド規格が必要だという指摘があり、開発当初規格として考えていなかった対グランドクロストーク規格を追加することになった。これは、デバイスと同形状のショートキットを装着したときの伝送特性(S21)を測定するものである。規格値はユーザーのこれまでの経験や測定デバイス評価上で、最低限必要となる値などをもとに、 $-30\text{dB}/8\text{GHz}$ (グランド端子12本時)とした。新接点部構造を採用する前の試作品では、グランドまでの距離が遠く、グランドピン12本時に $-15\text{dB}/8\text{GHz}$ の性能であったが、新接点部構造の採用後にはグランドとの接続距離が短くできるようになり、 $-36\text{dB}/8\text{GHz}$ を実現できた。グランド端子数と対グランドクロストークの関係を図9に示す。

ポリイミドシートを使った接点シートについても柔らかい材質上、横変形の問題が生じた。この対策は接点シートのスリット間に絶縁物のガイドを設けることにより解決することができた。また、入出力コネクタの中心導体をプリント板パターンに接続する方法として、中心導体を押し付ける方法を

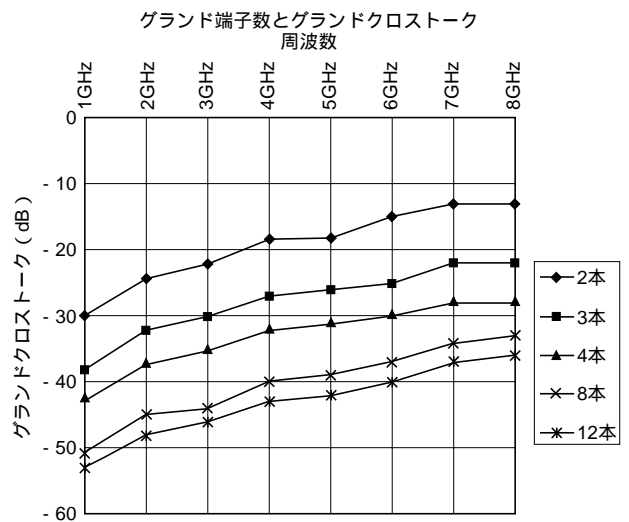


図9 グランド端子数とグランドクロストーク
Ground cross-talk for the number of ground terminal

採用していたが、信頼性に難があることが判明し、ハンダ付け方式に変更して信頼性の向上を図ることができた。

表5 MU740000テストフィクスチャ主要規格
Specification of MU740000 test fixture

仕様

項目	仕様	備考
使用周波数	DC ~ 8GHz	移動体デバイス
装着再現性 (S21)	±0.1dB / 8GHz	(注1)
寿命 (参考値)	30万回	(注2)
クロストーク (対向)	50dB / 2GHz 30dB / 8GHz	対向距離2.3mm時 先端オープン
クロストーク (隣接)	15dB / ピッチ0.5mm 20dB / ピッチ0.65mm	2GHzでのTypcal値
クロストーク (対グラウンド)	45dB / 2GHz 30dB / 8GHz	グラウンド端子12本時 (注3)
挿入損失 (参考値)	0.5dB / 2GHz 1.5dB / 8GHz	(注4)
リターンロス (参考値)	20dB / 2GHz 15dB / 8GHz	(注4)

校正条件：コネクタ端でFULL2ポート校正

(注1) デバイスと同形状のスルーを10回リプレース (装着位置は不変) したときの再現性

(注2) 実験室レベル。クリーニング併用。初期の挿入損失に対し0.1dB増加, または瞬時再現性 (10回測定の2) が0.1dBを超えたとき寿命とみなす。デバイスと同形状のスルーキットにより評価

(注3) ショートキット装着したときのS21を測定

(注4) 評価用基板 (L = 20mm) を2枚使用しデバイスのかわりにスルー基板 (L = 3mm) を装着したときの値

4 主要規格

MU740000シリーズ テストフィクスチャの主要規格を表5に示す。

5 応用例

デジタル移動通信器では、RFフィルタ、IFフィルタ、デュプレクサのようなフィルタ、直行変調器、出力アンプ、RF/IFアンプ等の高周波ICなどの部品が使われる。これら部品試験の量産用には、搬送装置・測定器・テストフィクスチャ等で構成されるシステム装置を必要とする。以下にその応用例を示す。

(1) SAWフィルタ試験装置

ME7860A ギガロボシステムはME7460A ギガロボ Jr, MS4662A, NWA, ME0101A テストフィクスチャで構成されたSAWフィルタ試験装置でシステムブロックを図10に示す。

ME7460A ギガロボ Jrは搬送装置で、主要規格を表6に示す。

このシステムで800MHz帯SAWフィルタの挿入損失、反射減衰量、帯域外減衰量を測定した繰り返し再現性を表7に示す。

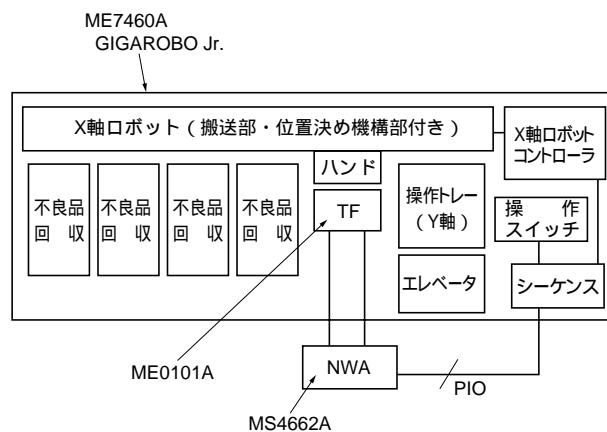


図10 ME7860A GIGAROBO システムブロック図
System block diagram of ME7860A GIGAROBO system

(2) RFアンプ試験装置

ME1621B ギガロボ, ME5623A プリアンプ自動測定装置, ME0104A テストフィクスチャで構成されたシステム装置のシステムブロックを図11に示す。

ME1621B およびME5623Aの主要規格を表8と表9に示す。
このシステム装置で800MHz帯プリアンプの出力電力、利

表6 ME7460A/B/C/D ギガロボ Jr. の主要規格
Specification of ME7460A/B/C/D GIGAROBO Jr.

仕様

項目	ME7460A	ME7460B	ME7460C	ME7460D
メカインデックス	3.5秒/個	4秒/個 ^{*2}		3.5秒/個
供給	マガジン/トレイ ^{*1}		トレイ段積み ^{*2}	パーツフィーダ ^{*1}
良品選別	良品1(トレイ)			良品1(BOX)
不良品選別	不良品4(BOX)			不良品4(BOX)
測定ステージ	1	2	2	1
品種対応	1品種但し段取り替えにより多品種対応可			
外形	1,100W × 840D × 1,500H ^{*2}			
動力源	電源AC100V, 800VA, 空気源0.4 ~ 0.55MPa ^{*2}			

*1: マガジン, トレイ, パーツフィーダは個別仕様になります。

*2: 個別仕様書により変更になる場合があります。

表7 ME7860A ギガロボシステム測定再現性
Repeatability of measurement using ME7860A GIGAROBO system

測定再現性例

ME7460A, MS4662AおよびME0101Aでシステムアップし,
800MHz帯SAWフィルタを20回測定したときの再現性データ。

再現性データ(代表例)

	挿入損失	リターンロス	減衰域
測定値(dB)	2.52	9.47	37.74
2(dB)	0.009	0.022	0.033

サンプルデバイス: 800MHz帯SAWフィルタ 端子金メッキ

表8 ME1621B ギガロボの主要規格
Specification of ME1621B GIGAROBO

仕様

項目	ME1621B
メカインデックス	1.7秒/個以下 ^{*1}
供給	パーツフィーダ ^{*1}
良品選別	良品1ランク(BOX回収)
不良品選別	不良品9ランク(BOX)
搬送方式	バキューム2個搬送
測定ステージ	1ステージ(2個同時測定) ^{*1}
品種対応	1品種但し, 段取り替えにより多品種対応可
外形	1,360W × 910D × 1,450H ^{*1}
動力源	電源 AC100V, 1.5kVA以下 空気源 0.4MPa ~ 0.5MPa 真空源 570mmHgG以上

*1: 詳細は個別仕様による

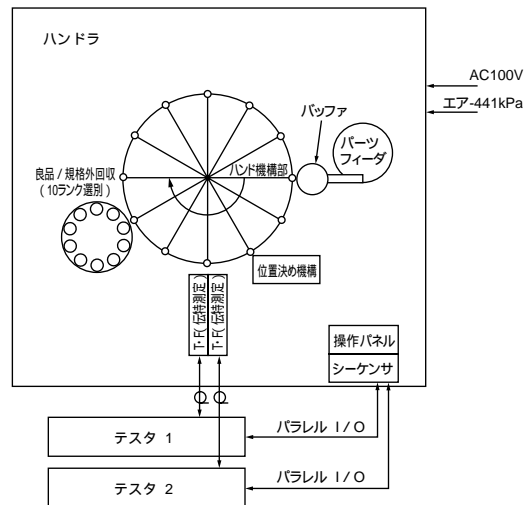


図11 RFアンプ試験装置
Block diagram of RF-Amplifier test system

表9 ME5623A プリアンプ自動測定システム主要規格
Specification of ME5623A Pre-Amplifier measurement system

項目	
試験周波数	800 ~ 2,000MHz
利得	測定ダイナミックレンジ: 50.0dB 測定分解能: 0.01dB
動作電流	電流測定範囲: 1.0 ~ 200.0mA
入力リターンロス	測定ダイナミックレンジ: 50.0dB 測定分解能: 0.01dB
測定時	約880msec 測定周波数: 1ポイント 測定項目: 利得, リターンロス, 動作電流(3CH)
システム機能	測定条件入力機能 校正機能 測定機能 測定結果判定機能 測定結果データ出力機能 測定結果データ保存機能
外形寸法	180H × 550W × 700D m

表10 RFアンプ試験装置測定再現性

Repeatability of measurement using RF-Amplifier test system

測定再現性例

ME1621BギガロボとME0104AテストフィクスチャおよびME5623Aプリアンプ自動測定システムをシステムアップし、800MHzプリアンプを10回測定した時の再現性データ。

	出力電圧 (dB)	利 得 (dB)	動作電流 Idd1 (mA)	動作電流 Idd2 (mA)	リターンロス (dB)
測 定 値	- 1.22	18.78	13.097	23.195	- 10.647
2	0.03	0.03	0.005	0.024	0.003

得、動作電流、反射減衰量を測定した繰り返し再現性を表10に示す。

繰り返し再現性結果は、ここで掲げた2つの装置ともユーザーの要求を十分満足するものであった。

6 むすび

新接点部構造で、繰り返し再現性・耐久性に優れたSSOP対応の高周波テストフィクスチャが実現できた。今後は、表面実装用の開発およびCSP、ヘアチップとさらに小型化するデバイス用の開発と、mm波までの周波数拡大したテストフィクスチャの開発を進めていく考えである。

参考文献

- 1) 鈴木ほか：トータルサービスを提供する高周波デバイス自動検査システムME1621A，アンリツテクニカル，66号（1993.9）
- 2) 中津川ほか：デジタル移動通信用測定器，アンリツテクニカル，66号（1993.9）