

イールド・テストチップを用いた 早期歩留まり改善のための高速 Open/Short 測定の実現

Agilent 4070 シリーズ
半導体パラメトリック・テスタ

アプリケーション・ノート 4070-5



はじめに

近年半導体デバイスに求められる高機能化、高付加価値化に伴い、半導体製造プロセスの微細化、高集積化の要求は強まるばかりです。一方、特に 130nm 以下の微細プロセスにおいては、微細化による歩留まりの低下がこれまで以上に大きな問題となっています。半導体製造プロセスにおける早期の歩留まり改善は、製造コスト、生産能力、製品の市場投入 (TTM) の面からますます非常に重要な課題となっています。

このような背景から、最近では早期歩留まり改善を行う新しい手法が注目されつつあります。この新しい手法では、歩留まり改善のための専用のテストチップ (イールド・テストチップ) を非常に高速に測定する必要があります。

このアプリケーション・ノートでは、Agilent 4070 シリーズをこのイールド・テストチップを用いた早期歩留まり改善に適用するためのテクニックを紹介いたします。

イールド・テストチップを用いた歩留まり改善

この新しい手法では特に配線プロセスに着目しています。これは配線プロセスの良し悪しが、ウェハの歩留まりに大きく影響すると考えられているためです。すなわち、すばやく配線プロセスの問題を発見し、最適化することで、早期歩留まり改善を目指します。

配線プロセスの良し悪しを評価するために、通常、専用のイールド・テストチップが測定されます。ここで得られるプロセスの特性は、プロセス改善による歩留まり向上のためだけでなく、デザイン最適化のために設計部署へフィードバックされることもあります。特に、新しいプロセスの立ち上げ時にこの測定が行われることが多くあります。イールド・テストチップは、図 1、2 に示すような単純な Open/Short で構成されています。測定自体は単純なものですが、非常に大量のテスト・デバイスを

測定しなければならないため、テストコストを低減するためにも非常に高速に測定することが強く要求されています。

高速 Open/Short 測定にも柔軟に対応

Agilent 4070 シリーズ半導体パラメトリック・テスタは、優れた精度及びスループットによって、事実上の業界標準としてプロセス開発・プロセスモニタの世界で広く使われています。適当なチューニング・テクニックを用いると、高速な測定スピードを要求されるこの歩留まり改善のためのイールド・テストチップの測定に特化して、Agilent 4070 の性能を最大限に引き出すことができます。通常このアプリケーションに必要とされる mA から μA 程度までの電流領域においては、高速な Open/Short の測定が可能です。

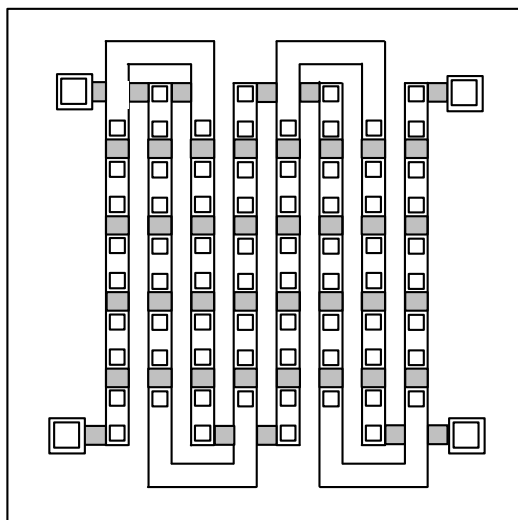


図1 テスト・ストラクチャ
(コンタクト/ビア・チェーン)

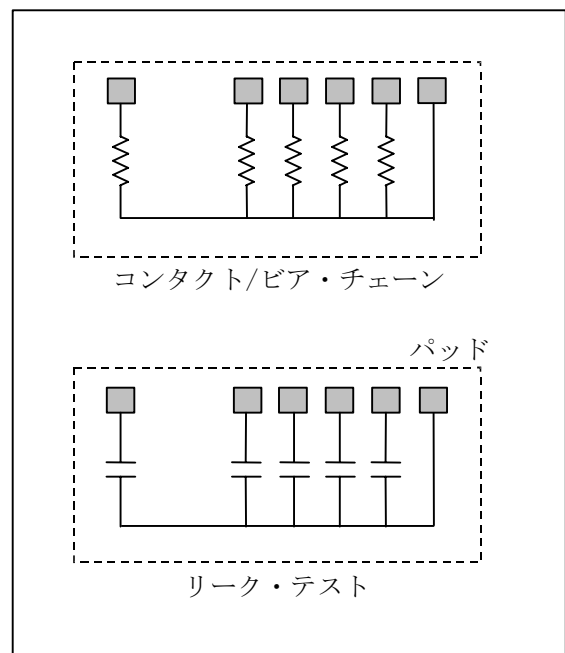


図2 単純化したテスト・ストラクチャ

Agilent 4070 利用のメリット

配線プロセス以外にも利用可能

デバイスの微細化が進むに従って、配線プロセスの Open/Short 測定だけでなく、 V_{th} や I_{doff} 、酸化膜厚といったトランジスタの基本的特性や配線間容量、シート抵抗等の評価がますます重要になってきます。Agilent 4070 を使用すれば、イールド・テストチップの Open/Short だけでなく、他プロセスのパラメトリック測定も一台で評価することができます。

慣れ親しんだ測定環境

ソフトウェア、GUI、アルゴリズム開発環境、データ管理等、慣れ親しんだ Agilent 4070 の環境で、イールド・テストチップの測定を行うことができます。

最大限に装置を活用

必要に応じてイールド・テストチップの測定にも、通常のプロセス開発・プロセスモニタにも応用することができます。プローバ等の周辺装置やテストフロアを節約するだけでなく、装置を最大限活用することができますので、コストを抑えて効率的にイールド・テストチップを測定することが可能です。

次に、Agilent 4070 を高速化するためのテクニックを紹介します。

高速 Open/Short 測定のためのテクニック

擬似固定レンジ

Agilent 4070 に搭載された SMU は、フル・オートのリレンジ変更によって、fA から mA までデバイス特性に応じた最適な測定が可能です。しかし、高速 Open/Short の測定では、フル・オートのリレンジ変更は必ずしも必要ありません。あらかじめ期待される抵抗値がわかっている場合、

固定レンジを使って不要なレンジ変更を防ぎ、測定時間を短縮することができます。

Agilent 4070 では、測定レンジとコンプライアンスを適当に設定することによって、擬似的に固定レンジを実現します。コンプライアンスの設定を、リミテッド・オートレンジで指定した下限レンジと同じにすると、固定レンジとほぼ同等の動作となります。例えば $1\mu A$ の固定レンジにする場合、リミテッド・オートレンジで $1\mu A$ を下限レンジに設定し、コンプライアンスも $1\mu A$ に設定します。

高速 ADC

Agilent 4070 には、HR-ADC (高分解能 ADC) と HS-ADC (高速 ADC) の 2 種類の AD コンバータが搭載されています。性格の異なる AD コンバータを、測定によって使い分けることができます。HR-ADC は積分型の AD コンバータで、高精度な測定が可能であり、一方 HS-ADC はサンプリング型の AD コンバータで HR-ADC より高速な測定が可能です。

これらの AD コンバータに対して、Long, Medium, Short, Manual の 4 つの積分モードを指定できます。積分モードに加えて、AD コンバータの積分時間を指定することが可能です。HR-ADC に対しては積分時間を、HS-ADC に対し

ては、サンプリング数を指定します。Short モードを使用時には、ほとんどの場合、初期設定のまま積分時間は特に指定する必要はありません。

Agilent 4070 では、徹底したガードや先進の AD コンバータによって、一般にこのアプリケーションに必要なとされる μA 以上の電流領域では、HS-ADC の Short 積分モードを指定しても、十分精度のよい、高速な Open/Short 測定が可能となります。

[注]

ビア・チェーンのような比較的低い電流を要求する測定で、積分時間が初期設定のままでは精度良く測れないことがあります。要求される精度と測定スピードを見ながら、HS-ADC のサンプリング数を増減してみてください。一般に、精度と測定スピードは相反関係にあります。

ヒント:

さらに高速な測定が必要な場合、Manual 積分モードが使用できます。測定値のばらつきは大きくなるかもしれませんが、概ね Short モードより高速になります。Manual モードで、サンプリング数を 1 に設定すると、最も高速な設定となります。精度と測定スピードを見ながらサンプリング数を増減してください。

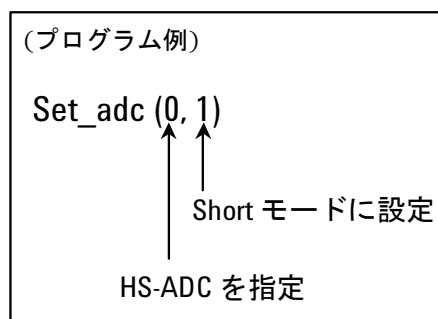


図 3 ADC の選択と積分モードの設定

フィルタ OFF

SMU のフィルタを OFF にすると、ON の時と比べて高速になります。Agilent 4070 の SMU は、フィルタが OFF でも出力波形のノイズやスパイクが低減されるように設計されています。

Measure_m で複数デバイス測定

複数の SMU で複数の抵抗を測定する場合、“Measure_m”コマンドを使用します。“Measure_m”では、最大 8 台の SMU まで、1 つのコマンドで測定できます。

“Measure_m”コマンドはスポット測定 of 繰り返しより高速になります。

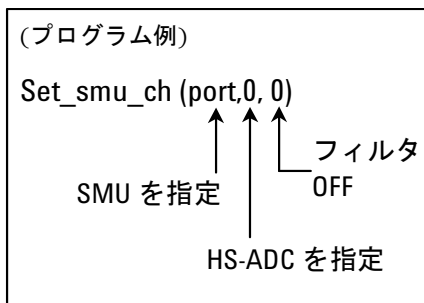


図 4 フィルタ設定

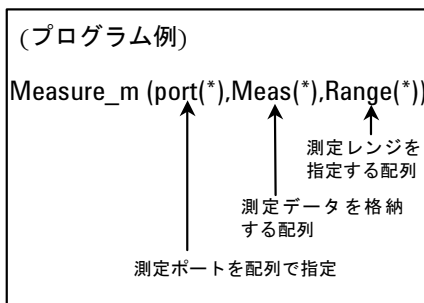


図 5 Measure_m 使用方法

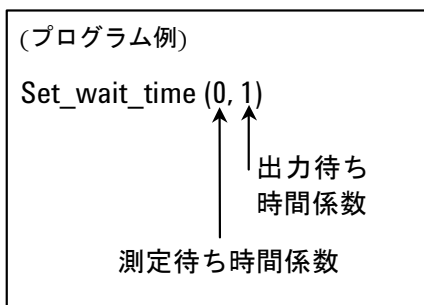


図 6 内部待ち時間調整方法

内部待ち時間の短縮

Agilent 4070 は、内部にあらかじめ決められた待ち時間を持っています。デバイスの特性から、追加で待ち時間を必要とする測定を除いて、通常この内部待ち時間により、安定した高精度な測定が可能です。待ち時間がそれほど必要ない測定では、“Set_wait_time”コマンドを使用して、内部待ち時間を短縮することができます。これにより、不要な待ち時間を省いた、より高速な測定が可能となります。

スポット測定では“Set_wait_time”コマンドの第 1 パラメータ（内部出力待ち時間）を図 6 のように 0 から 1 に変更します。

[注 1]

このパラメータの変更後、測定値がずれたり、安定しなかったりするときは、0 から 1 の間で適当に調整してください。

[注 2]

“Set_wait_time”の第 2 パラメータ（内部測定待ち時間）も同様に小さく設定することで、内部の待ち時間をより短縮することも

できます。ただし、測定値がずれたり、安定しなかったりすることがあります。その場合は、デバイスの特性に応じて、0 から 1 の間で適当に調整してください。

“Disable_port”の高速化

SMU の出力をリセットする場合、通常“Disable_port”コマンドが引数なしで使用されます。図 8 のように、引数に対象となるポートを指定すると、指定しない場合に比べて高速化されます。また、“Disable_port”コマンドを実行すると、レンジは常に 100 μ A レンジ（初期状態）にリセットされます。そのため、現在のレンジが 100 μ A レンジでない場合には、レンジ変更の時間がかかることになります。もし既に設定している擬似固定レンジを変更する必要がなければ、図 9 のように、“Force_v”を代わりに使用すれば、レンジの変更をせずに、電圧のみ 0 V に設定できます。

“Connect”の効果的使用法

測定ポートやピンを切り離す場合、通常“Connect”コマンドが引数なしで使用されます。図 10 の

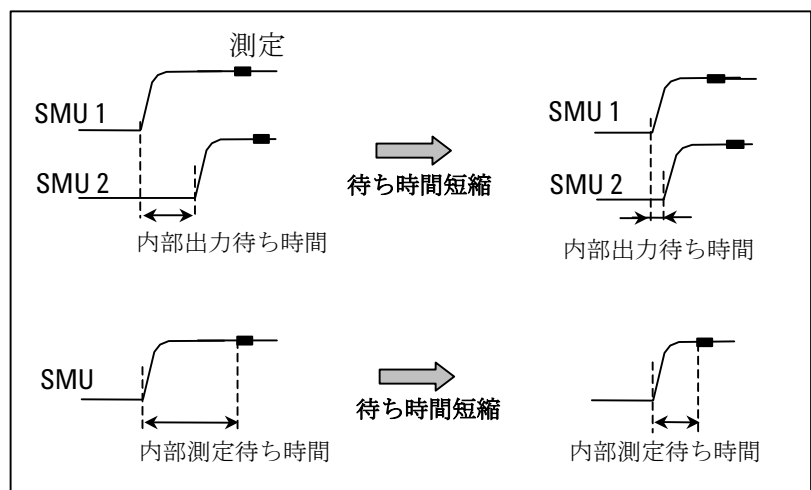


図 7 内部待ち時間の短縮

ように、引数に対象となるポートを指定すると、指定しない場合に比べて高速化されます。さらに出力電圧が 2V 以下で電流コンプライアンスが 10mA 以下であれば、出力を保ったまま、ピンの接続だけを切り替えることもできます。出力をリセットする時間を省き、測定時間が短縮できます。

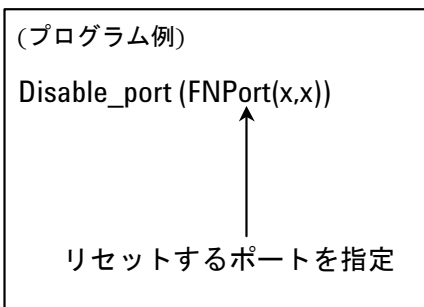


図 8 Disable_port の高速化

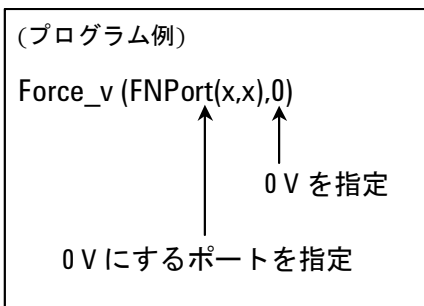


図 9 レンジ変更せずに 0V 出力

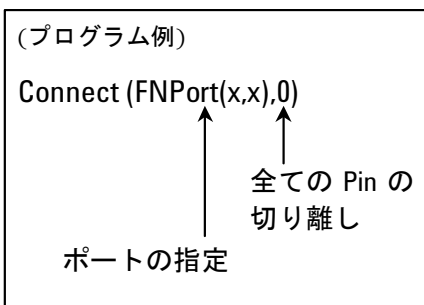


図 10 Connect の高速化

プロービング時間を考慮したデバイス・レイアウト

イールド・テストチップを Agilent 4070 で測定する時には、イールド・テストチップのデバイス・レイアウトも測定を高速化する上で重要な要素です。このイールド・テストチップは、例えば 256 パッドなど、通常、多数のパッドを持っています。そのため、全てのパッドにコンタクトするためには、複数回プロービングすることが必要となります。

測定スピードが非常に高速化されてくると、全体の測定時間に対してプロービング時間が無視できなくなってきます。Agilent 4070 は、最大 48 ピンまでピン数を拡張できますので、一回のプロービングでできるだけ多数のピンでコンタクトした方が、トータルのプロービング回数を節約でき、全体の測定時間を短縮できます。

また、測定はコンタクトしている最大 48 ピン内で行われるので、イールド・テストチップのデバイスは、この 48 ピンのブロックで測定できる必要があります。

紹介したテクニックを用いることによって、ロットあたりおよそ 2 時間弱でイールド・テストチップを測定できると試算しています。試算条件は以下の通りです。

テスト: Agilent 4073B
 測定レンジ: 100 μ A
 ウェハあたりのデバイス数: 10000
 ロットあたりのウェア数: 25
 (プローバの移動時間、ウェハ・ロードの時間を含みます)

[注]

これは参考データです。実際の測定時間は、デバイスや設定、プローバの移動時間等により異なります。

図 11 にプログラム例を示します。

まとめ

適当なチューニングすることにより、イールド・テストチップ測定に要求される μ A 程度までの高速 Open/Short 測定にも Agilent 4070 を適応できます。Agilent 4070 をイールド・テストチップの測定だけでなく、プロセス開発やプロセス・モニタにも利用できるのも、プローバ等の周辺装置を無駄なく最大限に活用できます。トータルのテストコストを抑えながら、Agilent 4070 は、イールド・テストチップによる早期歩留まり向上に貢献します。

参考文献

- [1] Christopher Hess, Howard Read, John Ren, Larg H. Weiland, Jainjun Cheng, Chock Gan, Hossein Karbasi, and Steven Winters, "Test Time Reduction Methods for Yield Test Structures", *Microelectronic Test Structures, 2003. International Conference on, March 17-20, 2003*, Page(s): 64-69
- [2] Christopher Hess, Brain E. Stine, Larg H. Weiland, Todd Mitchell, Martin P. Karnett, and Keith Gardner, "Passive Multiplexer Test Structure For Fast and Accurate Contact and Via Fail-Rate Evaluation", *Semiconductor Manufacturing, IEEE Transaction on, Volume: 16 Issue: 2, May 2003*, Page(s): 259-265

```

10  OPTION BASE 1
20  INTEGER Mports(8), I, J, N
30  REAL Measure(8), Range(8), R(47), I meas(47)
40  Vout=1
50  Comp=1.E-4
60  Ith=1.E8 ! Threshold Current Value
70  FOR I=1 TO 8
80    Range(I)=1.E-4 ! Measurement Range Array
90  NEXT I
100 !
110 FOR I=1 TO 8
120  Mports(I)=FNPort(0,I) ! Port Array
130 NEXT I
140 !
150 Set_adc(0,1,1) ! Set SHORT integration mode
160 Set_smu_ch(0,0,0) ! Set HS-ADC for all SMUs
170 Set_wait_time(0,1) ! Set internal wait time
factor
180 !
190 FOR I=1 TO 41 STEP 8
200 ! SMU connection
210  Connect(FNPort(0,1),I)
220  Connect(FNPort(0,2),I+1)
230  Connect(FNPort(0,3),I+2)
240  Connect(FNPort(0,4),I+3)
250  Connect(FNPort(0,5),I+4)
260  Connect(FNPort(0,6),I+5)
270  Connect(FNPort(0,7),I+6)
280  IF I<40 THEN
290    Connect(FNPort(0,8),I+7)
300  ELSE
310    Mports(8)=0
320  END IF
330 ! GNDU connection
340  Connect(FNPort(0,9),48)

```

```

350 ! apply voltage
360 Force_v(FNPort(0,1),Vout,20,Comp)
370 Force_v(FNPort(0,2),Vout,20,Comp)
380 Force_v(FNPort(0,3),Vout,20,Comp)
390 Force_v(FNPort(0,4),Vout,20,Comp)
400 Force_v(FNPort(0,5),Vout,20,Comp)
410 Force_v(FNPort(0,6),Vout,20,Comp)
420 Force_v(FNPort(0,7),Vout,20,Comp)
430 Force_v(FNPort(0,8),Vout,20,Comp)
440 !
450 Measure_m(Mports(*),Measure(*),Range(*))
460 !
470 N=7
480 IF I=41 THEN N=6
490 FOR J=0 TO N
500  I meas(I+J)=Measure(J+1)
510  IF ABS(I meas(I+J))<=Ith THEN
520    R(I+J)=9.E+99
530  ELSE
540    R(I+J)=Vout/I meas(I+J)
550  END IF
560 NEXT J
570 Connect(FNPort(0,1),0)
580 Connect(FNPort(0,2),0)
590 Connect(FNPort(0,3),0)
600 Connect(FNPort(0,4),0)
610 Connect(FNPort(0,5),0)
620 Connect(FNPort(0,6),0)
630 Connect(FNPort(0,7),0)
640 Connect(FNPort(0,8),0)
650 NEXT I
660 !
670 Disable_port(0)
680 Connect
690 END

```

図 11 プログラム例

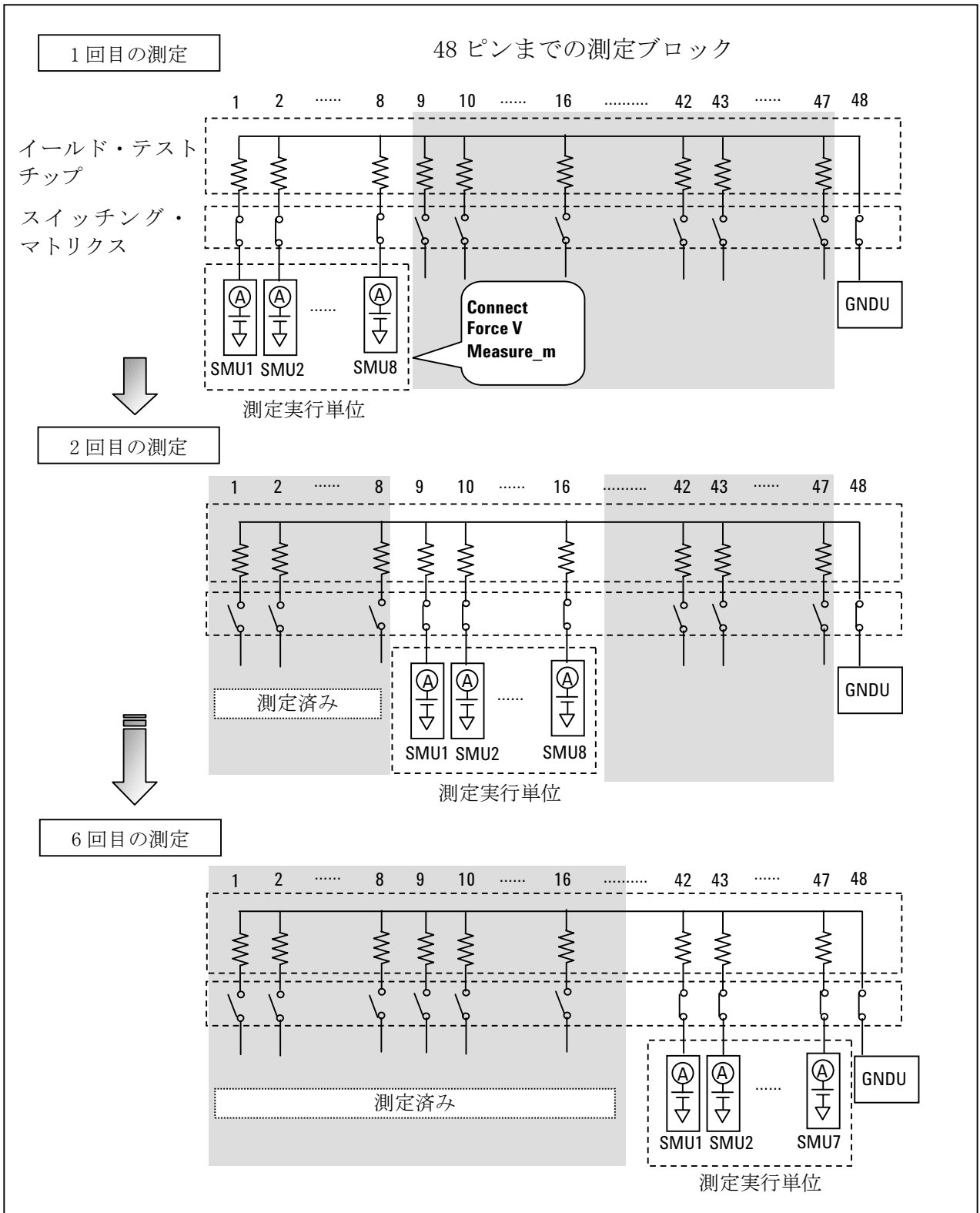


図 12 プログラム例における測定手法

アジレント・テクノロジー株式会社

本社 〒192-8510 東京都八王子市高倉町9-1

計測
お客様窓口

受付時間 9:00~19:00
(土・日・祭日を除く)
※FAXは24時間受け付け

TEL ☎ 0120-421-345
(0426-56-7832)

FAX ☎ 0120-421-678
(0426-56-7840)

E-mail: mac_support@agilent.com

電子計測ホームページ

<http://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 2003
アジレント・テクノロジー株式会社

Sep 8, 2003
5988-9870JAJP



認証番号： 81840



Agilent Technologies