

Agilent B1500A とナノプローバの活用による故障解析における電気測定の新しい応用

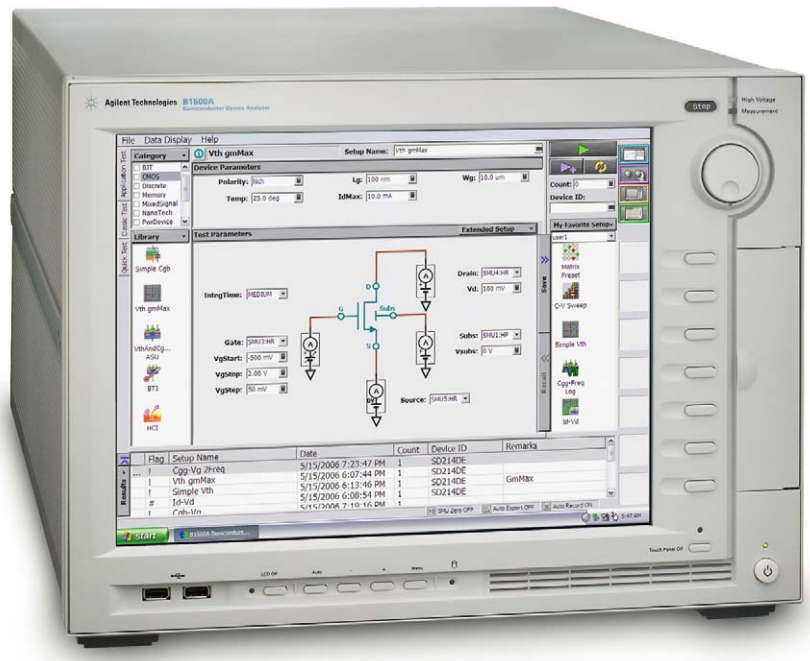
Application Note B1500-7

Agilent B1500A 半導体デバイス・アナライザ

はじめに

最近、ナノプローバといわれる新しいプロービング技術の発達あわせて、実デバイスに対する電気試験を故障解析に応用する試みが始まっています。このアプリケーションノートでは、典型的な故障解析例であり、プロセス開発時のもっとも重要なステップのひとつである SRAM の故障解析を例に、この新しい電気測定に関する Agilent B1500A 半導体デバイス・アナライザの応用について解説します。

従来のメモリの故障解析は、ロジックテスタで故障ビットを特定し、そのビットに対応するメモリセルを構成する複数のトランジスタや配線を SEM（走査型電子顕微鏡）、TEM（透過型電子顕微鏡）で観察して物理的に故障箇所を特定するものでした。しかし、SEM、TEM での検査は破壊検査であり、複数の故障箇所の候補から、1点を選んで行うために故障原因の特定には限界がありました。さらに、これら従来の物理的観察技術では、わずかな残渣や、ドーパント濃度異常といった電気的な故障には対応しにくく、最終的には何らかの電気試験に頼らざる負えないものでした。



一方、従来の電気試験は、パッドにプロービングする必要性から、通常は TEG (test element group) という電気試験用の簡単なデバイスを実デバイス間にあるスクライプラインに用意しておく必要があります。実デバイスの上の故障箇所を解析する場合には、プロービングすることができません。

このように、故障解析のための物理観察と電気試験には大きなギャップがあると言われてきました。

近年、SPM（走査プローブ顕微鏡）の技術の応用として、ピエゾ素子を用いた nm (10-9m) レベルでプロービングできるナノプローバが開発され、このギャップは埋



Agilent Technologies

まりつつあるといわれています。このアプリケーションノートでは、代表的なナノプローバの一つであり、SEM 観察下で微細な動きを制御することで実デバイスに直接コンタクトできる株式会社日立ハイテクノロジーズの日立微小デバイス特性評価装置ナノ・プローバ N6000 と Agilent B1500A を用いた新しい故障解析の手法について紹介します。

ナノプローバを用いた評価の問題点

適切な下処理が施された試料では、ナノプローバを用いることで、実デバイスのトランジスタ、配線といった測定対象を、個別に評価できます (図 1)。すなわち、ナノプローバを用いることで、図 1 のように実デバイスの中の個別のトランジスタを、TEG を用いた通常のパラメトリックテストと同じように、パッドなしで評価することができます。これは画期的な方法ですが、反面、システムの熱的不安定性、ピエゾ素子のクリープ動作から、ナノプローバの電気的接触を長時間維持することが難しいという問題があります。

Agilent B1500A 半導体デバイス・アナライザは、EasyEXPERT ソフトウェア内のライブラリとして用意されているアプリケーション・テストを用いることで、すばやいデバイスの評価が可能になり、この新しい故障解析法の困難さを和らげることができます。

以下の例では、NEC エレクトロニクス株式会社様にご提供いただいたデータを基に実際の故障解析の概略を説明し¹⁾、後半で SRAM に対する故障解析法の一般的なアプリケーション・テストの例を紹介します。

SRAM に対する故障解析例

SRAM の故障解析では、まずロジックテストでの動作確認により、問題のあるメモリセルは特定されます。しかし、セルの中の 6 つのトランジスタのどこに問題があるかは特定されません。通常の故障解析では、次のステップとして故障箇所を何らかの方法で想定

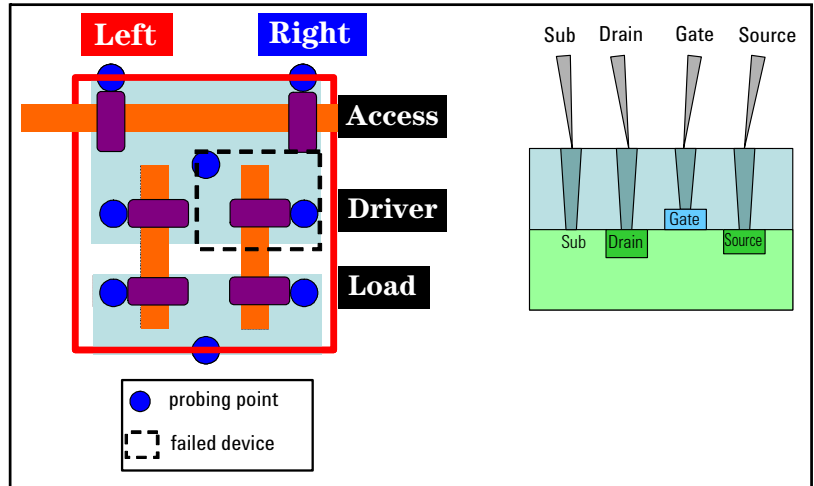


図 1. SRAM とプロービングの概略図

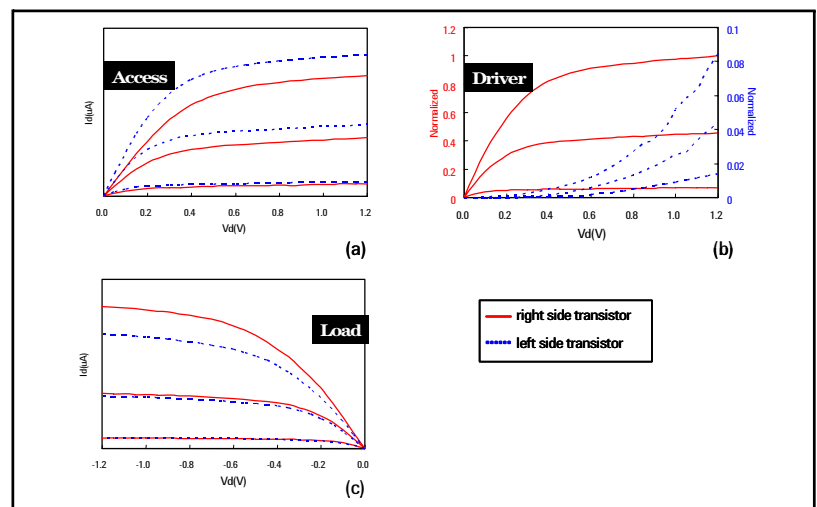


図 2. ナノ・プローバと B1500A で測定した I-V 曲線

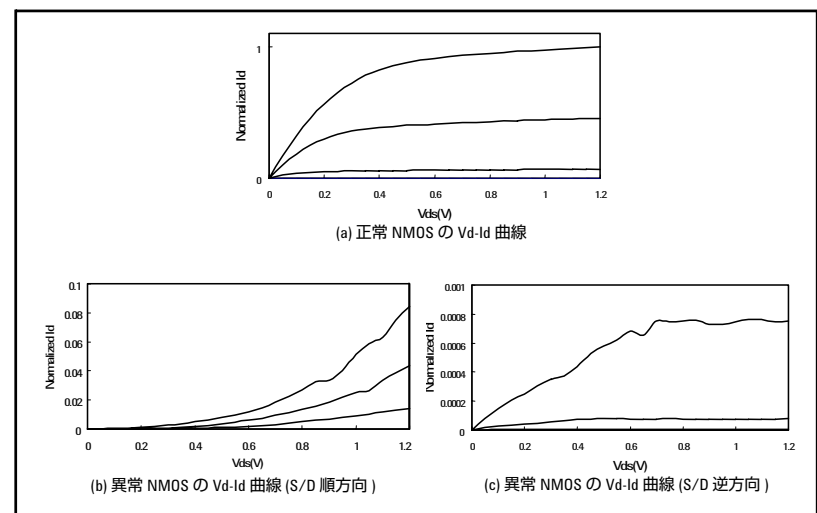


図 3. ドーパントプロファイル不良の故障解析のデータ

して TEM を用いた破壊解析を行います。しかし、故障原因を特定できない場合もあり、従来の故障解析手順では、電気試験と物理解析の間に大きなギャップがあると認識されています。図 1 のように、ナノプローバは故障が想定される SRAM の 6 つのトランジスタに直接プローブし、個別に電気的な評価を行うことができるので、このギャップを埋めることができる装置だと言われています。もちろん、TEG を用いたパラメトリックテストと同様のトランジスタ単体の評価解析を行うためには、トランジスタを分離、個別にコンタクトするために上層を剥がす必要がありますが、これは、通常の TEM、SEM を用いた故障解析で行う処理と同等のものです。ナノプローバでは、前述したシステムの不安定性からきちんとしたコンタクトを維持できる時間が限られており、迅速な測定が必要になります。そのため、既にテストアプリケーションが用意されており、簡単なパラメータ設定だけで、測定を開始でき、迅速な測定ができる B1500A は最適の測定系といえます。

図 2 は故障箇所として特定された SRAM のメモリセル内にある 6 個のトランジスタを B1500A とナノプローバを用いて測定した Id-Vd 曲線を示したものです。図 2(a) はアクセス用のトランジスタ、図 2(b) はドライバ用のトランジスタ、図 2(c) はロード用のトランジスタの測定例で、実線が左側、破線が右側のトランジスタのデータを示しています。これらのデータ

SRAM 故障解析に必要な測定アプリケーション

Agilent B1500A 半導体デバイス・アナライザには、100 以上のアプリケーション・テストが搭載されています。したがって、基本的な I-V 測定のような場合には、既存のアプリケーション・テストを使用することが可能です。しかしながら、条件分岐を含むような既存のアプリケーション・テストよりも複雑な評価を行う場合には、ユーザーは既存のものに変更を加えたり、新たに独自のアプリケーション・テストを作成したりすることができます。

からドライバ用の右側のトランジスタに故障があることが確認できます。

さらに詳細な解析を行うために、故障したトランジスタのソース (S) とドレイン (D) の役割を交換して、測定します。図 3(a) は正常なトランジスタの特性、図

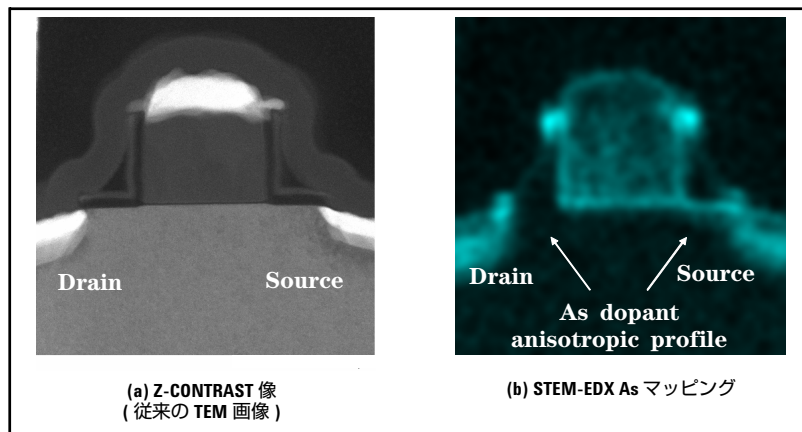


図 4. 異常 NMOS の断面図

3(b)、(c) は故障していると推定されるトランジスタの特性とプロービングは変えずに、B1500A 内でソース/ドレイン (S/D) の SMU 定義付けを交換した S/D の逆方向で測定したデータになります。S/D 順方向の場合には、正常値よりも一桁小さい電流しか流れず、I-V 曲線が下に凸になっています。一方、S/D の逆方向の場合には、I-V 曲線は上に凸になっているものの、正常値の 1000 分の 1 程度の電流しか流れません。

図 2 のデータは Id-Vd 測定の結果です。SRAM 中にある MOS トランジスタの評価に使用される I-V 測定としては、一般的に、Id-Vd 測定や Id-Vg 測定があげられます。

そこで、このアプリケーションノートでは、SRAM の故障解析用に、Id-Vd 測定または Id-Vg 測定を選択することができるアプリケーション・テスト例を紹介しま

さらに、デバイスシミュレータの結果と比べることで、このトランジスタの左側の電極直下の As ドーパント濃度が規定の値に達していないことが推定されます。これらの結果から、故障箇所と推定されるドライバ用のトランジスタの断面 TEM 像等を撮り確認しました。

図 4(b) は EDX (エネルギー分散型 X 線分析法) による As ドーパントの分布図で、電気試験による故障原因の推定を裏付けています。このような詳細な解析は、従来の断面 TEM による観察だけでは発見できないもので、この新しい電気測定による詳細な故障原因追求が、従来の故障解析より威力を発揮することを示しています。

前章でも述べているように、ファンクション・テストにおいて、複数のトランジスタを含む SRAM の故障が見つかった場合、故障解析では、その SRAM のメモリセルの中でどのトランジスタに故障箇所があるかを知ることが必要になります。その方法のひとつとして、電気特性評価があります。ナノ・プローブ・システムを用いることにより、個々の MOS トランジスタの端子にプローバの針を接続することができ、実デバイスの電気

特性 (I-V 測定) を評価することが可能です。また、ソースとドレインの SMU への割り当てを変更して、再度測定を行うことにより、実測の結果とシミュレーション結果を考察して、故障の原因を予測することが可能になります。

一般的に、SMU 定義付けを交換して測定を行う場合には、予め、定義付けの異なる 2 種類のセットアップを作成し、常に 2 パターンの測定を行うか、もしくは、まずは通常の測定を行い、異常なデータを示したトランジスタに対して、SMU 定義付けを変更したセットアップを作成するか、または接続を換えて、再度測定を行う必要があります。常に 2 パターンの測定を行う場合、本来必要のない測定までも行うこととなります。また、異常なデータを示したトランジスタに対してのみ 2 つ目の測定を行う場合でも、セットアップを変更するには時間がかかるため、ナノプローバの電氣的接触が安定せず、プロービングしな

おすこととなりますし、接続を換える場合にもプロービングしなおす必要があります。いずれにしても、測定に時間がかかってしまいます。

しかし、以下で紹介するアプリケーション・テストの例では、異常なデータを示したトランジスタに対して、即座にソースとドレインの SMU 定義付けを変更して測定することができるアルゴリズムを実現しています。これにより、故障解析に必要な測定を最小限の時間で行うことが可能となります。

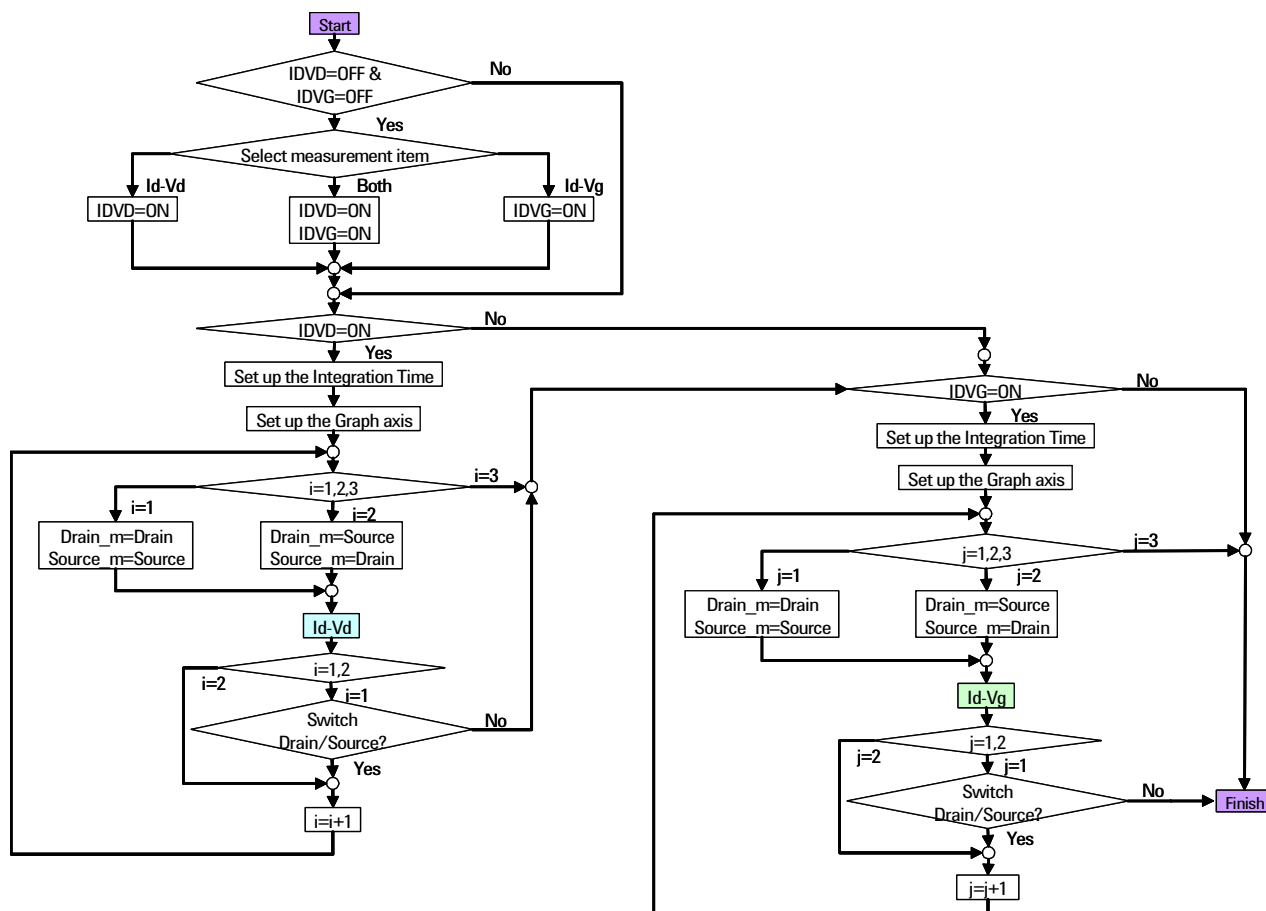


図 5. SRAM 故障解析用アプリケーション・テストのフローチャート

SRAM 故障解析用アプリケーション・テストの例

図 5 にこの SRAM 故障解析用アプリケーション・テスト例のフロー・チャートを示します。このプログラムの概要は以下のとおりです。

1. 測定項目を選択 (Id-Vd、Id-Vg 測定の両方もしくはいずれかを選択)
2. 積分時間の設定
3. グラフ画面の X 軸の設定
4. ソース/ドレインの SMU 定義付け (チャンネルの設定)
5. 測定の実行 (Id-Vd 測定、または Id-Vg 測定)
6. 測定結果を確認後、メッセージ・ボックスにて次に行う作業を選択
 - 6.a ソースとドレインを入れ替えて測定 (上記 4、5 を繰り返す)
 - 6.b 終了

* 1 で両方の測定を選択した場合には、Id-Vd 測定後、Id-Vg 測定に対して 2～6 のステップを繰り返す。

このアプリケーション・テスト定義のメイン・ウィンドウと Extended Setup 画面を図 6 に示します。メイン・ウィンドウでは、測定項目の選択、トランジスタの各端子に対するチャンネル設定、及び測定条件の設定ができます。EasyEXPERT のメイン・ウィンドウにおいて、これらのパラメータを設定するだけで、測定が可能です。

このアプリケーション・テストの測定結果の例を図 7 に示します。

これらのデータは自動的に Results のリストエリアに保存されます。初期設定の状態では、Results のリストエリアには、最後に表示された Data Display を含むアプリケーション・テストの行のみが表示されます。しかし、"Results > Filter > Expand Application Test Results" メニューを選択することによって、図 8 のように、すべてのデータがリストエリアに表示されます。

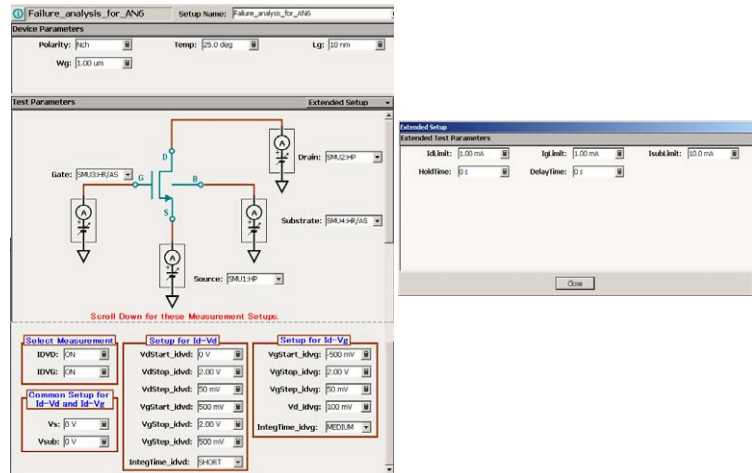


図 6. SRAM 故障解析用アプリケーション・テストのメイン・ウィンドウと Extended Setup 画面

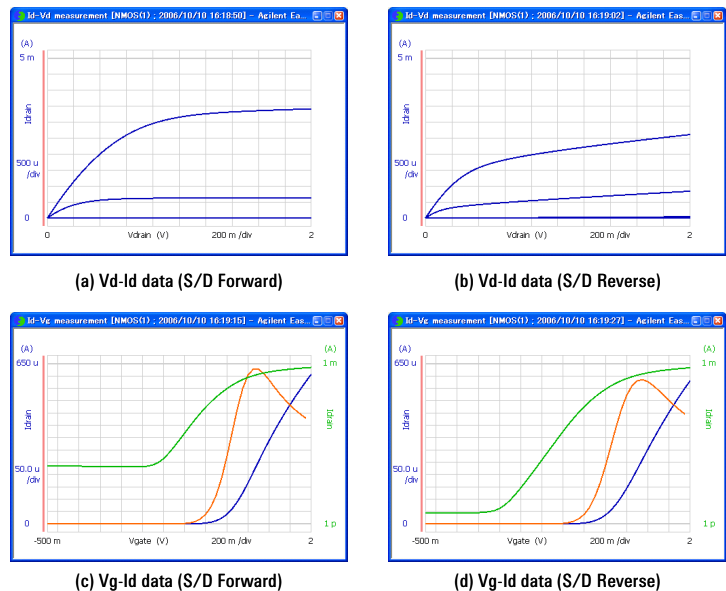


図 7. SRAM 故障解析用アプリケーション・テストの測定結果 (Data Display) 例

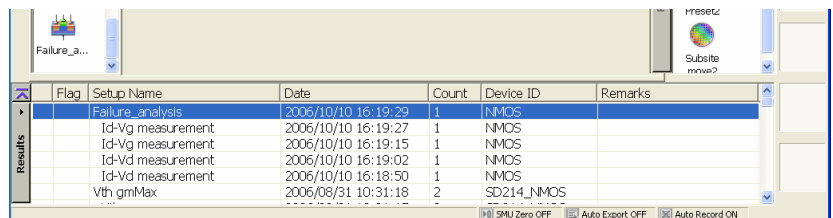


図 8. 拡張後のリストエリア

まとめ

このアプリケーションノートで取り上げたドーパント異常のような故障解析は、従来の物理的観察技術による故障解析手法では発見することが非常に困難でしたが、ナノプローバを用いた解析によって、より短時間で簡単に発見することが可能になります。今まで測定できなかった実デバイスを構成する単体トランジスタを **B1500A** とナノプローバを用いてソース、ドレイン、ゲート、基板というようにプロービングすることで、**TEG** に対して行ってきたパラメトリックテストと同様の電氣的評価が可能になります。このことは、実デバイスでの故障解析においても、詳細な電氣的評価が可能になり、今まで見つけにくかった電氣的性能にのみ現れるような故障原因をもきちんと評価できるようになることを意味します。このような新しい故障解析に対して、専用のアプリケーション・テストを含む **B1500A** とナノプローバが最適の環境を提供します。

このアプリケーションノートで紹介した **SRAM** 故障解析用のアプリケーション・テスト定義は、アジレントの **B1500A Web** サイト (<http://www.agilent.com/see/B1500A>) からダウンロードできます。

参考文献

- 1) 国宗依信、LSI テストシンポジウム 2005 会議録、pp329, 2005

この頁は意図的に白紙を使用しています。

サポート、サービス、およびアシスタンス

アジレント・テクノロジーが、サービスおよびサポートにおいてお約束できることは明確です。リスクを最小限に抑え、さまざまな問題の解決を図りながら、お客様の利益を最大限に高めることにあります。アジレント・テクノロジーは、お客様が納得できる計測機能の提供、お客様のニーズに応じたサポート体制の確立に努めています。アジレント・テクノロジーの多種多様なサポート・リソースとサービスを利用すれば、用途に合ったアジレント・テクノロジーの製品を選択し、製品を十分に活用することができます。アジレント・テクノロジーのすべての測定器およびシステムには、グローバル保証が付いています。アジレント・テクノロジーのサポート政策全体を貫く2つの理念が、「アジレント・テクノロジーのプロミス」と「お客様のアドバンテージ」です。

アジレント・テクノロジーのプロミス

お客様が新たに製品の購入をお考えの時、アジレント・テクノロジーの経験豊富なテスト・エンジニアが現実的な性能や実用的な製品の推奨を含む製品情報をお届けします。お客様がアジレント・テクノロジーの製品をお使いになる時、アジレント・テクノロジーは製品が約束どおりの性能を発揮することを保証します。それらは以下のようなことです。

- 機器が正しく動作するか動作確認を行います。
- 機器操作のサポートを行います。
- データシートに載っている基本的な測定に係わるアシストを提供します。
- セルフヘルプ・ツールの提供。
- 世界中のアジレント・テクノロジー・サービス・センタでサービスが受けられるグローバル保証。

お客様のアドバンテージ

お客様は、アジレント・テクノロジーが提供する多様な専門的テストおよび測定サービスを利用することができます。こうしたサービスは、お客様それぞれの技術的ニーズおよびビジネス・ニーズに応じて購入することが可能です。お客様は、設計、システム統合、プロジェクト管理、その他の専門的なサービスのほか、校正、追加料金によるアップグレード、保証期間終了後の修理、オンサイトの教育およびトレーニングなどのサービスを購入することにより、問題を効率的に解決して、市場のきびしい競争に勝ち抜くことができます。世界各地の経験豊富なアジレント・テクノロジーのエンジニアが、お客様の生産性の向上、設備投資の回収率の最大化、製品の測定精度の維持をお手伝いします。



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。

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

(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
(0426-56-7832)
(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 2006

アジレント・テクノロジー株式会社



Agilent Technologies

November 4, 2006
5989-5927JAJP
0000-00DEP