

Keysight Technologies

B1505Aによる1500 A/10 kV ハイパワー MOSFETの特性評価

Application Note



B1505Aパワー・デバイス・アナライザ/
カーブトレーサ

N1265A超大電流エクスペンダ/
フィクスチャ
N1266A HVSMU電流エクスペンダ

N1268A超高電圧エクスペンダ

はじめに

Keysight B1505Aパワー・デバイス・アナライザ/カーブトレーサは、ハイパワー MOSFETなどのデバイスの測定と特性評価のための強力なツールです。B1505Aは、広い測定範囲(1500 A、10 kV)と高度な機能を備えた、効率的なパワー・デバイス測定ソリューションです。

B1505Aは、測定範囲を大幅に拡大するいくつかの新しい外部モジュールをサポートしています。最大出力1500 Aの超大電流ユニット(UHCU)、最大出力範囲2.5 A/2200 Vの高電圧中電流ユニット(HVMCU)、最大出力10 kVの超高電圧ユニット(UHVU)があります。これらのユニットを用いて、ハイパワー MOSFETなどのパワー・デバイスの特性評価を、最先端の確度、柔軟性、操作性で行うことができます。

測定範囲の拡大により、B1505Aは、図1に示すようにほとんどのパワー・デバイスを測定できます。この図は、ハイパワー・アプリケーション用の代表的なB1505Aモジュールの電圧対電流の出力範囲を示しています。

UHCUモジュールとHVMCUモジュールには10 μ sのハイパワー・パルス発生機能があり、デバイスの自己加熱効果を抑制して正確な測定が可能です。

B1505Aでは、キャパシタンス対電圧(CV)測定も最大3 kVのDCバイアスまで正確に行うことができます。B1505Aを使えば、パワー MOSFETのキャパシタンス・パラメータの直接測定も簡単に行えます。

B1505Aは柔軟性が高く、アップグレードが可能なプラットフォームなので、現在のテストに必要な最小構成から導入を始められます。将来、要求が高くなったり変化した場合には、必要なモジュールを追加して構成をアップグレードできます。初期投資と将来の投資の両方を最小限に抑えられます。

EasyEXPERTは、B1505A上で動作するGUIベースのソフトウェアです。カーブトレーサ・モードでは、手動/リアルタイムの掃引制御をサポートしています。EasyEXPERTはパワー MOSFETパラメータの自動抽出をサポートしているので、測定後に面倒な計算を行う必要がありません。

これらの機能により、B1505Aは、従来のカーブトレーサに代わる強力なツールになり、テスト効率と測定確度が向上します。

このアプリケーション・ノートでは、B1505Aを使用してハイパワー MOSFETの代表的なDCパラメータを測定する方法を紹介します。

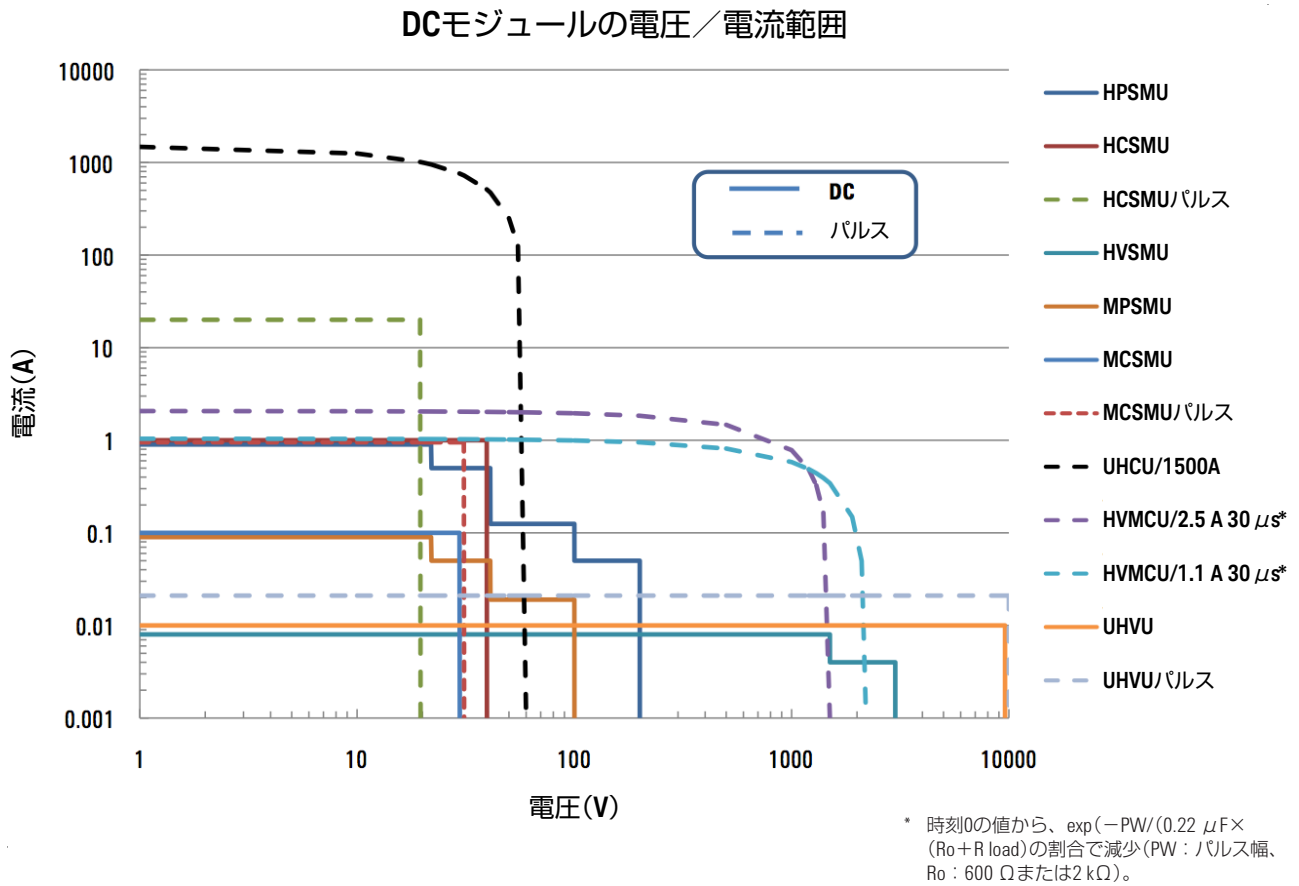


図1. B1505Aの出力範囲。

代表的なハイパワー MOSFETのパラメータ

代表的なパワー MOSFETのデータシートに記載されているDCパラメータ／キャパシタンス・パラメータを表1に示します。右端の列は、各パラメータに対応するB1505Aの測定範囲を示しています。

従来、これらのパラメータを測定するには、高価な製造用パワー・デバイス・テスタか、カーブトレーサ、CVメータ、DCバイアス電源などの複数の測定器を組み合わせ使用する必要がありました。B1505Aの登場により、すべてのパラメータの測定が1台の測定器で簡単に行えるようになりました。

表1. パワー MOSFETの代表的なDC/キャパシタンス・パラメータとB1505Aの測定範囲

代表的なパワー MOSFETのパラメータ	記号	単位	測定 ¹	代表的な測定モジュール	B1505Aの代表的な測定範囲
ドレイン-ソース間ブレイクダウン電圧	V(BR)DSS	V	Id-Vd	HVSMU	-3 kV ~ 3 kV ² (200 μ Vの最小分解能)
ドレイン電流(DC)	ID	A	Id-Vd	HPSMU	-1 A ~ 1 A (10 pAの最小分解能)
ドレイン電流(パルス)	IDP、IDM	A	Id-Vd	UHCU	-1500 A ~ 1500 A ³ (2 mAの最小分解能)
ドレイン-ソース間漏れ電流	IDSS	A	Id-Vd	HVSMU	-8 mA ~ 8 mA ⁴ (10 fAの最小分解能)
ゲート-ソース間電圧	VGSS	V	Ig-Vg	MCSMU	-30 V ~ 30 V ⁵ (0.2 μ Vの最小分解能)
ゲート-ソース間漏れ電流	IGSS	A	Ig-Vg	MCSMU	-100 mA ~ 100 mA ⁶ (10 pAの最小分解能)
ゲートのしきい値電圧／カットオフ電圧	VGS(th) VGS(off)	V	Id-Vg (Vd=Vg) Id-Vg (Vds)	SMUs	-30 V ~ 30 V ⁷ (0.2 μ Vの最小分解能)
順方向伝達アドミタンス、または順方向相互コンダクタンス	yfs Gfs	S	Vd-Id (Vds)	UHCU	1 mS ~ 1000 S ⁸
静的ドレイン-ソース間抵抗	RDS(on)	Ω	Vd-Vg (Id)	UHCU	100 $\mu\Omega$ 未満 ⁹
ダイオード順方向電圧	VSD	V	Is-Vs	UHCU	-10 V ~ 10 V ¹⁰ (100 μ Vの最小分解能)
ソースドレイン間電流	ISD	A	Is-Vs	UHCU	~ 1500 A ³
入力容量	Ciss	pF	C-V	あり	1%未満 (C < 10 nF) ¹¹
出力キャパシタンス	Coss	pF	C-V	あり	1%未満 (C < 10 nF) ¹¹
逆方向伝達キャパシタンス	Crss	pF	C-V	あり	1%未満 (C < 10 nF) ¹¹

1. パラメータの抽出に用いられる測定。
2. 4 mA/3 kV。HVMCU使用時、100 mA/2 kV以上。UHVUを使用すれば10 kVまで拡張可能。
3. 1500 A(UHCU)、20 A(HCSMU)、2 A(HVMCU)。
4. 最大4 mA/3 kV。HVMCU使用時、100 mA/2 kV以上。
5. 30 V(MCSMU)、200 V(HPSMU)、100 V(MPSMU)。
6. 30 V(MCSMU)。
7. Ic : 50 mA(MPSMU) (Vc < 40 V)、1000 A(UHCU) (Vc < 20 V)。
8. 経験則(例 : 1 mA/1 V ~ 1 A/1 mV)。
9. 経験則(例 : 1 mV/10 A)。
10. 10 V(Ic < 1250 A)、3 V(Ic < 1400 A)、1 V(Ic < 1500 A)、すべて代表値。
11. 高電圧バイアス・ティー・アダプタによる最大3 kVのDCバイアス。

代表的な ハイパワー MOSFETの パラメータ測定

B1505Aで、代表的なハイパワー MOSFETのパラメータ測定が簡単に行えます。次のセクションでは、表1のハイパワー MOSFETパラメータのうち、いくつかの測定方法を説明します。

複数のテスト・モード

B1505Aでは4つのテストモード(トレース・テスト、アプリケーション・テスト、クラシック・テスト、クイック・テスト)が使用できます。各テスト・モードにはそれぞれ固有の機能があります。以下にその概要を示します。

トレース・テスト・モードには手動のカーブ・トレース・インタフェースが用意され、測定中にB1505Aのフロント・パネル・ノブを使用してリアルタイムでパラメータを変更できます。

トレース・テスト・モードには、従来のカーブ・トレースにはない独自の機能があります。例えば、マーカやラインを正確に曲線上に配置する機能や、画面イメージをPC互換のフォーマットでキャプチャする機能などです。

アプリケーション・テスト・モードには定義済みのテストのライブラリが用意され、一般的なデバイス・テスト(I_d - V_{ds} 測定など)用の測定器パラメータを手動で設定する必要がありません。ユーザは、空白を埋めるだけのわかりやすい手順で測定を実行できます。測定ボタンをクリックするだけで、測定が実行され、パラメータが自動的に抽出されます。

クラシック・テスト・モードでは、EasyEXPERTソフトウェアのすべての測定／解析機能を利用できます。トレース・テスト・モードで作成した測定セットアップをクラシック・テスト・モードにインポート

して、自動解析計算を追加することができます。得られたクラシック・テスト・セットアップは、手動テストにも自動テストにも使用できます。

クイック・テスト・モードでは、トレース・テスト、アプリケーション・テスト、クラシック・テストの各モードで作成したテスト・セットアップを、プログラミングなしで簡単に自動化することができます。EasyEXPERTに付属するウェーハ・プローバ・ドライバを使用して、テスト・フィクスチャ用とウェーハ全体に対するオンウェーハ・テスト用の両方のテスト・シーケンスを自動化できます。

測定例

これらのテスト・モードを使用したハイパワー MOSFETパラメータ抽出の例を以下に示します。

1. 出力特性： I_d - V_{ds}

図2に、ハイパワー MOSFETの I_d - V_{ds} 出力特性のトレース・テスト・モード測定を示します。

この例は、トレーサ・テスト・モードのノブ掃引機能により、掃引の最大ドレイン電圧を測定中にリアルタイムで手動制御できることを示しています。ノブ掃引が特に便利なのは、ドレインの電圧や、ドレイン／ゲートの電流を求める場合です。これらのパラメータは、同じデバイス・タイプでも一般的に異なるからです。

図2に示す測定は、パワー・コンプライアンス(赤い線で表示)を3.5 kWに設定して実行されています。これは、デバイスのパルスモードの最大パワー定格(SOAリミット)を超えないようにするためです。

2本の白い点線は、それぞれ出力電圧と電流のコンプライアンス・リミットを示しています。デバイスを大電流と低電圧で測定できますが、小電流測定領域では最大電圧リミットを考慮する必要があります。

電流コンプライアンスを設定すれば、デバイスの最大電流定格を超えるのを防ぐことができます。

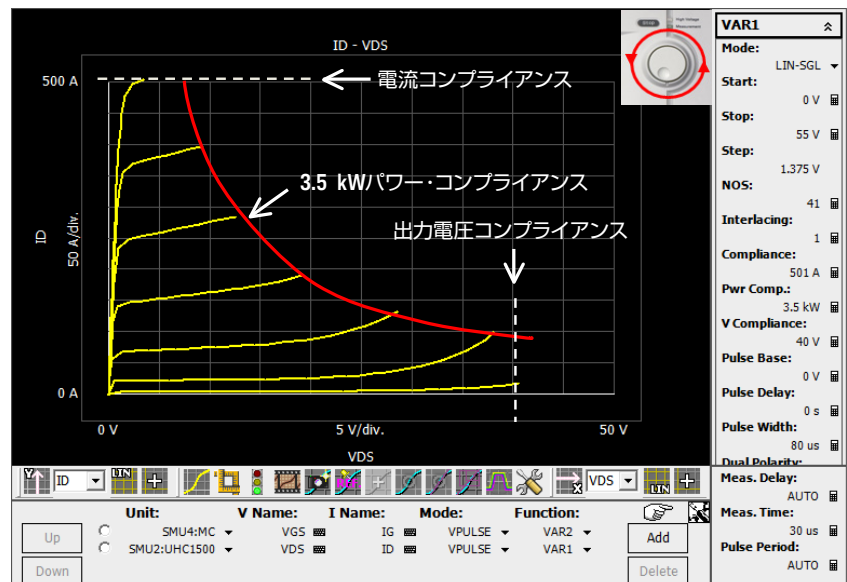


図2. I_d - V_{ds} トレース・テスト(UHCU)

2. 大電流特性：Id-Vds

図3は、代表的なハイパワー MOSFETの Id-Vds大電流特性です。

このグラフでマーカが設定されているポイントの読み値は、2.52 V、1,342 Aです。

最大UHCU出力電圧は60 Vに設定されています。ただし、実際にDUTに印加される電圧は設定電圧と同じではありません。UHCUの出力抵抗(代表値40 mΩ)から生じる電圧降下を考慮する必要があります。小電流領域で不要な測定を避けるために、電圧コンプライアンス(V limit)を4.5 Vに設定しています。

3. オン特性：Rds-Vgs

ドレイン-ソース間オン特性(Rds-Vgs)は、スイッチング・アプリケーションで重要なパラメータです。図4に、50 Aから200 Aまで50 A間隔、4つの定ドレイン電流パラメータで測定したRd-Vgs ON特性を示します。

グラフでマーカが設定されている位置は10 Vで、すべてのIdでRds値は1.6 mΩです。

測定は、UHCUを定電流源としてドレインに接続して行います。従来のカーブトレーサには電圧源モードしかないため、一定の電流を印加することは不可能でした。従来、この測定には、非常に高価な製造用パワー・デバイス・テストが必要でした。B1505AのUHCUなら、この測定が簡単に行えます。

Rdsは、EasyEXPERTの数値演算機能 (Rev.5以上でサポート)で計算しています。

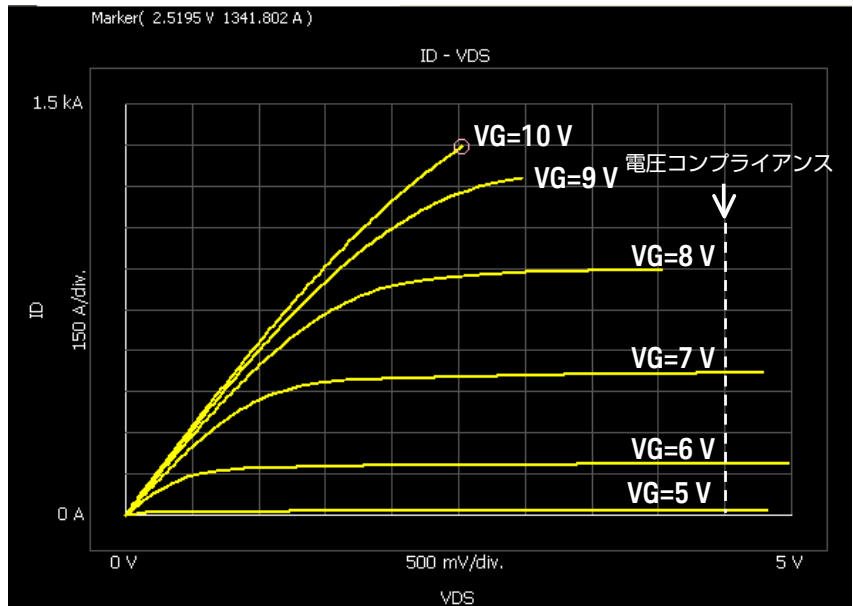


図3. ハイパワー MOSFETの大電流出力特性(UHCU)

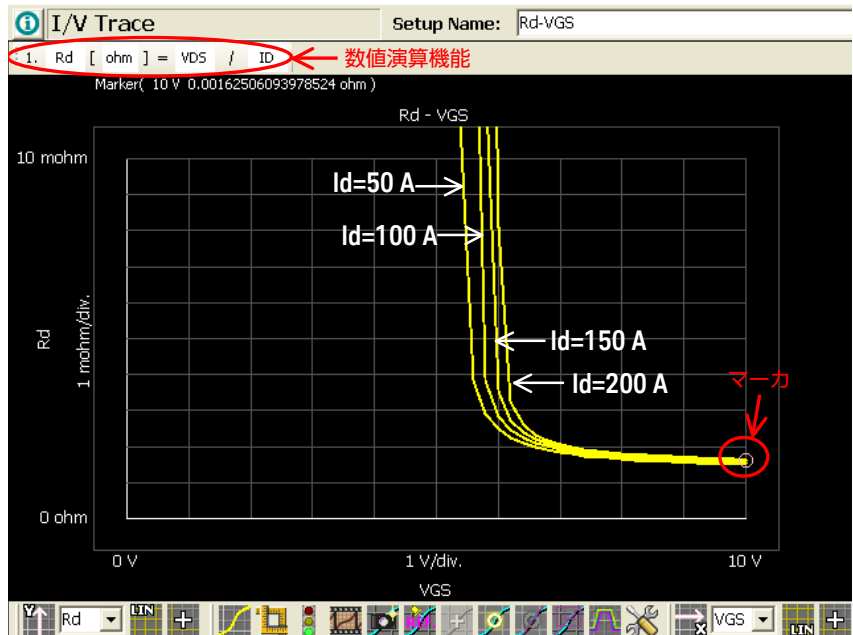


図4. ハイパワー MOSFETのRd-Vgsオン特性(UHCU)

4. 高電圧MOSFETの ブレイクダウン近傍特性

図5は、HVMCUで測定した高電圧MOSFETのブレイクダウン近傍の特性です。

黄色のグラフは、テスト・デバイスのブレイクダウン電圧を超えないように、1.6 kVのコンプライアンス電圧を設定して測定しています。青いグラフは、デバイスの実際のブレイクダウンを示す基準トレースです。このように電圧コンプライアンスを設定すればブレイクダウン近傍の特性を測定することができ、実際のブレイクダウンを回避することができます。HVMCUの出力段には、2 kΩ (2200 Vレンジ)の出力抵抗が内蔵されています。デバイスが突然、破損した場合も、安全にブレイクダウン測定を行うことができます。

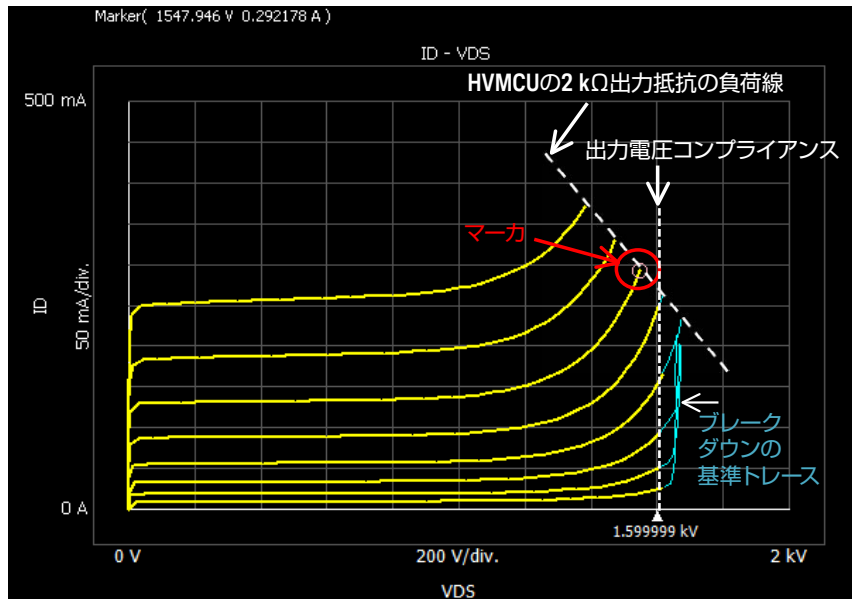


図5. 高電圧MOSFETのブレイクダウン近傍特性 (HVMCU)

HVMCUの高電圧領域における中電流測定機能は、高温で漏れ電流をテストする場合にも有用です。

5. Id-Vgs伝達特性

Id-Vgs測定は通常、一定のドレイン電圧で行われます。

カーブトレーサには固有の出力抵抗があり、出力抵抗による電圧降下がIRだけ生じるため、ドレイン電流が変化する場合はカーブトレーサで一定の電圧を供給することはできません。

B1505AのEasyEXPERTの標準ライブラリにはId-Vgsアプリケーション・テストがあり、出力抵抗による電圧降下を自動的に補正してくれます (図6を参照)。

注記：図6で、左側のウィンドウはテスト・パラメータのセットアップGUI、右側のウィンドウは測定結果です。

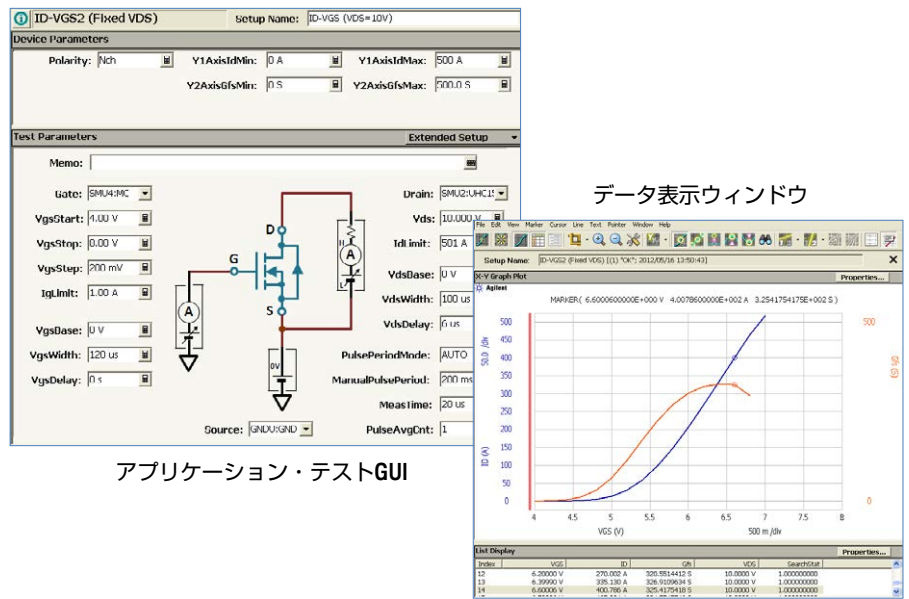


図6. アプリケーション・テストを使用したハイパワー MOSFETのId-Vgs伝達特性

6. ブレークダウン・テスト

図7はHVSMUを使用したブレークダウン・テストです。この測定では、テスト・フィクスチャの内蔵100 kΩ抵抗を使用しています。単純な数値演算機能で、抵抗による電圧降下を除去しています。

黄色のグラフは、元の青いグラフから100 kΩ抵抗による電圧降下を除去した後の真のブレークダウン特性です。

注記：内蔵の100 kΩ直列抵抗を用いる利点は、負性抵抗やスナップ・バックが見られるようなブレークダウン特性の測定ができることです。

HVSMUの3 kVが十分でない場合には、UHVUを使用してテスト電圧を10 kVまで拡張できます。



図7. ブレークダウン・テスト(HVSMU)

その他の機能

オシロスコープ・ビュー

EasyEXPERT (Rev. 5以上)は、B1505A上でオシロスコープ・ビューをサポートしています(図8を参照)。これにより、パルス測定波形を2 μsの分解能でモニタできます。

これには以下の機能があります。

- I/V曲線とパルス波形の同時表示。
- 任意のポイントでの測定パルス波形のモニタ
- マーカ・ラインによる電圧と電流の読み取り。
- 測定中にパルス測定条件を変更し、結果の波形をその場で確認可能。

ドレインに印加された大電流信号に寄生成分(テスト・セットアップのケーブルのインダクタンスなど)による歪みが生じ、予期しない測定結果になることがあります。

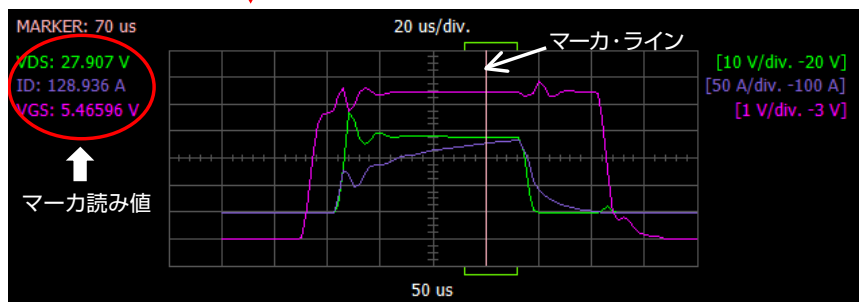
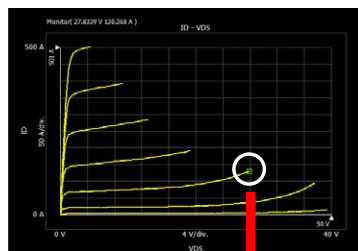


図8. オシロスコープ・ビュー

オシロスコープ・ビューを使えば、ドレイン信号とゲート信号の相対位置だけでなく、正確な波形形状もわかるので、このような問題を防ぐことができます。これにより、タイミング・パラメータを調整して最適な測定条件を実現できます。

特長

- I/V曲線とパルス波形の同時表示。
- 任意のポイントにおける測定パルス波形のモニタ。
- マーカ・ラインによる電圧と電流の読み取り。
- 測定中にパルス測定条件を変更しながら、結果の波形をその場で確認可能。

オシロスコープ・ビューにより、デバッグ時間が短縮され、効率が上がります。

ドレイン供給セレクト

ハイパワー MOSFET測定では、ドレインに対応できる広い電圧／電流範囲が要求されます。すなわち、図9のようにテスト・モジュールを切り替える必要があります。

図9に、N1265A UHCエキスパンダ／フィクスチャのモジュール・セレクトを単純化したブロック図を示します。これを使えば、測定のタイプに応じてケーブルを手動でつなぎ替える手間を省けるだけでなく、操作ミスもなくなります。

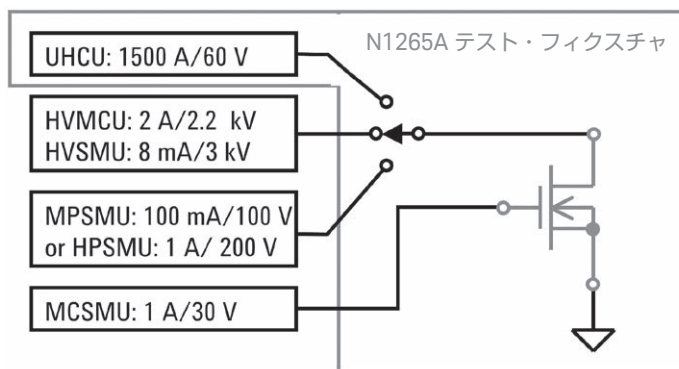


図9. ケーブル接続を変更せずに最大1500 A、3 kVを出力可能。

指定されたテストに応じて、EasyEXPERTソフトウェアが自動的に適切なモジュールを選択します。

オンウェーハ測定

オンウェーハ測定は、200 A以上、最大10 kVまでサポートされています。最大電流は、B1505Aではなくウェーハ・プローバのプローブ・ニードルによって制限されます。

オプションのN1254A-524超大電流プローバ・システム・ケーブルは、500 A/3 kVまでサポートしています。図10に、この延長ケーブルを使用したウェーハ・プローバ接続を示します。この延長ケーブルは、恒温室内の超大電流測定にも使用できます。

注記：3 kV～10 kVの範囲を測定するには、モジュール・セレクトをバイパスして、UHVUを直接DUTに接続する必要があります。

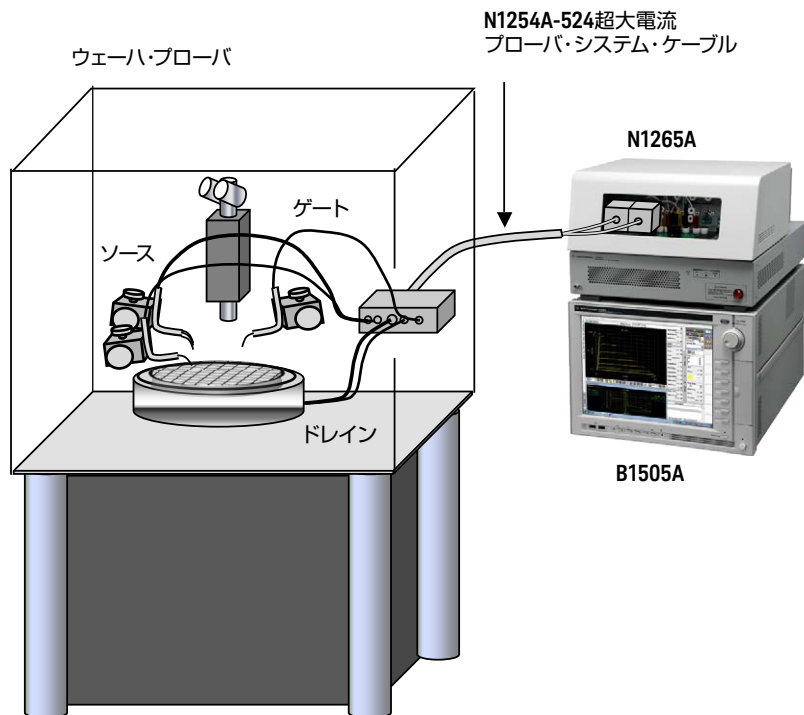


図10. N1254A-524超大電流プローバ・システム・ケーブルを使用したプローバ接続。

まとめ

このアプリケーション・ノートでは、市販のハイパワー MOSFETのデータシートに記載されている代表的なDCパラメータをB1505Aで測定する方法を紹介しました。

B1505Aのテスト・モードには、トレーサ・テスト・モード、アプリケーション・テスト・モード、クラシック・テスト・モード、クイック・テスト・モードの4つがあります。これにより、デバイスの評価のためのさまざまなオプションが利用でき、測定の柔軟性が高まります。

B1505Aの測定範囲は、最大10 kV/1500 Aです。

N1265Aの内蔵セレクトで、簡単にモジュールの切り替えができ、パワー MOSFETのドレイン供給ができます。オンウェーハ測定では、最大10 kV、200 A以上をサポートしています。

オシロスコープ・ビューは強力な機能で、外部オシロスコープではできなかった機能を実現しています。このツールを使用して、測定セットアップの作成とパラメータの確立を行うことにより、信頼性の高い正確なデバイス測定が行えます。

これらの機能とB1505Aのさまざまなデータ解析機能を組み合わせれば、パワー MOSFET測定で、従来のカーブトレーサをはるかに超える最先端のツールを実現できます。

myKeysight

myKeysight

www.keysight.co.jp/find/mykeysight

ご使用製品の管理に必要な情報を即座に手に入れることができます。



www.keysight.com/go/quality

Keysight Electronic Measurement Group

DEKRA Certified ISO 9001:2008

Quality Management System

契約販売店

www.keysight.co.jp/find/channelpartners

キーサイト契約販売店からもご購入頂けます。

お気軽にお問い合わせください。

キーサイト・テクノロジー合同会社

本社 〒192-8550 東京都八王子市高倉町9-1

計測お客様窓口

受付時間 9:00-18:00 (土・日・祭日を除く)

TEL ☎ 0120-421-345 (042-656-7832)

FAX ☎ 0120-421-678 (042-656-7840)

Email contact_japan@keysight.com

ホームページ www.keysight.co.jp

記載事項は変更になる場合があります。

ご注文の際はご確認ください。