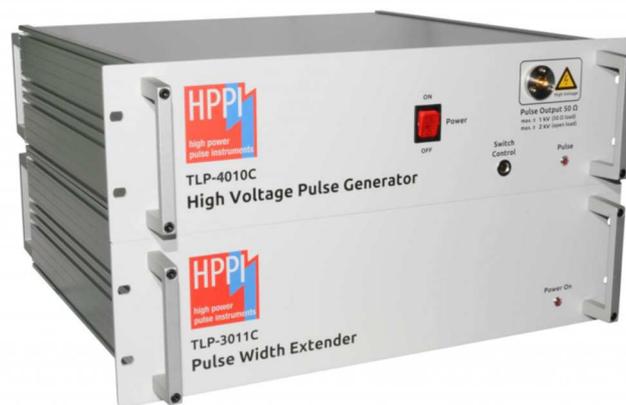
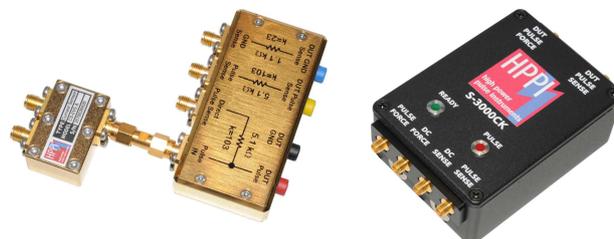


## 1 特徴

- ・ ウェハーとパッケージレベルの TLP/VF-TLP/HMM テストを実施
- ・ 高速、高電圧の 50Ωパルス出力、標準 100ps の立ち上がり時間
- ・ 最大±10kV の内蔵 HMM (IEC61000-4-2) パルス
- ・ 最大±40A の高パルス電流出力
- ・ オシロスコープ用の高速 50Ωトリガー出力 (高電圧パルス出力に同期)
- ・ 6 種類のプログラム可能なパルス立ち上がり時間：100ps~50ns
- ・ 8 種類のプログラム可能なパルス幅 (オプションで 9 種類)：0.5ns (オプション) , 1ns~100ns
- ・ オプションのパルス幅拡張器により、プログラム可能な 68 ステップで最大 1.6μs までパルス幅を拡張可能
- ・ パルス間で 1 点の DC 計測を含む、パルス毎 0.2s (標準) のパルス高速計測時間
- ・ システム制御と波形データ管理を効率的に行えるソフトウェア
- ・ 完成したウェハーを高速に計測する自動プロバー (Suss) を制御するソフトウェア
- ・ 高性能で高品質なコンポーネントを使用



(a) TLP-4010C 高電圧パルス発生器とオプションのパルス幅拡張器 TLP-3011C



(b) PCB アダプタと HPPI 電流センサ (c) 18GHz DUT スイッチ CS-0V5-A

図 1：TLP-4010C とオプションのパルス幅拡張器

## 2 概要

TLP/VF-TLP/HMM テストシステム TLP-4010C/3011C は、回路、半導体デバイス、および TVS、バリスタ、コンデンサなどのディスクリート部品の高電力時間領域での特性評価を目的とした高度な機能を提供します。特性評価には、パルス動作モードでの高電流 I-V 特性、デバイスのオン/オフ過渡特性、ブレイクダウン効果、電荷回復効果 (逆回復など)、安全動作領域 (SOA)、および ESD 測定が含まれます。テストシステムには次の 2 つの基本構成があります；

1. TLP-4010C 高電圧パルス発生器 (図 1)
2. TLP-4010C 高電圧パルス発生器と連携する TLP-3011C パルス幅拡張器 (図 2)

TLP-4010C は、0.5ns (オプション) および 1ns から 100ns まで、8 種類 (オプションで 9 種類) のパルス幅をプログラム可能です。0.5ns はオプションとして準備されています。0.5 ns のパルス幅は、高度な CC-TLP またはゲート酸化膜の信頼性評価に有効です。

オプションのパルス幅拡張器 TLP-3011C (図 2) は、68 ステップで 1.6μs までパルス幅を拡張させることができます。システムは、高周波性能、信頼性に優れ、柔軟性の高い高速なソフトウェアによる遠隔制御用に最適化されています。

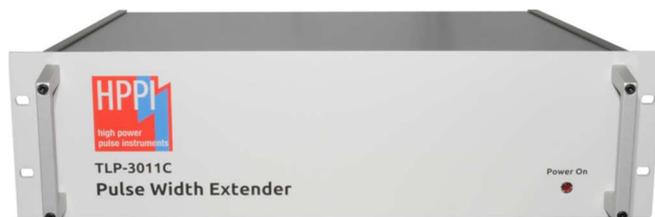


図 2：TLP-3011C パルス幅拡張器 0.125-1.6 μs



図 3：標準のパルス出力波形 (40GS/s)

図 3 は、Tektronix® のオシロスコープ TDS6214C で、40GS/s のサンプリングレートで記録された、TLP-4010C の 50Ωパルス出力端子

(図 4) での波形を示しています。パルス出力は 100ps の立ち上がり時間と非常に僅かなリングングしかないことを示しています。測定は、高性能な RF ケーブルを使ってオシロスコープの入力端子にパルス出力を直接接続して行われています。



図 4 : 50 Ω 出力端子

図 5 は、いくつかの異なる立ち上がり時間フィルターを通して、50Ω 負荷に対して 800V まで増幅された、標準 100ns のパルス出力を示しています。プログラム可能な立ち上がり時間は、SCR ベースのデバイス、パッケージや PCB のプラスチックのインダクタンスによって抑圧される立ち上がり時間など、dv/dt

に依存するトリガーを検出するのに有効です。0.5ns (オプション) または 1ns から 1.6 μs までの 68 ステップでプログラム可能なパルス幅は、様々な被測定対象物 (DUT) の調査、例えば Wunsch-Bell 特性調査などに有効です。

DUT スイッチ (図 1(C)) は、被測定対象物 (DUT) をパルス発生器または DC 測定用のソースメータに自動的に接続します。

HPPI 電流センサ CS-0V5-A は、標準的な TLP 測定に使用されます。10ns 以下の非常に高速な TLP 測定用に、ソフトウェアは入射信号と反射信号に基づく I/V 測定の TDR アルゴリズムをサポートしています。

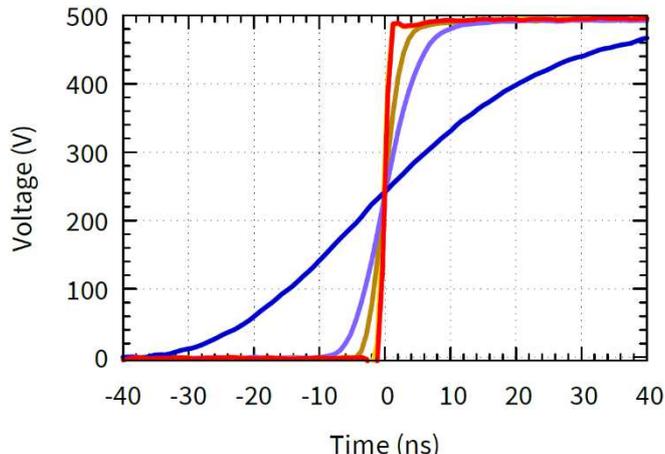


図 5 さまざまなカスタムの立ち上がり時間フィルターを通して 50Ω 負荷に出力される 500V パルス

図 6 は、サンプリング・オシロスコープ、DC 測定用ソースメータ、制御用 PC を含む TLP-4010C/3011C テストシステムの写真です。オプションのウェハー・プローブ・ステーションは移っていません。

ソフトウェアは、スコープと SMU のデータ転送速度にもよりますが、各パルス後の 1 ポイントの DC スポット測定を含む、最大 5 パルス/秒のクラス最高の測定速度を実現します。図 8 はソフトウェアのメイン画面を表示しています。画面では、過渡波形、DC および I-V データ、表形式の I-V データを含む 4 種のグラフィック画面を表示します。デバイスを直接比較するために、最大 5 種類のデータセットを同時にロードすることができます。

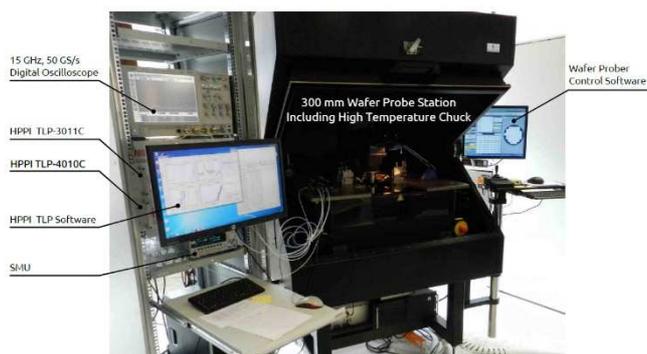


図 6 : TLP-4010C/3011C テストシステム

プロットされたデータは Windows のクリップボードにコピーでき、他のアプリケーションに簡単に転送することができます。ソフトウェアは、ツェナーダイオードと抵抗器をリファレンスとして使用するキャリブレーション・ルーチンを提供します。これにより、オシロスコープの各スケールステップを自動的にキャリブレーションし、オートレンジ・アルゴリズムによってスコープ・スケールが変更されたときに I-V 曲線に現れる可能性のあるオフセットを解消します。オプションとして、既存の測定システムを拡張する必要がある場合には、ソフトウェアのソースコードを提供することができます。

### 3 測定方法

本章では、TLP-4010C/3011C TLP/VF-TLP/HMM テストシステムを利用した測定方法の概要を説明します。

#### 3.1 ウェハーレベル TLP

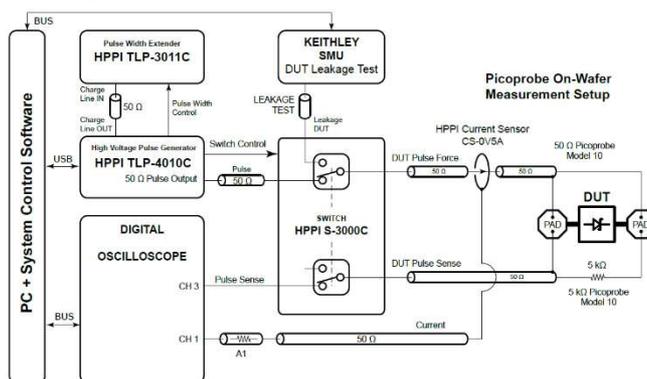


図 7 : ウェハーレベルの標準的な TLP 装置

図 7 は標準的なウェハーレベル TLP の装置のブロック図を示しています。接触抵抗がゼロでないことによるエラーをなくすために、デバイスパッドで差動電圧を直接測定する 4 ポイントケルビン法を推奨します。さらに、vf-TLP 装置で使用されているものと同じ、RF プローブのタイプである Picoprobe® Model-10 を使用することを推奨します。

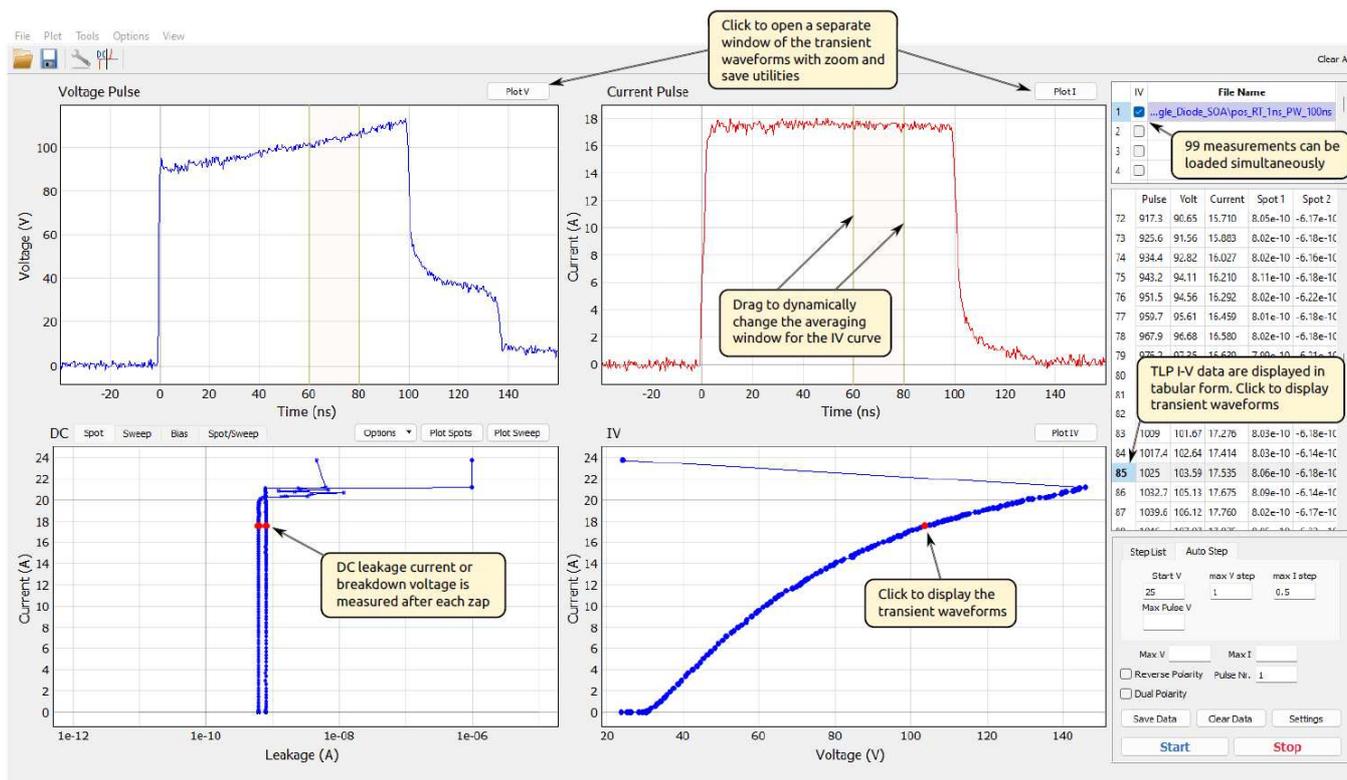


図 8：システム制御と波形データ管理のためのソフトウェア

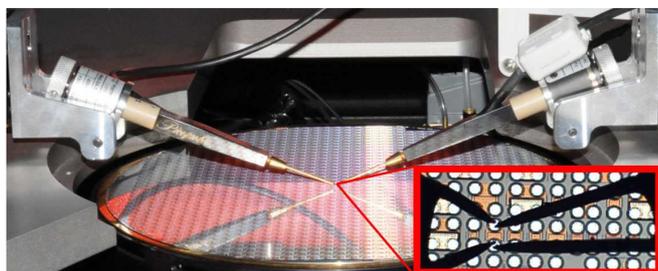


図 9：ウェハーレベル TLP/vf-TLP 装置の Picoprobe®

このプローブを使用することで、広帯域で電圧を測定し、標準モードと vf-TLP モード間を高速に切り替えることが可能になります。

センス・プローブの先端（チップ）には抵抗分圧器が組み込まれており、最小の寄生負荷(1kΩ~5kΩ)で電圧を測定することができます。図 9 は、200μm パッド・ピッチのデバイスに接触している Picoprobe® Model-10 フォース・プローブとセンス・プローブの写真を示しています。交換可能なプローブの先端（チップ）は、GGB Industries®からユーザ指定のピッチで入手することができます。

### 3.2 PCB とパッケージレベルの TLP

パッケージと PCB レベルの測定用に図 1 (b) に示されている、短いインターコネクト・ワイヤで DUT に接続する、PCB アダプタが使用されます。ワイヤの寄生インダクタンスによるリングングを避けるため、10ns のパルス立ち上がり時間が推奨されます。

### 3.3 高速 TLP

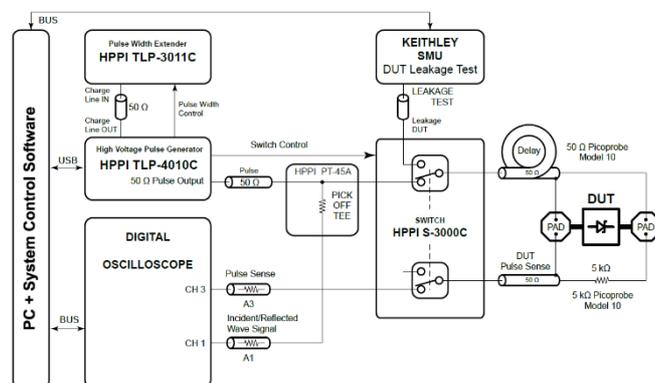


図 10：ウェハーレベルの高速 TLP 装置 (VF-TLP)

パルス幅が 10ns 未満の VF-TLP 測定の場合、入射信号と反射信号は、パルス・フォース・ラインの広帯域ピックアップ・ティを使用して別々に記録されます (図 10 参照)。過渡的なデバイスの応答は、入射パルス信号と反射パルス信号を数値的に組み合わせることによって計算されます (TDR-s 法)。デバイス電圧は、統合された分圧抵抗を備えた 2 番目の Picoprobe® Model-10 を使用して、直接測定することが望まれます。これにより、高帯域幅が保証され、寄生接触抵抗による電圧誤差が最小限に抑えられます。また、TDR-s 法を使用した低抵抗デバイスの電圧測定に典型的なデジタルノイズも除去されます。さらに、TLP-4010C のソフトウェアは、ケーブル損失 (振幅と位相) の正確なディエンベディングを実行し、時間領域での正確なパルス測定を可能にします。

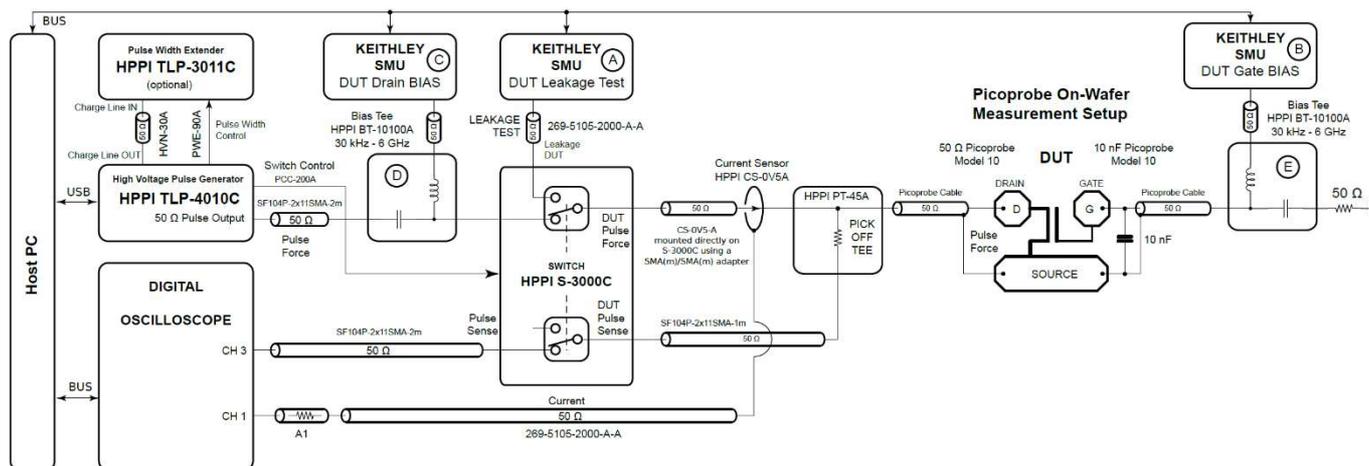


図 11 : TLP-4010C/TLP-3011C テストシステムを使用したウェハーレベルの SOA 測定構成

### 3.4 システムレベル ESD テスト (HMM)

TLP-4010C パルス発生器は、IEC 61000-4-2 に代わる試験方法としてヒューマン・メタル・モデル (HMM) パルスを提供し、試験結果の再現性を大幅に向上させることができます。図 12 は 1kV で 2Ω の負荷への出力パルス電流を示しています。R=330Ω、C=150pF の IEC 61000-4-2 に準じて、最大出力レベルは ±10kV です。

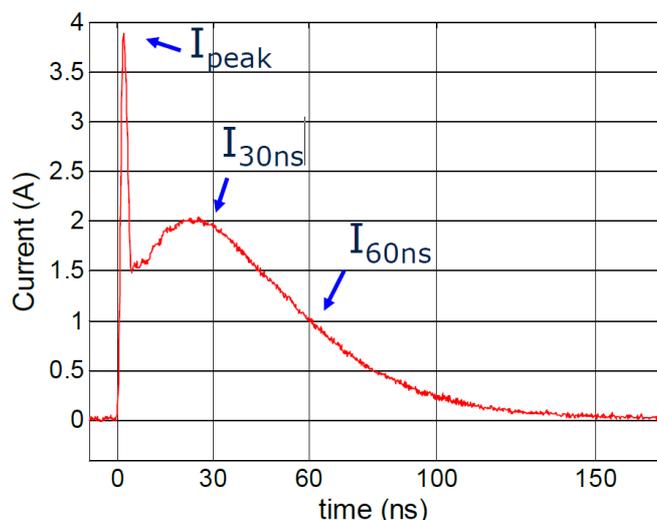


図 12 : 2Ω 負荷への 1kV HMM 出力パルス電流

### 3.5 安全動作領域 (SOA)

アクティブおよびパッシブ・デバイスの安全動作領域 (SOA) は、1ns から 1.6 μs のフル・レンジで様々なパルス幅を発生可能な TLP-4010C/3011C テストシステムを使用して、簡単に測定することができます。図 10 は、ウェハーレベルの SOA 測定の装置を示しています。この装置は SOA に対して非常に有効です。ドレイン側の通常のパルス検出プローブはスキップされ、代わりにピックアップ ティーが使用されます。ドレイン電流が 10A 未満の場合、パルス・フォース・プローブの接触抵抗による測定誤差は小さくなります。

追加のドレイン・プレバイアスのための、バイアス・ティ“D”を含む Keithly SMU “C”はオプションです。通常は使用しません。DUT ゲート バイアス用の、10nF コンデンサを内蔵したプローブ・チップを備えた Picoprobe®Model-10 を使用します。SMU “B”を保護するためのバイアス・ティ“E”もオプションです。ピックアップ・ティと電流センサは、可能な限り DUT に近いところの実装してください。RF 出力ポートのバイアス・ティ“E”(グラウンドに対して 5Ω)では、ダイナミック・ゲート電圧をサンプリング・オシロスコープのチャンネル 4 で監視して、安定したゲート・バイアスを確保する必要があります。

図 13 は、ゲート・ソース電圧 0、7、10 と 14V での DMOS トランジスタの SOA 測定結果を示しています。TLP パルス幅は 100ns で、立ち上がり時間は 10ns です。ブレイクダウンとスナッチバックの制限は、指定されたドレイン電流、パルス幅、および立ち上がり時間に対するトランジスタの安全な動作領域を定義します。

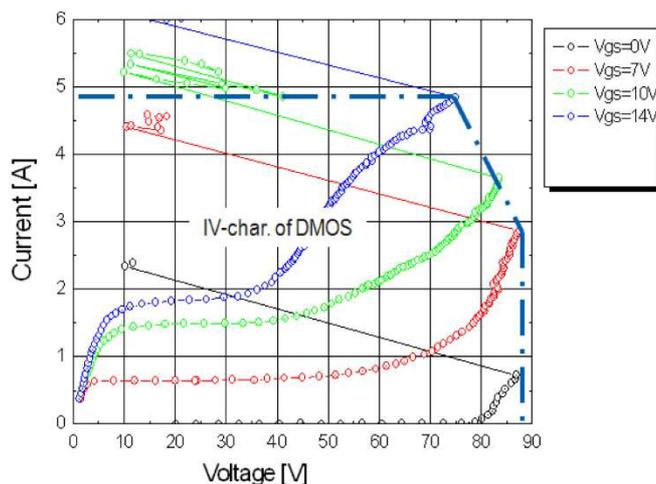


図 13 : DMOS トランジスタの SOA 測定

### 3.6 チャージ・リカバリ時間

TLP-4010C/3011C テストシステムは、ダイオードの順方向および逆方向回復時間などのチャージ・リカバリ測定用の測定装置を提供します。既存の測定技術とは対照的に、約 200ps から最大 1 $\mu$ s の範囲で、非常に高速かつ効率的に回復時間を測定することができます。DUT は、50 $\Omega$  のテスト・フィクスチャに取り付けられています。

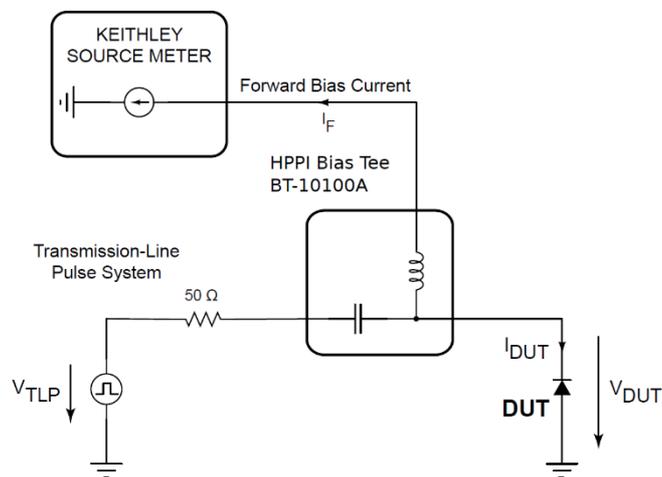


図 14：50 $\Omega$ リカバリ測定装置

図 14 は、50 $\Omega$ リカバリ測定装置のダイアグラムを示しています。DUT は 50 $\Omega$ のソース抵抗で動作します。この装置は、順方向および逆方向のリカバリ時間の測定に使用できます。DUT の電圧は、広帯域ピックアップ・ティを使用して測定されます。予想リカバリ時間が 2ns 未満の場合、DUT の電流は VF-TLP 装置を使用して抽出されます。リカバリ時間が 2ns を超えると予想される場合、DUT の電流は、古典的な TLP 装置で、高速立ち上がり時間 HPPI CS-0V5-A 電流センサを使用して直接測定できます。

ソース抵抗を 100 $\Omega$ にして動作させる場合、単純に 50 $\Omega$ を直列に DUT に接続させることができます。50 $\Omega$ の TLP-4010C のソース抵抗と DUT の 50 $\Omega$ の負荷抵抗で、結果的に 100 $\Omega$ となります。この場合、DUT は 50 $\Omega$ の負荷またはアッテネータで動作します。DUT の電流は、50 $\Omega$ のサンプリング・オシロスコープ入力で直接測定できます。

図 15 は標準的なリバース・リカバリの測定波形です。リカバリ時間  $t_{rr}$  は次のように計算されます：

1. TLP-4010C のパルス・パラメータの立ち上がり時間を 100ps に設定し、パルス幅をリバース・リカバリ時間のおおよそ 2 から 3 倍の時間に設定します。
2. 指定された順方向バイアス電流  $I_F$  で、ダイオードを順方向モードで動作させます。
3. 定義されているリバース電圧  $V_R = V_{TLP} - |V_F|$  で、リバース・モードの TLP パルスを印加します。電圧  $V_R$  は、デバイス ( $V_{DUT}$ ) での TLP パルス幅の 70%~80%の平均値を使用して測定されます。

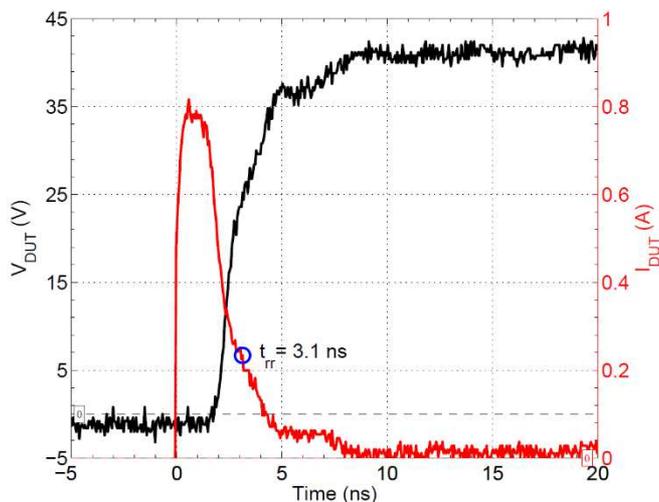


図 15：チャージ・リカバリ測定波形

4. ピーク・リバース電流の平均値を測定します。
5. ピーク・リバース電流の平均値の 25%を計算します。
6. 電流  $I_{DUT}$  がピーク・リバース電流の平均値の 25%まで減少する時間がリバース・リカバリ時間です。

図 16 は、従来の TLP スweepを 3 回行うだけで得られる測定結果を示しています：

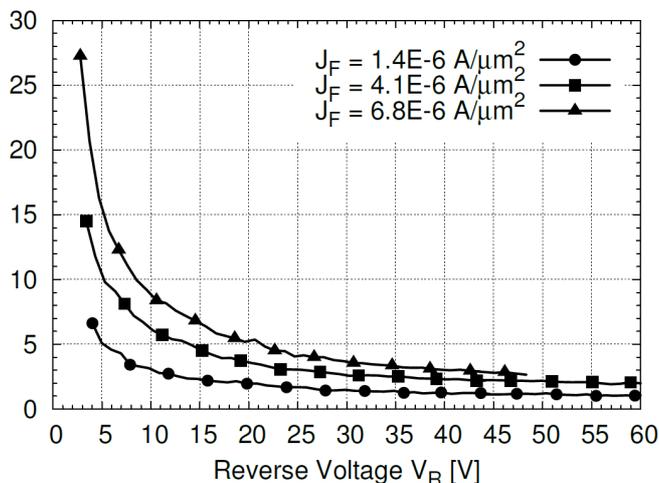


図 16：TLP によって計算されたリバース・リカバリ時間

#### 4 TLP-4010C/3011C フロントおよびリアパネルのコネクタ

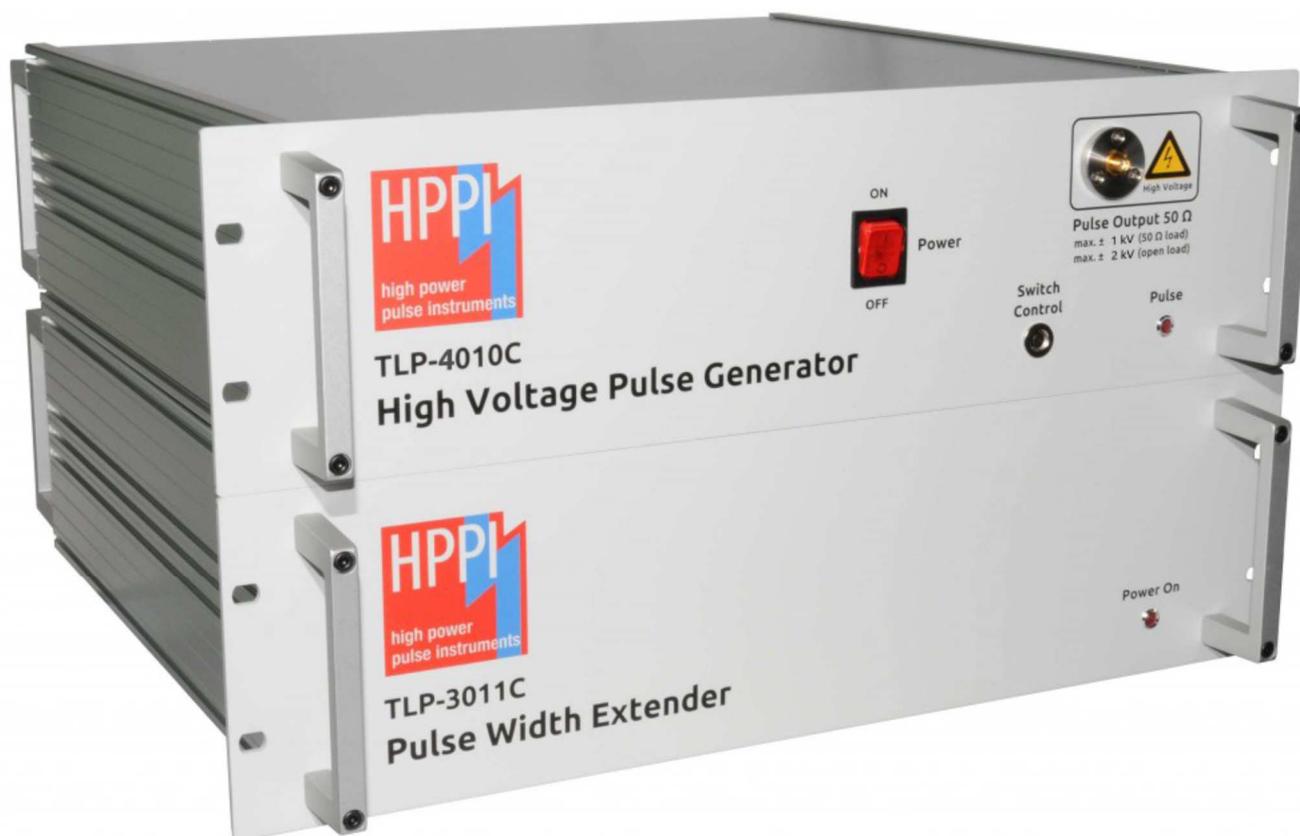


図 17 : TLP-4010C/3011C フロントパネルのコネクタ

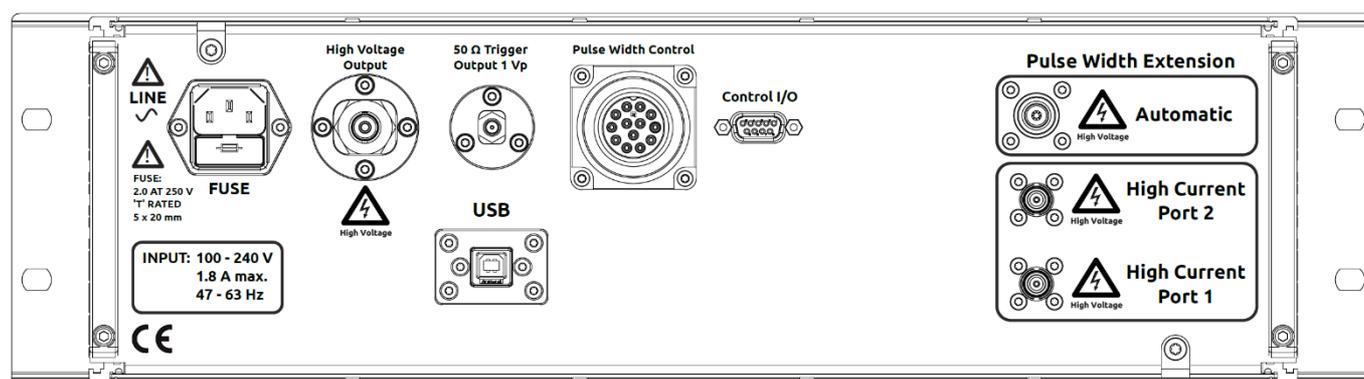


図 18 : TLP-4010C リアパネルのコネクタ

#### 5 仕様

項目	記号	値			単位	備考
		Min.	Typ.	Max.		
出力電圧 (無負荷時)	$V_{OUT+\infty}$	-2.0		+2.0	kV	無負荷
出力電圧 (50Ω 負荷)	$V_{OUT+50}$	-1.0		+1.0	kV	50Ω 負荷
ピーク・パルス出力電力 (50Ω 負荷)	$P_{OUT+50}$		50		kW	50Ω 負荷
最小出力電圧ステップ	$V_{\Delta}$		0.1		V	無負荷、USB プログラム

[前頁からの続き・・・]

項目	記号	値			単位	備考
		Min.	Typ.	Max.		
最大 TLP 出力電流	$I_{tip}$	-40		+40	A	短絡 12 dB の反射抑制
最大 TLP 出力電流	$I_{tip}$	-20		+20	A	50Ω 負荷
最大 HMM 第一ピーク出力電流	$I_{PEAK}$	-38		+38	A	短絡 DUT、50Ω HMM
最大 HMM 広域ピーク出力電流	$I_{30ns}$	-20		+20	A	短絡 DUT、50Ω HMM ± 10kV IEC 61000-4-2 (330 Ω, 150pF) と等価
出力パルス立ち上がり時間	$t_r$	0.1		50	ns	6 ステップ USB プログラム； 0.1/0.3/0.6/1/2/5/10/20/30ns より 選択
パルス幅 (TLP-4010C ベースユニット) (標準)	$t_p$	0.5 <sup>1</sup> または 1		100	ns	8 又は 9 <sup>1</sup> ステップ USB プログラム； 0.5 <sup>1</sup> /1/2.5/5/10/25/50/75/100ns
パルス幅 (TLP-3011C 拡張器・オプション) (標準)	$t_p$	125		1600	ns	68 ステップ USB プログラム； 125-1600ns (25ns ステップ)
測定パルス繰り返し時間	$t_m$	200	500		ms	状態に依存
デジタル制御インターフェイス	-	USB			-	工業用絶縁および EMI/ESD 保護 USB2.0 インターフェイス
AC 電圧範囲	$V_{AC}$	100		240	V	47-63Hz, 最大 1.8A
寸法 TLP-4010C (W×H×D)	$D_{4010C}$	428 (482.6) × 132.5 × 485			mm <sup>3</sup>	428 mm 筐体幅、 482.6mm ラックフランジ幅
寸法 TLP-3011C (W×H×D)	$D_{3011C}$	428 (482.6) × 132.5 × 485			mm <sup>3</sup>	428 mm 筐体幅、 482.6mm ラックフランジ幅
重量 TLP-4010C	$W_{4010C}$		13.5		kg	付属品を除く
重量 TLP-3011C	$W_{3011C}$		13.5		kg	付属品を除く
対応するデジタルオシロスコープ	Keysight, LeCroy, Tektronix の全機種 (新機種はリクエストによる)					
対応する SMU ソースメータ	Keithley 24xx/26xx シリーズ SMU、Keithley 230 電圧ソース、Agilent B2900A。 5 台の SMU をコントロール可能：リーク測定用 1 台、独立バイアス SMU4 台					
対応する自動プローブ・ステーション	全ての Cascade と Signatone のプローブ・ステーション					
認証マーク	TLP-4010C と TLP-3011C は次の規格等に準拠しています； <ol style="list-style-type: none"> <li>Code of Federal Regulations CFR47, Part15 Federal Communication Commission (FCC) - Sections15.107, 15.109(Class A) Interference-Causing Equipment Standard ICES-003 Issue4, Industry Canada (IC) - Sections 5.2/5.4 (Digital Apparatus).</li> <li>EN61326-1:2006, Class A, EN 61000-3-2:2006, EN 61000-3-3:1995 + A1:2001 + A2:2005</li> <li>UL61010-1: 2004</li> </ol>					

<sup>1</sup>0.5 パルス幅はオプション

## 6 注文情報

No.	説明	パーツ No.
01	高電圧パルス発生器 TLP-4010C。PCB アダプタ、電流センサ、ピックアップ・ティ、DUT スイッチ、ケーブル、ソフトウェア、取扱説明書を含む	TLP-4010C
02	パルス幅拡張器 TLP-3011C (オプション)	TLP-3011C
03	精密 Picoprobe® Micropositioner Probe Holder Kit (図 9)、さまざまなマイクロポジショナー用にカスタマイズ可能	PHD-3001A