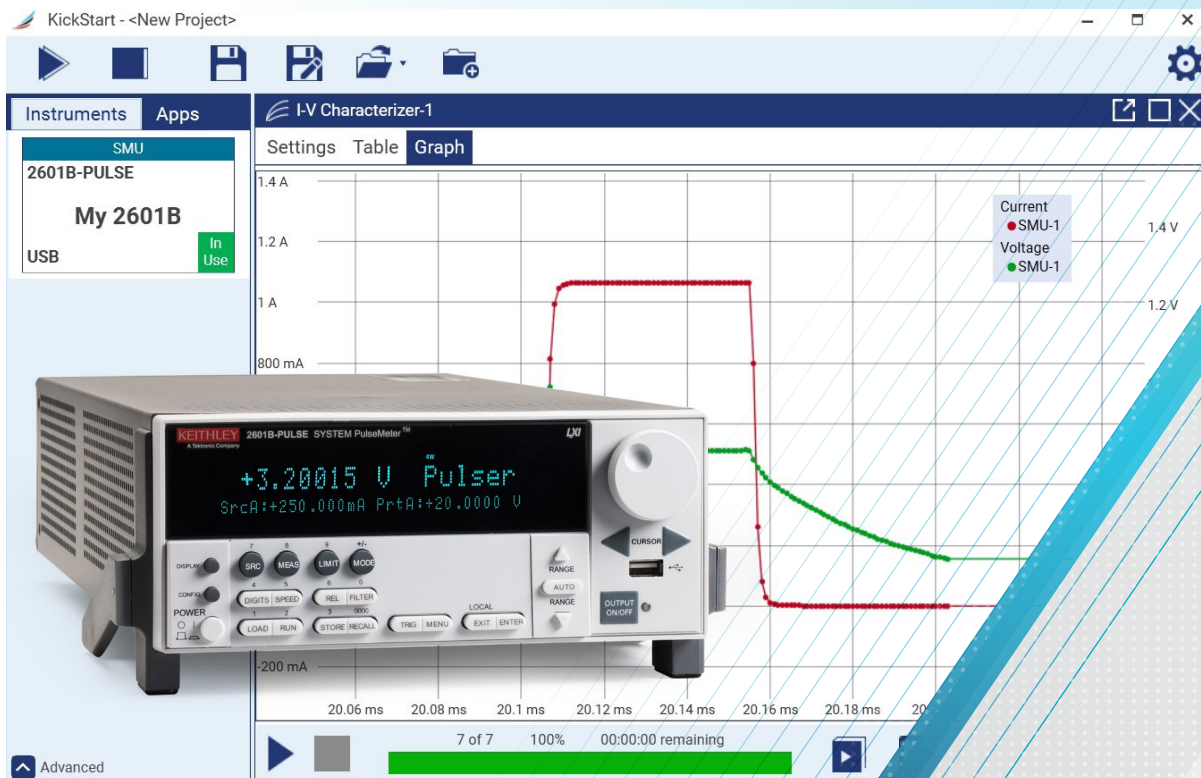




2601B-PULSE型パルサー／システム・ソースメータと機器制御ソフトウェア  
KickStartによる

# レーザ・ダイオードと VCSELの新しいテスト・ソリューション

## アプリケーション・ノート



## はじめに

レーザ・ダイオード(LD)とVCSEL(垂直共振器面発光レーザ)は、光通信、分光法、3Dセンシングとイメージング、その他の重要なアプリケーションで使用される主要なコンポーネントです。このようなアプリケーションの需要が高まるにつれて、基本コンポーネント自体の需要も高まります。この需要は、より正確かつ費用対効果の高いテスト戦略の開発に重点を置くことを求めています。

典型的なLDモジュールは、レーザ・ダイオードとバック・ファセット・モニタ・フォトダイオードで構成されています。温度制御LDモジュールには、図1に示すように、LDの動作温度の正確な調整を容易にする熱電コントローラ(TEC)とサーミスタも含まれています。(高速LDモジュールは、図1に示されていない統合された変調器チップを搭載することもあります)

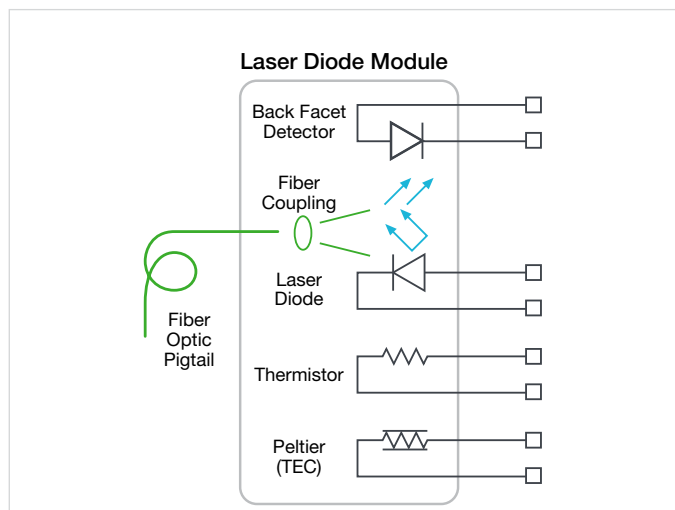


図1: 一般的なレーザ・ダイオード・モジュール

VCSELは、標準のレーザ・ダイオードよりも複雑な半導体構造を持っていますが、通常、パッケージはそれほど複雑ではありません。図2ではVCSELの典型的な断面を示しています。端面発光レーザ・ダイオードとは異なり、VCSELはウェハ上でテストできます。これは、このアプリケーション・ノートの後半で取り上げるテストにおける新しい機会と課題を与えます。

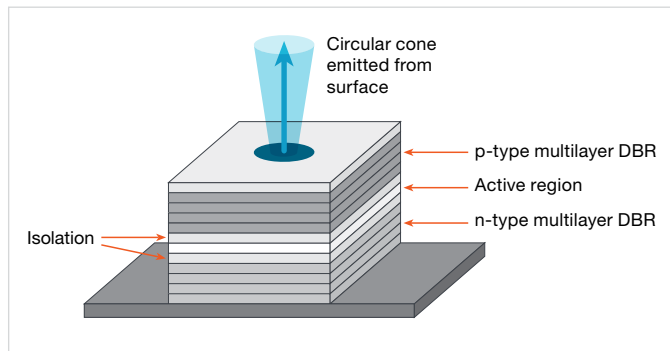


図2: 簡略化されたVCSEL構造

どのタイプのデバイスでも、R&Dから製造まで多くのテスト・ステップが行われることは忘れてはいけません。研究開発には、新しい知的財産の発見または開発を実現するための多くのテストと測定が含まれます。R&Dで使用されるツールは柔軟性を考慮して設計されているため、テスト要件を調整し、「what if」シナリオを調査できます。製造の性質上、組立ての次のステップの前に各コンポーネントをテストする必要があります。例えば、バック・ファセット・モニタ・フォトダイオードの故障によりレーザ・モジュールを全て廃棄するコストは、組立てステップの前にフォトダイオードのコンポーネントを100%テストするコストよりもはるかに高くなります。テストのコストを最小限に抑えるには、高速で柔軟なテスト・ソリューションが不可欠です。

このアプリケーション・ノートでは、今日の研究開発で求められる結果を提供できるハードウェアとソフトウェアの両方について説明します。

## テストの説明

DCテストでは、LDまたはVCSELモジュールの重要な特性は次の通りです:

- レーザ順電圧
- キンクテストまたはスロープ効率 (dL / dI)
- しきい値電流
- (バック・ファセット) 逆バイアス電圧のモニタ
- (バック・ファセット) 電流のモニタ
- (バック・ファセット) 暗電流のモニタ
- 光出力パワー

特性の最も一般的な部分は、LIVスイープ・テストと呼ばれる試験で測定できます。研究開発の段階では、このテストは、研究者とエンジニアが、今後商業化する可能性のある設計の主要な特性を特定するのに役立ちます。製造段階では、このテストによりプロセスの早い段階で故障したアセンブリが識別できます。そのため、高価な非DCドメイン・テスト・システムは、残りの高歩留りコンポーネントをテストすることになり、費用対効果がより高くなります。図3は、LIVスイープ・テストを行うために使用される一般的な機器構成を示しています。

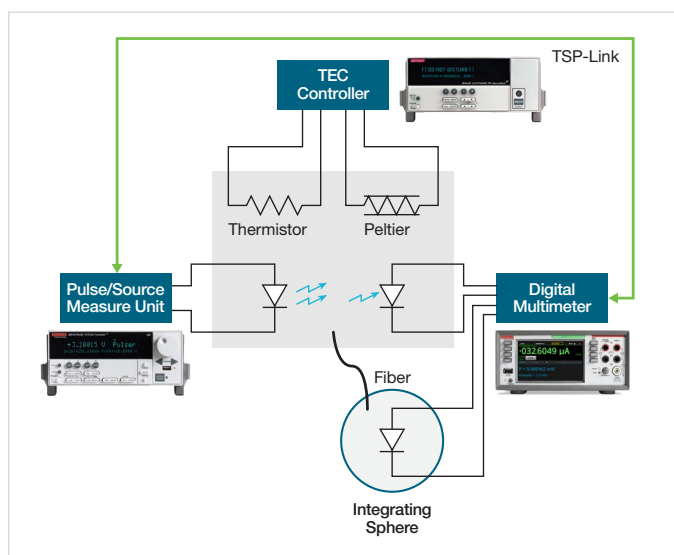


図3: LIVテストの典型的なブロック図

## LIVスイープ・テスト

### 順電圧試験

一部のハイパワーLDでは、最大2-3Aまでの電流(IF)掃引が必要になり、通常は1mAずつ増やします。ほとんどの場合、0.5mAまたは0.25mAステップで最大1Aまでの掃引が必要です。DCスイープの場合、スイープごとの時間は数msの範囲でなければなりません。通常の測定範囲は0~10Vで、 $\mu\text{V}$ レベルの分解能が必要になることがよくあります。

VCSELは通常、 $1\mu\text{A}$ の電流ステップで最大30mAの電流(IF)掃引を必要とする低電力デバイスです。しかし、LIDAR(光検出と測距)のようなアプリケーションで、よりハイパワーのVCSELとアレイが自動車やADAS車両システムに使用されるようになり、状況は変わりました。

残念ながら、電流が大きくなると、デバイスが自己発熱し、デバイスを破壊、または損傷する可能性があります。従って、デバイスの発熱を最小限に抑え、正確な測定を可能にするために、VCSELのスイープ・テストには $10\mu\text{s}$ の短いパルスが使用されます。

このパルス・テストでは、2601B-PULSE型パルサー／システム・ソースメータを使用すれば、レーザにパルス電流を印加し、対応する電圧降下を測定できます。

### 光強度測定

光強度(L)測定では、LDの光出力を確認します。駆動電流が増加すると光出力が増加し、このテストの出力は通常mWで表示されます。

光測定では、フォト・ダイオードまたは光検出器がレーザ・ダイオードの出力にさらされます。この放射線が吸収され、検出器によって電流が生成されます。結果として生じるこの電流は、ピコアンメータ、エレクトロメータ(高度な測定が可能なDCマルチメータ)、または高精度デジタル・マルチメータで測定されます。通常、多くのレーザにとっては $100\text{nA}$ の測定範囲は十分です。

次に、返された光電流を使用して、テスト中のデバイスの光パワーを決定できます。光パワー測定には、キャリブレーションされた検出器または積分球が必要です。校正情報または応答性(R)は、校正プロセス中に決定された波長依存の値です。光電流から光パワーを計算するには、次の方程式を使用します。

$$L = I_p / R$$

この方程式の中では:

L = 光源の光パワー(ワット)

$I_p$  = 検出器からの電流。一般的に光電流と呼ばれる(アンペア)

R = 選択した波長での検出器の応答性(アンペア/ワット)\*

\*感度曲線は、検出器または積分球などのアセンブリが校正された時に提供されます。

検出器で測定された電流は、対象の波長での検出器の応答性で除算されます。そして結果は検出器に影響を与える光パワーです。

### しきい値電流テスト

しきい値電流は、LDがレージングを開始させる電流です。しきい値を決定する1つの手法は、2次微分手法です。この方法でのしきい値は、光出力の2次導関数の1次極大として定義され、光測定(L)に基づく計算です。これは図4で示されています。

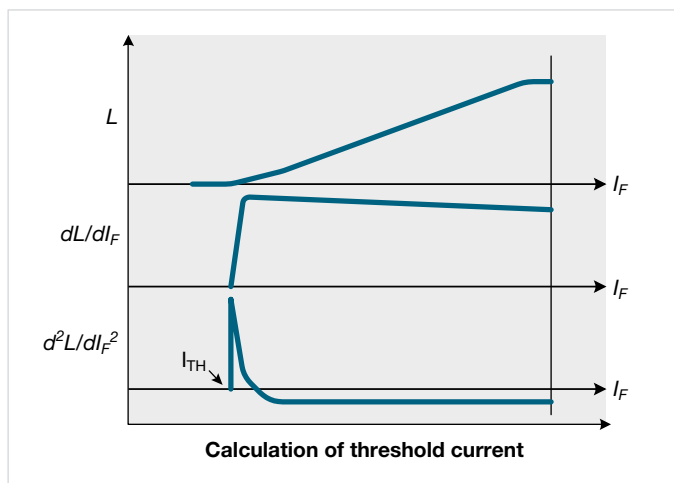


図4:しきい値電流のグラフ計算

### バック・ファセット・モニタ・ダイオード(BFMD)テスト

このテストでは、バック・ファセット・モニタ・ダイオード(逆バイアスも)の応答を評価し、駆動電流が増加すると、LDの光出力も増加されます。標準的な電流測定範囲は0~100mAで、必要な分解能は0.1mAです。この測定は、許容可能な低電流測定範囲を提供できる限り、通常、ピコアンメータ、エレクトロメータ、または高精度デジタルマルチメータで実行されます。通常、100nAの測定範囲は、低消費電力の光デバイスには十分です。

### キंक試験／スロープ効率

このテストでは、図5に示すように、駆動電流(IF)と光出力(L)の関係の比例関係を検証します。

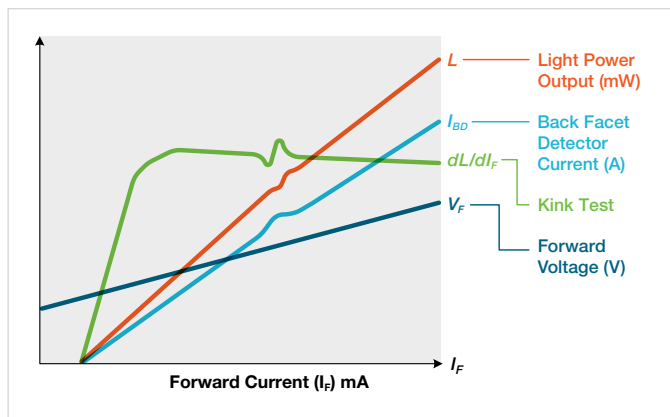


図5. LIV曲線の典型的なスイート

駆動電流(IF)と光出力電力(L)の関係は、公称動作範囲に対して線形でなければなりません。試験範囲内で関本当に線形である場合、曲線の1次導関数はほぼ水平な線になります。これは、dL/dIFとしてグラフ化されます。一次導関数は、光/電流(L-I)曲線の隆起やねじれを増幅する傾向があります。この曲線に重大な「ねじれ」がある場合、つまり滑らかでない場合、レーザに欠陥があると見なされます。「キंक」に対応するIF値で操作すると、光出力は比例しくなくなります。L対IF曲線の2次導関数の最大値を使用して、LDが「レーザ発振」または重要な光の出力を開始する駆動電流のしきい値電流を計算できます。

特定のデバイスのキंकおよびスロープ効率も、光測定(L)の分析に基づく計算です。

### 温度試験

LIVテストは、レーザ・ダイオードを複数の温度でテストすることがよくあります。場合によっては、LDは公称温度とデバイス仕様極値(-40°C、25°C、85°C)の両方でテストされます。その他の一般的な方法としては、LIVテストを5°C、10°C、15°C、20°C、25°C、30°C、35°Cなどのいくつかの温度で実行することです。そして、これらのLIV曲線を分析し、デバイスが仕様を満たしていることを確認します。

テスト・システム構成

図6に示すように、DCおよびパルスLIVテスト・システムは、2601B-PULSE型パルサー／システム・ソースメータ、2510-AT型自動チューニングTECソースメータ、DMM7510型デジタル・マルチメータ、およびGPIBインタフェース・カードを搭載したPCが含まれます。

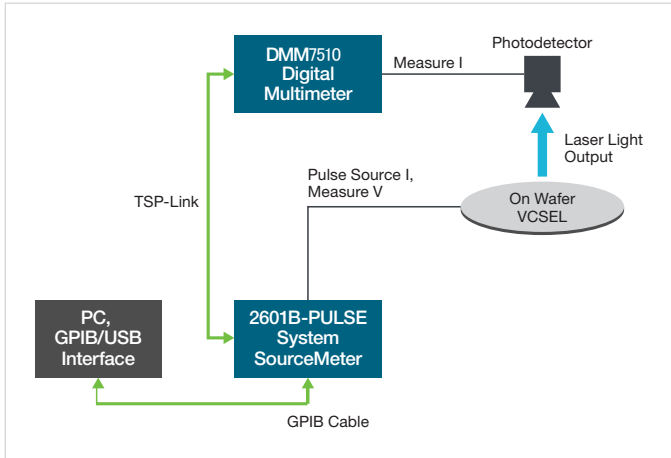


図6: LDモジュールの一般的なLIVテストのセットアップ

2601B-PULSE型は、レーザ・ダイオードまたはVCSELの特性評価に使用されます。2510-AT型がLDモジュールの温度を制御している間、DMM7510は光出力をモニタします、TECコントローラなしでVCSELをテストするためにも使用できます。

VCSELは、唯一のウェハレベルでのテストに適したタイプのレーザです。製造テストでは、ウェハ・プローバがプローブ・カードを介して各デバイスに電氣的に接続します。プローバ・ステーションは、デバイスの上に直接光検出器を配置します。一台の2601B-PULSE型パルサー／システム・ソースメータを使用すれば、特性評価を行うことが可能です。

プローブ・カードが同時に数多くのデバイスに接続できる場合は、プローブ・カードがウェハに接触するたびにすべてのデバイスをテストするための多点テスト用に設計されたシステムは構築されます。ウェハ上のデバイスの数が多いため、複数のデバイスをテストするスキャン・アプローチは時間がかかりすぎる場合があります。多くの場合、高いスループットを必要とするアプリケーションには、たくさんの機器を使用して複数のデバイスを並行してテストするのは最適なソリューションです。

2601B-PULSE型パルサー／システム・ソースメータは、業界をリードする高電流／高速パルサーであり、従来のSMUの機能も全て備えています。この機器は、10Vで10Aの電流パルス出力ができ、最小パルス幅10  $\mu$ sで、LIDARおよび顔認識で使用される垂直共振器面発光レーザ (VCSEL)、照明及びディスプレイ用LED、半導体デバイスの特性評価、サージ保護のテストなどに最適です。図7は出力パルスの例を示しています。



図7: 10A/10V/10  $\mu$ s のパルス、立上り時間は1.7  $\mu$ s



パルサーに組み込まれたデュアル1MS/s、18ビットのデジタルにより、別の機器を使用する必要なく、パルス電流と電圧波形の両方を同時に取得できます。高度な自動化システムの場合、2601B-PULSE型のテスト・スクリプト・プロセッサ(TSP®)は、機器内から完全なテスト・プログラムを実行でき、業界最高のスループットを実現可能です。大規模なマルチ・チャンネルのアプリケーションでは、ケースレーのTSP-Link®テクノロジーがTSPテクノロジーと連携して動作し、高速のパーピン並列テストを実行可能です。

2510-AT型自動調整TECソースメータは、TECを制御し、安定したモジュール温度を維持しながら、DMM7510型デジタル・マルチメータが光検出器からの出力電流を測定します。また、DMM7510型はケースレーのTSPテクノロジー機能も備え、2601B-PULSE型に接続してテスト・スクリプトの制御とトリガを行うことができます。

PCは2510-AT型の制御をプログラムしたり、2601B-PULSE型およびDMM7510型にテスト・スクリプトをアップロードするために使用でき、テストの実行、データ収集、および一般的なソフトウェアまたはケースレーのKickstartソフトウェアを使用した測定結果の分析など一連の制御を簡単に行うことが可能です。

### テスト・スクリプト・プロセッサの利用

多くの機器では、PCはテストのすべてを制御します。テスト・シーケンスの各要素では、機器をテストごとに構成し、目的のアクションを実行してから、データを制御PCに返す必要があります。(図8)

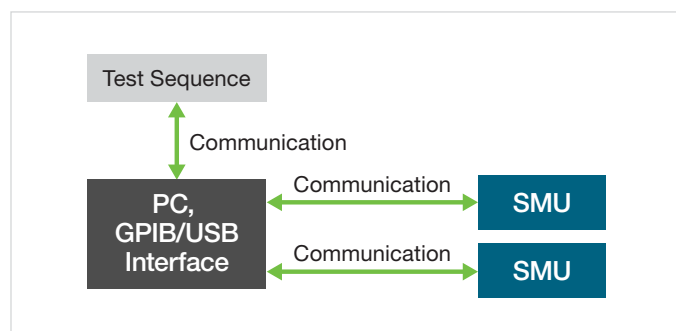


図8: PCによる標準機器の制御

次に、制御用PCはデータを収集し、適切な分析情報を提供し、製造テストでは、合格／不合格の基準を評価し、テスト

対象のデバイスをビニングするための適切なアクションを実行する必要があります。送信および実行される各コマンドは、貴重な生産時間を消費し、スループットを低下させます。

明らかに、このテスト・シーケンスの大部分は、PCとの間で情報をやり取りすることによって消費されます。2601B-PULSE型などの2600BシリーズとDMM7510型は独自の機能を提供でき、通信バス上のトラフィックを減らすことにより、複雑なテスト・シーケンスのスループットを劇的に向上させます。このような機器では、テスト・シーケンスの大部分が機器に組み込まれています。テスト・スクリプト・プロセッサ(TSP)は、テスト・シーケンスを制御可能なフル機能のテスト・シーケンス・エンジンであり、内部の合否基準、数学、計算、およびデジタルI/Oの制御ができます(図9を参照)。TSPはユーザー定義のテスト・シーケンスをメモリに保存し、コマンドで実行できます。これにより、テスト・シーケンスの各ステップの「セットアップ」と構成時間が短縮され、機器とPCとの間の通信量が減少するため、スループットが向上します。

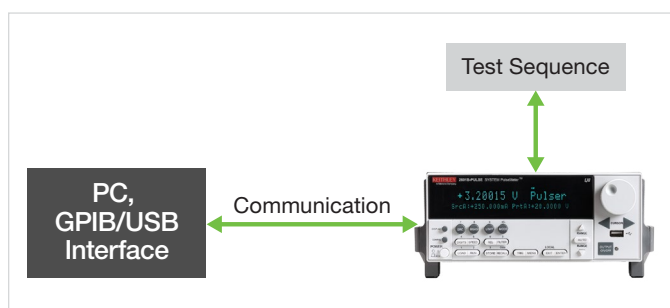


図9: テスト・シーケンスを保存するために組み込みテスト・スクリプト・プロセッサ(TSP)を使用。通信トラフィックが大幅に減少

例えば、2601B-PULSE型をプログラミングするための簡単なプロセスを次に示します。

1. スクリプトを作成します。
2. スクリプトを機器にダウンロードします。
3. スクリプトを呼び出して実行します。

2601B-PULSE型用のスクリプトは、ケースレーのテスト・スクリプト・ビルダ・ソフトウェアを使用して作成／ダウンロードするか、Visual StudioやLabVIEWなどの別のプログラムを使用して機器にダウンロードできます。プログラミング詳細については、2601B-PULSE型のユーザ・マニュアルを参照してください。

## KickStartソフトウェアによるテストのプロトタイプを作成

VCSELまたはLDの研究開発段階でのテストを実行するために、一つの早くて便利な方法は、ケースレーのKickStartソフトウェアを使用することです。KickStartは、通常計測器について知っておくべきことを簡素化し、わずか数分で計測器を箱から出して、デバイス上で実際のデータを取得できるようにします。また、データをリアルタイムでプロットし、読み取りテーブルのデータの統計的要約をすばやく提供することで、迅速に分析を行い、デバイス開発の次の段階に進むために必要な決定を行うことができます。このソフトウェアは、便利なエクスポート機能を備え、テストの迅速な複製と結果の比較を容易にでき、テスト時間を節約します。KickStartを使用すると、テスト結果の分析に集中でき、高度な目標を達成できます。

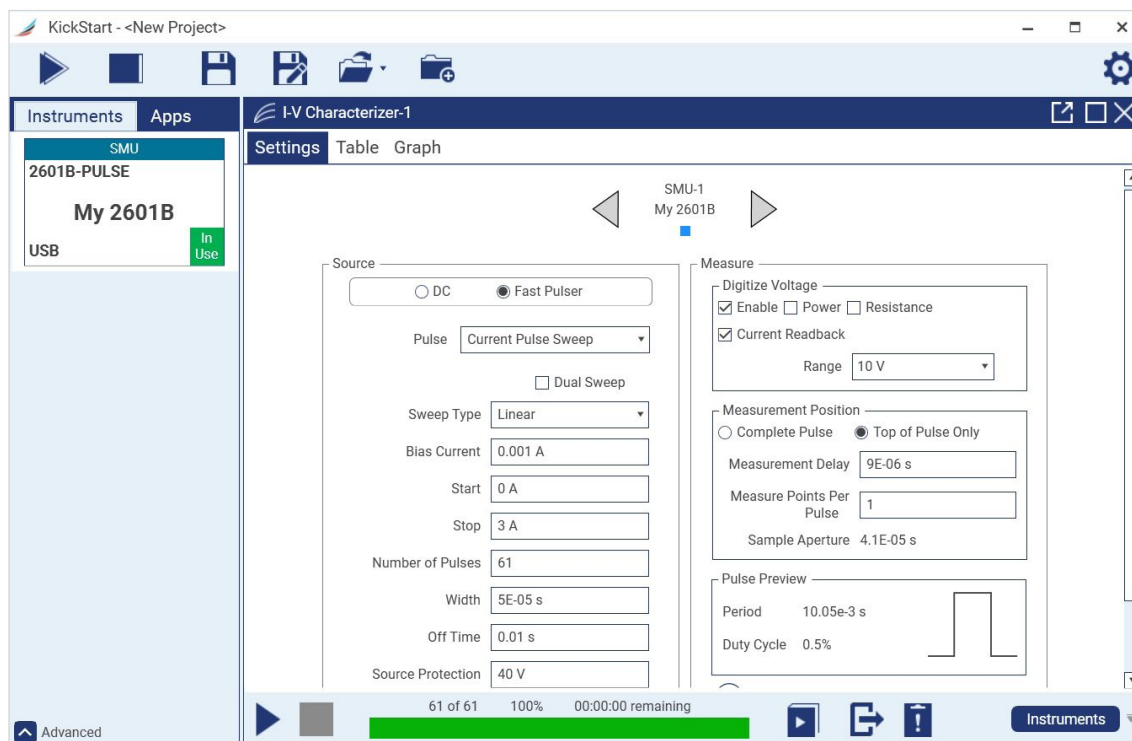


図10: KickStart機器制御ソフトウェア

例えば、VCSELをテストするための簡単なスイープ・パルスを作成するには、次の設定を適用できます。

◎ 印加:

- 高速パルサー
- パルス: 電流パルス・スイープ
- 掃引タイプ: 線形
- バイアス電流: 0.001A
- 開始: 0A
- 停止: 3A
- パルス数: 61
- 幅: 5E-05s (50  $\mu$ s)
- オフ時間: 0.01秒
- ソース保護: 40 V
- 測定/デジタイズ

◎ 測定:

- デジタイズ電圧:
  - ・ 有効
  - ・ 電流リードバック
  - ・ レンジ: 10 V
- 測定位置:
  - ・ トップ・オブ・パルスのみ
  - ・ 測定遅延: 9E-06s (9  $\mu$ s)
  - ・ パルスごとの測定ポイント: 1

VCSELでテストを実行した後、図11および12に示すように、KickStartで表形式またはグラフで結果を確認できます。

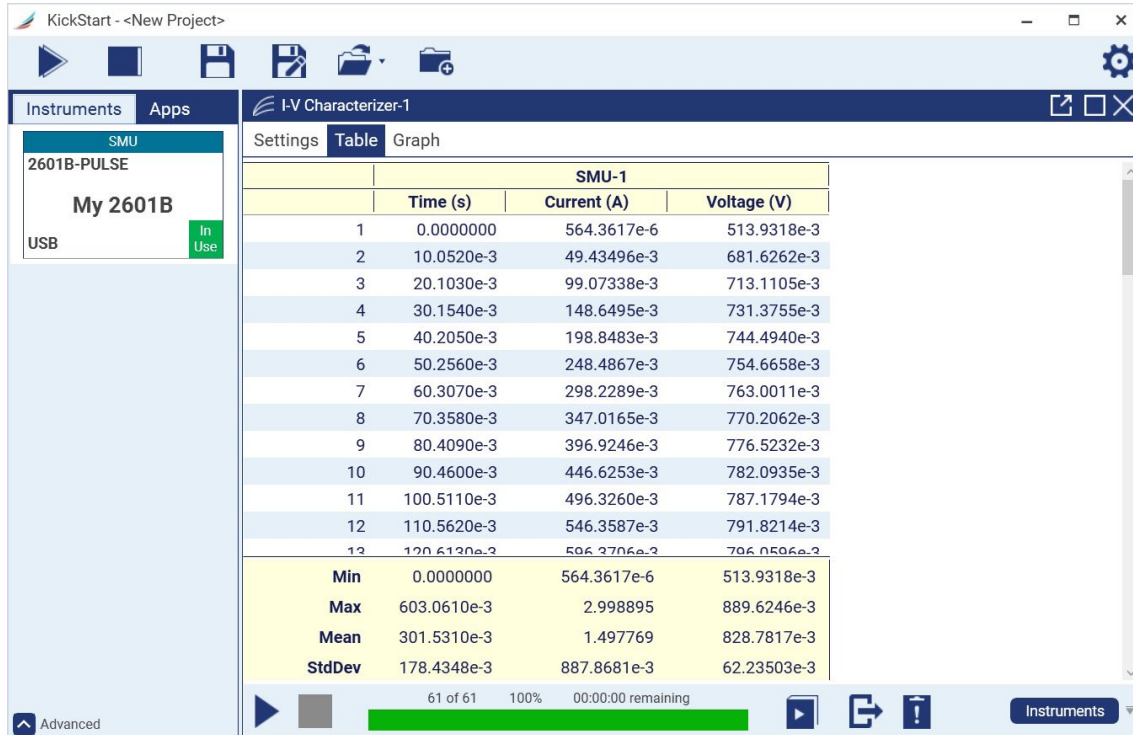


図11: KickStartの結果画面(表形式)

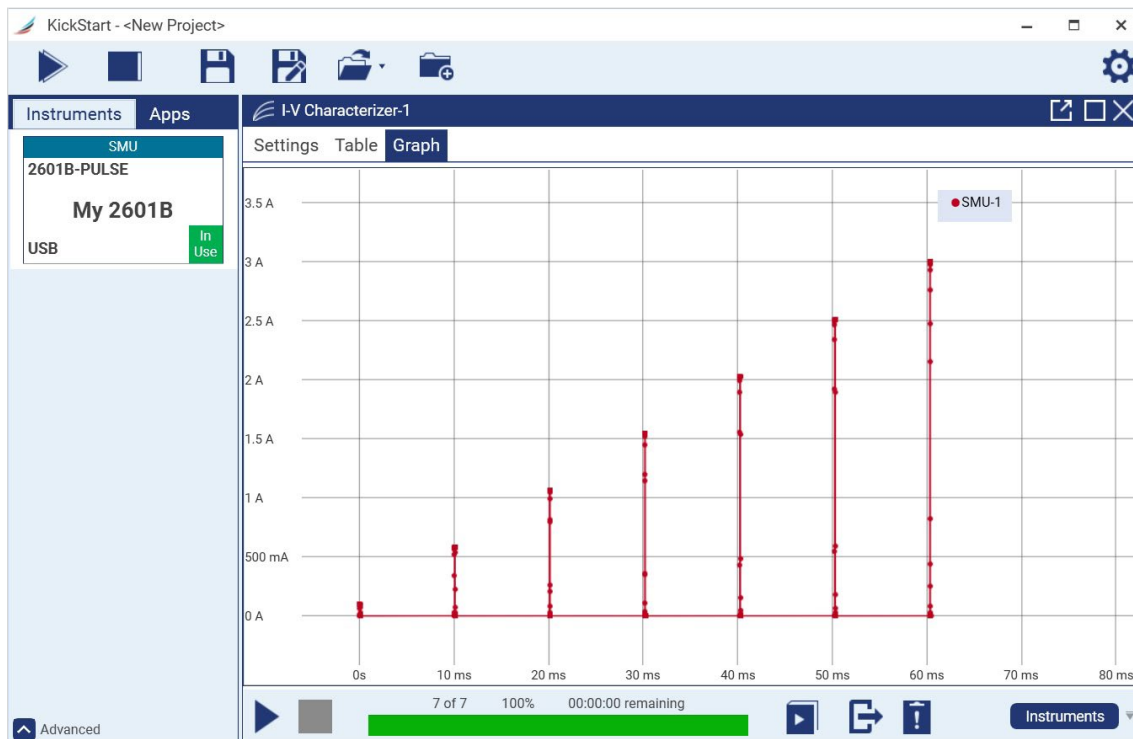


図12: VCSELでの電流パルス掃引結果のグラフ表示



KickStartは、特定のパルスにズームインする機能を提供するため、組込みのデュアル1MS/s、18ビットのデジタイザを使用し、同時に電流源と測定電圧を確認できます。図13はVCSELで実行したテストの例を示しています。

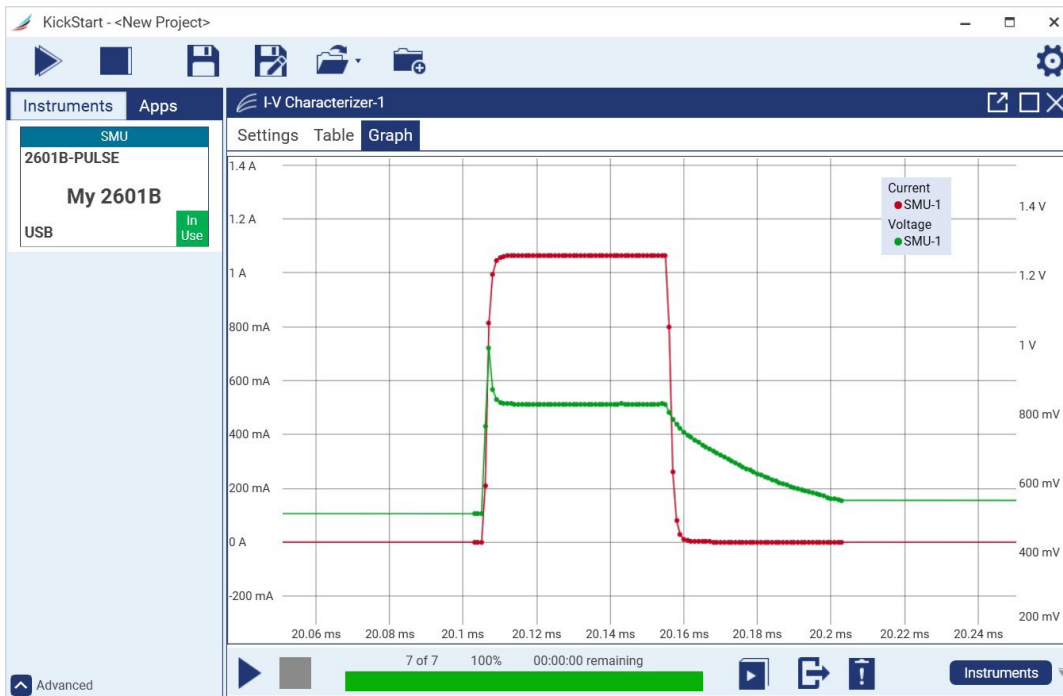


図13: 特定のパルス出力を拡大したグラフ

KickStartには、カーソルや統計などの分析ツールも用意されているため、図14に示すように、さらに結果の詳細が確認できます。



図14: KickStart内のパルスの分析例

## メソッドとテクニック

精度とテスト速度のためにケーブルを最適化する必要があります。すべての測定に高品質で低ノイズのケーブルが求められます。LDおよびVCSELドライブ信号のケーブル特性は、フォト・ダイオード信号のケーブル特性とは大きく異なります。図15に示すように、ケーブルのインダクタンスも、パルス出力にオーバーシュートとアンダーシュートが発生する要因になる可能性があります。

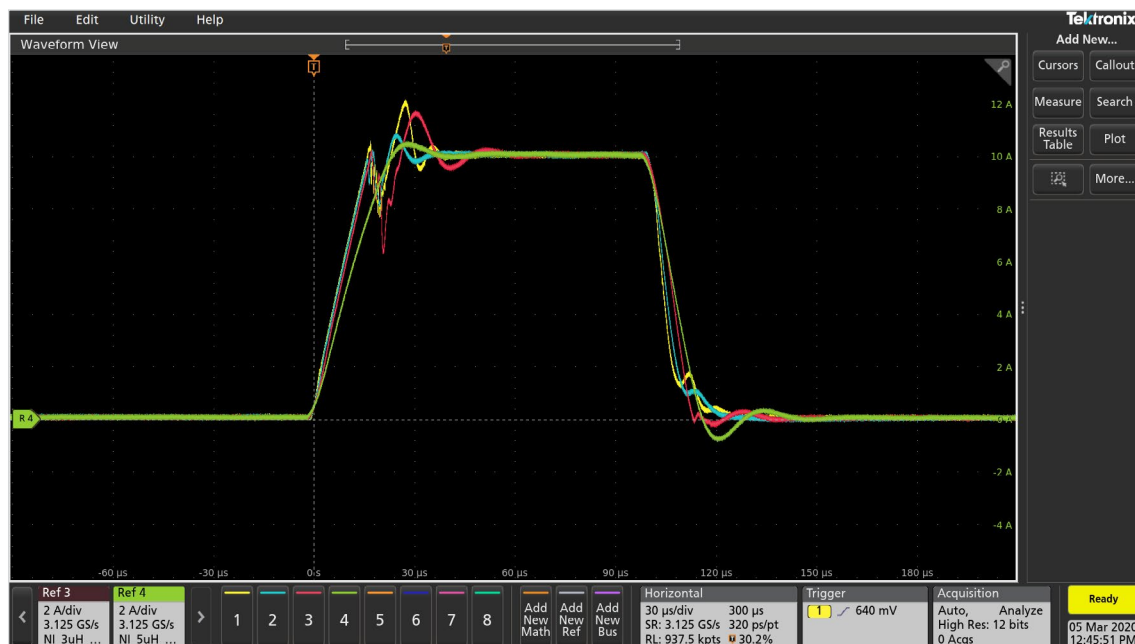


図15: ケーブルのインダクタンスによりオーバーシュートとアンダーシュートが発生するパルス出力

フォトダイオード信号は、数Vの電圧を印加し、nA範囲の電流を測定することによって生成されます。このような低電流では、信号対ノイズ比を最適化するために低ノイズのシールド・ケーブルを使用することが重要です。最短のケーブルを使用すると、リーク電流と誘導電流が減少し、静電容量が最小化されるため、信号対雑音比も向上します。

LD試験の場合、LDドライブ信号のスルーレート(dV / dt)は半導体接合部の関数です。接合電圧は、数十mAの電流変化に対して数mVしか変化しません。スルーレート要件が低い結果として、LDドライブ信号ケーブルの静電容量は、ケーブル全体の電圧降下が最大3Aであるため、アプリケーションにとってそれほど重要ではありません。大きなゲージのケーブルは、テスト速度への影響を最小限に抑えながら、ケーブルの長さにわたる電圧降下を減らすのに役立ちます。

すべての場合において、ケーブルはシールドして、ノイズと容量を減らすためにできるだけ短くする必要があります。ノイズが少ないほど、各測定に必要な積分時間が短縮され、テストのスweepが速くなります。

## よくあるエラーの原因

### ジャンクションの自己発熱

テスト時間が長くなると、VCSELの半導体接合部はますます熱くなる傾向があります。順方向電圧テストは、接合部の自己発熱の影響を受けやすい傾向があります。ジャンクションが発熱すると、定電圧テスト中に電圧が低下するか、さらに重要なことにリーク電流が増加します。

従って、測定精度や安定性を犠牲にすることなく、テスト時間をできるだけ短くすることが重要です。ソースメータを使用すると、測定前のデバイスのソーク時間や、入力信号を取得する時間を設定できます。ソーク時間により、測定を開始する前に回路の静電容量を安定させることができます。測定積分時間は、電源ライン・サイクル(NPLC)の数によって決まります。入力電源が60Hzの場合、1NPLC測定には1/60秒または16.667msが必要です。積分時間は、A/Dコンバータ(ADC)が入力信号を取得する時間を定義します。通常、選択した積分時間は、速度と精度の間のトレード・オフを表しています。

一般的なDCソーク時間は、VFテストでは1ms~5ms、光/電流(L-I)テストでは5ms~20msのレンジです。このような短いテスト時間は、ジャンクションの自己発熱によるエラーを減らすのに役立ちます。一連のテストを実行し、テストを繰り返すたびにソーク時間のみを変化させることにより、接合部の発熱特性を評価することができます。一方、パルステストでは、接合部の加熱がさらに低減され、パルス幅が通常 $50\mu\text{s}$ の場合により高い電流が適用されます。

### リーク電流

配線とDUTフィクスチャの公称リーク特性に加えて、フィクスチャの導電性汚染が時間とともに増加し、リーク電流が発生します。低電流を測定する時、または低電流フォト・ダイオードを使用する時は、リークを最小限に抑える技術が必要になる場合があります。

リーク電流を最小限に抑える1つの方法は、ガードされたフィクスチャを使用することです。ガードされたフィクスチャでは、DUTの近くのエリアが出力HI信号と同じ電位に保たれます。これにより、DUTとリークパス間の電位差が減少します。

### 静電干渉

フォト・ダイオードを使用して行われるような高抵抗測定は、帯電した物体からの静電干渉の影響を受ける可能性があります。静電効果を排除するために、静電シールドの使用が必要になる場合があります。詳細については、ケースレーの高感度測定ハンドブックの第6版の「低電流測定」というセクションを参照してください。

- オペレーターが触れる可能性のあるすべての電気接続を二重に絶縁します。二重絶縁により、1つの絶縁層が故障した場合でも、オペレーターが保護されません。
- テスト・フィクスチャ・カバーを開いた時に電源を切断するには、信頼性の高いフェイルセーフ・インターロック・スイッチを使用します。
- 可能であれば、自動ハンドラーを使用して、オペレーターがテスト・フィクスチャの内部にアクセスしたり、ガードを開く必要がないようにします。
- システムを使うすべてのユーザに適切なトレーニングを提供して、すべての潜在的な危険を理解してもらい、怪我から自分を守る方法を知るようにします。
- オペレーターと保守担当者の保護が適切で効果的であることを確認するのは、テスト・システムの設計者、インテグレータ、および設置者の責任です。

### 光干渉

光ファイバまたは積分球に入る迷光は、テスト結果をゆがめます。半導体接合部のコンダクタンスに影響を与える可能性のあるすべての波長で、すべてのコンポーネントが適切にシールドされていることを確認してください。これは、フォト・ダイオードの暗電流測定にとって特に重要です。

## まとめ

LDモジュールやVCSELのためのDC／パルス試験は、R&Dラボの革新を促進するだけでなく、製造プロセスの早い段階で故障したコンポーネントを特定することにより製造コストを削減、加速ライフ・サイクル・テストにおいても重要な役割を果たすことができます。海底での運用や自動車／ADAS車両用のLIDARシステムなどの特有の環境向けのサブシステムに組み込む前に、不安定な部品を特定するために、多くのLD／VCSELメーカーは、高温での数日間のLIVテストを実施され、高信頼性のLDおよびVCSEL部品を提供されています。

**お問い合わせ先：**

オーストラリア 1 800 709 465  
オーストリア 00800 2255 4835  
バルカン諸国、イスラエル、南アフリカ、その他ISE諸国 +41 52 675 3777  
ベルギー 00800 2255 4835  
ブラジル +55 (11) 3759 7627  
カナダ 1 800 833 9200  
中央／東ヨーロッパ、バルト海諸国 +41 52 675 3777  
中央ヨーロッパ／ギリシャ +41 52 675 3777  
デンマーク +45 80 88 1401  
フィンランド +41 52 675 3777  
フランス 00800 2255 4835  
ドイツ 00800 2255 4835  
香港 400 820 5835  
インド 000 800 650 1835  
インドネシア 007 803 601 5249  
イタリア 00800 2255 4835  
日本 81 (3) 6714 3086  
ルクセンブルク +41 52 675 3777  
マレーシア 1 800 22 55835  
メキシコ、中央／南アメリカ、カリブ海諸国 52 (55) 56 04 50 90  
中東、アジア、北アフリカ +41 52 675 3777  
オランダ 00800 2255 4835  
ニュージーランド 0800 800 238  
ノルウェー 800 16098  
中国 400 820 5835  
フィリピン 1 800 1601 0077  
ポーランド +41 52 675 3777  
ポルトガル 80 08 12370  
韓国 +82 2 6917 5000  
ロシア +7 (495) 6647564  
シンガポール 800 6011 473  
南アフリカ +41 52 675 3777  
スペイン 00800 2255 4835  
スウェーデン 00800 2255 4835  
スイス 00800 2255 4835  
台湾 886 (2) 2656 6688  
タイ 1 800 011 931  
イギリス、アイルランド 00800 2255 4835  
アメリカ 1 800 833 9200  
ベトナム 1 2060128

2017年4月現在



jp.tek.com

**テクトロニクス／ケースレーインズツルメンツ**

お客様コールセンター：技術的な質問、製品の購入、価格・納期、営業への連絡

**TEL: 0120-441-046** ヨク良い オシロ 営業時間／9:00～12:00・13:00～18:00  
(土日祝日および当社休日を除く)

サービス・コールセンター：修理・校正の依頼

**TEL: 0120-741-046** なんと良い オシロ 営業時間／9:00～12:00・13:00～17:00  
(土日祝日および当社休日を除く)

〒108-6106 東京都港区港南2-15-2 品川インターシティB棟6階

記載内容は予告なく変更することがありますので、あらかじめご了承ください。

Copyright © 2020, Tektronix. All rights reserved. TEKTRONIX およびTEK はTektronix, Inc. の登録商標です。  
記載された製品名はすべて各社の商標あるいは登録商標です。

2020年5月 1KZ-61694-0