

# 短パルス試験を簡素化する 第3世代測定器

ジェフ・ヒューレット

新しい短パルス試験方法によってもたらされている、LEDの電気光学測定に使用される高度な分光計とソースメジャーユニットの機能について解説する。

LEDs Magazine 本誌4/5月号の記事では、20msのLED測定パルスの有効性が低下していることと、北米照明学会 (Illuminating Engineering Society: IES) と国際照明委員会 (Commission Internationale de l'Eclairage: CIE) による新しい規格で文書化された、改良された短パルス測定方法が登場していることについて説明された。最短で10 $\mu$ sのパルスを使用するその方法は、最適化されたLEDと高い電流密度で動作するLEDで発生する、熱に起因する深刻な誤差を克服するものである。3ケタ以上短いパルスの使用は、テスト機器に課題をもたらす。本稿では、その欠点について概説し、試験を簡素化する改良されたツールとして、第3世代のソースメジャーユニット、プログラム可能な分光計、ソフトウェアを紹介する。

## LEDに対する給電

LED試験施設では一般的に、ソースメジャーユニット (SMU) をLEDに対する給電に使用する。米ケースレイインストゥルメンツ社 (Keithley Instruments) によって1989年に最初に提供された第1世代のSMUは、低消費電力で動作する。それらの機器は、テスト対象デバイス (DUT) を静的要素として扱い、電流の立上り/立下り時間は、数百 $\mu$ sだった。測定中に電圧は変化しないと仮定するため、順方向電



図1 1 $\mu$ sに対応する第3世代SMUは、第1世代や第2世代のSMUとサイズは同じだが、短パルス試験方法において、より正確な測定結果を生成する (本稿の図はすべて、ベクトレックス社提供)。

圧 (VF) の測定など、多くの動作に対してタイミングは未定義だった。

第2世代SMUでは、タイミングが大幅に高速化されて、電流の立上り/立下り時間は、数十 $\mu$ sになった。それでも、パルスと測定のタイミングは

やはり不明確だったため、測定結果は、許容できないほどのばらつきを示すことが多かった。テスト開発者は、測定を繰り返して平均をとることを行ったため、試験時間は長くなり、接合部はさらに加熱することになった。

第2世代SMUは、短パルス試験には使用できない。標準化された最新の試験方法では、 $10\mu\text{s}$ という短い電流パルスが求められるためである。また、LEDのVFは、不確かなタイミングでのポイント測定ではなく、光積分時間に一致する時間範囲で平均化し、光学測定と正確にタイミングをそろえる必要がある。

短パルス試験方法を早期に採用した企業は、測定器をその場しのぎで構築したり、同期されたソース/メジャー機能を実行する電子機器を特注で製造したりした。例えば、VFの取得と光学測定のタイミングを合わせるには、高忠実度のサンプル電圧をナノ秒精度でトリガして平均値を計算できる、プログラム可能なデジタイザが必要である。また、多様なカスタム機器と商用機器を連携して動作させて、短パルスのトリガとデータ処理に対応するには、カスタムソフトウェアが必要になる場合が多かった。結局、それだけの設備を整えるために必要な投資は、大半の試験施設のリソースの範囲を超えていたため、加熱を低減する必要性を認識した後も、多くの施設が、長パルスによる試験方法を使い続けた。

その経済的な課題に屈することなく、短パルス試験方法を導入した試験施設も、次のようなエンジニアリングの問題に直面した。

- (1) 20msのパルスでは問題にならなかったケーブルのインダクタンスによって、電流の立上り/立下り時間が遅くなって歪み、その電流を駆動するために必要なコンプライアンス電圧が増加する。最大でLEDの順方向電圧よりも30V高い値にまで、増加する場合がある。
- (2) パルス幅と周期の $2\mu\text{s}\sim 3\mu\text{s}$ とい

う小さなタイミング誤差によって、測定誤差が生じ得る。その測定誤差は、長パルスによる試験では些細なものだが、パルス幅が $10\mu\text{s}$ に近くなると許容できないレベルになる。

- (3) パルスの遅い立上り/立下り時間に、低電流におけるLEDの効率の向上が相まって、これまでは未知の光学測定誤差だった、立上り/立下り誤差が生じる。
- (4) 高電流密度測定には、多くの場合で10Aを超える高いテスト電流が必要である。10Aは、多くのパルス電流源機器の標準的な最大値で

ある。

このような課題とその回避策によって総合的に、短パルス試験方法の導入は遅れている。多くの試験施設が、量子効率研究などの重要な処理に対してのみ、短パルス試験方法を使用している。

市場で提供されている第3世代SMUは、短パルス試験を念頭に設計されている。前世代の機器よりも優れたタイミングシステムとともに、これらのSMUには、回路のインダクタンスを克服してより高速な立上り/立下り時間を達成する、何らかの機構が搭載されている。定められた時間にタイミン

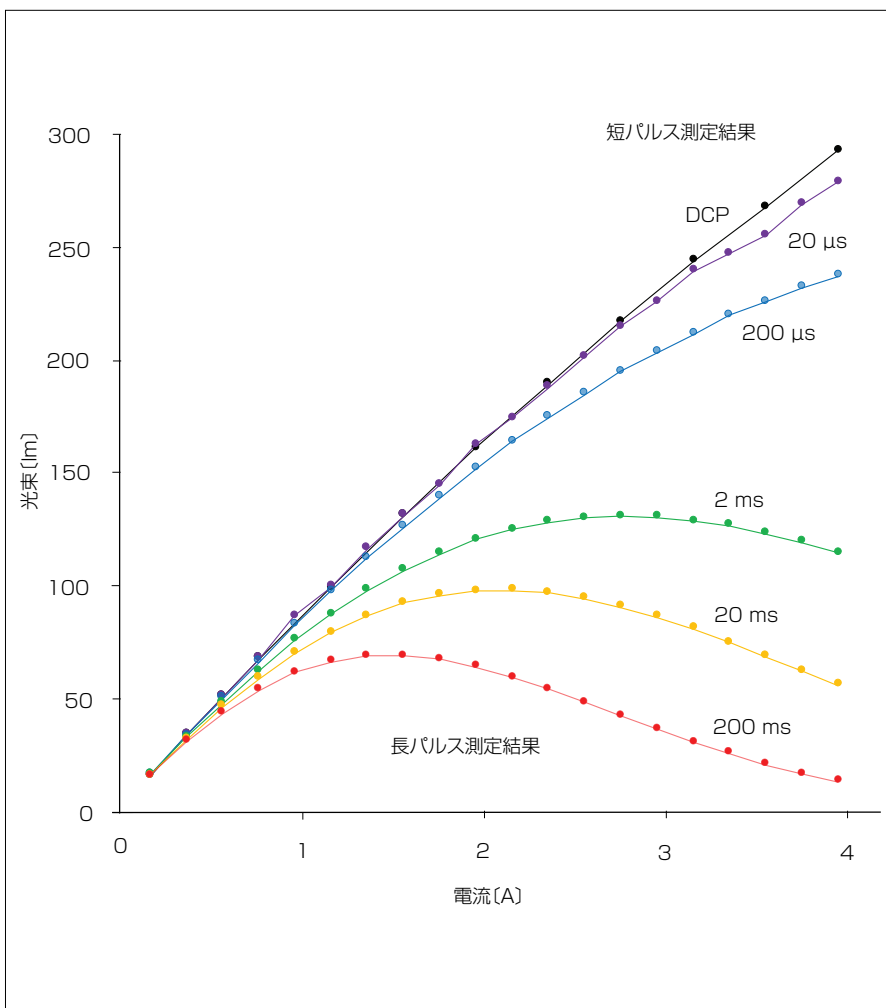


図2 長パルスと短パルスのL-I掃引曲線を比較すると、接合部の加熱に起因して光出力が下降し始める様子が確認できる。DCPは、測定誤差が最も少ない、最も安定した出力を示す。

グを合わせて電圧を検出するという要件に対応するために、すべての第3世代SMUに、電圧をデジタル変換する機能も搭載されている。

例えば、図1のSMUのハードウェアベースのタイミングシステムは、フル電力で1 $\mu$ sからDCのパルスを出力する。プログラム可能な負荷/ケーブル補償を搭載し、18ビットのデジタイザとハードウェアトリガ/タイミングシステムによって、光学測定と電圧測定のタイミング合わせを自動的に行う<sup>(1)</sup>。これまでの汎用SMUとは異なり、このデバイスは、光電子試験向けに最適化されており、掃引測定、パルス波形取得、熱インピーダンス曲線と構造関数をサポートする対数間隔測定を、ビルトインでサポートする。多くの処理に対してプログラミングは不要で、処理はわずか数ミリ秒で完了する。

回路解析から流用した新しい手法である電流重畳では、最大で60Aもの高電流が、長いケーブルを介して供給される。重畳によって、インダクタンスの影響が緩和され、立上り/立下り時間が高速になり、電流を複数の導体に均等に分配することができる。この機能により、複数のプローブピンを使用して、ウエハレベルでテストするコンポーネントに高電流を供給する際に、ピンやウエハが焼けるリスクが回避される。

## 積分分光計

LEDに正しく給電することができれば、次は、生成された光を収集して解析する必要がある。多くの設定で、分光放射計(分光計とも呼ばれる)が使用されるが、高精度な光学部品と電子部品を搭載するこの機器は、高額となる可能性がある。

多くの場合で、20msの測定から短

パルス測定に切り替える際に、分光計はそのまま使用し続けることができる。積分時間(分光計が光を収集する時間)を調整する必要があるが、同じ機器で必要な光測定を行うことができる。再利用が可能かどうかを左右する主な特性は、分光計の暗信号、すなわち、光が存在しないときに収集される残信号である。暗信号が大きすぎると、特に低出力LEDを試験する場合は、暗信号が収集光を大きく上回ってしまう。高性能の分光計は、暗信号が低いという特性を備える。これに第3世代SMUと適切なソフトウェアプラグインを組み合わせることで、新しい短パルス試験方法で優れた測定結果を得ることができる<sup>(2)</sup>。

## 改善されたデータ

一般的な測定結果であるL-I曲線を見ると、短パルス試験のメリットを確認することができる。L-I曲線は、掃引測定、すなわち、電流を増加させながら一連の単一測定を行うことによって、生成される。掃引には、パルス、または、階段状掃引として知られる、連続の電流ステップが使用できる。階段状掃引において、LEDは連続的に駆動されるため、熱は掃引開始から終了までの間に蓄積される。そのため、最初の方の測定は、LEDの周辺条件に近い温度で行われ、後のほうの測定は、それよりも高い温度で行われることになる。パルス掃引では、それよりもはるかに正確な結果が得られるが、長パルス掃引にはやはり、単一測定と

熱蓄積の問題が伴う。

図2は、AlInGaP(アルミニウムインジウムガリウムリン)LEDのパルス掃引によるL-I曲線である。ダイ面積は1mm<sup>2</sup>、公称電流は1Aである。200msの長パルスから20 $\mu$ sの短パルスまでのさまざまな電流パルス幅で、試験を行った。すべての曲線が、1Aの公称電流の約50%まではほぼ同じであることに注目してほしい。しかし、その電流を超えると、接合部の加熱によって光出力が下降する。電流パルスが最も長い場合で、その下降は非常に著しく、電流の増加とともに曲線が下降していく、ロールオーバーという現象が生じている。20 $\mu$ sのパルスの曲線は最も平坦だが、この曲線は測定誤差の影響を受けている。黒色の曲線は、日亜化学工業が開発したDCP(Differential Continuous Pulse)手法を使用して作成したものである。このDCP曲線は、最も下降が少なく、測定ノイズを含まない。

## デバイスの高度化を促進する短パルス試験

短パルス試験への移行が進めば、適切な短パルス試験を実現するためにさまざまな機器を統合して調整する必要がなくなる。高度なデータによって製品開発者は、より効率的で費用対効果の高い紫外線及び可視光LEDシステムを構築できるようになる。より信頼性の高い試験方法は、高電流密度におけるデバイス性能をLEDチップ開発者が理解する上でも役立つ。

### 参考文献

- (1) Vektrex third-generation SpikeSafe SMU data.
- (2) Instrument Systems' SpecWinPro Software Application.

### 著者紹介

ジェフ・ヒューレット(JEFF HULETT)は、テスト及び計測システムの開発を手掛ける米ベクトレックス社(Vektrex)の創設者で最高技術責任者(CTO)。