

高繰り返しレートレーザーの パルスエネルギーをリアルタイム計測

ドン・ドゥーリィ

これまでは難しかった高繰り返しレートレーザーのパルスエネルギー計測が今や可能になっており、精度も向上して推定値は使われなくなった。

近年、高繰り返しレートのパルス励起個体 (DPSS) およびファイバレーザのアプリケーションが爆発的に増えている。このようなレーザを使う産業はいくらでもある。アプリケーションの例を挙げれば薄膜のアブレーション、マイクロマシニング、レーザマーキング、マイクロビア穴開け、太陽電池スクライビング(図1)、ライダなどがある。

これら高繰り返しレートパルスレーザの魅力は何だろうか? この種のレーザは、小型、高速、高効率であり、多様な波長を出力し、高繰り返しレート (rep rates) で動作する。数ミクロン範囲の精度で材料を正確に加工でき、ほとんど熱が発生しない。短(ピコ秒~ナノ秒の範囲)パルスであるため、得られるピークパワーは数100メガワット(MW)になる、これは基本的に個々のパルスが光学的過程で材料を切断するレベルである。そこでは多光子吸収によって材料内の電子が励起され、分子結合を直接切断されている。

この種のレーザは、数ミリ秒という短時間に数千パルスを放出するので仕事量が大きい。わずかに数ミリ秒でメモリチップに「ビア」を開けるために使われる。あるいは、薄膜太陽電池にスクライブラインやエッジ・アイソレーション(絶縁)の直接加工を行い、ライダ技術を用いて飛行中に土地の輪郭を捉えるなどの用途がある。

「高繰り返しレート」の意味は何だろ

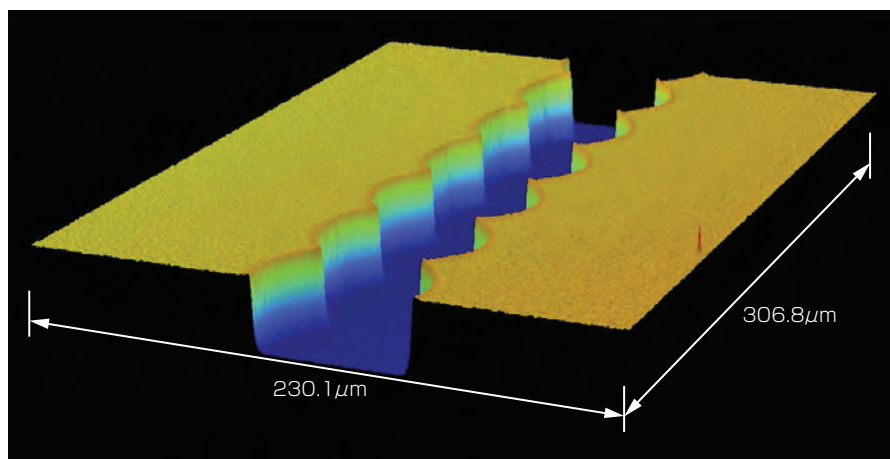


図1 太陽電池スクライビングで用いられる重複切断パタンの概念図

うか? 例えば、QスイッチDPSSレーザは、1~300kHzで動作可能であるが、ファイバレーザの繰り返しレートはさらに高く、500kHzを超える。とは言え、今日のアプリケーションの大半は、繰り返しレートの仕様を50、100、200kHzと定めている。パルスエネルギーレベルは、数ナノジュール(nJ)~数ミリジュール(mJ)で、一般に266~1550nmまでの間で波長を選択できる。

高繰り返しレートのアプリケーションは全て、それにとって不可欠の特殊パフォーマンスパラメータを持っている。これに含まれるのは、パルス間のエネルギー安定性、パルスジッタ、ミッシングパルス、エネルギーしきい値もしくはエネルギー密度しきい値を下回るパルス。これらのレーザ特性の全て、あるいは多くが、材料加工品質を決める。

このようなパラメータのリアルタイム

計測はどうすればよいか? 最近までこのような計測は非常に難しかった。平均パワーの計測には、熱量計を使用しなければならなかった。繰り返しレートや相対密度の計測には、高速フォトダイオードが必要であり、数パルスの形状を捉えるには、高価なデジタルオシロスコープを用いなければならなかった。次にエンジニアは、パルス形状についての推定をいくつも行い、パルスエネルギーとパルス間の安定性の計算を行わなければならなかった。この作業が全て終わった後に、ようやくレーザのパフォーマンスがどうであるかの評価をすることになる。

高速応答のための新回路

現在、熱パワーメータに依存しない異なるアプローチがある。その効果は、簡素化向上であり、推量を減らして精

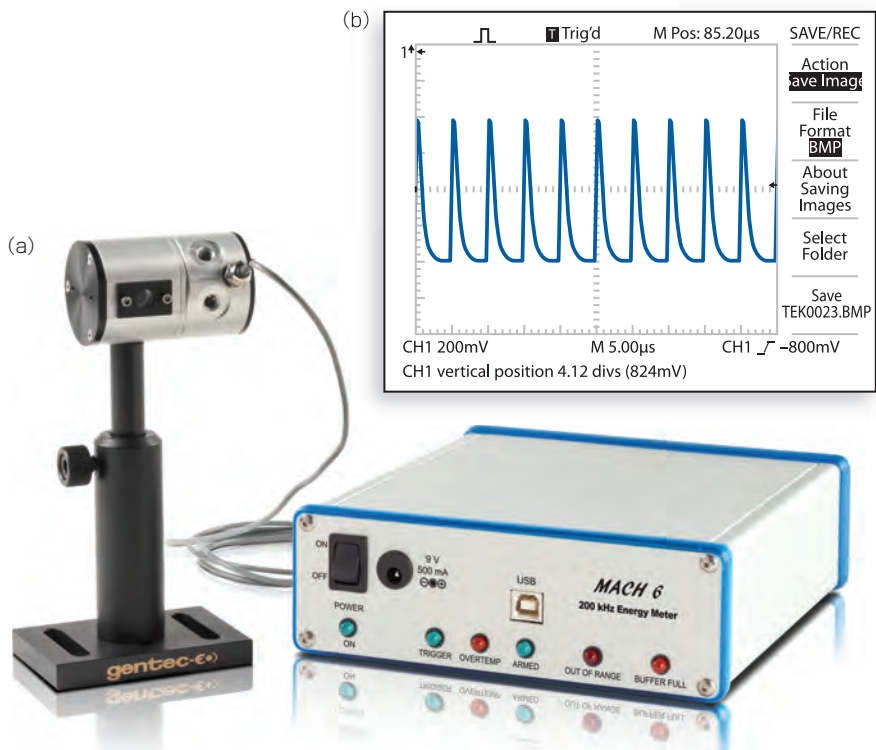


図2 マッハ6デジタルジュールメータとM6-6-Si高速シリコンプローブ(a)でパルスレート230,000pulses/sまで計測。マッハ6アナログ出力(b)の例は、200,000 ppsで計測した時の電圧パルスを示している。いずれの場合でも、リアルタイムでパルスエネルギーデータをキャプチャして解析できる。

度を高めることになる。この新しいタイプの測定器実現に必要なものは一群の高速パルス-エネルギー検出器の開発と検証だ。この高速パルス-エネルギー検出器は、数100ナノ秒の中にナノ秒の短パルスを統合し、いつでも続いて次のパルスが出せる状態になっている。

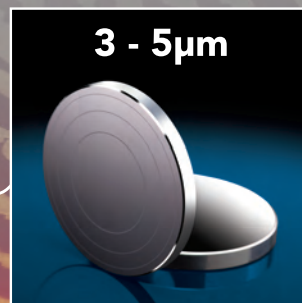
高速応答は、負荷キャパシタに検出器電流パルスを統合した回路に設計した小型の低容量検出器を用いて実現した。抵抗容量(RC)特性は極めて重要であり、電圧出力の立ち上がり時間が数100ナノ秒、立ち下がり時間が数マイクロ秒となるように設定した。これによって測定器は、230kHzまで正確に計測できるようになっている。

測定器-マッハ5とマッハ6デジタルジュールメータとM5およびM6エネルギープローブ(図2)-は、パルスエ

ネルギーを12ビットの分解能でそれぞれ1秒間に13万パルス(pps)、23万ppsまで計測できる。このエネルギープローブは、シリコン(335~1100nm)のスペクトラルレンジ)もしくはインジウム・ガリウム・ヒ素(InGaAs)フォトダイオード(1000~1600nm)、および高速パイロエレクトリック(焦電)熱検出器(350~2500nm)を内蔵している。これらのプローブは、再現性1%以上でナノジュールからミリジュールレベルまで計測できる。

測定器は最高繰り返しレートで400万パルスまで、キャプチャして蓄積できる。次に、LabVIEW(ナショナルインスツルメンツ社)アプリケーションソフトウェアがデータ処理を行い、ストリップチャート、ヒストグラム、統計、高速フーリエ変換(FFT)など、多様な形式で表示する。(マッハ5/マッハ6

IRオプティクスは必要ありませんか?



お客様が使用する波長もカバーします!

ご注文は今すぐ!

サポートが必要ですか?
見積もり依頼は、当社営業部までご連絡ください

more optics | more technology | more service
Edmund optics | Japan

エドモンド・オプティクス・ジャパン株式会社
〒112-0001 東京都文京区白山5-36-9 白山麻の実ビル
TEL: 03-5800-4751 FAX: 03-5800-4733 | www.edmundoptics.jp

www.edmundoptics.jp/ir

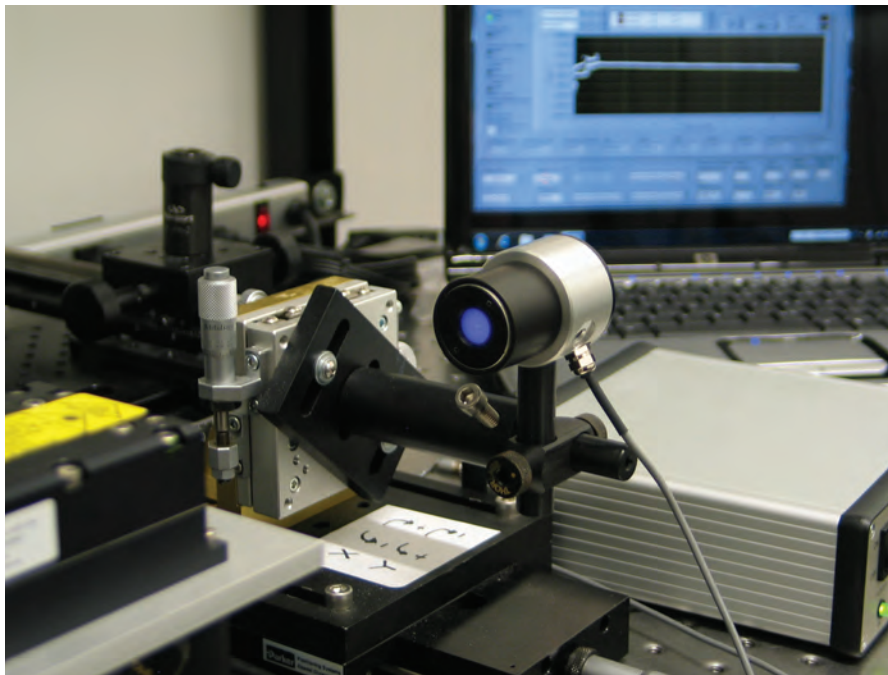


図3 シリコンプローブはUVディフューザと組み合わせており、繰り返しレート50kHzでNd:YAGレーザーの周波数4倍波266nmを計測する。

ソフトウェアはスタンドアロンであり、この測定器を既存のレーザーテストセットアップやシステムに組み込みたいユーザー向けに、一連のLabVIEWドライバが含まれている。

熱補償プローブ

設計上、不可欠なもう1つのポイントは、プローブで高い平均パワーレベルの熱的影響を補償することでパルスエネルギー計測の完全性を維持することであった。いかなる光検出器でもその出力は、検出器の温度と温度係数に依存する。エネルギーセンサのキャリブレーション(較正)は、一般に室温で行うが、例えば検出器の温度が20℃上昇すると、出力(較正係数)は4%変化する可能性がある。この問題を回避するために、M5とM6プローブはサーミスタをセンサにマウントして温度をモニタしている。マッハ6ソフトウェアは、キャプチャしたパルス情報に補正係数を適用できる。

この新しいエネルギープローブをサポートするのに必要なデジタル回路は、マイクロ秒長の電圧パルスをデジタル化してそれら进行处理して正確なピーク、ベースライン、周期、温度計測ができなければならなかった。さらに、新しい測定器はデータを高速にリアルタイムで蓄積できなければならなかった、例えば400万のデータポイントを20秒で(20万ppsデータレート)で蓄積する。さらに、そのデータを迅速にコンピュータ(PC)にダウンロードして次のデータのためにスペースを空ける必要がある。そのため、フルスピードのUSB2.0接続が必要だった。取得した生データは、パルスエネルギー、タイムスタンプ、プローブ温度を含んでいる。

ライフテストモード

アプリケーションソフトウェアのFFTアルゴリズムによってユーザーは、レーザー出力の周期的変動の原因を詳しく調べることができる。製造工程用に

このソフトウェアは「ライフテスト(寿命試験)モード」を持っており、ユーザーはレーザーシステムのカスタマイズされた長期エネルギー安定化試験を設定することができる。バッチあたりのパルス数とバッチタイムインターバルとともに、開始時間と停止時間を設定する。必要な計測パラメータも選択し、完了までに数時間あるいは数日かかる試験が開始される。最終結果は、表形式のデータ一式で得られる。

高繰り返しレートのレーザーアプリケーションの中には可視光から遠く離れた波長で出力するものもある。例えば、深紫外(DUV)あるいは遠赤外(IR)だ。これらのアプリケーションでは、M5やM6プローブの光フロントエンドの変更が必要になる。UVレーザー向けにUVグレード光拡散器(ディフューザ)を開発した。例えば、Nd:YAGレーザーの第4次高調波266nm(図3)。10.6μmの二酸化炭素パルスレーザー(CO₂)用としては、高速パイロエレクトリック検出器がディフューズ・ゴールド(Au蒸着膜)積分球との組み合わせで使える。

高繰り返しレートレーザーのアプリケーションは継続的に普及が進んでおり、レーザーの繰り返しレートも継続して高くなっているため、一段と高速のデジタルエネルギーメータの必要性が高くなる見込みだ。すでに問い合わせがきており、より高速の測定器を開発する新たなアプローチの調査も開始している。繰り返しレート100万pps近傍で計測できる測定器が2013年に出てきても驚くに当たらない。

著者紹介

ドン・ドゥーリー(Don Dooley)はジェンテック・エコ社(Gentec-eo USA Inc.)(5825 Jean Road Center, Lake Oswego, OR 97035)のジェネラルマネージャ。
e-mail:ddooley@gentec-eo.com; www.gentec-eo.com.