

Technical Note

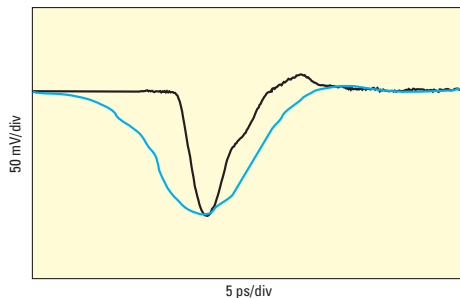
パルスレーザー測定用の高速フォト検出器仕様

Using High-Speed Photodetectors for Pulsed-Laser Measurements

(Model 1444, 1454, 1024) は短パルスレーザーのパルス形状測定や光短パルスの光トリガ信号発生に便利です。このような測定を行う際には、いくつかの注意点があります。

測定における注意点の一つは、パルスレーザーの励起状態よりも光飽和レベルの低いフォトレシーバを選択することです。光飽和は出力レベルがある一定の準位に到達したときから始まります。どのようなタイプのシグナル（パルスを含む）でもこの準位は、CW入力飽和パワー（ P_{cw} ）とゲイン（G）の積でおおよそ求められます。フォトレシーバの応答時間よりもパルスが短い場合には、出力パルスはフォトレシーバのインパルス応答のFWHMと等しくなります。パルス持続時間をTとしたとき、平均飽和パワーは出力シグナルのデューティサイクルFWHM/Tから求められる P_{cw} に等しくなります。例えば、1 mW、10 MHz出力のレーザーを $P_{cw}=1$ mWの10 GHzフォトレシーバ（35 ps FWHM）で測定する場合には、ファクタ $35 \times 10^{-12} / 10 \times 10^{-9}$ または35 dBだけ光減衰する必要があります。

パルスレーザーの測定で考慮すべき2番目の事項は、オフセットについてです。オフセットは、オシロスコープまたはDC結合フォトレシーバによって生じ、低周波数またはスローシグナル成分について誤った結果を生み出す場合があります。インパルス測定ではオフセットを減算することが重要で、パルス到着点より前にあるウィンドウで測定した平均バックグラウンドシグナルを、全体のインパルス測定値から差し引くことで正しい結果を導くことができます。



電気光学サンプリングしたフォトダイオードの出力は5 ps FWHMです。同じ出力を50 GHzオシロスコープで測定した場合は12 ps FWHMです。

測定に重要なのは、計測器のバンド幅

正確な測定を行うためには、システム的全コンポーネントのバンド幅がシグナルの3 dBバンド幅以上で、シグナルの最も速い部分よりも速いインパルス応答をもつ必要があります（時間ドメイン測定における有効な試算式は時間的パルスの半値全幅（FWHM）で、コンポーネントが $0.44/t$ よりも大きな周波数3 dBバンド幅をもつ必要があります）。例えば6 psフォトディテクタをとっても高速（50 GHz）なオシロスコープと組み合わせても、6 psのトレースを生成することはできません。これは測定対象のパルス幅が、シグナル、フォトダイオード、オシロスコープといった多くのバンド幅のコンボリューションに依存するためです。

6 psフォトディテクタと50 GHzオシロスコープを用いて5 ps FWHMを測定した場合の測定予想値は、各パルス応答の二乗を合計することで得られます（これは特にガウシアンパルスで非常に正確な予想値となります）。この試算には、先にオシロスコープのFWHMの算出が必要です。周波数の3 dBバンド幅を f_{3dB} とすると、 $FWHM = 0.44/f_{3dB}$ であるため、50 GHzオシロスコープのFWHMは約9 psです。*従って測定されるシグナルのFWHMは以下の通りです。

注意すべき他の重要な因子は、ケーブルやコネクタのバンド幅と、レーザーのパルス間ジッタです。サンプリングされたオシロスコープのトレースは、多くの異なるパルスから取得したデータから成ります。そのためタイミングジッタによって、測定シグナルが広がる可能性があります。

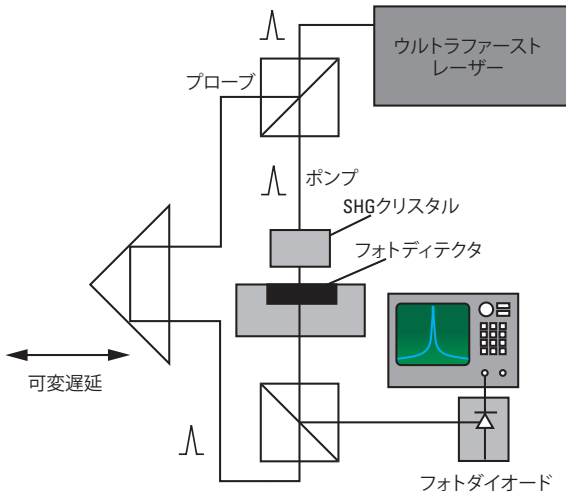
$$\sqrt{(5 \text{ ps})^2 + (6 \text{ ps})^2 + (9.4 \text{ ps})^2} = 12.2 \text{ ps.}$$

50 GHz以上のシグナルの測定には、電気光学サンプリングなどの光学的ポンププローブ技術による方法が有効です。**

パルス活性化されたフォトダイオードを組み込んだ電気光学サンプリング法を用いて、100 fs FWHMパルスで60 GHzフォトディテクタで検出した場合、5 ps FWHMの応答が測定されます。一方これを50 GHzオシロスコープで測定した場合の予想パルス幅は12 psです。

*K. Rush, S. Draving, and J. Kerley, "Characterizing High-Speed Oscilloscopes," IEEE Spectrum, (1990), pp. 38-39.

**For a discussion on electro-optic sampling, see K.J. Weingarten, M.J.W. Rodwell, and D.M. Bloom, "Picosecond Optical Sampling of GaAs Integrated Circuits," IEEE Journal of Quantum Electronics, QE-24 (1988), pp. 198-220.



ここで示すようなポンププローブ構成を用いると、数THzのバンド幅をも測定できます。

超高速ディテクタの周波数とパルス応答の測定

周波数ドメイン測定

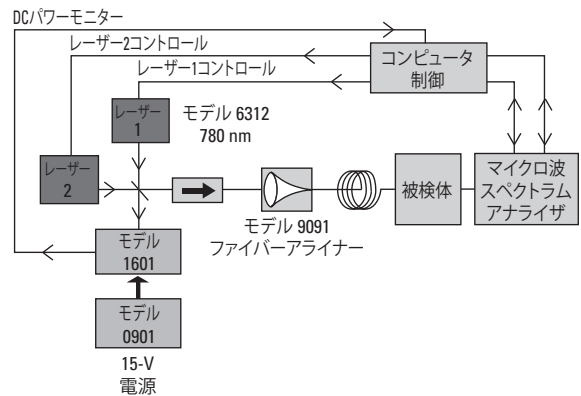
速度>20GHzについては、同パワーのレーザービーム2本とわずかに異なる周波数がフォトディテクタを照射する、ヘテロダイン機器から発生するビート信号をモニタリングし、フォトディテクタの周波数応答を測定します。フォトディテクタは入力強度だけに感度をもち、電場への感度（二乗検波応答）はありません。そのためフォトディテクタでは2つのレーザービームが混合され、ビートノート（周波数の差）*のシグナルコンポーネントを内包したフォトカルレントが発生します。

New Focus™のGaAs製フォトディテクタは2台の780 nm外部共振型チューナブルダイオードレーザーを、InGaAs製フォトディテクタは2台のチューナブルNd：YAGレーザーを用いてテストされています。これらレーザーは連続的にチューニングできるため、DC->90 Hz範囲の全周波数を発生できます。2台のレーザービームは互いに若干離調されています。フォトディテクタでこれらレーザービームを受光し、その出力を最高40 GHzのスケアラアナライザ（測定精度±1.5 dB）と40~90 GHzスペクトラムアナライザ（測定精度±3.5 dB）で測定します。

時間ドメイン測定

New Focusの時間ドメインフォトディテクタと12 GHzフォトレシーバは、50 GHzデジタルオシレータで個々にテストされ、出荷時には各インパルス応答曲線が添付されます。活性パルスとして1550 nmパルスファイバレーザーを使用し、GaAs製フォトディテクタのテストにはこの二倍波775 nmを使用します。レーザーの出力パルス幅は<500 fs FWHMです。765 nmでのテストでは、周波数ダブラを使用します。

*R.T. Hawkins II, et al., "Comparison of Fast Photodetector Response Measurements by Optical Heterodyne and Pulse Response Techniques," Journal of Lightwave Technology 9, No. 10 (10 Oct 1991), pp. 1289-1294.



2台のNew Focus 780 nm外部共振型ダイオードレーザーを使用して、DCから>60 GHzのヘテロダインビート信号を発生させます。