ダイナミックレンジと波長確度を著しく向上させた波長可変光源

井上 憲人

キーサイト（Keysight Technologies）は、今年３月に新しい波長可変モジュール81606Aを発表した。国内では、それよりもわずかに遅れて４月に発表されたが、出荷はようやく始まったばかりの段階にある（図１）。

変化する通信市場の要求

新製品81606Aチューナブルレーザ光源は、「10年以上にわたり業界標準となっている81600Bから大幅に機能を拡張」した。狙いは、光コンポーネントメーカーの要求である、「より効率的なテストとテストマージンの改善」である。これらの要求に応えるために新製品は、ダイナミックレンジの大幅改善、絶対波長確度の4倍改善、掃引速度の40倍高速化を特長としている。

測定器で使用されるチューナブルレーザに対する市場からの要求の背景には、光通信市場の変化がある。キーサイト・テクノロジーのエレクトロニックテスト事業部、ビジネスデベロップメントマネージャー、山中正樹氏は、テストシステムに対する市場からの要求は高密度波長分割多重（DWDM）、波長選択スイッチ（WSS）の進化から来ると指摘する。「フィルタが何段も重なるようなマルチデグリー ROADM（設定変更可能な波長挿抜多重装置）では、今までの性能ではフィルタの形状が正しく計測できない。フィルタにフィルタがかかるので、測定システムに使用する光源にも、もっとダイナミックレンジが必要になった。ユーザーの要求として、もっとダイナミックレンジが欲しい、WSS量産関連ではもっと掃引速度を速くしないとスループットが上がらない、などの要求が数年前から来ていた」と話している。

調査会社ヘビーリーディング（Heavy Reading）が、「次世代ROADMレポート」を発表したのは2010年11月。このレポートは、「より先進的なDWDMやROADM技術を使うことによってオペレーターは、光レイヤが伝送コスト削減に最大限寄与すること期待している」と当時の通信市場の要求を紹介している。

オペレーターの要求に応えるROADMとして、この段階ですでにCDC（Colorless, Directionless, Contentionless）を特徴とするROADMが注目されるようになっている。CDCとは、波長、方向を問わず、ノンブロッキングであることを指しており、これが柔軟性のあるROADMの内容となっている。このようなROADMの中核となるモジュールが波長選択スイッチ（WSS）であり、ECOC2010では、フィニサやsantecなどのコンポーネントメーカーがROADM向けLCoSベースのWSS製品を発表していた。

山中氏が指摘する市場の変化とは、自動的に波長や方向が切り替わる新機能を搭載したROADMノードへ向かう通信ネットワークの変化を指している。この動きが本格化してくると、測定器メーカーは同氏が指摘するようなコンポーネントメーカーの要求に対処しなければならなくなる。

こうした要求に応えて、キーサイト（当時はAgilent）は、2011年9月にコンパクトチューナブルレーザ81960Aを発表している。この製品は、掃引速度も出力も2015年発表の新製品81606Aとほとんど変わらないように見えるが、

図１　キーサイト81606A。2011年に発表されたN7700Aというソフトウエアにより自動的にアルゴリズムに沿って損失、偏波依存損失、偏波間のバラツキなどを一括測定できる。

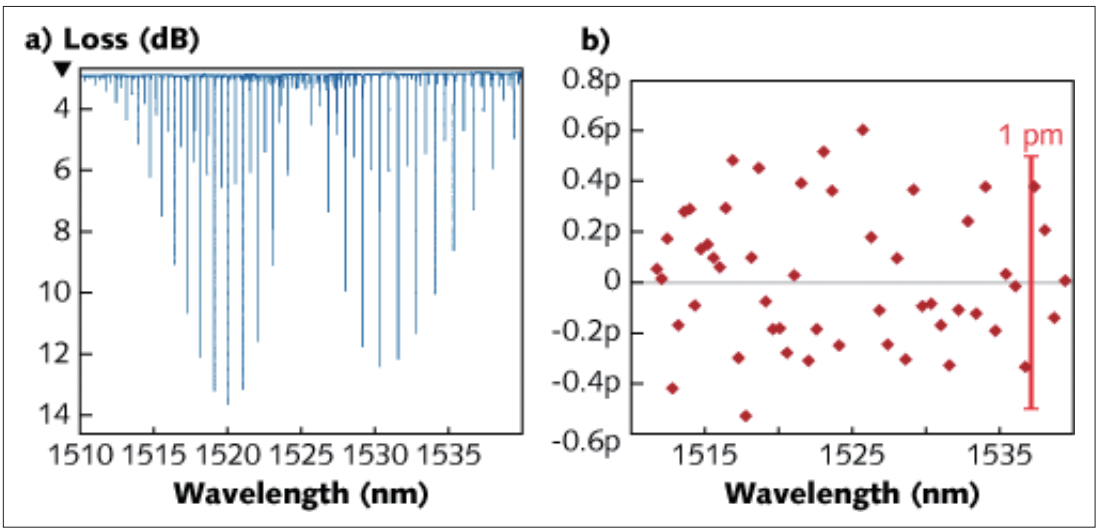

図2　アセチレン（C_2H_2）ガスセルの吸収ラインを200nm/s掃引速度で取得し（a）、既知の値と比較（b、NIST SRM 2517a）。計測中心波長の±1pm以下の偏差は81606Aチューナブルレーザを使えば可能（縦軸：波長確度、横軸：波長）。

山中氏は「中間グレードの製品」と位置づけている。

波長確度、ダイナミックレンジ向上

前世代の機種、81600Bチューナブルレーザモジュールと比較して、新しい81606Aは、絶対波長確度と波長再現性が4倍以上、両方向の掃引速度は波長確度に影響を与えることなく40倍、ダイナミックレンジは15dB大きくなって80dB以上になっている。

波長確度の改善は、新しい波長リファランスユニットの利用によって達成されている。これはリアルタイムトラッキング速度と分解能を持ち、長期安定および±1.5pmの波長確度を（連続掃引、双方向）を可能にする内蔵ガスセルを用いている。新たな熱設計により残留温度の影響を補償することで、波長確度とパワー安定性に対する環境の影響を最小化している。

この絶対波長確度は、コンパクト81960A、競合他社の最新製品と比較しても大きく差が出るところだ。例えば、81960Aは連続掃引モードが5nm/sから200nm/sまで選択できるが、掃引速度が速くなると波長確度は低下する。5nm/sでは絶対波長確度±5pm、200nm/sでは±15pmとなる。しかも200nm/sの掃引レンジは1528～1608nmとなる。競合製品で掃引速度1～100nm/s、絶対波長確度±5pmを表明しているものもあるが、81606Aの200nm/sで±1.5pmには及ばない。

波長再現性は、掃引速度や掃引方向に関係なく±0.3pm。アクティブチューニングコントロールループを利用したスタティックモードでは±0.2pmになる。この点もコンパクト81960Aや競合他社製品は、1ケタ違うと言える。モードホップフリー動作は全チューニングレンジで標準。これはキャビティの共振器長とグレーティング角度が同時に変わるためである。これによって位相スリップが防げる。

両波長オプション（1450～4650nm/149～1640nm）で、波長確度とパワー再現性を維持しながら、チューニング速度は200nm/sに達している。これは、前モデルの最高精度の掃引速度（5nm/s）と比較して40倍となる。

強化されたフィードバックコントロールと、加速度と掃引直線性改善を狙った駆動機構により、新しいモデルは200nm/sまで加速するためにわずか5nmしか必要としない。前モデルは最大速度80nm/sに達するのに20nm必要だった。

高出力レーザチップ、新しいキャビティ、レーザモジュールデザインを用いることで、ダイナミックレンジは大幅に大きくなっている。新しいゲインチップ出力レベルは、CバンドおよびLバンド全域で+11dBm、ビームスプリッタによりSSEを90dB/nmまで抑制している。

81600B がリリースされてから新製品81606Aが発表されるまで、10年以上経過しているが、チューナブルレーザに対する市場の要求はこの間に大きく変化している。変化する市場要求に応えてキーサイトは、2011年にコンパクトパッケージの81960Aを市場投入した。この製品は、出力12dBm、掃引速度も200nm/sであったが、山中氏は「一般的なチューナブルレーザとしては十分であったが、波長確度、安定性の点でユーザーの要求を満たせなかった」と市場の要求が急速に厳しくなったことを示唆している。

ハイパフォーマンス実現技術

ダイナミックレンジ、波長確度、安定性向上と高速掃引のための技術的ポイントは上に見たとおりだが、もう1つ、

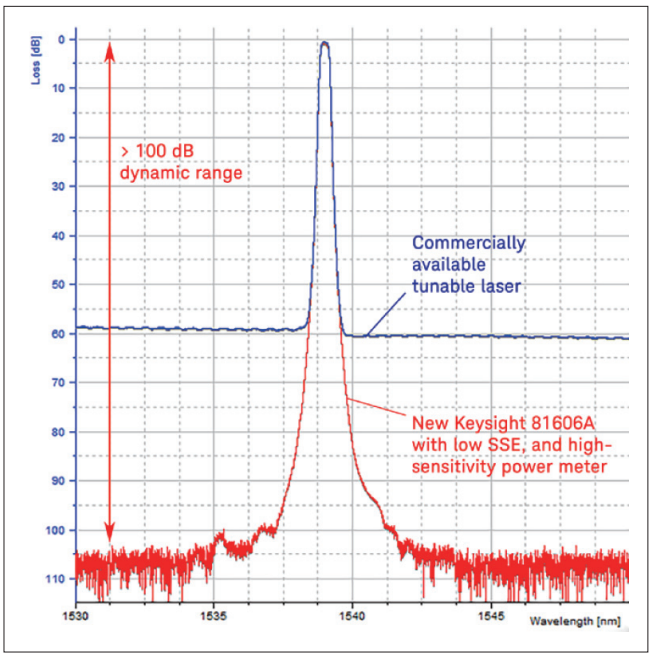

図3　50GHz DWDMフィルタのクロストーク。N7747高感度パワーメータと、低SSE新しいキーサイト81606Aで計測。高感度センサを使用すれば、ダイナミックレンジ＞100dBも可能（赤）。市販のチューナブルレーザを使った計測では、ダイナミックレンジは50～60dB程度（青）。

集積モジュールとしたことの影響も大きい。

「これまでは、バルクの部品を組み合わせて実装していたが、新製品ではそれらを集積化している。レーザチップ、ビームスプリッタ、レンズ、グレーティング、波長計を集積して1モジュールにした。これにより、人手による光軸調整が不要になり、すでにアライメントされた集積モジュールを搭載するだけになり、低価格化にもつながる」（山中氏）。

レーザチップは、新開発のハイパワー製品が採用されている。従来のチップは7～8dBm程度だったが、出力12dBmが可能なチップとなっている。また、高速掃引できるようにグレーティング（回折格子）が高速回転できるように改善している。光学系の最適化では、「ビームスプリッタの透過率を最適化し、波長モニタの仕組みを改善」している。

予想される今後の展開

現在、レーザチップは1種類で、波長レンジは1450～1650nmと1490～1640nmだが、山中氏によると、キーサイトは「今後さらにハイパワー、波長範囲を増やすことも検討している」。「例えば、シリコンフォトニクスなど、新しい市場を目指す。シリコンフォトニクスの場合、1310nm帯をカバーするチップが必要になる。シリコンフォトニクスの測定ではハイパワーが要求される。シリコンフォトニクスは、チップであるので、コネクタを付けないで評価しなければならないケースが多い。するとプローバで光を入れ、プローバで検出してロスを測ることになり、デバイス自体に大きなロスがなくても測定系の持つ損失が非常に大きくなる。このロスを補償するためにハイパワーレーザが必要になる」。

市場調査会社によると、「シリコンフォトニクス市場は、2014～2020年の期間でCAGR 27.74%で成長し、2020年には4億9753万ドルに達する」（MarketsandMarkets）とされている。この成長速度からすれば、シリコンフォトニクスを射程に入れた光源のリリースもそう遠くない時期に期待できそうだ。

LFWJ