

デジタル化するレーザ制御

Dr. マリオン・ラング

レーザダイオードが1970年代に商業化可能レベルになって後、初のダイオードレーザが開発され、多くのアプリケーションで採用された。それ以来、ダイオードレーザのアプリケーションの幅は、途切れることなく拡大を続け、レーザダイオードは材料加工、バイオメディカル、あるいはプロセス制御など様々な用途で使われている。

ここでは、狭線幅可変ダイオードレーザと、その制御エレクトロニクスに焦点を当てる。この特殊タイプのダイオードレーザは、冷却原子およびイオン、量子情報、高精度分光学の領域で、高精度光源として主要な役割を果たしている。このような光源は、原子の内部構造の研究、基本的な不変量の高精度計測で不可欠の手段となっている。原子時計も別の重要分野であり、その高い光周波数と狭線幅遷移により、既存のセシウム基準よりも遙かに高精度の時間計測が可能になる⁽¹⁾。

狭線幅可変ダイオードレーザ

これらのアプリケーションの多くは、何らかの方法で原子遷移の励起を利用する。フォトン波長が関連する原子レベルのエネルギー差に一致するとき、原子がフォトン吸収する。もう1つ別の重要なパラメータは、レーザの線幅だ。これは、原子遷移の線幅よりも狭くなければならない。とは言え、自走ダイオードレーザの線幅は一般に数100GHzである。ECDLセットアップ(外部共振ダイオードレーザ)では、周波数選択素子(グレーティング)によってレーザの線幅は100kHz以下になっており、一定の範囲でレーザ周波数を可変(チューニング)できる。これによってレーザの周波数は、原子遷移と高精度に一致させられる。今日のECDL



図1 新しいデジタルレーザコントローラDLCプロ(現在、DLプロ、TAプロ、CTLレーザヘッドに使用可能)は、双方向タッチスクリーン操作と優れた雑音特性とを統合している。

は190nmから3000nmの波長をカバーし、直接に、あるいは二次高調波発生(SHG)、四次高調波発生(FHG)により出力する。

ECDLの光学機械特性は、過去数年にわたり継続的に改善が進んでいる。例えば、独トプティカ社の「プロ」シリーズ・ダイオードレーザは、特許デザインと最新の製造技術によって、広いチューニング範囲と狭線幅をともに実現しており、振動や環境条件の変化に対する安定性も卓越している。

指先でレーザ制御

新しい世代のレーザコントローラは、今ではレーザの傑出したオプトメカニカル特性を補完するものとなっている。新しいDLCプロで(図1)、タッチディスプレイと改善されたノイズレベルを持

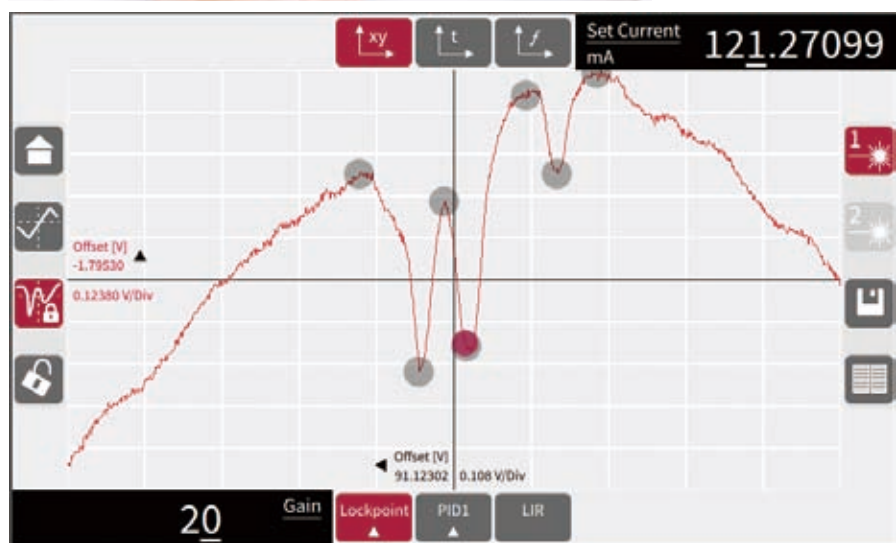
つデジタル制御コンセプトがラボに入っている。これは最新のルック&フィール(外観)と、デジタル世界で追加された自由度を統合している。追加された自由度とは、コンピュータ、ネットワークとの親和性、重要システムパラメータの蓄積、デジタル実験制御に容易に統合できることなどを指している。

従来の触感的なボタンで「ブラインド」操作ができることに加えて、DLCプロは静電容量性マルチタッチスクリーンも備えている。全ての関連するレーザパラメータ、例えばダイオード電流、スキャン振幅やスキャンオフセットなどは、簡単な直観的タッチジェスチャーで変えられる。

DLCプロは、レーザダイオード用には電流と温度の調整器、ECDLグレーティングの位置決め用にはピエゾ駆動回



図2 タッチディスプレイは、測定データを可視化することができ、スキャンオフセット、スキャン振幅、ロックパラメータなどの重要パラメータを対話形式で調整できる。



路を持っている。FPGA ベースのメインユニットがスキャン信号を発してモードホップフリーチューニング、レーザ周波数のロックイン変調を実現している。

外部機器からの信号、例えばルビジウムガスセルからのスペクトル信号を直接処理することで、この装置は追加のオシロスコープに取って代わることさえできる。

制御エレクトロニクスは、最も頻度の高い作業にも革命をもたらす。レーザ周波数を安定させて外部のリファレンス、多くは分光信号に合わせる。この目的のためにデバイスはデジタルロックイン増幅器、2つのデジタル比例・積分・微分コントローラ (PID) を備えている。これらを用いて DLC プロは、円で囲んで強調したスペクトラム (図2) の適切なロックインポイントを直接見

つけることができる (例えば、サイド、頂点)。ユーザは、タッチ & ジェスチャで直観的にレーザ周波数を、それらの対象の1つに調整して合わせる。これらの円の1つを叩くことで見たいポイントを選ぶ。もう一度クリックするとレーザの周波数が安定し始める。スキャンは自動的に完了し、レーザは進んでこの点にロックされる。

全ての機能は、配信も含めてリモート制御と PC ソフトウェアを介して使用することもできる。これにより、実際の実験が数千 km かなたで行われても、USB かイーサネット でレーザを操作することができる。

この新しいデジタルコンセプトに対する最も主張したいことは、ノイズとドリフト値などの技術的特徴がアナログのレーザコントローラと比べて非常

に優れていることである。この新しいコンセプトにより、電流ノイズ、したがってレーザ周波数の周波数ノイズ密度が大幅に改善されている。DLC プロと組み合わせることで DL プロは、その光学機械的な恩恵を十二分に受けて、不安定なレーザの線幅が著しく減少する。図3は、1200nmでのDLプロの自己ヘテロダイン計測の結果を示しており、DLC プロによって制御されることで線幅はわずか5kHzとなった。さらにレーザ周波数の長期安定性も著しく改善されている。これは本来なら、環境条件の変化にともなう温度、ピエゾ、電流コントローラの影響を受けるものである。

「スローライト」とライダへの応用

特に、レーザを1個以上使用する複雑な実験では、個々のレーザのパフォーマンスと安定性が極めて重要になる。これらのアプリケーションは、この新しいデジタルコントローラの優れた技術的特性の恩恵を受けている。レーザの線幅を Hz あるいは光原子時計のようにサブ Hz レンジに固定するような極めて厳しい実験でも同様である⁽²⁾。ここでは、レーザは長期にわたり高信頼に機能する必要がある。これらのアプリケーションでは新しい低雑音エレクトロニクスが非常に有利に働き、これらのレーザを安定させながら、低ドリフトであるので、クラス最高の長期安定性が得られる。

システムの利便性と安定性という長所は、「スローライト」実験では特に強調できる。指先で光の速度を制御できるからである。「スローライト」は興味をそそる基礎研究分野であり、将来が楽しみな多くの応用が考えられる。いくつか例を挙げると、例えば、通信のパバッファ、光データストレージ、あるいは

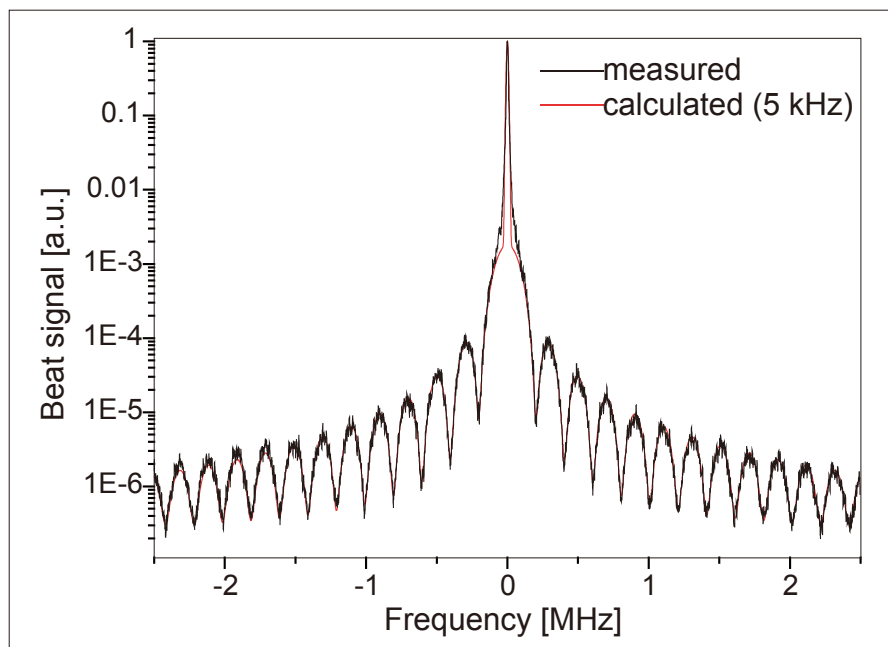


図3 新しい制御エレクトロニクスの特徴は、優れた雑音とドリフト値。これは、周波数安定化されていないレーザの線幅縮小に寄与する。1200nmでのDLC DLプロの遅延自己ヘテロダイン線幅計測は、わずか5kHzの高速線幅(5μs)を示している。

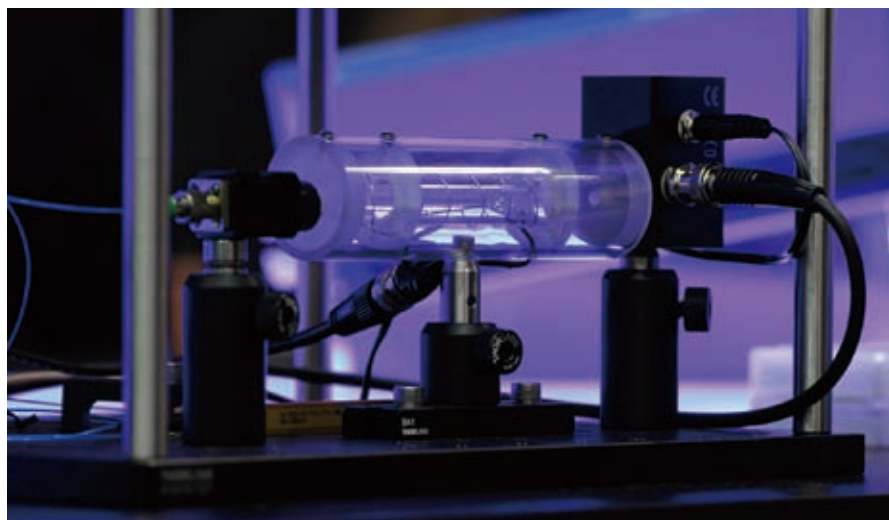
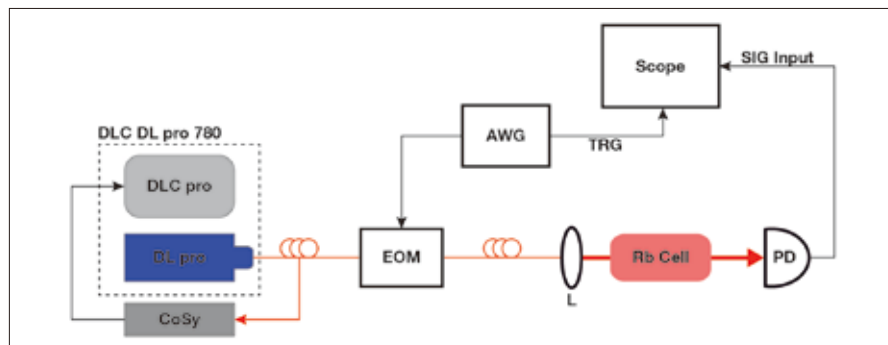


図4 「スローライト」向けのこのセットアップは、DLC DLプロの1応用例。実験は、サンフランシスコで開催されたフォトニクスウェスト2014期間中ライブ動作した。

はライダマルチチャネルシステムのタイミングなどだ^{(3)~(5)}。群速度 $v_g=c/ng$ (c =真空中での光速、 ng =群指数)は、材料の吸収特性に関わる屈折率の急速な変化に基づく様々な物理的メカニズムの影響を受ける。研究者たちは、100を上回る群指数達成に成功している。

図4は、780nmでDLC DLプロシステムとルビジウム(Rb)ガスセルをベースにして光速を変えるためのセットアップを示している。この実験では、Rbガスセルを横断する数ナノ秒(ns)の短パルスをフォトダイオードが検出する。ルビジウム共鳴付近で分散が著しく変化し、したがってパルスの群速度も変わる。ディスプレイ上で、指で触れるだけでレーザ周波数をルビジウム共鳴に沿って変えることができ、共鳴付近で著しく低減した群遅延が観察される。ルビジウム共鳴にごく近いところでは、このセットアップはレーザ周波数の変化に対して非常に敏感であり、したがってレーザの周波数安定化の優れた指標になる。DLC DLプロの優れた安定性により、レーザ周波数は(および、その結果、群速度も)一度設定されると、展示会環境(フォトニクスウェスト2014では、その設定はライブ動作し、群速度は30倍低減)でも固定されたままである。

別のアプリケーション例はライダ(光検出と測距)。ライダは、後方散乱光を分析して地形、温度、大気に関する内容など、遠隔の対象物に関する情報を取得する。この目的では、狭帯域のECDLをファブリペロー干渉計または原子遷移に周波数固定し、パルス増幅器の種光源として使う。ライダ実験は、遠隔環境、過酷環境で行われることが多い。例えば、北極圏のさまざまな大気層の温度プロファイルや構成要素の計測などがある⁽⁶⁾。優れた長期安定性

に関連して、コントロールセンタからの便利な遠隔操作ができるので、DLCプロにより、このような到達しがたい場所で高精度レーザ応用が可能になる。新しいデジタルエレクトロニクスを搭載して、シードレーザは文字通り世界中のいたるところから操作できるようになっている。

今後への期待

チューナブルダイオード用の新しいデジタルレーザ制御は、レーザのパフォーマンスを最大化するだけでなく、技術のトレンドを決める一大飛躍でもある。将来的に必要なと思われる新しい機能や構成はハードウェアの変更は必要としない、最悪の場合でも、ハ

ンダづけなど必要ない。その代わりに、新機能は、単なるソフトウェアやファームウェアのアップデートで実装できる。DLプロや増幅チューナブルダイオードレーザTAプロで現在利用可能になっているが、トプティカ社の新しい広帯域チューナブルダイオードレーザ

CTLでもデジタル制御エレクトロニクスで操作できる。今年末までには、周波数変換ダイオードレーザ (SHG/SHG pro) も新技術として提供する予定だ。

この新しいレーザ制御エレクトロニクスは、今後の可能性にドアを大きく開くものである。

参考文献

- (1) Diddams, S. A., Bergquist, J. C., Jefferts, S. R. & Oates, C. W. Standards of Time and Frequency at the Outset of the 21st Century. *Science* 306, 1318-1324 (2004).
- (2) Lang, M. It's time for new clocks. *Phys. Best* 22-24 (2012).
- (3) Bigelow, M. S., Lepeshkin, N. N. & Boyd, R. W. Superluminal and Slow Light Propagation in a Room-Temperature Solid. *Science* 301, 200-202 (2003).
- (4) Slow light now and then. *Nat. Photonics* 2, 454-455 (2008).
- (5) Shi, Z., Boyd, R. W., Camacho, R. M., Vudiyasetu, P. K. & Howell, J. C. Slow-Light Fourier Transform Interferometer. *Phys. Rev. Lett.* 99, 240801 (2007).
- (6) Lautenbach, J. & Höffner, J. Scanning ion temperature lidar for mesopause temperature observation. *Appl. Opt.* 43, 4559-4563 (2004).

著者紹介

Dr. マリオン・ラングはトプティカフォトニクス社のマーケティングダイレクター。
e-mail: Marion.Lang@toptica.com URL: <http://www.toptica.com>

LFWJ

C ontinu T unable L aser 高速 波長可変レーザ



- ▶ 最大 100nm モードホップフリー
- ▶ 950nm & 1550nm
- ▶ 高出力 最大 80mW
- ▶ 高速 波長チューニング
- ▶ DLC PRO コントローラで直感的なタッチスクリーン操作

Toptica Photonics 社の日本語ウェブページがオープンしました。全製品の詳細情報を日本語でご覧いただけます。

www.toptica.co.jp

sales@toptica.co.jp

総販売代理店:



INDECO, INC.
Independence & Collaboration

〒112-0003 東京都文京区春日1-11-14
本社営業部
TEL: 03(3818)4011 FAX: 03(3818)4015

〒530-0002 大阪市北区曽根崎新地2-1-13
曽根崎澤田ビル6F 大阪営業部
TEL: 06(6341)5799 FAX: 06(6341)5798