

光学計測とライダのゲームチェンジャーになり得るチップスケール・レーザ

ニオブ酸リチウムを用いた新しいチップスケールのレーザが、米ロチェスター大 (University of Rochester) と米カリフォルニア大サンタバーバラ校 (University of California, Santa Barbara : UCSB) の研究チームによって開発された。幅2mm、長さ約2cmという小ささでありながら、光学計測の精度とライダ動力源のゲームチェンジャーとなる。なぜなら、このレーザは、広い光スペクトルで1秒間に約10兆回も色を変えることで、極めて正確な測定を可能にするためだ。

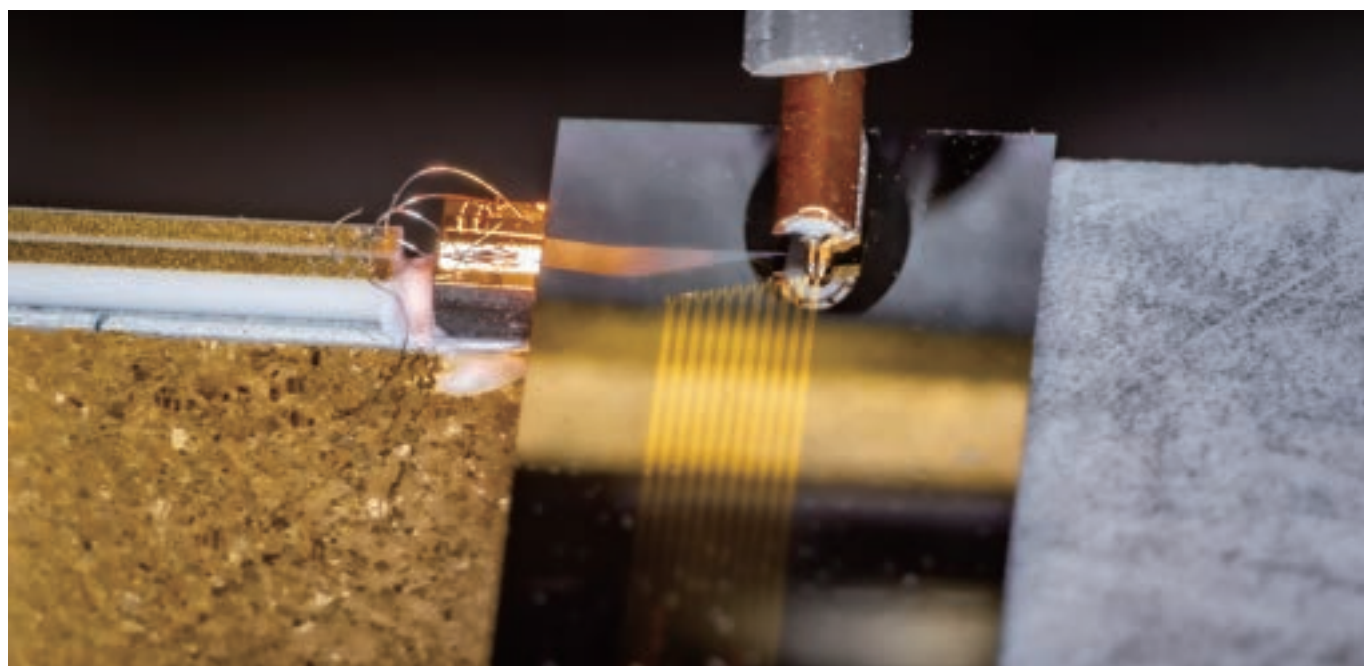
研究チームは、レーザの材料として、シリコンフォトニクスではなくニオブ酸リチウムを選択した。この理由は、電場が印加されると材料の屈折率が変化するポッケルス効果を利用できるからだ。

ロチェスター大電気化学工学・光学の教授であるチャン・リン氏 (Qiang Lin) のもとで研究を行っている大学院生のシーシン・シュエ氏 (Shixin Xue) は、「光学測定システムをより小型、シンプル、効率的にするという課題に刺激を受けた」と話す。「従来のシステムは、かさばる外部部品に大きく依存しており、その実用性や、コンパクトでポータブルなアプリケーションへの統合に制限があった。私たちは、これらの制限に対処し、精密光学測定技術をより広範に利用したかった」。

研究チームのレーザは、薄膜ニオブ酸リチウム (TFLN) と半導体レーザ技術 (III-V系ゲインチップ) を統合している。シュエ氏は、「電気光学的なポッケルス効果がコアだ。これにより、レーザ共振器内で直接、極めて高速な周

波数変調が可能となる」と説明する。「加えて、良好なサイドモード抑制と狭いレーザ線幅を実現するため、シリカラッド上に拡張型分布ブラッグ反射器 (DBR) を設計した。この簡素化された構造によってチューニング性能が大幅に向上し、従来設計の複雑さが軽減されている」。

チームの手法は、電極をニオブ酸リチウム構造に直接組み込むことであり、これにより電気信号によるレーザ周波数の迅速かつ精密なチューニングが可能になった。シュエ氏は、「私たちのアプローチにより外部変調器が不要となり、システムはよりコンパクトで信頼性の高いものになる」と述べる。「ニオブ酸リチウムの優れた電気光学特性を活用することで、極めて高速な変調速度と周波数チューニング性能が



左のゲインチップと、右のTFLNチップが結合された完全なレーザ装置。高周波プローブがTFLNチップに電気信号を送る

実現できた」。

今後進む光学計測と ライダの応用

研究チームのチップスケールのレーザは、光学計測とライダにおいてどのような可能性を切り開くのか。ライダシステムの速度を大幅に向上させ、高精度な距離・速度測定を可能にする。シュエ氏は、「例えば、毎秒数十メートルまでの速度を測定でき、距離分解能はセンチメートルレベルだ」と話す。「さらに、複雑な外部制御装置が不要となるため、光学原子時計、量子センサ、量子コンピューティングなどの高精度アプリケーションにおける周波数安定化をシンプルなものにする」。

本研究においてシュエ氏とチームが最も興奮した瞬間の1つは、当初の予想をはるかに超える前例のない周波数チャープ率を達成したことだった。シュエ氏は、「当初は毎秒数ペタヘルツ($10^{15} \sim 10^{16}$ Hz/s)程度の周波数チャープ率を見込んでいた」と話す。「しかし実際には約 2×10^{19} Hz/sという、当初予想の100倍以上も高速な周波数チャープ率を達成した」。この成果は、高い周波数チャープ率を必要とする応用分野の可能性を大きく広げるものとなった。

シュエ氏は、「高速周波数チューニング中に安定した単一モード動作を維持しつつ、極めて狭いレーザ線幅を達成することが特に困難だった」と指摘する。「レーザの構造設計の綿密な最適化、製造プロセスの慎重な制御、そして集積電極構造の精密な設計が必要だった。これらの課題を克服することが決定的となり、われわれのレーザが卓越した性能を有することが実証できた」。

このチップスケール・レーザのその他の主要な性能の詳細は、次のとおりだ。

本質的な線幅は167Hzという低さ、モードホップのないチューニング範囲は最大24GHz、変調周波数はGHzレベルに達する、ガスセル基準を用いた直接フィードバックロックにより1時間における長期周波数安定度 ± 6.5 MHzを達成。

車の自動運転ではすでにライダが活用されているが、次世代の周波数変調連続波ライダにはレーザ周波数の広いチューニング範囲が必要であり、研究チームのレーザはこの要件を満たす設計となっている。ミニデモでは、回転ディスク上のライダシステムを駆動し、レゴブロックで構成された「U」と「R」の文字を識別できることが実証された。研究者は、この技術を拡張すれば、高速道路の速度と距離において車両や障害物を検知できると確信している。

簡易的なタイムライン

タイムラインに関して、チームは今年1～2年以内に、完全パッケージ化されたシステムの実用的な実証実験を成功させる見込みである。実証実験の成功後、より広範な採用とアプリケーション特化型の開発が進むと予測している。

シュエ氏は、「当面は、レーザの機械的安定性と統合性を高めるため、全てをパッケージ化することに焦点を当てている」と話す。また、超高速周波数チャープ率に適した応用分野の発見も目指している」。

本研究は、米国防高等研究計画局(Defense Advanced Research Projects Agency : DARPA)の「汎用マイクロスケール光学システム用レーザ」プログラムおよびアメリカ国立科学財団(National Science Foundation : NSF)の支援を受けている。

(SALLY COLE JOHNSON)

LEWJ

レーザー・光技術のお困りごとは
レーザー専門商社の

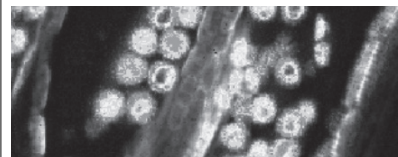


にお任せください!

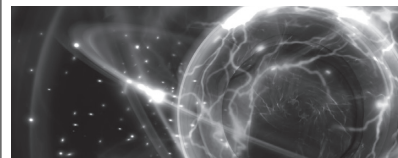
レーザー加工



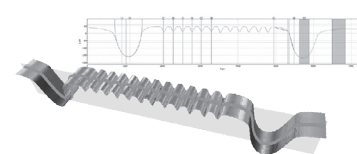
顕微鏡、バイオイメーjing



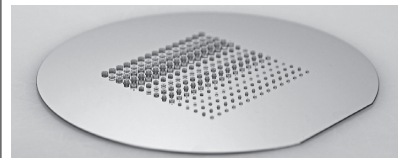
原子・分子・量子研究



検査・分析・評価



ナノフォトニクス、微細加工



光技術に関するご相談は

<https://www.japanlaser.co.jp/>

E-mail: jlc@japanlaser.co.jp

JLC JAPAN LASER 株式会社 日本レーザー

本社 〒169-0051 東京都新宿区西早稲田2-14-1

TEL: 03-5285-0861

大阪支店 TEL: 06-6323-7286

名古屋支店 TEL: 052-205-9711