

シリコンフォトニクスが光通信と科学用レーザのチューナブル機能を拡大

ヨンカン・ガオ

半導体光増幅器をはじめとするオンチップ・オフチップコンポーネントが、小型で効率の良いシリコンフォトニクスベースのトランシーバに集積され、チューナブルレーザは通信や科学アプリケーション用に広く使われるようになってきている。

クラウドコンピューティング、ソーシャルネットワーク、新興の5G対応アプリケーションは、データセンターで膨大なコンピューティングパワーを必要とする、またデータセンターにアクセスし、データセンター間の相互接続のために大きなネットワーク容量が必要になる。このトレンドが、ロングホールからメトロネットワーク、データセンターインタコネクタ (DCI) まで、大容量コヒーレント技術の採用を加速している。これら短距離DCIアプリケーション (80 ~ 100km程度) は、特に、

光コヒーレントトランシーバのコスト、サイズ、消費電力に敏感である。

過去数十年、エレクトロニクス産業で起こったことと同様、集積が光コンポーネントのコストを下げ、サイズを縮小する決め手になる。結果的に、集積シリコンフォトニクス (SiPho) 領域が急速に進歩してきた。SiPho コヒーレント光サブアセンブリ (COSA) は、シリコンフォトニクスの機能統合、コスト優位性、製造容易性を示す一例である。COSA は、コヒーレント変調器と集積コヒーレントレーザを統合し、

数十の光機能を構成している。これらは、すべて、 $<1\text{cm}^2$ シリコンチップ上にあり、非常に小さなデバイスサイズと低コストを達成している。

SiPho COSA の商用化成功以来、SiPho技術を使って波長チューナブルレーザを構築しようとする、次の強力な動きがある。個々の光コンポーネントを、そのようにオン・チップ集積することは、部品数を減らし、複雑さの少ないアセンブリにより、チューナブルレーザコストを一段と下がることになる。さらに、SiPhoチューナブルレーザとSiPho COSAとの先端的集積、コパッケージングは、次世代低コストコヒーレントトランシーバ向けに完全SiPhoソリューションを実現するためのパズルのラストピースとなる。

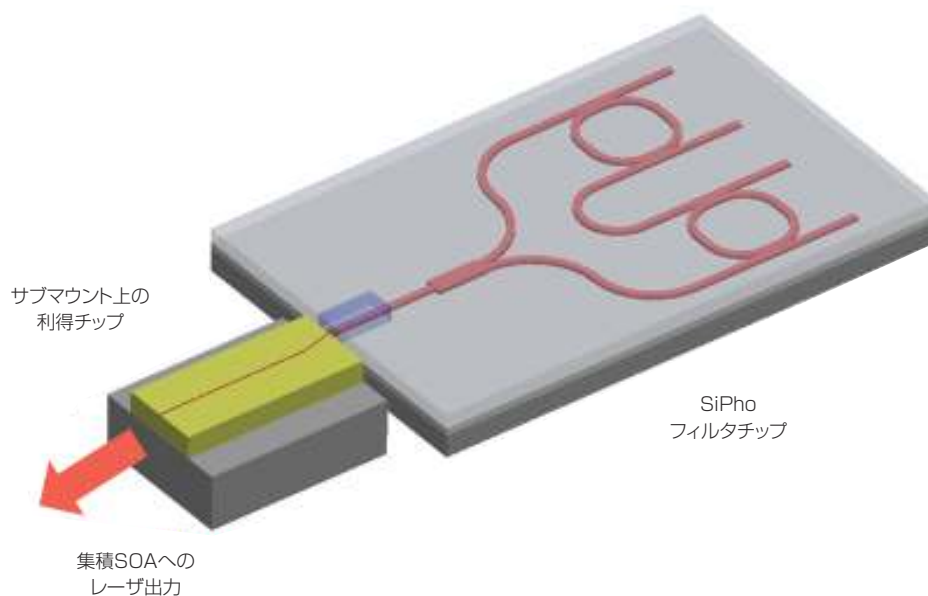


図1 チューナブルレーザに集積されたシリコンフォトニクス (SiPho) の略図に含まれるのは、導波路とフィルタコンポーネント、スポットサイズコンバータ (SSC)、半導体光増幅器 (SOA) にインプットされるオンチップチューナブルレーザ利得モジュール。

光通信に加えて、最適化されたパフォーマンスのコンパクトなSiPhoチューナブルレーザは、新しいアプリケーション領域でチャンスを拡大することにもなる。例えば、自律走行車用ライダ、バイオメディカルセンシング向けオンチップ光干渉断層画像(OCT)などである。

製品の課題

SiPhoチューナブルレーザは、コヒーレント通信や他のアプリケーションにとって、コストと空間的効率の優れたソリューションになり得るが、その商用化が成功するには、いくつかの制約がある。

まず、シリコンでの光出力は、シリコンの間接バンドギャップのために、まだ容易ではない。1つの有望なソリューションは、SiPhoチップと発光III-V材料とのバットジョイント技術による統合である。とはいえ、そのパッシブアライメントは、サブミクロン精度、高再現性とスルーputを必要とする。これは非常に難しく、結果としての低いレーザパワーは、高速コヒ

ーレント変調器の大損失を補填するには十分ではない。

第2に、シリコンキャビティ長を伸ばすことは、より多くの(非常に狭線幅)「ピュア」レーザ光を生成する簡単な方法であり、狙いはコヒーレント通信でより多くの情報を運ぶことである。しかし、フリースペースオプティクスや他の導波路、例えばシリカと比べると、シリコン導波路の伝搬損失は大きいので、長いシリコンキャビティは非実用的である。

3番目として、シリコンは、比較的大きな熱光学係数を持つ。このSiPhoレーザキャビティは、したがって、どんな熱擾乱にも極めて敏感である。例えば、環境温度変動、レーザ電流の変化である。その結果、<1GHzの高い周波数精度のSiPhoチューナブルレーザの実現は非常に難しい。

SOAと集積の進歩

過去数年、米ネオフォトニクス社(NeoPhotonics)は、これらの制約を克服するために、SiPhoソリューション

に取り組んできた。同社のチューナブルレーザは、リング共振器ベースSiPhoフィルタチップに直接バットジョイントしたレーザ利得チップで構成されている(図1)。ここでは、リング共振器が、光スペクトルフィルタとしてSiPhoチップに普通に使われている。利得チップの片側は、クリーブされレーザ出力ポートの役割を果たす。この空気とIII-V材料インタフェースは、光フィードバックとして、光の30%を利得チップに反射する。他端は、反射防止(AR)コートされ、SiPhoチップにバット結合されている。

SiPhoベースキャビティは、2つのカスケードリングフィルタで構成され、バーニア効果により、広いスペクトル範囲でレーザ発振モード選択となる。2つのリングフィルタを透過する光は、利得チップにフィードバックして、レーザ光フィードバックとなる。

我々は、社内設計、高出力半導体光増幅器(SOA)も集積し、レーザ出力を強化している。アセンブリ全体は、ゴールドボックスに収められ、光通信アプリケーションで求められる厳しさを満たしている(図2)。このコンパクトなレーザパッケージは、ASIC制御エレクトロニクスとともに、OSPF、QSPF-DDなどスモールフォームファクタのコンパクトなコヒーレントトランシーバに収まる。

このシンプルな二段階デバイス設計(レーザ+増幅器)にはいくつかの利点がある。すなわち、SOA増幅器は、集積シリコン導波路の結合損失と伝搬損失を補填する。これにより、長尺シリコンキャビティ設計が可能になり、十分な「ピュア」レーザ光が生成でき、なおかつSOA増幅により高出力が達成される。また、シリコンチップの光出力も低減し、高い出力レベルでの非線形効果を防ぐ。最後に、レーザ出力パワーは、



図2 SOA集積チューナブルレーザベーストランシーバは、通信デバイスに必要とされるスモールフォームファクタに適合するようにパッケージ化されている。米国の10セント硬貨との比較では、パッケージは長さ14mm、幅5mm、高さ4mmである。

SOA電流チューニングにより制御可能である。SOAは、レーザキャビティの外側にあるので、パワーチューニング中、レーザキャビティの変動を最小化する。他のレーザパラメータからこのようにパワー制御を分離することで、レーザ制御法は簡素化される。

性能向上

集積されたマイクロヒータにより、2つのリング共振器フィルタを同時に制御すると、レーザ波長は広範なチューニング範囲で連続的(すなわちグリッドレス)にチューニング可能となる。例えば、SOA集積により、27波長チャンネルに及ぶレーザ出力パワーは、65nmのチューニング範囲で、21.5～21.9dBmの記録的に高い値に到達可能である(図3)。

この出力パワーは、SiPhoチューナブルレーザで報告された中で最高である。実際、我々が知る限りでは、これは、プラガブルトランシーバで使用可能なすべてのチューナブルレーザの中で最高出力である。さらに、レーザ線幅は、通常、60kHz以下であり、SiPhoチップ設計の最適化により、改善する余地がある。そのように狭い線幅は、400Gbit/s以上の高速コヒーレント通信に適している。

留意すべきは、我々が開発したレーザプロトタイプは、最適化されたチップ間結合で、SiPhoチューナブルレーザの最高性能をテストするためである点である。量産では、チップ性能やチップミスアライメント誤差により、レーザ出力はわずかに下がる。また、チューナブルレーザの消費電力は、もう1つの重要な性能パラメータである。特にプラガブルコヒーレントトランシーバ用途では重要である。サーモエレクトリッククーラー(TEC)とレーザ設計は、TEC動作温度とともに、出力

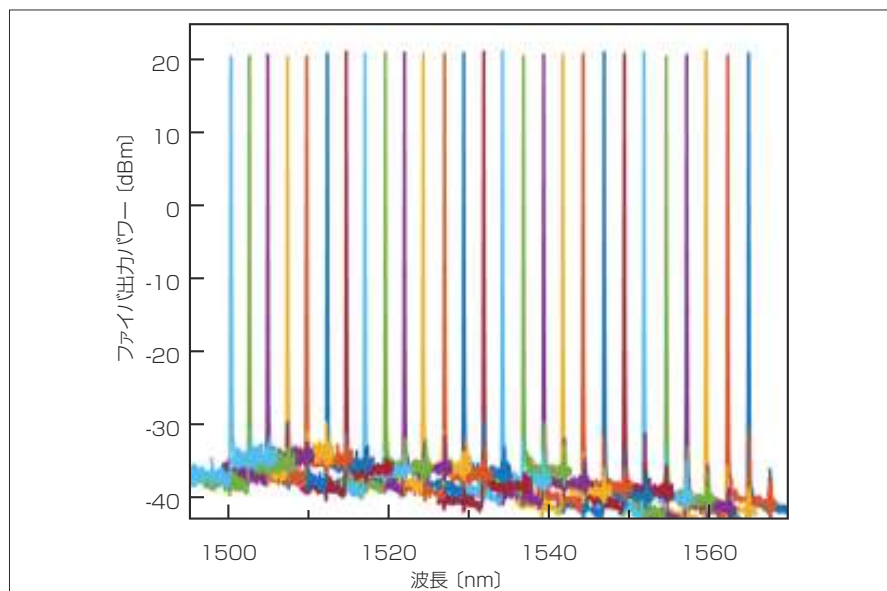


図3 コンパクトなSiPho集積トランシーバで、65nm波長範囲にわたる重畳27波長チャンネルのレーザ発振スペクトルを示している。

パワー、消費電力とデバイスの信頼性間のトレードオフを改善するためにすべてが最適化される必要がある。

SiPhoチューナブルレーザのもう1つの課題は、すでに述べたように、1GHzまでの高精度周波数制御の達成である。そのような高い周波数精度と安定性は、全チューナブル範囲、デバイス寿命全体で、数百mAのレーザ電流変動に対して、また実用的な通信アプリケーションの-5～80℃の環境温度で有効でなければならない。こうした問題に対処するために、ネオフォトニクス社はオンチップセンサ技術を開発した。

この集積センサの機能評価のために、レーザ周波数をモニタしながら、レーザ出力をチューニングするためのSOA電流を変えた。レーザキャビティに対する熱的擾乱により、レーザ周波数は、200mAのSOA電流変化で10GHz以上ドリフトした。一方、センサ機能を有効にすると、レーザ発振周波数は、同じテスト条件でオリジナルのスペクトル位置で安定化でき、周波数エラーは±1GHzターゲットを優に下回る。

同じセンサ技術が、環境温度範囲-5～80℃で、初めて、SiPhoレーザ1GHz周波数安定も可能にする。

SiPho製品

SiPho技術とチューナブルレーザの融合は、パーツ数、アセンブリやプロセスステップの減少により、デバイスコストを継続的に押し下げる見通しである。SiPhoチューナブルレーザに残る主要課題の1つは、サブミクロンサイズの導波路と光入出力結合である。個別のオプティクスを使う従来のデバイスの性能に匹敵するには、低損失と高スループットチップ結合が必要となる。ネオフォトニクス社は、SiPhoチップレイアウト設計でイノベーションを必要としている。チップとチップ、チップとファイバプラ設計の最適化、進んだ自動アライメントシステムのイノベーションにより、近々商用製品を達成する。

著者紹介

ヨンカン・ガオは、米ネオフォトニクス社のスタッフエンジニア。e-mail: yongkang.gao@neophotonics.com www.neophotonics.com