

DRレーザアレイとAWGカプラを集積した波長可変光源

A High Power Tunable Light Source for Coherent Communications Using a Distributed Reflector Laser Array Combined with an AWG Coupler

稲葉悠介^{*1}
Yusuke Inaba

有賀麻衣子^{*1}
Maiko Ariga

清田和明^{*1}
Kazuaki Kiyota

鈴木理仁^{*1}
Toshihito Suzuki

山岡一樹^{*1}
Kazuki Yamaoka

奥山俊介^{*1}
Shunsuke Okuyama

西田昌義^{*1}
Masayoshi Nishita

黒部立郎^{*1}
Tatsuro Kurobe

森肇^{*2}
Hajime Mori

〈概要〉

より高速なデジタルコヒーレント通信を実現するためには波長可変光源の高出力化・狭線幅化が必要である。この要求に答えるため、我々はDR (Distributed Reflector) レーザアレイとAWG (Arrayed Waveguide Grating) カプラを集積させた波長可変光源を作製した。AWGカプラの伝送波長と各レーザの発振波長の調整により結合効率を改善し、また各レーザに後方DBR (Distributed Bragg Reflector) を有するDRレーザを採用し、しきい値利得を低下させることにより高出力かつ狭線幅のレーザチップの作製が可能となった。さらにモジュール内でSOA (Semiconductor Optical Amplifier) をレーザアレイチップと異なる温調素子上に配置する新しい構成を採用することでさらに高出力化・狭線幅化を図り、次世代高速通信における光源に求められる特性である、光出力19 dBm、線幅70 kHz以下を達成することができた。

1. はじめに

近年、スマートフォンなどのモバイルデバイスの普及によるワイヤレス通信網の拡大やクラウドコンピューティング、動画配信、ソーシャルネットワークの普及などにより、通信トラフィックが急激に増加し続けている。これに対応するため、デジタル信号処理を用いてコヒーレント検波を実現するデジタルコヒーレント通信方式を用いた100 Gbit大容量伝送システムの導入が進んでいる。

デジタルコヒーレント通信では光の位相情報を用いた多値の変調方式が用いられている。より高速の通信を実現するために、多値度を上げることによるシンボルあたりの情報量の増加や、ナイキストWDM (Wavelength Division Multiplexing) のような高密度の波長多重方式を用いてスペクトル効率を向上することが進められている。これらに伴い、信号光源と局所発振光源に用いられるレーザにはこれまで以上に狭スペクトル線幅や高出力が必要とされる。具体的には64 Gbaud、64 QAM (64直角度位相振幅変調) の通信には19 dBm以上の光出力と100 kHz以下の線幅が必要だと言われている^{1)~3)}。

これまでに我々はDFB (Distributed Feedback) レーザア

レイ型の波長可変光源を開発した⁴⁾。これは複数のDFBレーザ、MMI (Multi Mode Interferometer) カプラとSOA (Semiconductor Optical Amplifier) をモノリシックに集積したチップを用いるものであった。その波長可変光源は、それぞれ複数の波長で発振するDFBレーザアレイの中から一つを選択することによって波長の粗調を行い、さらにチップの温度をTEC (Thermo Electric Controller) で変更することで、波長の微調を行う。

さらに特性を改善するために、我々は図1に示すAWG (Arrayed Waveguide Grating) カプラを用いた波長可変光源を提案した⁵⁾。本論文ではその内容について報告する。

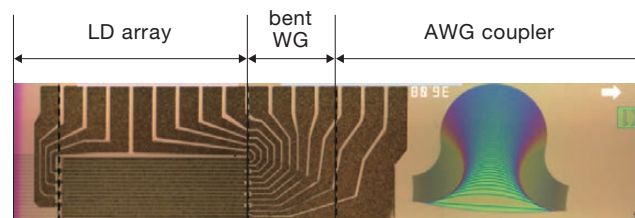


図1 AWGカプラを集積したDR-LDアレイチップ
A Photograph of a distributed reflector (DR) laser array chip combined with an AWG coupler.

*1 研究開発本部 情報通信・エネルギー研究所

*2 研究開発本部 企画部

2. 波長可変光源の構成

2.1 DRレーザアレイとAWGカプラを集積した半導体レーザチップ

波長可変光源では、複数のレーザを束ねるカプラとして、AWGカプラを用いている。AWGカプラは波長選択性があるため、その伝送波長と各レーザの発振波長を調整することによってMMIカプラでは実現できない高い結合効率を示している。そのため、AWGカプラを用いた波長可変光源はMMIカプラを用いた光源と比較して高出力化の点で有利である。さらに、アレイ内のレーザは従来のDFBレーザに代えてDR (Distributed Reflector) レーザを導入した。DRレーザはDFBレーザとDBR (Distributed Bragg Reflector) ミラーを組み合わせたものである。DRレーザは狭線幅に必須の低しきい値利得の観点で有利と言える⁶⁾。

2.2 モジュール構成

次に波長可変光源モジュールの構成を図2に示す。ここで提案する波長可変光源のもう一つの特長は、SOAチップがレーザアレイチップとは別のチップになっているということである。レーザアレイチップはAWGカプラを介して光を出力し、バルク光学系及びアイソレータを介してSOAに入力される。この構成には2つの利点がある。1つは、SOAがレーザアレイチップとは異なるTEC上にあることである。レーザアレイタイプの波長可変光源は、波長チューニングのために広い温度範囲でレーザチップを動作させる必要がある。SOAは高温では光出力が低く、低温ではTECの消費電力が大きいので、SOAをレーザアレイチップと同じ広い温度範囲で動作させる場合、低消費電力で高出力を達成することは困難である。今回提案した構成では、この制限が大きく緩和されているため高出力の点で有利である。またもう1つ利点はレーザアレイチップとSOAの間にアイソレータがあることである。これによりSOAで発生する増幅された自然放出光 (ASE) がレーザアレイチップ内に戻るのを防ぐことができる。DFBとSOAがモノリシックに集積された従来の構成では、ASEが増幅率とともに増加してしまうため、高出力では線幅が広がる傾向があったが、新しい構成ではこの影響を回避することができる。

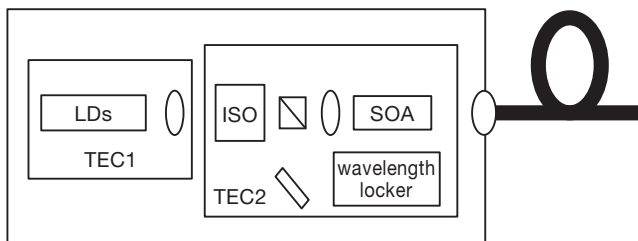


図2 波長可変光源モジュールの構成
Schematic of the tunable laser source module.

この新しい構成では、波長制御の方法は変更されていないため、シンプルで信頼性の高い波長制御の利点をそのまま利用することができる。

3. チップ設計と特性

レーザアレイチップはDRレーザアレイ、曲げ導波路とAWGカプラから構成されている。DRレーザと曲げ導波路は、高い信頼性と高い注入効率を有する能動デバイスに適している埋め込みヘテロ (BH) 構造を有している。

AWGカプラのアレイ導波路は、曲げ半径が小さく、結晶方位依存性が小さいことから小型化に有利なため、深いリッジ構造を有している。異なる構造を有する導波路は、精巧な製造プロセスによって1つのチップにモノリシックに集積されている。レーザアレイタイプの波長可変光源の場合、同じ材料系でレーザとAWGカプラを構成することが不可欠である。これは温度調整中に発振波長とAWG伝送波長が同時に変化しなければ結合効率が低下するためである。AWGカプラの挿入損失は、4～6 dBと推定された (図3)。

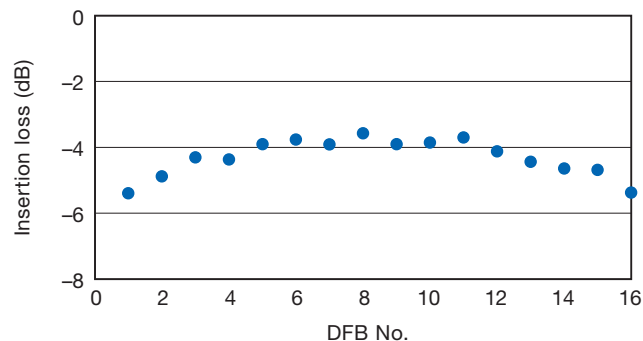


図3 AWGカプラの挿入損失
Insertion loss of the AWG coupler.

レーザアレイの16本のDRレーザは、それぞれ電流が注入されるアクティブDFB領域とパッシブDBR領域で構成されている。DFB領域には、回折格子の位相シフトが含まれている。DFB領域、DBR領域の両方の回折格子は、意図しない位相シフトを避けるために、同じ露光工程で製造されている。DFB領域は、活性層に隣接して導波路コアとして回折格子を有している。一方で周期的にエッチングされた導波路コア自体がDBR領域の回折格子になっている。エッチングされた部分はクラッド材で充填されており、コア材料とクラッド材料の大きな屈折率差によりDBR領域における回折格子の結合係数を非常に大きくすることができる。このため、短いDBRで高い反射率が得られ、狭い線幅はこの高い反射率によって得ることができる。

またさらにAWG-DRレーザチップからの発振スペクトルを図4に示す。16本すべてのDRレーザでシングルモード動作が得られている。チップからの出力は、AWGの波長選択性によりレーザ発振波長以外のASEが遮断された特徴的なスペクトルを示している。

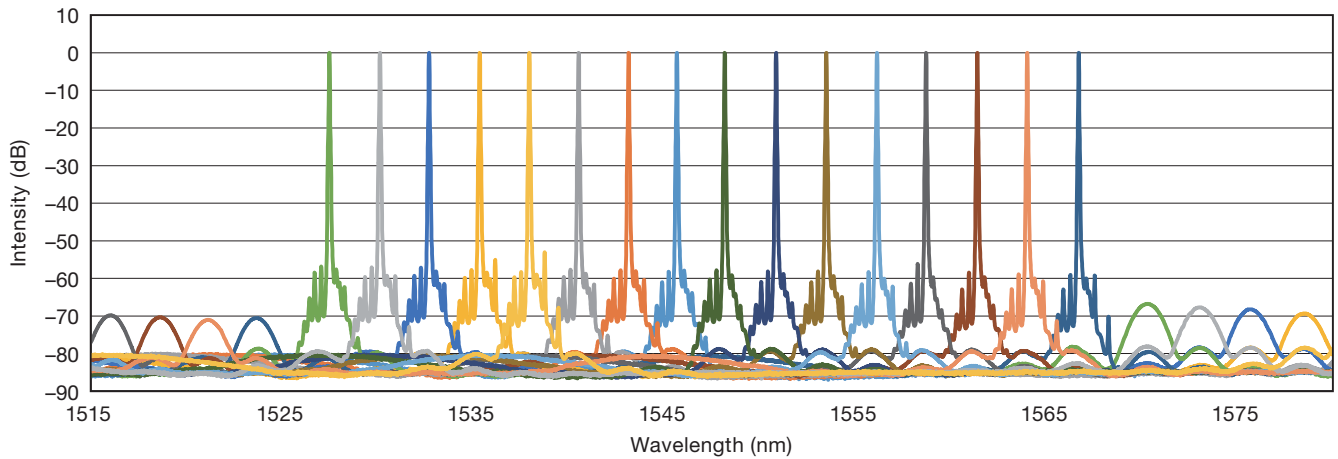


図4 AWG-DRレーザアレイチップからの発振スペクトル
Lasing spectra of an AWG-DR laser array chip.

4. モジュール設計と特性

レーザアレイおよびSOAは、図2に示すようにそれぞれ別のTEC上に接合される。これにより、SOAを低温で駆動して、より高出力を得ることができる。その一方で、レーザとSOAを分離したことにより、パッケージ内に搭載される光学部品数は従来のモジュールよりも増加している。しかし、我々は精密な接着技術⁷⁾を用いてこれらの部品を非常に小さなモジュールに実装することに成功した。

図5にこの波長可変光源モジュールの光出力-SOA電流特性を示す。16本すべての波長において19 dBm以上の光出力を得ることができた。

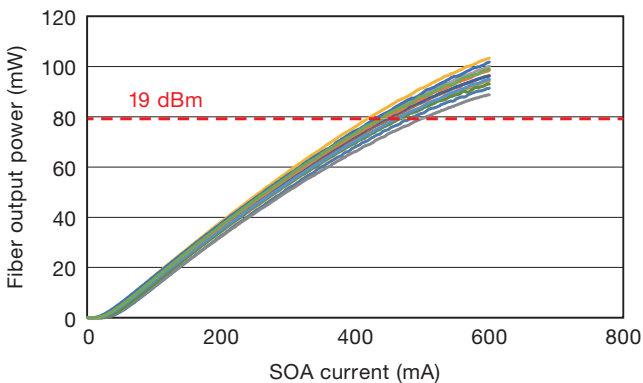


図5 波長可変光源モジュールの光出力-SOA電流特性
Optical output - SOA current characteristics of the tunable laser source module.

線幅のSOA電流依存性を図6に示す。実線が本論文で提案する新しい構成での線幅を、破線がレーザとSOAをモノリシック集積した従来のモジュールでの線幅を示している。従来のモジュールの場合、SOA電流の増加に伴い線幅が広がっていた。しかし新しい構成の場合、レーザとSOAの間に挿入したアイソレータの存在によってSOAからのASE光の影響を抑制することができる構造になっているため、従来のモジュールと比較して特に高温で動作した場合の線幅が狭くなっている。ま

た新しい構成のモジュールにおいて各波長で線幅を測定した結果を図7に示す。DRレーザの導入の効果によって、35℃と65℃の両方のレーザ駆動温度において70 kHz以下の線幅を得ることができた。

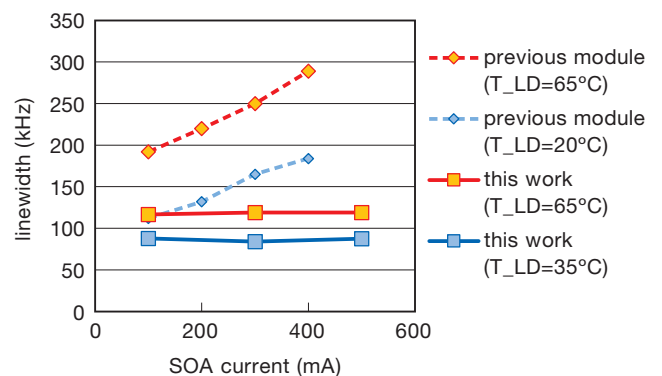


図6 線幅のSOA電流依存性
SOA current dependence of the linewidth.

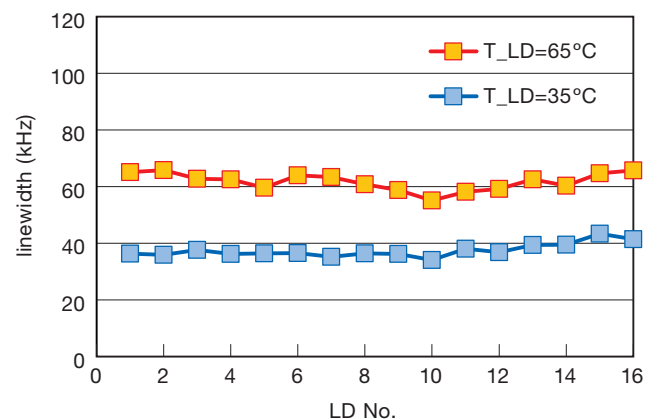


図7 波長可変光源モジュールの線幅
Linewidth of the tunable laser source module.

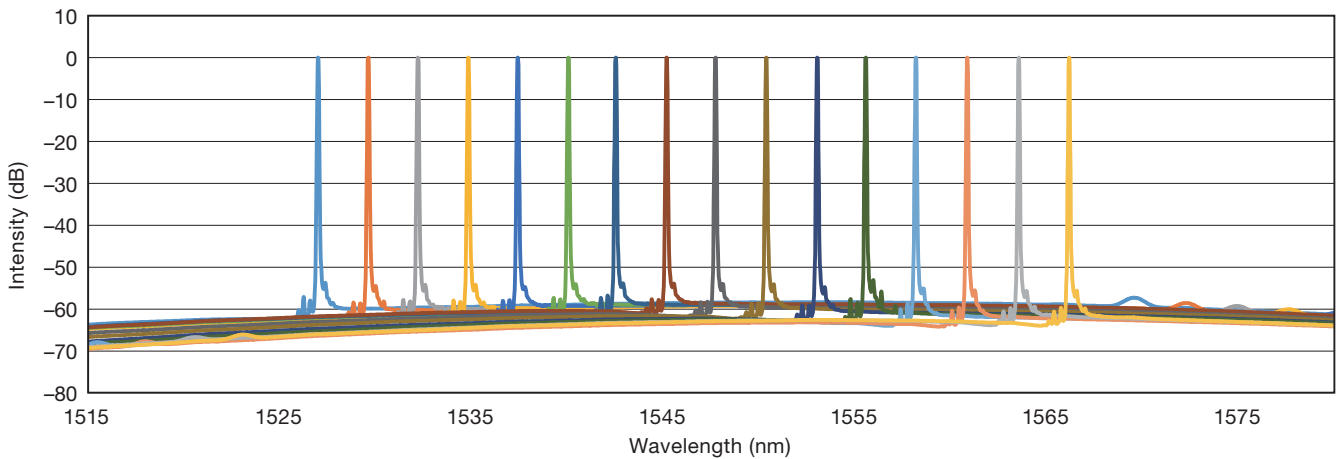


図8 波長可変光源モジュールの発振スペクトル
Lasing spectra of the tunable laser source module.

図8は波長可変光源モジュールの発振スペクトルを示す。SSER (Signal to Spontaneous Emission Ratio) は、50 dB以上の値が得られている。

5. おわりに

より高速なデジタルコヒーレント通信の実現に必要な光源の高出力化・狭線幅化のため、我々はDRレーザアレイとAWGカプラを集積した波長可変光源モジュールを製作した。レーザアレイチップとSOAチップを分離して間にアイソレータを挿入した新しい構成を導入し、その結果、光出力19 dBm、線幅70 kHz以下の特性を得ることができた。

参考文献

- 1) M.C. Larson, A. Bhardwaj, W. Xiong, Y. Feng, X.D. Huang, K.P. Petrov, M. Moewe, H.Y. Ji, A. Semakov, C.W. Lv, S. Kuttly, A. Patwardhan, N. Liu, Z.M. Li, Y.J. Bao, Z.H. Shen, S. Bajwa, F.H. Zhou, and P.C. Koh, "Narrow linewidth sampled-grating distributed Bragg reflector laser with enhanced side-mode suppression," 38th Optical Fiber Communications Conference, M2D.1. (2015).
- 2) U. Eriksson, J.-O. Westrom, Y. Liu, S. Hammerfeldt, M. Hassler, B. Stoltz, N. Carlsson, S. Siraj, E. Goobar, Y. Matsui, "High Performance Narrow Linewidth Thermally Tuned Semiconductor Laser," 41st European Conference on Optical Communication, We1.5.1 (2015).
- 3) K. Sato, "Demonstration of Silicon Photonic Hybrid Ring-Filter External Cavity Wavelength Tunable Lasers", 41st European Conference on Optical Communication, We2.5.4 (2015).
- 4) T. Kimoto, G. Kobayashi, T. Kurobe, T. Mukaiharu, S. Ralph, "Narrow linewidth tunable DFB laser array for PDM-16QAM transmission", The 18th OptoElectronics and Communications Conference, MK2-6 (2013).
- 5) T. Suzuki, K. Kiyota, S. Okuyama, Y. Inaba, M. Ariga, T. Kurobe, "Tunable DFB Laser Array Combined by Monolithically Integrated AWG Coupler," The 25th International Semiconductor Laser Conference TuC3, (2016).
- 6) G. Kobayashi, K. Kiyota, T. Kimoto, T. Mukaiharu, "Narrow linewidth tunable light source integrated with distributed reflector laser array," 37th Optical Fiber Communications Conference, Tu2H.2. (2014).
- 7) M. Ariga, T. Sugaya, T. Kimura, K. Akizuki, Y. Nakajima, Y. Arashitani, "Development of the FBT Laser Module with Adhesive Bonded Structure," Furukawa Review, No. 40 (2011).