

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	中空導波路DBRレーザの単一波長選択性とアサーマル化の検討
Title(English)	Mode Selectivity and Athermal Operation for Hollow Waveguide DBR Lasers
著者(和文)	山川英明, 坂口孝浩, 小山二三夫
Authors(English)	Hideaki Yamakawa, Takahiro Sakaguchi, Fumio Koyama
出典(和文)	電子情報通信学会論文誌, Vol. J96-C, No. 2, pp. 17-23
Citation(English)	THE IEICE TRANSACTIONS ON ELECTRONICS (JAPANESE EDITON), Vol. J96-C, No. 2, pp. 17-23
発行日 / Pub. date	2013, 2
URL	http://search.ieice.org/
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は電子情報通信学会に帰属します。 Copyright (c) 2013 Institute of Electronics, Information and Communication Engineers.

中空導波路 DBR レーザの単一波長選択性とアサーマル化の検討

山川 英明[†] 坂口 孝浩[†] 小山二三夫^{†a)}

Mode Selectivity and Athermal Operation for Hollow Waveguide DBR Lasers

Hideaki YAMAKAWA[†], Takahiro SAKAGUCHI[†], and Fumio KOYAMA^{†a)}

あらまし 空気をコアとする中空導波路は低温度依存性を持ち、そのコアの厚みを変化させることで巨大な実効屈折率の可変特性を実現することが可能である。中空ブラッグ反射鏡をハイブリッドに集積した中空導波路 DBR レーザは、波長可変特性と低温度依存性を両立することが期待される。本論文では、単一波長選択条件とモードホップフリーなアサーマル条件を考察した。試作した中空導波路 DBR レーザでは、単一波長が選択され、隣接モード抑圧比 38 dB、縦モード間隔 0.63 nm 内に波長がロックされるアサーマル特性が得られた。

キーワード 中空導波路, ブラッグ反射鏡, DBR レーザ

1. ま え が き

半導体レーザの発振波長は、環境温度変化により、共振器を構成する半導体材料の屈折率の温度依存性から約 0.1 nm/K 程度の波長シフトを生じる。このため、波長分割多重方式で用いるためには、高精度な温度制御や波長ロッキング機構を要する。受動デバイスについては、アサーマル化の手法は確立しているものの [1], [2], 半導体レーザのアサーマル化は課題も多い。これまで、半導体レーザの波長安定化の取組みは、共振器内に屈折率の負の温度係数をもつポリマー材料を含めた構造 [3]~[5] や熱駆動のマイクロマシン構造による共振器長の補正機構を用いた面発光レーザ構造 [6], [7] が報告されている。

一方、空気をコアとする中空導波路は低温度依存性を持ち、そのコアの厚みを変化させることで、伝搬定数、あるいは実効屈折率の巨大な可変特性を実現することが可能である。この中空導波路内に円形回折格子を形成した中空ブラッグ反射鏡では、160 nm 以上の波長可変特性が得られている [8]。中空ブラッグ反射鏡と半導体光増幅器 (Semiconductor Optical Amplifier: SOA) をハイブリッドに集積した中空導波路集積型波

長可変レーザ [9], [10] は、コア厚を変化させるという簡易な制御で広い波長可変特性と小さな波長温度依存性を両立することが期待される。

本論文では、30 nm 程度の波長範囲内で単一波長が選択されるための中空導波路のパラメータ設計を行い、固定コア厚の中空導波路 DBR レーザの試作特性について報告する。また、固定コア厚の中空導波路 DBR レーザは、隣接縦モード間隔内に波長がロックされるというアサーマル特性をもつ [11]。しかし、増幅領域である SOA の屈折率変化により縦モード間のホッピングを生じるため、モードホップフリー動作を目指した温度無依存化の基礎検討についても論じる。

2. デバイス構造

図 1 に中空導波路 DBR レーザの構造図を示す。中空導波路 DBR レーザは、三つの構成要素、(1) SOA 実装領域を有するサブマウント、(2) 上部ミラー、及び (3) SOA がハイブリッドに集積・実装される。

サブマウントは、Si 基板に形成された Si/SiO₂ の高反射率多層膜ミラー (中空導波路下部ミラー) 上に、SOA 実装領域と、DBR (分布ブラッグ反射鏡) として機能する SiO₂ 円形回折格子が形成される。円形回折格子は、横方向のビーム広がりを補償し、反射波を SOA 端面に集光する機能も有する。

上部ミラーは、同じく Si 基板に形成された Si/SiO₂ の高反射率多層膜ミラー (中空導波路上部ミラー) 上に SU-8 レジストのピラーがコーナーに形成されてお

[†] 東京工業大学精密工学研究所, 横浜市

Precision and Intelligence Laboratory, Tokyo Institute of Technology, 4259, Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama-shi, 226-8503 Japan

a) E-mail: koyama@pi.titech.ac.jp

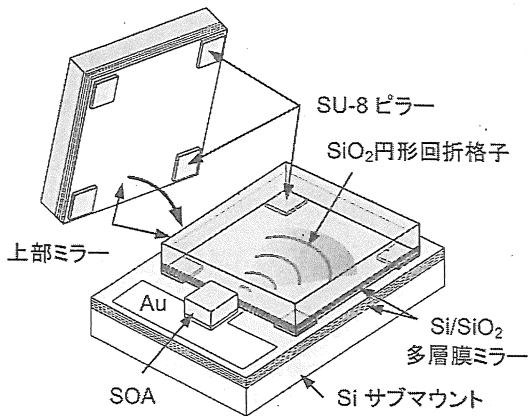


図 1 中空導波路 DBR レーザの構造図

Fig. 1 Schematic configuration of hollow waveguide DBR laser.

り、このピラーの厚さが中空導波路のコア厚を決定する。この上部ミラーがサブマウント上に実装されることにより中空ブラッグ反射鏡が形成される。SOA はサブマウントの SOA 実装領域に p-side down でボンディングされ、中空導波路と接続する側の端面には反射を防止するために AR コーティングを施してある。

3. 単一波長選択性のデバイス設計

中空導波路 DBR レーザを波長分割多重方式などの光通信用レーザとして使用するためには単一モード動作が必須であるが、単一波長動作には二つの課題がある。一つは、中空導波路の導波モードの制御（単一横モード制御）であり、もう一つは所望の隣接モード抑圧比 (Side Mode Suppression Ratio: SMSR) を満足するための単一縦モード制御である。

中空ブラッグ反射鏡のコア厚を変化させると、中空導波路の実効屈折率が変化するためにブラッグ波長が変化する。しかし、同時に回折格子の結合係数が変化するためにブラッグ反射帯域も変化するようになる。このブラッグ反射帯域の変化は、SMSR を劣化させ単一波長動作可能な波長範囲を制限する。したがって、システムで要求される波長範囲内で所望の SMSR を満足する回折格子高さ、格子長、格子周期及びコア厚制御範囲を決定することが必要である [12]。

3.1 単一横モード制御

中空ブラッグ反射鏡のコア厚とブラッグ波長との関係を、回折格子周期 $\Lambda = 800 \text{ nm}$ の場合について求めたのが図 2 である。回折条件において m と n は、

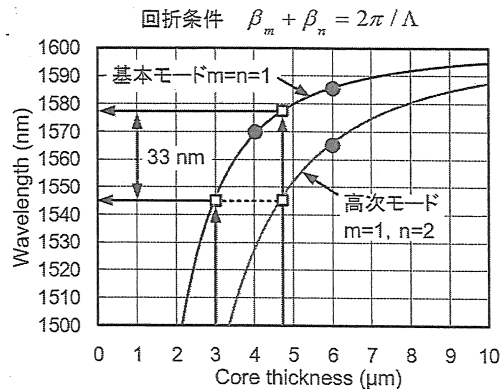


図 2 中空ブラッグ反射鏡のコア厚とブラッグ波長の関係

Fig. 2 Relationship between core thickness and Bragg wavelength of hollow waveguide Bragg reflector.

それぞれ前進波と後退波の横モード次数を表し、 β_m 、 β_n は、それぞれ前進波と後退波の伝搬定数を表している。ここでブラッグ回折次数は 1 次と仮定している。中空導波路はスラブ型導波路のため複数の横モードが存在するが、図 2 では、 $m = n = 1$ の基本モードと、 $m = 1, n = 2$ の高次モードを示している。コア厚が大きい領域では、厚さ方向の複数の横モードにて発振する可能が生じる。

基本モードで安定的に発振させるためには、SOA の利得帯域を勘案しながら、基本モードと高次モードとの間に利得差が生じるようにコア厚を決定することになる。例えば、活性領域の利得帯域による短波長側の発振限界を 1545 nm とすると、コア厚 $3 \mu\text{m}$ では高次モードが SOA の利得帯域外であるため、安定的に基本モードでの発振が得られる。コア厚が $4.7 \mu\text{m}$ では、基本モードと高次モードが発振する可能性がある。この点においても基本モードと高次モードに利得差が生じるように、SOA の利得帯域のピーク波長を長波長側に設定する。

以上の議論により、コア厚をおおむね $3 \sim 4.7 \mu\text{m}$ の範囲で変化させると 33 nm の波長帯域が得られることが分かる。また、コア厚を更に小さい領域で使用すれば、更に大きな波長帯域を得ることも可能である。

3.2 単一縦モード制御

図 3 は、格子高さ 220 nm 、格子長 2 mm のときのコア厚に対するブラッグ反射帯域及びピーク反射率の関係を示している。解析には、モードマッチング法 (FIMMWAVE, PHOTON DESIGN 社) を用い

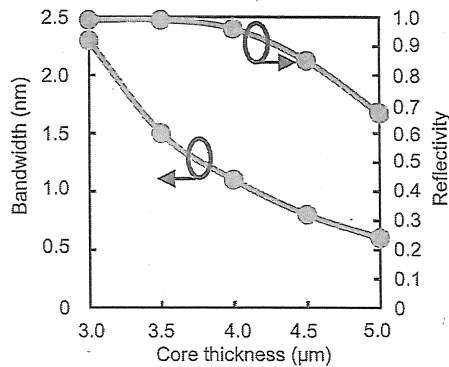


図3 中空ブラック反射鏡の帯域と反射率

Fig.3 Bandwidth and reflectivity of hollow waveguide Bragg reflector.

た．コア厚 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ の範囲において，ブラッグ反射鏡の反射率は 70% 以上であり，ブラッグ反射鏡の帯域は $2.3 \sim 0.5 \text{ nm}$ と狭帯域となる．これは中空ブラッグ反射鏡のコア厚が小さいと SiO_2 回折格子の実効屈折率差が大きくなるため，反射帯域が広くなると同時に反射率も高くなる．またコア厚が大きくなると回折格子の実効屈折率差が小さくなるため，反射帯域が狭くなると同時に反射率も低くなるからである．図 3 の場合において SOA 長 $300 \mu\text{m}$ の場合には，SMSR が 40 dB 以上の単一縦モードが選択されると期待される．

4. デバイス試作

以上の考察に基づき，中空導波路 DBR レーザの試作を行った．なお，デバイス試作にあたり，上記図 2，図 3 で示した解析値と若干異なる格子高さ，格子周期，格子長を有するサブマウントも用意した．図 4(a) は，SOA 実装後のサブマウントの外観写真，図 4(b) は，上部ミラーの外観写真である．SOA は， 1550 nm 帯 AlGaInAs 多重量子井戸を有するもので，後述のフリップチップボンディングのアラインメント精度を考慮してストライプ幅 $5 \mu\text{m}$ のリッジ構造のものをを用いている．

サブマウントの SOA 実装領域と SOA との接合には Sn 箔を用い，SOA の中空導波路側ストライプ端面を円形回折格子の焦点を示すアラインメントマークに位置合わせして，高精度なフリップチップボンディングを行っている．位置合わせ精度は，およそ $1 \mu\text{m}$ である．また，今回サブマウントと上部ミラーは，接着剤等による固定はせず，ピラー厚（コア厚）やサイズの異

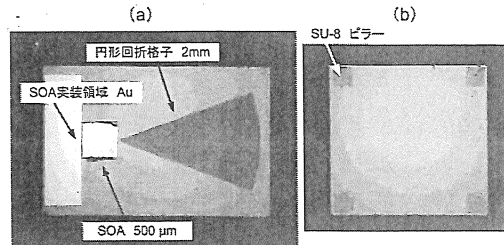


図4 サブマウントと上部ミラーの写真

Fig.4 Photographs of sub-mount and upper mirror.

なる上部ミラーと交換できるように板ばねにより機械的に固定している．

5. 測定結果

解析モデルで用いた $300 \mu\text{m}$ より長いデバイス長 $500 \mu\text{m}$ の SOA を，回折格子高さ 250 nm ，回折格子周期 800 nm ，格子長 2 mm のサブマウントにフリップチップ実装した後，コア厚 $6 \mu\text{m}$ （外形 $2.1 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ ）の上部ミラーとコア厚 $4 \mu\text{m}$ （外形 $1 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm}$ ）の二つの上部ミラーについて中空導波路 DBR レーザを試作し，その発振スペクトルを CW 駆動により観測して特性比較を行った．

図 5 は，コア厚 $6 \mu\text{m}$ （外形 $2 \text{ mm} \times 2.1 \text{ mm}$ ）の上部ミラーを実装したときの発振スペクトルである．発振スペクトルは，2 モード発振しており，それぞれの発振波長は， 1565 nm ，と 1586 nm である．これらは図 2 の黒丸印で示すように，コア厚 $6 \mu\text{m}$ のときの基本モード（ $m = n = 1$ ）と高次モード（ $m = 1, n = 2$ ）に対応するブラッグ波長と一致しており，中空導波路の横モードが選択されていることが分かる．

次に，同デバイスに対してコア厚 $4 \mu\text{m}$ （外形 $1 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm}$ ）の上部ミラーに交換し，同様に発振スペクトルを測定した．円形格子長 2 mm より短い 1.5 mm 長の上部ミラーを用いることで，実質的に回折格子長の調整が行える．コア厚 $4 \mu\text{m}$ の上部ミラーでは，単一横モードが選択され，その発振波長は， 1570 nm である．図 2 に示すように，この発振波長はコア厚 $4 \mu\text{m}$ のときの基本モード（ $m = n = 1$ ）に対応するブラッグ波長と一致しており，中空導波路の単一横モード制御がなされていることが分かる．

次に，単一縦モード制御について述べる．コア厚 $4 \mu\text{m}$ の上部ミラーを実装したデバイスについて，その発振波長と SMSR の温度特性を測定した．発振しきい値電流は約 60 mA であり，駆動電流 70 mA （SOA

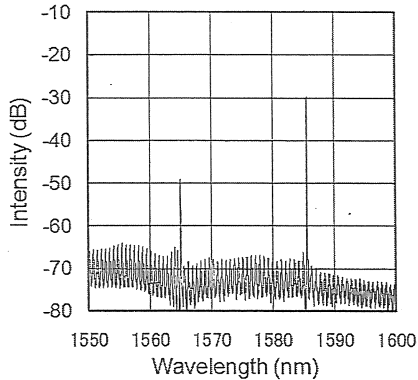


図5 コア厚 6 μm の中空導波路 DBR レーザの発振スペクトル
Fig. 5 Lasing spectra of hollow waveguide DBR laser with 6 μm core thickness.

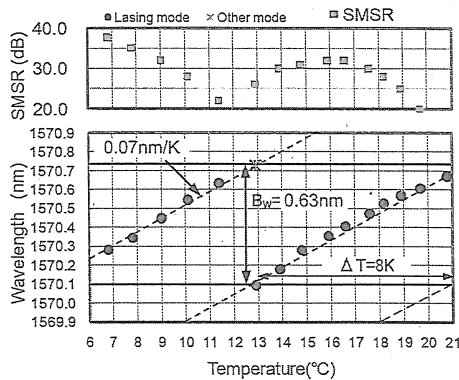


図6 コア厚 4 μm の時の波長及び SMSR の温度特性
Fig. 6 Temperature dependence of lasing wavelength and SMSR of hollow waveguide DBR laser with 4 μm core.

側光出力 約 0.6 mW) の時の温度特性を図 6 に示す。図 6 に示すように、中空導波路 DBR レーザはモードホップを生じるが、隣接縦モード間隔内の波長にロックされるという特性をもつ。これは、SOA の屈折率は温度とともに変化するが、中空ブラッグ反射鏡の中心波長 (ブラッグ波長) は温度でほとんど変化しないため、発振位相条件を満たすブラッグ波長に一番近い縦モードが選択されていると考えられる。

また SMSR は 6.8°C のときに 38 dB が得られている。モードホップ点 (12°C 付近) においては、SMSR が劣化し、約 20 dB となるが、15.9°C においては 32 dB に回復する。図 7 に各温度での発振スペクトル

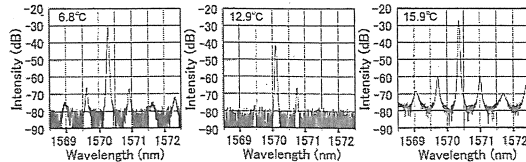


図7 コア厚 4 μm の中空導波路 DBR レーザの発振スペクトル (6.8°C, 12.9°C, 15.9°C)

Fig. 7 Lasing spectrum of hollow waveguide DBR laser with 4 μm core thickness (6.8°C, 12.9°C, 15.9°C).

を示す。

また、SOA 内の導波モードと中空導波路基本モードとのピーク位置のずれ、及びスポットサイズの不整合のため、両導波路間の結合効率は変化する。試作した素子においてしきい値電流から中空導波路側の反射率を見積もると 0.1~0.2 程度と推測され、SOA の導波モードと中空導波路の基本モードとの結合効率はおおむね 0.3~0.5 程度と推定される。

6. アサーマル化の検討

縦モード間隔内に発振波長にロックされる特性は、波長分割多重などの波長帯域が設定されるネットワークにおいて非常に好ましい特性であるが、モードホッピングを防止する必要がある。モードホッピングを生じさせないための方法について検討しており、大きく分けて二つのアプローチがある。

6.1 モードホップフリー温度範囲の拡大

図 8 (a) に示すように、SOA と円形回折格子の間に中空導波路からなる位相調整領域を挿入する。SOA の長さを L_s 、位相調整領域長 L_p 、円形回折格子の光の染み出しを考慮した有効長を L_{eff} とし、 $L_{hw} = L_p + L_{eff}$ をトータルな中空導波路長とする。SOA の屈折率を n_s 、中空導波路の実効屈折率を n_{eff} 、コア厚を D とおき、発振位相条件を温度 T で微分することにより、波長温度係数は式 (1) で与えられる。なお、温度変化による空気の屈折率変化、SOA の屈折率の波長分散、及び素子長の線膨張は無視している。

$$\frac{d\lambda}{dT} = \frac{L_s \cdot \lambda \cdot \alpha}{n_s \cdot L_s + n_{eff} \cdot L_{hw} \left(1 - \frac{\lambda}{n_{eff}} \frac{\partial n_{eff}}{\partial \lambda}\right)} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{dn_s}{dT} = 2.2 \times 10^{-4} [K^{-1}]$$

$$n_{eff} = \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2 \cdot D}\right)^2} \quad (2)$$

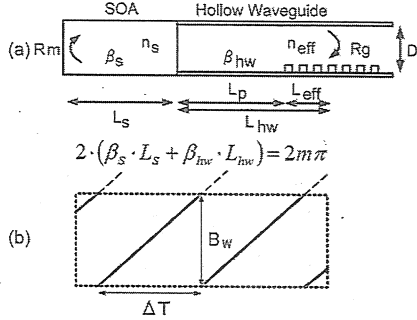


図 8 中空導波路 DBR レーザのアサーマルモデル
Fig.8 Athermal model of hollow waveguide DBR laser.

式 (2) に示す中空導波路の実効屈折率 n_{eff} を代入することにより、式 (1) は式 (3) のように変形される。

$$\frac{d\lambda}{dT} = \frac{L_s \cdot \lambda \cdot \alpha}{n_s \cdot L_s + L_{hw}/n_{eff}} \quad (3)$$

また、縦モード間隔は式 (4) で表される。温度による波長シフトを図 8 (b) のように線形に変化すると仮定し、縦モード間隔 $\Delta\lambda$ を波長ロック範囲 B_w と等しいとする。このとき、SOA 長 L_s と中空導波路長 L_{hw} は、波長シフトが波長ロック範囲 B_w にある温度差 (モードホップフリー温度) ΔT を用いて、式 (5)、式 (6) で表すことができる [11]。

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2 \cdot (n_s \cdot L_s + L_{hw}/n_{eff})} \quad (4)$$

$$L_s = \frac{\lambda}{2 \cdot \alpha \cdot \Delta T} \quad (5)$$

$$L_{hw} = \left(\frac{\lambda^2}{2 \cdot B_w} - L_s \cdot n_s \right) \cdot n_{eff} \quad (6)$$

図 9 の計算結果に示すように、例えば $\Delta T = 50^\circ\text{C}$ 、波長ロック範囲 0.2nm を満足するアサーマル動作を得るためには、 $L_s = 70\mu\text{m}$ 、 $L_{hw} = 6\text{mm}$ 程度の寸法が必要であることが分かる。SOA の短尺化が非常に有効であり、波長ロック範囲 B_w は位相領域長 L_p によって調整が可能である。

6.2 波長シフトの温度係数低減

波長シフトの温度係数 $d\lambda/dT = 0$ とするために、SOA の屈折率変化をキャンセルする構造を採用する。図 10 にアサーマル化のための方法を示す。

① 中空導波路長 L_{hw} を制御する方法

例えば、サブマウントに使用する基板に負の線膨張係数の材料を用いる。

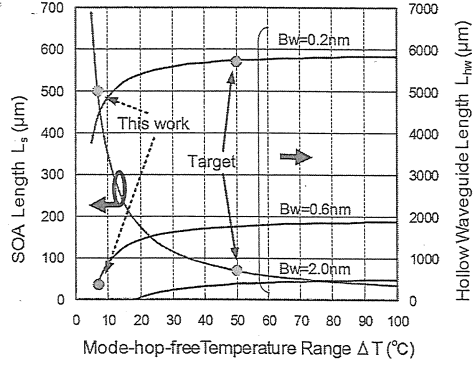


図 9 モードホップフリー温度 ΔT に対するデバイス長 L_s 及び L_{hw} の関係
Fig.9 Relationship between mode hop free temperature range ΔT versus device lengths L_s and L_{hw} .

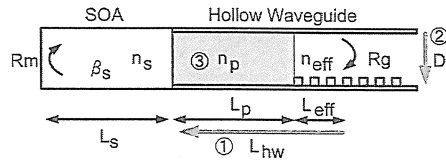


図 10 中空導波路 DBR レーザのアサーマル方法
Fig.10 Athermal methods of hollow waveguide DBR laser.

② 中空導波路のコア厚 D を制御する方法

例えば、ピラーを形成する材料に負の線膨張係数のものを用いるか、上部ミラーにバイモルフ効果などを利用した MEMS 構造を形成する。

③ 位相調整領域を負の屈折率変化を生じる材料で充てんする [13]。

現在、中空導波路の位相調整領域 L_p を BCB (ベンゾシクロブテン) などの負の屈折率変化を生じるポリマーで充てんすることを考えている。その効果を確認するために図 11 に示すサブマウント 2 種を製作した。図 11 (a) は、円形格子長 1mm 、図 11 (b) は、位相領域長 $L_p = 500\mu\text{m}$ 、円形格子長 0.5mm である。

また式 (1) に示すように、位相調整領域 L_p の導入自体が温度係数の低減に寄与するため、今回ポリマーを充てんせず $500\mu\text{m}$ 長の SOA を実装して温度係数を測定したところ、図 12 の黒丸印で示すように温度係数の低減 (0.07nm/K) が得られた。更には、図中破線楕円の領域 (Target) に示すように、SOA 長 L_s を $50\mu\text{m}$ 程度まで短尺化し、更に中空導波路長 L_{hw} を 1500mm 程度まで長尺化することによって温度係

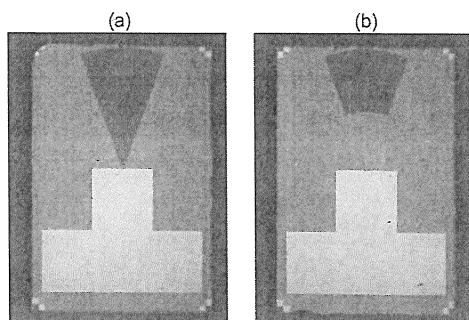


図 11 位相調整領域を持つサブマウント写真 (b)
Fig. 11 Photograph of sub-mount with phase compensation section (b).

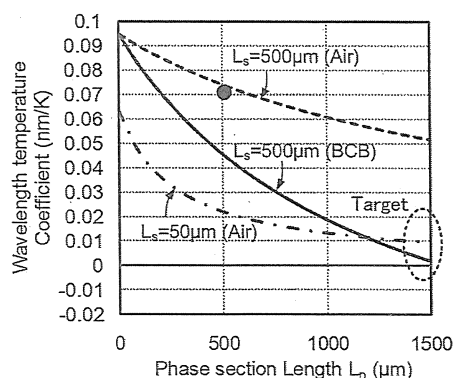


図 12 位相調整領域長と波長の温度係数の関係
Fig. 12 Relationship of the length of phase compensation section and wavelength temperature coefficient.

数を従来の $1/10$ の 0.009 nm/K 程度まで低減できるものと期待される。このときのモードホップフリー温度 ΔT は約 80 K となる。なお、このとき有効長 $L_{\text{eff}} = 100 \mu\text{m}$ を仮定している。このように、SOA の短尺化と中空導波路長（位相調整領域長）の長尺化がアサーマル化には有効であるが、3. で述べた単一波長選択性を維持し良好な SMSR を得るためには、中空導波路長 L_{hw} の長尺化に伴う縦モード間隔の変化に対し、 SiO_2 回折格子の高さを調節して回折格子の波長選択性を向上する必要がある。

また、位相調整領域を例えば、 -0.7×10^{-4} 程度の屈折率変化を有する BCB で充てんする場合は、位相調整領域長 L_p が $1500 \mu\text{m}$ のとき、温度係数がほぼ 0 となることが分かる。今後、BCB などの負の屈折率変化を有するポリマーなどで位相調整領域を充てんする予定である。

7. む す び

アサーマル動作を可能とする中空導波路 DBR レーザについて、単一波長選択性に注目してデバイス設計を行うとともに素子の試作を行った。その結果、単一波長が選択され、SMSR は最大で 38 dB であった。また温度特性から縦モード間隔に相当する波長変動 0.63 nm 内に発振波長がロックされることを示した。更に、モードホップフリー温度範囲の拡大や波長温度係数低減の方法について検討した。SOA の短尺化、ポリマー材料の充てんなどにより、モードホップフリー動作が可能な中空導波路 DBR レーザの実現が期待できる。

謝辞 本研究は科学研究費補助金基盤研究 (S) (#22226008) の補助を受けて行われた。

文 献

- [1] Y. Kokubun, N. Funato, and M. Takizawa, "Athermal waveguides for temperature-independent light-wave devices," IEEE Photonics Technol. Lett., vol.5, no.11, pp.1297-1300, 1993.
- [2] A. Kaneko, S. Kamei, Y. Inoue, H. Takahashi, and A. Sugita, "Athermal silica-based arrayed-waveguide grating (AWG) multi/demultiplexers with new low loss groove design," Electron. Lett., vol.36, no.4, pp.318-319, 2000.
- [3] K. Tada, Y. Nakano, and A. Ushirokawa, "Temperature compensated coupled cavity diode lasers," Opt. Quantum Electron., vol.16, pp.463-471, 1983.
- [4] R. Ushigome, M. Fujita, A. Sakai, T. Baba, and Y. Kokubun, "GaInAsP microdisk injection laser with benzocyclobutene polymer cladding and its athermal effect," Jpn. J. Appl. Phys., Part 1- 41, (11A), pp.6364-6369, 2002.
- [5] A.E.W. Phillips, R.V. Penty, and I.H. White, "Integrated passive wavelength athermalisation for vertical-cavity semiconductor laser diodes," IEE Proc.-Optoelectron., vol.152, no.3, pp.174-180, June 2005.
- [6] W. Janto, K. Hasebe, N. Nishiyama, C. Caneau, T. Sakaguchi, A. Matsutani, F. Koyama, and C.E. Zah, "Athermal operation of $1.55 \mu\text{m}$ InP-based VCSEL with thermally-actuated cantilever structure" 20th Int. Semiconductor Laser Conf. (ISLC2006), Hawaii, USA, PD1, 2006.
- [7] H. Sano, A. Matsutani, and F. Koyama, "Athermal 850 nm vertical cavity surface emitting lasers with thermally actuated cantilever structure," Appl. Phys. Express, 2, 072101, June 2009.
- [8] Y. Sakurai, A. Matsutani, T. Sakaguchi, and F. Koyama, "Giant Bragg wavelength tuning of tunable hollow waveguide Bragg reflector," Jpn. J. Appl.

- Phys., vol.44, no.37, pp.L1171-L1173, Sept. 2005.
- [9] H. Yamakawa, T. Serizawa, Y. Sakurai, and F. Koyama, "Tunable laser with hollow waveguide distributed bragg reflector," OECC 2006, 6C2-2-1, July 2006.
 - [10] H. Yamakawa, and F. Koyama, "Athermal GaInAsP/InP semiconductor laser using hollow waveguide distributed bragg reflector," 12th Microoptics Conference, MOC, A-2, pp.38-39, Sept. 2006.
 - [11] H. Yamakawa, N. Tadokoro, T. Sakaguchi, Y. Tokunaga, and F. Koyama, "Athermal hollow waveguide distributed bragg reflector laser," Conference on Lasers and Electro-Optics, CLEO2011, CMI6, May 2011.
 - [12] 田所奈緒美, 山川英明, 坂口孝浩, 小山二三夫, "中空導波路集積型波長可変レーザの単一波長選択性の検討," 2011 信学総大, C-4-21, March 2011.
 - [13] 徳永義久, 山川英明, 坂口孝浩, 小山二三夫, "中空導波路集積型 DBR レーザのアサーマル化の検討," 2011 信学総大, C-4-22, March 2011.

(平成 24 年 5 月 30 日受付, 7 月 29 日再受付,
25 年 1 月 15 日公開)



小山二三夫 (正員)

昭 55 東工大・工・電気電子卒. 昭 60 同大大学院博士課程了. 同年同精密工学研究所助手. 昭 63 同助教授. 平 12 同マイクロシステム研究センター教授. (平 4 AT&T ベル研究所客員研究員). 動的単一モードレーザ, 面発光レーザ, 半導体光増幅器, 半導体光集積回路, 光マイクロマシンの研究に従事. 平 2 本会篠原賞, 論文賞受賞, 平 10 丸文学術賞, 応用物理学会誌賞, 平 16 市村学術賞, 平 18 本会エレクトロニクスソサイエティ賞, 平 19 文部科学大臣表彰などを受賞. 応用物理学会会員, IEEE Fellow.



山川 英明 (正員)

昭 59 東工大・工・電子物理卒. 昭 61 同大大学院修士課程了. 現在, 同大精密工学研究所研究員. 中空導波路を用いた光デバイスの開発に従事. 応用物理学会会員.



坂口 孝浩 (正員)

昭 59 熊本工大・工・電気卒. 同年東工大・精密工学研究所・技官. 平元 同助手. 平成 22 同助教. 面発光レーザ, 中空導波路, 多層膜反射鏡を利用した多機能デバイスの研究に従事. 平 20 本会 OPE 優秀研究賞受賞, 応用物理学会会員.