

1550 nm/1310 nm 2 波長発振高出力レーザダイオード

1550 nm/1310 nm dual wavelength high power LD

森本 慎太郎 Shintaro Morimoto, 森 浩 Hiroshi Mori, 山田 敦史 Atsushi Yamada, 長島 靖明 Yasuaki Nagashima, 藤田 幹明 Motoaki Fujita, 大貫 紳一 Shinichi Onuki, 吉田 谷 弘明 Hiroaki Yoshidaya, 三瀬 一明 Kazuaki Mise

[要 旨]	光パルス試験器 OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) 用光源として、1550 nm 帯と 1310 nm 帯の活性層をタンデムに光学連結し、両端面の共振と導波路中央部に内蔵した回折格子の反射を利用して、2 波長の光出力を 1 つの出射点から取り出す構成にした 1550 nm/1310 nm 帯集積 LD を考案した。回折格子領域長、共振器長を調整することにより、2 波長のチップ出力が各々 150 mW 以上の高出力 LD を得た。更に導波路の一部にテーパ構造を導入することで 1550 nm 帯と 1310 nm 帯の双方でファイバ結合効率 80% を得た。
[Summary]	We have developed a high power 1550 nm/1310 nm dual wavelength laser diode, which is suitable for Optical Time Domain Reflectometer. It has 1550 nm and 1310 nm active layers aligned in tandem. The cavity for 1550 nm light consists of front facet and rear facet, and that for 1310 nm light consists of front facet and a grating located in center of the chip. Over 150 mW output power was obtained for both of 1310 nm and 1550 nm light, by adjusting the grating length and cavity lengths. The fiber coupling efficiency of 80% was achieved by introducing partially tapered waveguide structure.

1 はじめに

近年の光ファイバ通信網の拡大により、1550 nm 帯と 1310 nm 帯の両方で使用可能にした光パルス試験器 OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) のニーズが高まっている。これに用いられる 1550 nm/1310 nm 帯光源は通常、各波長ごとに半導体レーザを用意し、各々をファイバに結合した後に合波する構成が用いられている。[1]

しかしながら、このような構成では光学部品点数が多くなるだけでなく、光源モジュールの体積を小型化することが難しく、光軸を調整するための機構も複雑になる。そこで我々は、1550 nm 帯と 1310 nm 帯の活性層をタンデムに光学連結し、両波長の光出力を 1 つの出射点から取り出す構成にした 1550 nm/1310 nm 帯集積 LD を考案した。この集積 LD は 1550 nm 帯では両端面での反射により、1310 nm 帯では片側端面と導波路中央部に内蔵した回折格子の反射により、それぞれの共振器で発振させることが可能と予想された。実際に試作したところ、1 チップで 2 種類の波長の光を得ることに成功した。さらにそのチップをファイバ結合した円筒モジュールに搭載し OTDR 光源としての特性を評価したので報告する。

2 2 波長集積 LD の基本構成

1550 nm 帯と 1310 nm 帯を同一出射点から光出力を取り出す構成として以下のように考えた。[2] 1550 nm 帯の光は組成波長 1310 nm 帯の層を通過する際、吸収は起きないが、1310 nm 帯の光は組成波長 1550 nm 帯の層を通過すると吸収されてしまう。したがって 1310 nm 帯活性層を出射端側に配置し、両者の境界の部分に 1310 nm 帯の光が 1550 nm 帯活性層へ入射しないよう回折格子で波長選択的に反射する構成を考案した (図 1)。

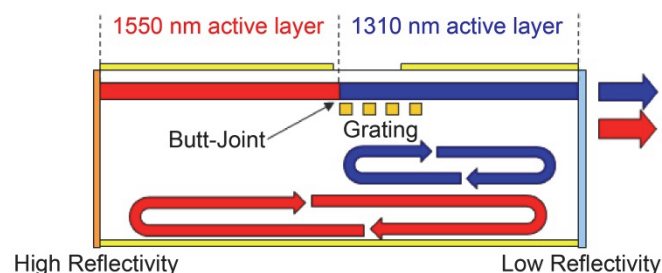


図 1 2 波長発振原理

このように設定すると、波長の長い 1550 nm 帯は両端面間で、1310 nm 帯は前端面と導波路中央部に内蔵した回折格子の反射により発振し、両方の光出力を同一出射点から取り出すことが可能になる。つまり、両方の光を 1 個のレンズで 1 本のシングルモードファイバ (SMF) へ結合する最もシンプルな構成を持つ 2 波長集積 LD が得られる。

3 実際に作製したデバイス構造

1550 nm /1310 nm 帯集積 LD を図 2 に示す。1550 nm 帯の活性層は+1%圧縮歪 InGaAsP の量子井戸層と、無歪 InGaAsP のバリア層から構成された 4 層の多重量子井戸 (Multiple Quantum Well : MQW) 構造で、光分離閉込め (Spertated Confinement Heterostructure : SCH) 層には 3 層からなるグレーデッドインデックス (3Step-GRIN) 構造を用いた。一方 1310 nm 帯の活性層には無歪 InGaAsP バルク層を用いた。

LD の集積化は、まず n 型 InP 基板に波長 1310 nm に対応するピッチで回折格子を形成し (設計上の回折格子結合係数 $\kappa = 163 \text{ cm}^{-1}$)、その上に 1550 nm 帯活性層を成長した後、エッチングと再成長により 1310 nm 帯活性層をバットジョイント形成した。その後、光学的に連結した 1550 nm/1310 nm 帯活性層をエッチングでメサストライプ状に加工した後、その両脇を電流ブロック層で埋込み、続けて全面に p-InP クラッド層、p-InGaAs コンタクト層を成長した。その後 p 側/n 側に各々電極を形成し、劈開により形成した端面の 1550 nm 帯側に反射率 95% の高反射 (High Reflectivity : HR) 膜、1310 nm 帯側に反射率 6% の低反射 (Low Refectivity : LR) 膜のコーティングを施した。尚、成長は全て有機金属気相成長 (Metal Organic Vaper Phase Epitaxy : MOVPE) 法により行い、1550 nm 帯と 1310 nm 帯の各領域の間には電気的に分離するため溝 (Isolation groove) を設けた。

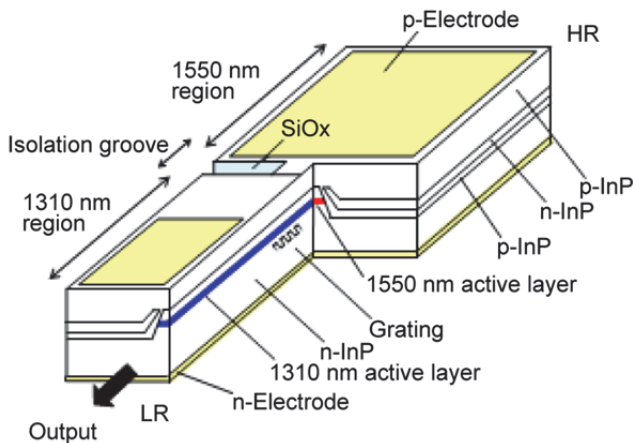


図 2 素子構造図

4 デバイス特性

4.1 電流－光出力特性

1550 nm 帯領域長を 1 mm, 1310 nm 帯領域長を 0.8 mm で一定とし、回折格子領域長 (Grating region length) を 50~200 μm で変化させた場合の閾値電流 I_{th} とパルス 1A 時の出力を図 3 に示す。回折格子領域長ゼロの位置は回折格子がない場合を表す。1310 nm 帯は回折格子無において閾値電流が高く出力が低い発光状態だが、領域長の増加に伴い閾値電流が低下し、出力の増加が確認された。一方、1550 nm 帯においては回折格子の有無に関わらず、ほぼ一定の特性が得られていることが分かった。したがって作製した回折格子は 1310 nm 帯の導波光に対しては優れた反射特性を有することが確認できた。一方、1550 nm 帯に対する損失は殆ど生じていないことが分かった。尚、1550 nm 帯もしくは 1310 nm 帯の領域長を変えての測定においても、数値の絶対値は異なるが傾向は同じであった。

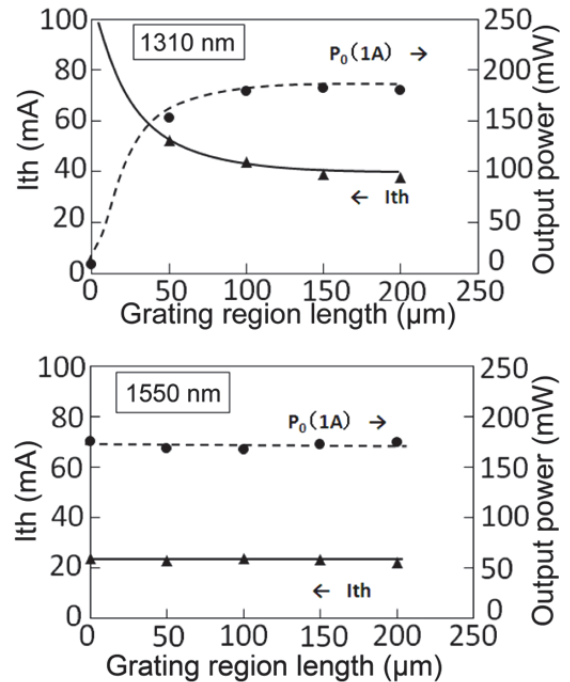


図 3 閾値電流と光出力の関係

また、回折格子領域長を 150 μm 、1550 nm 帯領域長を 1.0 mm で固定し、1310 nm 帯領域長 (L_{1310}) を 0.6~1.0 mm で変化させた場合の電流－光出力特性を図 4 に示す。1310 nm 帯の特性は領域長の増加に伴い出力および飽和特性が改善していくことが分かった。一方、1550 nm 帯の電流－光出力特性は 1310 nm 帯の特性と傾向が逆になり、1310 nm 帯領域長の増加に伴いそこを通過する 1550 nm 帯の出力が低下する傾向にあることが分かる。

これは 1550 nm 帯の光が 1310 nm 帯領域を通過する際に損失が生じていることを示唆しており、主として p 型クラッド内でのサブバンド間吸収によるものと推測される。また、実験した中で両波長の 1A 時の光出力をほぼ同等にするには 1310 nm 帯領域長を 0.8 mm に設定すれば良いことを示している。

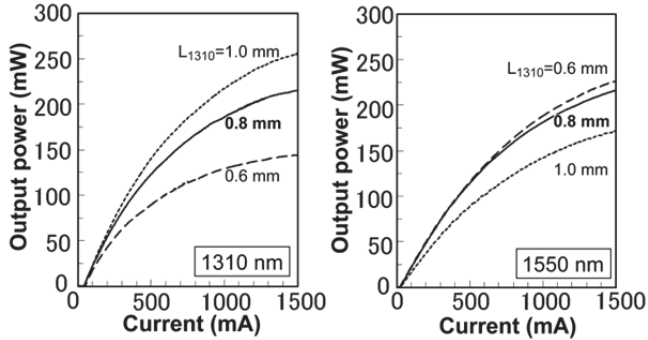


図 4 電流-光出力特性

4.2 スペクトル特性

続いて作製した素子のスペクトル特性を観察した。図 5 に領域ごとに 1A のパルス電流を注入し各々を発振させた場合のスペクトルを示す。1310 nm 帯のスペクトルは回折格子からの反射による比較的半値幅の狭い形状、1550 nm 帯はファブリペロー (Fabry-Perot: FP) 発振に伴う、比較的半値幅の広い形状が各々得られた。また、1550 nm 帯のスペクトルを拡大し縦モード間隔を観察したところ、回折格子による影響はなく両端面に起因する発振が支配的であることが分かった。

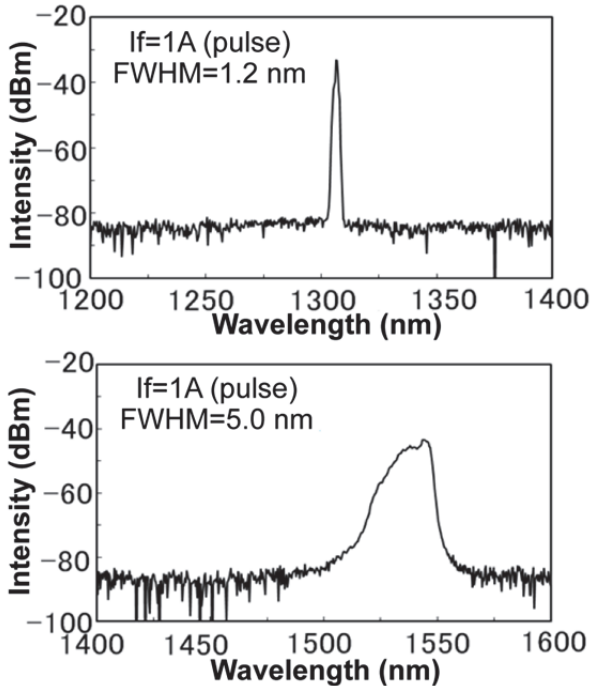


図 5 発振スペクトル

また、上部電極同士を短絡させた状態で、1550 nm/1310 nm 帯領域に同時に電流注入したところ、2 波長で同時に発振することを確認した。

4.3 遠視野像と結合効率

最初に 1550 nm 帯と 1310 nm 帯の活性層幅が等しくなるように作製した素子のファイバ結合効率を調査した。測定は非球面レンズと SMF を調芯することで行った。1310 nm 帯は最大で 78% の結合効率を得られた。一方、1550 nm 帯は最大でも 50% にとどまることが分かった。なお、両波長における最大結合効率を得る像倍率はほぼ等しく 3.8 倍であった。

1550 nm 帯の遠視野像 (Far Field Pattern: FFP) 測定から、水平方向の形状が双峰性であること、さらに水平方向全体に干渉が重畳されていることが分かった。

したがって、1550 nm 帯の SMF との結合効率の低下は 1310 nm 帯領域を通過する際に発生した高次横モードによるもの、バットジョイント界面で発生した放射モードによるものが推測された。OTDR への応用を考えた場合、ファイバ出力は OTDR のダイナミックレンジに直結するため、ファイバ出力は出来るだけ高い方が好ましい。よって 1550 nm 帯はチップ出力の高出力化を図ると同時に、SMF と高い効率で光結合する事も重要な課題になる。

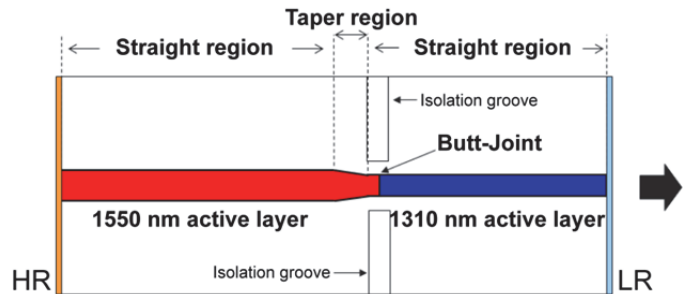


図 6 テーパー導波路構造

そのために導波路を従来の均一幅構造から、1550 nm 帯のチップ出力を低下させないように 1550 nm 帯領域の活性層幅を基本横モード動作する最大の幅に設定し、次に 1550 nm 帯の光が 1310 nm 帯領域を通過する際に高次横モードが発生しないように基本横モードで導波する導波路幅に設定し、その間をテーパー構造で結ぶ導波路の検討を行った (図 6)。

図 7 に 1550 nm 帯の光に対する水平方向の FFP を示す。テーパー構造有では、形状が単峰性になり、全体に重畳されていた干渉も解消された。このことは 1550 nm 帯の光が 1310 nm 帯領域を通過する際に基本横モードで導波し、バットジョイントの前後で放射モードの低減がなされたことを示唆している。また、1550 nm 帯の

チップ出力はテーパー構造の有無に依らずほぼ一定であることも併せて確認しており、1550 nm 帯のチップ出力を低下させることなく、基本横モード動作させることが可能となった。尚、FFPの垂直方向も測定しているが、テーパー構造の有無により変化することなく、ほぼ一定の形状であることも確認している。

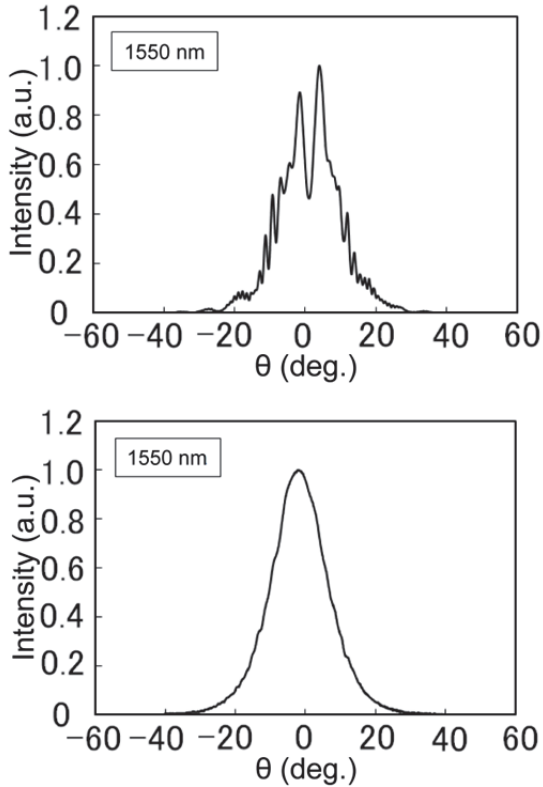


図7 1550 nm の水平方向 FFP(上:テーパ無, 下:テーパ有)

このテーパー構造を有した素子を SMF とレンズ結合させると、1550 nm 帯の結合効率として 80%が得られた。先に述べたテーパー構造無における結合効率 50%と比べて大幅に改善できた。結合効率 80%は 1310 nm 帯の結合効率とほぼ同等であるだけでなく、他ディスクリット素子と SMF との結合効率と比較しても遜色ない値である。したがって、テーパー構造を導入することで、1550 nm 帯も高い効率で光結合することが可能になった。

4.4 信頼性試験

高温通電試験は波長ごとに CW 動作で行った。試験条件は LD 温度 70°Cにて定電流駆動(ACC)で試験した(図 8)。光出力が 20%減少する時間を寿命とし、活性化エネルギー(Ea)を 0.4eV とした場合の、 $T_{LD}=25^{\circ}\text{C}$ におけるメディアン寿命を見積もったところ、1310 nm 帯は約 73 万時間、1550 nm 帯は約 100 万時間が得られ、本素子の信頼性は実用レベルであることを確認した。

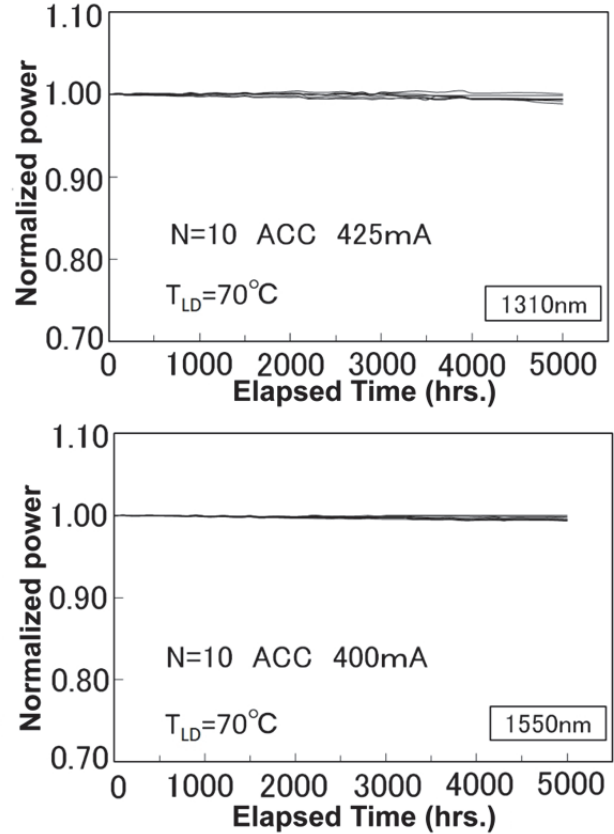


図8 高温通電試験

5 OTDR 評価

最後に本素子を円筒モジュール化し(図 9)、実際の OTDR に搭載して特性評価実験を行った結果を紹介する。

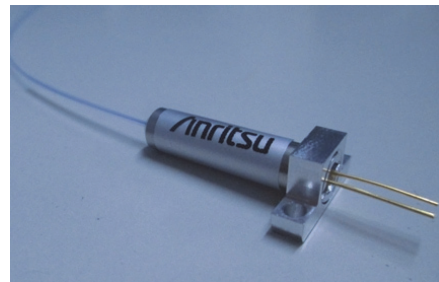


図9 円筒モジュール外観図

図 10 はパルス幅 1 μsec の OTDR 波形である。1550 nm/1310 nm 帯それぞれでのダイナミックレンジは 27.00 dB/28.10 dB であった。

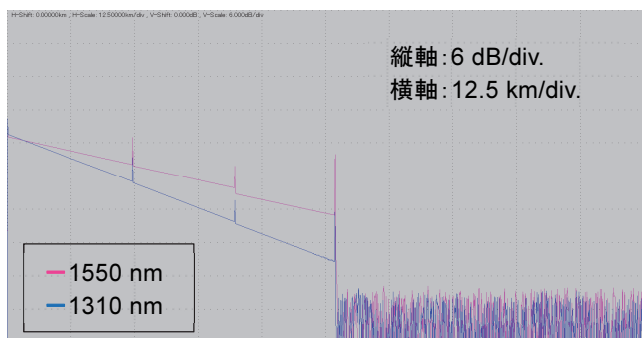


図 10 OTDR 波形

一方、OTDR では、光源の可干渉性に起因して発生する波形リップル特性が、ファイバーの損失測定精度などを劣化させる要因となるため重要となる。波形リップルは戻り光強度の測定値と、測定値を最小二乗法で直線近似した計算値との差として算出される。それぞれの波長での波形リップル特性を図 11 に示す。この特性はスペクトル幅によって決まるため、図 5 に示した両波長のスペクトル幅の違いに伴って両波長で大きな違いを示した。1550 nm 帯の光は両端面間で発振するため、通常用いられる FP-LD と同様のスペクトル幅を持ち、その結果 OTDR に用いた時の波形リップルも同様の 0.02 dB 程度であった。しかし 1310 nm 帯の光は回折格子による反射のためスペクトル幅が狭く、光の干渉性が高いためにリップル値は 0.06 dB 程度と大きな値となった。この点は今後の改善課題であると考えている。

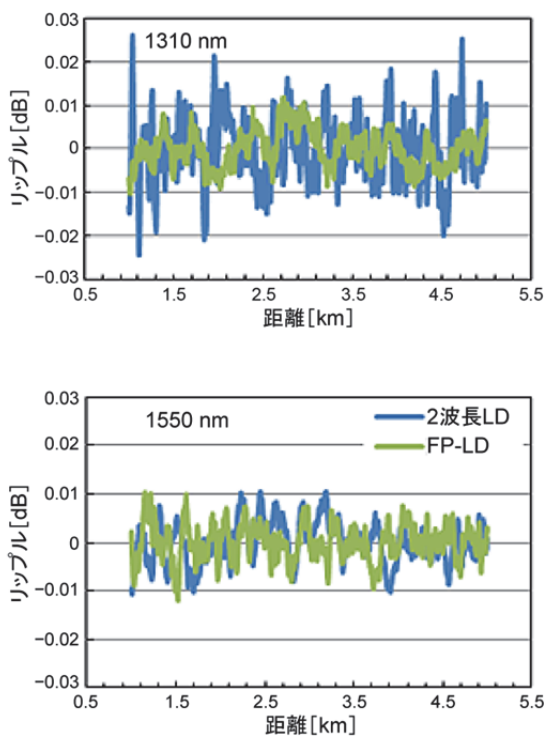


図 11 OTDR 波形リップル特性

6 まとめ

我々は 1550 nm 帯と 1310 nm 帯の活性層をタンデムに光学連結し、1550 nm 帯はチップ両端面での反射により、1310 nm 帯は片側端面と導波路中央部に内蔵した回折格子との反射により発振し、両波長の光出力を 1 つの出射点から取り出す構成にした 1550 nm/1310 nm 帯集積 LD を考案し試作した。試作の結果、両波長での発振状態と高出力動作を確認した。更に 1550 nm 帯の高出力化及び共振器全域に渡る基本横モード動作を検討したところ、1550 nm/1310 nm 帯集積 LD にテーパ構造を含む導波路を適用すると、1550 nm 帯の高出力化、基本横モードの保持において有効であると分かった。また 5000H にわたる高温通電試験を実施し、十分な信頼性を有することも確認した。そして光パルス試験器用光源としての評価も行い、基本的な性能を満足していることを確認した。

今後は、1310 nm 帯はスペクトル幅の拡大に関する検討、1550 nm 帯は内部損失の低減化に関する検討を行っていく。

参考文献

- 1) 北川, 岡本, 竹尾, 坂本, 杉本, 牧田, 仲山, 加藤, 押味, 清水, 山崎, 築: “光パルス試験器 MW9040B の開発”, アンリツテクニカル 64 号 pp.20-30(1992)
- 2) 森本, 山田, 長島, 藤田, 大貫, 吉田谷, 森, 三瀬: “1550 nm/1310 nm 2 波長発振高出力 LD”, 2012 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-4-12,(2012)

執筆者



森本 慎太郎
アンリツデバイス(株)
光デバイス開発部



森 浩
アンリツデバイス(株)
光デバイス開発部



山田 敦史
アンリツデバイス(株)
光デバイス開発部



長島 靖明
アンリツデバイス(株)
光デバイス開発部



藤田 幹明
アンリツデバイス(株)
光デバイス開発部



大貫 紳一
アンリツデバイス(株)
光デバイス開発部



吉田 谷 弘明
アンリツデバイス(株)
光デバイス開発部



三瀬 一明
アンリツデバイス(株)
光デバイス開発部

公知