

BD / DVD / CD互換機用多波長集積レーザの開発

Development of multiple-wavelength laser diodes for BD / DVD / CD compatibility

宮地 護, 木村 義則, 三村 泰弘, 尾上 篤

Mamoru Miyachi, Yoshinori Kimura, Yasuhiro Mimura, Atsushi Onoe

要 旨 我々は、多波長集積レーザを作製するための、量産性のあるウェハレベルによる集積プロセスを開発した。このプロセスを用いることにより2つの発光点間隔が3 μm と非常に近接した赤/赤外二波長集積レーザを実現した。さらにこの二波長集積レーザと青色レーザを集積することにより、全ての発光点が10 μm 以内に収まっている青/赤/赤外三波長集積レーザを作製することに成功した。

Summary We developed a wafer-level integration process for multiple-wavelength laser diodes. This integration process allows highly accurate and proximal alignment of emission spots, as well as high mass-productivity. Using this process, we fabricated red/infrared two-wavelength laser diodes. In the two-wavelength laser diodes, the distance between two emission spots was approximately 3 μm . Furthermore we fabricated blue/red/infrared three-wavelength laser diodes whose emission spots were aligned within 10 μm distance. Such a short spot distance allows the optical components of the pickup to be substantially simplified.

キーワード : ブルーレイディスク, 二波長集積レーザ, 三波長集積レーザ, ウェハボンディング

Keywords : Blu-ray Disc, two wavelength, three wavelength, wafer-level integration

1. はじめに

直径12cmの光ディスクは、1982年、まず始めにCompact Disc(CD)が登場した。CDではPCM形式の音声データを約74分間楽しむことができ、それまでのアナログディスクレコードと比べて再生ノイズがほとんどなく、繰り返し再生にも強い点や、高速アクセス性などが評価され、瞬く間に一般家庭へと入り込んで行った。その後、有機色素系材料を用いたCD-R、相変化媒体を用いたCD-RWなどの仲間を増やし、オーディオ用のみならずデータ保存用としても爆発的に普及した。CDは波長780nmの赤外レーザ光を用いて650～700MBの記録容量を実現しているが、時代は高度情報化社会へと突入し、さらなる高密度記録が要求されるようになった。記録密度は光の集束スポット径の自乗に反比例するが、良く知られているように集束スポット径 d は次式のよ

うにレーザ光の波長 λ に比例する。

$$d = K \times \frac{\lambda}{NA}$$

ここで、NA：開口数、K：0.96(一様入射, $1/e^2$)である。

このため、記録密度を上げるために、レーザ光の波長を短くする方向でのシステム開発が行われた。1996年に登場したDigital Versatile Disk(DVD)は波長650nmの赤色レーザ光を用いて片面単層で4.7GBの記録密度を実現している。DVDはMPEG-2コーデック方式などを用いて数時間の映像を記録することができる。

そして現在、波長405nmの青紫色レーザ光を用いてさらなる高記録密度を実現した光ディスクシステムが普及しようとしている。現在、この高密度光ディスクの規格はBlu-ray DiscとHD-DVDの2つが存在す

るが、どちらも波長 405nm のレーザ光を用いており、直径 12cm の CD サイズに片面一層で 20GB を超える記録密度の実現が可能である^{(1), (2)}。

このような高密度記録は、それ自体で十分に魅力的なものではあるものの、既存の規格に基づく DVD ファミリー (DVD-video, -R, -RW, -RAM など) さらには CD ファミリー (CD, -R, -RW など) は、現在既に広く普及しており、これらとのコンパチビリティを持たせることは光ディスク装置として必須となってくると考えられる。しかしながら、DVD, CD の各媒体でのピット深さや有機色素材料、相変化材料の感度などを考慮すると、同一の波長で全ての媒体を読み書きすることは難しい。

そこで 405nm 帯レーザに加えて 650nm 帯レーザ、780nm 帯レーザを搭載することが必要となる。これには、個別にパッケージされた 2 つあるいは 3 つのレーザをピックアップに搭載し、プリズムなどで光路調整することで実現することができるが、将来的にシステムを軽薄短小化するために、1 チップから複数の波長のレーザ光が出射されるような多波長集積レーザの実現が望まれている。現在商品化されている DVD/CD コンパチ用の 650nm/780nm 二波長集積レーザの場合では、どちらの波長の半導体レーザも GaAs 基板上への成膜が可能であるために、同一基板上にモノリシックに形成するという手法がとられている^{(3), (4)}。しかし、405nm 帯レーザを実現する GaN 系半導体では GaAs 基板上に高品位な結晶を作製することが難しく、650nm 帯レーザを実現する AlGaInP 系半導体や 780nm 帯レーザを実現する AlGaAs 系半導体とモノリシック集積することが非常に難しい。別々の基板上にそれぞれの半導体レーザを作製し、チップ化した後に同一サブマウント上にハイブリッド実装する方法⁽⁵⁾は、405nm 帯レーザと 650nm 帯レーザあるいは 780nm 帯レーザの集積にも応用可能ではあるが、正確な発光点間隔位置合わせが難しい上に量産性も乏しいという問題がある。

そこで我々は、レーザリフトオフ (LLO) という手法を用いた量産性の高いウェハレベル集積プロセスを開発し⁽⁶⁾、発光点間隔が非常に近接した青 / 赤二波長集積レーザの作製に成功した^{(7)~(9)}。今回の解説では、DVD/CD 互換機用となる赤 / 赤外二波長集積レーザを、非常に近接した発光点間隔で作製するためのプロセスを述べ、この手法により作製した赤 / 赤外二波長集積レーザの特性について述べる。さらに、将来的に望まれる Blu-ray/DVD/CD の全てに対応できる青 / 赤 / 赤外三波長集積レーザについても試作を行ったので、そ

の可能性について述べる。

2. 赤 / 赤外二波長集積レーザの作製プロセス

我々は青 / 赤二波長集積レーザの作製の際にも用いたウェハレベルでの集積技術を、赤 / 赤外二波長レーザにも適用することを検討した。この場合には基板として用いる GaAs と各レーザ構造膜の吸収スペクトルに大きな差異がなく、LLO 法を基板除去技術として用いることができないため、ウェットエッチングを用いて基板部分の除去を行うことを検討した。図 1 は AlGaInP 系赤色レーザと AlGaAs 系赤外レーザを集積した二波長レーザの作製プロセスを示したものである。まず、GaAs(001) 基板上に AlGaAs 系レーザ構造膜を形成し、[110] 方向に 3.0 μ m 幅のリッジストライプを形成し、さらに AuZn/Ti/Au オーミック電極などを形成する。ここで Ti は、後の貼り合わせ工程 (c) において Au が半導体中に拡散するのを抑制する役割を果たす層である。次にその上の全面に AlGaInP 系レーザとの接着層として Sn を形成する。この赤外レーザ側のプロセスとは別に、AlGaInP 系レーザ構造膜を GaAs(001) 基板上に成膜する。このとき、同図 (b) のように AlGaInP 系レーザ構造膜と GaAs 基板との間にエッチングストップ層を形成しておく。このエッチングストップ層は、後の基板除去工程 (d) において、基板部分のみをエッチングし、レーザ構造膜部分を確実に残すために設けるもので今回は Ga_{0.51}In_{0.49}P を用いた。AlGaInP 系レーザに関してもリッジストライプ幅を 3.0 μ m とし、オーミック電極を AuZn/Ti/Au とした。ここで Ti は AlGaInP 系レーザの場合と同様に Au の拡散抑制層である。次にここまで別々に作製してきた 2 つのレーザウェハを、AlGaInP 系レーザ側の Au 接着層と AlGaAs 系レーザ側の Sn 接着層とを融着することにより貼り合わせを行う。融着はフォーミングガス中において 300°C、10 分間保持して行った。この貼り合わせプロセスでは、両半導体レーザのリッジストライプが平行かつ最も近接するように位置合わせをするが、GaAs 基板は可視光に対して不透明なため、赤外光を用いて GaAs 基板およびレーザ構造膜を透視してリッジストライプの観察を行った。次に、エッチャントとしてアンモニア過水を用いて AlGaInP 系レーザ側の GaAs 基板のエッチングを行い GaInP エッチングストップ層を露出させた。次にフォトリソグラフィーによりリッジストライプを含む幅 200 μ m の領域にレジストパターンを形成し、それ以外の露出した領域を塩酸、硫過水および BHF を用いてエッチングしてこの部分

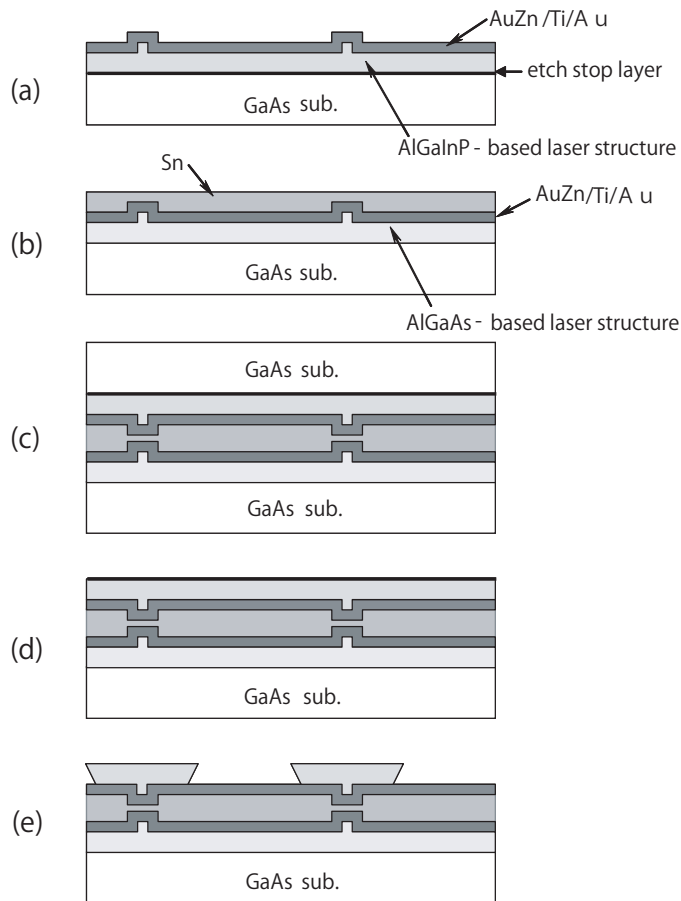


図1 赤 / 赤外二波長集積レーザの作製プロセス

Fig.1 Fabrication process flow of the red / infrared two-wavelength LD.
 (a) Etching stop layer and AlGaInP-based LD growth and AuZn/Ti/Au deposition. (b) AlGaAs-based LD growth and AuZn/Ti/Au/Sn deposition. (c) Wafer-level bonding. (d) GaAs sub. etching. (e) partial etch out of the red LD to expose common anode.

で融着金属層を露出させ、さらにレジストを除去した後、塩酸を用いて GaInP エッチングストップ層をエッチングして n-GaAs コンタクト層を露出させた。以上のエッチングプロセスは表面反応律速となるよう行われるため、パターニングされた AlGaInP 系レーザの側壁は図 2 のように逆メサ形状となる。このため AlGaInP 系レーザの n-GaAs コンタクト層への電極形成においてパターニングしなくても、逆メサ形状を利用したセルフアラインによって隣接した融着層露出部分との電氣的絶縁をとることができ、プロセスの簡略化が可能となる。次に AlGaAs 系レーザの GaAs 基板裏面に AuGe/Ni/Au オーミック電極を形成する。ここまでのプロセスをウェハレベルで行い、最後に一次劈開および融着層露出部分での二次劈開を行うことでレーザチップを完成させる。なお、後側端面には 650nm 帯および 780nm 帯の両波長で 85%

程度の反射率となる HR コーティングを行っている。

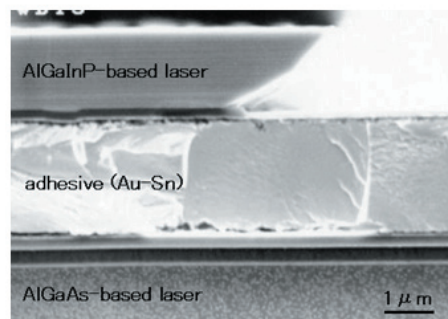


図2 赤 / 赤外二波長集積レーザの端面のSEM像

Fig.2 Scanning electron microscopy view of an inverted mesa structure at the edge of the red LD.

3. 赤 / 赤外二波長集積レーザの特性

上述したプロセスにより作製した赤 / 赤外二波長集積レーザは図3のような構造となっている。電極構成はアノードを共通とした3電極構成となっており、AlGaInP系レーザとAlGaAs系レーザはそれぞれ独立に駆動することが可能となっている。

図4は作製した赤 / 赤外二波長集積レーザのCW駆動における電流対光出力特性である。なおこの

ときサブマウントをAlGaInP系レーザ側に形成し、AlGaInP系レーザ側から放熱をとっている。図のようにレーザ発振の閾値はAlGaInP系レーザ、AlGaAs系レーザでそれぞれ26mA、25mAとなっている。図5は両半導体レーザを同時駆動させた場合の端面付近の光学顕微鏡写真であるが、2つの発光点間隔は約3 μ mとなり、従来のモノリシック赤 / 赤外二波長集積レーザの発光点間隔約110 μ mと比較して、非常に近接し

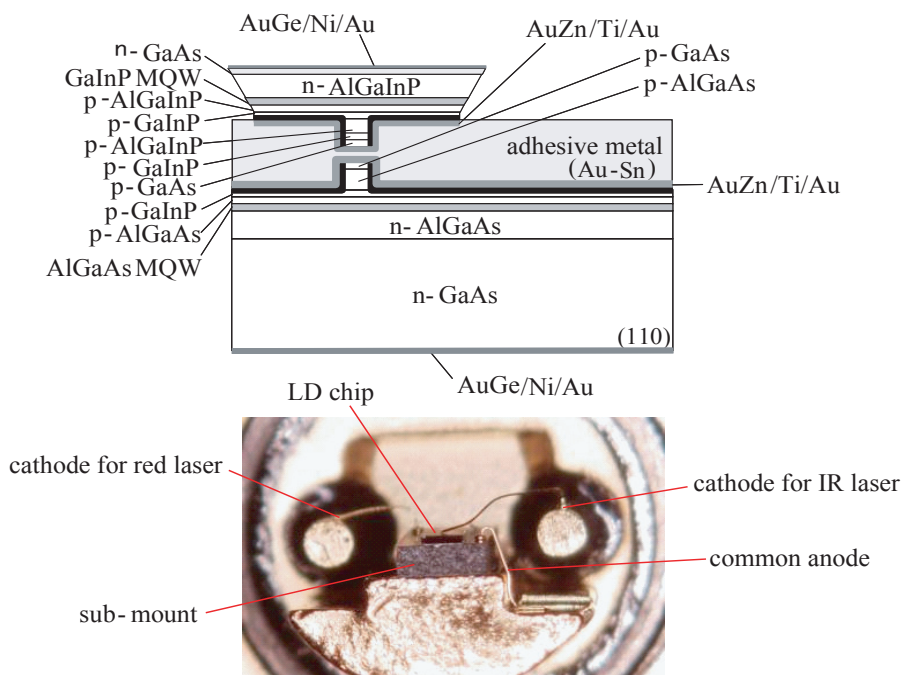


図3 赤 / 赤外二波長集積レーザ構造図

Fig.3 Schematic diagram of the red / infrared two-wavelength LD.

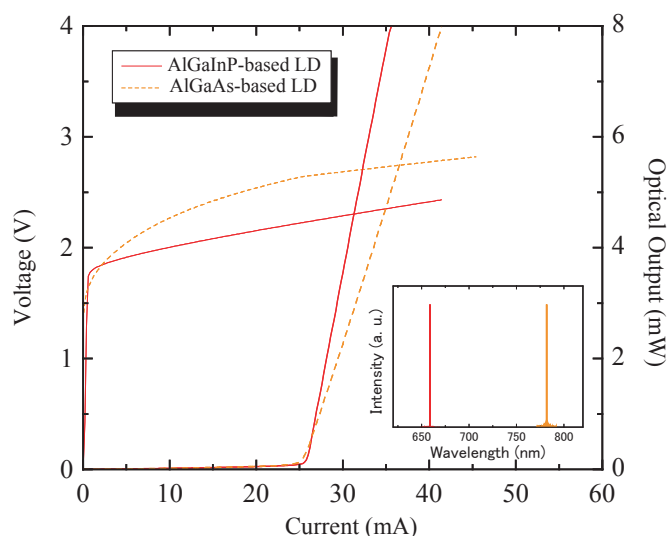


図4 赤 / 赤外二波長集積レーザの室温CW駆動におけるI-L特性及び発振スペクトル

Fig.4 Light versus current characteristics of the red / infrared two-wavelength LD CW operation at room temperature. The inset shows the electroluminescence (EL) spectra.

た状態を実現することができた。このように発光点を近接させることにより、両方のレーザービームをピックアップにおけるレンズ系のほぼ軸上に配置することができ、光の利用効率など有利となる。

今回は AlGaInP 系レーザーと AlGaAs 系レーザーを集積したが、図 1 のプロセスにおいて AlGaAs 系レーザー

を GaN 系レーザーに置き換えることにより、青 / 赤集積レーザーも作製することができる。この方法によると、現在主流となりつつある GaN 基板を用いた GaN 系レーザーを用いることも可能となる。なおこの場合には、GaN の熱伝導率が 130W/mk と非常に良好なため、GaN 基板側にサブマウントを形成し、こちら側から放熱をとる方が適当であろう。

4. 青 / 赤 / 赤外三波長集積レーザー

これまでに我々は、Blu-ray/DVD 互換機用としての青 / 赤二波長集積レーザーおよび DVD/CD 互換機用としての赤 / 赤外二波長集積レーザーを開発したが、将来的には、1 チップでこれら 3 種の光ディスク全てに対応可能な青 / 赤 / 赤外三波長集積レーザーが望まれる。そこで、我々は図 3 のように作製した赤 / 赤外二波長レーザーに、GaN 基板上に作製した GaN 系レーザーをチップ集積することにより、試作的に青 / 赤 / 赤外三波長レーザーを作製した。図 6 (a) に試作した三波長レーザーの構造を、(b) に発光状態の端面近傍の光学顕微鏡

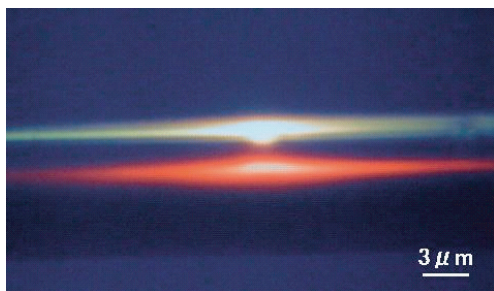


図 5 赤 / 赤外二波長集積レーザーの同時駆動時における発光端面の光学顕微鏡写真

Fig.5 Optical microscope image of emission spots of the red / infrared two-wavelength LD.

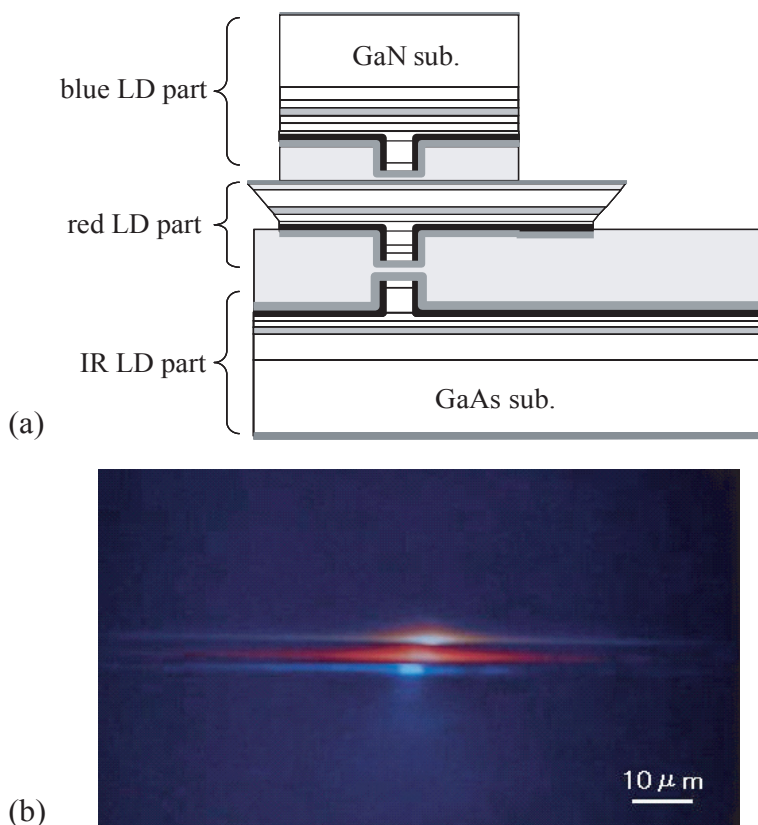


図 6 青 / 赤 / 赤外三波長集積レーザーの構造図 (a) 及び同時駆動時における発光端面の光学顕微鏡写真 (b)

Fig.6 Schematic diagram (a) and optical microscope image of emission spots (b) of the blue / red / infrared three-wavelength LD.

鏡写真を示す。図のように、青/赤/赤外の全ての発光点が10 μ m以内の非常に近接した範囲に納まっている。

5. まとめ

光ディスクはCDからDVDへと進化してきたが、CDはオーディオ用途やデータ記録用途としてその地位を確立しており、DVD記録再生機にCDとの互換性を持たせることは今や必須の要件となっている。次世代の光ディスクであるBlu-ray Disc (BD)やHD-DVD (HD)もやはり同様に、現在広く普及しているDVDとの互換は必須となってくると考えられ、現在、互換ピックアップの小型化に向けて、種々の光学部品を2つあるいは3つの波長で共用する検討が各社で行われている。1つのチップから複数の波長を出力することができる多波長レーザはそのための究極の部品であると考えられる。これまでに我々は、BD(HD)/DVD互換用光源としての青/赤二波長集積レーザおよびDVD/CD互換機用光源としての赤/赤外二波長集積レーザを量産性の高い方法によって実現できることを示した。さらに、全ての発光点が10 μ m以内の範囲に納まる青/赤/赤外三波長集積レーザを試作的に作製し、その可能性を示した。

6. 謝辞

本研究を進めるにあたりご協力いただきました、ユーディナデバイス(株)オプト・パワーデバイスプロジェクトの棚橋俊之様、和田淳様、近藤真人様、干野哲朗様、上田誠様に深くお礼申し上げます。

参考文献

- (1)K. Schep, B. Stek, R. van Woudenberg, M. Blum, S. Kobayashi, T. Narahara, T. Yamagami and H. Ogawa: Jpn. J. Appl. Phys. **40** (2001) 1813.
- (2)Y. Wada, M. Katsumura, Y. Kojima, H. Kitahara and T. Iida: Jpn. J. Appl. Phys. **40** (2001) 1653.
- (3)K. Nemoto, T. Kamei, H. Abe, D. Imanishi, H. Narui and S. Hirata: Appl. Phys. Lett. **78** (2001) 2270.

- (4)T. Onishi, O. Imafuji, T. Fukuhisa, A. Mochida, Y. Kobayashi, M. Yuri, K. Itoh and H. Shimizu: Jpn. J. Appl. Phys. **40** (2001) 6401.
- (5)H. F. Shih, T. P. Yang, M. O. Freedman, J. K. Wang, H. F. Yau and D. R. Huang: Jpn. J. Appl. Phys. **38** (1999) 1750.
- (6)宮地護, 太田啓之, 渡辺温, 田中利之, 高橋宏和, 木村義則, 伊藤敦也, 園部雅之, 伊藤範和, 田辺哲弘, 藤井哲雄, 丸田秀昭, 中川大輔, 高須秀視, 竹間清文: 第48回応用物理学関係連合講演会 講演予稿集 28p-E-10 (2001)
- (7)Y. Kimura, M. Miyachi and K. Chikuma: 9th Microoptics Conference (MOC' 03) (2003) PD1
- (8)M. Miyachi, Y. Kimura and K. Chikuma: Jpn. J. Appl. Phys. **43** (2004) L136.
- (9)宮地護, 木村義則: 光技術コンタクト Vol.43 No.1 (2005) 12.

筆者紹介

宮地 護 (みやち まもる)

技術開発本部 総合研究所 高機能デバイス研究部
GaN系青紫色半導体レーザ, 多波長集積半導体レーザの開発を経て, 現在, 熱電デバイスの開発に従事

木村 義則 (きむら よしのり)

技術開発本部 総合研究所 高機能デバイス研究部
GaN系青紫色半導体レーザ, 多波長集積半導体レーザの開発を経て, 現在, 光MEMSの開発に従事

三村 泰弘 (みむら やすひろ)

技術開発本部 総合研究所 高機能デバイス研究部
通信用DFBレーザ, 多波長集積レーザの開発を経て, 現在, 強誘電体ストレージの開発に従事

尾上 篤 (おのえ あつし)

技術開発本部 総合研究所 高機能デバイス研究部
磁気ヘッド, 薄膜結晶SHGデバイスの開発を経て, 現在, 材料とMEMSをコア技術とするデバイス開発に従事