

今回は、DVDなどの光ディスクにおいて再生・記録を行うレーザー光の光源であり、光ディスクの心臓といえる半導体レーザー（LD: laser diode）に関する技術を紹介させていただきます。具体的には、 $\sim 10^{-6}$ mm²と狭い光出射端面から、LDが300 mWを超える高出力レーザー光を放射するために、どのような工夫が施されているのか、のお話です。

1. 端面損傷による光出力の限界

LDの高出力化の限界要因のひとつが端面損傷（COD: catastrophic optical damage）です。CODはLDの発生する光により、LDの光出射端面がある光出力以上で溶解し、レーザー発振が停止する現象です（図1）。

CODは以下のような機構で発生すると考えられています¹⁾。LDのレーザー共振器（光導波路）における光出射端面には表面準位が存在し、LDへ注入した電子と正孔がこの準位を介し非発光再結合します。その結果、端面近傍の活性層での電子と正孔の密度はLD内部に比べて低くなります。

活性層とは、電子と正孔が誘導放出によりレーザー光を発生させる層です。誘導放出が発生するためには、反転分布、すなわち活性層に高密度の電子と正孔が存在する必要があります。逆に、電子と正孔の密度が低ければ、活性層は光出力端面近傍においてレーザー光を吸収します。

光吸収により端面付近が発熱すると、端面付近の

活性層の光吸収端が長波長側にシフトします。通常の動作条件ではレーザー発振波長は活性層の吸収端よりも長波長側に位置していますが、上記の長波長シフトの結果、端面近傍の活性層の光吸収端がレーザー発振波長に近づくことになります。したがって、いっそう端面における光吸収が増大します。

ある光出力を超えると、上記の光吸収→発熱→光吸収…が悪循環となり、光出射端面の温度は急激に上昇し、ついには半導体の融点を超過端面が融解します。端面が平坦性を失うとレーザー共振器のミラーとして機能しなくなり、レーザー発振が停止します。

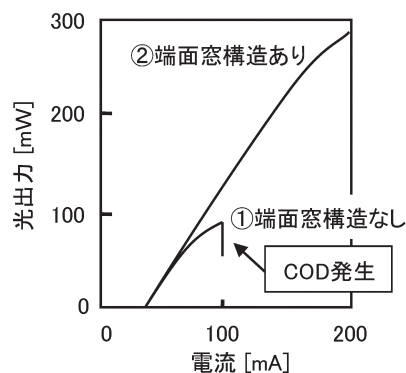
2. 端面窓構造による端面損傷の解決

CODを解決するためのLD構造として、光出射端面の光吸収を低減させた端面窓構造が用いられています。端面窓構造の実現には端面近傍の活性層の光吸収端を短波長化、すなわちバンドギャップを大きくする必要があります。ここでは、そのための「量子井戸活性層の無秩序化」技術を紹介します。

「量子井戸活性層の無秩序化」は、量子井戸を用いた活性層に不純物を拡散させることにより実現します。量子井戸活性層とは、電子と正孔を誘導放出させる層（井戸層）と、井戸層よりもバンドギャップが大きく、電子・正孔を井戸層に閉じ込める障壁層によりサンドイッチした半導体多層構造です。

量子井戸活性層に半導体多層膜の表面から不純物

(a) LDの電流－光出力特性



(b) CODにより融解したLD出射端面

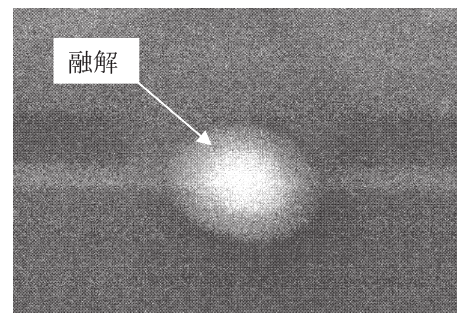


図1 CODによるレーザー発振の停止の例。

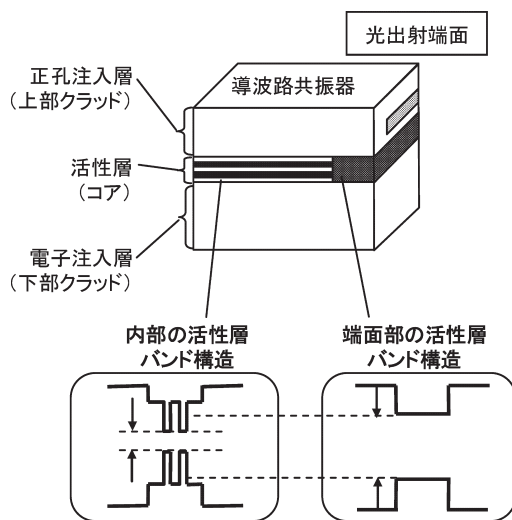


図2 端面窓構造型LDの断面図。

が拡散されると、井戸層と障壁層を構成する半導体材料も相互に拡散します。このような相互拡散が生じると井戸層と障壁層が混合し、活性層は、量子井戸の秩序が消失した無秩序化層となります。障壁層のバンドギャップは井戸層よりも大きいため、無秩序化層のバンドギャップは井戸層よりも大きくなります。この無秩序化を端面のみに施せば、端面窓構造が実現することになります (図2)。

3. 量子井戸活性層の無秩序化の物理

量子井戸活性層の無秩序化の機構を、CD用赤外LDのGaAs井戸層/AlGaAs障壁層量子井戸活性層を例に、図3を用いながら説明します²⁾。障壁層にAlGaAsを用いている理由は、AlGaAs系半導体ではAl組成が高いほどバンドギャップエネルギーが大きいためです。したがって、上記のような無秩序化を実現するためには、GaとAlを相互拡散させることが必要です。

無秩序化のための不純物としては、Znが広く用いられています。その理由は、AlGaAsが分解しない600°C程度の温度でも、Znの拡散速度が大きく無秩序化を発生させるからです。

Zn原子が外部からAlGaAs半導体結晶へ導入された場合、イオン半径が小さいので結晶格子の間に侵入します。AlGaAsのようなダイヤモンドに似た

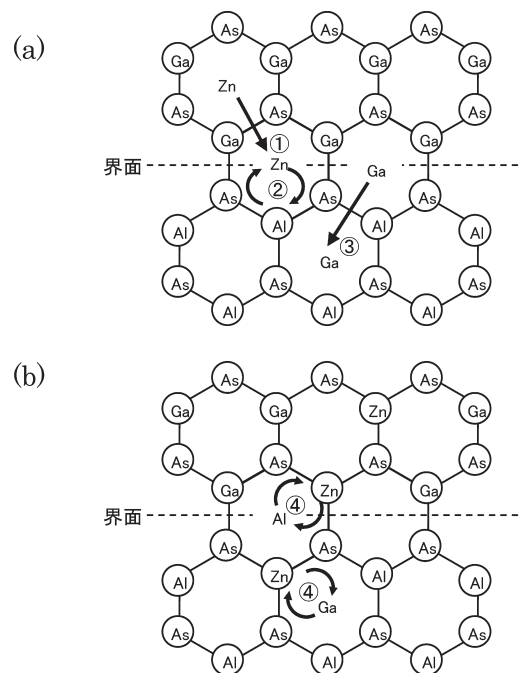


図3 GaAs/AlAs無秩序化のモデル。

閃亜鉛鉱形結晶は格子間の隙間が大きいため、格子間に入ったZnイオンは結晶中を容易に拡散します(①)。格子間Znは、格子位置にいるGa(Al)と置換し、格子位置に入ることができます(②)。こうして、Znにより格子間へ押し出されたGa(Al)も、比較的容易に拡散します(③)。格子位置Znが格子間Ga(Al)により再び置換されると(④)、GaとAlの格子位置の交換が実現します。このような過程を繰り返す、無秩序化が進行します。

米粒ほどの小さなLDには、こんな工夫がいろいろと詰まっています。

この記事に関するお問い合わせは、onodera@uitech.ac.jpもしくはhayasaki@opt.tokushima-u.ac.jpまでお寄せください。

(松下電器産業(株) 折田賢児)

文 献

- 1) 伊賀健一編著：“半導体レーザ” (オーム社, 1994) p. 240.
- 2) E. H. Li ed.: *Selected Papers on Quantum Well Intermixing for Photonics* (SPIE Optical Engineering Press, Washington, 1998) p. 134.