

PHOTON IS OUR BUSINESS

NEWS RELEASE

世界初、窒化アルミガリウムで342ナノメートル紫外半導体レーザーの発振に成功

2008年7月28日

浜松ホトニクス株式会社

本社：浜松市中区砂山町325-6

代表取締役会長兼社長：晝馬 輝夫（ひるまてるお）

当社は、最も短い紫外波長 342 ナノメートル（以下 nm、ナノは 10 億分の 1）で発光する半導体レーザー（以下 LD）の動作に世界で初めて成功しました。これにより、環境やさしく、小型で低コスト、低消費電力、長寿命な、使い勝手の良い紫外 LD の実用化が促進されれば、バイオ、環境など幅広い分野で応用が期待できます。

この成果は、9月1日発行の英国の科学専門誌「ネイチャー・ホトニクス（Nature Photonics）」9月号に論文掲載される予定です。また、これに先立ち、ネイチャーのホームページでは、注目すべき重要な論文として、7月28日からインターネット上のオンライン版で先行公開されます。



<技術の概要>

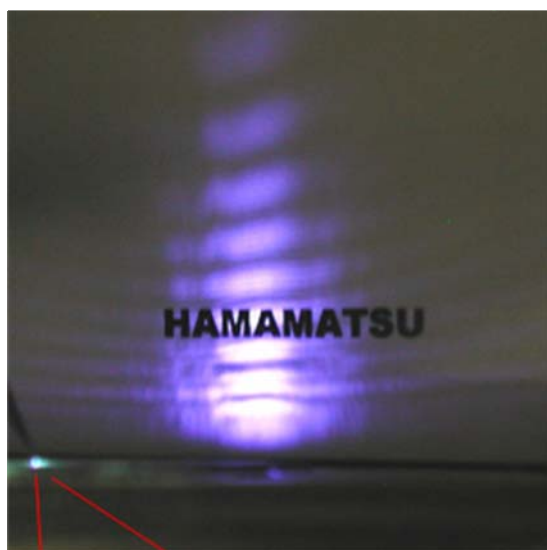
本紫外 LD は、インジウム（以下 In）を一切含まず、窒化ガリウム（以下 GaN）をベースにアルミニウム（以下 Al）を加えた、窒化アルミガリウム（以下 AlGaN）を世界で初めて多重量子井戸（発光層）に用いたものです。ファセット制御エピタキシャル横方向異種結晶成長法と呼ばれる特殊な成長方法によって、欠陥の少ない Al 組成が 30% の AlGaN 結晶薄膜を基板上に成長し、その上に AlGaN 多重量子井戸構造のレーザーを成長して作製しています。室温でレーザー動作し、パルス駆動で、強い横電界（TE）偏光特性を示し、今回の実験では、342nm、片面出力 16 ミリワット、微分外部量子効率 8.2% で発振しました。

レーザー発振には、多重量子井戸へ相当なキャリア（電子と正孔）を閉じ込めるため、発光層を挟むクラッド層のバンドギャップを大きくしなければなりません。そのためには、バンドギャップの大きい材料の AlN の比率を高める必要がありますが、欠陥のない良質な結晶を作製することはこれまで困難とされてきました。当社は、独自の技術による GaN の結晶構造を導入して、その上に Al 組成が 30% で低欠陥の AlGaN を成長することに成功しました。また、Al を加えることでクラッド層が低い屈折率になるため、導波路内にレーザー発振に十分な光を閉じ込めることができました。

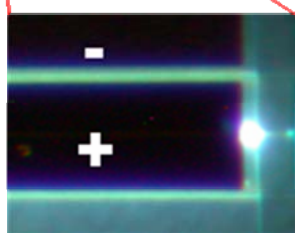
今後、欠陥の少ない Al 組成が 30% 以上の AlGaN 結晶薄膜を成長することで AlGaN 発光層の Al 組成も増やせば、さらに短波長でのレーザー発振が可能となります。当社は、短波長

HAMAMATSU

化のみならず、連続動作、低電圧化を進め、信頼性と寿命を確保することで製品化を図って参ります。

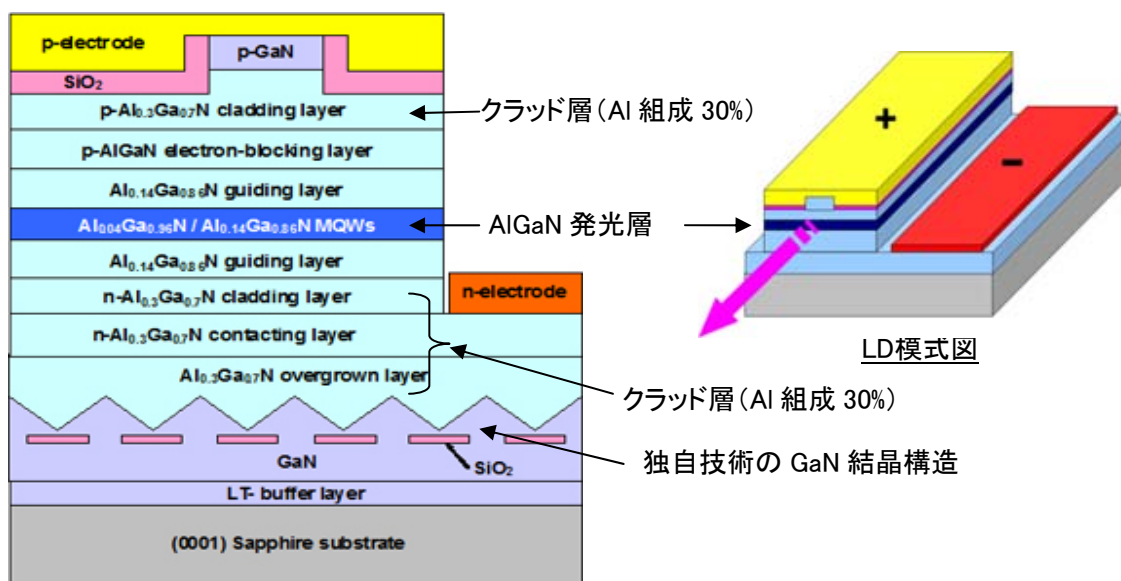


紙のスクリーンにレーザー光を投影し、紙に含まれる色素が紫外によって励起され青色っぽく見えている。



レーザービーム

レーザー素子を上から拡大して普通のデジカメで撮影したもの。(レーザーが緑っぽく見えるのは、レーザー光に励起された結晶の別の準位が光っているものと思われる)



LD 多重量子井戸構造模式図

これまで波長 200~350nm の紫外領域の光源は、水銀ランプや大型のガスレーザー装置が用いられていました。この LD には、環境に無害な半導体材料を用いており、小型で低コスト、低消費電力、長寿命などの特長が期待できます。使い勝手の良い紫外 LD が実用化されれば、バイオ、環境、情報、加工など幅広い分野で、光と物質の相互作用の解明による応用が期待できます。

例えば、バイオ分野では、化学結合の光エネルギーが 340nm 近傍をはじめとした紫外領域にある物質が多く、生体分子活動を計測することで、生体の活性状態や内部電子の状態によって分子の異なる性質などの解明につながります。また、生体分子の検出によって、病原体汚染監視や有害化学物質の検出なども可能になります。

そのほかにも、レーザープリンタやレーザー製版での微小なスポットサイズによる高精細な印刷や高密度光記録、微細な半導体表面検査、高分子・金属のレーザー微細加工、非破壊生態観察、サブミクロン観察などレーザー顕微鏡などへの応用が考えられます。

<研究の背景>

紫外 LD には、窒化物半導体が最も有力な材料として用いられています。窒化アルミニウム（以下 AlN）は、バンドギャップが 6.2 エレクトロンボルト（以下 eV）と最大で、理論上最も短い波長 200nm で発光するとされています。しかしながら、バンドギャップが大きいほど絶縁体に近くなるため、電子が流れにくくなり発光しにくくなることと、1000℃以上の高温で結晶を作製するため、積層構造の精度が低くなるという難題がありました。

現在、実用化に向けた紫外 LD の開発には、同じ 3 族窒化物半導体の GaN や窒化インジウム（以下 InN）をベースに、Al を加えて結晶を成長する研究が行われています。GaN のバンドギャップは、約 3.4eV で、光の波長に換算すると約 365nm に、InN は、約 0.7eV で 1770nm に相当します。GaN や AlGaIn、窒化アルミガリウムインジウム（AlGaInN）を発光層に使うことによって、波長 365nm 以下の発振をしようというものです。

発光ダイオード（以下 LED）では、既に AlN だけで波長 210nm の深紫外発光が確認されています。しかし、ここ数年、短い波長領域での LD では、ほとんど進展がありませんでした。これまで、素子特性を明確に報告できているレーザー発振は、350.9nm より長い波長に限られていました。

LD には LED に比べて、レーザー発振するために高い発光効率だけでなく、光学的、電氣的閉じ込めが要求されます。このため、構造は複雑となり半導体結晶の膜厚も厚くなり、さらに、転位（結晶のズレ）など欠陥の少ない結晶成長技術が必要となります。つまり、高性能の素子を作製するには、高い Al 組成で高い結晶品質の AlGaIn が必須となります。

しかしながら、光学的、電氣的閉じ込めに用いるクラッド層に必要な Al 組成の高い AlGaIn の結晶成長は非常に困難です。サファイアなどの基板の上に AlGaIn を結晶成長していくと、引っ張り歪により結晶中に転位やクラックが生じます。とくに、高い Al 組成の場合には、この傾向が顕著に現れます。

一方、GaInN を発光層に用いた青紫の LD や LED では、In 組成分布のゆらぎの効果によって非常に高い発光効率が得られています。これまで電流注入方式の紫外 LD の AlGaIn 発光層には、すべて少量の In が含まれ、In を一切含まない AlGaIn 発光層の紫外 LD は前例がありません。

しかし、InN のバンドギャップは非常に小さく、また成長条件にも敏感であることから、In を発光層に含ませることは、将来的に短波長化を拒む要因となります。In を含まない AlGaIn では、発光層での非発光再結合の確率が高くなってしまいます。こうしたことから、非発光中心となる転位を減らした AlGaIn 層を成長し、In の助けを借りず、AlGaIn からなる多重量子井戸型の紫外 LD のレーザ発振を実証することが重要となります。

<用語解説>

■バンドギャップ

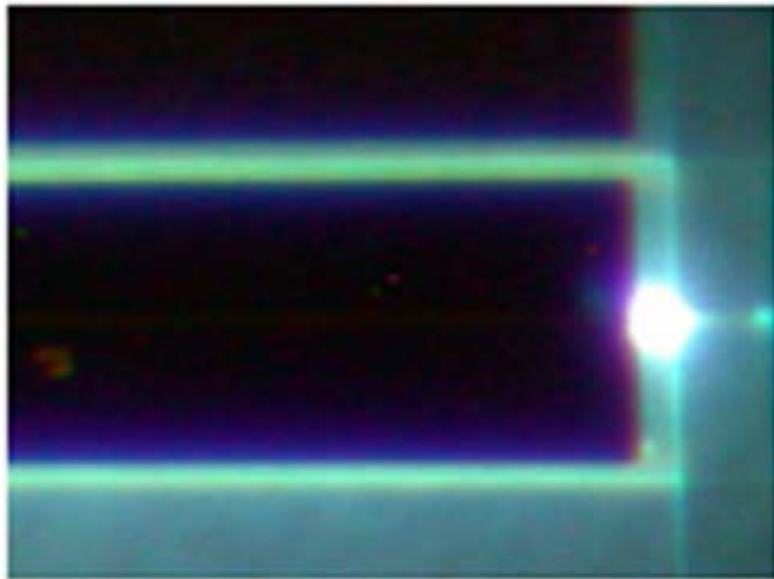
半導体結晶には、電子が充満している価電子帯と電子が空の伝導帯の間に、電子が存在できない禁止帯（ギャップ）というバンド構造があり、その価電子帯から伝導帯のエネルギーの差（準位）をバンドギャップという。バンドギャップのエネルギーと発生する光の波長は、反比例の関係にある（波長[nm]=1240÷バンドギャップ[eV]）。電子がバンドギャップを越えて価電子帯と伝導帯の間を遷移するには、バンドギャップ幅相当のエネルギーの光を吸収または放出する必要がある。したがって、バンドギャップが大きい物質は、光子によって電子が励起されにくく、そのまま光子が通過してしまう。

■多重量子井戸構造

バンドギャップの大きい薄膜材料で、バンドギャップの小さい nm オーダーの厚さの薄膜材料を挟んだ量子井戸層を複数持つ構造。材料の厚さを電子の波長程度に小さくして電子の自由度を制限する。電子がバンドギャップの小さい材料の層に閉じ込められ、電子の移動方向を束縛して、レーザ発振を容易にする。

■結晶欠陥

半導体の結晶中で、原子の配列にズレが生じたり、原子が抜け落ちた状態になること。



最短波長の紫外半導体レーザの発光

この件に関するお問い合わせ先

■報道関係の方 浜松ホトニクス株式会社 広報グループ 海野賢二
〒430-8587 浜松市中区砂山町325番地の6 日本生命浜松駅前ビル
TEL053-452-2141 FAX053-456-7888
時間外は、携帯電話090-4080-3501へお願いします

E-mail:k-unno@hq.hpj.co.jp

■一般の方 浜松ホトニクス株式会社 中央研究所 材料研究室 吉田治正
〒434-8601 浜松市浜北区平口5000
TEL053-586-7111 FAX053-585-0673
E-mail:harumasa@crl.hpj.co.jp