

# m面GaN基板の上に形成した青色半導体レーザー

津田 有三 太田 征孝 バッカロバプロ 伊藤 茂稔 蛭川 秀一 川口 佳伸  
 藤城 芳江 高平 宜幸 上田 吉裕 高倉 輝芳 湯浅 貴之  
 研究開発本部 基盤技術研究所

## 原論文

“Blue Laser Diodes Fabricated on *m*-Plane GaN Substrates”, *Applied Physics Express* 1 (2008) 011104-1 ~ 011104-3

我々は、MOCVD（有機金属気相成長）装置を用いてGaN（窒化ガリウム）基板のm面上に純青色半導体レーザーを作製し、463nmの波長でパルス発振<sup>注1</sup>させることに成功した。当時のm面GaN基板上のレーザーダイオード（LD）としては業界最長波長であった。その特性は閾値電流値69mA，スロープ効率0.91 W/Aであり，注入電流密度に伴う波長のブルーシフト<sup>\*1</sup>量は従来のc面GaN基板上のそれと比べて非常に小さいことが確認された。これらの結果は，GaN基板のm面が，InGaN（インジウム・ガリウム・ナイトライド）系長波長LDに対して有効であることを示した。

従来，半導体LDデバイスといえば，記録・再生のためのストレージ用途がその大半であった。ところが，ここ数年前からのモバイルプロジェクターという新たな商品カテゴリーの出現は、『超小型でありながら大画面で映像を楽しむことができ，しかも何処にでも持ち運びが可能』という新たなライフスタイルを提案しただけではなく，半導体LDデバイスの新たな付加価値の創出をもたらした。これは光ディスプレイ市場とでも言うべき新しい事業の幕開けを彷彿とさせる。この市場をさらに拡大させるためには，光の3原色である赤・緑・青の高出力・高効率な半導体LDが必須である。現在，青色と赤色のLD光源は，Blu-ray Disc用途（青紫色；波長405nm）で培われたInGaN系半導体材料とDVD用途のAlInGaP（アルミニウム・インジウム・ガリウム・リン）系材料がそれぞれ用いられ，より視感度を高めた高出力・高効率の半導体LDが商品化されている。他方，緑色光源の単体半導体LDは，幾つかある材料候補のうち青色LD光源と同じくInGaNが有望とされているものの，青紫色から青，青から緑色へと波長が長くなるにつれて発光効率が極端に低下することからまだ

実現には至っていない<sup>注2</sup>。

これはInGaN材料が抱える物性の問題である。通常InGaN系半導体LDは，極性面の1つであるGaN基板のc面上に形成される（図1）。そのため，レーザー光を発するInGaNからなる活性層の内部には，自発的な分極電界と，基板との間の格子歪みによって生じた数百万V/cmもの極めて大きなピエゾ電界とが，図1のc軸（LDの積層方向）に沿って発生する。これらの電界の和は内部電界と呼ばれ，波長が長くなればなるほど（青色から緑色に近づけば近づくほど）強く

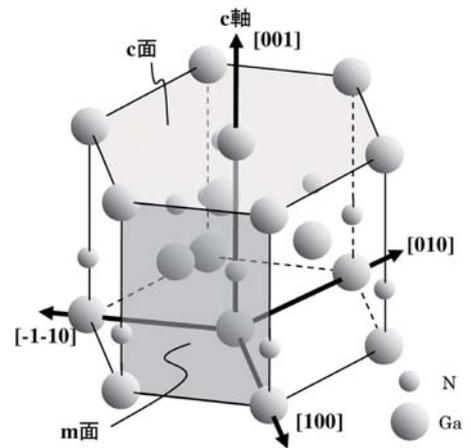


図1 GaNの結晶配向図

注1  
論文投稿後に，同一素子にて連続発振が確認された。

注2  
緑色LD（波長515nm）の連続発振が，2009年5月 *Appl. Phys. Express* 2 (2009) 062201 で報告された。

\*1 ブルーシフト  
波長が短くなること，あるいは，発光エネルギーが高エネルギー側にシフトすること。

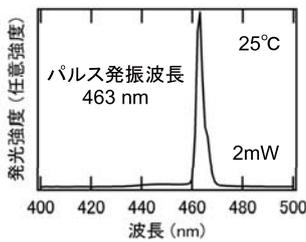


図2 m面基板上に形成された青色LDのパルス発振波長

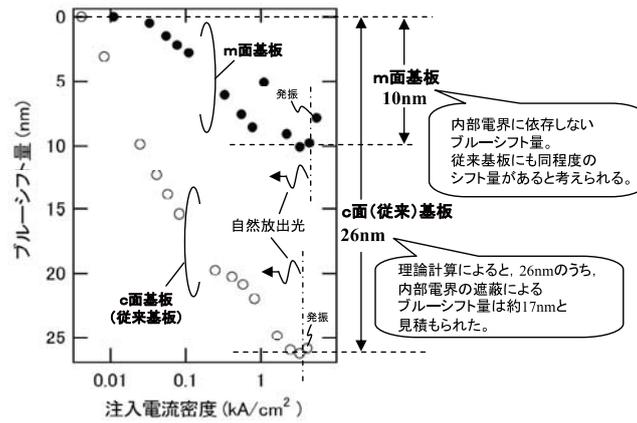


図3 m面とc面(従来)基板上に形成された青色LDの、自然放出光に対するブルーシフト量と注入電流密度との関係

なり、LDを含む発光デバイスに様々な悪影響を与える。

その最たるものが、前述の発光効率の低下と後述する波長のブルーシフト\*1化である。後者は、デバイスの注入電流密度が低い場合と高い場合とで波長が異なるという現象である。特にLD素子は、発振に至るまでに高い電流密度を必要とするため、この波長の開きが大きく、発振時には波長が大幅に短くなってしまふ。これらの問題を解決するための1つの方法は、極性を持たない結晶学的な面(非極性面という)、例えば図1のm面上に、LD素子を作製することである。但し、極性がないということはⅢ族(InやGa)とⅤ族(N)の原子を結晶性よく整然と配列させることが難しいことを意味し、積層欠陥の発生や長波長化に必要なIn原子の取り込み量の減少などといったデメリットもある。

我々は、非極性面の1つであるm面GaN基板上に、InGaNの成長条件の最適化と長波長LDに適した積層構造の改良を行うことで、緑色の波長帯(約525nm)には遠く及ばなかったものの、463nmの純青色波長帯域でパルス発振<sup>注1</sup>させることに成功した(図2)。当時のm面GaN基板上に作製されたInGaN系半導体LDとしては最も長い波長であった。しかも、そのLD特性は、非へき開共振器端面(c面; 前面反射率40%)でありながら、閾値電流値69mA(閾値

電流密度7.8kA/cm<sup>2</sup>)、スロープ効率0.91W/Aであった。これらの特性結果は、m面基板が長波長LDの発光効率の改善として有効であることを示した。

上記で述べたように、m面基板上に作製された活性層には、理論上、内部電界は発生しない。したがって、少なくともこの内部電界の影響によって波長のブルーシフト化は起きないはずである。そこで、我々は、同じ活性層層厚を有するLDを、m面基板と従来のc面基板の上にそれぞれ作製し、m面基板が波長のブルーシフト化の抑制にも有効であることを示す実験を行った。図3は青色LDの自然放出光に対するブルーシフト量と注入電流密度との関係を表している。m面基板を用いることによって波長のブルーシフト量が、従来のc面基板のそれと比べて半分以下にまで抑えられることがわかった。図3はまた、m面基板を用いてもブルーシフト量が完全にはなくなることを明示した。これは、InGaN中のIn組成揺らぎによって生じたpotential minimaなどが、キャリアのフィリングによって波長をブルーシフトさせたためだと考えられる。このIn組成の揺らぎは、非常に大きな非混和性を有するInGaN特有の問題であり、本来、基板の成長面には依存しないと考えられる。図3は、c面基板のブルーシフトの起源を考えるうえでも興味のあるデータといえる。