

GaN 青紫色半導体レーザーによる可変波長光源

Tunable Light Source with GaN based Violet Laser Diode

大森 雅樹、近藤 秀樹、森 直基、宮田忠明、松尾 英典、出島 範宏

日亜化学工業株式会社 横浜技術研究所

Nichia Corporation Yokohama Technology Center

Abstract

GaN based violet Laser Diode has been applying for the industrial market with unique high potential characters. It has possibility Replacing Gas lasers, Dye Lasers, SHG lasers and Solidstate Lasers and more. Diode based laser extreme small and low costs at the high volume range. In addition GaN Laser has high quality with long lifetime and has possibility to cover the wide wavelength range from 375 to 520nm. However, in general, diode based laser could only lase with Longitudinal Multi Mode. Therefore applicable application field should be limited and it was difficult to apply for the analysis.

Recently, Single Longitudinal Mode laser with GaN diode has also be accomplished with external cavity by Nichia Corporation. External cavity laser achieved at least much higher than 20dB SMSR. The feature of installing laser is that Laser on the front facet with AR coating to avoid chip mode lasing. In general, external cavity laser has been required precision of mechanical assembly and Retention Capability. Nichia has gotten rid of the issue with Intelligence Cavity and YAG Laser welding assembly technique. This laser has also been installed unique feature that the longitudinal mode could be maintained to Single Mode lasing with installing internal functional sensors in the tunable laser.

This tunable laser source could lock a particular wavelength optionally between 390 to 465nm wavelength range. As the results, researcher will have benefit own study and it will be generated new market with the laser in the near future.

1. はじめに

近年、窒化物半導体レーザーは産業分野の市場への適用が進んでいる。ガスレーザー、色素レーザー、固体レーザーおよび倍波技術による短波長レーザーへの置換えへの期待が大きい。窒化物半導体レーザーは高い品質と長寿命を有し、375nm～520nm の波長帯で実用域に達している。産業用途として様々な分析の需要がある中、スペクトラム単一縦モードが必要不可欠な用途も数多く見受けられる。波長選択の機能を半導体レーザー内部 (DFB-LD) もしくは外部に設ける必要があり、本報告では波長選択および波長調整が可能な、外部共振レーザー (ECLD) の開発動向について紹介する。

2. 外部共振レーザーモジュールの構造

外部共振器は半導体レーザーおよび波長選択部の二要素で構成される。波長選択後、活性層へフィードバックさせるため、コリメータレンズ等が適宜使用される。弊社にて開発した窒化物半導体レーザーを用いた外部共振レーザーの構成を Fig.1 に示す。本構成の特徴は、構成が単純な Littrow 型共振器を適用している。またビームポインティングを安定化させるため、透過型の回折格子を適用し、波長調整時のビームポインティングを抑制

している。

波長選択素子からのフィードバック光を効果的に波長選択へ寄与するためには、半導体レーザー自身による発振を十分に抑えておく必要がある。本可変波長レーザーモジュールにはレーザー出射フロント端面に AR コートを施している。

また研究開発用に最適化したモジュール外観を Fig.2 に示す。

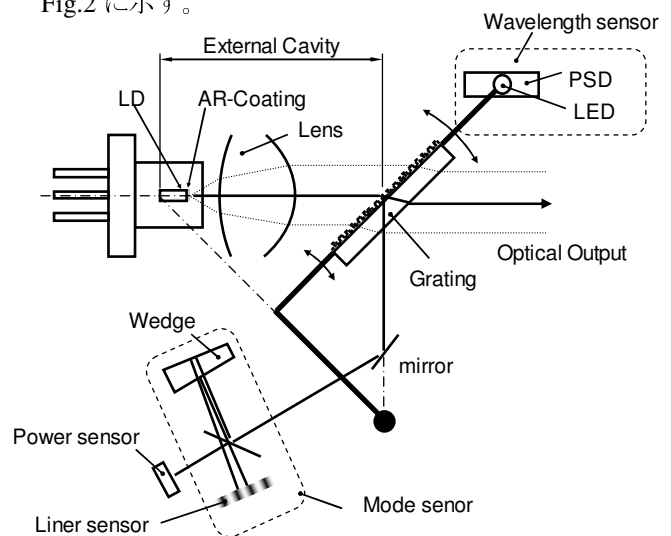


Fig.1 External Cavity Laser with Transmitting Grating



Fig.2 Tunable Light Source

3. 波長挿引特性の最適化

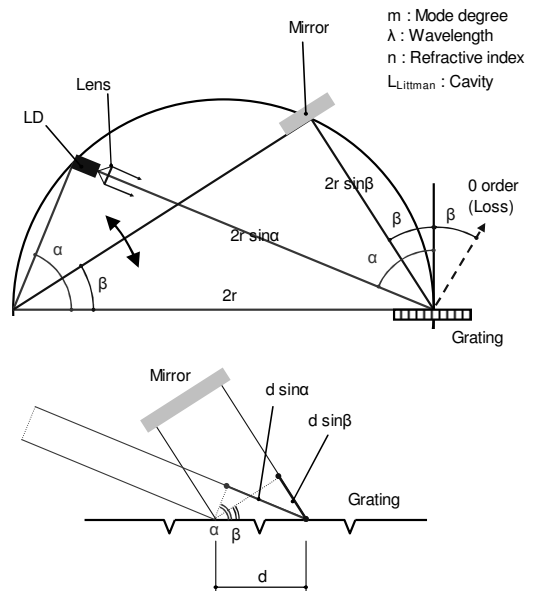
外部共振レーザによる波長挿引特性は、レーザの縦モードおよび活性層への帰還光の回折波長に依存する。回折波長に対し、縦モードの次数に変化を与えないことが望ましい。モードの次数に変化が発生する際にモードホップが発生する。

古くから、モードホップフリーが理想的に成立つ構造として Littman 型の外部共振器が知られている。Fig.3 にその構造を示す。GaN の発振波長帯が 400nm 帯と短く、共振器長が長くなる Littman 型は機械的構造上のトレランスが減少する。光通信で用いる InGaAsP ベースの 1550nm 帯レーザと比較して、約 1/3.9 の許容値となる。自由スペクトル領域 (FSR) は波長の二乗に比例するため、共振器長は約 1/15 となり光学的に同一の特性を維持することは事実上困難である。また、可動ミラーからの帰還光が回折格子に再入射し、その後発生する 0 次反射光分が光量のロスにつながるため、高出力化には不利な構造といえる。

一方、本可変波長レーザモジュールは、単純且つ高出力化を図るため有限波長幅でモードホップフリーとなる Littrow 配置を採用し最適化を図った。モードホップが発生する構造であるが、共振器長を短くすることが可能なため、比較的縦モードは安定化する。但し、回折格子の変位の与え方によりその特性は大きく変化する。

理想は共振器長および入射角度の同期をとり、変位を与えることによりモードホップフリーとなるが、この場合制御が複雑になる。単純な一軸回転調整に限定するとき、回転中心 (Pivot Point) を最適化することが重要となる。

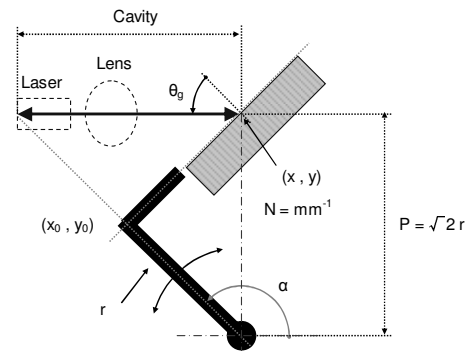
本可変波長レーザモジュールの Pivot Point 配置を Fig.4 に示す。Pivot Point は波長挿引に伴い、短/長波長化と短/長共振器化が同期する位置に設定する。本構造は入射角度を 45° となるように設計しており、Pivot Point と外部共振器の HR 側端面を結ぶ線は光軸に対し 45° を成す位置に最適値があり、モードホップを軽減可能である。*1



$$\frac{m\lambda}{2} = nL \quad (1), \quad L_{Littman} = 2r(\sin \alpha + \sin \beta) \quad (2)$$

$$n\lambda = d(\sin \alpha + \sin \beta) \quad (3), \quad \therefore \frac{4rn}{d} = \frac{2nL}{\lambda} \quad (4)$$

Fig.3 External Cavity laser of Littman configuration



$$M = \frac{2L}{\lambda_{lit}} \quad (5), \quad L = \text{Cavity} + \frac{\sqrt{2r} - \frac{r^2}{y_0}}{-\frac{x_0}{y_0}} \quad (6)$$

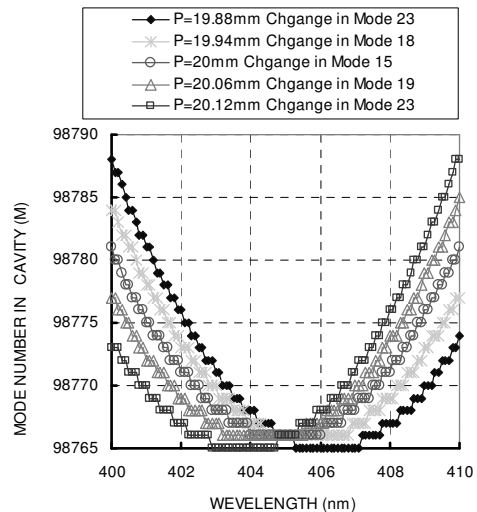


Fig.4 Pivot Point for External Cavity Laser

4. 外部共振補助機能およびセンサー

外部共振レーザは、一旦出射した光を回折格子にて分光し、任意の波長を選択した後レーザダイオードの活性層へ帰還させる必要がある。活性層の導波路は 1 μ m オーダのモードフィールド径であり、構成する光学部品的位置トレランスはサブミクロンオーダと小さく、調整精度と保持能力が必要となる。実用化に向け、本可変波長レーザモジュールには外部共振器の光軸を最適に保つ機能「Intelligence Cavity」*2を有する。Intelligence Cavity はモジュールに内蔵する各種センサーとグレーティングチルト調整機構の組合せにより、角度を最適位置へ調整することが可能であり、周囲温度変化および機械的外力に対して特性補償が可能である。本可変波長レーザモジュールにはレーザ発振の状態を監視するため、特徴的な以下のセンサーを有する。

4.1 モードセンサー

外部共振レーザの特徴的な特性である縦モードシングルを維持するため、本レーザモジュールにはモードセンサーが内蔵されている。ウェッジにより干渉縞を形成し、そのコントラスト比で縦モードの状態を数値的に評価することが可能である。Fig.5 に構造を示す。干渉縞の観察はリニアセンサーアレイを用いる。

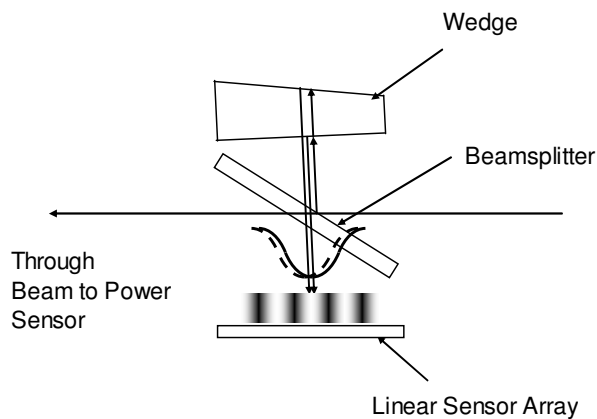


Fig.5 Mode Sensor

4.2 その他のセンサー

モードセンサー以外に、波長センサー、パワーセンサーおよび温度センサーを内蔵。波長センサーはグレーティング回転位置を PSD+LED の組合せで機械的に計測する。Fig.6 にその構造を示す。

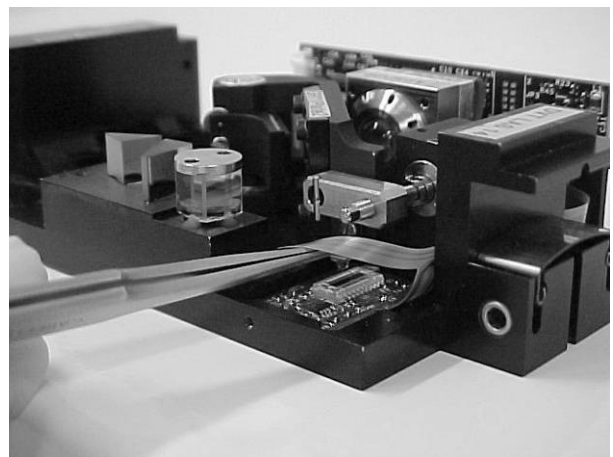


Fig.6 Wavelength Sensor

5. 外部共振特性

可変波長特性を Fig.7 に示す。可変波長幅は 405nm 帯の場合、4nm typ.となる。光出力は 405nm 帯にて 45mW を達成した。また Fig.8 に代表的なスペクトルを示す。30dB 程度の SMSR を確認した。

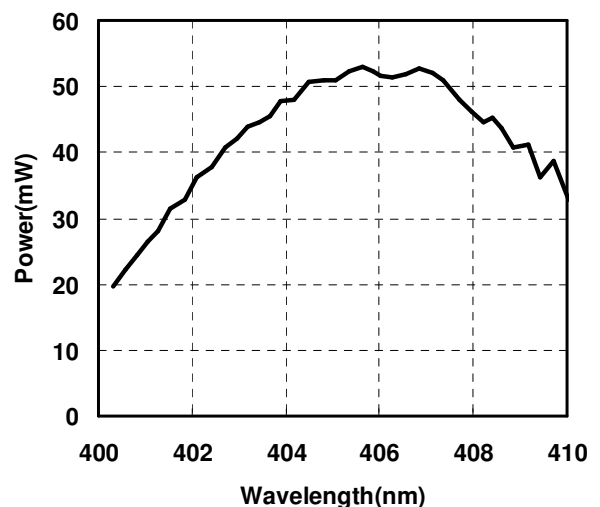
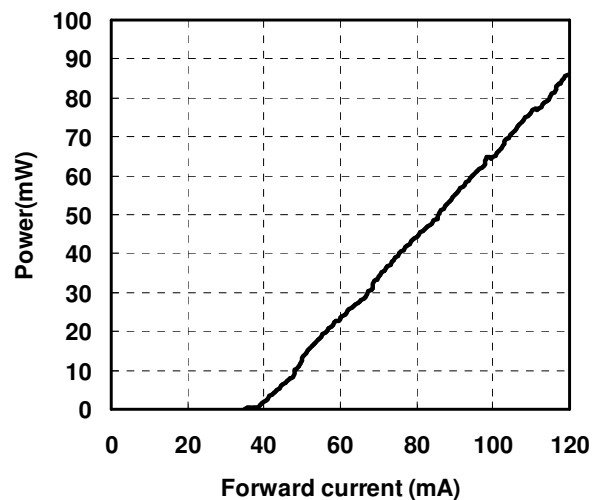


Fig.7 External Cavity Laser characteristics

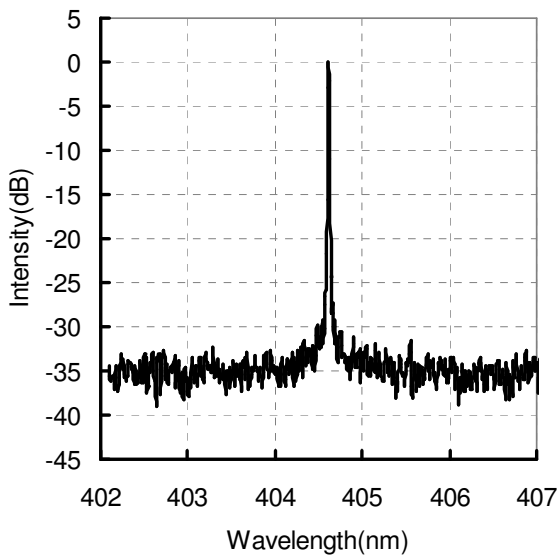


Fig.8 Typical Spectrum with Single Mode Lasing

6. 発振帯域

窒化物半導体レーザは 1995 年、世界初の 405nm のレーザ発振に始まり、現在では 375nm～520nm の波長域で実用域に達している。Fig.9 に外部共振により発振可能な波長帯域の分布を示す。未達成な領域も、技術的には可能である。

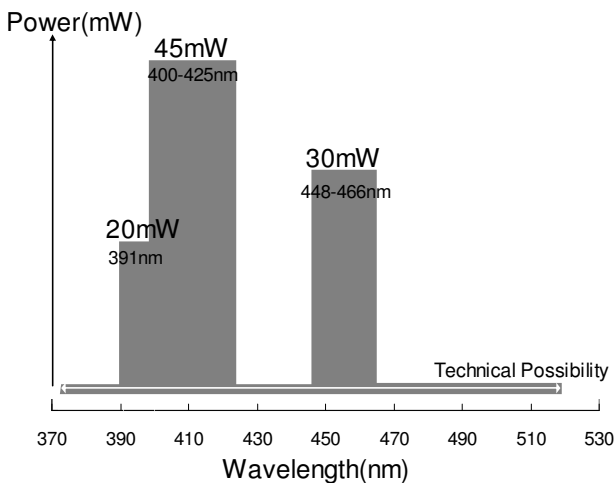


Fig.9 Distribution of the Laser Tunability and Power

7. 信頼性

Intelligence Cavity に加え、高信頼性が要求される LD コリメータには YAG レーザ溶接を適用し*3、共振器の強化を図っている。レーザ自身の信頼性も確認しており、MTTF63%で 10,000 時間を確認している。Fig.10 にそのライフ試験結果を示す。

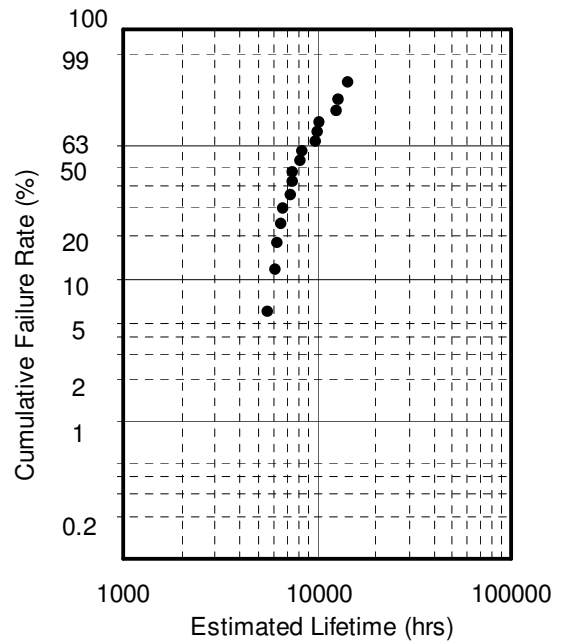


Fig.10 Life test results

8. 適用例

本可変波長レーザモジュールは、ホログラフィックデータストレージ光源用に開発されたが、400nm 帯での縦モードシングル発振および可変波長の特徴的特性であることから、SHG を用いたレーザ、色素レーザ等、大型かつ高価格な産業用レーザの革新的な置換えが可能となる。各種分析・計測用用途としての潜在需要がある。

9. まとめ

GaN、外部共振器および各種センサーの組合せとして、安定的な単一モード発振を可能とした可変波長レーザモジュールを確立した。波長は 391～425nm および 448～466nm の発振を確認している。

10. 謝辞

本可変波長レーザモジュールは InPhase Technology 社と日亜化学工業(株)との共同開発により技術確立しました。関係開発者に感謝致します。

11. 参考文献

- *1 Patent Application Publication: US 2007/0223554 A1 / InPhase Technologies,
- *2 特許出願番号: 2010-217455 レーザ調整方法、波長可変レーザモジュール及びレーザ調整プログラム / 日亜化学工業(株)
- *3 特許出願番号: 2009-129037 発光装置の製造方法 / 日亜化学工業(株)