

青色外部共振器型半導体レーザーを用いた共振器内ラマン分光装置の開発

市川 祐嗣¹, 朝日 一平¹, 山口 滋²

¹株式会社四国総合研究所 (〒761-0113 香川県高松市屋島西町 2109-8)

²東海大学 (〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 4-1-1)

Development of the Intra-cavity Raman Spectrometer using a Blue External Cavity Diode Laser

Yuji ICHIKAWA¹, Ippei ASAH¹, Shigeru YAMAGUCHI²

¹Shikoku Research Institute, 2109-8 Yashima Nishi Machi, Takamatsu, Kagawa 761-0192

²Tokai Univ., 4-1-1 Kitakaname, Hiratsuka-shi, Kanagawa 259-1292

Abstract: The Raman spectroscopic system using the intra-cavity beam of a blue external cavity diode laser was developed. The source LD's center wavelength is 416 nm in the blue region of the visible spectrum. In this study, a Fabry-Perot resonator composed of two high reflectance mirror is used as an external cavity and the intra-cavity beam is feedbacked to the AR coated facet of the LD. Laser oscillation at a single transverse mode (TEM₀₀) was confirmed. Raman spectra of N₂ and O₂ gas in the atmosphere were measured using a spectrometer and an ICCD as a detector. The detection limit was estimated to be lower than 100 ppm in the case of N₂ gas. With further development, there is a possibility that this system is used as a compact gas sensor.

Key Words: LD, Raman, ECDL, Gas sensor

1. はじめに

ラマン分光法は、研究分野等において物質の分析に利用される有効な手法の一つであるが、ラマン散乱の強度は極めて弱いため、強力なレーザー光源と高感度な検出器を必要とすることが多く、大型かつ高価な装置となる場合が多い。小型で比較的安価な半導体レーザー (LD) を励起光源とする高感度ラマン分光装置が開発できれば、各種センサや分析計として幅広い応用が期待できる。

本稿では、LD をシード光とする外部共振器型半導体レーザーを構築し、単一横モード (TEM₀₀) で発振できることを確認した。さらに、共振器内で増幅されたビームを利用して、大気中の酸素及び窒素のラマンスペクトルの計測を行った。

2. 装置構成

Fig.1 に本装置の光学配置及び装置構成を示す。

外部共振器型半導体レーザーとしては、グレーティングにより波長選択して LD にフィードバックする方式のものが一般的であるが、ここでは、より構造を簡略化でき、小型化に有利な構成として、ファブリ・ペロー型外部共振器からの漏れ光を直接 LD にフィードバックする方式を採用した。波長 600 nm 台の赤色 LD を使用した同様の外部共振器型半導体レーザーには、すでに実施例があるが、ラマン散乱光強度は波長の 4 乗に逆比例するため、検出感度向上を目的として、より短波長の青色 LD (日亜化学製 NDVA416T, 中心波長 416 nm)

を光源として使用した。LD は専用のマウントに取り付け、温度 20°C、電流 70 mA に保って動作させた。

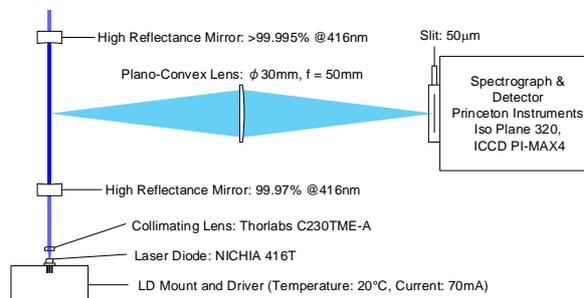


Fig.1. System configuration.

LD から出射したレーザーは、非球面レンズでコリメートされた後、2枚の凹面高反射ミラー (入射側反射率= 99.97%, 出射側反射率> 99.995%, 曲率半径 100 mm) から成る外部共振器内で共振し、出射ミラーを透過して発振する。LD の端面には AR コートが施されており、共振器からの漏れ光をフィードバックすることにより、外部共振器型半導体レーザー (ECDL) として動作する。

共振器内で発生した散乱光は、φ 30 mm, 焦点距離 50 mm の平凸レンズで集光し、分光器のスリットに結像させた。分光器内により多くの光を導くため、レーザーのビームを鉛直上向き方向に発振させ、スリットに沿った線状の像ができるようにした。スペクトルデータは、分光器に取り付けた ICCD カメラにより取得し解析を行った。

3. 光フィードバックとレーザ発振

外部共振器型半導体レーザの発振には、光学素子の適切なアライメントが必須となる。本稿では、共振器長を 80 mm、コリメートレンズと入射ミラーの距離を 50 mm としてアライメントを行い、単一横モード (TEM₀₀) で発振することを確認した。出射ビームのプロファイルを Fig.2 に、共振器内ビームのスペクトルを Fig.3 に示す。

外部共振器の出射ミラーから出てくるビームのパワーは 0.16 mW であったので、出射ミラーの反射率を 99.995 % とすると、共振器内でのビームパワーは 3.2 W となる。LD 単体での出力は 35 mW であったので、外部共振器により 100 倍近いパワーのビームが得られていると推定される。

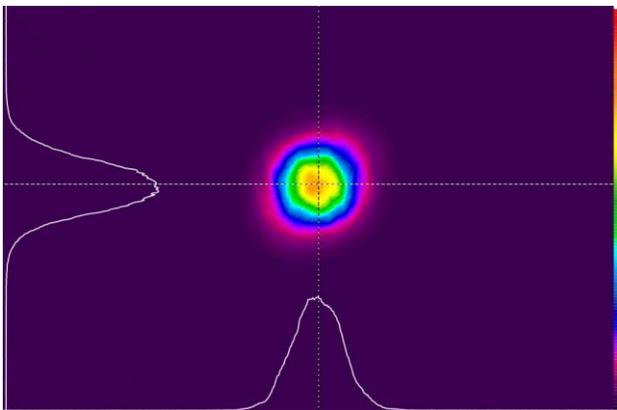


Fig.2. Transverse mode of the output beam (TEM₀₀).

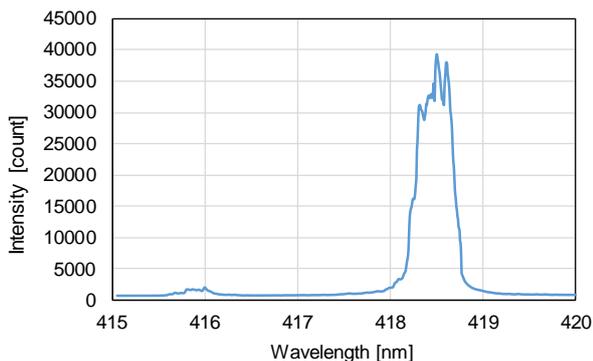


Fig.3. Spectrum of intra-cavity beam of the ECDL.

4. 窒素および酸素のラマンスペクトル計測

共振器内のビームを利用して、大気中の酸素及び窒素のラマンスペクトルの計測を行った。ラマンシフトの値から計算した励起波長 418.5 nm における酸素と窒素のラマン散乱波長を Table 1 に、計測結果を Fig.4 に示す。ICCD 検出器のゲインは 1 (最小)、積算時間は 95 ms とした。Fig.4 から分かるとおり、十分な S/N 比で窒素と酸素のラマン

スペクトルを計測することができた。仮に ICCD のゲインを最大 (100) とし、積算時間を 1 s とすれば、窒素ガス 100 ppm に相当する信号強度は約 800 カウントと試算でき、十分検出可能な値となる。よって、本装置により、数秒程度の計測時間で ppm オーダの各種ラマン活性ガスの計測が可能であると考えられる。

Table 1. Raman scattering wavelength of O₂ and N₂. (Excitation wavelength: 418.5 nm)

	O ₂	N ₂
Raman shift [cm ⁻¹]	1556	2331
Raman scattering wavelength [nm]	447.7	463.7

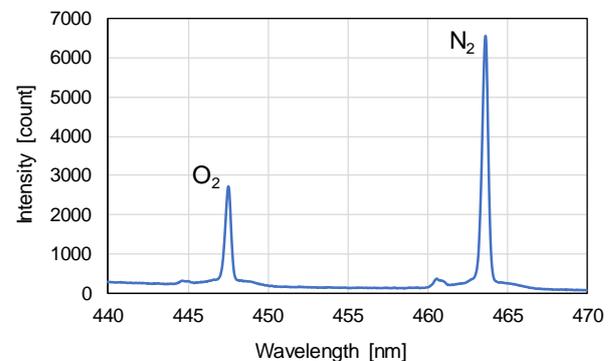


Fig.4. Raman spectra of O₂ and N₂ in the atmosphere.

5. まとめ

中心波長 416 nm の AR コート付き半導体レーザとファブリ・ペロー型共振器を使った外部共振器型半導体レーザを構築し、TEM₀₀モードでの発振を確認するとともに、共振器内のビームを使って大気中の窒素及び酸素のラマンスペクトル計測を行い、数秒程度の積算時間で ppm オーダのガス計測が可能であるとの見通しを得た。

今後は、大気成分以外の各種ガス計測に応用するためのガス導入機構の製作、ロックイン検波による更なる検出感度の向上等を行い、新たなガスセンシング技術として開発を進めていく予定である。

謝 辞

本研究の一部は、防衛装備庁が実施する安全保障技術研究推進制度の支援を受けたものである。

参考文献

- 1) J. Sato, K. Nemoto, S. Yamaguchi, M. Endo, K. Nanri, K. Tei, and T. Fujioka: Jpn. J. Appl. Phys. **47** (2008) 6478.