

青色外部共振器型半導体レーザーを用いた微量ガス分析装置の開発

市川 祐嗣¹, 横井 清人¹, 朝日 一平¹, 椎名 達雄², 山口 滋³

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

² 千葉大学 (〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33)

³ 東海大学 (〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 4-1-1)

Development of a Trace Gas Analyzer utilizing a Blue External Cavity Diode Laser

Yuji ICHIKAWA¹, Kiyohito YOKOI¹, Ippei ASAH¹, Tatsuo SHIINA², Shigeru YAMAGUCHI³

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

² Chiba University, 1-33 Yayoi, Inage, Chiba, Chiba 263-8522

³ Department of Physics, School of Science Tokai University, 4-1-1 Kitakaname, Hiratsuka-shi, Kanagawa 259-1292

Abstract: We are developing a portable gas analyzer utilizing a blue external cavity diode laser (ECDL). The ECDL is composed of an AR-coated laser diode (center wavelength: 416 nm), a collimating lens, and two plano-concave high reflectance mirrors. The two mirrors constitute a hollow external cavity called “power build-up cavity: PBC” and an intra-cavity power exceeding 100 W was demonstrated. We use the PBC as a light source for Raman spectroscopic analysis of trace gases. Hydrogen below 1 ppm and oxygen below 10 ppm were well detected by CERS (cavity enhanced Raman spectroscopy) using the blue ECDL.

Key Words: AR-LD, Blue, Raman, gas, PBC

1. 開発の背景と概要

微量ガス分析技術に対しては、排ガス分析、環境計測、品質管理、保安用途など多様なニーズがある。筆者らは、ラマン分光法を計測原理とするガス分析技術の開発に取り組んできた。ラマン分光によるガス分析には、混合ガスの成分を一度に分析できることや、適用可能なガス種が多いことなど大きな利点がある一方、ラマン散乱の強度が極めて弱いため、微量ガスの高感度分析を行うには技術的な制約が大きい。本研究では、出射端面に反射防止 (Anti-Reflection, AR) コートを施した青色レーザーダイオード (Laser Diode, LD) を、外部空洞共振器 (以下 Power Build-up Cavity, PBC と呼ぶ) と組み合わせることによって強力な定在波を発生させ、微量ガスの高感度分析を可能とする小型分析装置の開発を行う。これまでに、適切な光学配置を取ることにより、30 mW に満たない出力の LD を使って PBC 内部に最大で 100 W 程度の光強度が得られ、1 ppm 以下の微量ガス成分のラマン分光計測が可能であることを確認したので報告する。

2. 光源の開発

分析装置の光源となる外部共振器型半導体レーザー (External Cavity Diode Laser, ECDL) の構成を Fig.1 に示す。

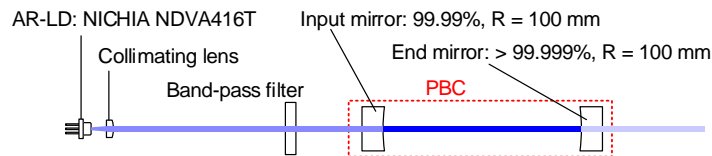


Fig.1. Configuration of the blue ECDL.

中心波長 416 nm で発光する AR コート付 LD (日亜化学社製 NDVA416T) と 2 枚の高反射ミラーからなるファブリ・ペロー型外部空洞共振器 (PBC) を組み合わせた ECDL を光源として使用する。この光源では、入射側ミラーの反射率を終端ミラーよりも若干低くすることにより、PBC 内部で発生する強力な定在波の一部が LD へフィードバックされ、LD の発振波長は外部共振器の共振波長に受動的にロックされる。一般にこういった高フィネスの共振器にレーザーを結合するためには、レーザー波長と共振器の共振波長を精密に合わせるため、電流変調によるレーザー波長の制御やピエゾ素子による共振器長の制御等が必要になるが、この構成では、LD 単体でのレーザー発振は AR コートによって抑制されており、外部共振器が発振周波数の基準として働くため、波長制御や電気的なフィードバックを行うことなく安定して共振状態を保つことが可能である。また、極めて少数の光学部品によって構成可能なため、小型分析装置の光源として非常に適している。

Fig.2 に、PBC 内部に発生した定在波を 90 度方向から分光計測した結果を示す。この場合、発振波長を制御するためコリメートレンズと入射ミラーの間にバンドパスフィルタ (中心波長 418.5 nm, FWHM 0.5 nm) を挿入している。PBC 内部に発生する定在波の強度は、終端ミラーを透過してくるビームの光強度を計測し、既知である終端ミラーの透過率から算出している。駆動電流 60 mA, LD 単体での光出力が 30 mW 程度に対して、バンドパスフィルタを挿入した状態で 30~80 W 程度、フィルタなしでは最大で 100 W 程度の光強度が得られることを確認している。

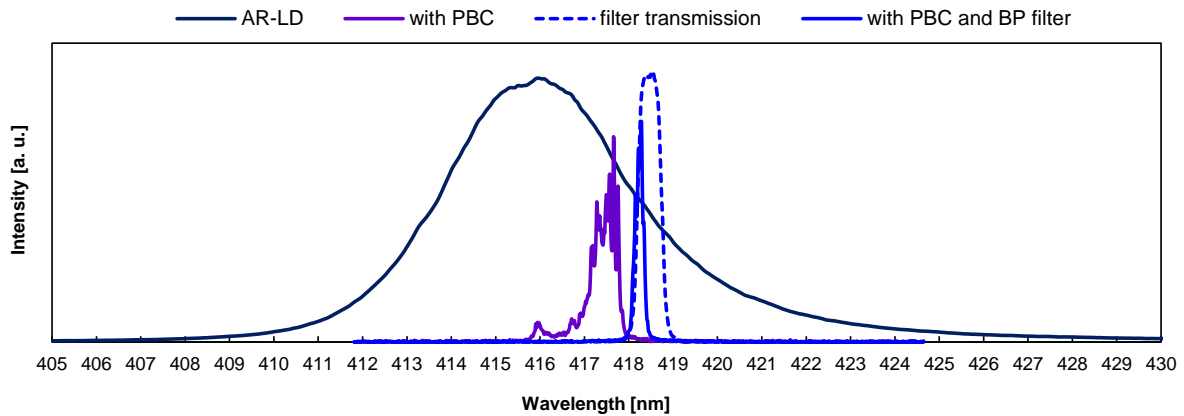


Fig.2. Observed spectra of the AR-LD and standing-waves inside the PBC.

3. ラマンスペクトル計測結果

PBC の内部に計測用のガスを導入できるガスセルを製作し、標準ガスを用いたラマンスペクトル計測試験を行った。スペクトル計測は、PBC 内部の定在波によって励起され発生するラマン散乱光を、光軸と 90 度をなす方向から集光レンズで ICCD カメラを検出器とするマルチチャンネル分光器のスリット上に結像させて行った。Fig.3 にアルゴンベース水素ガス及び水素ベース酸素ガスのラマンスペクトル計測結果を示す。

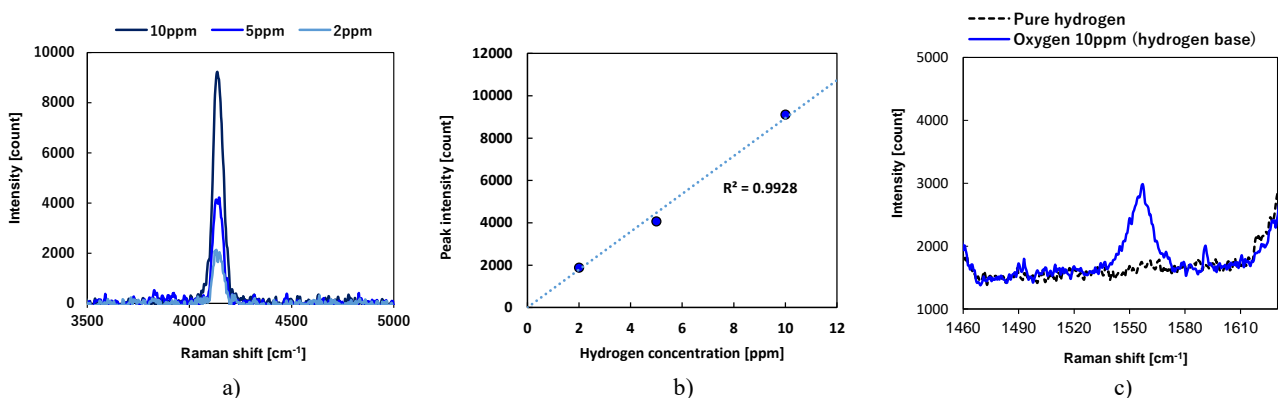


Fig.3. a) Raman spectra of hydrogen (2, 5, 10 ppm, argon base), b) dependence of Raman scattering intensity on the hydrogen concentration, c) Raman spectra of oxygen (10 ppm, hydrogen base).

水素のラマンスペクトルは純アルゴンの計測結果をバックグラウンドとして差し引いた結果である。水素濃度とラマンスペクトル強度の間には良好な線形の相関が確認できた。S/N を 3 とした水素検出限界は 0.75 ppm となった。酸素についても、純水素の場合と比較して明瞭な差異が確認できた。水素ガス中において ppm オーダの酸素の分析が可能であることを実証できた。

4. まとめと今後の展開

AR コート付 LD と PBC を組み合わせた小型で高強度の光源を使った共振器内ラマン分光法により、数 ppm 以下の微量ガスの分析が可能であることを実証した。今後は、2022 年度中に、酸素、窒素、水蒸気を対象として、1 分以内にそれぞれ 1 ppm 以下の分析が可能な分析装置のプロトタイプ（目標：装置重量 10 kg 以下）を製作し、機能検証試験を行う。また、2023 年度以降も、小型で高感度なガス分析計としての実用化を目指して製品化に向けた取り組みを継続していく予定である。

謝 辞

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP18011）の結果得られたものです。

参考文献

- 1) David A. King: Optics Letters **23**(10) (1998) 774.