

# ファブリ・ペロー型 IR-ECDL を用いた低濃度ガス分析装置の研究開発

横井 清人<sup>1</sup>, 市川 祐嗣<sup>1</sup>, 朝日 一平<sup>1</sup>, 椎名 達雄<sup>2</sup>, 山口 滋<sup>3</sup>

<sup>1</sup>株式会社四国総合研究所 (〒761-0192 香川県高松市屋島西町 2109 番地 8)

<sup>2</sup>国立大学法人千葉大学 (〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33)

<sup>3</sup>学校法人東海大学 (〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 4-1-1)

## Research and Development of a Low-Concentration Gas Analyzer using a Fabry-Perot Type Infrared External Cavity Diode Laser

Kiyohito YOKOI<sup>1</sup>, Yuji ICHIKAWA<sup>1</sup>, Ippei ASahi<sup>1</sup>, Tatsuo SHIINA<sup>2</sup>, and Shigeru YAMAGUCHI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Shikoku Research Institute, 2109-8 Yashima-nishimachi, Takamatsu, Kagawa 761-0192

<sup>2</sup>Chiba University, 1-33 Yayoi, Inage, Chiba, Chiba 263-8522

<sup>3</sup>Tokai University, 4-1-1 Kitakaname, Hiratsuka, Kanagawa 259-1292

**Abstract:** Using an external cavity diode laser (ECDL) equipped with a gain chip emitting in the 1.5  $\mu\text{m}$  band and a compact Fabry-Perot resonator, authors aim to measure constituents in ultra low concentration by absorption spectroscopy. By multiple reflections of light in the resonator, it is possible to achieve both a long optical path, which is effective for measuring trace impurities, and a compact measurement device. In this research, an IR-ECDL was fabricated and its oscillation was evaluated, and gas measurement by Cavity Ring-Down Spectroscopy (CRDS), a type of absorption spectroscopy, was performed. At the results, detection of 1 ppm ammonia gas can be achieved.

**Key Words:** External cavity, Laser diode, Cavity ring-down, Infrared absorption spectroscopy, Hydrogen

### 1. はじめに

筆者らは、低コストかつオンサイト計測が可能な可搬型の高感度ガス分析装置を開発している。レーザ吸収分光法は、ガスにレーザ光を照射し、透過してきた光を測定して、ガスの同定や定量を行う分析法である。測定対象ガスの吸収スペクトルに一致した振動数のレーザ光を照射して、透過してくる光の強度を観測することで、ガスの濃度を測定することができる。ここで、光がガス中を透過してくる光路長が長いほど、吸収によって生じる光強度の変化は大きくなり、より低濃度まで計測することが可能になる。

当開発では、半導体レーザ (LD: Laser Diode) とファブリ・ペロー型の共振器 (PBC: Power Build-up Cavity) から構成される外部共振器型半導体レーザ (ECDL: External Cavity Diode Laser) を使った赤外吸収分光式微量ガス分析装置の実現を目指している。LD は安価で小さいため、装置の低コスト化と小型化が図れる。さらに PBC と組み合わせることによって、長い光路長が得られ、吸収分光計測の感度を格段に高めることができる。レーザ吸収分光法の 1 つで、共振器を用いた計測法であるキャビティリングダウン分光法 (CRDS: Cavity Ring-Down Spectroscopy) は、ガスが入った共振器内部でレーザ光を共振させて、PBC から漏れ出る光の減衰の様子 (リングダウン波形) を検出器でモニタリングして、ガス計測を行う方法である。本稿では 1 ppm のアンモニアガスの検出を目的として、IR-ECDL を発振させ、PBC 内で増強された光の発振スペクトルの計測と CRDS によるガス計測の基礎試験を行ったので、報告する。

### 2. 光学配置と発振特性評価

本実験に用いた IR-ECDL の光学配置図を Fig.1 に示す。

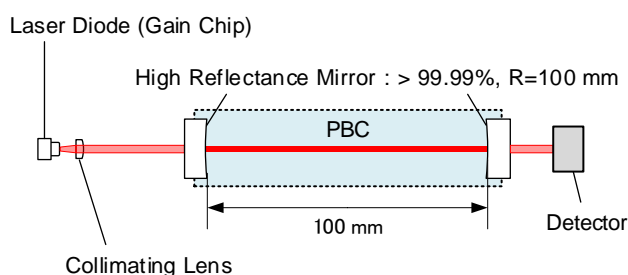


Fig.1 Configuration of IR-ECDL

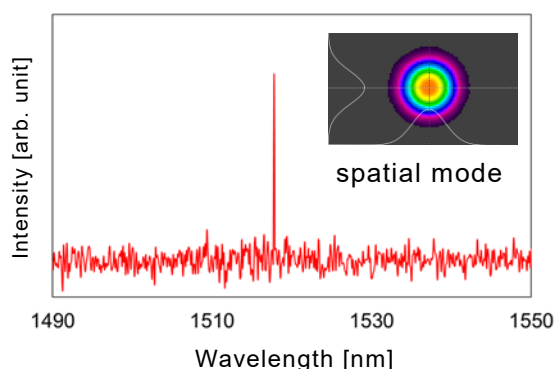


Fig.2 Oscillation spectrum of IR-ECDL and spatial mode of IR-ECDL

Fig.1 に示した IR-ECDL は、LD とビーム整形用のコリメートレンズおよび反射率 99.99%以上の高反射ミラー2枚が正対した PBC から成る。シード光源となる LD には利得チップを適用した。利得チップはチップ端面の出力側に反射防止コートが施されるとともに角度が付けられており、反射が大きく軽減されるような幾何学的技術が採用されている。0.01%以下と極めて低い反射率は、レーザ発振の抑制に役立っており、半値全幅がおおよそ 80 nm と広い波長帯域で発光する。利得チップから出力した光はコリメートレンズで整形後 PBC に結合し、PBC の内部に強力な定在波が発生し、それが入射側ミラーから漏れ出して利得チップと再結合する。このようにして ECDL が共振動作することにより、光学系全体が 1 つの発振器として動作する。このとき、PBC 内では高い共振器内光強度が得られており、等価的に長い実効光路長が獲得される。

Fig.2 は ECDL の発振スペクトル計測結果と横モードの計測結果である。今回使用した利得チップは発光帯域が 1360~1550 nm、半値全幅がおおよそ 80 nm であるのに対して、ECDL スペクトルは大幅に狭線幅化され、単一波長での発振を達成することができた。また横モードの計測結果から光の強度分布が TEM<sub>00</sub> と理想的なガウス分布をしていることが確認できた。

しかし、これまでの計測では、狭線化された ECDL スペクトルは同一の波長で安定せず、時間経過とともに数 nm 程度シフトすることも確認している。レーザ吸収分光法によるガス計測を行うためには、狭帯域かつ測定対象ガスの吸収スペクトルに一致した波長で発振する ECDL を達成する必要がある。

### 3. CRDS によるリングダウン波形の計測

Fig.3 は ECDL 発振波長をアンモニアの吸収線付近の 1512 nm に一致させて、CRDS によるリングダウン波形の計測を行った結果である。本試験では、光の吸収がないアルゴン 100%のガスとアルゴンガスをベースにした濃度 1 ppm のアンモニアガスについて、リングダウン波形を計測した。その結果、アルゴン 100%とアンモニア 1 ppm の波形には明確な差異が見られた。

Fig.3 の計測結果は、当開発の IR-ECDL が高感度ガス分析装置として機能する可能性を示している。今後、アンモニアの吸収線に共振器の共振波長を精確に合わせることによって、さらなる低濃度計測が可能になると考えられる。

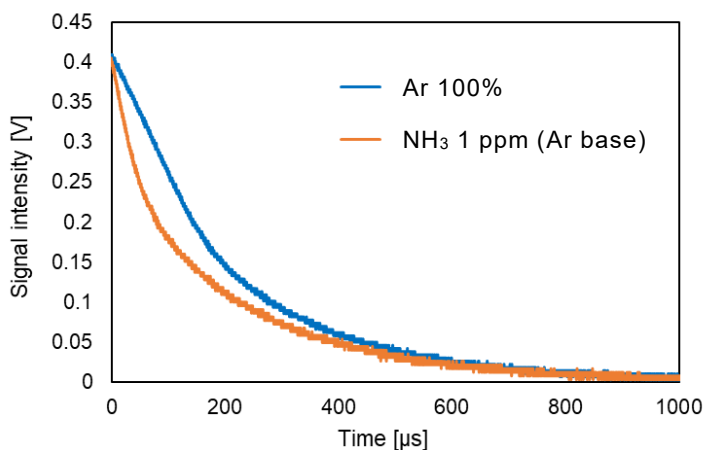


Fig.3 Ring-down waveform of CRDS

### 4. まとめと今後の展開

1 ppm のアンモニアガスの検出を目指して、利得チップとファブリ・ペロー共振器を組み合わせた ECDL を構築し、ECDL の共振動作に成功した。この時の ECDL 光を使って、CRDS によるアンモニアガス 1 ppm のリングダウン信号を計測したところ、アルゴンガスのみの計測と比べて、減衰曲線に明らかな違いが見られた。

今後はサブ ppm のオーダのガス濃度まで計測するために ECDL 発振スペクトルの精確な制御を行っていく。具体的には、バンドパスフィルタや回折格子の適用を検討している。そのうえで CRDS による ECDL 光の減衰の時定数を求め、極微量ガスの濃度を測定する。

### 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。