

高感度ガスセンサの実現に向けた赤外外部共振器型半導体レーザーの開発

横井 清人¹, 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 (〒761-0192 香川県高松市屋島西町 2109 番地 8)

²学校法人東海大学 (〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 4-1-1)

Development of an Infrared External Cavity Diode Laser for High Sensitive Gas Sensors

Kiyohito YOKOI¹, Yuji ICHIKAWA¹, Ipppei ASAH¹, and Shigeru YAMAGUCHI²

¹Shikoku Research Institute Inc., 2109-8 Yashima-nishimachi, Takamatsu, Kagawa 761-0192

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

Abstract: We aim to develop a high-sensitivity gas analyzer that can measure ultra-trace components at the level of sub-ppm by Infrared (IR) absorption spectroscopy using an IR External Cavity Diode Laser (IR-ECDL). In order to perform IR absorption measurement, it is necessary to construct an ECDL whose spectral line matches the optical absorption line of the target gas, and oscillation control is extremely important. In this study, we used a gain chip that emits light in the range of 1400 nm to 1550 nm as a light source. By adjusting the alignment of the ECDL, we were able to make the ECDL oscillate with an ideal Gaussian distribution (TEM₀₀), and achieved significant reduction of the line width in the oscillation spectra.

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

1. はじめに

燃料電池自動車 (FCV) に供給する商用水素は、ISO 水素品質規格によって厳しい純度規格が定められている。水素ガス中に含まれる不純物は成分により燃料電池の性能を低下させることが知られており、10種類以上の対象不純物毎に定められた最大許容濃度以下にすることが求められている (ISO14687-2)。Table.1 に水素品質管理において不純物とされている成分のうち、ppm オーダ以下の物質の代表例を示す。水素の品質を維持管理するためには、高精度な濃度分析が各成分について要求される。現行では、分析機関によってサンプリングされた水素ガスに対して、複数の装置を用いた成分分析を行う必要があり、委託分析費が高額になることや分析に時間を要することが課題となっている。

Table.1 Examples of Impurities in hydrogen gas specified by ISO 14687-2

Impurities	Molecular formula, etc.	Upper limit [ppm]
Carbon monoxide	CO	0.2
Formaldehyde	HCHO	0.2
Formic acid	HCOOH	0.2
Ammonia	NH ₃	0.1
Total halogenated compounds	Ion conversion	0.05
Total Sulphur compounds	H ₂ S conversion	0.004

筆者らは、半導体レーザー (LD : Laser Diode) と小型共振器 (PBC : Power Build-up Cavity) を組み合わせた外部共振器型半導体レーザー (ECDL : External Cavity Diode Laser) を用いたガス分析装置を開発している。LD は一般的な分光計測で使用される固体レーザーと比べて出力は小さいが小型・安価であり分析装置の小型・軽量化とコストダウンに寄与する。高反射率のミラー対で構成された PBC 内では、検出感度を向上させるために有用な長光路化を実現することができる。ECDL を用いた計測装置により、低コストで迅速な水素分析が実現する。

本稿では、赤外域の外部共振器型半導体レーザー (IR-ECDL) を用いた極微量成分 (サブ ppm レベル) の吸収分光計測を可能にする高感度ガス分析装置の開発を目指して、IR-ECDL の構築及び発振の確認と PBC 内光特性の評価を行ったので報告する。

2. 光学系構成

Fig.1 は IR-ECDL を用いた光学系構成である。ECDL は、赤外域の LD とコリメートレンズ及び正対する 2 枚の高反射ミラーにより構成される。LD は出力側の劈開面に AR コートを施すことにより、発振機能が低下し、広帯域で発光に近い動作を行う。Fig.2 に本 ECDL に用いた LD の利得帯域を示す。この LD は半値幅約 50 nm の領域にわたり、広帯域の赤外光を出力する。LD から放射したビームは、コリメートレンズにより平行光に整形した後、PBC に結合する。高反射ミラーが正対した PBC と AR コート付きの LD が適切に結合

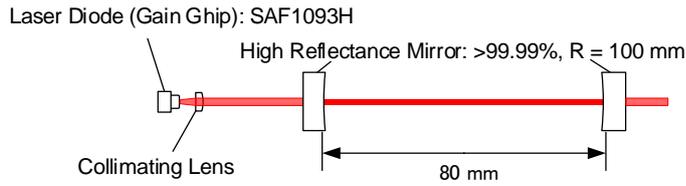


Fig.1 Optical configuration of IR-ECDL

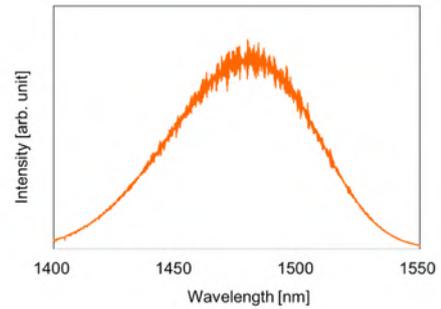


Fig.2 Gain band of AR coated IR-LD

すると、ECDLは受動的に単一波長で共振動作してPBC内で高い共振器内光強度が得られ、同時に等価的に極めて長い光路長が得られる。また、PBCからのフィードバック光は再びLDに結合し、これによって光学系全体が一つの発振器として動作する。この時、PBC内でビルドアップされる光は、LD単体の場合と比較して、狭線幅且つ理想的なガウスモードを示し、より良好な発振特性を得ることができる。このように、ファブリペロー型共振器を用いたECDLは、シンプルな構成でありながら、高感度計測に必要な多くの条件を充足することができる。

3. 光学系構成の最適化と計測結果

赤外波長域におけるガスの分光計測を行うためには、狭帯域で、対象ガスの光の吸収線と一致した波長で発振するECDLを構築する必要がある。その発振制御が極めて重要である。したがってここでは、発振制御の前段階として、Fig.1に示したIR-ECDLを発振させ、PBC内においてビルドアップされた光の縦モード及び横モードを観測することで、その発振特性を評価した。

ECDLの発振は、コリメートレンズの選定、高反射ミラーの曲率の設定、及びそれらの位置関係に依存し、良好な発振特性を得るためには、アライメントの精度が重要である。Fig.3にIR-ECDLの縦モード計測結果を、Fig.4に同横モードの計測結果をそれぞれ示す。

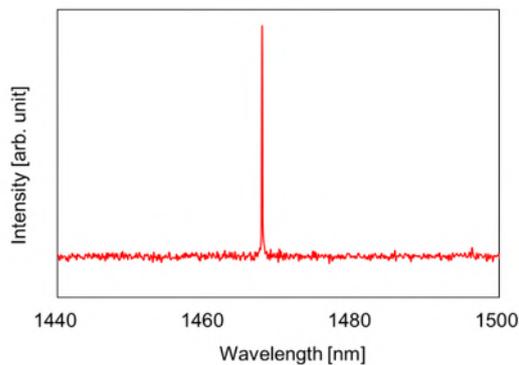


Fig.3 Oscillation spectrum of IR-ECDL

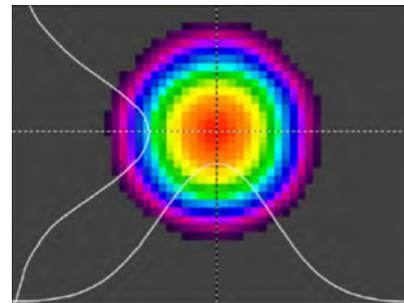


Fig.4 Spatial mode of IR-ECDL

Fig.3に示すように、ECDLとして動作させることによって、Fig.2に示したLD単体での出力に比べ、大幅な狭線幅化が可能である。この場合、発振の中心波長は1467.78 nm、発振線幅は 0.55 cm^{-1} であった。また、Fig.4に示すように、横モードは単峰のガウスモード(TEM₀₀)で動作しており、通常楕円形であるLD単体での発振と比較して、より理想的な空間モードを得ることができた。

4. まとめと今後の展開

IR-ECDLを構築し、その発振に成功すると共に、狭線幅、TEM₀₀モードでの発振を実験的に検証した。今後は、共振器長の調整によりECDLの発振波長を計測対象ガスの吸収スペクトルに合わせるための制御を行うと共に、微量ガスの高感度分析を目指してECDL発振の安定化を進める。また、キャビティリングダウン分光法(CRDS: Cavity Ring-Down Spectroscopy)でリングダウンタイムを計測し、PBCの長光路化の評価と実ガスを使った計測実験を行う予定である。

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。