

差周波発生 3 μm 帯光源を用いた波長変調分光法によるホルムアルデヒドセンシング

Wavelength modulation spectroscopy of Formaldehyde using 3 μm DFG laser

竹宮 勇太郎¹⁾、林 書都¹⁾、松谷 雄平¹⁾、青木 輝世²⁾、加藤 明³⁾、山口 滋²⁾、遊部 雅生¹⁾

Y. Takemiya, S. Rin, Y. Matsuya, T. Aoki, S. Yamaguchi and M. Asobe

東海大学 ¹⁾工学部 電気電子工学科、²⁾理学部 物理学科、³⁾創造科学技術研究機構

Tokai univ. ¹⁾Dep.of Electrical and Electronics Engineering, ²⁾ Dep. of Physics,

³⁾ Institute of Innovative Science and Technology

Abstract: Hydro carbon gases such as Formaldehyde exhibits strong absorption in 3 μm wavelength range. Recent advance of wavelength conversion technology enables us to generate mid-infrared light utilizing difference frequency generation (DFG) of laser diodes. This allows us to detect various environmental gases with high sensitivity in real time scale. In this paper, we report sensing technology for Formaldehyde using 3 μm DFG laser.

化学物質過敏症、特にシックハウス症候群は現代病として大きな社会問題となっているが、発症メカニズムなど、その詳細については不明な点が多い。我々はシックハウス症候群の原因物質の1つであるホルムアルデヒドの空气中濃度をリアルタイム計測する技術を開発し、生体運動計測を組み合わせることで、環境の生体に与える影響を解析することを目標としている。ホルムアルデヒド等の炭化水素分子は3 μm において、基本振動による最も強い吸収を示すことが知られている。したがって3 μm 帯のレーザを用いることで、ガス濃度の高感度かつリアルタイム検出が期待できる。本発表では我々が開発を進めている差周波発生3 μm 帯光源を用いた波長変調分光法によるホルムアルデヒドセンサについて報告する。

Figure 1 に実験系の概略を示す。使用した光源は波長1.55 μm と1.06 μm のDFB-LD、および周期分極反転LiNbO₃(PPLN)導波路から構成されており、PPLN導波路中での差周波発生(DFG)により3 μm 帯の中赤外光出力が得られる[1]。PPLN導波路はウエハ接合法で作製されており、導波路作製時に不純物の拡散等を用いていないために、中赤外波長域において不要な吸収を生じることがなく、高い波長変換効率を得ることが出来る[2]。光源の波長は空気中のH₂OやCO₂等の吸収の影響を軽減することを考慮し、2861.7cm⁻¹におけるホルムアルデヒドの吸収ピークに同調するように、各DFB-LDの駆動電流、動作温度に対する出力波長を波長計を用いて評価した。さらに所望の波長において最大の出力が得られるようにPPLN導波路の温度を設定した。光源の出力からGeフィルタを用いて1.55 μm と1.06 μm の励起光、信号光を取り除いたのちに、3 μm のアイドラ光を光路長16mのマルチパスセル、および光路長5cmのリファレンス用ガスセルに入射し、透過光をそれぞれInSb PDで検出した。リファレンスセルにはホルマリンの粉末を封入し、100Torrまで減圧したものをを用いた。波長変調分光法による吸収ピークの観測のため、1.06 μm の励起光の駆動電流を三角波で掃引しつつ、駆動電流にsin波を重畳して変調を施した。各InSb PDからの出力はロックインアンプで検出され、sin波の2倍波をロックインアンプのリファレンスとして用いることにより、吸収波形の2階微分を観測した。

Figure 2 に HITRAN データベースを元に計算したホルムアルデヒドの吸収スペクトルと、1.06 μm の励起光の駆動電流を掃引し、リファレンスセルを用いて実測した吸収スペクトルを示す。電流掃引の分解能が高くないために、各吸収ピークの細部を観測できていないものの、特徴的なピークの位置関係には高い相関が見られ、計算結果と実測値の間には2.4cm⁻¹程度の相違があることが分かった。これは

各 DFB-LD の波長の評価時の誤差が原因であると考えられる。このデータを元に、所望の吸収ピークである 2861.7cm^{-1} にレーザ波長を同調する条件を決定した。Figure 3 に波長変調分光を用いてリファレンスガスの吸収ピークを測定した結果を、Figure 4 には波長掃引信号に重畳する sin 波の振幅に対する微分波形の強度とピーク幅の変化をそれぞれ示す。sin 波の振幅の増大に伴って微分波形の強度は増大するものの、飽和傾向にあり、ピーク幅は振幅の増大に対してほぼ単調増加傾向であった。そこで sin 波の振幅を微分波形の強度の飽和が起きない程度に設定した。この波長 sin 波による光源の波数の変調の振幅をレーザの駆動電源の周波数特性を考慮しないで推定すると、 0.08cm^{-1} 程度となり、吸収線幅と同程度のオーダーの振幅において十分な微分波形強度が得られていることが確認できた。現在、マルチパスセルを用いた微量ガスの検出に向けて研究を進めており、さらに定量性の高い診断指標である動物の眼球運動等の生体運動計測と組み合わせにより、環境が生体に与える影響の詳細な解析に役立てたいと考えている。

参考文献

[1] O. Tadanaga, Y. Nishida, T. Yanagawa, H. Miyazawa, K. Magari, T. Umeki, K. Yoshino, M. Asobe, and H. Suzuki, "Diode-laser based 3 mW DFG at $3.4\ \mu\text{m}$ from wavelength conversion module using direct-bonded QPM-LN ridge waveguide" *Electron. Lett.* 42, 988(2006)

[2] O. Tadanaga, T. Yanagawa, Y. Nishida, H. Miyazawa, K. Magari, M. Asobe, and H. Suzuki "Efficient $3\text{-}\mu\text{m}$ difference frequency generation using direct-bonded quasi-phase-matched LiNbO₃ ridge waveguides" *Appl. Phys. Lett.* 88, 061101 (2006)

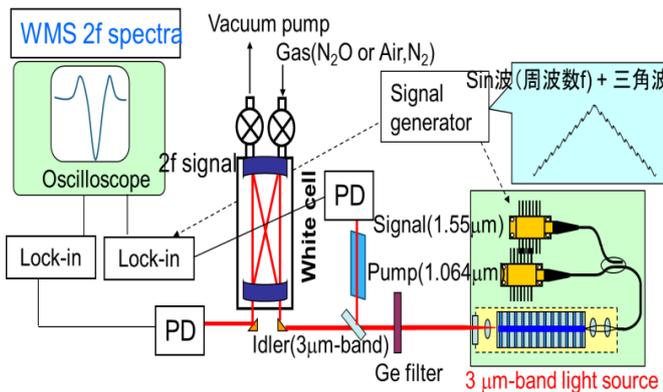


Fig.1 Experimental setup

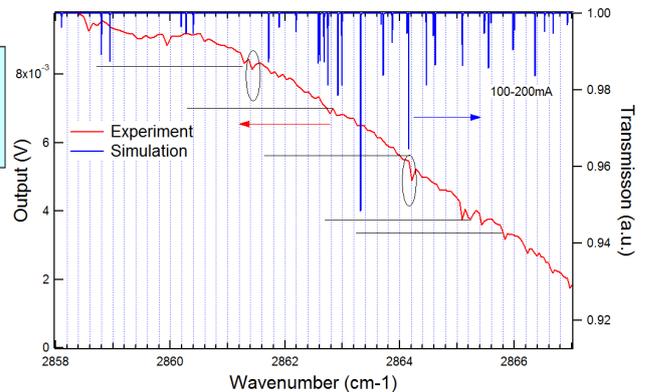


Fig. 2 Absorption spectra

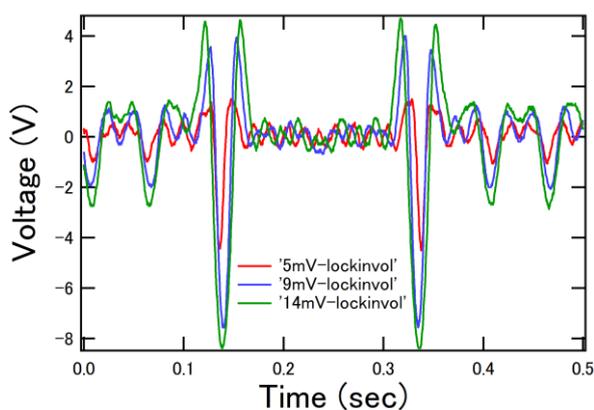


Fig. 3 WMS spectra

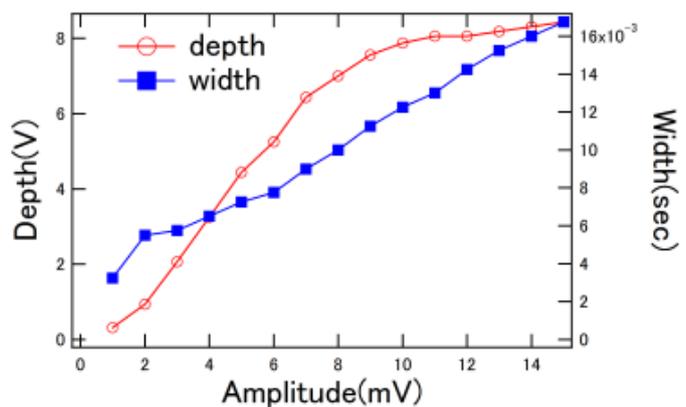


Fig. 4 Peak depth and width vs. amplitude