

杉本伸夫、湊 淳、*劉 兆岩

Nobuo Sugimoto, Atsushi Minato, *Zhaoyan Liu

国立環境研究所、*国立環境研共同研究員（ハルビン工業大学）

National Institute for Environmental Studies

*Visiting Scientist (Harbin Institute of Technology)

Abstract

A heterodyne spectroscopy method for laser long-path absorption measurements using broadband pulse laser is discussed.

レーザー長光路吸収法は大気微量分子の遠隔計測手法として最も高感度が期待される技術である。実大気中のレーザー長光路吸収測定では、大気ゆらぎなどの影響をうけにくい分光測定手法が必要であり、参照用レーザーを用いる差分吸収法などが用いられる。本講演では、ブロードバンドのレーザーを光源として、ヘテロダイン分光法によりスペクトルを測定する方法について報告する。ブロードバンドレーザーとしては適当なスペクトル広がりを持つマルチモードレーザーやモードロックレーザーから切り出したパルスなどの利用が考えられるが、ここでは、フーリエ変換リミットのスペクトル広がりを持つ短パルスレーザーを考えることにする。ここで考察する手法ではこのスペクトル広がりの中にある吸収線を測定する。

Fig. 1に測定手法の概念を示す。レーザー光はふたつに分けられ、一方は検出器(a)でヘテロダイン検波によりビート信号が観測される。もう一方は、試料を透過した後、検出器(b)でヘテロダインビート信号が観測される。ビート信号は波形そのものを高速の波形記録装置で記録し、これをスペクトル解析することによって波長成分を求める。Fig. 2に検出器(a)と(b)で得られるビート信号波形のシミュレーション結果を示す。試料はFig. 3に示す分散を持つものと仮定した。試料を透過した光は分散と吸収によって波形が変化する。試料を透過する前後のビート信号のスペクトルはFig. 4のようになり、測定ではこの比より試料の透過率を求める。ヘテロダイン検波を用いることによって各波長成分の吸収と位相の変化の両方の情報が得られるので、例えば実大気中の測定でパルスが大気を伝播する際に受ける分散の影響などはスペクトルには表れない。

この手法を大気中微量分子の測定に応用するためには、かなり広帯域の検出器および信号処理システムが必要である。大気圧中の分子の吸収線幅は数GHzであるので、これよりも広い信号帯域が必要である。これは技術的に簡単ではないが、現在得られる検出器や波形記録装置等を用いても実現可能である。この手法の利点は、原理的には単パルスでスペクトルが得られる点にある。従って、大気効果を補正するための参照光を必要としない。スペクトルが得られる利点は大きく、スペクトルの情報を用いて大気微量分子の高度分布を求めることも可能である。従って、例えば航空機や衛星から地表面反射を利用して長光路吸収測定を行うための分光手法として有望である。また、この手法はエアロゾル散乱を用いた空間分布の測定にも利用できる。ブロードバンドであるためヘテロダイン検波としては雑音は大きくなるが、それでも十分に高感度が得られるものと期待される。

ところで、ここに述べた手法はたいへん面白い物理の例題になるように思われる。フーリエ変換リミットのパルスを考えて、全てのフォトンが広いスペクトル幅を持っているはずである。試料

を透過した光子のうち試料で吸収された光子は検出することができない。検出されるのは吸収されなかった光子である。しかし、吸収されなかった光子は吸収の情報を含んでいるのだろうか？ という問題である。

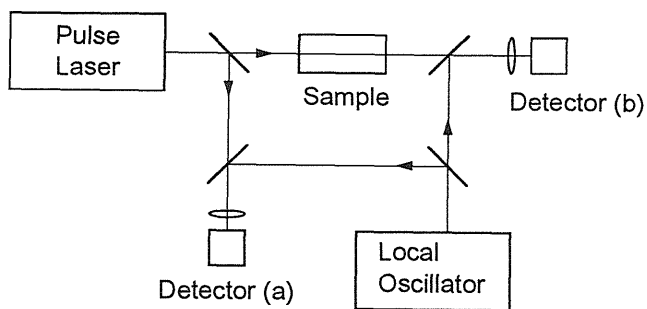


Fig.1 Conception of the measurement.

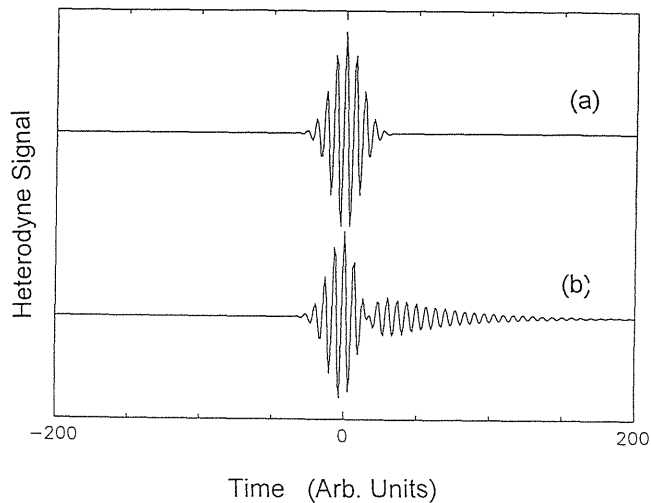


Fig.2 Simulated heterodyne beat signals.

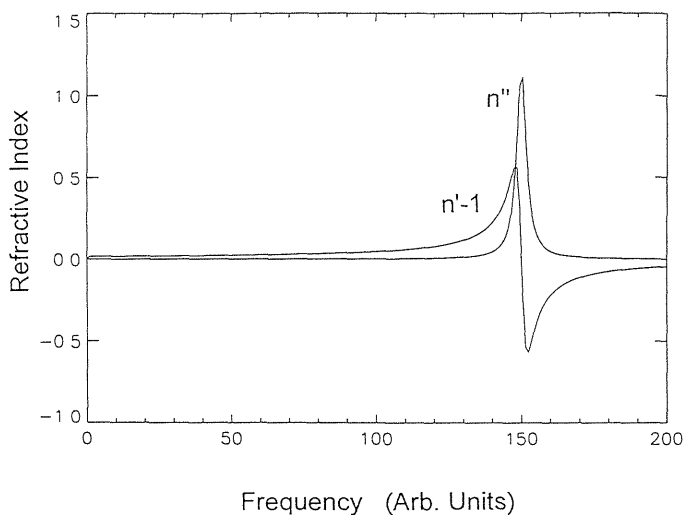


Fig.3 Dispersion of the sample used in the simulation.

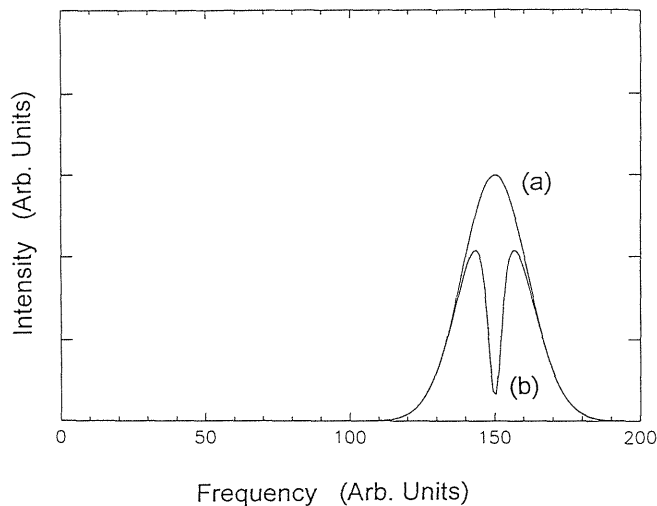


Fig.4 Power spectrum of the heterodyne signals.