

1.5 μm 帯 2 波長光源から発生するテラヘルツ波の可変周波数制御

Precisely tunable cw terahertz wave generation by photomixing of two 1.5 μm lasers

○駒井翔伍、柴田泰邦

○Shogo Komai and Yasukuni Shibata

首都大学東京

Tokyo Metropolitan University

Abstract:

Terahertz waves are electromagnetic waves located between infrared waves and radio waves. Therefore, it is easy to perform sensing behind these materials and others that are transparent to terahertz radiation (such as clothing, paper, plastic, or bricks). We propose that a new terahertz wave sensor using a water vapor absorption spectrum for measuring internal temperature and pressure of the target that does not transmit light. One of the established methods of generating tunable cw terahertz light is optical heterodyning using two DFB lasers. The terahertz frequency resolution is limited by the frequency stability of laser sources. Then, we propose a tunable cw terahertz source, which combines photomixing of 1.5 μm DFB lasers and precise interferometric frequency control.

1. はじめに

近年、様々な分野でテラヘルツ波という電磁波が注目されている。テラヘルツ波とは光のもつ直進性と電波のもつ透過性を兼ね備えた電磁波であり、様々な物質の固有スペクトルがテラヘルツ領域に存在することもわかっている。この透過性と物質固有のスペクトルが得られることを利用して、化学分析や非破壊検査に応用されつつある。空気中の温度や圧力を測定するセンサーとして、近赤外線のレーザー光を用いて水蒸気吸収スペクトルの温度依存性や気圧依存性を利用する方法があるが、我々の研究ではテラヘルツ波を利用して、光が使えない不透明容器内の温度や圧力を測定する、新たな非接触温度センサーの開発を目標としている。テラヘルツ波の光源として 2 波長の赤外光源の差周波からテラヘルツ波を生成する方法があり、本研究では、赤外レーザーの制御によってテラヘルツ波の周波数を精密に制御する手法を新たに提案する。

2. 温度および気圧の測定原理

水蒸気の吸収スペクトルは 0.5~1.0 THz に複数存在することが知られているが、テラヘルツ帯水蒸気吸収スペクトルを計算するための各パラメータは未知のことが多い。そこで、テラヘルツ帯の吸収スペクトルに Voigt 関数が適用可能と仮定し、文献 2 をもとに計算に必要な各パラメータを推定し、水蒸気吸収スペクトルを再現した。温度、気圧を変えて水蒸気スペクトルを計算したところ、気圧変化に鈍感

な周波数(気圧不動点)が存在することがわかった。

よって、吸収ピークおよび気圧不動点の透過率から温度および気圧を求めることが可能である。

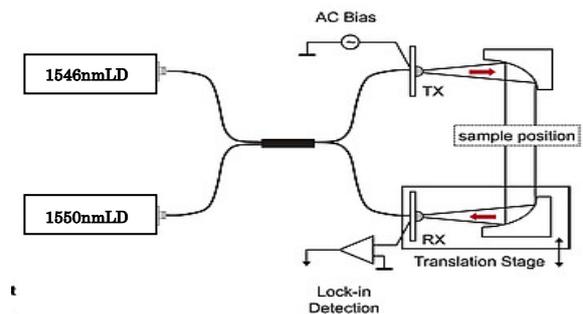


Fig. 1 Setup of the cw terahertz sensing system.

現在、Fig. 1 のテラヘルツ波発生装置を用いてテラヘルツ帯水蒸気吸収スペクトルの実測を行っている。波長 1546nm (194.05 THz) と 1550nm (193.55 THz) の DFB レーザ光をミキシングし、その差周波、つまりテラヘルツ波をテラヘルツアンテナから送信する。レーザーの温度・電流制御により 0.2~0.9 THz までのテラヘルツ波を発振可能である。しかし、レーザーの温度・電流制御だけでは水蒸気スペクトルから温度・気圧を測定するために必要なテラヘルツ波の周波数精度が得られていない。2 つのレーザー光源のうち 1 つの光をエタロンフィルタに透過し、レーザー周波数をスキャンしながら透過ピークに相当する周波数のみ測定することで、テラヘルツ周波数を分解能 0.5 GHz (0.005 THz) で制御する手法が提案されているが、得られるスペクトルデータは分解能の粗い

離散的なものである。そこで本研究では、エタロン透過特性の傾き部分だけを利用し、連続的にスキャンする、分解能の高いテラヘルツ周波数制御を行う方法を新たに提案する。

3. エタロンを用いたテラヘルツ波制御

Fig.2 にエタロンフィルタを用いたテラヘルツ波の可変周波数制御システムの概要を示す。差周波を正確に決定するため、Fig.3 に示すように 1550nm レーザ光源をエタロンの透過のピーク周波数に固定し、1546nm レーザ光源の周波数をエタロンフィルタの傾き部分でスキャンする。この際、同一条件のエタロンを透過するように、2つのレーザ光を光ファイバスイッチで高速で切り替えながらエタロンに入射し、2波長の出力の比を取得する。この比は2つの光源の差周波、つまりテラヘルツ周波数に依存する。各光源にエタロンを用いると、それぞれ温度条件などの外乱により透過特性に揺らぎが生じ、差周波(テラヘルツ周波数)が正確に求まらない。この方法のメリットとして、2つのレーザの差周波数がわかればよいので、テラヘルツ光源となるレーザ自身の周波数は未知でもかまわないという点、エタロンの厳密な温度や圧力制御を必要としないという点が挙げられる。

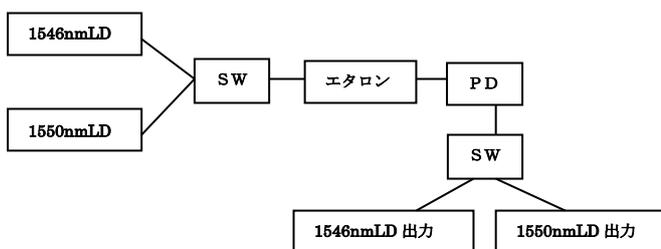


Fig.2 Block diagram of the terahertz frequency control system.

4. エタロンフィルタの周波数特性

Fig.4 に反射率 0.6, ミラー間隔 1.42mm のエアギャップエタロンの周波数特性を示す。

計測対象となるテラヘルツ帯の水蒸気スペクトルは 0.53~0.58THz に存在する。よって、1546nm 光源を 50GHz 程度スキャンする必要がある。Fig.4 より、エタロン透過特性の傾き部分の帯域が約 50GHz であり、このような特性のエタロンを用いれば連続的な水蒸気スペクトルを得ることができる。

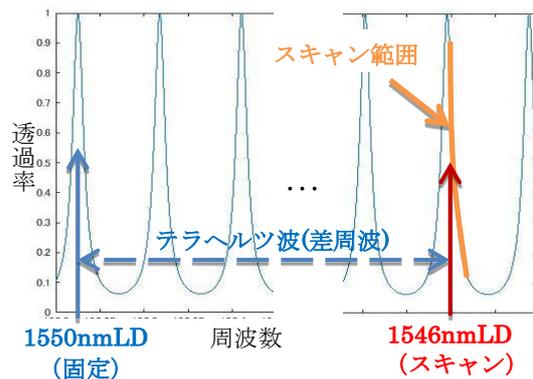


Fig.3 Transmittance of the etalon and 2 DFB laser spectra.

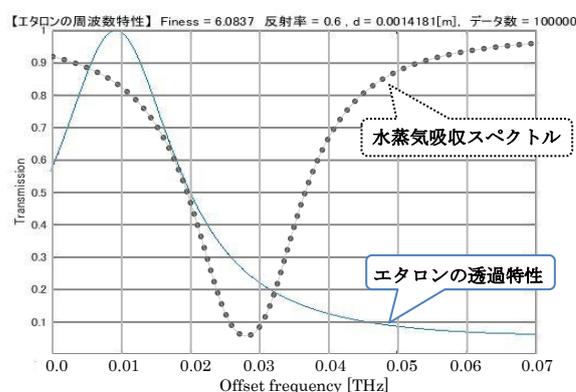


Fig. 4 Transmission curves of a 1.42 mm air-gap etalon with 60% reflectivity at 1546 nm and a water vapor absorption spectrum around 0.56 THz.

5. おわりに

本研究では、テラヘルツ波光源となる2つのレーザ光の制御を温度制御に加えて、エタロンフィルタを組み込むことで、さらに厳密に周波数制御を行う方法を提案した。今後は、この方法によって周波数特定しながら、より精密なテラヘルツ帯水蒸気吸収スペクトルが得られるかどうか実測によって検討していきたいと思う。

参考文献

- [1] 小宮山他日本機械学会論文集(B編)68巻666号(2002-2)
- [2] Andriy Danylov, "THz laboratory measurements of atmospheric absorption between 6% and 52% relative humidity," <http://stl.uml.edu>, September 2006
- [3] 第62回応用物理学学会春季学術講演会 11p-P3-17