

令和元年6月3日現在

機関番号：53203

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01302

研究課題名(和文)テロ爆発物の高レベルなセキュリティチェックのための爆薬蒸気検知システムの研究

研究課題名(英文) Study of an explosive vapor detection system for high level security checks of terrorist explosives

研究代表者

由井 四海 (yoshii, yotsumi)

富山高等専門学校・電子情報工学科・准教授

研究者番号：10413759

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：爆発物によるテロを未然に防止するための非接触型爆薬蒸気ガスセンサの研究を行った。光源部の構築を行い3.2 μ m帯において117 μ Wの出力が得られた。また、その光源の動作を確認するために、DNB(TNT模擬物質)と同じ吸収波長帯域に吸収線を有する大気中の水蒸気の測定を行い、吸収データベースの値と測定された透過率と波長についてそれぞれ誤差1%以内であることが確認された。そして、DNBについてはヒーターで気化したガスの吸収信号を測定し、温度に対する吸収信号の変化が観測されDNB蒸気ガスの測定ができることが確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

汎用の半導体レーザーと波長変換素子を組み合わせた中赤外光源を用いて爆発物からのガスを検出する方法はこれまで報告例が少なく本研究の成果により当該分野でのさらなる研究の深化が期待される。また、安全安心な社会を構築していく上で、テロ災害を無くすための技術開発は欠かせず、空港などでの爆発物に対する荷物の全数検査に向けた新たな方式を提案することができたと考える。

研究成果の概要(英文)：The research on non-contact type explosive vapor gas sensor to prevent the terrorism by the bomb was carried out. The light source was constructed, and the output of 117 μ W was obtained in the 3.2 μ m band. In order to confirm the operation of the light source, water vapor in the atmosphere with an absorption line in the same absorption wavelength band as the DNB (TNT simulated substance) was measured, and it was confirmed that the measured absorption and wavelength were within the error of 1% respectively. For the DNB, the absorption signal of the gas vaporized by the heater was measured with the change of the absorption signal to the temperature, and it was confirmed that the measurement of the DNB vapor gas is possible.

研究分野：レーザー分光計測

キーワード：火災・爆発防止 爆発物検知 中赤外光源

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1)はじめに

アメリカ同時多発テロ事件(911 テロ)以降、各国では空港での保安検査の強化に取り組んできた。しかし最近の調査で 95%の確率で武器や爆発物を発見できていないことが判明した。一般に、爆発物の検知では複数の装置が組み合わされて使用されるが、一部の装置ではサンプルの採取などの過程で時間がかかる。そのため、荷物の全数検査を行うことができていない。そこで、サンプリングが不要で高速な検知システムが不可欠である。

(2)従来の方と研究

爆発物検知は大きく次の2つに分けることができる。バルク検知: 爆発物が荷物などに隠されていないか調べるもので、主にX線などの透過的な方法を利用する。爆発物をその像や形状で検知することから誤判定することがあり、最終的には検査員により画像が判断される。最近では核四重極共鳴を利用したものも研究されている。トレース検知: 爆薬を構成する化学物質の痕跡を調べるもので、一般的な分析化学的な方法を利用する。原理的に誤判定が少なく、爆薬そのものだけでなくその痕跡も検知できる。しかし、次の問題点がある。トレース検知の装置は、高感度で高選択性を有するが、サンプリングが必要なことと感度を高めるために測定時間が30秒程度と長いことが欠点とされる。また、サンプリングの必要性から広い領域の測定ではさらに時間を要す。

(3)解決すべき課題

トレース検知の特徴を有するとともに、リアルタイムで広い領域の検知が可能なシステムを如何に開発するかが課題となる。トレース検知ではさまざまな方法が研究されているが、中でもレーザー分光方式は高速で広い領域の測定が原理的に可能であるにもかかわらず、測定に適した中赤外領域のレーザー光源が特殊である、分析化学的な方法に比べて感度が低い、熱型検出器の応答速度が遅いなどが問題点であった。

2. 研究の目的

空港などでの保安検査において、爆発物によるテロを未然に防止するための非接触型爆薬蒸気ガスセンサの研究を主目的とする。広範囲にわたるトリニトロトルエン(TNT)爆薬成分の高速高感度検知を目標とし、広範囲を高速測定できるレーザー分光方式のトレース検知システムを構築する。また、高感度化のための変調方法とそれが光源に及ぼす影響を調べるとともに、広い波長領域の吸収線の測定にも対応できる波長掃引方法について検討する。

3. 研究の方法

(1) 光源部の構築とその特性評価、対象ガスであるジニトロベンゼン(DNB)蒸気(TNT 模擬化合物)の吸収線波長との比較を行う。測定対象となるガスの吸収線の中心波長について検討し、対応する吸収強度から適した光路長のシステムを構築する。3.2 μm 付近に位置する DNB 蒸気(TNT 模擬化合物)の吸収線を測定対象とするが、さらに長波長の吸収線よりも1桁ほど強度が低い。そのため、光源側の出力強度と検出側の検出感度と応答速度を総合的に評価し、個々の光学部品の組み合わせを選択する。そして、十分な信号強度の得られる光路長の光学系を設計し、測定システムを構築する。

(2) 構築された実験系の動作確認のために大気中の水蒸気の吸収スペクトルを測定する。さらに、波長変調法と波長変換素子の動作条件について検討を行う。測定の高感度化のために強度または波長変調法を適用し、その際の光源側の波長変換素子での非線形性が多重化する挙動を確認する。また、波長変調法においてレーザーの発振波長を高速に変化させる場合に、波長変換素子の非線形により生じる残余強度変調が検出感度に与える影響を確認する。

(3) 吸収スペクトル全体を取得するための広い波長範囲の掃引方法の実現と DNB の吸収測定を行う。本実験で構築されるレーザー光源は5つのパラメータ(温度と電流)で波長と光強度が制御される。波長掃引では光強度が一定であることが理想であるが一般的に光強度も波長とともに変化する。そこで、ここでは広い波長範囲を光強度一定で掃引することを目標にパラメータの組み合わせを検討する。また、吸収測定では DNB が常温で固体であることから、融点以上の温度に加熱することでガスにしたのち、レーザー光の透過光強度を測定することで吸収を確認する。

4. 研究成果

(1) 図1に実験構成図を示す。光源部は、波長1589nm（シグナル光）と1064nm（ポンプ光）の分布帰還型(DFB)半導体レーザー、偏波保持カップラ、周期分極型ニオブ酸リチウム(PPLN)結晶による波長変換モジュールで構成され、差周波発生により3.2μm帯の中赤外光が生成される。各DFBレーザーに100mAの電流を印加し（1589nm:15mW, 1064nm:28mW）バンドパスフィルタにより中赤外光のみを測定した結果、PPLNの温度が50.6°のとき強度が最大となり、117μWの中赤外光の出力が確認された。また、DNBの各異性体(o-, m-, p-)の吸収が最大となる波長は、3.20-3.25μmの範囲に含まれ、それぞれに対してシグナル光とポンプ光の波長の組み合わせが存在するか各レーザーの特性と比較した結果、全ての異性体において吸収が最大となる波長にシグナル光波長とポンプ光波長を制御することが可能であることがわかった。さらに、対象ガスの吸収が弱く測定に必要なSN比が確保できない場合が予想されるため、長い吸収長での実験を実施できるように光路長25mのヘリオット型多重反射セルを設計構築した。

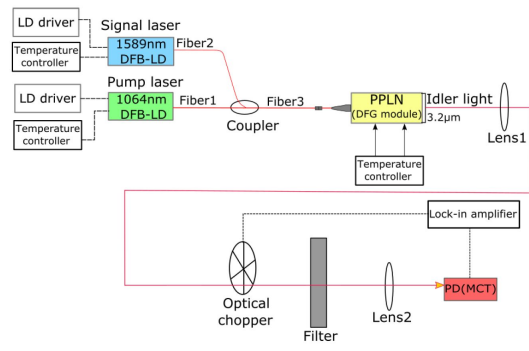


図1. 実験構成図

(2) 吸収線として3.24μm付近に位置する水蒸気の(0 0 0) (0 2 0)振動遷移を利用し、最初に吸収強度と波長について HITRAN データベースとの比較を行った。その結果、全圧 1atm, 濃度 1.2vol%, 光路長 6m の条件において、透過率と波長についてそれぞれ誤差 1%以内であることが確認された。図2に測定された水蒸気の吸収スペクトルを示す。広い波長範囲に点在する4つの吸収線を測定するために、シグナルレーザーの各温度で電流を変化させることで波長掃引を行った。なお、強度変調を行うことで周辺光の影響を取り除いている。アイドラー光の透過率が1である領域において、波長に対して周期的な信号が見られており、これは光学素子間での光干渉によるものと考えられる。

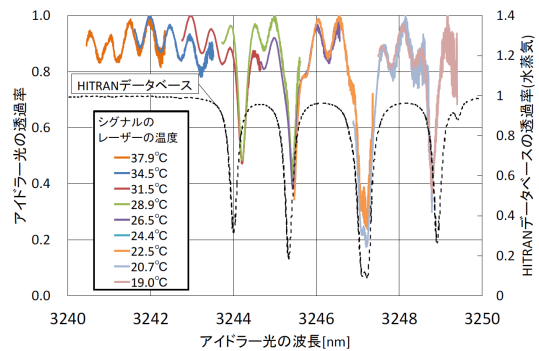


図2. 水蒸気の吸収スペクトル

波長変調法と波長変換素子による差周波光を組み合わせた系において検出信号の強度と形状の観点から変調条件を検討した。変調周波数が1kHzを超えると信号強度の低下が見られ、本実験系において利用可能な帯域幅が確認された。一方、変調振幅は13GHz-ppの時に信号強度が最大かつ信号形状が狭いことが確認され、振幅が小さい場合は信号強度が小さくなり、大きい場合は形状が広くなることがわかった。また、本実験の測定条件では波長変換素子の非線形性の影響は見られなかった。

(3) 吸収スペクトル全体を取得するための広い波長範囲の掃引方法の実現とDNBの吸収測定を行った。光源制御に関する電流と温度の4つのパラメータを導出、同時に変化させることで、3.220-3.245μmの範囲を強度3μWで一定のまま波長掃引することができ、2つの異性体の吸収線を同時に測定することが可能となった。図3に波長掃引時の光強度の変化を示す。シグナルレーザーとポンプレーザーの温度を導出された値に設定したうえで、それぞれのレーザーの電流を同時に変化させることで、アイドラー光の強度を変化させることなく波長掃引ができています。波長範囲は図2の場合に比べおよそ3倍となっている。

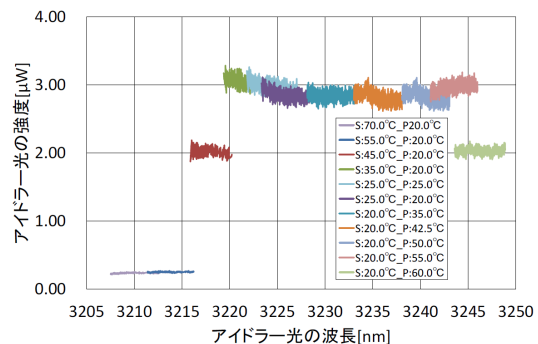


図3. 広波長範囲の掃引

1,3-(m-)DNB(融点 89.6°)について、マルチパスセルを含む測定光学系を12Lの容器内に収め、DNBをヒーターで気化させてその吸収信号の測定を行った。図4にヒーター温度を130-170°で変化させたときの透過光強度を示す。温度とともに光強度が減少し、170°で約65%の強度変化が見られている。ヒーターによる赤外線の影響は光強度が大きくなるように作用

するため、測定された強度変化は DNB の吸収によるものと考えられ、本実験系で DNB の吸収を測定できることが確認された。

< 引用文献 >

「空港の保安検査、禁止品目の 95%を見逃し米」CNN.co.jp 2015.06.02

火薬学会爆発物探知専門部会編、爆発物探知ハンドブック、丸善、2010

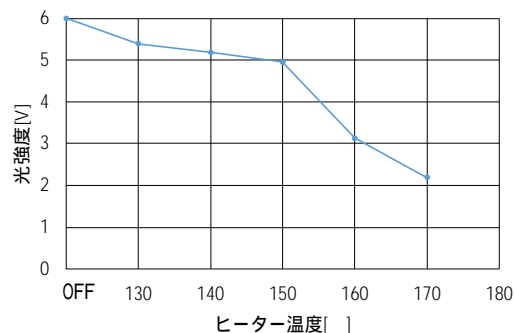


図 4. DNB の吸収による光強度の変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

小西 朋春、水本 巖、由井 四海、リチウムイオン電池の火災検知のための光吸収分光測定システム、科学・技術研究、査読有、Vol.8、2019

松井 智哉、由井 四海、水本 巖、単一レーザーとその波長変換光によるガスの二成分同時測定システム、電気学会論文誌 C、査読有、Vol.137、2017、912-913

DOI:10.1541/ieejieiss.137.912

〔学会発表〕(計 5 件)

今井 大志、水本 巖、由井 四海、爆発蒸気検出用中赤外光源の開発とその特性、電気関係学会北陸支部大会、2018

富岡 直矢、水本 巖、由井 四海、FMCW 法を用いたマルチパスセル内の光路長測定の検討、電気関係学会北陸支部大会、2017

T.Konishi, I.Mizumoto, Y.Yoshii、Differential optical absorption measurement of Dimethyl carbonate using a DFB laser、IEEE International Conference on Engineering Education、2017

T.Homae, K.Yamada, Y.Sugiyama, K.Wakabayashi, T.Matsumura, Y.Nakayama、Mitigation of blast wave from subsurface/underground magazine using water、International Symposium on Energetic Materials and their Applications、2017

松井 智哉、水本 巖、由井 四海、単一レーザーとその波長変換光によるガスの二成分同時測定システム、電気学会 C 部門大会、2016

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：保前 友高

ローマ字氏名：Homae Tomotaka

所属研究機関名：富山高等専門学校

部局名：商船学科

職名：教授

研究者番号(8桁)：30470032