

深紫外波長域のラマン散乱光を効率的に計測する

ライダシステムの光学設計

江藤 修三, 比護 貴之, 大石 祐嗣

一般財団法人電力中央研究所 (〒240-0196 神奈川県横浜須賀市長坂二丁目 6 番 1 号)

Optical design of lidar system for efficient measurement of Raman scattering light in the deep ultraviolet wavelength range

Shuzo ETO, Takayuki HIGO and Yuji OISHI

Central Research Institute of Electric Power Industry, 2-6-1 Nagasaka, Yokosuka city, Kanagawa 240-0196

Abstract: We have been developing a lidar system using the resonance Raman effect for remote detection of hazardous substances. In this study, we designed an optical system that can focus a laser beam and measure spectra in the deep-ultraviolet wavelength region with high sensitivity. The optical design used ray tracing to focus the laser beam and scattered light using a single Cassegrain-type telescope, which enabled a high field of view overlap between the laser beam and the receiving optics with a simple optical system configuration. This is expected to enable efficient measurement of Raman scattered light in the deep ultraviolet wavelength region.

Key Words: Deep ultraviolet, Raman spectroscopy, Hazardous substances, Ray tracing, Telescope

1. はじめに

有害ガス等を遠隔で検知及び識別する方法の一つとして、ラマン分光法が挙げられる。一般的に、ミー散乱と比較してラマン散乱の強度は著しく低い¹⁾ため、ラマン分光法における感度向上は課題の一つである。本研究では、共鳴ラマン効果によるラマン散乱強度の増加¹⁾を利用することにより、計測感度の向上を目指している。共鳴ラマン散乱に起因するスペクトルは、200~300 nm の深紫外波長域で観測されるため、深紫外波長域の光を高感度に分光計測する装置の開発を進めてきた²⁾。本装置では、別々の光学系を用いて、レーザ光の伝送とラマン散乱光の計測を行っていた。一方、本研究で想定している計測時の離隔距離の範囲は10~100 m 程度を考えている。この場合、レーザ光と受光系の視野の重なりが小さくなり、ラマン散乱光を効率的に計測できない課題があった。この課題に対して、本研究ではレーザ光を伝送する光学系と、受光系との視野を同一にする光学設計を行うことで、2つの光学系の視野の重なりを大きくする検討を行った。本発表では、ラマン散乱光をより効率的に計測する光学系について光学設計を行った結果について報告する。

2. 光学系の光学設計結果

2.1 全体構成

Figure 1 に、光学系の全体構成を示す。図に示す光学フィルタは、レーザ光とラマン散乱光を分離するためのロングウェーブパスフィルタである。ここでは、深紫外波長域から紫外波長域の光をフィルタで反射し、可視波長域から近赤外波長域の光を通過する特性を有していると仮定している。また、レーザ光の波長は可視波長域から近赤外波長域を想定している。レーザ光は、光学フィルタを通過し、主鏡の有効口径が 300 mm のカセグレン式望遠鏡に入射し、望遠鏡から 10 m 以上離れた位置で結像する。

多くのレンズ用硝材は、深紫外波長域での透過率が低いため、屈折型の光学系では、光学系のスループットが低下する。また、波長が短いほど色収差が大きくなるため、レンズを用いた光学系を用いると、分光器の入射スリットを通過する光の波長が限定されてしまう。そこで、ミラーだけを用いた光学系を設計した。このように、レーザ光の伝送と散乱光の計測を一つの望遠鏡で行う方式は、近距離用のライダで提案されている³⁾。これらの研究では、レンズを用いて、レーザ光と散乱光の軸を同一にする設計である。一方、本研究ではレンズを使用しないため、望遠鏡の光軸に対して平行移動した軸に沿ってレーザ光を入射し、望遠鏡にて収束させる方法を採用した。

2.2 受光部の設計

Figure 2 に、ラマン散乱光を計測するための光学系のレイアウトを示す。図の青線は光線を示している。望遠鏡で集められた散乱光は、平行光に変換される。この平行光を分光器の入射スリットに結像するために、凹面ミラーを用いた。凹面ミラーに対して光を斜め方向から入射させると、結像位置における像のコマ収差が大きくなるため、凹面ミラーに対して垂直に散乱光を入射する構成とした。

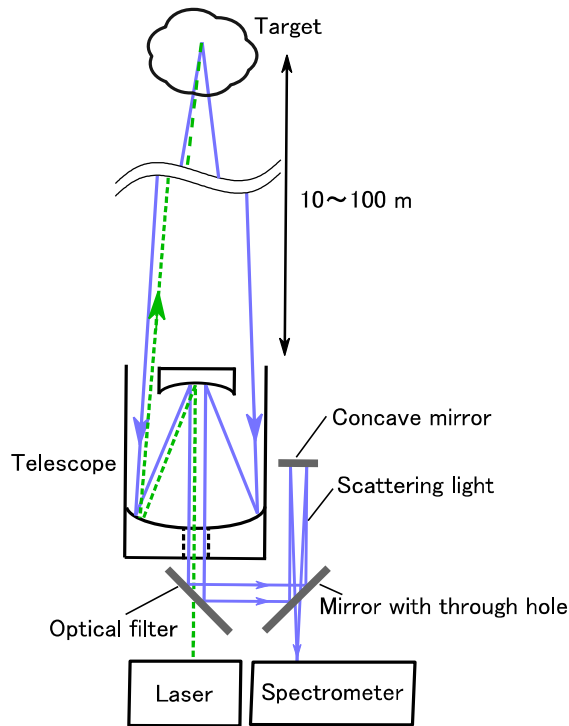


Figure 1. Schematic of LIDAR system. Solid and dashed lines show the paths of laser beam and scattered light, respectively.

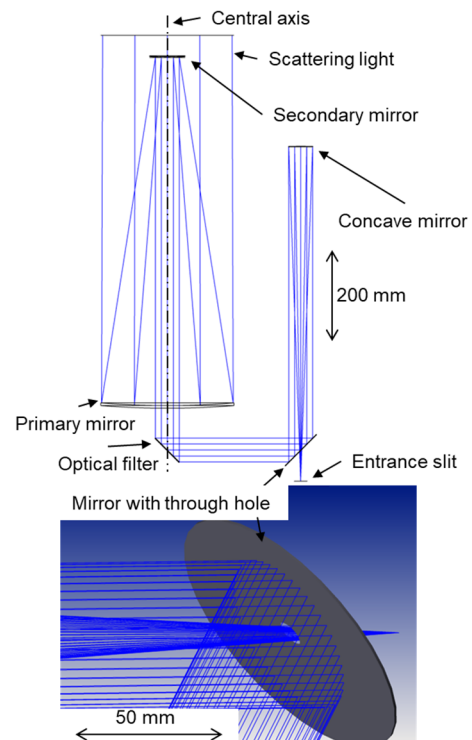


Figure 2. Optical schematic of scattering light. The scattering light enters from the left side of the primary mirror. The exit is at the entrance slit of the spectrometer.

3. まとめ

深紫外波長域のラマン散乱光を効率的に計測するための光学系の光学設計を実施した。本設計結果を踏まえて光学系を製作し、散乱光の結像特性等を評価していく予定である。

謝 辞

本研究は、防衛装備庁が実施する安全保障技術研究推進制度 JPJ004596 の支援を受けたものである。

参考文献

- 1) K. L. Gares, K. T. Hufziger, S. V. Bykov and S. A. Asher, "Review of explosive detection methodologies and the emergence of standoff deep UV resonance Raman," J. Raman Spectrosc., Vol.47, 124-141 (2016).
- 2) S. Eto, Y. Ichikawa, M. Ogita, S. Sugimoto, I. Asahi, "Standoff detection system using Raman spectroscopy in the deep-ultraviolet wavelength region for the detection of hazardous gas detection," Appl. Spectrosc., Vol.76 (2022) 1246-1253.
- 3) 椎名 達雄, 近距離ライダーの光学設計, 電気学会電子・情報・システム部門大会, OS1-2 (2011) 548-553.