

# 中間圏K原子層観測を目的とするOPGを用いた全固体ライダー

All solid resonance scattering lidar for observations of mesospheric K layers

長澤 親生、柴田 泰邦、阿保 真

Chikao Nagasawa, Yasukuni Shibata, Makoto Abo

首都大学東京 システムデザイン研究科

Tokyo Metropolitan University

## Abstract

In stead of resonance scattering lidars consisting of a dye laser and a Ti:Sapphire laser for observations of metal atomic layers such as Fe, K, Ca and Ca ion in the mesopause region, we propose the resonance scattering lidar system consisting of the second harmonics and the third harmonics of a frequency-locked injection-seeded, pulsed optical parametric generator (OPG) pumped by a high repetition Nd:YAG laser. The maintenance of the dye laser is not easy for long observation time. As the output power of the Ti:Sapphire laser has a low damage threshold of a crystal, it is difficult to increase the output average power. On the other hand, the OPG system with the periodically poled lithium niobate quasi-phase-matched crystal can address the above-mentioned shortcomings of previous dye or Ti:Sapphire laser systems.

## 1. はじめに

高度 90km 付近の中間圏界面付近に成層する Ca イオンや Na, K, Fe, Ca 等の中性金属原子の観測が共鳴散乱ライダーにより世界各地で行われ、この領域の気体・イオン化学反応過程や力学的構造に関する貴重な情報が得られている。我々は、色素レーザーを光源とする Na 共鳴散乱ライダー(589nm)、可変波長の Ti:Sapphire レーザーを光源とする K (770nm), Fe (372nm), Ca イオン (393nm) の観測を、東京とインドネシアで行ってきた。特に、Na 層の観測から、厚さ 2~3km で突発的に発生するピーク密度の高いスプラディック Na 層の生成・変動は、赤道領域と中緯度では大きく異なることが分かってきた[1]。しかし、金属原子層は中間圏界面近傍の温度構造、風速場、大気波動、イオン・電子密度分布などに密接に関係するため、特にスプラディック金属原子層の発生機構は、まだ未解明な部分が多い。

共鳴散乱ライダーでは金属原子・イオンの共鳴波長に正確にレーザー波長を同調させることと、平均出力が大きいレーザーを用いることにより精度の高いデータを得ることが期待できる。従来用いられてきた色素レーザーは、メンテナンスが容易ではなく、他方 Ti:Sapphire レーザーは、結晶のダメージ閾値が低く、高出力化、高繰り返し化が困難であるため、特に Ca や Ca イオンなどのような近紫外光を使う観測において質の高いデータを得ることが難しいのが現状である。

そこで、我々が最近 CO<sub>2</sub>DIAL 用に開発した高繰り返し(500Hz)に耐えうる波長 1.57 μm OPG(Optical Parametric Generator)レーザーの第 2 高調波、第 4 高調波を発生させることにより、これら金属原子・イオン層観測の光源として活用することを検討した。

## 2. OPG レーザー

光パラメトリック発振は、非線形結晶の非線形効果を利用し、入力レーザー周波数 $\nu_p$ から 2 周波数 $\nu_s$ ,  $\nu_l$  ( $\nu_s + \nu_l = \nu_p$ ) の光を発生させる波長変換法である。最近では非線形結晶に分極反転させた疑似位相整合(QPM:Quasi Phase Matching)波長変換デバイスを用いることにより、高効率・高出力の波長変換が可能になっている。

我々が CO<sub>2</sub>DIAL 用に開発した OPG/OPA(Optical Parametric Amplifier)システムでは、繰り返し周波数 500Hz の LD 励起 Nd:YAG レーザーをポンプ光とし、波長 1572nm で 20mJ/pulse、すなわち 10W の出力が得られている。また、パルス幅は 20ns、線幅は 110MHz で、共鳴線幅と比べて十分狭いスペクトルであり、インジェクションシーディングによる波長制御も実現している。

発振波長は OPG 結晶の分極周期並びに温度を制御することにより 1540~1600nm の波長変換が可能である。第 2 高調波の変換効率を 50%とすると、K の共鳴波長である 770nm で 5W、第 4 高調波の変換効率を 10%とすると Ca イオンの共鳴波長である 393nm で 1W の出力が期待できる。我々が CO<sub>2</sub>DIAL 用に開発した OPG+OPA システムを基本として期待できる各波長での出力見積もりを Table 1 にまとめた。

Na や K 原子層を利用した共鳴散乱ライダーにおいては、これらの密度観測だけではなく、精度の高いレーザー制御を行うことにより、中間圏界面高度の気温や風の観測も行われている[2]。QPM-OPG システムは、その高い変換効率のためファブリペロー共振器を必ずしも必要としないため、シード光の波長と共振器の縦モードを整合させるシードロッキングシステムが不要であり、中間圏界面高度の気温や風の観測にも適用可能な共鳴散乱ライダーシステムを容易に構築することができる。

Table 1. Power estimation of the OPG laser.

	Nd:YAG 1064nm	OPG 1540/ 1572nm	SHG 770/ 786nm	FHG 393nm
Energy	50mJ	20mJ	10mJ	2mJ
Power @500Hz	25W	10W	5W	1W
Efficiency		40%	20%	4%

Fig.1に開発しているLD励起Q-sw Nd:YAG レーザー(1064nm)でポンプした OPG/OPA システムを示す。非線形結晶には PPMgSLT (周期分極反転 MgSLT)を用い、シグナル光 1572nm を得ている。500Hz の高繰り返しを実現するため、LD 励起 Nd:YAG レーザーを使用している。

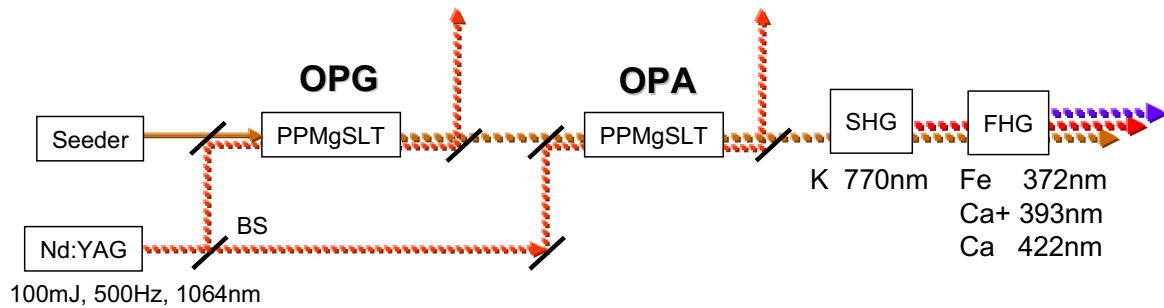


Fig.1 Block diagram of OPG/OPA Laser.

### 3. まとめ

従来、共鳴散乱ライダーに用いる全個体レーザーとしては、Nd:YAG レーザーの 1064nm と 1319nm を光混合することにより Na の共鳴線である 589nm のレーザーを利用したものがあがるが[3]、さらに広い波長域にわたる共鳴散乱ライダーに用いる全個体レーザー光源として 1.5 $\mu$ m 帯 OPG レーザーの利用可能性について検討した。OPG レーザーに AMP 段を追加して高出力化することにより、色素レーザーや Ti:Sapphire レーザに代わる新たな共鳴散乱ライダー用光源として期待される。

### 参考文献

- [1] Y. Shibata et al., J. Meteor. Soc. Japan, Vol.84A, pp.317-325, 2006.
- [2] C. Y. She and J. R. Yue, Geophys. Res. Lett., Vol.21, pp.1771-1774,1994.
- [3] T. D.Kawahara, C. S. Gardner, and A. Nomura, J.G.R., 109, D12103,