

共鳴散乱ライダー用カリウム蒸気レーザの検討

Study on Potassium Vapor Laser for Resonance Scattering Lidar

三浦夏美、阿保真、長澤親生

Natsumi Miura, Makoto Abo, Chikao Nagasawa

首都大学東京 システムデザイン研究科

Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University

Abstract

Many observations of metal atomic layers such as Na, Fe, K, Li and Ca in the mesopause region have been conducted in many parts of the world. Instead of resonance scattering lidars consisting of a dye laser and a Ti:Sapphire laser for observations of metal atomic layers such as Na and K in the mesopause region, we have proposed the resonance scattering lidar system consisting of the alkali vapor laser. The alkali vapor laser can easily realize narrow linewidth and precise tuning and have potential of achieve high power in a high quality beam. We show numerical modeling studies of potassium vapor laser using an alexandrite laser as the pump source.

1. はじめに

高度 90km 付近の中間圏界面付近に成層する Na, K, Fe, Ca 等の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ている。金属原子層は中間圏界面付近の温度構造、風速場、大気波動、イオン・電子密度分布などに密接に関係しており、この領域の気体・イオン化学反応過程や力学的構造に迫るための貴重な情報源となっている。

共鳴散乱ライダーではレーザ波長を金属原子の共鳴散乱波長に正確に同調することが必要であり、波長同調技術が重要である。レーザの波長制御には、色素レーザでは回折格子の精密制御、Ti:Sapphire や Alexandrite レーザではインジェクションシーディング技術が用いられているが、絶対波長制御のために金属蒸気セルや高精度波長計を使用する必要があるため調整技術とコストがかかり、リモート観測や観測拠点を増やす際のネックとなっていた。

アルカリ金属蒸気レーザは高効率であるとともに、金属原子の共鳴線をレーザ発振に用いるため自動的に発振波長が金属原子の共鳴波長となり波長同調が不要であるという特徴があり、これまでより安価でコンパクトな装置の実現が期待される。今回は発振波長域が 720–800nm である Alexandrite レーザを励起源とした K 蒸気レーザについて検討を行った。

2. K 蒸気レーザ

アルカリ金属蒸気レーザは Figure 1 に示すように 3 準位レーザとして動作し、励起光に D₂ 線を用い発振は D₁ 線で起こる。K の D₁ 波長は 770.11nm、D₂ 波長は 766.70nm である。

反転分布を作るためセルの中には K 原子と共にバッファガスを封入し、4P_{3/2} から 4P_{1/2} へ高速なクエンチングを起こす必要がある。バッファガスの種類や混合比の違いは 4P_{3/2} → 4P_{1/2} の mixing rate や励起光

の吸収効率に影響を及ぼし、高効率化のためにはガスの圧力、温度設定が重要となっている。

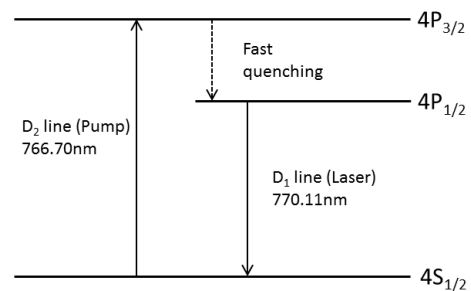


Figure 1 Energy diagram of potassium laser.

レーザ励起のアルカリ金属蒸気レーザについては、Rb や Cs の報告例は多いが K の報告例は少ない。B. Zhdanov らはエンドポンプ型の半導体レーザ励起 K 蒸気レーザについて報告している^[1]が、励起効率が 4% と低いため、最低でも数 W の出力が要求される共鳴散乱ライダーへの適用は難しい。一方パルスレーザ励起のものとしては、J. Zwebach らがエンドポンプ型の Alexandrite 励起 K 蒸気レーザで 64% の高い励起効率が得られたと報告している^[2]。両者の励起効率の差はセルに封入されたバッファガスの違いによるものと思われ、前者は C₂H₆、後者は He を使用している。また、J. Zwebach が使用している Alexandrite レーザの入射パワーは 0.15W と低いため、共鳴散乱ライダー用にハイパワーを得るためには検討すべき事項が残されている。

エンドポンプ型の Alexandrite レーザ励起 K 蒸気レーザの構成を Figure 2 に示す。封じ切りの K セルの窓は AR コートされ、セルはヒータにより温度コントロールされる。また励起光とレーザ光の偏光を直交させ、偏光プリズムを使って両者を分離する。

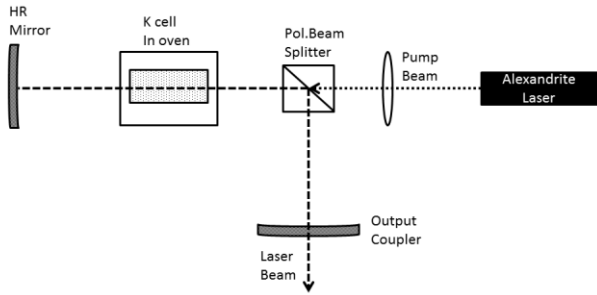


Figure 2 Schematics of the end pump alkali vapor laser system.

3. 励起光の吸収効率

バッファガスの影響を検討するため、ガスの圧力、温度を変え、励起光の D_2 線での吸収効率を計算した。 D_2 線は Figure 3 に示すように温度 197°C、He のガス圧が 2atm では半値幅が 23GHz と狭帯域であり、セルに入射した励起光は D_2 線と重なる波長は吸収されポンピングに寄与するが、 D_2 線から外れたパワーは損失となり効率が下がる。

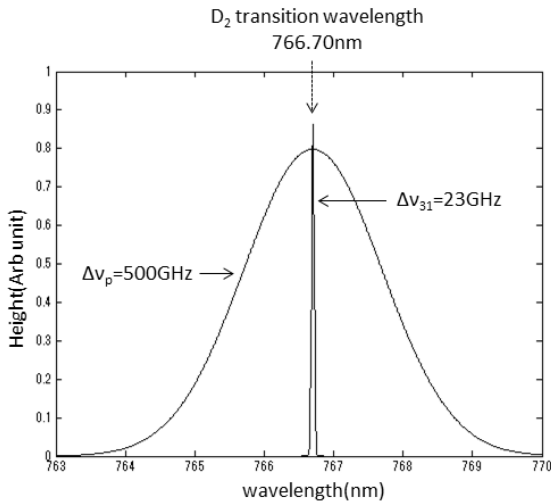


Figure 3 Pump spectral profile and D_2 absorption line.

バッファガスに He を使用した場合の吸収スペクトルの半値幅 $\Delta \nu_{31}$ は次式で与えられる。^{[2], [3]}

$$\Delta \nu_{31} = \left(19.9 \frac{\text{GHz}}{\text{amagat}} \right) \sqrt{\frac{T}{470 \text{ K}}}$$

ここで T はセルの温度、 amagat は原子密度を表す単位で $1 \text{ amagat} = 2.69 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ である。 $\Delta \nu_{31}$ はセル内の圧力には比例し温度にはルートで比例して広がるため、圧力による影響の方が大きい。

圧力を変化させた場合の励起光の半値幅 $\Delta \nu_p$ に対する吸収効率を Figure 4 に示す。圧力が高くなるほど吸収スペクトルが広くなり、広いスペクトル幅を持つ励起光でも高効率で吸収される。しかし圧力を上げすぎると温度上昇に伴いセル内の屈折率が変化し熱レンズ効果が生じるため、これを緩和するために水冷などでセルを冷却しなければならない。したがって、効率を上げるためには励起光のスペクトル幅も狭くする必要があるのである。Alexandrite レーザの場合は複屈折フィルタやプリズムにより狭帯域化が可能である。

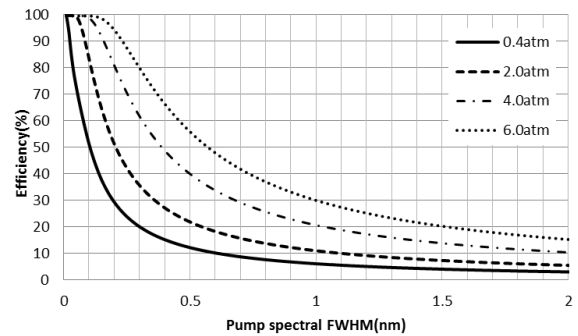


Figure 4 Pump beam transfer efficiency.

4. おわりに

バッファガスの種類や圧力、温度は、励起光の吸収効率だけでなく $4P_{3/2} \rightarrow 4P_{1/2}$ の mixing rate にも影響を及ぼすため、両者の兼ね合いを考慮する必要がある。また、共振器のアウトプットカップラの反射率も出力へ大きな影響があるため検討しなければならない。光軸に沿ってセルに励起光を入射するエンドポンプ型に対し、光軸に垂直になるように入射するサイドポンプ型の実験例もあり、この場合励起光が広い表面積から吸収されるため高効率が期待できる。

共鳴散乱ライダーに使用するためには、出力光のスペクトルが十分狭くかつ高出力であることが求められる。今後はこれらの最適設計を行い、共鳴散乱ライダーに求められる仕様を得る予定である。

参考文献

- [1] B.Zhdanov et al, Optically pumped potassium laser, Opt.commun.270, 353-355, 2007.
- [2] J.Zweback et al, High efficiency hydrocarbon-free resonance transition potassium lase, Opt.commun.282, 1871-1873, 2009.
- [3] R.J.Beach et al, End-pumped continuous-wave alkali vapor lasers: experiment, model, and power scaling, J.Opt.Soc.Am.B 21(12), 2151-2163, 2004.