

共鳴散乱ライダー用カリウム蒸気レーザの開発

阿保真、三浦夏美、長澤親生
首都大学東京 システムデザイン研究科

Development of Potassium Vapor Laser for Resonance Scattering Lidar

Makoto Abo, Natsumi Miura, and Chikao Nagasawa
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 including the polar region. 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 付近の中間圏界面領域に成層する 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極域を含む地球上の各地点で行われているが、その観測点はまだ十分とはいえない。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 やアレキサンドライト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、これまでより運用が容易でコンパクトな装置の実現が期待される。しかし、共鳴散乱ライダーに使用できるアルカリ金属蒸気レーザ (Li, Na, K) で高出力パルスが得られたとの報告は未だない。これらの原子の中でカリウム(K)蒸気レーザは励起源に用いる高出力パルスレーザがあるため最も実現しやすいと考えられ、また中間圏カリウムの密度分布は観測実績があり、温度観測も可能である。本研究では、将来の極域での自動観測も視野に入れた、波長制御装置不要な金属蒸気レーザを用いた共鳴散乱ライダーの実現をめざし、K 蒸気レーザで高出力パルスを得るための検討を行った。

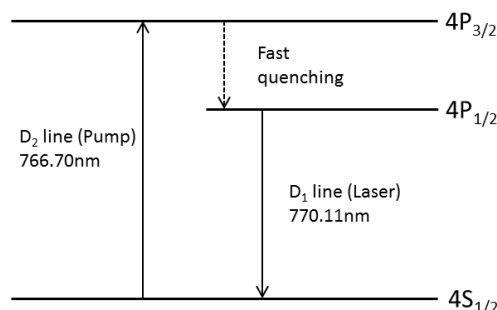


Figure 1 Energy diagram of potassium laser.

2. カリウム蒸気レーザ

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。

エンドポンプ型のアレキサンドライトレーザ励起 K 蒸気レーザの構成を Figure 2 に示す。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。

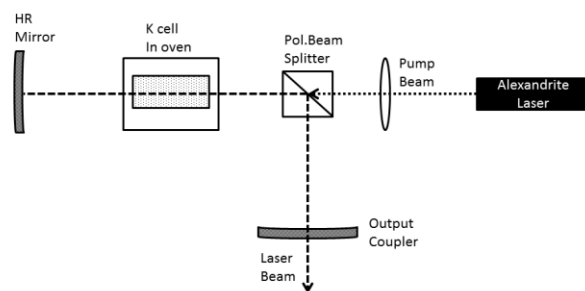


Figure 2 Schematics of the end pump alkali vapor laser system

3. 励起光の吸収効率

バッファガスの効率への影響を検討するため He ガスについてガスの圧力、温度を変え、励起光の D₂ 線での吸収効率を計算した。D₂ 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 45pm と狭帯域であり、セルに入射した励起光は D₂ 線と重なる波長は吸収されポンピングに寄与するが、D₂ 線から外れたパワーは損失となり効率が下がる。バッファガスの吸収スペクトルの半値幅 $\Delta\nu_{31}$ 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 $\Delta\nu_p$ に対する吸収効率の計算結果を 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、これを補正する必要があり装置が複雑になる。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をある程度狭くする必要がある。セル内の圧力が 6atm までで励起光の吸収効率 80%以上を得るためには励起光のスペクトル幅は 0.3nm 以下にしなければならない。励起源として考えているシンプルな構造で高出力パルスが得られるアレキサンドライトレーザのスペクトル幅は、複屈折フィルタで 0.3nm 以下、エタロンで 0.05nm 以下の仕様が得られており、高い吸収効率が期待できる。

4. バッファガスによる励起効率への影響

バッファガスの種類によって $4P_{3/2}$ から $4P_{1/2}$ への mixing cross section (σ) の値が異なるため、圧力、温度と共に励起効率に影響を及ぼす。Figure 5 に σ を変化させた場合の入出力特性を示す。バッファガスに He を使った場合、入力パワーが大きくても高い励起光率が得られるが、 σ が一桁小さいと飽和を起しているのがわかる。バッファガスには He が、反応性が低く蒸気セルの窓にダメージを与えないため有力候補であるが、他のバッファガスについても検討が必要である。

5. 共振器の設計

励起過程において基底状態にある原子が少なくなると飽和が起こり、励起効率が低下する。飽和を防ぐためには基底状態にある原子数を増やす必要がある、この原子数は励起光のビームサイズとセルの長さによって決まる体積に依存する。最終的には飽和による励起光率の低下も考慮し、セルの長さやビーム径を決める必要がある。

6. おわりに

共鳴散乱ライダーに使用する光源としては、出力光のスペクトルが十分狭いことが求められる。また、励起光のパルス波形が変わったときの出力への影響も考慮する必要がある。更に今回はエンドポンプ型でのシミュレーションを行ったが、サイドポンプ型では励起効率の向上も期待できる。今後はこれらの最適設計を行い、共鳴散乱ライダーに使用可能な特性が得られる K 蒸気レーザの設計仕様を確定し、実際の装置の試作を行う予定である。

References

- [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,

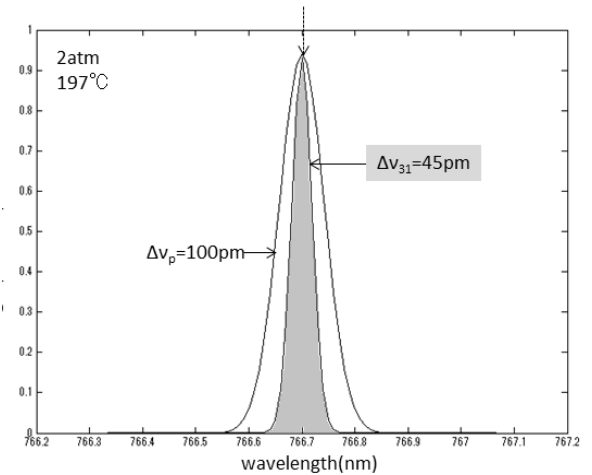


Figure 3 Pump spectral profile and D₂ absorption line.

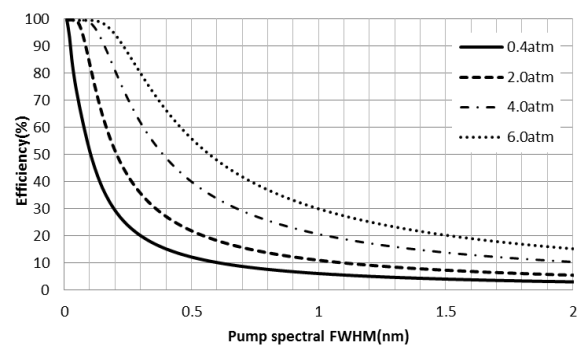


Figure 4 Pump beam transfer efficiency.

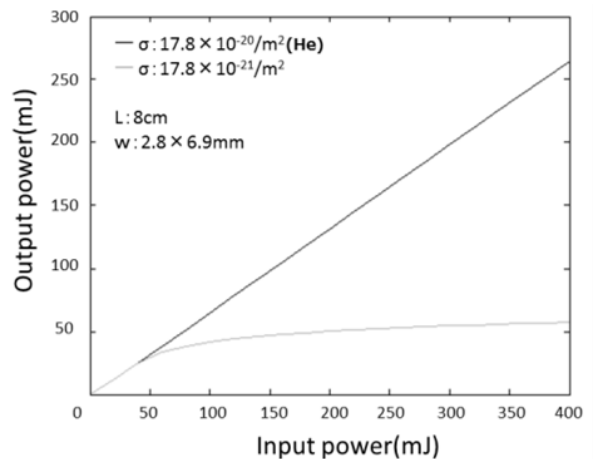


Figure 5 Output energy as a function of input energy for different mixing cross section (σ).