

# E 2

## 金属蒸気レーザーに於けるレーザー出力パルス幅可変に関する検討

An investigation on the variable laser pulse-width in the metal-vapor-lasers

斎藤 弘 谷 口 宏  
Hiroshi SAITO Hiroshi TANIGUCHI

岩手大学工学部  
Faculty of Engineering, Iwate University

1. はじめに 高効率レーザー動作が期待出来る中性金属原子の代表的なエネルギー遷移構造は、基底-レーザー上準位(共鳴遷移)、レーザー下準位(準安定準位)の三準位構造である。共鳴遷移の確率が大きいため、レーザー上準位に於ける粒子の寿命時間は数ns-数10ns程度と短く、一方、準安定準位の寿命時間は数100 $\mu$ sと長いので、レーザー動作は自己終端型となる。

金属蒸気レーザー(Metal Vapor Laser;MVL)のレーザー下準位分布のクエンチングにより反転分布保持時間を長く出来れば、レーザー出力幅を広げ、レーザー効率が改善される。もし、レーザー上準位の寿命時間に比し、下準位のそれを十分短く出来れば、反転分布を継続して保持出来、レーザー動作はパルス動作から連続動作へと移行する。

2. 理論 まず、銅蒸気レーザーを例にとり説明する。銅蒸気レーザー(Cu-VL)の準安定準位分布を、Cs原子との衝突エネルギー移乗過程を経てクエンチングする場合のエネルギー関係図をFig. 1に示す。

Cu原子の準安定準位( $4s^2D_{3/2}$ ,  $4s^2D_{5/2}$ )は基底準位からそれぞれ13245, 11203 $cm^{-1}$ 上に位置する。この準位に分布するCu原子の寿命時間は100 $\mu$ s程度である。一方、Cs原子は基底準位より11178, 11732 $cm^{-1}$ 上に共鳴準位( $6s^2S_{1/2} \leftrightarrow 6p^2P_{1/2}$ ,  $6s^2S_{1/2} \leftrightarrow 6p^2P_{3/2}$ )が存在し、寿命時間は、それぞれ、38, 33nsである<sup>1)</sup>。

Cu原子の $4p^2P_{3/2} \rightarrow 4s^2D_{5/2}$ 遷移(510.6nm)の、レーザー下準位( $4s^2D_{5/2}$ )と、Cs原子の共鳴準位( $6p^2P_{1/2} \leftrightarrow 6s^2S_{1/2}$ )のエネルギー差は僅に25 $cm^{-1}$ (温度換算値で約36K)であり、放電管中の原子の熱運動エネルギーはこのエネルギー差よりも十分大きい状態下にある。従って、基底準位を占め熱運動をしているCs原子と、準安定準位に分布するCu原子が衝突すると、Cu原子とCs原子の間でエネルギー移乗を生じ、準安定準位のCu原子は基底準位へ失活し、Cs原子は、共鳴準位( $6p^2P_{1/2}$ )へ励起される。しかし、Cs原子のこの励起状態の寿命時間は38nsと非常に短い(遷移確率が大きい)ため、速やかに、基底準位へ894.4nmの放射を伴って失活する。この過程が繰返されてCu-VLのレーザー下準位(準安定準位)分布がクエンチングされる。

同様の理論をAu-VLにも適用し得る。Au-VLの準安定準位分布を、添加原子(図ではTi)との衝突エネルギー移乗過程を経てクエンチングする場合のエネルギー関係図をFig. 2に示す。Au-VLに於ける312.3, 627.8nmの発振線中、赤色線についてみると、これもCu-VL同様に自己終端型である。そのレーザー下準位は、基底準位より21435 $cm^{-1}$ 高いエネルギー値を持っている。このエネルギー値とTi, Eu原子の共鳴準位21470, 21445 $cm^{-1}$ とのエネルギー差はそれぞれ、35, 10 $cm^{-1}$ である。Cu-VLにCs原子を作用させるのと同様に、Au-VLにTiあるいは、Eu原子を作用させて、レーザー下準位分布をクエンチングできると考えられる。

3. 実験 MVLのレーザー下準位分布のクエンチングを検証する実験として、Cu-VLとAu-VLを試みた。下準位分布のクエンチングによる反転分布保持時間延長の結果として、レーザー出力パルス幅の拡大が予想されるため、この出力パルス幅の広がりから下準位分布のクエンチングの有無を推測している。実験には、種々のMVLの実験に用いた装置<sup>2,3)</sup>と類似のものを用いている。塩化銅(CuCl)を用いたCu-VLに於いて、レーザー管中にCs蒸気を導入することにより、CuCl単独使用のCu-VLの約4倍のレーザー出力パルス幅が得られ<sup>4)</sup>パルス当たりのエネルギーは約2倍に増加した。

更にクロロ金酸(HAuCl<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O)を使用してAu-VL発振( $\lambda=627.8nm$ )を得、このAu-VLにEuCl<sub>3</sub>を使用してEu原子の導入を試みたところ、レーザー出力パワーで約1.5倍、パルス幅で2倍以上の増加が観測された。この現象は、Cu-VLに於けるCs蒸気の導入で見られるものと同様である。

4. 結論 Cu-VLに於けるCs原子、及びAu-VLに於けるEu原子と同様の効果を期待できるものとして、Au-VLに対して前述したTi原子の他に次のようなものが考えられる。

Mn-VLの $\lambda=534.1\text{nm}$ 発振線のレーザー下準位 $17052\text{cm}^{-1}$  に対しては、Naの共鳴線(0-16973 $\text{cm}^{-1}$ , 統計重値 $\times$ アインシュタインの遷移確率係数;  $gA=1.8\times 10^9/\text{s}$ )や、Ndの共鳴線(0-17787 $\text{cm}^{-1}$ ,  $gA=0.67\times 10^9/\text{s}$ )及び、Smの共鳴線(0-17770 $\text{cm}^{-1}$ ,  $gA=0.48\times 10^9/\text{s}$ )等、Bi-VL( $\lambda=472.2\text{nm}$ )のレーザー下準位11418 $\text{cm}^{-1}$ に対しては、Csの共鳴準位(0-11178 $\text{cm}^{-1}$ ,  $gA=0.48\times 10^9/\text{s}$ ; 0-11732 $\text{cm}^{-1}$ ,  $gA=1.3\times 10^9/\text{s}$ )等を挙げることができる。

これらはいずれも、寿命時間の長い準安定準位分布粒子と、共鳴準位の下準位分布粒子との衝突により、準安定準位分布粒子のエネルギー失活を行わせようとするものである(Fig. 3)。

この考え方を拡張して、例えばAu-VLのようにポンピングに用いる $gA$ 値が比較的小さいものに対して、レーザー上準位のエネルギー値37359 $\text{cm}^{-1}$ に近く強いポンピング遷移を持つ準安定準位のFe:37521 $\text{cm}^{-1}$ や、Mn:37737, 37631, 37420 $\text{cm}^{-1}$ 及び、Hg:37645 $\text{cm}^{-1}$ 等を利用して、ポンピング効率を改善する方法が考えられる(Fig. 4)。

5. おまわり Cu-VLとAu-VLについて、レーザー下準位分布のクエンチングにより、レーザー出力パルス幅を変化出来る可能性を理論的に検討し、検証実験を行った。

今後、準安定分布クエンチャーの蒸気圧可変技術と、レーザ技術に於ける磁気パルス圧縮回路を用いた励起パルス幅可変のパルサー等との組み合わせで、連続的なレーザーパルス幅可変技術に迄発展させたいと考えている。例えば、反転分布保持時間を十分長く保ち得る条件のもとで、励起放電パルス幅を、所望の時間幅に設定する方法が考えられる。

ここで述べた技術は、他のMVLにも適用可能と考えられる。今後、これらの検討も併せて行っていきたい。

本研究の一部は、文部省科学研究費及び實吉奨学会奨学金の援助によってなされたことを付記し、関係各位に感謝致します。

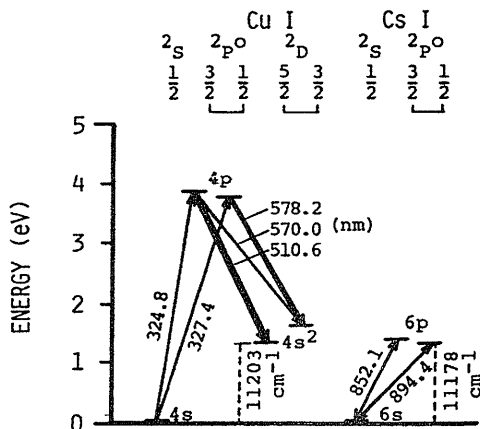


Fig. 1 Cu原子とCs原子のエネルギー関係図

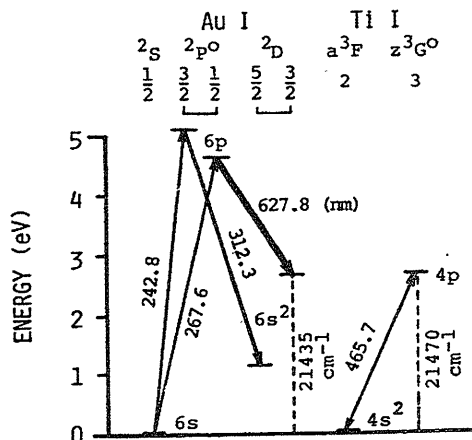


Fig. 2 Au原子とTi原子のエネルギー関係図

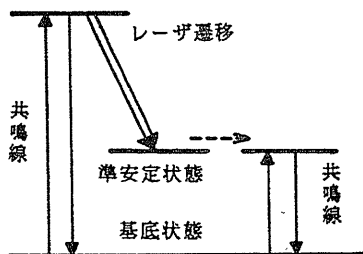


Fig. 3 レーザ下準位分布のクエンチング

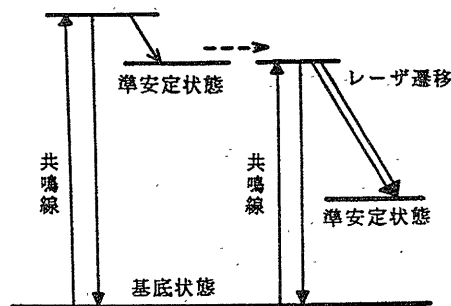


Fig. 4 ポンピングのエンハンスメント

文南社 1) A. von Engel: Ionized Gases, 2nd Ed. (Clarendon, Oxford 1965) p. 56. 2) 斎藤弘, 谷口宏, 石川利明: 第10回レーザー・レーザ(ライダー)シンポジウム予稿集D3 p. 44, 及びその参考文献. 3) H. Saito et al.: Rev. Sci. Instrum. **56** (1985) 22 48. 4) H. Saito and H. Taniguchi: Appl. Phys. Lett. **47** (1985) 440.