

Laser pulse and discharge current of XeCl laser is observed. A simple model for XeCl excimer formation in the laser medium and its laser oscillation is presented. Only fundamental processes with larger rate constants are considered. Through the rate-equation analysis combined with the observed discharge current as the electron density at each moment, time-dependence of the species relevant to the reaction and laser oscillation is investigated. Observed pulse shape and the effect of the output mirror on the pulse width is well reproduced by that calculation.

1. はじめに

エキシマレーザは紫外域で高出力を得られパルス発振をする。励起方法は小型の装置では放電励起が一般的である。我々が実験で使用しているのは自作の放電励起型 XeCl レーザである。このタイプのレーザでは、発振パルスは放電電流に大きく左右される。今回、レーザ装置の放電電流とその際の発振パルス波形を観測した。レーザ発振に関わる原子、分子、電子、光子についてのレート方程式を解くと、各成分の時間変化が分かる。電子密度には観測した放電電流を用い、計算に取り入れた。求めたレーザパルス波形は、観測したものをよく再現する結果であった。

2. 放電電流と発振パルスの観測

容量移行型のレーザ装置では、放電電極と並列に配置された放電用コンデンサーに電荷が充電される。放電電極間が放電開始電圧になると、放電用コンデンサーにたまっていた電荷が放電電極間で放電され媒質を励起する。この時に放電用コンデンサーと放電電極の間を流れる電流を自作のログウスキーコイルを使って観測した。その結果得られた電流の最大値は約 70 kA であり、Fig. 4 (10) にあるような波形であった。レーザ共振器ミラーは出力側にはミラーを設置しない ($R_1 = 0\%$) 場合と反射率 $R_1 = 20\%$, 40% のミラーを設置するという計 3 通りとした。反対側は反射率 $R_2 = 100\%$ を設置する。この時に出てくるレーザパルス波形はバイブрана光電管を出力側前面に配置し観測した。Fig. 1 にミラーなし ($R_1 = 0\%$) の場合のレーザパルス波形を示す。観測から出力側ミラーの反射率が大きい方がパルス幅が大きい。

3. 計算機シミュレーション

レーザ発振に関わる過程をモデル図として Fig. 3 に示す。それぞれの原子、分子、電子、光子の状態についてレート方程式をたて、4 次のルンゲクッタ法で計算した。観測した電流波形は、時間間隔 Δt の離散データにして各時刻で 1 次電子の個数に加算させ、シミュレーションに反映させた。

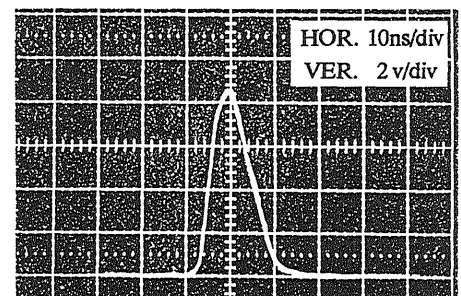


Fig.1 Observed laser pulse shape.

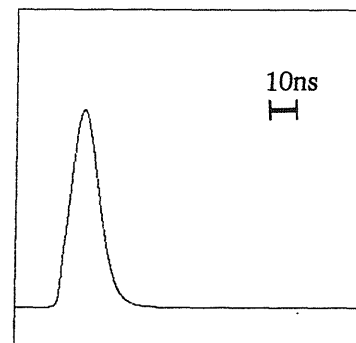


Fig.2 Simulated laser pulse shape.
(arb.unit)

また、共振器ミラーの効果についてはミラーにより反射し再入射する光と透過する光に分けて計算している。1 mの共振器内にXeCl*が存在する時間が20 ns程度と考えられることから、往復回数を3回までとした。往復回数の異なる光の増幅をそれぞれ独立に扱い、出力側ミラーから透過する光の和をとってレーザーパルスを得た。シミュレーション結果を以下に示す。計算は放電開始から130 nsまで行なった。Fig. 2は $R_1 = 0\%$ の時のレーザーパルスで、半値幅は約10 nsであり、実際のレーザーパルスと一致している。また、 R_1 を大きくして共振器の寿命が長くなった場合のパルス幅の変化についても議論することができる。Fig. 4の(1)~(9)はレーザー管内の各成分の時間変化である。レーザー上準位である(5)XeCl*は(2)Xe*と(4)HCl(v)から生成される。(7)はレーザー管内の光子密度であり、Fig. 2のレーザーパルスとはピークの時刻が異なる。これら各成分の時間的な振舞いはレーザー発振過程について理解する手助けとなる。

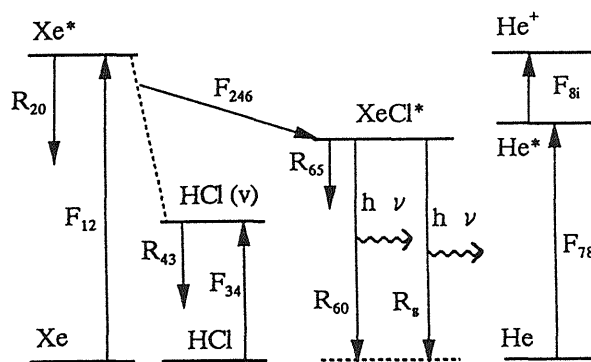


Fig.3 A model of lasing process with rate constants.

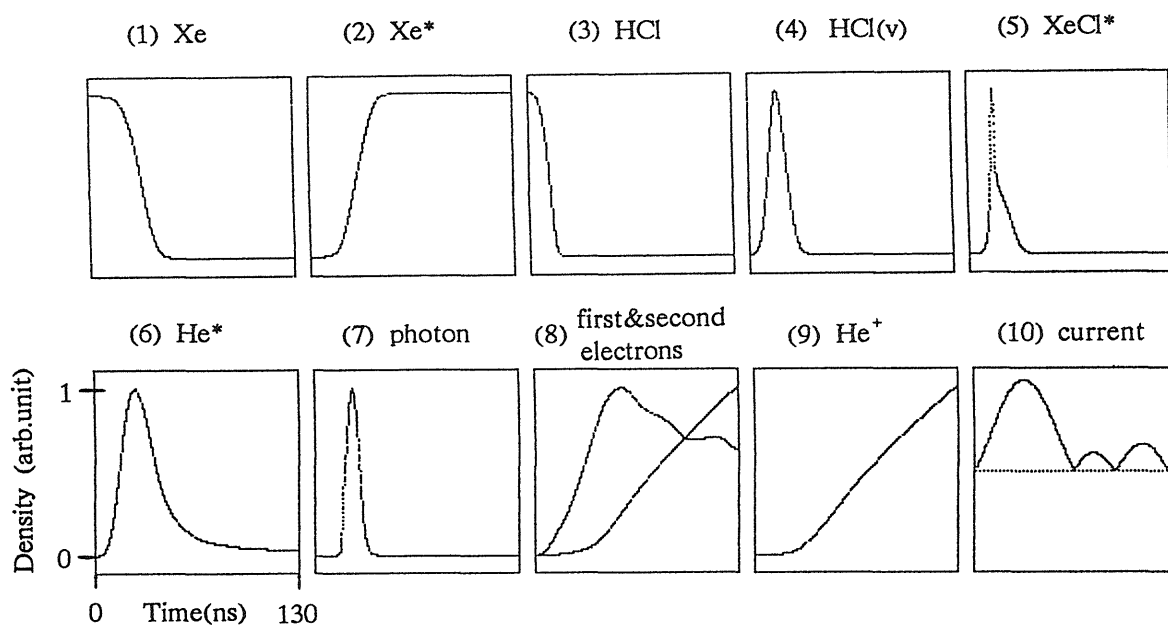


Fig.4 Transient behavior of densities obtained by simulation (1)-(9) and observed current (10).

4. まとめ

レーザー発振に関わる各成分についてレート方程式をたて、実際の観測した電流波形を取り入れた。共振器ミラーを透過する光の和でレーザーパルスを再現することができた。また、出力側ミラーの反射率を変化させた場合も実際のレーザーパルスと同様の傾向がみられた。レートの大きな反応についての計算で主な成分をよく再現することができた。さらに他の成分の時間的な振舞いについて詳細に記述するには、より小さいレートの反応を計算に入れる必要がある。今後はガスの組成比、ミラー反射率等を変化させるなど、実験との比較を行う。