

鈴木 秀一, 加茂 和章, 小松 晴子, 大井みさほ

Shuichi Suzuki, Kazuaki Kamo, Haruko Komatsu and Misao Ohi

東京学芸大学教育学部物理学科

Dept. of Physics, Tokyo Gakugei University

The breakdown voltage and the duration time of pulse discharge in a capacitor-transfer-type excimer laser is studied. These characteristics are well described by a simple equivalent circuit. Pulse duration of the laser output is found to be proportional to that of discharge. These results indicate the possibility of realizing a long-pulse excimer laser for the improvement of the laser beam quality.

### 1. はじめに

エキシマーレーザーの励起方法は小型の装置では放電励起が一般的である。なかでも容量移行型は装置が簡便で最もよく用いられる。我々が実験に用いているのは自作の放電励起型XeClエキシマーレーザーであるが、この装置の放電や出力光の特性を調べることにより、励起機構、発振機構について議論できる。

### 2. 放電回路

Fig.1に放電回路の等価回路を示す。Rは放電抵抗、 $C_1, C_2$ はそれぞれ充電用、放電用コンデンサーである。 $L_1, L_2$ は回路の浮遊インダクタンス、Lは充電のためのインダクタンスである。 $C_1$ に高電圧 $V_0$ をかけて充電された電荷はGAPスイッチを閉じると $C_2$ に移行する。 $C_2$ の電圧 $V_2$ が高くなり放電開始電圧に達すると $C_2, L_2, R$ のLCR回路でパルス放電が生ずる。GAPを閉じてから放電開始までRは無限大で、 $C_1, C_2, L_1$ からなる回路で考える。 $C_2$ の電圧 $V_2$ は

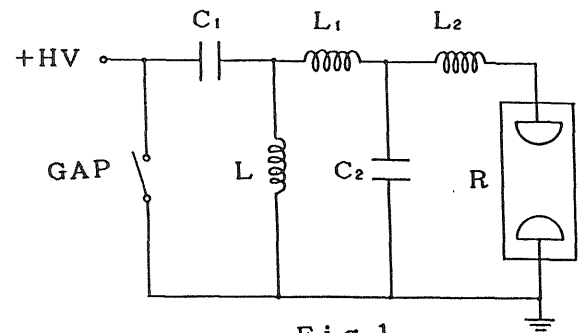


Fig.1

$$V_2 = - \frac{\beta}{1 + \beta} V_0 \{ 1 - \cos(\omega t) \} \quad (1)$$

$$\beta = \frac{C_1}{C_2}, \quad C = \frac{C_1 C_2}{(C_1 + C_2)}, \quad \omega = \frac{1}{\sqrt{L_1 C}}$$

のように変化する。放電開始時刻 $T_b$ が $T_b = \pi / \omega$ となるのが理想的である。 $\beta$ が大きいほど電圧利得 $r = |V_2 / V_0|$ は大きくなる一方、エネルギー移行率 $\eta = (C_2 V_2^2) / (C_1 V_0^2)$ は小さくなる。また放電開始後は $L_2 \ll L_1$ のため近似的に $L_2, C_2, R$ の回路で考察できる。 $t = T_b$ で $V_2$ が放電開始電圧 $V_b$ になるとすると

$$V_2 = V_b \left( 1 - \frac{C_2 R^2}{4 L_2} \right)^{-1/2} \exp(-\alpha t) \sin \{ \omega_1 (t - T_b) + \theta \} \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{R}{2 L_2}, \quad \omega_1 = \left\{ \frac{1}{L_2 C_2} - \alpha^2 \right\}^{1/2}, \quad \tan \theta = \frac{\omega_1}{\alpha}$$

のように変化する。 $C_2$ が小さいほど電圧の振動周波数 $\omega_1$ が大きい。以上のことから、 $C_1$ を一定にして $C_2$ を変えることにより移行の割合 $r, \eta$ と放電持続時間を調節することができる。

### 3. 実験方法及び結果

測定にあたっては、 $C_1$ と $C_2$ の容量比を4通りに変化させて実験を行った。 $C_1$ の充電電圧を20~27kVの間で変化させ、放電開始電圧との関係をグラフに表わした結果をFig.2に示す。

Fig. 2を見ると、充電電圧が大きく  $C_2$

が小さいほど放電開始電圧は大きくなっている。次に、放電持続時間とレーザーパルス幅の関係を調べた結果を Fig. 3に示す。これを見ると容量比や充電電圧に関わらず、放電持続時間とレーザーパルス幅はほぼ比例していることがわかる。

#### 4. 議論

一般に静的な絶縁破壊の条件で主放電が始まる場合放電開始電圧は一定値を示すが、実際には放電領域内の電子の動的な増幅過程によって放電開始条件が決まるので、回路のインピーダンスは時間的に変化し放電開始電圧は

充電電圧に依存して変化するものと考えられる。GAPを閉じてからの  $V_2$  の時間変化を  $C_1:C_2=2:1$  の場合について (1)式より計算した結果を Fig. 4に示す。このグラフに観測された放電開始電圧を○印でプロットすると放電開始までの時間は一定であることがわかる。そこで、全ての観測点について (1)式の係数  $\beta V_0 / (1 + \beta)$  と放電開始電圧  $V_b$  をプロットするとほぼ一つの直線で表される。このことから放電はGAPを閉じてから一定の時間遅れで始まり、 $V_b$  はその時刻での  $V_2$  を示しているといえる。 $C_2, V_0$  を変えた場合の放電開始電圧は  $\beta V_0 / (1 + \beta)$  から求めることができ、Fig. 2に見られる  $V_b$  の  $C_2, V_0$  依存性とも一致する。

次に、主放電開始以後の放電のメカニズムを知るために Fig. 1の等価回路のうち主放電に関わるLCR回路部分を取り出して考察を行う。 $C$  は放電用コンデンサー  $C_2$  に等しく  $R$  は放電抵抗である。 $R$  は一般に非常に小さく  $0.1 \Omega$  程度と考えられる。浮遊インダクタンスは不明であるが、これは電圧波形の振動周期を調べることで逆算することができる。計算によって求めた浮遊インダクタンスは5%以内におさまっており簡単なLCR回路で十分記述できることがわかった。

放電持続時間とレーザーパルス幅との間にはほぼ比例関係が成り立つので、放電持続時間を長くすることにより長パルスレーザーとして動作させることが可能になると思われる。今回の実験では  $C_2$  を大きくすることにより放電持続時間が増大することが確かめられたが、(1)式からも分かるように  $C_2$  は放電開始電圧に直接関わるパラメータであるため、放電持続時間を増大させる目的ならば回路のインダクタンスを変化させる方がよい。

#### 5. まとめ

以上より容量移行型放電励起回路について、等価回路と実験データとの比較により定性的な理解を得ることができた。また回路のパラメータを操作することにより、効率の向上や長パルス化したレーザー装置の改良を実現するための方向づけができた。

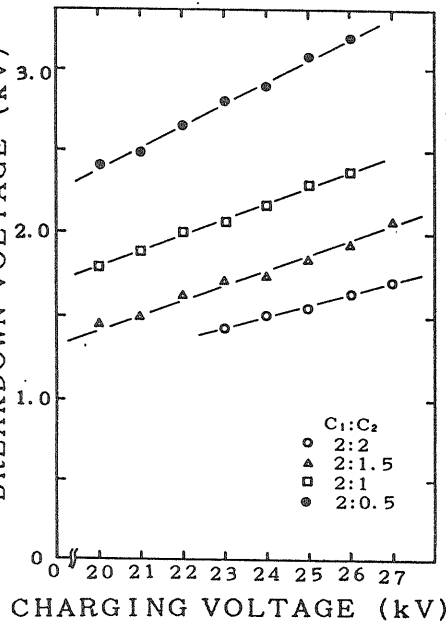


Fig. 2

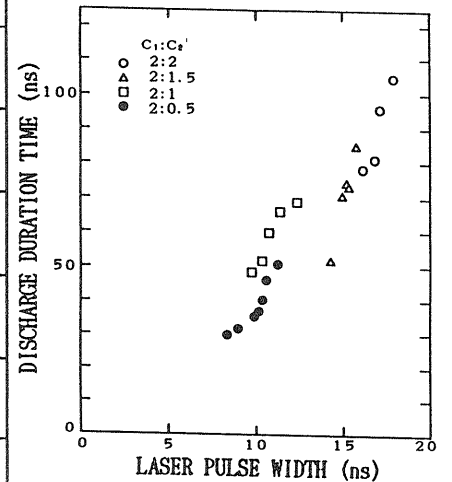


Fig. 3

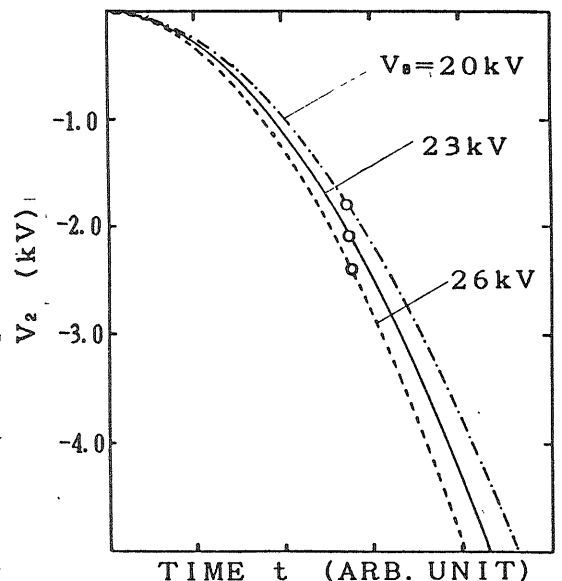


Fig. 4