

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

04:07

Журнал технической физики, т. 63, в. 12, 1993

© 1993 г.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ОБЪЕМНОГО
РАЗРЯДА В CO₂ СМЕСЯХ

О.Б.Ковальчук, В.Р.Мининков, Б.Г.Шубин, К.Н.Фирсов

Известно, что мощность и длительность импульса излучения CO₂ лазера зависит от времени энергозаклада в активную среду. Достаточно просто осуществляется изменение амплитуды и длительности импульса излучения в разрядах, контролируемых пучком ускоренных электронов. Возможно получение длинных импульсов накачки и излучения в газовых CO₂ лазерах, разряд в которых инициируется УФ излучением. При этом объемный самостоятельный разряд (ОСР) возбуждается, как правило, при пониженных давлениях газовой смеси с добавкой трипропиламина [1] или в системах с плазменным электродом, аналогичных [2].

В настоящей работе исследуются характеристики возбуждения ОСР в CO₂ смесях атмосферного давления без легкоионизируемых веществ, позволяющего изменять время энергозаклада на порядок.

Схема установки приведена на рис. 1. Катод 2 лазера — плоская латунная сетка прозрачностью 80%. Дюралюминиевый анод 3 выполнен с профилем Чанга [3] под активный объем 6×6×50 см. Схема может работать с любым типом предыонизатора; в данном случае предыонизатор 1 аналогичен описанному в [4]. Рабочая поверхность предыонизатора 1 и катод 2 образуют вспомогательный разрядный промежуток (ВП), катод 2 и анод 3 — основной разрядный промежуток (ОП). Генератор накачки C₁ — многоступенчатый генератор Маркса подключался к катоду 2 через индуктивность L и к предыонизатору 1 через резистор R₁. К катоду, кроме того, присоединялись формирующая емкость C₃ и делитель напряжения R₄–R₅. Питание предыонизатора осуществлялось от генератора C₂. Ток разряда измерялся токовым шунтом R₆.

Сначала запускают управляемый разрядник F₂, затем с задержкой времени ~ 10⁻⁷ с запускают F₁. Напряжение генератора C₁ при этом прикладывается к вспомогательному промежутку, так как к катоду подключен C₃. Поскольку межэлектродное расстояние вспомогательного промежутка меньше, чем в основном, то он оказывается под 4–5-кратным пере-напряжением. При таком перенапряжении возможно появление убегающих электронов и рентгеновского излучения [5], за счет которых осуществляется предыонизация основного промежутка. После формирования объемного самостоятельного разряда протекает разрядный ток $i_3 = i_1 + i_2$

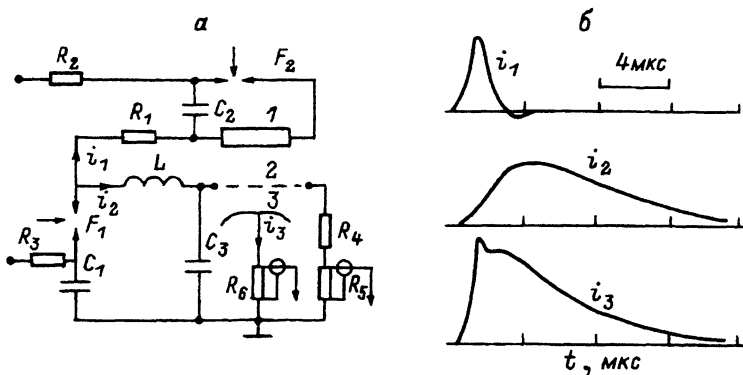


Рис. 1. Схема питания лазера (а) и разрядные токи в цепях схемы (б).

(рис. 1, б). Затем напряжение снижается и ток i_1 , длительность которого определяется в основном постоянной времени $R_1 C_3$, быстро уменьшается.

Эксперименты проводились в CO_2 смесях атмосферного давления с содержанием молекулярных газов до 50% при удельных вкладах до 300 Дж/л·атм. При неизменной емкости генератора $C_1 = 0.025$ мкФ варьировались следующие параметры: L от 1.8 до 102 мкГ, R_1 от 0 до 150 Ом и C_3 от 100 пФ до 0.02 мкФ.

Результаты исследований приведены на рис. 2. Длительность t тока i_3 (длительность энерговклада) зависит от L и R_1 . Если в обычных системах накачки [2,4,5] индуктивность разрядного контура ограничивает длительность и устойчивость разряда и приводит к его контракции, то для рассматриваемой схемы с увеличением L длительность разряда увеличивается без потери устойчивости (кривая 3 на рис. 2). Зависимость t от R_1 имеет выраженный максимум. На наш взгляд, полученные зависимости $T(L, R_1)$ объясняются влиянием плазмы вспомогательного промежутка на катодный слой разряда в основном промежутке. Элек-

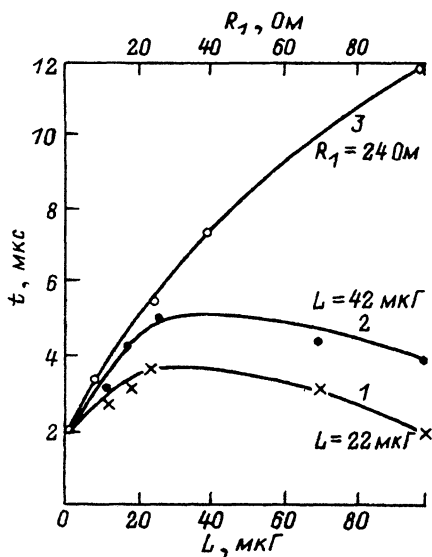


Рис. 2. Зависимость длительности t объемного разряда от параметров схемы R_1 (1 и 2) и L (3).

$\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He} = 10:20:70$, давление смеси 1 атм, напряжение генератора $U = 100$ кВ.

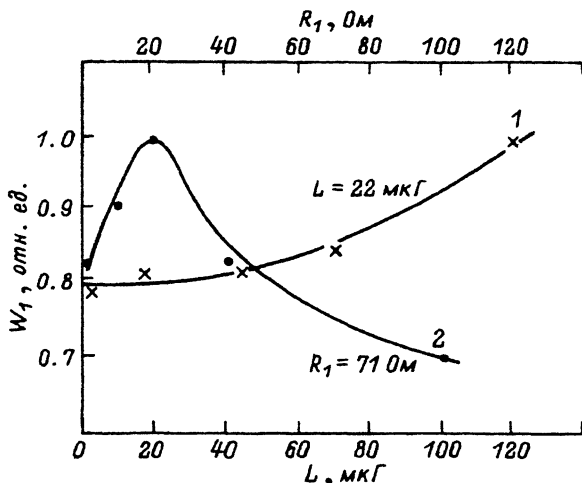


Рис. 3. Зависимость энергии W_1 излучения лазера от параметров R_1 (1) и L (2).

троны из его плазмы проникают в основной промежуток под действием напряжения, приложенного к ВП. Известно, что при воздействии пучка электронов на катодный слой несамостоятельного разряда [6,7] или на катодный слой тлеющего разряда [8] снижается катодное падение напряжения и повышается устойчивость этих разрядов по отношению к контракции. Видимо, и в рассматриваемом случае происходит уменьшение катодного падения напряжения за счет эмиссии электронов из плазмы вспомогательного промежутка, повышение устойчивости и длительного объемного разряда и приближение режима работы данной системы к режиму несамостоятельного разряда. Рассмотрим некоторые особенности работы системы.

1. При $R_1 \rightarrow 0$, $L \rightarrow \infty$ и $C_3 \ll C_1$ схема представляет собой систему с плазменным электродом [2]. В этом случае $i_1 = i_3$, $i_2 = 0$ и t определяется емкостью C_1 , суммой сопротивлений плазмы обоих промежутков, паразитной индуктивностью схемы и составляет 1.8 мкс.

2. $R_1 \rightarrow \infty$, $L \rightarrow 0$, $C_3 \ll C_1$. В этом случае формирование разряда в основном промежутке происходит по "классической" схеме [4], т.е. за счет УФ облучения промежутка и приложения к нему импульса напряжения с крутым фронтом. $i_1 = 0$, $i_2 = i_3$, t составляет, как и в первом случае, ~ 1.8 мкс. В катодном слое дополнительно возникают только электроны за счет УФ излучения.

3. При $R_1 \rightarrow \infty$, $L = \text{const}$, $C_3 = C_1$ реализуется режим динамического профилирования электрического поля объемным зарядом электронов [9] с длительностью $t = 1.8$ мкс. И в этом случае подпитка катодного слоя осуществляется за счет УФ излучения.

В промежуточных случаях при значениях L и R_1 , указанных выше, объемный разряд вспомогательного промежутка оказывает влияние на катодный слой основного путем эмиссии электронов из его плазмы. При увеличении R_1 (рис. 2, кривые 1,2) t достигает некоторого максимального значения за счет увеличения длительности тока i_1 и эффективной поставки электронов в катодный слой. Дальнейшее увеличение R_1 приводит к снижению концентрации электронов, проникающих в катодный

слой. Растет катодное падение напряжения и уменьшается длительность основного разряда.

Зависимости энергии излучения W_1 от L и R_1 приведены на рис. 3. Энергосъем W_1 увеличивается при увеличении R_1 за счет снижения потерь энергии в R_1 и во вспомогательном разряде. Характер зависимости W_1 от L объясняется тем, что сначала увеличивается добротность разрядного контура и повышается энерговклад в объемный разряд, а при дальнейшем увеличении L растут относительные потери энергии в R_1 и плазме ВП. За счет ограничения тока i_1 сопротивлением R_1 суммарные потери энергии не превышают 10% от энергии W , запасенной в генераторе C_1 , и КПД системы составляет $\sim 17\%$. Если оценить КПД лазера как отношение энергии излучения W_1 к энергии W_2 , выделившейся в плазме основного промежутка, то $W_1/W_2 = 20-25\%$.

В заключение можно отметить, что в смеси $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He} = 10:20:50$ при давлении 0.8 атм получены ОСР с t до 50 мкс и длительностью импульса излучения 30-40 мкс. Пучок импульса излучения в этих случаях отсутствовал и амплитуда мощности излучения снижалась в 10-15 раз.

Список литературы

- [1] *Suhre D.R., Pechersky M.J., Lowry J.F., Roach J.F.* // J. Appl. Phys. 1989. Vol. 65. N 3. P. 954-958.
- [2] *Atanasov P.A., Vasilev S.G., Kovalyov I.O. et al.* // J. Phys. D. 1988. Vol. 21. P. 1750-1754.
- [3] *Чанг Т.Дж.* // Приборы для научных исследований. 1974. Т. 44. № 4. С. 43.
- [4] *Richardson M.C., Leopold N., Alcock A.T.* // J. Quant. Electr. 1973. Vol. QE-9. N 9. P. 934-939.
- [5] *Павловский А.И., Басманов В.Ф., Босамыкин В.С. и др.* // Тез. докл. II Всесоюз. совещания по физике электрического пробоя газов. Тарту, 1984. С. 330.
- [6] *Королев Ю.Д., Пономарев В.Б., Сынах В.С.* // ЖПМТФ. 1979. № 1. С. 21-25.
- [7] *Захаров В.В., Карпиков А.А., Чехунов Е.В.* // ЖТФ. 1976. Т. 46. Вып. 9. С. 1846-1856.
- [8] *Акишев Ю.С., Баранов В.Ю., Волчек А.М. и др.* // ЖТФ. 1987. Т. 57. Вып. 7. С. 1317-1323.
- [9] *Аполлонов В.В., Байкур Г.Г., Проторов А.М., Фирсов К.Н.* // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. Вып. 20. С. 1262-1264.

Научно-исследовательский институт
высоких напряжений при Томском
политехническом институте им.С.М.Кирова

Поступило в Редакцию
3 марта 1993 г.
В окончательной редакции
4 августа 1993 г.