

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЪЕМНОГО РАЗРЯДА, ВОЗБУЖДАЕМОГО ПАКЕТОМ ИМПУЛЬСОВ С ЧАСТОТОЙ ДО 100 кГц

И. П. Мартынов, В. Н. Мехряков, В. В. Осипов

Исследуются энергетические и временные характеристики объемного разряда, возбуждаемого пакетом импульсов с частотой 100 кГц в CO_2 средах атмосферного давления. При этом рассматривается влияние на предельный энерговклад числа импульсов в пакете, времени задержки между импульсами основного разряда, состава и давления газовой среды, условий зажигания вспомогательного разряда.

Введение

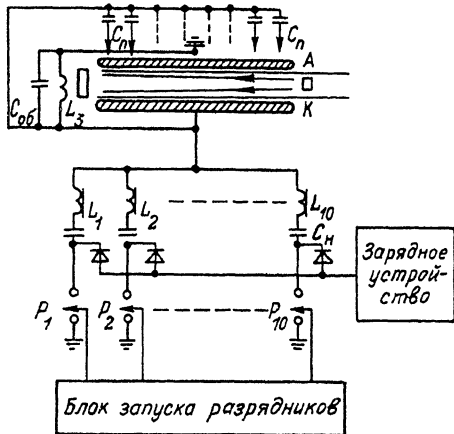
Известно, что для реализации высококачественной сварки, резки, сверления материалов требуются источники импульсно-периодического когерентного излучения с длительностью импульса 10^{-4} с, частотой повторения $10^2 - 10^3$ Гц и пиковой мощностью $10^7 - 10^8$ Вт/см² [1]. CO_2 лазеры с такими характеристиками могут быть созданы на основе электроразрядного лазера низкого давления или электроионизированного лазера высокого давления. Лазеры с низким давлением активной среды имеют малую удельную среднюю мощность излучения, а электроионизированные лазеры имеют сравнительно большие габариты и требуют радиационной защиты. Установлено, что длительность излучения в отдельной секции может достигать 10^{-5} с [2]. Дальнейшее увеличение длительности излучения в электроразрядном лазере высокого давления может быть получено при секционировании системы электродов и последовательном возбуждении секций [3]. Однако такой подход ведет к значительному увеличению длины активной среды, т. е. к росту габаритов и массы лазера.

В настоящей работе предлагается и исследуется метод создания активной среды в CO_2 лазере, при котором накачка рабочего вещества производится пакетом импульсов возбуждения с интервалом между импульсами, равным длительности генерации под действием одного импульса накачки τ_r . В этом случае полная длительность излучения τ будет складываться из отдельных времен τ_r , а число импульсов n возбуждения будет выбираться в соответствии с требуемой длительностью импульса излучения $n \approx \tau/\tau_r$.

Описание установки

Блок-схема экспериментальной установки для реализации предлагаемого метода возбуждения приведена на рис.1. Она состоит из газовой кюветы с трактом и системой прокачки газа, генератора пакета высоковольтных импульсов. Конструкция лазерной кюветы аналогична рассмотренной в [4]. Ее полный объем составлял 10^4 см³, активная зона имела размер $0.9 \times 0.6 \times 40$ см, прокачка рабочей среды через разрядный промежуток осуществлялась электровентильторами типа 2ДВО. Предварительная ионизация рабочей среды в межэлектродном объеме производилась вспомогательным диффузно-канальным разрядом [5], возбуждае-

Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки.



мым между основным анодом и вспомогательными секционированными электродами. Вспомогательные электроды имели 100 секций шириной 0.5 см^3 и устанавливались на расстоянии 0.25 см по обе стороны анода. Каждая секция запитывалась от индивидуального конденсатора емкостью 4.7 пФ . Электроды основного межэлектродного промежутка были выполнены из нержавеющей стали и имели плоскую часть шириной 0.6 см и закругления по краям радиусом 0.7 см .

Генератор импульсов накачки собран на разрядниках высокого давления $P_1—P_{10}$ тригатронного типа. Разрядники с регулируемым временным интервалом коммутируют накопительную емкость C_H на разрядный промежуток лазера. Последовательность срабатывания коммутаторов задается блоком запуска разрядников. В экспериментах период следования импульсов разряда можно было регулировать в пределах от 0.5 до 1000 мкс . На рис. 2 приведены характерные осциллограммы напряжения на разрядном промежутке.

Результаты эксперимента

Проводимые исследования были направлены в основном на выяснение энергетических возможностей метода с целью создания технологического CO_2 лазера атмосферного давления с длительным импульсом излучения. При этом изучалось влияние на предельную энергию, вводимую в газ, состава и давления

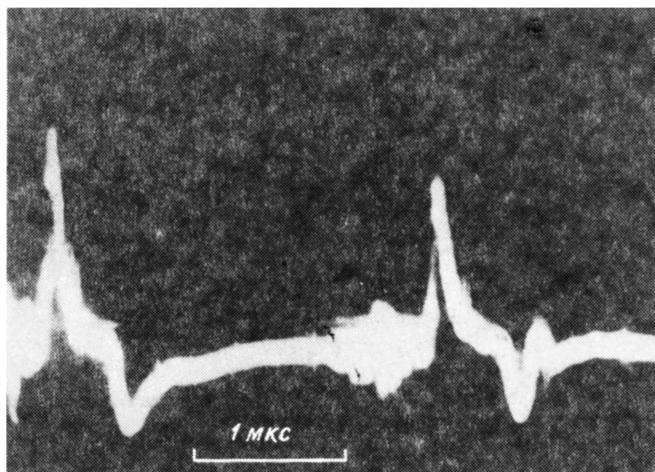


Рис. 2. Осциллограмма импульсов напряжения на разрядном промежутке лазера при $C_H=2 \text{ нФ}$, $U_{C_H}=18 \text{ кВ}$ в периоде следования импульсов 2.5 мкс .

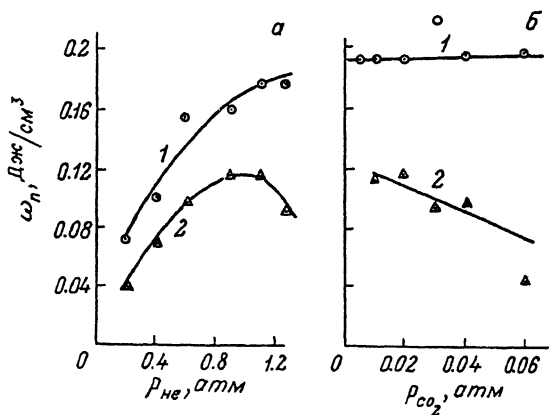


Рис. 3. Зависимости предельной удельной энергии, вводимой в газ, от парциального давления гелия в смеси $CO_2 : N_2 = 0.01 : 0.09$ атм (а) и от парциального давления CO_2 в смеси $N_2 : He = 0.09 : 0.9$ атм (б), $U_{сн} = 18$ кВ.

1 — возбуждение производилось одиночным импульсом, 2 — возбуждение среды производилось пакетом из 3 импульсов с периодом следования 10 мкс.

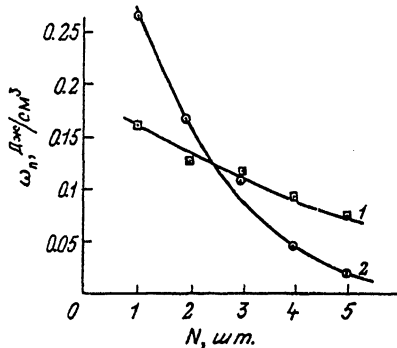


Рис. 4. Зависимость предельного удельного энергоклада $\omega_{п}$ от числа импульсов в пакете в смесях $CO_2 : N_2 : He = 1 : 9 : 90$ (1) и $CO_2 : N_2 : He : H_2 = 1 : 9 : 85 : 5$ (2) при $p=1$ атм, $U_{сн}=18$ кВ и периоде следования импульсов 10 мкс.

смеси газов, числа высоковольтных импульсов в пакете, осуществляющем возбуждение рабочей среды, и времени задержки между ними.

На рис. 3 приведены зависимости предельной удельной энергии $\omega_{п}$, вводимой в газ, от состава и давления рабочей среды. Видно, что с повышением содержания гелия в газовой смеси $\omega_{п}$ увеличивается, а по мере роста содержания молекулярных компонент газа уменьшается, за исключением добавок H_2 .

Влияние водорода на $\omega_{п}$ неоднозначно и зависит от числа высоковольтных импульсов в пакете N . Сопоставление зависимости $\omega_{п} = f(N)$ (рис.4), полученных с добавками водорода (кривая 2) и без него (кривая 1), показало следующее. Если N меньше трех, то давление H_2 в газовую смесь ведет к увеличению $\omega_{п}$,

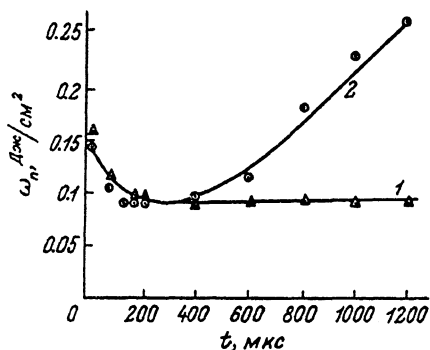


Рис. 5. Зависимость предельного удельного энергоклада $\omega_{п}$ от времени задержки между импульсами возбуждения без прокачки газа через межэлектродный промежуток (1) и с прокачкой газа со скоростью 20 м/с (2) в смеси $CO_2 : N_2 : He = 1 : 9 : 90$ при $p=1$ атм и $U_{сн}=18$ кВ.

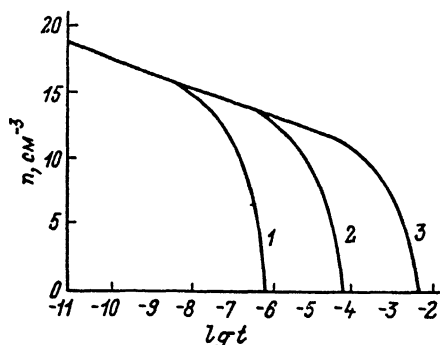


Рис. 6. Поведение концентрации электронов в плазменных образованиях радиусом 1 (1), 10 (2) и 100 мкм (3) в смеси газов $CO_2 : N_2 : He = 1 : 9 : 90$.

а при $N > 3$ это снижает предельный энерговклад.

На рис. 5 приведены зависимости предельного удельного энерговклада ω_{Π} от времени задержки t_3 между двумя импульсами возбуждения, подаваемыми на промежуток, с прокачкой газовой среды (кривая 2) и без нее (кривая 1). Эти данные показывают, что ω_{Π} уменьшается по мере увеличения t_3 вплоть до 250 мкс. В дальнейшем при $t_3 > 350$ мкс с включенной прокачкой наблюдается рост ω_{Π} , а при ее отсутствии ω_{Π} остается на некотором постоянном минимальном уровне в течение 10^{-2} с.

Такое поведение вышеприведенных зависимостей может быть связано с существованием в приэлектродных областях флуктуаций концентраций заряженных частиц, температуры и давления газа. Оценки изменения концентрации заряженных частиц в паузе между импульсами производились с помощью уравнения

$$\frac{dn_e}{dt} = -\frac{D}{\Lambda^2} n_e - k_r n_e^2 - k_p n_e^3,$$

где n_e — концентрация электронов, k_r и k_p — коэффициенты двух- и трехчастичной рекомбинации, D — коэффициент диффузии, $1/\Lambda = \pi \cdot R^{-1}$, R — радиус флуктуации.

Результаты расчетов поведения концентрации зарядоносителей в плазменных образованиях различного диаметра в отсутствие поля приведены на рис. 6. Видно, что даже при небольших размерах флуктуаций их существование в промежутке оказывается длительным, превышающим период следования импульсов. Естественно, что появление в межэлектродном объеме таких флуктуаций будет приводить к искажению электрического поля в нем на последующем импульсе возбуждения, неоднородному энерговыведению и снижению предельных энерговкладов. Причем ситуация будет усугубляться при увеличении времени задержки между импульсами и подвижности зарядов вследствие роста размеров флуктуаций, что как раз и наблюдается в эксперименте (рис. 4). Более того, в областях флуктуаций температура газа должна быть повышенной, а давление пониженным, что также ведет к ускоренному нарастанию тока в указанных областях.

Увеличение предельных энерговкладов при времени задержки между импульсами более 350 мкс и наличии прокачки рабочей среды через газовый промежуток показывает, что, по-видимому, размеры флуктуаций превышают размеры пограничного слоя.

Учитывая длительное время существования плазмы в промежутке после прекращения разряда, рассматривались необходимость включения системы предыонизации на каждом импульсе в пакете и ее способность к работе при таких частотах. Для этого была собрана схема возбуждения, аналогичная приведенной на рис. 1, которая позволяла подавать девять высоковольтных импульсов на конденсаторы системы предыонизации и омическую нагрузку, а десятый импульс поступал на электроды лазера и конденсаторы системы предыонизации. В этом случае на десятом импульсе всегда зажигался объемный разряд с энерговкладом более 0.1 Дж/см³. В случае, когда на конденсаторы системы предыонизации на десятом импульсе напряжение не подавалось, разряд между электродами всегда имел канальный характер. Данные факты свидетельствуют об удовлетворительной работе системы предыонизации при частоте следования импульсов до 100 кГц. Эксперименты также указали на необходимость зажигания вспомогательного разряда перед каждым возбуждением основного объемного разряда. Причем для возбуждения разряда объемного характера необходимо, чтобы длительность задержки между вспомогательным и основным разрядами при первом включении не превышала 2.5 мкс, а при последующих включениях предварительная ионизация должна осуществляться во время нарастания напряжения, подаваемого на

основной промежуток. В противном случае разряд наблюдался в виде отдельного канала.

Необходимость осуществления предварительной ионизации с уровнем $\sim 10^8 \text{ см}^{-3}$ в плазме с концентрацией больше этого значения, на наш взгляд, может быть связано с разделением зарядов при наложении на промежуток электрического поля. Оценки показывают, что в плазме с концентрацией 10^{11} см^{-3} возможно образование зоны, обедненной электронами, длина которой для наших экспериментальных условий может составлять ~ 1 мм. В этой зоне оказывается повышенной напряженность поля и при отсутствии вспомогательного разряда случайные электроны, попавшие в эту зону, формируют цепь электронных лавин и образуют неперекрывающиеся плазменные шнуры, по которым в дальнейшем происходит замыкание тока разряда. Именно эти стриммеры, по нашему мнению, являются местом зарождения каналов.

Таким образом, в работе показаны количественные ограничения, которые накладываются на ввод энергии в газовую среду при частотах следования импульсов возбуждения до 100 кГц. Доказана необходимость предварительной ионизации рабочей среды при каждом возбуждении основного объемного разряда. Обоснована возможность успешной работы системы предыонизации в рассмотренном диапазоне частот.

Список литературы

- [1] *Абильситов Г. Г.* // Электротехника. 1987. № 11. С. 30—33.
- [2] *Hamilton D. C., James D. J., Ramsden S. A.* // J. Phys. Sci. Instr. 1975. № 8. С. 849—952.
- [3] *Кудряшов В. П., Осипов В. В., Савин В. В.* // Квантовая электрон. 1979. Т. 6. № 2. С. 417—421.
- [4] *Осипов В. В., Тельнов В. А., Хамидулин Г. М.* // ПТЭ. 1988. № 1. С. 181—182.
- [5] *Mesyats G. A., Osipov V. V., Orlovsky V. M.* // Inter. conf. on Lasers'88. STS Press McLean, 1988. P. 343—348.

Институт электрофизики УРО РАН
Свердловск

Поступило в Редакцию
8 января 1991 г.