

04:07:12

Эффективный электроразрядный СО₂-лазер с предимпульсом, формируемым генератором с индуктивным накопителем энергии

© *Е.Х. Бакшт, В.М. Орловский, А.Н. Панченко, В.Ф. Тарасенко*

Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск

Поступило в Редакцию 29 июля 1997 г.

Приведены результаты экспериментальных исследований СО₂-лазера с накачкой самостоятельным разрядом от генератора с индуктивным накопителем энергии и полупроводниковым прерывателем тока. Показано, что за счет энергии, запасаемой в индуктивности разрядного контура, формируется предимпульс, позволяющий осуществлять основной энерговклад в рабочую смесь при значениях параметра E/p , близких к оптимальным. На электроразрядном лазере с активным объемом 0.181 получена энергия излучения 3 Дж с эффективностью относительно энергии, запасаемой в емкостном накопителе, 17%.

1. В настоящее время электроразрядные СО₂-лазеры находят все более широкое применение в различных областях науки и техники. Поэтому дальнейшее совершенствование данных лазеров, в частности повышение их эффективности, является актуальной научно-технической задачей. Как известно, для эффективной накачки СО₂-лазера электрическим разрядом необходимо наряду с сохранением однородности разряда поддерживать на разрядном промежутке оптимальную величину параметра E/p (E — напряженность электрического поля, p — давление газа) в пределах $5 < E/p < 15 \text{ V/cm} \cdot (\text{mmHg})$ в зависимости от состава смеси и длительности накачки [1]. Данный диапазон E/p соответствует напряжению на лазерном промежутке ниже статического пробивного [2] и обычно реализуется при накачке самостоятельным разрядом лишь в течение короткого времени при малых токах. Поэтому электроразрядные импульсные лазеры атмосферного давления имеют, как правило, эффективности 5–12% [2,3]. Величину параметра E/p во время импульса возбуждения можно уменьшить при понижении зарядного напряжения, но это при накачке самостоятельным разрядом

существенно уменьшает вкладываемую в рабочую смесь энергию и может приводить к контрагированию разряда. Избежать контрагирования и увеличить вкладываемую энергию при пониженных E/p удастся при использовании профилированных электродов, которые создают в разрядном промежутке однородное поле, и высокой начальной концентрации электронов от внешнего ионизатора. В качестве такого ионизатора используется интенсивное ультрафиолетовое излучение [4–6], схемы формирования высоковольтного предимпульса [7,8] и пучок электронов [9]. Однако при увеличении интенсивности УФ излучения затраты энергии на предьонизацию становятся сравнимы с энергией, вводимой в активную среду от основного накопителя и полный КПД лазера не увеличивается, оставаясь $\leq 10\%$ [3]. Схемы формирования высоковольтного предимпульса довольно сложны и не получили распространения. Наибольшие эффективности CO_2 -лазера получены при накачке несамостоятельным разрядом, контролируемым пучком электронов [10], но преимущества данного способа накачки проявляются только при создании сравнительно больших установок с энергией излучения более 100 J, на которых требуется биологическая защита.

В данной работе впервые сообщается о создании эффективного электроразрядного CO_2 -лазера, в котором для формирования разряда используется предимпульс от генератора с индуктивным накопителем энергии и полупроводниковым прерывателем тока. Ранее подобный генератор накачки был использован нами для возбуждения других типов импульсных лазеров (XeCl, азотного, плазменного пенинговского на неоне и нецепного HF) [11,12].

2. Электрическая схема и конструкция лазера были подобны используемым в [12]. Активный объем лазера составил $V = 1 \times 3.3 \times 55 \text{ cm}$ (межэлектродный зазор $d = 3.3 \text{ cm}$). Для предьонизации применялось УФ излучение барьерного разряда, который формировался под сетчатым анодом при разряде емкости $C_n = 3 \text{ nF}$. Параллельно лазерному промежутку устанавливались полупроводниковые диоды СДЛ-0, 4-800, работающие в режиме прерывания тока. Величины емкостей и зарядное напряжение в контуре предварительного пропускания тока в прямом направлении через полупроводниковые диоды (контуре раскачки) и основном контуре были равны $C_0 = 10 \text{ nF}$ и $C_1 = 45$ или 90 nF , $U_0 = 20 \text{ kV}$ и $U_1 = 15\text{--}30 \text{ kV}$ соответственно. Время предварительного пропускания тока через прерыватель, равное полупериоду колебания тока в контуре раскачки, было выбрано равным 800 ns , а пропускаемый

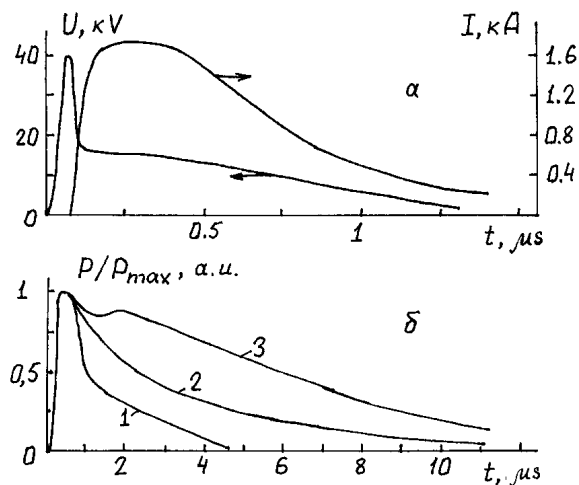


Рис. 1. Осциллограммы импульсов напряжения на лазерном промежутке, тока разряда (а) и излучения (б). Смесь He:CO₂:N₂=3:1:1 при $p = 0.3$ ат, $C_1=90$ нФ, $U_1 = 17$ кВ (а). Смеси He:CO₂:N₂=3:1:1 (1), He:CO₂:N₂=3:0.7:1.4 (2) и He:CO₂:N₂=3:0.4:1.6 (3) при $p = 0.4$ ат, $C_1=45$ нФ, $U_1 = 30$ кВ (б).

ток при этом был на порядок меньше, чем в основном контуре. Импульсы тока в разрядных контурах, напряжения на лазерном промежутке и импульсы лазерного излучения регистрировались соответственно омическими шунтами, делителем напряжения и фотоприемником ФСГ-0.22, сигналы с которых подавались на осциллограф С8-14. Энергия излучения измерялась калориметром ИКТ-1Н. Рабочие смеси, состоящие из углекислого газа, азота и гелия готовились непосредственно в лазерной камере. Резонатор был образован сферическим медным зеркалом с $R = 5$ м и плоскопараллельной пластинкой из КРС-5.

3. Основные результаты иллюстрируют рис. 1 и 2. Индуктивный накопитель энергии формировал импульсы напряжения с крутым передним фронтом и максимальной амплитудой $U = 3U_0$, что позволяло получать объемный разряд в лазерном промежутке при давлении смеси до 0.5 ат и зарядном напряжении емкостного накопителя меньше статического пробивного. После зажигания объемного разряда напряжение

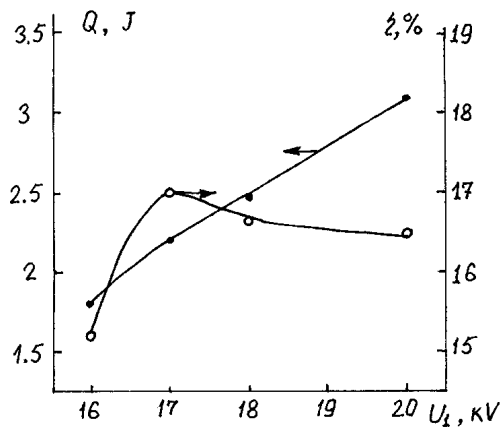


Рис. 2. Зависимости энергии излучения и эффективности CO_2 -лазера от зарядного напряжения. Смесь $\text{He}:\text{CO}_2:\text{N}_2 = 3:1:1$ при $p = 0.3 \text{ ат}$, $C_1 = 90 \text{ нФ}$, $U_1 = 17 \text{ кВ}$.

на промежутке быстро спадает, и основной энерговклад в активную среду лазера происходит в течение $1.5\text{--}2 \mu\text{s}$ при значениях E/p , близких к оптимальным (рис. 1, *a*). В этом режиме получена максимальная эффективность работы CO_2 -лазера до 17% и энергия излучения до 3 J в импульсе (рис. 2). Следует отметить, что данная схема накачки давала возможность легко изменять длительность импульсов генерации в пределах от 4 до $14 \mu\text{s}$ за счет изменения содержания азота в рабочей смеси (рис. 1, *b*). Время запаздывания импульса генерации относительно импульса тока разряда в оптимальном режиме равнялось $\sim 1 \mu\text{s}$. При уменьшении величины накопительного конденсатора, для достижения энергии излучения 2–3 J надо было значительно увеличивать зарядное напряжение, что в свою очередь приводило к увеличению напряжения на газоразрядной плазме во время накачки и снижало КПД лазера до $\sim 10\%$. Такая же величина КПД реализовывалась при использовании обычной схемы накачки с накопительным и обострительным конденсаторами.

4. В заключение отметим, что на электроразрядном лазере с накачкой от генератора с индуктивным накопителем энергии и полупроводниковым прерывателем тока при активном объеме $V = 1 \times 3.3 \times 55 \text{ см}$

получена энергия излучения 3 J с эффективностью относительно энергии, запасаемой в емкостных накопителях, 17%. Показано, что за счет энергии, запасаемой в индуктивности разрядного контура, формируется предымпульс, позволяющий осуществлять основной энергоклад в рабочую смесь при значениях параметра E/p , близких к оптимальным. Можно прогнозировать, что CO₂-лазеры с накачкой самостоятельным разрядом от генератора с индуктивным накопителем энергии и полупроводниковыми прерывателями тока найдут в будущем широкое практическое применение.

Список литературы

- [1] Лобанов А.Н., Сучков А.Ф. // Квантовая электроника. 1974. Т. 1. № 5. С. 1527–1535.
- [2] Виттеман В. CO₂-лазер. М.: Мир, 1990. 360 с.
- [3] Mesyats G.A., Osipov V.V., Tarasenko V.F. Pulsed gas lasers. Washington, USA: SPIE Press, 1995. 374 p.
- [4] Lind R.C., Wada G.Y., Dunning C.I. et al. // IEEE J. Quant. Elect. 1974. V. 10. N 10. P. 818–821.
- [5] Levin J.S., Javan A. // Appl. Phys. Lett. 1973. V. 22. N 2. P. 55–57.
- [6] Morikava E.J. // Appl. Phys. 1977. V. 48. N 3. P. 1229–1239.
- [7] Бычков Ю.И., Осипов В.В., Тельнов В.А. ПТЭ. 1981. № 4. С. 165–167.
- [8] Оришич А.М., Пономаренко А.Г., Солоухин Р.И. Газовые лазеры. Новосибирск: Наука, 1977. С. 298–302.
- [9] Ковальчук Б.М., Кремнев В.В., Месяц Г.А. // Докл. АН СССР. 1970. Т. 191. № 1. С. 76–78.
- [10] Бугаев С.П., Бычков Ю.И., Карлова Е.К. и др. // Письма в ЖТФ. 1975. Т. 1. В. 10. С. 492–496.
- [11] Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф. // Квантовая электроника. 1990. Т. 17. № 1. С. 32–34.
- [12] Ломаев М.И., Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф. // Квантовая электроника. 1997. Т. 24. № 6. С. 499–500.