

Характеристики управляемого тригатроном ТЕА СО₂-лазера с низкой частотой следования импульсов и предварительной ионизацией поверхностным коронным разрядом*

М.Арам, А.Бейят, М.Шабанзаде, Ф.Манзори

Описана конструкция ТЕА СО₂-лазера с ультрафиолетовой предыонизацией поверхностным коронным разрядом, приведены зависимости средней выходной энергии лазера от скорости прокачки газовой смеси, напряжения разряда и частоты следования импульсов. Рассмотрены электрическая схема и структура системы предварительной ионизации. Разработанная электрическая схема обеспечивала между электродами лазера только импульсное напряжение. Для предотвращения возникновения дуги была также использована схема тригатрона с триггером. Представлены некоторые зависимости тока, напряжения и средней выходной энергии от состава газовой смеси и приложенных напряжений при низкой частоте следования импульсов. Для измерений центральной длины волны излучения использовался ИК спектрометр. Наблюдалась лазерная генерация на двух соседних колебательно-вращательных переходах молекулы СО₂, что говорит о возможности одновременной генерации на нескольких линиях.

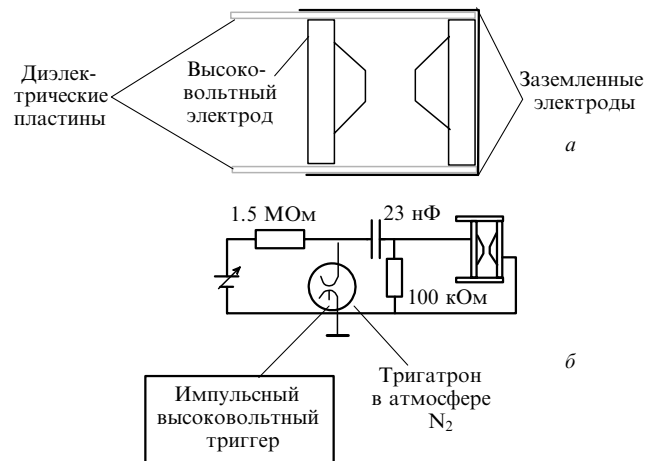
Ключевые слова: импульсный СО₂-лазер, УФ предыонизация, поверхностный коронный разряд.

1. Введение

ТЕА СО₂-лазеры с длинами волн в диапазоне 9–12 мкм имеют множество применений, среди которых – оптическая накачка ИК лазеров [1], плазменная обработка материалов [2] и дистанционный контроль, в частности при использовании в лидарах дифференциального поглощения [3, 4]. Стандартным способом накачки ТЕА СО₂-лазера является метод двойного электрического разряда [5]: разряд предварительной ионизации в непосредственной близости от активной среды увеличивает энергию атомов и молекул в ней, формируя УФ излучение, и через определенное время подается основной разряд, возбуждая рабочие атомы или молекулы и приводя к генерации собственно лазерного импульса.

Существуют два основных метода создания УФ предыонизации: с помощью системы искровых разрядников [6, 7] или поверхностным коронным разрядом [8, 9]. В первом методе несколько пар параллельных игольчатых электродов располагаются вдоль газоразрядного промежутка с одной или с двух сторон. При приложении предварительного напряжения система разрядников формирует УФ излучение, которое осуществляет предварительную ионизацию активной среды. Высокая температура и большая плотность электронов вызывают электронное возбуждение молекул, иногда приводя к уничтожению молекул СО₂, что, естественно, является нежелательным. СО₂-лазер с УФ предыонизацией системой иск-

ровых разрядников уже исследовался ранее [7]. В основе второго метода лежит использование двух параллельных металлических пластин, разделенных изолятором, например стеклом или керамикой. Возникающий при приложении высокого напряжения между пластинами поверхностный разряд позволяет разреженному облаку высокоэнергетичных электронов перемещаться вдоль поверхности (рис. 1, а). При столкновении электронов с поверхностными атомами изолятора возникает УФ излучение. При использовании этого метода из-за меньшей плотности электронов повреждается меньше рабочих молекул. Кроме того, спектр излучения в этом случае более узкий, чем при использовании системы с разрядниками. К преимуществам схемы с поверхностным коронным разрядом следует отнести простоту исполнения и экономичность [10–12]. К настоящему моменту уже опубликованы некоторые теоретические исследования схемы с поверхностным коронным разрядом [13].



*Перевод с англ. В.В.Кошечкиной

M.Aram, M.Shabanzadeh, F.Mansori. Gas Lasers Department, Laser Research Center, P.O. Box: 14155-1339, Tehran, Iran
A.Behjat. Physics Department, Yazd University, P.O.Box: 89178/741, Yazd, Iran; e-mail: abehjat@yazduni.ac.ir

Поступила в редакцию 22 ноября 2005 г., после доработки – 20 июня 2006 г.

Рис. 1. Лазерный резонатор из плексигласа со стальными электродами и стеклянным изолятором (а) и электрическая схема поджига лазера (б).

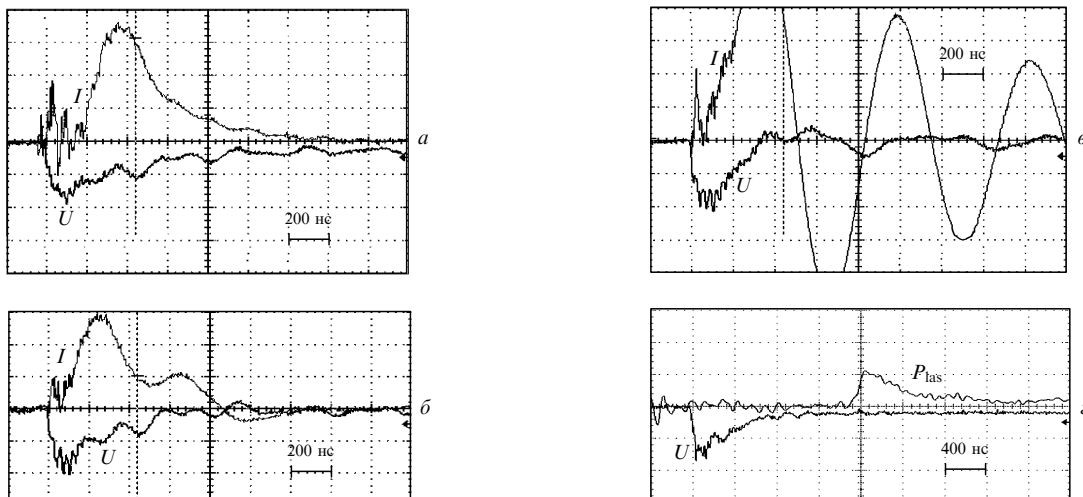


Рис.2. Осциллограммы напряжения и тока при $V = 14$ (а), 16 (б) и 18 кВ (в) (скорости прокачки F газовой смеси одинаковы для всех трех случаев и составляют 5.2 л/мин (He), 2.2 л/мин (CO₂) и 0.4 л/мин (N₂) и осциллограммы характерного лазерного импульса и напряжения при основном напряжении 16 кВ (з).

2. Эксперимент

Лазерная кювета была выполнена из полиметилметакрилата (Perspex) со стальными электродами (рис.1,а). Для получения УФ предыонизации в качестве изоляторов использовались стеклянные пластины толщиной 1.5 мм. Электрическая схема модуля предыонизации лазера показана на рис.1,б. Высоковольтным триггером служил тригatronный переключатель гетерополярной конфигурации [14], находящийся в атмосфере азота под давлением. Основная емкость состояла из 12 керамических конденсаторов TDK емкостью 2.0 нФ каждый. Измерение и контроль скорости газового потока осуществлялись при помощи трех одинаковых измерителей потока. Для измерения напряжения и тока использовались осциллограф Tektronics р6015 (1:1000) и индукционная катушка Pearson Electronics (1:40). Энергия лазерного импульса измерялась измерителем энергии Coherent LM-P10F. Для наблюдения и измерения выходного сигнала использовалось приемное устройство Rofin-sinar 7425 Photon-Drag совместно с осциллографом Tektronics 3052 DSO.

3. Результаты исследований

В лазере использовалась газовая смесь, необходимая для осуществления импульсного тлеющего разряда при характерном напряжении 14 кВ и частоте следования импульсов 1 Гц. Напряжение и импульсы тока газоразрядного промежутка измерялись для постоянных напряжений 14 , 16 и 18 кВ (рис.2). Видно, что при 18 кВ тлеющий разряд переходит в дуговой и наблюдаются периодические колебания напряжения и тока. В этой ситуации напряжение быстро падает практически до нуля, а пиковое значение тока увеличивается более чем до 1600 А. В связи с этим основное напряжение было зафиксировано на уровне 16 кВ, при котором напряжение газоразрядного промежутка было устойчивым и составляло 5 кВ, а пиковый ток был равен 1200 А; форма лазерного импульса в этом режиме показана на рис.2,з. Пиковая мощность лазерного импульса составила ~ 400 кВт, а его длительность – 80 нс.

Было исследовано влияние состава газовой смеси на

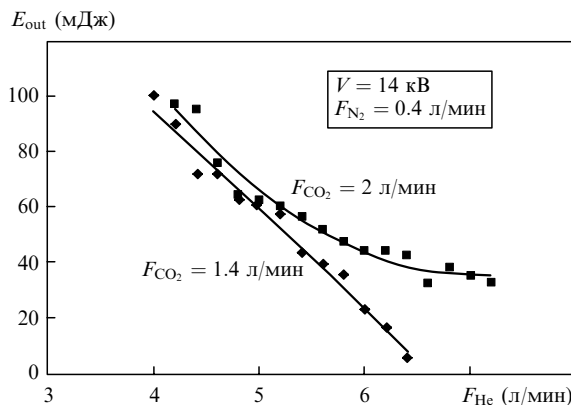


Рис.3. Энергия лазерного импульса в зависимости от скорости прокачки F He в газовой смеси при входном напряжении 14 кВ и неизменных основных емкостях.

энергию выходного импульса при неизменном входном напряжении 14 кВ и емкости основных конденсаторов. На рис.3 показано, как скорость изменения объема He в газовой смеси влияет на энергию лазерного импульса (для двух скоростей потока CO₂). На рис.4 изображена зависимость выходной энергии лазера от скорости прокачки CO₂ в газовой смеси (скорости прокачки He и N₂ постоянны). Во избежание неравномерности газового

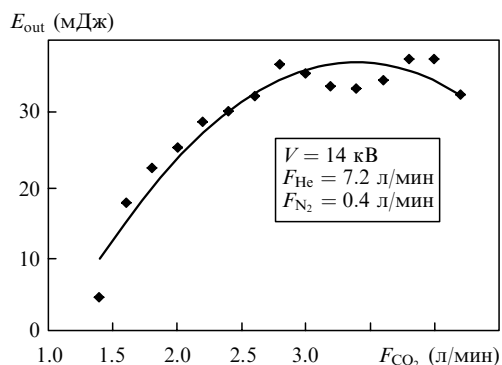


Рис.4. Энергия лазерного импульса в зависимости от скорости прокачки F_{CO_2} в газовой смеси при входном напряжении 14 кВ и неизменных основных емкостях.

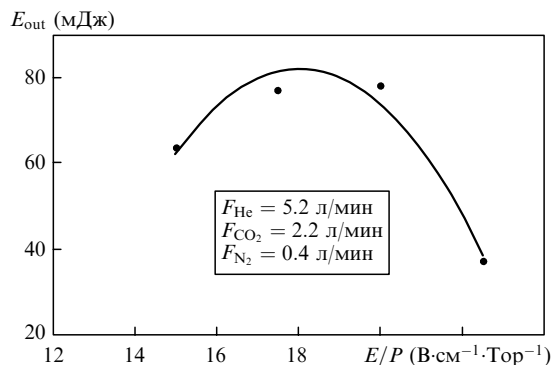


Рис.5. Влияние приведенной напряженности электрического поля на выходную энергию лазера при условии неизменного состава газовой смеси и величины основных емкостей.

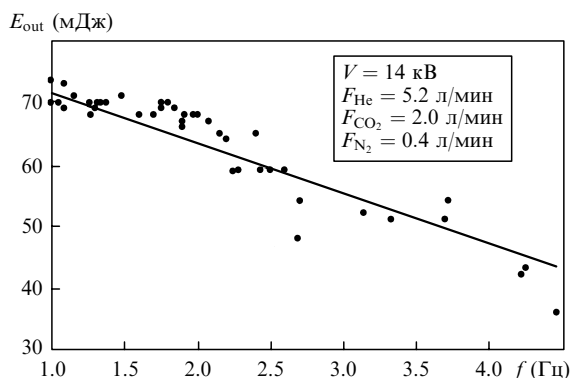


Рис.6. Зависимость энергии лазерного импульса от частоты следования импульсов f .

разряда использовалось максимальное количество He ($F = 7.2$ л/мин). Также исследовалось влияние приложенного напряжения на выходную энергию при неизменных составе газовой смеси и величине основных емкостей (рис.5). И, наконец, была измерена выходная энергия как функция частоты следования импульсов (рис.6).

Зависимость средней выходной мощности лазера, рассчитанной при входном электрическом напряжении 14 кВ и скоростях прокачки гелия 5.2 л/мин, азота 0.4 л/мин и углекислого газа 2 л/мин, от частоты следования импульсов показана на рис.7. Видно, что средняя выходная энергия линейно растет с частотой следования вплоть до 4 Гц. Расчетная зависимость полного КПД лазера от частоты следования импульсов представлена на рис.8. Максимальный КПД лазера составил около 3.3 %.

Выходное излучение CO₂-лазера исследовалось спектроанализатором (Optical Engineering), центральная длина волны составила 10.58 мкм. При небольшом изменении заднего зеркала наблюдалась генерация на длинах волн 10.56 и 10.58 мкм.

4. Заключение

Представлен ТЕА CO₂-лазер с предыонизацией поверхностным коронным разрядом (через стеклянную поверхность) и системой прокачки газа. Приведены некоторые экспериментальные результаты, полученные для выходной энергии лазера при низких частотах следования импульсов. Исследованы зависимости средней выходной энергии и КПД лазера от состава газовой смеси, прикладываемого напряжения и частоты следования им-

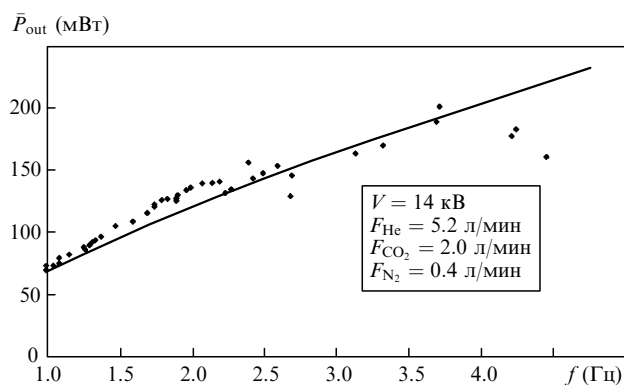


Рис.7. Зависимость рассчитанной средней выходной мощности лазера \bar{P}_{out} от частоты следования импульсов f .

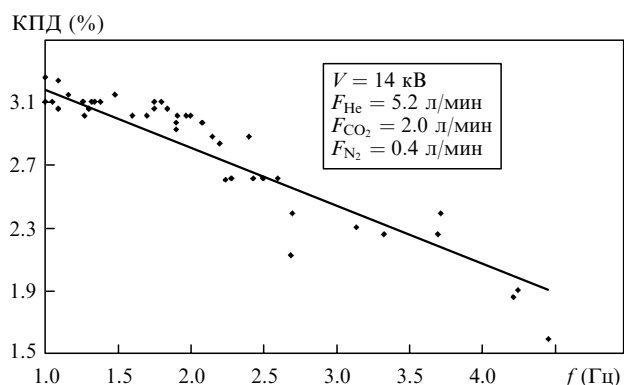


Рис.8. Зависимость полного КПД лазера от частоты следования импульсов f .

пульсов. Простота использования и стабильность выходных характеристик позволяют применять этот лазер для лабораторных исследований. Кроме того, возможны одновременная генерация и усиление на двух длинах волн.

Авторы благодарят S.H.Fakhraei, G.Azizabadi, G.Mokhtari и K.Shiraghazadeh. Работа спонсирована лазерным исследовательским центром AEOI.

- Behjat A., Soltanmoradi F., Silakhori K., Montazerolghaem M., Fathi V., Saifi A., Sadr R. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, **5777** (2), 535 (2004).
- Dyer P.E., Ramsden S.A., Sayers J.A., Skipper M.A. *J. Phys. D.*, **9**, 375 (1976).
- Carts Y.A. *Laser Focus World*, 71-82, Oct 1990.
- Cooke B., Schmitt M., Goeller R., Czuchlewski S., Fuller K., Olivas N., Laubscher B., Sander R. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, **2702**, 2, (1996).
- Judd O.P., Wada J.Y. *IEEE. J. Quant. Electron.*, **10** (1), 12 (1974).
- Soltanmoradi F., Naeimi S.A. *Sci. Bull. AEOI*, No. 7, 61 (1988).
- Aram M., Soltanmoradi F., Behjat A. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, **5483**, 43 (2003).
- Ernst G.J., Boer A.G. *Opt. Commun.*, **34**, 221 (1989).
- Behjat A., Aram M., Soltanmoradi F., Shabanzaadeh M. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, **6263**, 626305-1-05-6 (2005).
- Marchetti R., Penco E., Salvetti G. *IEEE. J. Quantum Electron.*, **19**, 1488 (1983).
- Marchetti R., Penco E., Salvetti G. *J. Appl. Phys.*, **56**, 3163 (1984).
- Soltanmoradi F., Jelvani S., Behroozinia S., Aram M. *Sci. Bull. AEOI*, No. 11-12, 57 (1993).
- Ashraf Ganjavi A., Bahrampor A. *Proc. 9th Photon. Gath. Phys. Soc. Iran* (5-6 Feb. 2003, p.6).
- Aram M. *J. Nucl. Sci. Technol. AEOI*, **2** (34), 33 (2005).