

## МНОВОЛНОВЫЙ ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫЙ ЛАЗЕР

В.В. Атежев, В.С. Букреев, С.К. Варгапетов, А.Н. Жуков,  
В.И. Конов, А.М. Прохоров, А.Д. Савельев

*Предложен новый тип импульсно-периодического лазера, позволяющего генерировать мощное лазерное излучение на отдельных линиях в различных диапазонах спектра (от 0,2 до 10,6 мкм), а также одновременно в ИК и УФ областях, и исследованы его энергетические характеристики.*

В настоящее время известен целый ряд мощных импульсных (импульсно-периодических) газовых лазеров на различных активных молекулах:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{DF}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{XeF}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{XeCl}$ ,  $\text{KrF}$ ,  $\text{ArF}$  и др. Принцип построения и конструкция всех перечисленных лазеров примерно одинаковы, и поскольку они генерируют излучение в различных диапазонах (от среднего ИК до ближнего УФ), возникает заманчивая идея — создать многоволновый лазер, т.е. лазер, который только за счет смены газовой смеси менял бы в широких пределах (от 0,2 до 10,6 мкм) спектральный диапазон излучения или осуществлял одновременную генерацию на нескольких длинах волн. Решению этой задачи и посвящена данная работа.

Основные проблемы создания такого универсального импульсно-периодического электроразрядного газового лазера заключаются в следующем. Во-первых, это получение однородного и устойчивого разряда в газовых смесях, кинетические процессы в которых существенно отличаются. Ясно, что схема возбуждения должна быть ориентирована на смеси с минимальным временем развития неустойчивостей. Во-вторых, ряд газов обладает высокой химической активностью и способен вызвать порчу элементов конструкции лазера, что требует принятия соответствующих превентивных мер. В-третьих, некоторые из используемых газов имеют высокую токсичность, что также должно быть учтено при разработке лазера.

Всем вышеуказанным требованиям в принципе должны удовлетворять эксимерные лазеры. Поэтому они и были взяты нами за основу при разработке многоволнового мощного импульсно-периодического лазера.

Схема возбуждения на основе водородного тиратрона ТГИ 1–1000/25 и магнитного звена сжатия импульсов тока [1] обеспечивала крутизну нарастания напряжения на электродах лазера более 0,5 кВ/нс. Напряжение на накопительных конденсаторах поддерживалось примерно постоянным и равным 24 кВ, что позволяло запасти в них энергию 11 Дж. Электродная система лазера состояла из плоского катода и профилированного анода длиной 50 см с расстоянием между ними 2,1 см. В качестве источников пред-ионизации использовался ряд искровых разрядников, расположенных вблизи плоскости катода. Поперечная прокачка газа по замкнутому циклу осуществлялась вентилятором через отверстия в анодной плате. Давление в камере можно было поднимать до величины  $p \leq 2,5 \cdot 10^5$  Па. Все конструктивные элементы установки, имеющие контакт с газовой средой, были пассивированы на фтор. Отметим, что режим  $\text{XeCl}$ -лазера на данной установке не исследовался из-за неудовлетворительной совместимости газовой смеси на основе хлористого водорода с другими газовыми смесями.

Таблица 1

Основные параметры излучения

Рабочая молекула	ArF	KrF	N <sub>2</sub>	XeF	HF	CO <sub>2</sub>
$\lambda$ , нм	193	248	337	351	2600 ÷ 3000	10600
E, мДж	100	200	5	80	250	550
КПД, %	0,9	1,7	0,04	0,7	2,4	5
T, нс	20	25	5	20	400	100 – $1,8 \cdot 10^5$

Одной из задач при создании многоволнового лазера является выбор оптического резонатора. В настоящей работе в качестве универсального резонатора для всех исследованных длин волн излучения был опробован резонатор из двух металлических зеркал, одно из которых сферическое, а другое плоское с отверстием для вывода излучения. Отметим, что этот хорошо известный тип резонатора в последние годы был несправедливо забыт и в исследуемом лазере проявил себя с наилучшей стороны, в особенности при генерации импульсов большой длительности с  $\lambda = 10,6$  мкм. Однако для достижения максимальной энергии излучения в режиме HF- и эксимерного лазера в качестве выходного зеркала использовалась пластина из фтористого кальция.

Полученные в наших опытах максимальные значения энергии  $E$  в импульсах излучения, КПД лазера на различных длинах волн и длительности импульсов генерации  $\tau$  представлены в табл. 1.

Видно, что на всех исследованных активных молекулах значения  $E$  оказались одного порядка величины (исключение составляет режим азотного лазера). Из анализа литературных данных [2,3] можно сделать вывод, что в данном лазере может быть также получена эффективная генерация на молекулах DF ( $\lambda = 3,5 \div 3,9$  мкм) и CO ( $\lambda = 5,1 \div 5,6$  мкм).

Разработанная конструкция многоволнового лазера оказалась перспективной при работе в режиме CO<sub>2</sub>-лазера. Из таблицы видно, сколь широким оказался диапазон перестройки длительности лазерных импульсов при  $\lambda = 10,6$  мкм. Причем во всем исследованном диапазоне величина  $E$  сильно не менялась; она имела наибольшее значение при  $\tau = 2$  мкс, а при  $\tau = 100$  нс и 150 мкс составляла соответственно 80 и 60 мДж. Основная причина такого результата заключается в конструкции лазера, позволившей значительно расширить диапазон варьирования состава газовой смеси и ее давления. На рис. 1 представлена экспериментальная зависимость  $E(p)$  для трех смесей CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, He. Видно, что в данной конструкции сравнительно просто удается получить генерацию не только в безгелиевой смеси (1:1:0), но и в чистом CO<sub>2</sub> (1:0:0).

Интересный результат был получен при существенном обогащении смеси азотом. При использовании смеси CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:He = 1:30:50 происходит не только значительное удлинение импульса генерации с  $\lambda = 10,6$  мкм ( $E \cong 60$  мДж,  $\tau = 120$  мкс), но также наблюдается УФ излучение молекулы азота ( $E \cong 0,5$  мДж,  $\tau = 5$  нс). В работе удалось также осуществить одновременную генерацию на молекулах HF и N<sub>2</sub>.

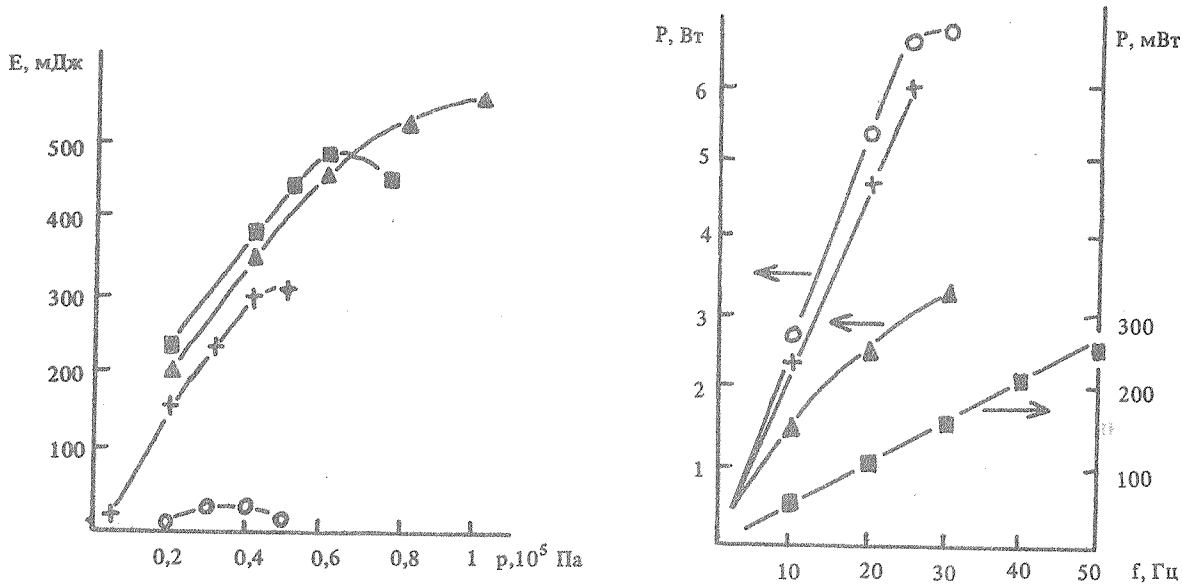


Рис. 1. Зависимость энергии излучения от давления смеси для различных смесей (▲ - CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:He = 1:1:2, ■ - 1:1:1, + - 1:1:0, ○ - 1:0:0).

Рис. 2. Зависимость средней мощности излучения от частоты повторения импульсов для различных активных молекул: ○ - CO<sub>2</sub>, + - HF, ▲ - Kr F, ■ - N<sub>2</sub>.

Таким образом, предлагаемый в работе подход позволяет получать генерацию на разных длинах волн не только при смене активной молекулы, но и при одновременном использовании двух или более активных молекул в газовой смеси. В этой связи отметим, что в работе /4/ при исследовании генерации эксимерного ХеСl-лазера отмечался еще один возможный случай двухволновой генерации: на молекулах эксимера ХеСl и атомарном ксеноне, а в работе /5/ — одновременная генерация на HF и DF.

Посмотрим теперь, каким образом тип газовой смеси влияет на величину средней мощности  $P$  излучения. На рис. 2 в качестве примера представлены зависимости  $P$  от частоты повторения  $f$  лазерных импульсов. Отметим сравнительно высокие полученные уровни  $P$ , которые были порядка нескольких ватт в режиме эксимерного и  $\text{CO}_2$ -лазера и достигали 250 мВт в режиме азотного лазера. Видно также некоторое качественное отличие в поведении кривых  $P(f)$  для различных газов. При работе на активной молекуле КгF, также как и на других эксимерных смесях, уже при малых частотах зависимость  $P(f)$  отклоняется от линейной. В то же время в режиме  $\text{CO}_2$  и  $\text{N}_2$  лазеров зависимости  $P(f)$  линейны до определенной частоты, выше которой средняя мощность излучения практически перестает увеличиваться.

В заключение отметим, что рассмотренный тип газоразрядных лазеров может представить значительный интерес в научных исследованиях, поскольку в зависимости от выбора газовой смеси они могут генерировать излучение в УФ или ИК диапазонах (а также одновременно на двух или более длинах волн) и имеют высокую пиковую и среднюю мощность излучения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Агеев В. П. и др. ЖТФ, 56, в. 7, 1387 (1986).
2. Biron S. R., Nelson L. Y., Mullaney G. J. Appl. Phys. Lett., 23, 565 (1973).
3. Rothen A., Rosenwaks S. Optics Comm., 30, № 2, 227 (1979).
4. Лосев В. Ф. и др. Квантовая электроника, 6, № 7, 1561 (1979).
5. Brandelik J. E., Breaux O. P. J. Appl. Phys., 51, № 3, 1321 (1980).

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 18 мая 1987 г.