

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

P9-92-37

И. В. Калагин, В. А. Мончинский, Э. Х. Салимов

ИМПУЛЬСНЫЙ TEA CO<sub>2</sub>-ЛАЗЕР  
ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ИСТОЧНИКА  
МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ

1992

Импульсный TEA CO<sub>2</sub>-лазер для лазерного источника многозарядных ионов

Приведено подробное описание импульсного TEA CO<sub>2</sub> лазера с ультрафиолетовой преионизацией газовой смеси, предназначенного для работы в составе лазерного источника ионов на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ. Накачка лазера осуществляется мощным импульсным генератором (модулятором), выполненным с применением нелинейных схем усиления мощности путем сжатия электромагнитной энергии во времени. Параметры лазера: энергия выходного излучения  $\sim 13$  Дж/им., длительность гигантского импульса на полувысоте  $\sim 100$  нс, расходимость излучения  $\sim 5 \cdot 10^{-3}$  рад., частота посылок до 1 Гц.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1992

Перевод авторов

Kalagin I.V., Monchinskij V.A., Salimov Eh.Kh.  
The Pulse TEA CO<sub>2</sub> Laser for a Laser Ion Source

P9-92-37

The detailed description of the pulse TEA CO<sub>2</sub> laser with an ultraviolet preionization of a gas mixture, meaning for a laser ion source is given. The excitation of the laser is carried out by the powerful pulse generator (modulator) with a time compression of an electromagnetic energy by means of using the nonlinear power amplification circuits. The laser has the following performances: the output energy is  $\sim 13$  J per pulse, the half height time of the giant pulse is about 100 ns, the beam divergence is  $\sim 5 \cdot 10^{-3}$  rad, the work frequency up to 1 Hz.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

## ВВЕДЕНИЕ

Основным элементом лазерного источника многозарядных ионов, работающего на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ /1/, является электроразрядный газовый ТЕА лазер, с ультрафиолетовой предьонизацией активного объема, работающий на смеси газов  $CO_2$  и  $N_2$  ( $CO_2$ -лазер), импульсная мощность которого во многом определяет спектр ионов на выходе источника.

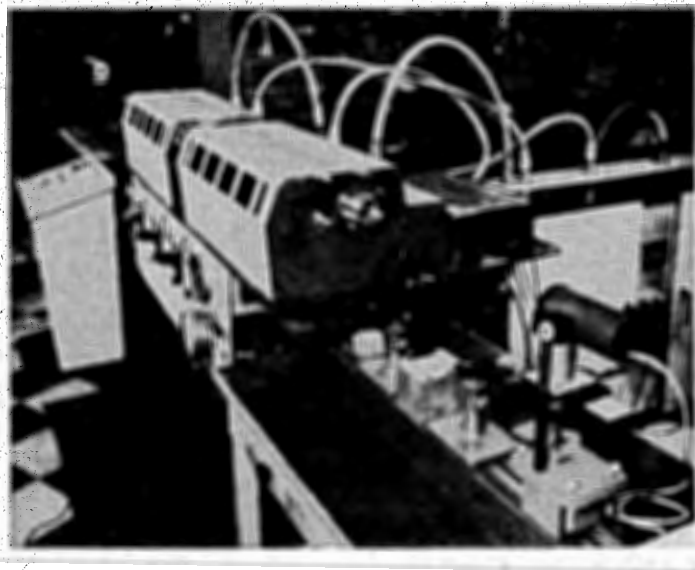


Рис. 1

Одной из основных проблем, возникающих при создании мощных импульсных газовых лазеров с накачкой самостоятельным разрядом /7/, является проблема получения объемного разряда и сохранение его однородности в течение всего времени ввода электрической энергии. Известно, что классический тлеющий разряд (объемный) существует только при низком ( $\sim 10^3$  Па) давлении. Естественная форма разряда при энерговкладе  $\sim 200$  Дж/(л·ата) – канальная. Условие формирования объемного разряда определяется целым рядом взаимосвязанных факторов. К основным из них относятся: давление, состав газовой смеси,

уровень и однородность предьонизации, режим ввода энергии, тип электронной системы и др. Для получения однородного тлеющего разряда необходим быстрый ввод энергии ( $\tau \approx 1$  мкс), первоначально запасенной в емкостном накопителе, в газовый объем лазера <sup>/8/</sup>. Среди различных импульсных схем, используемых в последнее время для накачки газовых лазеров <sup>/2/</sup>, наиболее привлекательными, с точки зрения эксплуатационных характеристик, являются схемы с тиратронным коммутатором и магнитными звеньями сжатия мощности. Эти схемы позволяют получать большие импульсные мощности и полностью отказаться от использования разрядников <sup>/4,6/</sup>.

В данной работе описан импульсный  $CO_2$  лазер, для накачки которого используется импульсный генератор с умножением напряжения за счет использования инверсии напряжения на накопительных емкостях (так называемый LC-генератор) и магнитные звенья сжатия мощности <sup>/3/</sup> рис.1.

#### СХЕМА И КОНСТРУКЦИЯ МОДУЛЯТОРА

Электрическая схема модулятора (рис.2) включает в себя LC-генератор, собранный на 4 конденсаторах ИМ-100-0,1, включенных по два параллельно в каждое плечо ( $C_1=C_2=200$  нФ).

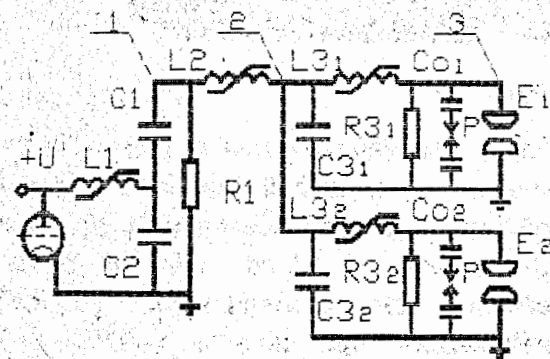


Рис. 2  
соединенных последовательно. Нелинейный дроссель, представляющий собой обмотку из 3 витков на пермалловом сердечнике размером 433×200×25 мм, обеспечивает задержку импульса тока по

отношению к моменту коммутации тиратрона, что приводит к снижению стартовых потерь <sup>/3/</sup>. Индуктивность  $L_1$  в насыщенном состоянии выбрана  $\sim 10$  мкГн, что ограничивает амплитудное значение тока через тиратрон на уровне  $\sim 4$  кА. Дроссель  $L_2$  представляет собой 8 витков на пермалловом сердечнике размером 250×90×100 мм. Каждая емкость  $C_{3к}$  величиной 44 нФ собрана из двух конденсаторов ИМ-70-0,1, соединенных последовательно. Дроссели  $L_{3к}$  - 3 витка на пермалловом сердечнике размером 250×90×100 мм. Обострительные емкости  $C_{ок} = 9$  нФ собраны из 80 конденсаторов К-15-4 емкостью 470 пФ, цепь конденсаторов имеет разрыв P, выполненный в виде 40 искровых промежутков, осуществляющих ультрафиолетовую предьонизацию разрядного промежутка  $E_k$ . Размагничивание дросселей осуществляется генератором размагничивающих импульсов тока <sup>/6/</sup>.

Конструкция модулятора представлена на рис.3.

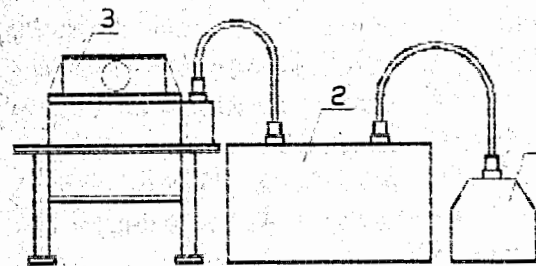


Рис. 3  
Модулятор питается от высоковольтного выпрямителя (1) типа УВ-50/50. Генератор размагничивающих импульсов тока, LC-генератор, индуктивность  $L_1$  и дроссель  $L_2$  расположены в металлическом шкафу (2), емкости  $C_{3к}$  и дроссели  $L_{3к}$  <sup>/к=1,2/</sup> расположены непосредственно в лазерных головках (3). Индуктивность кабелей, соединяющих шкаф с лазерными головками,  $\sim 1$  мкГн.

#### КОНСТРУКЦИЯ ЛАЗЕРА

Конструктивно лазер выполнен в виде двух головок. Головка (рис.4) состоит из двух частей - верхней и нижней.

В верхней части, объемом 200×760×100 мм размещены

разрядная камера лазера и оптический резонатор. Разрядная камера образована двумя профилированными электродами (1),

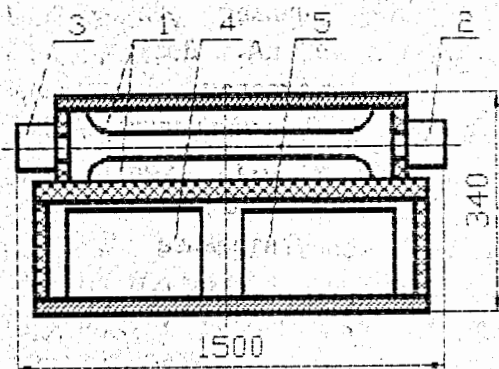


Рис. 4

В боковых стенках разрядной камеры имеются отверстия, необходимые для протока газовой смеси через активный объем.

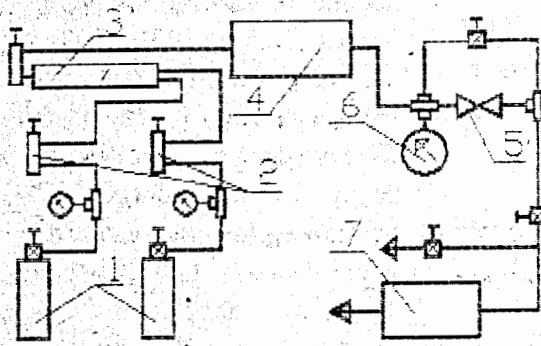


Рис. 5

#### ГАЗОВАЯ СИСТЕМА

Структурная схема газовой системы представлена на рис. 5.

Смесь газов  $N_2$  и  $CO_2$ , поступающих от баллонов (1), образуется в смесителе (3) и попадает в лазерную головку (4).

обеспечивающими однородное поле, расстояние между которыми выбрано 25 мм и может варьироваться в пределах  $\pm 15$  мм, вдоль которых с двух сторон расположены конденсаторы ультрафиолетовой подсветки активного объема. Юстировочные узлы зеркал оптического резонатора (2,3) крепятся к торцевым стенкам разрядной камеры.

В нижней части головки размером  $344 \times 850 \times 130$  мм размещены дроссель (4) и конденсаторы (5) последнего звена сжатия модулятора. Ввод энергии в газоразрядную камеру осуществляется через шпильку, одновременно уплотняющую на вакуум место ввода.

Соотношение газовых компонент устанавливается ротаметрами (2). Постоянство давления в лазерной головке ( $\sim 0,5$  ата) обеспечивается электромагнитным клапаном (5), управляемым электроконтактным мановакуумметром ЭКМВ-1 (6). Откачка отработанной газовой смеси из лазерной головки производится форвакуумным насосом (7).

Система позволяет осуществлять постоянную смену газовой смеси в разрядной камере, с расходом  $0,5 \pm 1$  л/мин, необходимую для нормальной работы лазера.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Для иллюстрации работы модулятора на рис. 6 приведены осциллограммы импульсов тока и напряжения в соответствующих точках его схемы.

Осциллограммы получены на цифровом осциллографе С9-8 с последующим выводом данных из памяти осциллографа в память персонального компьютера IBM PC/XT через интерфейс КОП<sup>19/</sup> и соответствующей обработкой полученных массивов данных.

Осциллограмма рис. 6а показывает изменение тока через тиратрон после коммутации. Изменение напряжений в точках 1,2,3 схемы рис. 2 показаны на осциллограммах рис. 6б, 6в, 6г.

На осциллограмме рис. 6г видна форма импульса накачки, характеризующаяся коротким пиком, возникающим после пробоя подсвечивающего промежутка  $P$  и обеспечивающим быстрое увеличение концентрации свободных электронов, появившихся под действием ультрафиолетовой подсветки разрядного промежутка.

Вслед за пиком идет импульс разряда емкости  $C_{3K}$  на сопротивление разрядного промежутка.

Импульс, предшествующий пику, возникает на сопротивлении  $R_{3K} = 200$  Ом, включенном параллельно разрядному промежутку, вследствие частичного разряда емкости  $C_{3K}$  через ненасыщенный дроссель  $L_{3K}$ .

Результаты получены при значении зарядного напряжения

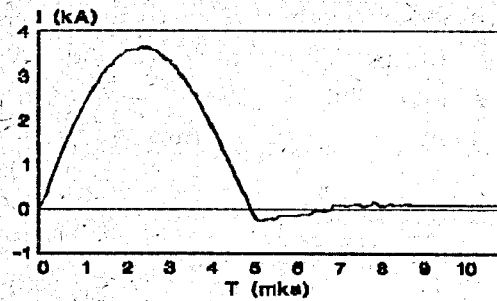


Рис. 6а

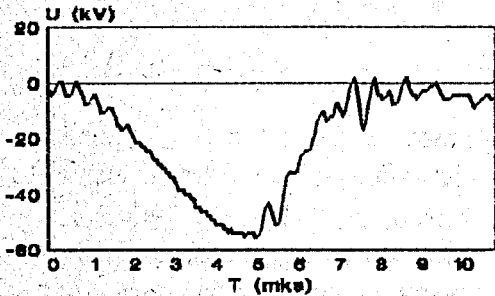


Рис. 6б

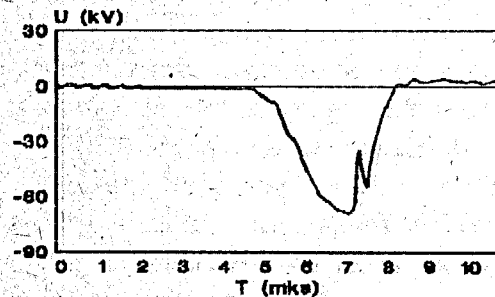


Рис. 6в

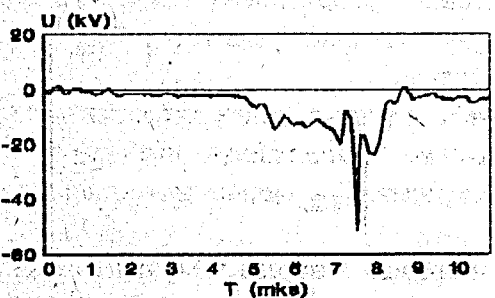


Рис. 6г

$U=33$ кВ и соотношении компонентов газовой смеси в разрядной камере ( $N_2:CO_2$ ) 2:1.

Лазер работал устойчиво в диапазоне частот повторения 0,1-1 Гц. Если принять меры по обеспечению быстрой прокачки газовой смеси через разрядную камеру лазера в отпаянном режиме, с последующим охлаждением и регенерацией отработанной смеси, а также обеспечить эффективное охлаждение элементов электрической цепи, то частота повторения может быть значительно увеличена.

Форма светового импульса приведена на осциллограмме рис.7, длительность гигантского импульса на полувысоте  $\sim 100$  нс.

Апертура выходного излучения составляет  $12,5 \text{ см}^2$ .

Энергия излучения на выходе лазера, измеренная с помощью прибора ИМО-2, составила для плоского резонатора, с выходным зеркалом из  $ZnSe$  и глухим

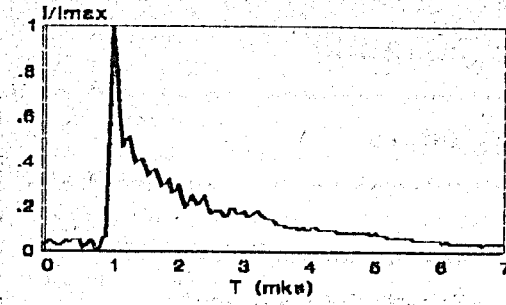


Рис. 7

зеркалом из  $Al$ , напыленного на стеклянную подложку,  $\sim 13$  Дж на импульс, при зарядном напряжении  $U=45$  кВ и соотношении компонентов смеси ( $N_2:CO_2$ ) 2:1, расходимость лазерного излучения  $\sim 5 \cdot 10^{-3}$  рад.

Энергетические характеристики излучения лазера могут быть улучшены, если в последнем звене сжатия будут использованы конденсаторы с более низкой собственной индуктивностью, чем сборка из двух конденсаторов ИМ-70-0,1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безногих Ю.Д., Мончинский В.А., и др. ОИЯИ, Р9-84-246, Дубна, 1984.
2. Баранов В.М. и др. Электроразрядные эксимерные лазеры на галогенидах инертных газов. М., Энергоатомиздат, 1988.
3. Агеев В.П. и др. ЖТФ, 1986. Т.56. Вып.7. с.1387-1389.
4. Долбиллов Г.В. и др. ОИЯИ, Р9-83-193, Дубна, 1983.
5. Казача В.И., Красных А.К. ОИЯИ, Р9-84-231, Дубна, 1984.
6. Сидоров А.И. и др. ОИЯИ, Р9-89-845, Дубна, 1989.
7. Инженерные основы создания технологических лазеров. М., Высшая школа, 1986.
8. Введеннов А.А. Физика электроразрядных  $CO_2$  лазеров. М., Энергоиздат, 1982.
9. Система интерфейса для измерительных устройств с байт-последовательным, бит-параллельным обменом информации. Гос. комитет по стандартам, 1985.

Рукопись поступила в издательский отдел 28 января 1992 года.