

**А.И. Федоров**

## **ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ N<sub>2</sub>-ЛАЗЕРА, ВОЗБУЖДАЕМОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ РАЗРЯДОМ**

Приведены обобщенные результаты исследований по разработке малогабаритных азотных лазеров низкого давления, возбуждаемых самостоятельным разрядом. На основании проведенных исследований даются практические рекомендации для создания миниатюрных азотных лазеров.

Показано, что за счет плазменных или коронного источников предыонизаций, ограниченных сетчатым электродом, возможно обеспечить заданную апертуру лазерного излучения.

Малогабаритные импульсно-периодические УФ-лазеры, в частности азотные и эксимерные, широко используются для накачки лазеров на красителях, для плазменной диагностики, зондирования атмосферы, медикобиологических исследований и т.д. Однако данные системы не всегда отвечают современным требованиям по весу, габаритам, надежности, качеству излучения и стоимости. Поэтому в последнее время появился определенный интерес к миниатюрным N<sub>2</sub>-лазерам как у разработчиков, так и потребителей из-за простоты и более низкой стоимости по сравнению с эксимерными лазерами.

В данной статье обобщаются результаты исследований по разработке малогабаритных N<sub>2</sub>-лазеров, возбуждаемых самостоятельным разрядом [1–4]. Для накачки активной среды использовался поперечный разряд. Во всех случаях применялась автоматическая УФ-предыонизация в виде искрового [5], коронного [3] или плазменного [2, 6] разряда. В работе [5] нами подробно описаны конструктивные особенности наиболее простого и надежного способа накачки N<sub>2</sub>-лазера. Эта емкостная двухконтурная схема возбуждения с индуктивно-искровой предыонизацией, которая ранее нами успешно применялась для накачки эксимерных лазеров. Отметим, что все рассматриваемые N<sub>2</sub>-лазеры работают при низком рабочем давлении порядка 120 Торр.

Так, в [1] исследовались энергетические параметры излучения в лазерной системе «ЭЛАН-01М». Активный объем межэлектродного промежутка соответствовал 2,5×1×70 см<sup>3</sup>.

Максимальная энергия, запасаемая в накопительной емкости (W<sub>3</sub>), соответствовала 30 Дж. Система подсветки представляла собой два симметричных ряда по 20 искровых промежутков, зажигаемых при зарядке обострительной емкости. Резонатор состоял из плоского зеркала с алюминиевым покрытием и плоскопараллельной кварцевой пластины. Энергия излучения измерялась калориметром ИМО-2Н. Форма импульсов излучения регистрировалась на осциллографе С8-14 с помощью фотоприемника ФЭК-22СПУМ. Осциллографирование тока разряда с обострительной емкости и напряжения на промежутке производилось с помощью малоиндуктивного шунта сопротивлением 0,1 Ом и делителя напряжения.

Данный тип резонатора и аппаратура далее использовались при создании и исследованиях других N<sub>2</sub>-лазеров. Максимальная энергия излучения 10 мДж регистрировалась при рабочем давлении 120 Торр. Длительность импульса излучения на полувисоте соответствовала 5 нс, а пиковая мощность излучения 2 МВт. Данные характеристики соответствуют лучшим зарубежным N<sub>2</sub>-лазерам. В качестве коммутатора использовался тригatron. Система работала с частотой повторения 5 Гц. На основании данного лазера было разработано несколько малогабаритных систем, которые успешно работали на эксимерных молекулах.

В лазере «ЭКСИК-1» с активным объемом 0,6×0,7×20 см<sup>3</sup> с двумя плазменными электродами была впервые получена генерация на азоте [2]. Максимальная энергия излучения соответствовала 0,5 мДж при давлении 100 Торр. Длительность импульса излучения равнялась 5 нс. Лазер работал с частотой 10 Гц. Особенностью работы этого лазера является наличие

двух стадий разряда: в первой осуществлялся скользящий разряд, формирующий плазменный электрод [6] и одновременно осуществляющий предыонизацию активного объема, а затем возникает объемный разряд между плазменными электродами. При наличии двух стадий разряда формируется излучение с квадратной или прямоугольной формой пятна. При этом следует подчеркнуть, что наблюдается стабилизация объемного разряда, когда ширина разряда больше, чем расстояние между электродами. А при наличии только скользящего разряда, что реализуется при повышенных давлениях газа, формируется лазерное излучение в виде двух узких полос. Следовательно, данная система позволяла получать излучение с двумя различными конфигурациями: прямоугольного сечения или в виде двух параллельных полос, разнесенных на ширину межэлектродного промежутка. В данном лазере были проведены также исследования с одним плазменным электродом. В этом случае апертура излучения соответствует обычным системам [1], когда межэлектродный промежуток в два раза больше ширины электродов. Активный объем лазерного промежутка равнялся  $0,9 \times 0,5 \times 20 \text{ см}^3$ . Максимальная энергия излучения была 0,3 мДж при давлении 150 Торр и длительности импульса излучения 5 нс. В качестве коммутатора использовался управляемый разрядник РУ-73, обеспечивающий зарядное напряжение ( $U_0$ ) 20 кВ.

В лазере «ЭКСИК-2» с активным объемом  $1,4 \times 0,7 \times 25 \text{ см}^3$  с коронной предыонизацией энергия излучения составляла 0,8 мДж при давлении 120 Торр и длительности импульса излучения 5 нс. При этом максимальное зарядное напряжение равнялось 13 кВ. В качестве коммутатора использовался разрядник РУ-62. В данном случае применялась для возбуждения система Бломляйн, собранная на конденсаторах КВИ-3. Она обеспечивала частоту следования импульсов до 3 Гц. От ранее разработанных лазер отличался источником предыонизации, которая представляла собой коронный разряд, ограниченный сетчатым электродом [7-9]. Эксперименты, проведенные на нем, явились основанием для создания миниатюрного частотного лазера, работающего в отпаянном варианте. В лазере «ЭКСИК-ОИФ» с активным объемом  $0,4 \times 0,8 \times 20 \text{ см}^3$  с коронной предыонизацией и общим объемом камеры 1 л была получена генерация на азоте. На рис. 1 представлена емкостная двухконтурная схема возбуждения с коронной предыонизацией, ограниченной сеточным анодом. В качестве коммутатора использовался управляемый разрядник РУ-62. Максимальная энергия излучения составляла 0,13 мДж при давлении 120 Торр и длительности импульса излучения 5 нс. Рабочее зарядное напряжение изменялось от 6 до 12 кВ.

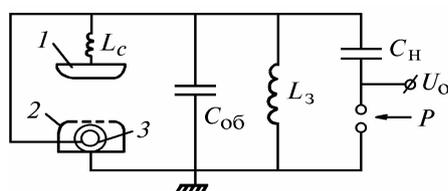


Рис. 1. Электрическая схема азотного лазера «ЭКСИК-01F»: 1 – катод; 2 – сетчатый анод; 3 – кварцевая трубка с коронной предыонизацией;  $C_n$  – накопительная емкость;  $C_{об}$  – обострительная емкость;  $P$  – управляемый разрядник;  $L_з$  – зарядная индуктивность;  $L_c$  – стабилизирующие индуктивности

На рис. 2,а приведены зависимости средней мощности излучения от частоты следования импульсов и зарядного напряжения в отпаянном варианте. Максимальная средняя мощность составила 4 мВт. На рис. 2, б дана зависимость средней мощности от количества импульсов излучения для  $U_0 = 10 \text{ кВ}$ ,  $P = 120 \text{ Торр}$ ,  $C_n = 6 \text{ нФ}$  и  $C_{об} = 3 \text{ нФ}$ . При оптимальной частоте следования импульсов 40 Гц средняя мощность уменьшалась наполовину за  $N = 3 \cdot 10^3$  имп. Видимо, ресурс лазера ограничивался тем, что ширина излучения была в два раза больше межэлектродного зазора. В таблице приведены параметры разработанных  $N_2$ -лазеров.

На основании проведенных исследований (см. таблицу) можно сделать следующие выводы, которые могут быть полезны при разработке миниатюрных азотных лазеров низкого давления:

1. Лучше использовать емкостную двухконтурную систему возбуждения.
2. В качестве дополнительного УФ-источника лучше применять автоматическую плазменную или коронную предыонизацию, ограниченную сетчатым электродом, которая обеспечивает заданную конфигурацию лазерного излучения.
3. Возможно использование промышленных управляемых разрядников, работающих при относительно низких напряжениях  $\sim 10 \text{ кВ}$ .

4. Возможно создание отпаянного варианта азотного лазера.  
 5. Показано, что при создании миниатюрных азотных лазеров сохраняются довольно высокие удельные параметры излучения.

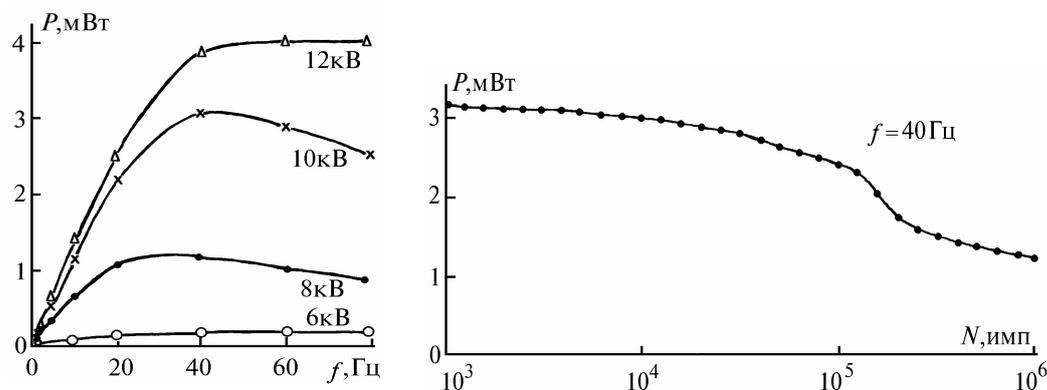


Рис. 2. Зависимость средней мощности излучения от частоты следования импульсов при изменении зарядного напряжения (а) и количества импульсов излучения при работе в отпаянном режиме (б) для  $U_0 = 10$  кВ,  $P = 120$  Торр,  $C_n = 6$  нФ,  $C_{об} = 2,6$  нФ

**Параметры азотных лазеров низкого давления с возбужденным поперечным разрядом**

Лазер	Предыонизация (коммутатор)	$U_0$ , кВ	$W_3$ , Дж	$L$ , см	$D$ , см	$H$ , см	$V$ , см <sup>3</sup>	$W_r$ , Дж·см <sup>-3</sup>	$\epsilon_{изл}$ , мДж	$\epsilon_{изл}$ , мДж·см <sup>-3</sup>	$P_{пик}$ , МВт	$P_{пик}$ , кВт·см <sup>-3</sup>	$\tau_{h/2}$ , нс	$f_{опт}$ , Гц
«ЭЛАН-01М»	Искровая (тригatron)	30	27	70	2,5	1	175	0,15	10	0,06	2	10	5	5
«ЭКСИК-1»	1-плазменный электрод (РУ-73)	20	5	20	0,9	0,5	9	0,55	0,3	0,03	0,06	6,6	5	10
	2-плазменный электрод				0,6	0,7	8,4	0,55	0,5	0,06	0,1	11,8		
«ЭКСИК-2» (Бломляйн)	Коронная (РУ-62)	12	4	25	1,4	0,7	25	0,16	0,8	0,03	0,16	6,4	5	3
«ЭКСИК-01Г»	Коронная (РУ-62)	12	0,3	20	0,4	0,7	5,6	0,05	0,13	0,02	0,03	5,5	5	40

Примечание.  $L$  – длина электродов;  $D$  – межэлектродное расстояние;  $H$  – ширина электродов;  $W_r$  – удельная энергия, вкладываемая в газ;  $\tau_{h/2}$  – длительность импульса генерации на полувысоте.

1. Федоров А.И., Тихомиров С.И., Жунусов Б.А. // Оптика атмосферы. 1989. Т. 2. N 9. С. 1003–1005.
2. Зикрин Б.О., Кузьмин Г.П., Федоров А.И. и др. // VI Всес. конф. «Оптика лазеров». (Тезисы докл.). Л.: Изд. ГОИ. 1990. С. 414.
3. Федоров А.И., Лизогуб В.Г., Тихомиров С.И. // Всес. научн. семинар «Метрология лазерных измерительных систем». (Тезисы докл.). Волгоград, 1991. Ч. 1. С. 28.
4. Федоров А.И. // IX Всес. семинар «Лазеры на парах металлов и их применение». (Тезисы докл.). Ростов-на-Дону. 1991. С. 6.
5. Федоров А.И., Бричков С.А. // Оптика атмосферы. 1989. Т. 2. N 6. С. 772–775.
6. Тарасенко В.Ф., Федоров А.И., Грузинский В.В. и др. // Изв. вузов. Физика. 1980. N8. С.121–122.
7. Hasson V. and von Bergmann H.M. // J. Phys. E: Sci. Instrum. 1980. V. 13. P. 632–638. Printed in Great Britain.
8. Sze R.C. // Proc. Conference «Eximer Lasers» 1983. Chapter 1. RGH Lasers. P. 73–79. New York.
9. Федоров А.И., Мельченко С.В. // ЖТФ. 1990. Т. 60. N 4. С. 105–108.

Институт оптики атмосферы СО РАН,  
Томск

Поступила в редакцию  
17 мая 1995 г.

**A. I. Fedorov. Ways of Efficiency Increase for Discharge Nitrogen Lasers.**

In this paper, a summary of experimental data on compact low pressure discharge nitrogen lasers is presented. Some practical considerations concerning development of compact nitrogen lasers are discussed.

Plasma or corona preionization source located behind a mesh electrode is shown to provide arbitrary cross section of the laser output beam.