

ЛАЗЕР НА НЕОДИМОВОМ СТЕКЛЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ОПТИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ

И. А. Буфетов, В. Б. Федоров, В. К. Фомин

УДК 621.378.33

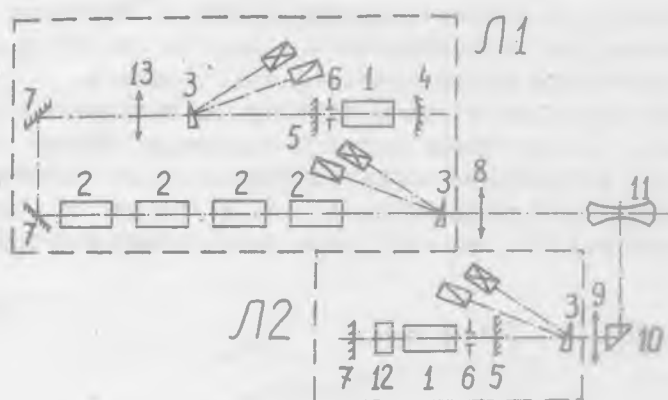
Создан импульсный Nd-лазер ($E_T = 8$ кДж, $\tau = 5$ мс), впервые позволивший наблюдать крупномасштабный (~ 20 см) процесс стационарного распространения волны оптического разряда в режиме медленного горения при условии слабого поглощения излучения лазера в плазме.

В 1969 г. в опытах с импульсным ($\tau \sim 1$ мс) Nd-лазером типа ГОС-1000 впервые наблюдался оптический разряд в режиме медленного горения /1/. Опыт проводился в атмосферном воздухе при интенсивностях лазерного излучения $I \leq 10^9$ Вт/см², вблизи порога эффекта. Медленное горение лазерной искры инициировалось затравочной плазмой электрического разряда продолжительностью 0,1 мкс. В дальнейшем опыты по медленному световому горению в газах выполнялись как с использованием импульсного твердотельного (рубинового) лазера /2/, так и с использованием импульсного /3/ и непрерывных (см., например, /4,5/) CO₂-лазеров. Лазеры сравнительно небольшой мощности /2,4,5/ требуют применения острой фокусировки излучения для реализации медленного горения. При этом диаметр фокального пятна d оказывается одного порядка с длиной каустики линзы l , которая является характерной длиной изменения светового потока. В этом случае распространение волны разряда не всегда можно рассматривать как стационарное, без изменения температурного профиля, что затрудняет теоретическую интерпретацию закономерностей распространения волны. Применение мощных импульсных лазеров позволяет использовать длиннофокусную оптику и реализовать условие $d \ll l$ /1/, /3/, когда на значительном расстоянии волна горения распространяется в лазерном луче приблизи-

тельно постоянной апертуры. Однако в случае CO_2 -лазеров выполнение этого условия означает переход к газодинамическим лазерам с энергией в импульсе порядка нескольких килоджоулей /3/, являющимся дорогими и сложными в эксплуатации установками. Кроме того, в опытах /3/ при $d \sim 1$ см из-за большого значения коэффициента поглощения излучения оптическим разрядом в воздухе при атмосферном давлении $\alpha \approx 0,6 \text{ см}^{-1}$ /6/ не выполняется условие слабого поглощения $\alpha d \ll 1$, когда сравнение экспериментальных результатов с теоретическими /7/ представляет наименьшие трудности. Мощный лазер на стекле с Nd^{3+} типа ГОС-1000 ($\lambda = 1,06 \text{ мкм}$) позволяет наблюдать стационарную волну разряда в условиях слабого поглощения. Однако длительность импульса излучения $\tau \sim 1$ мс недостаточна для изучения имеющих принципиальное значение в физике светового горения газодинамических эффектов, возникающих вследствие расширения газа во фронте волны горения. Необходимо увеличение продолжительности генерации в 5 - 10 раз по сравнению с /1/ (до нескольких миллисекунд) и соответствующее повышение энергетики установки.

Изложенным требованиям удовлетворяет описываемый здесь не имеющий аналогов в практике исследования оптических разрядов Nd-лазер, схема которого представлена на рис. 1. Мощный лазер Л1 имеет выходную энергию до $E_1 \approx 8 \text{ кДж}$ при длительности импульса $\tau \approx 5$ мс и способен обеспечивать интенсивности излучения до $2 \cdot 10^7 \text{ Вт/см}^2$ в объеме диаметром 4 мм и длиной 12 см, или 10^8 Вт/см^2 в объеме диаметром 2 мм и длиной 6 см (при линзах с фокусным расстоянием $f = 1$ м и $f = 0,5$ м, соответственно). Для того, чтобы обеспечить условия стационарного распространения разряда, особое внимание было уделено получению "гладкого" пространственно-временного распределения интенсивности излучения лазера Л1. Известно, что требуемыми свойствами ("беспичковый" режим свободной генерации, равномерное распределение интенсивности излучения по поперечному сечению луча) обладает ОКГ с резонатором, близким к конфокальному, работающий в многомодовом режиме. Поэтому для Л1 была выбрана схема с задающим генератором на активном элементе из стекла ГЛС-1 (осветитель ГОС-300), помещенном в оптический резонатор с плоским (коэффициент отражения $R = 50\%$) и сферическим ($R = 99\%$, радиус кривизны 2 м) зеркалами, расстояние между которыми на 1 см меньше, чем в случае полуконфокально-

го резонатора. Для обеспечения прохождения луча задающего генератора через усилитель, образованный четырьмя активными элементами из ГЛС-1 в осветителях ГОС-1000Б и с целью возможно более полного использования объема активного вещества усилителя применяется согласующая линза с фокусным расстоянием $f = 2$ м.

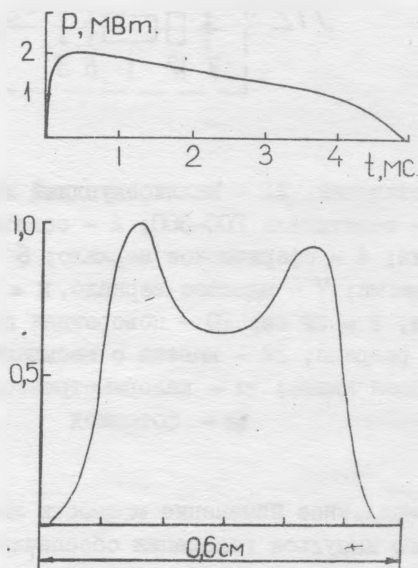


Р и с. 1. Схема установки. Л1 - миллисекундный лазер; Л2 - "поджигающий" лазер; 1 - осветитель ГОС-300; 2 - осветитель ГОС-1000Б; 3 - оптический клин; 4 - сферическое зеркало; 5 - плоское зеркало, $R = 50\%$; 6 - диафрагма; 7 - плоское зеркало, $R = 99\%$; 8 - линза, $f = 1$ м; 9 - линза, $f = 22$ см; 10 - поворотная призма; 11 - область оптического разряда; 12 - кювета с насыщающимся поглотителем; 13 - согласующая линза; \triangle - калориметрический датчик; \square - фотодиод

Относительно медленное изменение мощности лазерного излучения в течение всего импульса генерации обеспечивается формированием соответствующего токового импульса для питания ламп накачки. Токвый импульс длительностью 5 мс с формой, близкой к прямоугольной, формируется накопителем энергии, выполненным в виде нескольких однородных LC-цепей с числом звеньев, равным 6.

Емкость зена 1600 мкФ, индуктивность 100 мкГн. Небольшие колебания вершины импульса сглаживаются дополнительной индуктивностью 100 мкГн на выходе цепи. Нагрузкой каждой цепи служат две параллельно включенные лампы ИФП-20000 (в осветителях ГОС-1000Б) или 4 параллельно-последовательно соединенные лампы ИФП-18/250 (в осветителях ГОС-300). Полная энергоемкость накопителя Л1 составляет 1 МДж.

Зависимость мощности излучения лазера Л1 от времени и распределение энергии по диаметру пятна в каустике линзы с $f = 1$ м, расположенной на выходе установки, представлены на рис. 2. Поскольку интенсивности излучения лазера Л1 недостаточны для пробы газа, для проведения опытов по медленному горению, аналогично [2,4], используется вспомогательный лазер Л2, работающий в режиме модуляции добротности, $E_2 = 2$ Дж, $\tau = 100$ нс. Пробой газа излучением Л2 в каустике линзы, фокусирующей излучение Л1,



Р и с. 2. Форма импульса генерации лазера Л1, $E_T = 8$ кДж (вверху); распределение энергии по диаметру пятна (внизу)

создает затравочную плазму для развития волны разряда. Указанный способ поджига позволяет производить эксперименты в чистых газах.

В настоящее время на установке проведены эксперименты по исследованию распространения волны разряда в воздухе при нормальных условиях. Размер области, занятой разрядом, вдоль лазерного луча достигал 20 см. В каждом опыте через 1 мс после начала горения разряда в течение 3 мс наблюдалась практически постоянная скорость движения фронта разряда.

Установка впервые позволила наблюдать крупномасштабную картину распространения стационарной волны оптического горения в случае слабого ($\alpha d = 1,2 \cdot 10^{-2}$) поглощения излучения на длине волны 1,06 мкм в течение большого (~ 5 мс) промежутка времени.

Поступила в редакцию
27 мая 1980 г.

Л и т е р а т у р а

1. Ф. В. Бункин, В. И. Конов, А. М. Прохоров, В. Б. Федоров, Письма в ЖЭТФ, 9, 609 (1969).
2. Б. Ф. Мульченко, Ю. П. Райзер, В. А. Эпштейн, ЖЭТФ, 59, 1975 (1970).
3. E. L. Klosterman, S. R. Byron, J. Appl. Phys., 45, 4751 (1974).
4. Н. А. Генералов, В. П. Эрмаков, Г. И. Козлов, В. А. Масюков, Ю. П. Райзер, Письма в ЖЭТФ, II, 447 (1970); ЖЭТФ, 61, 1434 (1971).
5. D. L. Franzen, J. Appl. Phys., 44, 1727 (1973).
6. Оптические свойства горячего воздуха, под ред. Л. М. Бибермана, "Наука", М., 1970 г.
7. Ю. П. Райзер. Лазерная искра и распространение разрядов, "Наука", М., 1974 г.