

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

812/2-80

25/2-80
13 - 12778

А.Будзьяк, И.Ц.Иванов, В.И.Ляшенко, В.А.Панюшкин,
И.В.Фаломкин, Э.Цисек, Ю.А.Щербаков

МОЩНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ

УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫЙ ЛАЗЕР НА АЗОТЕ

1979

Создание стримерной камеры с водородным наполнением является весьма актуальной задачей, так как эту камеру можно применять в экспериментах одновременно и в качестве мишени, и в качестве детектора. Проблему малого светового выхода стримеров в водороде разные авторы до сих пор пытались решить либо используя ЭОП для съема информации, либо возбуждая стримеры высоковольтными импульсами с добавлением в водород различных примесей ^{1,2/}. На основании работ ^{3,4/} нами был намечен другой путь к решению этой проблемы: применение мощной лазерной подсветки всего объема стримерной камеры во время формирования треков с целью получения тенеграм либо голограмм фронта ударной волны от стримеров. Поскольку стримерная камера является прибором с малым временем памяти, а стримеры развиваются со скоростью 10^7 см/с, то в данном случае к лазеру предъявляются некоторые особые требования. В частности, из всех параметров лазера самым важным является время задержки, т.е. промежуток времени, через который он срабатывает после прихода запускающего сигнала.

Из всех типов лазеров для данной цели наиболее целесообразно применять азотный лазер, хотя он генерирует на длине $\lambda = 337,1$ нм. Это обстоятельство создает определенные технические трудности, поскольку все оптическое оборудование должно быть изготовлено из кварца. Инверсионная населенность у азотного лазера создается электрическим разрядом, возникновение которого определяется, в свою очередь, временем срабатывания коммутирующего элемента и колеблется в пределах $100 \div 150$ нс. С другой стороны, время задержки между подачей на генератор импульсных напряжений /ГИН/ стримерной камеры запускающего импульса и появлением стримеров в камере составляет величину порядка $0,5 \div 0,6$ мкс. Из сказанного следует, что применение азотного лазера позволяет подсветить объем камеры когерентным пучком в любой момент развития стримера. Кроме того, азотный лазер отличается своей долговечностью



и дешевой, так как в качестве активной среды здесь применяется технический азот. Надо отметить также, что из-за большого коэффициента усиления здесь не нужен оптический резонатор, что существенно облегчает работу в помещениях с повышенными термическими и механическими нестабильностями.

В этой работе описывается азотный лазер с поперечным разрядом, схемы питания которого собраны из малоиндуктивных керамических конденсаторов. Из известных схем питания азотных лазеров нами была выбрана схема возбуждения молекул азота поперечным разрядом, потому что в этом случае можно получить большие величины параметра E/p , т.е. вводить большие электрические энергии в лазерную трубку и выводить из нее большие световые энергии, что позволяет достигнуть высокого уровня к.п.д.; кроме того, этот тип лазера характеризуется простотой и надежностью в работе.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В данной задаче вопрос синхронизации срабатываний лазера и стримерной камеры является определяющим. Схема питания лазерной трубки подобна схеме из работы /5/ с той разницей, что возбуждение в нашей лазерной трубке осуществляется с помощью только одного разрядника, в то время как в лазерной трубке, описанной в работе /5/, используется четыре. Это существенно упростило схему синхронизации. Введение некоторых новых конструктивных решений при разработке лазерной трубки позволило создать гораздо более мощный азотный лазер с устойчивыми параметрами.

Конструкция лазерной трубки показана на рис. 1. В пазы

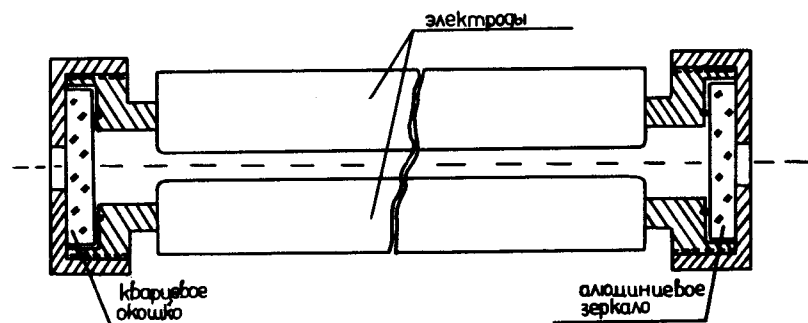


Рис. 1. Конструкция лазерной трубки.

плексигласовой трубки вклеены с помощью эпоксидного клея электроды из нержавеющей стали толщиной 1,5 мм с закругленными торцами. Для получения однородного разряда и высокой выходной энергии в лазерном импульсе оба электрода отделены от стенок трубки. В одном конце лазерной трубки вместе с крышкой прикрепляется обыкновенное алюминиевое зеркало, а в другом конце также на резиновом уплотнении закрепляется кварцевое окошко. Таким образом, лазер имеет только один оптический выход. Размещение зеркала внутри лазерной трубки увеличивает энергию излучения на 20-30% и не требует юстировки. Откачка и заполнение азотом лазерной трубки производится через оливку, вклеенную прямо в эту трубку. Поскольку дальнейшие исследования не требуют высокой частоты срабатывания лазера, применена конструкция без прокачки азота. На внешние концы электродов с обеих сторон лазерной трубки прикреплены две конденсаторные батареи (A_2) - т.н. линия накопления с общей емкостью 15 нФ /конденсаторы типа К-15/4/. Трубка вместе с конденсаторами размещена прямо на холодном электроде разрядника, причем второй электрод разрядника подсоединен прямо ко второй конденсаторной батарее - т.н. ударной линии (A_1), состоящей из четырех конденсаторов К-15/10 с общей емкостью 36 нФ.

Корпус разрядника изготовлен из плексигласа, размеры разрядной камеры $\varnothing 20 \times 13$ мм. Оба электрода сделаны из полированного алюминия. Для управления работой разрядника от внешних устройств к горячему электроду подведен поджигающий электрод-иголка из вольфрама диаметром 2 мм, зазор между этими электродами составляет 0,1 мм. Разрядник работает в атмосфере азота при давлениях 1-7 атм.

Принципиальная электрическая схема лазера показана на рис. 2. Генерирование на $\lambda = 337,1$ нм возможно, если удастся создать инверсионную населенность на время меньше, чем время жизни возбужденного верхнего уровня азота. Механизм создания инверсии основан на прямом возбуждении молекулы азота электронными ударами с переходом с основного уровня $X^1\Sigma_2^+$ на верхние рабочие уровни. Генерация на $\lambda = 337,1$ нм наблюдается во второй положительной системе полос молекулярного азота ($C_3\Pi_u - B_3\Pi_u$). Время жизни в состоянии ($C_3\Pi_u$) составляет 40 нс. Чтобы за это время возбудить молекулы азота, необходимо обеспечить большую амплитуду разрядного тока в лазерной трубке с крутым фронтом нарастания. Это было достигнуто путем применения импульсной зарядки линии A_2 за время, меньшее, чем время запаздывания разряда в лазерной трубке /приблизительно 150 нс/. Батарея A_2 разряжается через лазерную трубку после того, как трубка зарядится до напряжения 10-12 кВ за время 80-90 нс.

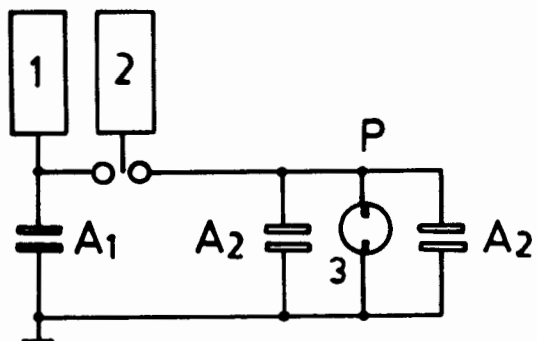


Рис. 2. Электрическая схема питания лазера. Обозначения: 1 - выпрямитель, 2 - блок запуска, 3 - лазер, A_1 - накопительная линия, A_2 - ударная линия, P - точка измерения.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Собранный по этой схеме лазер проработал восемь месяцев в нашей лаборатории. В ходе экспериментов были оптимизированы все параметры лазерной системы для получения надежного и продолжительного режима работы.

Таким образом, при размерах разрядного канала в лазерной трубке $0,2 \times 1,4 \times 25 \text{ см}^3$ максимальная мощность лазера /1 МВт/ была получена при напряжении на линии A_1 , равном $27 \cdot 10^3 \text{ В}$, давлении в лазерной трубке - 70 мм рт.ст., давлении в разряднике - 3,5 атм и частоте срабатывания - 1 Гц. Максимальное отклонение энергии импульса от среднего значения составляло не более 20% и длительность лазерного импульса - $7 \cdot 10^{-9} \text{ с}$. Внешний запуск осуществлялся специально созданным блоком, вырабатывающим запускающий импульс с амплитудой 10 кВ и с фронтом 50 нс. Все высоковольтные измерения проводились при помощи широкополосного осциллографа и высоковольтного пробника.

Длительность лазерного импульса измерялась коаксиальным фотоэлементом ФЭК 015 и осциллографом С9-4. Лазерное излучение направлялось прямо на входное окно ФЭКа без фильтров. Энергия лазерного излучения определялась с помощью измерителя ИКТ-1М /погрешность $\pm 15\%$ / путем усреднения по большому числу посылок лазерных импульсов.

На рис. 3 приведена осциллограмма импульса напряжения на лазерной трубке /высоковольтный пробник во время измерения и генерирования лазера подсоединялся в точке P - см.

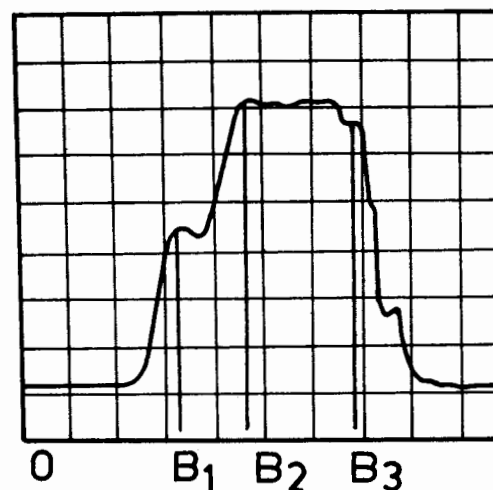


Рис. 3. Осциллограмма импульса напряжения на лазерной трубке в относительных единицах, цена деления по оси абсцисс - $100 \cdot 10^{-9} \text{ с}$.

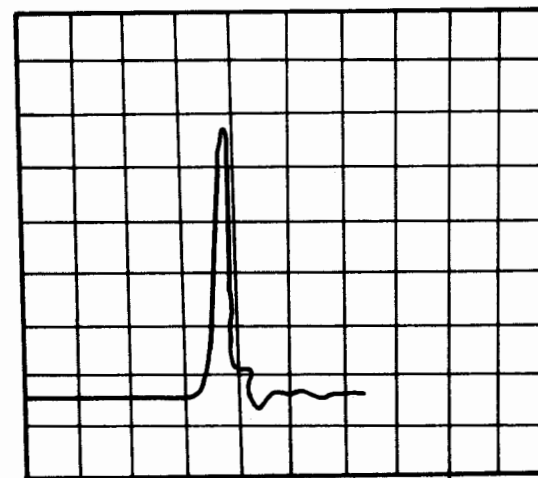


Рис. 4. Осциллограмма лазерного импульса в относительных единицах, цена деления по оси абсцисс - $25 \cdot 10^{-9} \text{ с}$.

рис. 2/. Участок OB_1 показывает время пробоя в разряднике; B_1B_2 дает время зарядки линии A_2 , горизонтальная часть осциллограммы - время задержки в этой линии и B_3 - срыв на осциллограмме - время пробоя в лазерной трубке. Не более чем через $10 \cdot 10^{-9}$ после подачи импульса напряжения на лазерную трубку следует вспышка света от лазера /рис. 4/. Пригодность разработанной конструкции азотного лазера для съема информации с фазовых неоднородностей в газах продемонстрирована при получении габоровских голограмм искры в водороде.

Для выяснения влияния входных окон стримерной камеры /сделанных из стекол от фотопластинок толщиной 2 мм/ на световую волну, несущую информацию об искре, регистрация



Рис. 5. Габоровская голограмма искры в водороде, задержка $\leq 40 \cdot 10^{-9}$ с. Горизонтальные линии - дифракционная картина от проволочек электродов.



Рис. 6. Габоровская голограмма искры в водороде, задержка $400 \cdot 10^{-9}$ с, видна дифракционная картина от проволочных электродов.

голограмм велась после прохождения волны через стримерную камеру. В качестве регистрирующего материала использовалась фотоэмульсия "Микрат-300" на ацетатной пленке. Эмульсия обрабатывалась обычным способом.

На рис. 5 и 6 показано развитие искрового разряда $p=1$ атм/. Время запаздывания лазерного импульса относительно выходного импульса ГИНА, формирующего искру, составляло 40 и 400 нс соответственно.

В заключение авторы выражают благодарность Н.Б.Лебедеву, В.Ф.Поенко и А.Г.Потехину за помощь в монтаже установки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Komarov V.I., Savchenko O.V. Nucl. Instr. and Meth., 1965, 34, p.289.
2. Falomkin I.V. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1976, 131, p.431.
3. Абрамсон И.С. и др. ЖЭТФ, 1947, 17, с.862.
4. Кулюкин М.М. и др. Препринт ЛИЯФ, 1973, с.36.
5. Тарасенко В.Ф., Курбатов Ю.А., Бычков Ю.И. Квантовая электроника, 1972, вып.8, с.84.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 декабря 1979 года.