

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

13-87-415

Бан Хе Сок, В.И.Ляшенко, Э.Содномын, Т.Тудор*,
Чан Ань Ву, Ю.А.Щербаков

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ
АЗОТНОГО ЛАЗЕРА

Направлено в журнал
"Приборы и техника эксперимента"

* Бухарестский государственный университет

1987

ВВЕДЕНИЕ

Ранее нами сообщалось^{/1/} о разработке азотного лазера для освещения стримерной камеры на безындукционных конденсаторах.

В этом лазере КПД рассматривался как отношение энергии импульса генерации к энергии, запасаемой в накопительной емкости C_1 ^{/1/}, и был невысок по сравнению^{/3-8/} с КПД других лазеров (0,02-0,1%) на безындукционных керамических конденсаторах.

В то же время лазер на молекулярном азоте имеет теоретический коэффициент полезного действия 16%^{/9/}. Однако практически реализуемый КПД составляет величину, на два порядка меньшую. Это связано с тем, что полезная накачка происходит в течение короткого периода времени (около нескольких нс), пока на плазме газового разряда подерживается высокое напряжение, поэтому очень трудно согласовать систему питания с лазерной камерой. Иначе говоря, основной причиной является неэффективная передача энергии от накопителя.

При разработке лазера необходимо принять меры по оптимальному построению системы электрического питания, обеспечить правильный выбор давления, уменьшить индуктивность цепей подачи напряжения на электроды и обеспечить оптимальный рабочий объем в разрядной трубке.

При преобразовании ультрафиолетового излучения азотного лазера в видимую область спектра необходимо обеспечить оптимальную конструкцию кюветы и добиться постоянства состава используемого красителя.

Некоторые из этих основных требований нам удалось реализовать в описываемой конструкции лазера, и здесь представляются его основные рабочие характеристики.

КОНСТРУКЦИЯ ЛАЗЕРА

На рис. 1 показана конструкция лазера. Лазерная трубка (рис. 2) с внутренним сечением 30x30 мм была выполнена в виде коробки из стекла и имела длину электродов 600 мм.

Расстояние между нержавеющей электродами составляло 18 мм, толщина 3 мм. Электроды были установлены по калибру с точностью 150 мкм.

Лазерная трубка имела выходное кварцевое окно. С противоположной стороны она была закрыта алюминиевым зеркалом, установлен-

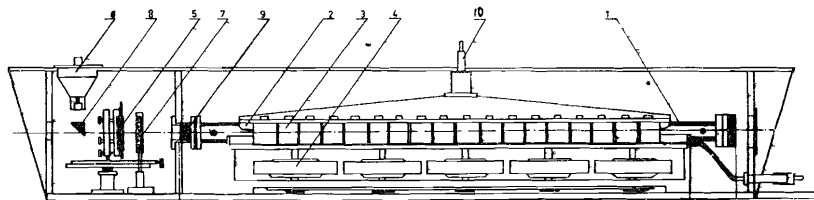


Рис. 1. Азотный лазер, вид сбоку. 1 – лазерная трубка, 2 – электроды, 3 – ударные конденсаторы, 4 – накопительные конденсаторы, 5 – кювета, 6 – блок контролирующего диода, 7 – зеркало резонатора, 8 – призма, 9 – фокусирующая линза, 10 – управляющий разрядник.

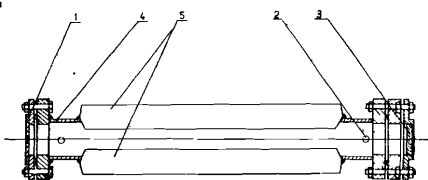


Рис. 2. Конструкция лазерной трубки. 1 – выходное окно, 2 – отверстие для циркуляции газа, 3 – отражающее зеркало, 4 – корпус трубки, 5 – электроды из нержавеющей стали.

ным таким образом, что его можно юстировать, не нарушая уплотнения. В лазерной трубке имелось два отверстия для обеспечения протока азота.

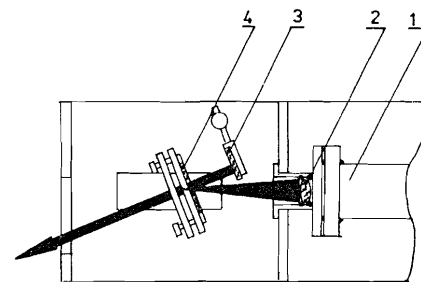
В системе высоковольтного питания лазера имелась батарея накопительных конденсаторов (см. рис. 1), содержащая 5 безындукционных керамических конденсаторов K15-10 (0,15 мкФ, 50 кВ). Две группы конденсаторов ударной емкости C_2 составлялись из 36 конденсаторов K15-4 (1000 пФ, 20 кВ).

Для уменьшения волнового сопротивления и паразитной емкости соединение между электродами и батареей конденсаторов выполнялось широкой и короткой медной фольгой.

Нами была выбрана простейшая конструкция лазера, используемая в работе^{1/}. Трехэлектродный разрядник, управляющий лазером, установлен непосредственно на трубке. Разрядник изготовлен из плексигласа с внутренним диаметром 35 мм, глубиной 25 мм. Тороидальной формы разрядные электроды выполнены из нержавеющей стали. Расстояние между электродами составляет 3 мм. Для управления работой разрядника сигнал от блока запуска подавался на поджигающий электрод. Зазор между этим и земляным электродами составлял 0,2 мм, и для обеспечения стабильности запуска был заполнен керамикой с большой диэлектрической проницаемостью. При давлении азота в разряднике 2 атм минимальная амплитуда запускающего напряжения составила 7 кВ.

Для осуществления конвертирования ультрафиолетового излучения (337,1 нм) в видимую область (~575 нм) мы использовали специаль-

Рис. 3. Схема трансформации света. 1 – N_2 -лазер, 2 – линза, 3 – зеркало, 4 – кювета.



ную тонкую (0,7 мм)^{1/2/} проточную кювету, устанавливаемую под углом 20° к направлению излучения лазера (рис. 3). Свет от лазера фокусировался кварцевой линзой с фокусным расстоянием 110 мм.

Точка фокуса располагалась за плоскостью переднего стекла кюветы во избежание разрушения стекла под действием излучения. Часть света отклонялась из конвертированного пучка и подавалась на фотодиод РОЛ-21, для измерения временных параметров импульса от красителя. Через лазерную трубку осуществлялся проток азота, для контроля этого процесса был установлен ротаметр с диапазоном 0-150 мл/мин.

Для циркуляции родамина 6Ж, растворенного в безводном этиловом спирте, мы использовали насос "Microdoze pump" типа 335А (ПНР) со скоростями циркуляции от 60 мл/мин до 83 мл/мин.

Лазер не имел дополнительного охлаждения и работал в управляемом режиме при частоте 1 Гц.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРА

В принятой схеме лазера выходная мощность существенно зависит от соотношения емкостей накопительного конденсатора и ударной емкости. На рис. 4 показано, как изменяется энергетический выход в зависимости от C_2/C_1 . Если в нашей работе^{1/} это соотношение составляло $C_2/C_1 = 0,24$, то теперь, на основе представленной зависимости, оно было взято равным 0,5.

Для оптимизации работы лазера также необходимо было выбрать оптимальное давление. На рис. 5 показана зависимость выходной энергии лазера от давления в лазерной трубке. Мы про-

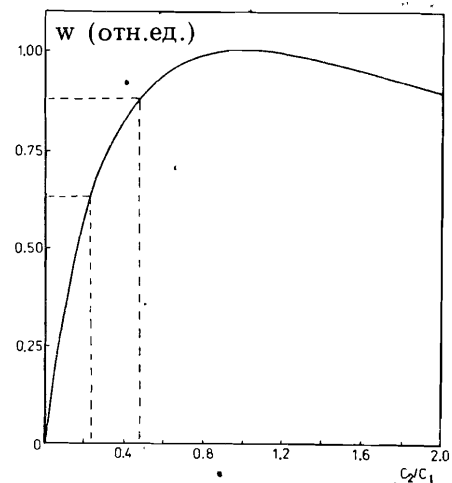


Рис. 4. Зависимость энергии накачки от отношения C_2/C_1 .

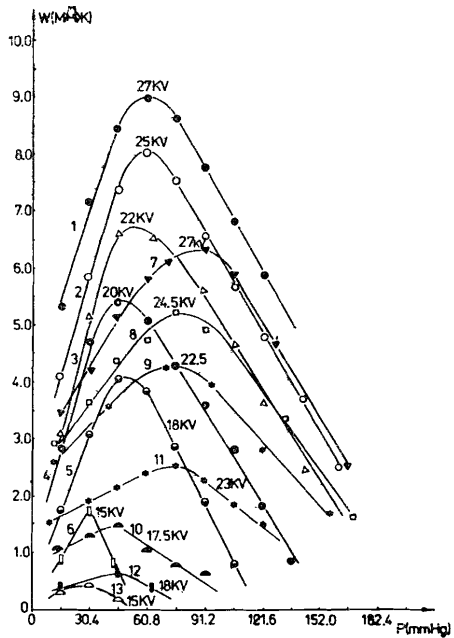


Рис. 5. Энергия лазера в зависимости от давления и величины ударной емкости в разряде. 1 – 6, $C_2 = 36$ нФ, 7 – 10, $C_2 = 18$ нФ, 11 – 13, $C_2 = 10$ нФ.

водили исследования при различных величинах емкостей: 10, 18 и 36 нФ. Как видно, для каждой емкости C_2 имеется оптимальное рабочее давление в трубке. Максимальное значение выходной энергии лазера получается при давлении 60 мм рт. ст. и рабочем напряжении 27 кВ. Максимальный КПД 0,04% достигался при напряжении 18 кВ (рис. 6). При повышении напряжения КПД несколько снижается, что связано с изменением внутреннего сопротивления лазерной трубки. По-видимому, это обусловлено недостаточно хорошими высокочастотными характеристиками используемой схемы питания с распределенными керамическими конденсаторами.

Из рис. 7 видно, что при величине ударной емкости 36 нФ отношение $E/p = 150$ В/см·мм рт. ст., и оно не меняется с увеличением рабочего напряжения. Характерно, что при напряжении 22 кВ отношение

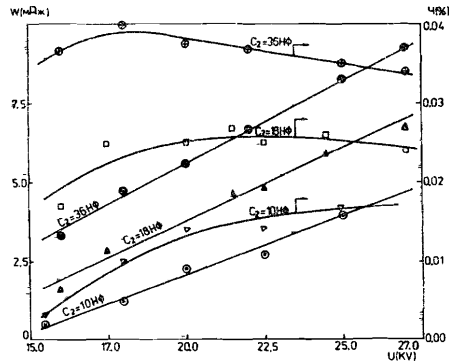


Рис. 6. Энергия и КПД лазера в зависимости от напряжения при оптимальном давлении.

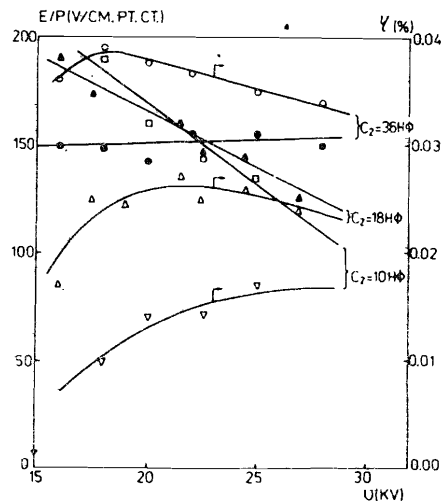


Рис. 7. E/p и КПД лазера как функции напряжения.

$E/p = 150$ В/см·мм рт. ст. и не зависит от величины ударной емкости (рис. 7).

СТАБИЛИЗАЦИЯ ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТИ ЛАЗЕРА

Разработанный нами ранее лазер^{1/1} имел значительную величину флуктуации мощности на выходе. Она зависела как от условий работы лазерной трубки, так и от работы управляющего разрядника, и достигала ~10%.

Для частичного уменьшения этих флуктуаций нами введена простая система прокачки газа в разрядной трубке. На рис. 8 показана работа лазера с прокачкой газа и без нее. Скорость движения газа в системе могла меняться до максимальной величины 150 мл/мин. Как видно, включение прокачки препятствует уменьшению мощности лазера со временем и обеспечивает меньшее значение флуктуаций мощности. На рис. 9 показано изменение мощности лазера при изменении скорости прокачки.

При скорости прокачки газа выше 75 мл/мин. выходная энергия лазера не зависит от увеличения скорости прокачки, она сохраняет свой максимальный уровень. Величина флуктуаций достигает при этом 6,5%. Характеристики лазера остаются стабильными на протяжении $3 \cdot 10^4$ импульсов срабатывания.

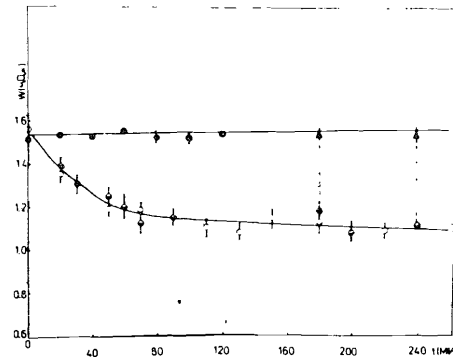


Рис. 8. Энергия лазера при двух условиях: ● – прокачка включена, ○ – без прокачки.

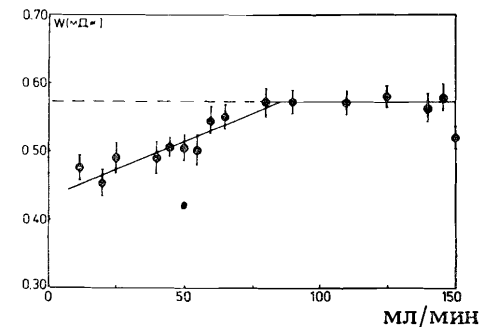


Рис. 9. Зависимость выходной энергии лазера от скорости прокачки газа.

СТАБИЛИЗАЦИЯ РАБОТЫ КЮВЕТЫ

Для снижения флуктуаций мощности из-за локального обеднения раствора красителя родамина 6Ж в эталоне и повышения его температуры мы ввели систему принудительной циркуляции. Циркуляция красителя осуществлялась насосом, при этом имелся сборный резервуар.

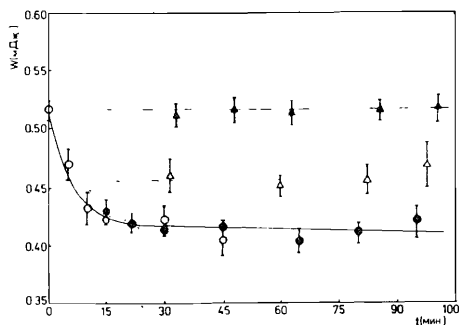


Рис. 10. Энергия излучения на выходе из кюветы при различных условиях: \circ — без циркуляции, Δ — циркуляция 52 мл/мин., \blacktriangle — циркуляция 80 мл/мин.

На рис. 10 показана зависимость выходной энергии лазера на красителе от времени работы и скорости циркуляции. Как видно, при скорости циркуляции красителя 80 мл/мин, сохраняется начальный уровень выходной энергии.

При работе лазера на красителе через ~15 мин мощность падает на ~13% и остается на этом уровне. Флуктуации мощности в этом случае составляют около 10% без циркуляции и ~7,5% — с циркуляцией.

Длительность импульса излучения от кюветы с красителем, измеренная с помощью фотодиода ROL-21, составляла 5 нс на полувысоте (рис. 11).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате совершенствования конструкции азотного лазера удалось повысить импульсную мощность до 2 МВт, а КПД — до 0,04%. При продолжительной работе лазера проток газа через лазерную трубу-

ку и циркуляция раствора красителя через кювету увеличивают выходную мощность на 13%, а ее флуктуации уменьшаются примерно в 2 раза.

Авторы благодарны В.П.Джелепову за поддержку исследований. Мы благодарны также В.Ф.Поенко и И.Я.Седову за помощь в изготовлении деталей лазера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бан Хе Сок и др. ОИЯИ, P15-86-146, Дубна, 1986.
2. Бан Хе Сок и др. ОИЯИ, 13-85-551, Дубна, 1985.
3. Антонов В.С. — Квантовая электроника, 1978, 5 №4, с.915.
4. Rickwonk K.R. et al. — Rev. Sci. Instr., 1986, 57(7), p.1299.
5. Lademann J. — Exp. Tech. der Phys., 1984, 32, 3, p.234.
6. Тарасенко В.Ф. и др. — Квантовая электроника, 1974, №5, с.1226.
7. Wojark et al. — Rev. Sci. Instr., 1984, 55, No. 2, p.166.
8. Папакин Ф.Ф. и др. — Квантовая электроника, 1978, 5, №7, с.1580.
9. Бычков Ю.П. и др. — Квантовая электроника, 1975, 2, №9, с.2047.

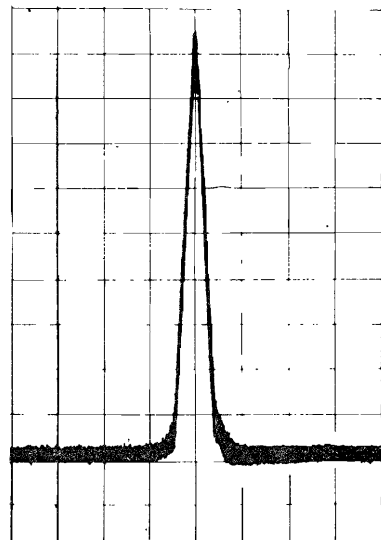


Рис. 11. Осциллограмма импульса излучения из красительной кюветы (одно деление шкалы составляет 10 нс).

Рукопись поступила в издательский отдел
12 июня 1987 года.

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Бан Хе Сок и др.

13-87-415

Повышение эффективности работы азотного лазера

Описывается конструкция азотного лазера с улучшенными рабочими характеристиками, дающего ультрафиолетовое излучение с длиной волны 337,1 нм. Для повышения коэффициента полезного действия в лазере оптимизирована система питания, введен непрерывный поток газа через лазерную трубку. Изучена работа лазера при различных питающих напряжениях и давлениях газа в разрядной камере. Импульсная мощность 2 МВт, длительность импульса на полувысоте 5 нс. Удельная энергия составляет 0,3 мДж/см³ в активном объеме лазера 32,4 см³ при скорости протока газа 80 мл/мин. Приняты меры по стабилизации работы красителя, используемого для конвертирования ультрафиолетового излучения в видимую область спектра. Повышены коэффициент полезного действия лазера и его стабильность.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Перевод авторов

Bang Hyo Sok et al.

13-87-415

Improvement of Efficiency of Nitrogen Laser Operation

The construction of nitrogen laser with improved working characteristics is described. It provides the ultraviolet radiation with 337.1 nm wave length. To raise the efficiency in laser the supply system was optimized, and continuous circulation of gas through laser tube was introduced. The laser operation under different supply voltages and gas pressure in the discharge chamber were studied. The peak pulse power is 2 MW, the pulse time duration for FWHW is 5 ns. Specific energy of 0.3 mJ/cm³ is achieved for the laser active volume of 32.4 cm³ and gas rate of 80 ml/min. Method of stabilizing dye work was used applied for conversion of ultraviolet radiation into visible area of spectrum. The efficiency of laser and its stability have been increased.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987