

Хе-лазер щелевого типа, возбуждаемый несамостоятельным разрядом

А.А.Кузнецов*, М.З.Новгородов*, В.Н.Очкин*, В.М.Тихонов*, Ф.Я.Блок**, В.Я.Витteman**

Впервые получена импульсно-периодическая с высокой частотой повторения импульсов (10–20 кГц) лазерная генерация в ближней ИК области спектра на атомах Хе, возбуждаемых несамостоятельным разрядом постоянного тока с предыонизацией высоковольтными импульсами. При размерах активной среды 190 × 20 × 2 мм средняя лазерная мощность составила ~100 мВт, пиковая – примерно 5 Вт. Показано, что относительная интенсивность лазерных переходов может варьироваться с помощью изменения энерговклада разряда постоянного тока, а также выбора состава и давления газовой смеси.

Ключевые слова: щелевой Хе-лазер, возбуждение комбинированным разрядом.

В исследованиях газоразрядных лазеров можно отметить возрождение интереса к лазеру на атомарном Хе, излучающему на нескольких переходах в области длин волн 2–3 мкм. При переходе от возбуждения продольным разрядом постоянного тока низкого давления к возбуждению поперечным высокочастотным разрядом при средних давлениях ($\sim 10^2$ Тор) мощность лазера увеличилась примерно на 3 порядка и он был отнесен к классу мощных лазеров [1–4]. Наилучшие результаты получены в системах с планарной геометрией активной среды [3, 4].

В работах [5, 6] изучена пространственная структура поля излучения и коэффициента усиления Хе-лазера и отмечен ряд ее особенностей в поперечном сечении разряда. Сопоставление экспериментальных данных с результатами моделирования приводит к выводу о том, что в лазерной генерации на ВЧ разряде ($\sim 10^8$ Гц) активную роль играют лишь узкие приэлектродные области пространственного заряда. Сравнение же с возможностями поперечного разряда постоянного тока в самостоятельной форме затруднено его неустойчивостью в такой геометрии.

В настоящей работе исследуется Хе-лазер, возбуждаемый поперечным несамостоятельным разрядом со щелевой геометрией. Газоразрядная камера длиной 190 мм образована двумя керамическими (Al_2O_3) пластинами, расстояние между которыми равно 2 мм, и удаленными друг от друга на 20 мм двумя медными боковыми стенками, одновременно являющимися электродами. Электроды и керамические пластины охлаждаются проточной водой. Глухое вогнутое зеркало с радиусом кривизны 4 м и плоское зеркало с пропусканием $\sim 30\%$ удалены на 10 мм от торцов щелевого канала и, соответственно, на 210 мм друг от друга.

Однородный несамостоятельный разряд в планарной разрядной камере поддерживался короткими (~ 500 нс) высоковольтными (до 10 кВ) импульсами предыонизации.

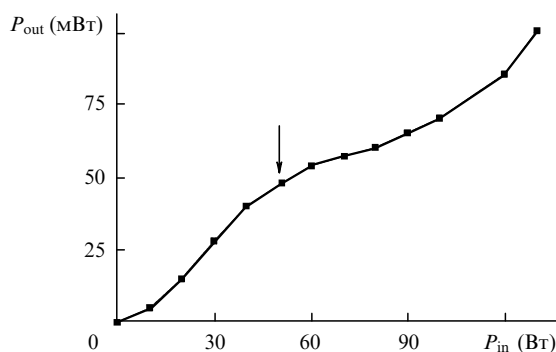


Рис.1. Зависимость средней мощности лазерной генерации от мощности, вкладываемой в разряд.

Частота повторения импульсов могла регулироваться в диапазоне 10–20 кГц. Разрядная схема отличается от использованной ранее для CO_2 -лазеров [7, 8], в которой предыонизация осуществлялась с помощью дополнительных электродов, прижатых с внешней стороны к диэлектрическим пластинам.

Были измерены энергетические, временные и спектральные характеристики выходного излучения при разных электрических параметрах разряда, составе и давлении рабочей смеси. Вольт-амперные характеристики разряда имеют растущий характер, что свидетельствует о его несамостоятельности.

На рис.1 приведена экспериментальная зависимость средней мощности лазерной генерации, измеряемой калориметром, от мощности, вкладываемой в разряд. На начальном участке (0–50 Вт), соответствующем включению только импульсного разряда, регулировка энерговклада осуществлялась за счет изменения амплитуды импульсов при частоте их следования 20 кГц. Рост вкладываемой мощности на участке 50–130 Вт обусловлен добавкой мощности от блока постоянного напряжения к максимально возможной для нашего импульсного генератора мощности 50 Вт (указана вертикальной стрелкой). Максимальный вклад мощности от источника постоянного напряжения составляет около 80 Вт (при напряжении ~ 300 В и среднем токе ~ 0.3 А) и ограничен переходом разряда в дуговую форму.

*Физический институт им.П.Н.Лебедева РАН, Россия, 117924, Москва, Ленинский просп., 53

**University Twente, 7500 AE Enschede, Netherlands

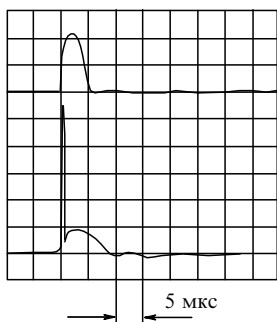


Рис.2. Осциллограммы импульса лазерной генерации (вверху) и соответствующего ему импульса разрядного тока (внизу).

При использовании смеси состава $\text{Ar}:\text{He}:\text{Xe} = 50:50:1$ и давлении около 200 Тор средняя мощность генерации превышает 100 мВт, пиковая равна ~ 5 Вт. Средняя мощность сопоставима с результатами работы [2], где при ВЧ накачке активной среды с аналогичными размерами и таким же вкладом мощности (130 Вт) мощность генерации в непрерывном режиме составила ~ 200 мВт.

На рис.2 приведены типичные осциллограммы импульса разрядного тока (масштаб 2А/дел.) и соответствующего ему импульса лазерной генерации, полученного с помощью фотоприемника $\text{Ge}-\text{Au}$ с временным разрешением ~ 1 мкс. Длительность импульса тока в зависимости от постоянного напряжения, давления и состава газа изменяется в пределах 10–20 мкс. Зависимости длительности импульсов генерации (по уровню 0.1) от давления указанной выше газовой смеси представлены на рис.3,а для двух лазерных линий – 2.03 и 2.65 мкм. В них сосредоточена практически вся энергия генерации.

Доля третьей присутствующей в выходном спектре линии 1.73 мкм мала (амплитуда импульсов на порядок ниже). На рис.3,б даны зависимости относительной амплитуды импульсов генерации для двух сильных линий от давления газа. Пунктирные линии соответствуют возбуждению только импульсным разрядом с вкладом мощности ~ 50 Вт (постоянное напряжение равно нулю), сплошные – комбинированным, с теми же параметрами импульсов и близким к пробойному постоянным напряжением, составляющим в зависимости от давления 300–450 В.

Видно, что, изменяя давление газа и энерговклад разряда постоянного тока, можно управлять относительной интенсивностью лазерных переходов. Кроме того, уменьшение содержания аргона в газовой смеси приводит к перераспределению энергии между линиями 2.65 и 2.03 мкм в пользу последней. Так, например, в смеси состава $\text{He}:\text{Xe} = 100:1$ при такой же выходной мощности (~ 100 мВт) более 90 % энергии излучения заключено в линии с длиной волны 2.03 мкм.

При изменении частоты следования импульсов предыонизации в диапазоне 10–20 кГц средняя мощность лазерной генерации меняется прямо пропорционально частоте. Из-за отсутствия высоковольтного генератора с большей частотой повторения мы ограничились ориентировочной экстраполяцией энергетика лазера для таких частот, при которых каждый импульс предыонизации прикладывается к среде, где рекомбинация завершена. По нашим оценкам, при комбинированном возбуждении максимальная частота повторения импульсов составляет ~ 60 кГц. В этом случае ожидается средняя мощность генерации ~ 300 мВт. При использовании только импульсного источника накачки частота следования может

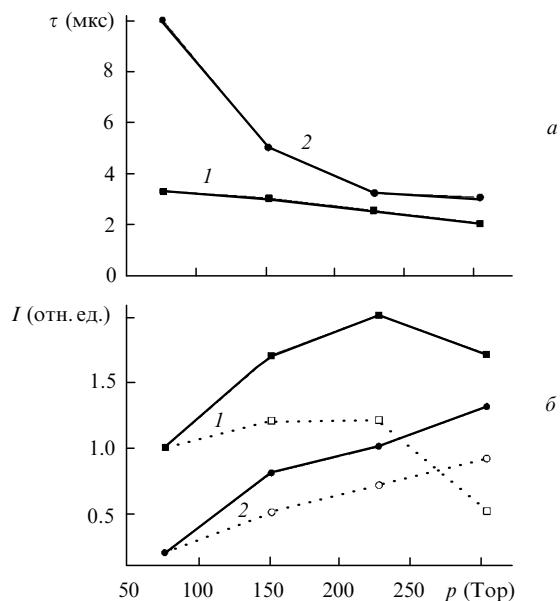


Рис.3. Зависимости длительности (а) и амплитуды (б) импульсов генерации от давления газа при возбуждении импульсным (пунктир) и комбинированным (сплошные линии) разрядом на $\lambda = 2.03$ (1) и 2.65 мкм (2).

быть повышена до ~ 500 кГц без существенного изменения физики процессов. Однако по техническим соображениям реально возможно изготовление генератора с сохранением параметров импульса лишь до частоты ~ 200 кГц, что соответствует средней мощности генерации ~ 1 Вт при пиковой мощности ~ 5 Вт.

Такой лазер перспективен в качестве основы доплеровского лидара, поскольку область длин волн 2–3 мкм является оптимальной для работы на расстояниях в несколько километров от поверхности Земли [9].

Работа частично поддержана программами «Оптика. Лазерная физика» и «Интеграция», а также грантом NWO (Нидерланды).

1. Udalov Y.B., Peters P.J.M., Heeman-Ilieva M.B. et al. *Appl.Phys.Letts*, **63**, 721 (1993).
2. Tskhai S.N., Udalov Y.B., Peters P.J.M. et al. *Appl.Phys.Letts*, **66**, 801 (1995).
3. Tskhai S.N., Udalov Y.B., Peters P.J.M. et al. *Appl. Phys.B*, **62**, 11 (1996).
4. Vitruk P.P., Morley A.J., Baker H.J., Hall D.R. *Appl.Phys.Letts*, **67**, 1366 (1995).
5. Ochkin V.N., Tskhai S.N., Kochetov I.V. et al. *Preprint FIAN № 51* (М., 1996).
6. Илюхин В.И., Очкин В.Н., Цхай С.Н. и др. *Квантовая электроника*, **25**, 512 (1998).
7. Кузнецов А.А., Новгородов М.З. и др. *Оптика атмосферы и океана*, **10**, 1296 (1997).
8. Генералов Н.А., Зимаков В.П., Косынкин В.Д. и др. *Квантовая электроника*, **9**, 1549 (1982).
9. Hannon S.M., Henderson S.W., Thomson J.A. et al. *Proc. SPIE*, **2832**, 76 (1996).

А.А.Кузнецов, М.З.Новгородов, В.Н.Очкин, В.М.Тихонов, Ф.Я.Блок, В.В.Витteman. A slab Xe laser excited by a nonself-sustained discharge.

Repetitively pulsed lasing with a high repetition rate of 10–20 kHz is obtained for the first time in the near-IR region from Xe atoms excited by a nonself-sustained dc discharge with preionisation by high-voltage pulses. For an active medium with dimensions $190 \times 20 \times 20$ mm, the average output power was ~ 100 mW and the peak power was ~ 5 W. The relative intensity of lasing transitions can be controlled by varying the dc discharge input power and selecting the composition and pressure of a gas mixture.