

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Вострецов Семён Олегович

КУРСОВАЯ РАБОТА

Исследование накачки газового лазера электрическим разрядом

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №18302

Научный руководитель:

Капуста Дмитрий Николаевич,
м.н.с. лаб. 2.1 ИЛФ СО РАН

Оценка научного руководителя

«_____» _____ 20__ г.

Преподаватель практикума

к. т. н. Астрелин В. Т.

Оценка преподавателя практикума

«_____» _____ 20__ г.

Куратор практикума:

к. т. н. Астрелин В. Т.

Итоговая оценка

«_____» _____ 20__ г.

Новосибирск 2019

Аннотация

Целью работы являлось исследование характеристик электрической системы накачки азотного лазера ($\lambda=337$ нм) при возбуждении объемным поперечным электрическим разрядом с искровой УФ предыонизацией. Для достижения этой цели исследования были поставлены следующие задачи: исследовать зависимость тока разряда и напряжения, прикладываемого к основным электродам, от зарядного напряжения и давления активной газовой среды, содержащей буферный газ гелий (He) и азот (N_2). Процентное соотношение газовых компонент в экспериментах было 99%-1%:He- N_2 . Рабочее давление газовой среды было представлено 2 и 3 атм. Была проведена оценка плотности тока разряда, которая в наших экспериментальных условиях составила примерно 1 кА/см^2 .

Ключевые слова: поперечный разряд, азотный лазер, напряжение, ток разряда, объемный разряд.

Место выполнения работы: лаб. 2.1 “Импульсных газоразрядных лазеров” ИЛФ СО РАН

Оглавление

1. Введение	4
2. Принцип работы установки	6
3. Описание установки	8
3.1 Измерительная аппаратура	8
4. Результаты исследований	9
5. Заключение	14
6. Список литературы	15

1. Введение

В данной работе рассматривается один из интереснейших представителей лазеров на электронно-колебательных переходах – азотный лазер. Впервые УФ лазерная генерация на молекулах азота была получена Хирдом [1] и позже была исследована другими научными группами [2]. До сих пор данная активная среда ввиду своих особенностей (длительность импульса, пиковая мощность и т.д.) не теряет своей научной и прикладной значимости, в частности для накачки лазеров на красителях, для решения задач в медицине (герпес, терапия). Данный лазер имеет наиболее важную линию генерации на длине волны $\lambda=337$ нм (Ультрафиолет) и относится к типу лазеров на самоограниченных переходах (т.е. время жизни верхнего лазерного уровня меньше чем время жизни нижнего). Поэтому, получить стационарную инверсию населённости на них невозможно. Однако с использованием импульсной накачки это становится возможным. К тому же импульсная накачка позволяет вводить достаточно большие мощности в активную среду без необходимости отводить тепло. Так же в работах других авторов в качестве способов накачки азотного лазера были использованы электронный пучок, продольный и поперечный электрический разряд, индукционный разряд с различными методами предыонизации активной среды. Тем не менее, поперечный электрический разряд является одним из самых эффективных способов возбуждения азотного лазера.

Данная работа направлена на исследование зависимости характеристик активной среды от параметров электрической накачки. В качестве активной среды в экспериментах использовалась смесь буферного газа гелия (He) и азота (N₂) в соотношении 99%-1% при давлениях 2 и 3 атм. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- 1) Исследовать зависимости тока разряда и напряжения, прикладываемого к основным рабочим электродам, от зарядного напряжения и давления активной среды.
- 2) Рассчитать плотности тока разряда, оценить эффективность электрической накачки активной среды в имеющихся экспериментальных условиях.

2. Принцип работы установки

В представленной работе в качестве схемы возбуждения активной среды азотного лазера использовалась импульсная высоковольтная схема возбуждения типа “LC-инвертор” с автоматической УФ предыонизацией, изображённая на Рис. 1. Данная схема была разработана научным коллективом лаборатории 2.1 “Импульсных газоразрядных лазеров” и описана в публикации [3]

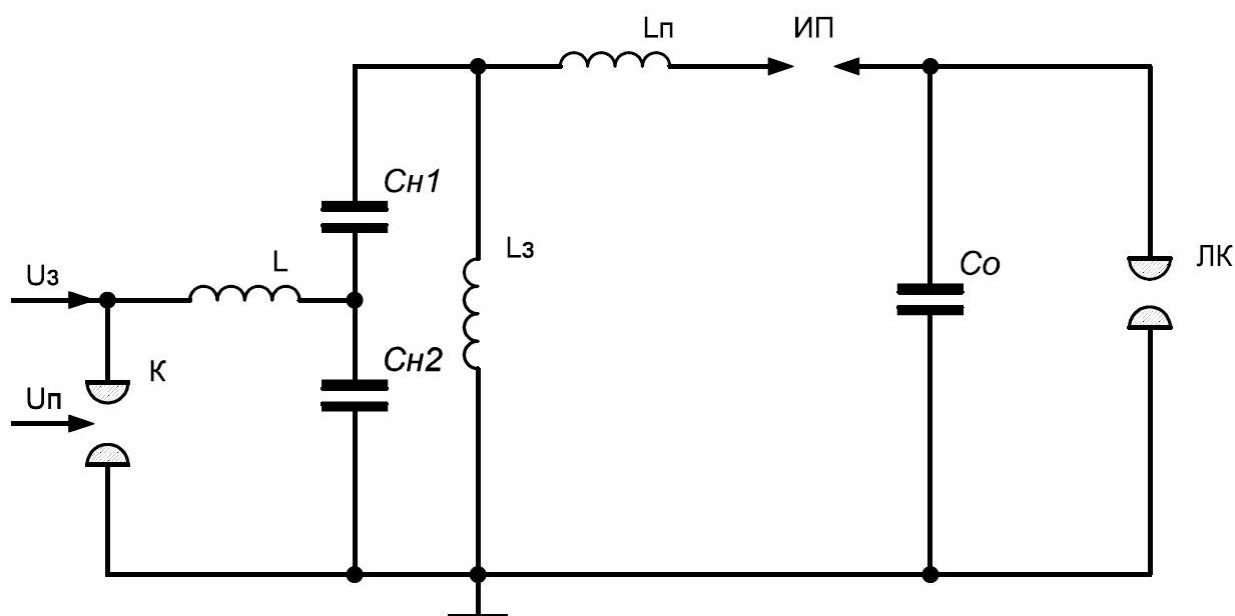


Рис. 1. Схема возбуждения “LC-инвертор”: C_{H1} , C_{H2} – накопительные емкости, U_3 – зарядное напряжение, U_p – пусковой импульс, K – высоковольтный коммутатор, L_3 – зарядная индуктивность, L_p – индуктивность предыонизации, ИП – искровой промежуток предыонизации, C_o – обостряющая емкость, ЛК – разрядный промежуток лазера

Высоковольтная электрическая схема типа «LC-инвертор» работает по следующему принципу. Обе накопительные ёмкости заряжаются до равного зарядного напряжения U_3 . (Для заряда ёмкости “не переворачиваемой” батареи конденсаторов $C_{н1}$ используется зарядная индуктивность L_3). После активации высоковольтного коммутатора К (управляемый разрядник РУ-65) происходит смена полярности “переворачиваемой” батареи конденсаторов $C_{н2}$. При этом напряжение на этой накопительной ёмкости становится обратным по знаку. На этом этапе у накопительных ёмкостей меняется тип подключения на последовательный и в результате ёмкость “ударной” батареи конденсаторов определяется по формуле (1).

$$C_{уд} = \frac{C_{н1} * C_{н2}}{C_{н1} + C_{н2}}, \quad (1)$$

После смены полярности ёмкости $C_{н2}$ напряжение, прикладываемое к основному разряду, в идеальном случае должно увеличиться в 2 раза по сравнению с U_3 . Однако из-за различных потерь электрической энергии, к примеру, на высоковольтном коммутаторе, при прохождении электрического тока через токопроводящие шины, коэффициент преобразования, определяемый как отношение прикладываемого напряжения к зарядному, как правило, не превышает 1,8.

Поскольку время задержки между началом работы УФ предыонизации и развитием основного газового разряда сильно зависит от индуктивности цепи, включающей обостряющую батарею конденсаторов и газоразрядный промежуток, это является одним из недостатков схемы типа «LC-инвертор». Поэтому эту индуктивность стремятся свести к минимуму за счёт сокращения длины токопроводящих поверхностей, к примеру, располагая батарею обостряющей ёмкости как можно ближе к газоразрядному промежутку.

3. Описание установки

Представленная на Рис. 1. схема оборудована двумя параллельно соединёнными накопительными ёмкостями (“переворачиваемой” – $C_{н2}$, и “не переворачиваемой” – $C_{н1}$), на которые подаётся зарядное напряжение U_z . Они образуют ударную ёмкость после подачи на коммутатор К импульса поджига с напряжением U_p . В результате происходит смена полярности на “переворачиваемой” ёмкости.

В данных экспериментальных условиях батарея “переворачиваемой” ёмкости была образована 12 конденсаторами, а “не переворачиваемой” - 22 конденсаторами. Ёмкость каждого из них составляла 2,7 нФ. Обостряющая ёмкость C_o в свою очередь состояла из 18 конденсаторов ёмкостью 1,3 нФ каждый и заряжалась посредством работы УФ предионизации через искровые промежутки. Для одновременного срабатывания искровых промежутков и, как следствие, обеспечения однородного объёмного разряда использовались 78 дросселей, включённых в электрическую цепь параллельно. Их суммарная индуктивность 12,82 нГн. Чтобы свести к минимуму индуктивность токоведущих шин, конденсаторы обостряющей ёмкости располагаются максимально близко к разрядному промежутку. Автоматическая УФ предионизация обеспечивалась двумя рядами эквидистантно расположенных пинов.

3.1 Измерительная аппаратура

В ходе экспериментального исследования была использована следующая измерительная техника: четырёхканальный цифровой осциллограф TektronixTDS 2014B, высоковольтный щуп Tektronix P6015A, токовый шунт (общее сопротивление 0,032 Ом).

4. Результаты исследования

В результате экспериментов была произведена регистрация осциллограмм импульса напряжения, прикладываемого к основным рабочим электродам, и тока разряда, сформированных схемой типа «LC-инвертор» (Рис. 2.). В данной работе был рассмотрен только первый полупериод тока разряда, на фронте которого формируется импульс лазерного излучения азотного лазера.

Зарегистрированные импульсы напряжения и тока разряда соотнесены на осциллограмме с учётом скорости их распространения (разная длина кабелей). Временная задержка между этими импульсами составила около 12 нсек.

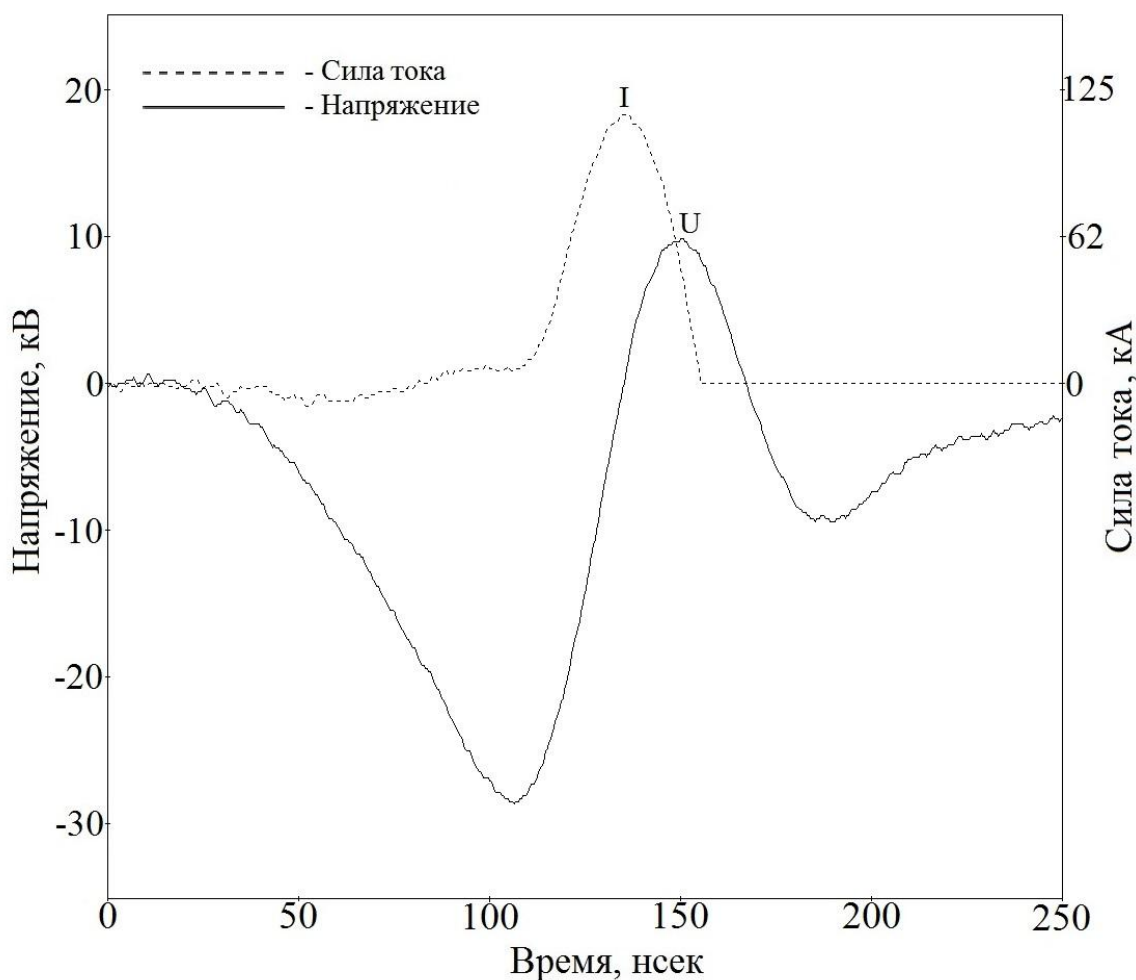


Рис. 2. Осциллограмма импульсов напряжения (U), заряжающее обостряющую ёмкость, и тока разряда (I)

Из осциллограмм видно, что импульс напряжения, прикладываемого к основным электродам, достигает максимума в момент начала формирования импульса тока разряда. Амплитуда импульса второго отрицательного полупериода напряжения гораздо меньше в сравнении с первым, что свидетельствует о хорошей согласованности сопротивления активной среды с накачкой. Типичное время задержки между началом работы УФ предыонизации, инициируемой на фронте нарастания напряжения, и началом формирования импульса тока разряда составило около 100 нсек.

Были проведены исследования зависимости тока разряда и напряжения, на основных электродах, от зарядного напряжения и давления активной среды. В данной серии экспериментов рабочая газовая смесь была образована двумя газовыми компонентами азотом и гелием (в качестве буферного газа) в процентном соотношении 1% и 99% соответственно. Давление активной среды было фиксированным и составляло 2 и 3 атм.

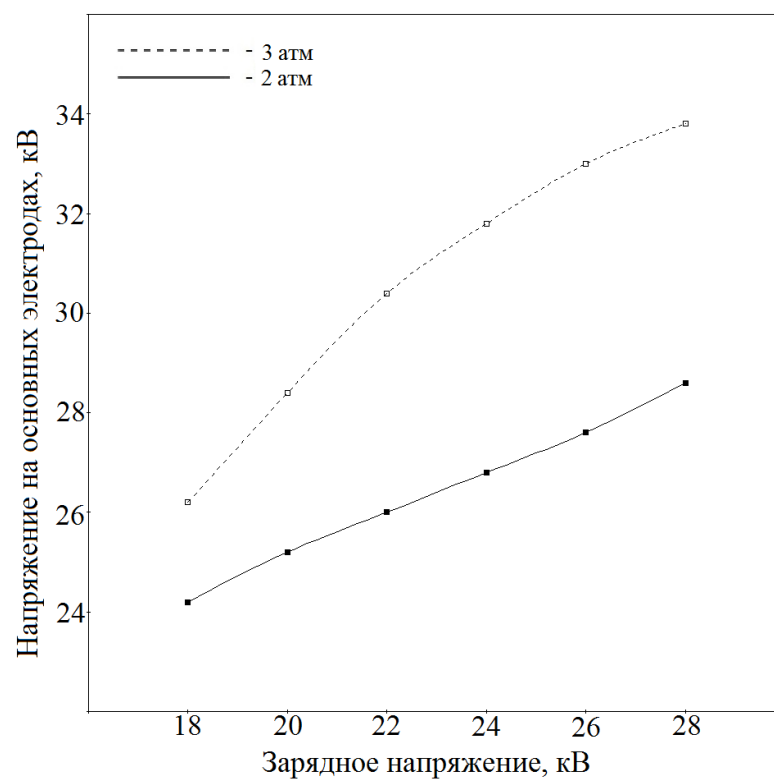


Рис. 3. Зависимость напряжения, прикладываемого к основным электродам, от зарядного напряжения для разных значений давления активной среды

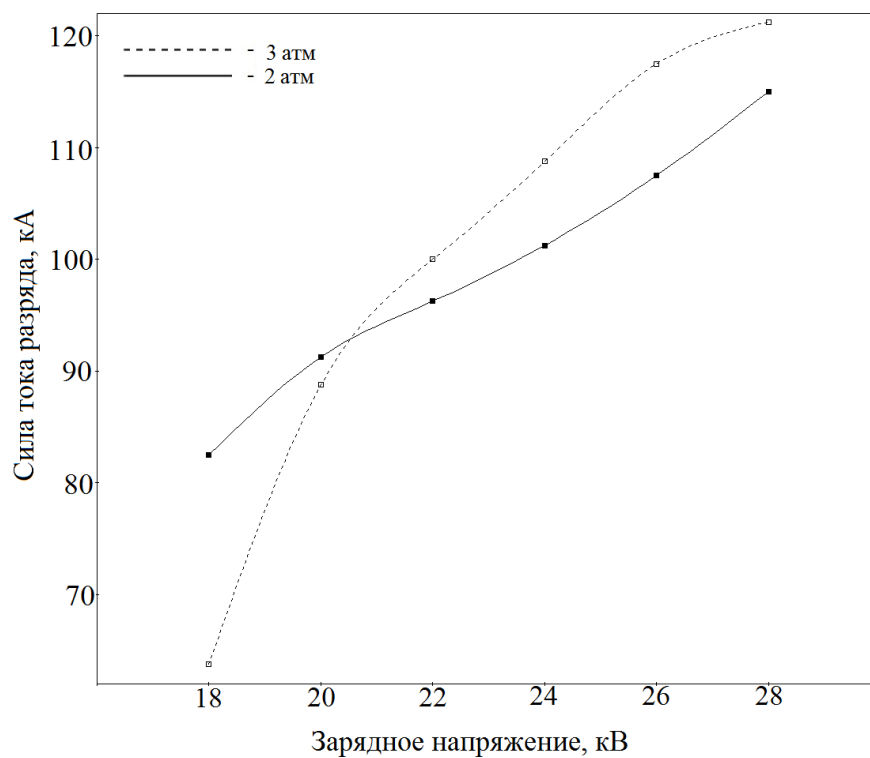


Рис. 4. Зависимость токов разряда от зарядного напряжения для разных значений давления активной среды

Связь силы тока и напряжения, замеренного высоковольтным щупом, определяется по формуле (2)

$$I = 2 * \frac{U*100}{R} \quad (2)$$

Данная формула представляет собой закон Ома с учётом нескольких коэффициентов. Множитель “100” добавлен из-за того, что используется делитель напряжения. Множитель “2” добавлен по причине того, что обостряющая ёмкость представлена двумя рядами конденсаторов, подключённых параллельно и расположенных по разные стороны от лазерной камеры. Измерения были сняты лишь с одной стороны, но из-за особенностей подключения на другой стороне ток идентичен.

Из полученных графиков следует, что при большем давлении напряжение и сила тока разряда импульсов увеличиваются.

Далее приведена оценка плотности тока разряда. Метод оценки основан на однородности по ширине и длине полученного электрического поперечного разряда. Это позволяет оценить его ширину шириной пучка лазерного излучения. Длину можно принять за длину основных рабочих электродов. Тогда становится возможным рассчитать плотность тока разряда по формуле (3)

$$j = \frac{I_{\text{раз}}}{S} = \frac{I_{\text{раз}}}{b \cdot l} \quad (3)$$

Где l -длина электрода, а b -ширина пучка.

Плотность тока разряда, полученная в обоих экспериментах

$I_{\text{раз}}, \text{кА}$	$j, \text{кА/см}^2$
63,75	0,56
88,75	0,78
100,00	0,88
108,75	0,95
117,50	1,03
121,25	1,06
82,50	0,72
91,25	0,80
96,25	0,85
101,25	0,89
107,50	0,94
115,00	1,01

5. Заключение

В ходе данной работы была исследована работа импульсной высоковольтной схемы возбуждения «LC-инвертор», используемой в качестве схемы возбуждения азотного лазера ($\lambda=337$ нм) с накачкой поперечным электрическим разрядом с УФ предыонизации активной среды. Анализ осциллограммы импульсов напряжения на основных электродах и тока разряда показал, что основная доля запасённой энергии вкладывается в активную среду в течении первого полупериода импульса напряжения. Характерное время задержки между началом УФ предыонизации и началом развития основного разряда было примерно 100 нсек. Лазерная генерация на молекулах азота наблюдалась во всех экспериментах и в поперечном сечении представляла собой прямоугольник с шириной 1,7 см и высотой 2 см. Распределение интенсивности лазерного излучения в поперечном сечении наблюдалось весьма однородным, что может говорить о достижении объёмной однородной и стабильной стадии газового разряда.

Были получены и проанализированы зависимости напряжения, прикладываемого к основным электродам, и тока основного разряда от зарядного напряжения для газовой смеси He(99%) и N₂(1%) при фиксированных давлениях 2 и 3 атм. Отмечено, что значения прикладываемого напряжения и тока разряда прямо-пропорциональны значению изменяемого зарядного напряжения. При этом коэффициент перенапряжения, равный отношению приложенного напряжения к зарядному, увеличивался с увеличением давления газовой смеси.

Так же была проведена оценка плотности тока разряда, максимальное значение которого составила примерно 1 кА/см²

6. Список литературы

- [1] H. G. Heard, Nature 200, 887. -1963
- [2] Razhev A., Churkin D. Inductive ultraviolet nitrogen laser // Jetp Letters. – 2007. –№6(86). –с.420.-423
- [3] Влияние интенсивности накачки на эффективность эксимерного KrF-лазера на смеси He-Kr-F₂ / А. М. Рожев, А. И. Щедрин, А. Г. Калюжная, А. В. Рябцев, А. А. Жуликов // Квантовая электроника. – 2004. - №10(34). – с.901-906