

## ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.-м.н. Ломаева М.И. на диссертацию Ткаченко Романа Андреевича «Импульсные газоразрядные индукционные лазеры на переходах молекулярного азота и нейтральных атомов неона и ксенона», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 – Оптика

Диссертационная работа Ткаченко Романа Андреевича посвящена применению индукционного разряда для накачки газоразрядных лазеров на переходах молекул азота и нейтральных атомов неона и ксенона.

**Актуальность** данной работы обусловлена рядом уникальных свойств газоразрядных лазеров, обеспечивающих возможность их практических применений в различных областях, в том числе, в медицине, в частности, в дерматологии, онкологии, косметологии, для спектрально-флуоресцентной диагностики биотканей, при лечении туберкулеза и других заболеваний. Кроме того, одной из важных и актуальных сторон диссертационной работы является исследование индукционного разряда как способа накачки активных сред газовых лазеров, при котором активная среда не контактирует с поверхностью электродов.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в том, что при накачке индукционным разрядом впервые была получена лазерная генерация на  $3p \rightarrow 3s$  переходах атома NeI с длинами волн 540.1, 585.3 и 614.3 нм, а также на переходах атома XeI с длинами волн 1.73 и 2.026 мкм; установлены механизмы достижения инверсной населенности на данных переходах; повышена – до 1 МВт мощность излучения азотного лазера.

**Практическая значимость полученных результатов** обусловлена, прежде всего, возможностью использования разработанных лазеров, накачиваемых индукционным разрядом, в медицинских приложениях, в частности, в онкологии, дерматологии, косметологии, для лечения глаукомы, туберкулеза и других заболеваний.

**Достоверность полученных результатов** обусловлена использованием современного измерительного, диагностического оборудования и приборов; выводы и заключения последовательны и отражают суть проведенных исследований, согласуются с ранее полученными данными.

**Диссертация состоит** из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений и списка литературы.

**Во введении** приводятся обоснование актуальности темы диссертационной работы, цель и задачи исследования, раскрывается научная и практическая значимость полученных

результатов, приведены положения, выносимые на защиту, список публикаций соискателя, описаны структура и объем диссертации.

**В первой главе** приводится описание основных характеристик индукционного разряда с точки зрения его использования для накачки активных газовых лазеров, используемых в работе методик и измерительной аппаратуры.

**Во второй главе** приведен обзор и анализ опубликованных научных работ, посвященных исследованию УФ азотного лазера с накачкой объемным сильноточным продольным и поперечным электрическим разрядом, изложены результаты исследования данного лазера с накачкой импульсным индукционным разрядом.

**В третьей главе** приведены результаты исследования спектральных, энергетических, временных и пространственных характеристик лазеров, накачиваемых индукционным разрядом, в активных средах на основе неона – как в чистом неоне, так и в смесях неона с добавками  $\text{NF}_3$ ,  $\text{SF}_6$  и  $\text{H}_2$ ; рассмотрены особенности излучения индукционного неоновго лазера на длине волны 540.1 нм, генерируемого в режиме сверхсветимости.

**В четвертой главе** приведен обзор научных статей, направленных на исследование инфракрасных электроразрядных лазеров на переходах атома ксенона, изложены результаты экспериментальных исследований характеристик излучения данных лазеров, накачиваемых индукционным разрядом.

**В Заключение** представлены основные результаты, полученные при выполнении диссертационной работы.

**Автореферат** отражает основное содержание диссертации.

Несмотря на общую положительную оценку работы, были выявлены следующие замечания:

- 1) В тексте автореферата и диссертации при описании энерговода в активную среду используется термин «возбуждение» вместо общепринятого «накачка».
- 2) В подписях к рис. 1.6, 1.8 используется выражение: «М – добротное зеркало с алюминиевым покрытием», что на мой взгляд ошибочно, поскольку добротность – это характеристика резонатора, а не зеркала, которое характеризуется коэффициентом отражения.
- 3) На стр. 19 текста диссертации указано: «...при использовании трубок меньшего внутреннего диаметра применение цилиндрического индукционного разряда становится не эффективным из-за малой напряженности электрического поля, а также недостаточного коэффициента магнитной связи (см. раздел 1.2).» В тоже

время, из соотношения (1.2) ( $k = S_{кат.}/S_{пл.}$ ) раздела 1.2 следует, что коэффициент магнитной связи  $k$  увеличивается по мере уменьшения величины площади плазменного витка  $S_{пл.}$ , что имеет место при уменьшении внутреннего диаметра используемой трубки.

- 4) На рис. 1.19 подпись к рисунку не соответствует подписи оси ординат.
- 5) Данные рис. 2.8 не совпадают с приводимыми в тексте данными: оптимальное давление при зарядном напряжении 24 кВ составляло: 3 Торр (текст диссертации), ~ 8 Торр (данные рис. 2.8).
- 6) На рис. 2.17 представлены кривые напряжения на индукторе  $U_L$  и тока через индуктор  $I_L$ , совпадающие по фазе после пробоя. Между тем, известно, что падение напряжения на индуктивности, в данном случае  $U_L$ , должно опережать ток через индуктивность  $I_L$  на величину, равную четверти периода, что не отражено на рисунке.
- 7) На стр. 48 текста диссертации в предложении: «Начало импульса генерации соответствует максимальному значению градиента тока разряда через индуктор  $dI/dt$ , что в свою очередь соответствует максимуму ЭДС индукции в активной среде» допущена ошибка:  $dI/dt$  – не градиент, а производная по времени.
- 8) На стр. 75 в предложении: «При дальнейшем увеличении зарядного напряжения начинался заметный спад энергии регистрируемых импульсов излучения лазера, что, по нашему мнению, связано с неоптимальным распределением электронной температуры в разряде и преимущественному заселению других уровней неона». Вероятно, имелось в виду распределение электронов по энергиям?
- 9) При расчете КПД индукционного лазера используется формула:  $\eta_{imp} = 100\% \cdot 2 \cdot E_{las}(0,545/C_3 \cdot U_L^2)$ , где  $U_L$  – разность потенциалов на выводах индуктора. В тоже время, в тексте отмечается, что «в индукционный разряд вкладывалось 54,5% запасенной энергии системы возбуждения». Следовательно, при расчете КПД по указанной формуле вместо параметра  $U_L$  следует использовать  $U_{сз}$ , что приведет к изменению расчетного значения КПД.

Данные замечания не снижают общую положительную оценку представленной работы.

Диссертация Ткаченко Р.А. «Импульсные газоразрядные индукционные лазеры на переходах молекулярного азота и нейтральных атомов неона и ксенона» является законченной научно-квалификационной работой и удовлетворяет всем требованиям,

предъявленным к кандидатским диссертациям, установленным положением «О присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 с редакцией от 25.01.2024, а автор, Ткаченко Роман Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 – оптика.

Официальный оппонент,  
доктор физико-математических наук,  
ведущий научный сотрудник лаборатории оптических излучений  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
«Институт сильноточной электроники Сибирского отделения  
Российской академии наук», 634055, г. Томск, проспект Академический, 2/3  
e-mail: lomaev@loi.hcei.tsc.ru; тел. +79039142987

Ломаев Михаил Иванович

15.08.2024  
(дата) \_\_\_\_\_  
(подпись)

Подпись М.И. Ломаева удостоверяю  
Зам. директора по научной работе  
ИСЭ СО РАН, д.т.н.  
Гренадеров Александр Сергеевич

15.08.2024  
(дата) \_\_\_\_\_  
(подпись)

