

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Национальный исследовательский
Томский государственный университет

**ТРУДЫ СЕМНАДЦАТОЙ
ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
СТУДЕНЧЕСКИХ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ
ИНКУБАТОРОВ**

г. Томск, 11–15 мая 2020 г.

Под редакцией В.В. Дёмина

Scientific & Technical Translations



ИЗДАТЕЛЬСТВО

Томск – 2020

ЛАЗЕРЫ НА СМЕСЯХ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ И ФТОРА С НАКАЧКОЙ ДИФФУЗНЫМИ РАЗРЯДАМИ С УБЕГАЮЩИМИ ЭЛЕКТРОНАМИ

В.В. Кожевников^{1, 2}

*Научный руководитель: докт. физ.-мат. наук, профессор
В.Ф. Тарасенко*^{1, 2}

¹ Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

² Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия
E-mail: vlad.kogevnikov@mail.ru

Аннотация. Проведены исследования лазеров на смесях гелия с фтором при накачке мощным наносекундным диффузным разрядом. Данный тип разряда, названный ОРИПЭЛ, формируется между двумя электродами с малым радиусом кривизны при подаче на них коротких импульсов напряжения с амплитудой десятки-сотни киловольт и фронтом порядка 1 нс. В этих условиях за счет убегающих электронов формируется объемная диффузная плазма, которая является эффективным источником лазерного излучения в видимой области и области вакуумного ультрафиолета.

Ключевые слова: лазерное излучение, убегающий электрон, газы высокого давления.

Введение. Электроразрядный лазер на газовых смесях высокого давления гелия с фтором может работать на атомарных линиях фтора (FI) в спектральном диапазоне от 640 до 775 нм [1], что может быть интересно для ряда применений. Кинетические процессы в смесях гелия с фтором являются частью кинетики газовых лазеров на основе фтора (F_2^* , KrF^* , ArF^* , XeF^*), которые еще далеко не изучены [2]. Поэтому исследования FI-лазера имеет научный и практический интерес. Кроме того, в смеси He- F_2 при коротких импульсах возбуждения может быть получе-

на мощная генерация в ВУФ области спектра на переходе молекулярного фтора на 157 нм.

Целью настоящего доклада является исследование параметров вынужденного и спонтанного излучения в смесях He-F₂ диффузных разрядов, инициируемые убегающими электронами.

Методы и материалы. Основным методом исследований является физический эксперимент. Для формирования ОРИПЭЛ использовался генератор РАДАН-220. Максимальная энергия, запасенная в передающей линии генератора, составляла $E_2=2,1$ Дж. Импульсы подавались на электроды из нержавеющей стали, выполненных в виде лезвий, длиной 30 см, расположенные на расстоянии 1,8 см друг от друга. В качестве резонатора использовались плоские Al зеркала и выходные зеркала с различными коэффициентами отражения R или пластинки из MgF₂ ($R=7\%$). Методики измерений лазерных параметров и параметров диффузного разряда подробно описаны в [3, 4].

Результаты. Отличительной особенностью FI лазера является малое время запаздывания появления лазерного излучения и широкая область генерации, достигающая 1 см, что сильно отличается от генерации, например, на молекулах F₂ [4], где выходной пучок значительно уже. Это можно связать с тем, что порог генерации на линиях фтора достаточно низок, а область протекания тока в начальной стадии ОРИПЭЛ достаточно широка.

Лазерный импульс на линиях FI при повышении добротности резонатора продолжается в течение нескольких полупериодов тока разряда, что свидетельствует о высокой устойчивости ОРИПЭЛ в смесях с фтором. В спектре лазерного излучения представлены пять линий в диапазоне 634–755 нм. При этом на периферии лазерного пятна преобладает излучение на длине волны 634 нм, тогда как в центре апертуры наблюдаются линии с $\lambda>700$ нм. Это вы-

глядит как провал интенсивности излучения в центре промежутка, поскольку глаз не видит ИК излучение.

На рис.1 показаны зависимости интенсивности линий спонтанного и вынужденного излучения атомарного фтора в зависимости от давления гелия.

Буквами Q и D обозначены квартеты (переходы с уровней $3p^4S^0_{3/2}$ и $3p^4P^0_{5/2, 3/2, 1/2}$) и дублеты (переходы с уровня $3p^2S^0_{1/2}$), соответственно. Из рисунка 1(а) следует, что населенности верхних уровней лазерных переходов в основном слабо растут при увеличении содержания гелия в активной газовой смеси. Однако интенсивности лазерных линий в зависимости от давления He ведут себя совершенно не так. При увеличении давления буферного газа наблюдается резкий рост мощности генерации на квартетных переходах на 739.8 и 755.2 нм с уровня $3p^4P^0_{5/2}$, в то время как интенсивность излучения на остальных линиях падает почти до 0. Можно предположить, что данные зависимости обусловлены срывом инверсии за счет заселения нижних лазерных уровней и (или) быстрой релаксацией верхних уровней данных переходов в столкновении с атомами гелия.

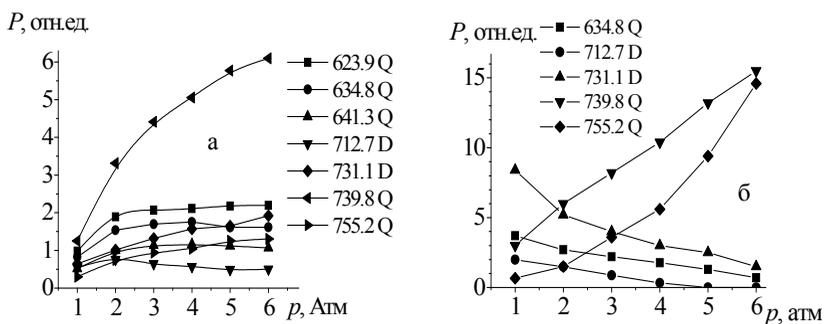


Рис. 1. Изменение интенсивности спонтанного (а) и вынужденного (б) излучения на линиях FI при повышении давления He в смеси от 1 до 6 атмосфер, содержание фтора 5 мм рт.ст., R=7%

В смесях гелия и фтора также получена эффективная генерация на ВУФ переходе молекулы F_2^* ($\lambda=157$ нм). Энергия излучения в наших экспериментах достигала 2 мДж. При этом КПД ВУФ генерации был сравним с данным параметром, полученным в лазерах с накачкой традиционным объемным разрядом с предыонизацией.

Заключение. Проведены исследования параметров излучения ОРИПЭЛ в газовых смесях гелия и фтора. Получена генерация на красных линиях FI и ВУФ переходе F_2^* . Показано, что диффузные разряды большой длительности формируются в смесях высокого давления с F_2 в разрядных системах, образованных лезвийными электродами без дополнительного источника предыонизации. Получена генерация на ВУФ переходе молекулы F_2^* с параметрами (длительность импульса, КПД), сопоставимыми с лазерными характеристиками, полученными при использовании объемных поперечных разрядов с предыонизацией.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kovacs M.A., Ultee C.J. Visible laser action in fluorine I // Applied Physics Letters. – 1970. – Vol. 17, No. 1. – P. 39–40.
2. Hatakeyama T., Kannari F., Obara M. Theoretical study of a vacuum ultraviolet F2 excimer lamp (157 nm) excited by microwave discharge // Applied Physics Letters. – 1991. – Vol. 59, No. 4. – P. 387–389.
3. Efficient N2 laser pumped by nanosecond diffuse discharge / A.N. Panchenko, V.F. Tarasenko, M.I. Lomaev et al. // Optics Communications. – 2019. – Vol. 430. – P. 210–218.
4. VUV radiation in the plasma of nanosecond discharges initiated by runaway electrons / A.N. Panchenko, M.I. Lomaev, N.A. Panchenko et al. // Proc. SPIE. – 2017. – Vol. 10173. – P. 101731T.