

Мощный короткоимпульсный источник спонтанного излучения на димерах ксенона

М.И.Ломаев, Г.А.Месяц, Д.В.Рыбка, В.Ф.Тарасенко, Е.Х.Бакшт

Создан источник мощного ВУФ излучения на основе самостоятельного объемного разряда наносекундной длительности в неоднородном электрическом поле. Показано, что формирование объемного разряда при высоком давлении ксенона и гелия возможно без источника дополнительной предьонизации. В ксеноне при давлении 12 атм и длительности импульса излучения на полувысоте 8 нс получена мощность излучения ~ 1 МВт в полный телесный угол на длине волны $\lambda \sim 172$ нм.

Ключевые слова: объемный разряд, инициируемый пучком электронов лавин (ОРИПЭЛ), излучение димеров ксенона.

1. Для создания лазеров и мощных источников спонтанного излучения на димерах ксенона необходимо осуществлять однородное возбуждение инертных газов при давлении ~ 10 атм и выше [1]. О начале работ по получению лазерного ВУФ излучения при накачке охлажденных инертных газов было сообщено Н.Г.Басовым еще в 1966 г. [2]. Наиболее подходит для этих целей электронный пучок, формируемый в вакуумных диодах [1, 3]. Известны также работы по возбуждению инертных газов при высоких давлениях разрядами с использованием дополнительных источников для предьонизации разрядного объема [4, 5]. Однако давление ксенона, при котором удается получить объемный разряд, в известных работах не превышает 1 атм [5]. В [6, 7] было показано, что рабочее давление в инертных газах можно увеличить при использовании катода с малым радиусом кривизны и при подаче на разрядный промежуток наносекундных импульсов высокого напряжения. Данный режим разряда было предложено называть ОРИПЭЛ – объемный разряд, инициируемый пучком электронов лавин [8]. В ксеноне объемный характер ОРИПЭЛ сохранялся при давлении 1.5 атм и была получена мощность излучения ~ 300 кВт в полный угол [6, 7].

Целью настоящей работы являлось исследование излучения димеров ксенона ($\lambda \sim 172$ нм) в ОРИПЭЛ при высоких давлениях.

2. Для исследования характеристик излучения из плазмы разряда в различных газах при высоких давлениях была разработана специальная камера. На разрядный промежуток подавались импульсы напряжения от генератора РАДАН-220 [3]. Генератор имел волновое сопротивление 20 Ом и формировал на разрядном промежутке импульс напряжения с амплитудой ~ 220 кВ и длительностью на полувысоте ~ 2 нс, фронт импульса напряжения составлял ~ 0.5 нс. Конструкция подобного газового

диола приведена в работе [6]. Отличие состояло в том, что длина корпуса газового диода и катододержателя была уменьшена, а вывод излучения осуществлялся через сетчатый анод. Это позволило уменьшить индуктивность газового диода по сравнению с индуктивностью диода в работе [6]. Внутренний диаметр корпуса газового диода равнялся 50 мм. Использовались плоский анод из сетки с пропусканием по свету 64 % и катод с малым радиусом кривизны, что обеспечивало дополнительное усиление поля у катода. Катод был выполнен в виде трубки диаметром ~ 6 мм из стальной фольги толщиной 50 мкм. Расстояние между катодом и анодом варьировалось в пределах от 12 до 16 мм. Возбуждение газов осуществлялось ОРИПЭЛ. Системы регистрации характеристик излучения и разряда, а также система откачки и напуска рабочих газов были подобны описанному в работе [6].

3. Были проведены исследования геометрии разряда, спектров излучения в области 150–850 нм, а также амплитудно-временных характеристик излучения в ксеноне и гелии. В гелии объемный характер разряда сохранялся во всем диапазоне исследованных давлений (до 12 атм). Разряд имел, как и в работах [6, 7], форму диффузных струй с яркими пятнами на катоде. Разряд в ксеноне при давлениях до 3–4 атм имел аналогичную форму. При давлении ксенона более 4 атм геометрия разряда начала меняться. Размер ярких пятен увеличивался, а затем они вытягивались, преобразуясь в яркие каналы, занимающие часть разрядного промежутка. При давлении более 6 атм увеличивалась длина ярких каналов, и некоторые из них могли перемыкать промежуток. Тем не менее, большинство ярких каналов были незавершенными. В оставшейся части газоразрядного промежутка наблюдался объемный разряд в виде диффузных каналов. На основе полученных спектральных и амплитудно-временных характеристик излучения можно также заключить, что во всем диапазоне исследованных давлений присутствует фаза объемного горения разряда.

Спектр излучения ксенона в области 150–200 нм принадлежал полосам $V^1\Sigma_u^+ \rightarrow X^1\Sigma_g^+$, $A^1\Sigma_u^+ \rightarrow X^1\Sigma_g^+$. На спектрограммах регистрировалась характерная полоса димеров ксенона, полуширина которой не зависела от давления. Зависимости мощности излучения в этой по-

М.И.Ломаев, Д.В.Рыбка, В.Ф.Тарасенко, Е.Х.Бакшт. Институт сильноточной электроники СО РАН, Россия, 634055 Томск, просп. Академический, 2/3; e-mail: lomaev@loi.hcei.tsc.ru, vft@loi.hcei.tsc.ru
Г.А.Месяц. Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Россия, 119991 Москва, Ленинский просп., 53; e-mail: mesyats@pran.ru

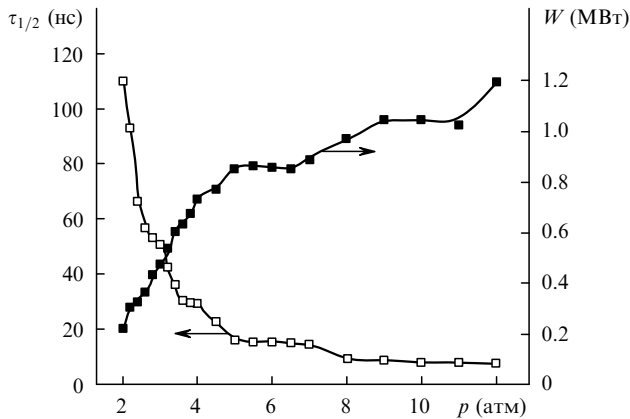


Рис. 1. Зависимости мощности W и длительности на полувысоте $\tau_{1/2}$ импульса излучения димеров ксенона от давления p ксенона.

лосе и длительности импульса излучения димеров ксенона от давления приведены на рис. 1. Видно, что мощность излучения димеров ксенона с ростом давления возрастает, а длительность импульса на полувысоте уменьшается. Нам впервые удалось получить увеличение мощности излучения димеров ксенона при повышенном давлении газа в самостоятельном разряде. Это доказывает факт формирования объемного разряда в ксеноне при высоком давлении (до 12 атмосфер в условиях проведенного эксперимента). Как было показано в [6], в контрагированном разряде мощность излучения димеров ксенона существенно уменьшается, и в области спектра 150–200 нм наибольшую мощность излучения имеют линии ионов ксенона. В данных экспериментах излучение линий ксенона в этой области не регистрировалось во всем диапазоне исследованных давлений.

Максимальная мощность излучения димеров ксенона в полный телесный угол при объеме возбуждаемой области $\sim 1 \text{ см}^3$ на данной установке составила $\sim 1 \text{ МВт}$. Поскольку импульс возбуждения имел наносекундную длительность и давление ксенона было высоким, то минимальная длительность импульса излучения на полувысоте не превышала 8 нс. Для измерения длительности импульса излучения в ВУФ области спектра использовался специально разработанный вакуумный фотодиод. Временное разрешение данного фотодиода было не хуже 1 нс. Энергия излучения димеров ксенона при давлении 12 атм составила 18 мДж, причем две трети энергии в ВУФ области спектра излучалось после достижения максимума мощности излучения. Полоса излучения димеров гелия имеющейся спектральной аппаратурой не регистрировалась, но мы предполагаем, что интенсивность их излучения также увеличивается с ростом давления до 12 атм.

Формирование объемного разряда в промежутке при неоднородном электрическом поле обусловлено предью-

низацией промежутка быстрыми электронами, которые формируются в результате усиления поля на катоде, катодных пятнах и в промежутке. Быстрые электроны создают высокую концентрацию начальных электронов, что обеспечивает перекрытие электронных лавин до достижения ими критического размера и, следовательно, формирование объемного разряда.

Отметим, что в данных условиях за анодом из AlBe фольги толщиной 50 мкм регистрировался пучок электронов. При всех исследованных давлениях гелия (до 12 атм) и ксенона (до 2 атм) амплитуда отрицательного сигнала с коллектора на порядки превышала уровень наводок, которые регистрировались коллектором за анодом из толстой (250 мкм) медной фольги. Амплитуда тока пучка за фольгой в гелии была существенно больше, чем в ксеноне.

4. Таким образом, проведенные исследования показали, что при высоких давлениях гелия и ксенона можно без источника дополнительной предьюнизации получать объемный разряд. В ксеноне при давлении 12 атм и длительности импульса излучения на полувысоте 8 нс получена мощность излучения димеров ксенона $\sim 1 \text{ МВт}$. Показано, что при возбуждении ОРИПЭЛ увеличение мощности излучения димеров ксенона в ВУФ области спектра регистрируется до давления 12 атм. Это позволяет создавать мощные короткоимпульсные источники спонтанного излучения в ВУФ области спектра на димерах ксенона и других инертных газов. Также возможно применение ОРИПЭЛ для создания активной среды электроразрядных лазеров ВУФ диапазона на димерах инертных газов. Это подтверждают расчеты коэффициентов усиления при возбуждении данным типом разряда, проведенные для димеров ксенона [9] и криптона [10].

Данная работа выполнена при поддержке программы «Фундаментальные проблемы нано- и пикосекундной электроники большой мощности» и РФФИ (проект № 05-08-33621-а).

1. Роудз Ч. (ред.) *Экцимерные лазеры* (М.: Мир, 1981).
2. Basov N.G. *IEEE J. Quantum Electron.*, **2**, 354 (1966).
3. Месяц Г.А. *Импульсная энергетика и электроника* (М.: Наука, 2004).
4. Кузнецов А.А., Скакун В.С., Тарасенко В.Ф., Фомин Е.А. *Письма в ЖТФ*, **19** (5), 1 (1993).
5. Lam S.K., Lo D., Zheng C.E., Yuan C.L., et al. *Appl. Phys. B*, **75** (6-7), 733 (2002).
6. Бакшт Е.Х., Ломаев М.И., Рыбка Д.В., Тарасенко В.Ф. *Квантовая электроника*, **36**, 576 (2006).
7. Бакшт Е.Х., Ломаев М.И., Рыбка Д.В., Тарасенко В.Ф. *Письма в ЖТФ*, **32** (19), 52 (2006).
8. Тарасенко В.Ф., Орловский В.М., Шунайлов С.А. *Изв. вузов. Сер. Физика*, № 3, 94 (2003).
9. Бойченко А.М., Яковленко С.И. *Квантовая электроника*, **36**, 1176 (2006).
10. Зверева Г.Н., Ломаев М.И., Рыбка Д.В., Тарасенко В.Ф. *Оптика и спектроскопия*, **102** (1), 46 (2007).