

ХЕСЛ-ЭКСИЛАМПА ЕМКОСТНОГО РАЗРЯДА

С. С. Ануфрик, А. П. Володенков, К. Ф. Зноско, М. М. Салехудинов
Гродненский государственный университет им. Я.Купалы, г. Гродно

Введение

На практике довольно часто необходимо иметь некогерентный, мощный источник излучения, который обладает большой излучающей поверхностью. Именно для таких целей в последнее время все чаще используют газоразрядные излучатели, которые работают на электронно-колебательных переходах эксимерных молекул - эксилампы. В ультрафиолетовом диапазоне спектра и в области вакуумного ультрафиолета перспективным является использование соответственно молекул галогенидов инертных газов (XeCl , XeF , KrCl и т.д) и димеров ксенона (Xe_2^*) и которые образуются в газоразрядной плазме. Теоретические и экспериментальные исследования показали, что эти источники могут обладать эмиссионной эффективностью доходящей до 40 %.

В настоящее время существует ряд причин, которые не позволяют получить указанное значение эффективности, среди них следует в первую очередь отметить - неустойчивость газоразрядной плазмы. Для многочисленных практических образцов газоразрядных устройств имеется неопределенность как в выборе типа разряда для создания плазмы, так и в выборе оптимальных по интенсивности излучения составов газовой смеси. Для того чтобы преодолеть эти трудности, в настоящее время проводятся многочисленные исследования по моделированию разряда, по оптимизации систем его возбуждения и состава активной среды.

В представленной ниже работе изложены результаты, полученные при экспериментальном исследовании различных типов XeCl -эксиламп при возбуждении емкостным разрядом.

Система возбуждения емкостного разряда и схема экспериментальных измерений

Возбуждение разряда осуществлялось цугами высоковольтных высокочастотных двухполярных импульсов с длительностью $\sim 0,3$ мкс и частотой повторения 10-100 гц. В качестве источника возбуждения использовался модифицированный блок питания азотного лазера ЛГИ-21 [1,2], представленный на рис. 1

Напряжение сети (220 В) подается на первичную обмотку трансформатора высокого напряжения (1). Высокое напряжение (5кВ) от вторичной обмотки трансформатора высокого напряжения (1) подается на ум-

ножитель напряжения на диодах (2, 3) и конденсаторах (4, 5). Высокое напряжение (10 кВ) от умножителя напряжение подается на батарею накопительных конденсаторов (7) через зарядное сопротивление (6). Тиратрон (8) запускается поджигающими импульсами регулируемой частоты от генератора (9). Накопительная емкость (7) разряжается через первичную обмотку кабельного трансформатора (10). Кабельный трансформатор осуществляет учетверение напряжения. Высокое напряжение (~35 кВ) от вторичной обмотки кабельного трансформатора (10) прикладывается к электродам эксилампы (11).

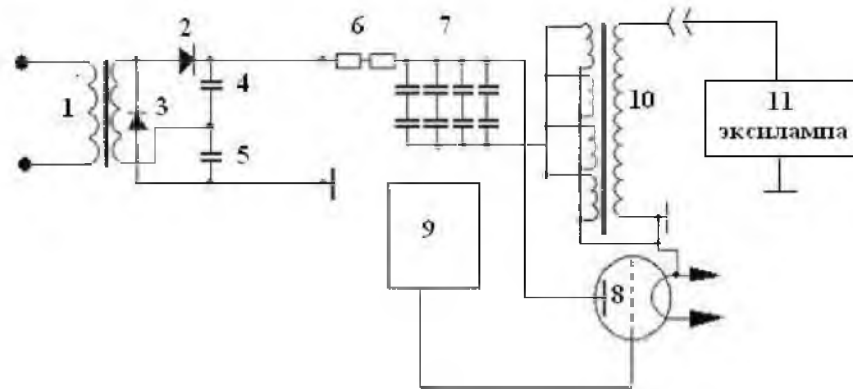


Рис. 1. Упрощенная схема системы возбуждения эксилампы. 1 – высоковольтный трансформатор; 2, 3 - диоды; 4, 5 – конденсаторы; 6 – зарядное сопротивление; 7 – накопительная емкость; 8 – тиратрон; 9 – блок управления тиратроном; 10 – высоковольтный кабельный трансформатор; 11- эксилампа

Блок- схема экспериментальных измерений представлена на рис. 2.

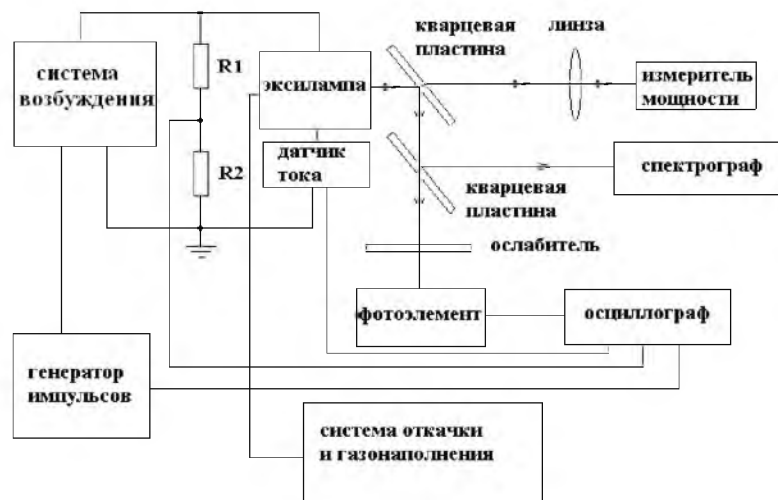


Рис. 2. Блок-схема экспериментальной установки

Экспериментальная установка измерений включала коаксиальный фотоэлемент ФЭК22-СПУ, резистивный делитель напряжения, датчик тока и осциллограф БЛОР-04, СТЭ-1 использовался как спектрограф.

В качестве измерителя мощности был взят ИМО 2. Головка измерителя находится на расстоянии 250 мм от эксилампы. Так как излучение лампы обладает цилиндрической симметрией, то можно принять в первом приближении, что площадь, которая охватывает излучение это площадь цилиндра радиусом $R=250$ мм и длиной L (длина разряда в эксилампе) и она равна:

$$S = 2\pi \cdot R \cdot L \quad (1)$$

Диаметр отверстия, в которое попадает излучение $d=13$ мм, которое занимает только некоторую часть всей площади цилиндра. Значит полная мощность, излучаемая эксилампой, будет определяться следующим образом

$$P = P_0 \cdot N \quad (2)$$

Где P_0 – мощность излучения регистрируемая ИМО 2, а коэффициент N будет рассчитываться по формуле

$$N = \frac{2\pi \cdot R \cdot L}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = 8 \cdot \frac{R \cdot L}{d^2} \quad (3)$$

Эксилампа с емкостным разрядом №1

Конструкция эксилампы емкостного разряда представлена на рис.3.

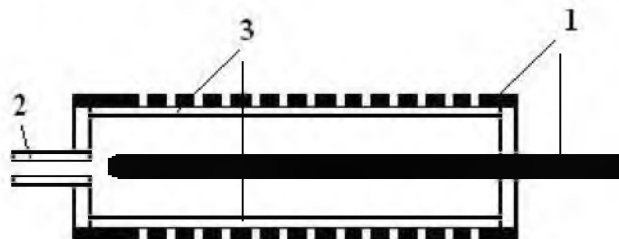


Рис. 3. ХеСl-эксилампа емкостного разряда.

1 – основные электроды; 2 – патрубок для откачки и напуска газа; 3 – кварцевая трубка.

Лампа изготовлена из кварцевой трубки (3) с толщиной стенок 1,5 мм. Диаметр трубки составлял 26 мм, а длина излучателя равнялась ~ 200 мм. Алюминиевый цилиндрический проводник (диаметром 10 мм), помещенный в кварцевую трубку и металлическая сетка служили электродами (1). Металлическая сетка, изготовленная из нержавеющей стали, плотно прилегает к внешней поверхности кварцевой трубки. Колба лам-

пы имеет полный объем 0.15 л и активный объем ~ 0.1 л. Средняя мощность излучения составляла ~ 2.5 Вт (при частоте повторения импульсов $F=50$ Гц). Эффективность лампы была равна $\sim 10\%$. Светимость эксилампы была приблизительно 20 мВт/см². При этом с 1 см³ активной среды снималась мощность излучения ~ 25 мВт/см³.

Была выполнена оптимизация состава газовой смеси. Зависимость относительной величины средней мощности излучения от полного давления смеси представлена в рис.4,а. Величина средней мощности излучения растет по мере увеличения величины полного давления (для следующего состава газовой смеси: HCl:Xe:Ne=5:100:1400). При полном давлении смеси больше 1 атм, происходило разрушение стенок кварцевой трубки. Поэтому все экспериментальные данные снимались при общем давлении смеси не выше 1 атм. Зависимость относительной величины средней мощности излучения от давления ксенона представлена на рис.4,б. Оптимальная величина парциального давления ксенона равна 50 Торр.

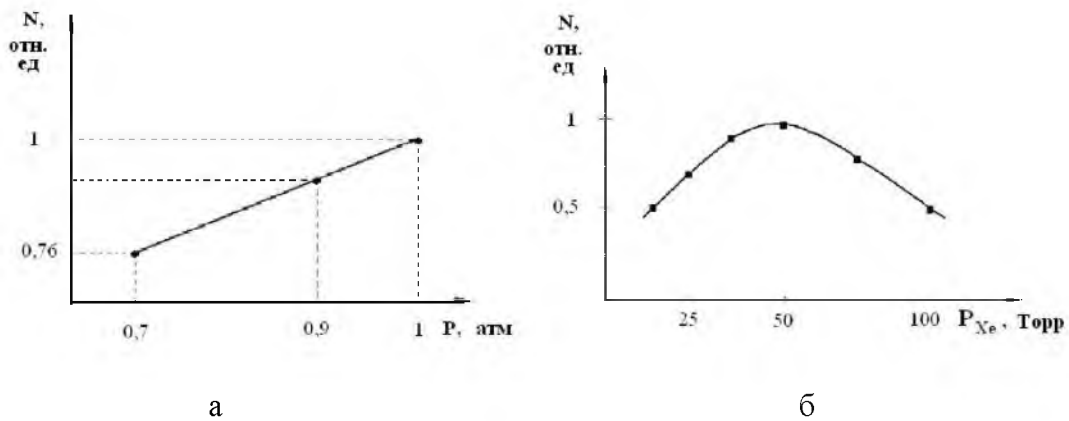


Рис. 4. Зависимость мощности излучения от общего давления (а) и парциального давления Хе (б)

Зависимость относительной величины средней мощности излучения от величины парциального давления HCl представлена в рис.5,а. Оптимальная величина парциального давления HCl равна $2,5$ Торр. Спектральное распределение интенсивности излучения представлено в рис.5,б (для следующего состава смеси: HCl:Xe:Ne=5:100:1400; $P=760$ Торр).

Зависимость относительной величины средней мощности излучения от величины напряжения на электродах лампы представлена в рис.6,а.

Величина средней мощности излучения увеличивается с ростом напряжения импульсов возбуждения (для следующего состава смеси: HCl:Xe:Ne=2.5:50:700; $P=760$ Торр).

Зависимость относительной величины средней мощности излучения от частоты повторения импульсов на электродах лампы представлена в рис.6,б (для следующего состава смеси: HCl:Xe:Ne=2.5:50:700; $P=760$ Торр).

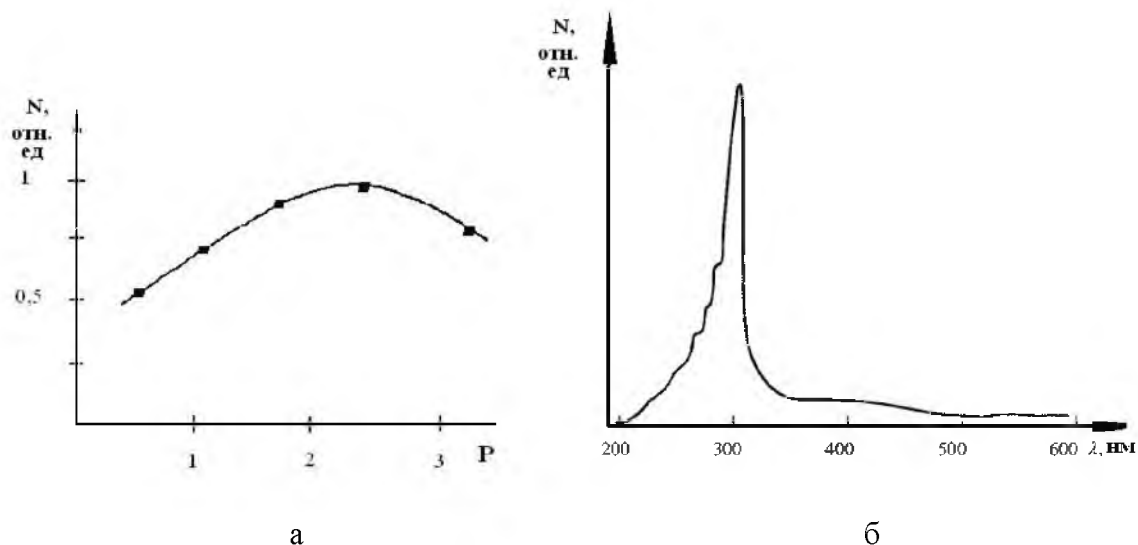


Рис. 5. Зависимость мощности излучения от парциального давления HCl (а) и спектральное распределение мощности излучения (б)

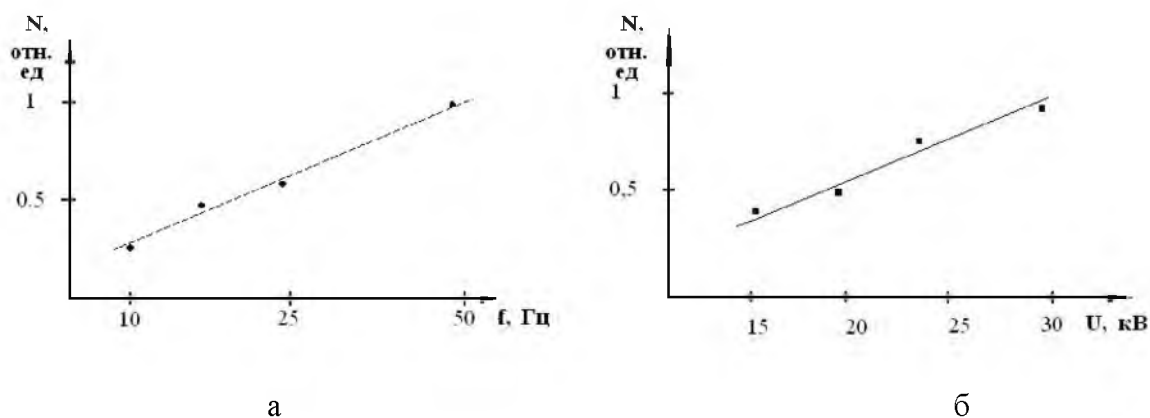


Рис. 6. Зависимость мощности излучения от парциального давления HCl (а) и спектральное распределение мощности излучения (б)

В результате проведенных экспериментов найдено, что следующий состав смеси является оптимальным: 2.5 Торр HCl, 50 Торр ксенона, 700 Торр неона.

Эксилампа с емкостным разрядом №2

Конструкция излучателя эксилампы на основе емкостного представлена на рис.7,а. Через патрубок (2) напускалась смесь. Диаметр кварце-

вой трубы излучателя (1) составлял 16 мм, толщина стенок 1 мм, а длина равнялась ~ 200 мм.

Излучатель эксилампы имел полный объем 0.030 л, а межэлектродный объем (1) равнялся 0.015 л (размеры ~ (1.4 x 1.4 x 10 см³)) и мог меняться в процессе экспериментов.

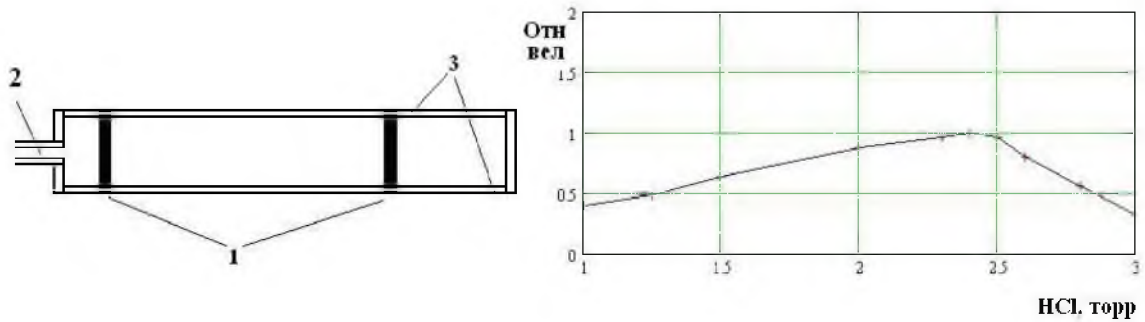


Рис. 7. Конструкция эксилампы на основе емкостного разряда (а) и зависимость мощности излучения от величины парциального давления HCl (б). Парциальное давление: 20 Торр Хе, 37.5 Торр Не

Выполнено исследование эмиссионных характеристик лампы при межэлектродном расстоянии 10 см. Была проведена оптимизация состава газовой смеси.

На рис. 7, б представлена зависимость относительной величины средней мощности излучения от величины парциального давления HCl.

Оптимальный состав имеет состав: 2.5 Торр HCl, 20 Торр Хе, 37.5 Торр Не. Зависимость относительной величины средней мощности излучения от давления буферного газа Не для оптимального состава смеси представлена на рис. 8,а.

Средняя мощность излучения составляла ~0.6 Вт (при частоте повторения импульсов $F=50$ Гц, а КПД ~3%. В качестве активной среды использовалась смесь: HCl:Хе:Не=2.5:20:37.5 при общем давлении 60 Торр. Светимость эксилампы была приблизительно 15 мВт/см². При этом с 1см³ активной среды снималась мощность излучения ~ 37 мВт/см³, что сопоставимо с мощностью излучения с 1см³ для эксиламп тлеющего разряда низкого давления.

Выполнено исследование эмиссионных характеристик лампы при межэлектродном расстоянии 5 см. Была проведена оптимизация состава газовой смеси. Оптимальный состав имеет состав: 2.5 Торр HCl, 20 Торр Хе, 77.5 Торр Не. Зависимость относительной величины средней мощности излучения от давления буферного газа Не для оптимального состава смеси представлена на рис. 8, б.

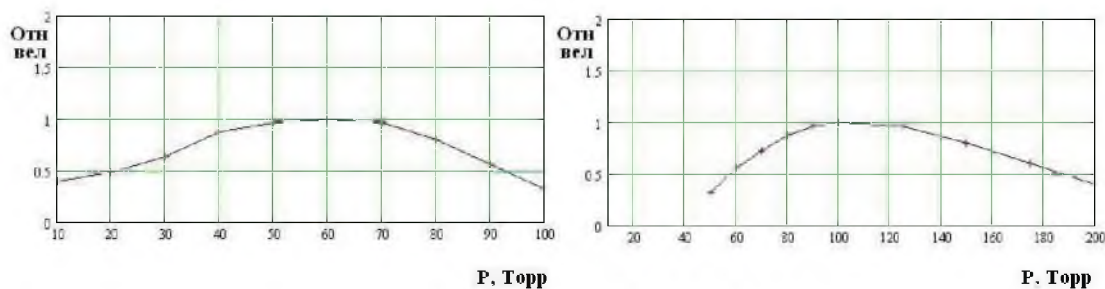


Рис. 8. Зависимость мощности излучения от общего давления смеси (а) при межэлектродном расстоянии 10 см и зависимость мощности излучения от общего давления смеси (б) при межэлектродном расстоянии 5 см. Парциальное давление: 2.5 Торр HCl, 20 Торр Хе

Средняя мощность излучения составляла ~ 0.6 Вт (при частоте повторения импульсов $F=50$ Гц). В качестве активной среды использовалась смесь: HCl:He:Ne=2.5:20:77.5 при общем давлении 100 Торр. Светимость эксилампы была приблизительно 30 мВт/см².

При этом с 1см^3 активной среды снималась мощность излучения ~ 74 мВт/см³, что превосходит мощностью излучения с 1см^3 для эксиламп тлеющего разряда низкого давления [3-6].

Следует отметить, что эксилампа емкостного разряда при межэлектродном расстоянии 5 см имеет эмиссионные характеристики сопоставимые с эксилампой тлеющего разряда [3-7].

Заключение

В заключение отметим, что основным результатом исследования, выполненного по источникам некогерентного излучения, заключается в разработке конструкции и практическом создании эксиламп на ХеСl-молекулах с возбуждением емкостным разрядом.

Лампы отличаются очень простой и компактной конструкцией. Так для герметизации эксиламп была использована эпоксидная смола.

В качестве системы возбуждения используется модифицированный блок питания от азотного лазера ЛПИ-21, который имеет достаточно простую конструкцию и обладает высокой надежностью.

К недостатку разработанных типов эксиламп следует отнести их сравнительно небольшой ресурс работы.

Для эксиламп высокого давления (излучатель №1) эффективность достигает $\sim 10\%$, при средней мощности излучения ~ 2.5 Вт. При этом с 1см^3 активной среды снималась мощность излучения ~ 25 мВт/см³.

Для эксиламп низкого давления (излучатель №2) с 1 см^3 активной среды снималась мощность излучения $\sim 74\text{ мВт/см}^3$ при средней мощности излучения $\sim 0.6\text{ Вт}$ и КПД $\sim 3\%$.

1. *Slavomir Anufrik, Alexander Volodenkov, Kazimir Znosko.* // Proceedings of 5th International Conference on Plasma Physics and Plasma Technology (PPPT 5). Minsk, Belarus, 2006 Vol.2. p. 851-854.
2. *Ануфрик С.С., Володенков А.П., К.Ф.Зноско К.Ф.* // Квантовая электроника: Матер. 6-й Междунар. конф. Мн.: БГУ, 2006. С. 41.
3. *Ломаев М.И., Полякевич А.С., Тарасенко В.Ф.* // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т.9. № 2. С.207-210.
4. *Ломаев М. И., Скакун В.С., Соснин Э.А. и др.* Газоразрядные источники спонтанного ультрафиолетового излучения: Физика процессов и экспериментальная техника. Эксилампы. Томск: Изд-во Том. гос. ун-та, 1999. 249 с.
5. *Ломаев М. И., Скакун В.С., Соснин Э.А. и др.* // Успехи физических наук. 2003. Т.173. №2. С.201-217.
6. *Панченко А.Н., Полякевич А.С., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф.* // Известия вузов. Физика. 1999. Т.42. №6. С.50-66.
7. *Бойченко А.М., Соснин Э.А., Скакун В.С. и др.* // Квантовая электроника. 1996. Т.23. №4. С.344-348.