

ОБЩАЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ
ТЕХНИКА

УДК 537.525

КОМПАКТНАЯ ЭКСИЛАМПА ВАКУУМНОГО
УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ДИАПАЗОНА НА ДИМЕРАХ АРГОНА

© 2012 г. М. В. Ерофеев, В. С. Скакун, В. Ф. Тарасенко, Д. В. Шитц

*Институт сильноточной электроники СО РАН
Россия, 634055, Томск, просп. Академический, 2/3*

E-mail: mve@loi.hcei.tsc.ru

Поступила в редакцию 04.08.2011 г.

Исследованы энергетические и спектральные характеристики излучения димеров аргона с максимумом на длине волны ~ 126 нм при возбуждении импульсно-периодическим разрядом в потоке газа при давлениях выше атмосферного. Создана компактная эксилампа для получения излучения в вакуумной ультрафиолетовой области спектра. Определены минимальные скорости потока аргона, при которых охлаждение осуществляется за счет конвективного выноса газа из области разряда, что позволяет формировать диффузный разряд со стабильной плотностью мощности излучения. Показано, что при скорости потока 0.5 м³/ч плотность мощности излучения молекулы Ar_2^* составила >100 мкВт/см² за окном из LiF с пропусканием $\sim 10\%$ на длине волны 126 нм. Показано, что использование безоконной конструкции и увеличение скорости потока газа позволяют увеличить плотность мощности излучения до 10 мВт/см².

Газоразрядные источники спонтанного вакуумного ультрафиолетового (в.у.ф.) излучения эксиплексных и эксимерных молекул могут применяться в ряде современных технологий, относящихся к таким областям, как сухая очистка поверхностей от органических загрязнений [1, 2], в экологии для мониторинга и разрушения загрязняющих веществ [3, 4], в материаловедении для контроля качества напыляемых поверхностей [5]. Наиболее перспективными из имеющихся на сегодняшний момент источников в.у.ф.-излучения являются газоразрядные эксилампы на переходах гетеро- и гомоядерных молекул благородных газов, возбуждаемых барьерным разрядом. От ламп на резонансных переходах атомов благородных газов [6–8] они отличаются спектром излучения, более высокими энергетическими характеристиками и сроком службы, отсутствием необходимости использования буферного газа при приготовлении рабочей смеси и их конструкцией, позволяющей работать как с оконной, так и безоконной технологией вывода излучения, работать в протоке газа.

Цель данной работы — создание компактной (с диаметром (световым) выходного окна 20 мм) эксилампы на димерах аргона (длина волны ~ 126 нм) с плотностью мощности не менее 100 мкВт/см² и высокой стабильностью плотности мощности излучения во времени (отклонение не более 5%). Кроме того, эксилампа должна была располагать-

ся в вакуумной камере и работать непрерывно в течение нескольких часов.

Так как при помещении эксилампы в вакуумную камеру возникает проблема с ее охлаждением, а также имеются технологические сложности при создании отпаянных образцов эксиламп на димерах аргона, была разработана эксилампа с прокачкой аргона при давлениях выше атмосферного давления воздуха.

Схематически конструкция прокачной Ar_2 -эксилампы показана на рис. 1. Лампа содержит высоковольтный электрод 1, покрытый диэлектрическим барьером, изготовленным из запаянной с торца кварцевой трубки 2 диаметром 12 мм, и помещенный в цилиндрический металлический корпус 3 диаметром 66 мм. Разрядный промежуток 4 находится между высоковольтным электродом и острой кромкой ($R = 0.1$ мм) заземленного корпуса, образованной отверстием для вывода излучения в центре его торца.

Формирование диффузного разряда обеспечивалось как за счет использования барьера из кварца, так и за счет усиления электрического поля на катоде. Применение указанных конструктивных элементов позволяет увеличивать давление в импульсных эксилампах на димерах инертных газов [9, 10].

Конструкция эксилампы позволяла работать как в безоконном режиме, так и выводить излучение через окно 5 из кристалла LiF диаметром

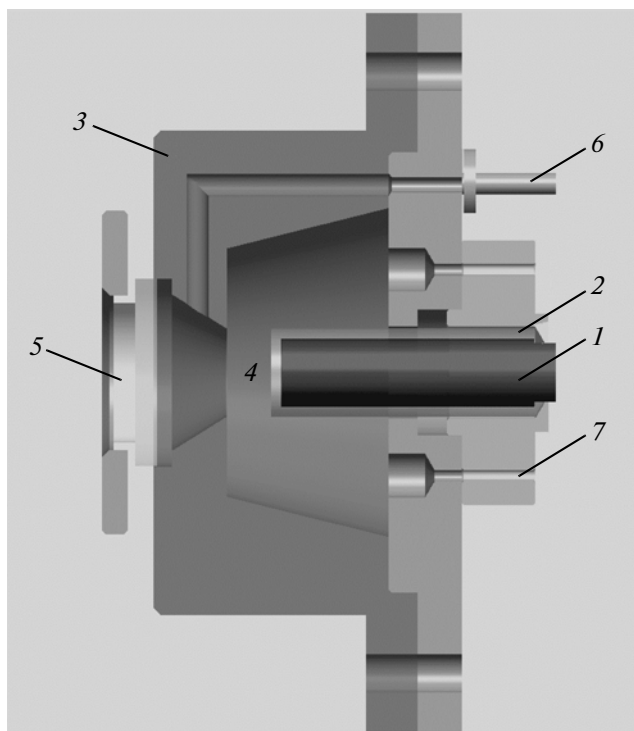


Рис. 1. Схема излучателя прокачной однобарьерной Ar_2 -эксилампы. 1 – высоковольтный электрод; 2 – кварцевая трубка; 3 – металлический корпус; 4 – разрядный промежуток; 5 – выходное окно из кристалла LiF; 6 – отверстие для напуска газа; 7 – выхлопные отверстия.

20 мм. Пропускание кристалла LiF на длине волны 126 нм составляло $\sim 10\%$. Подача аргона осуществлялась непосредственно в газоразрядную область через отверстие 6 в стенке корпуса эксилампы. В работе использовался аргон высокой чистоты (объемная доля аргона не менее 99.998%). Скорость потока газа контролировалась редуктором и изменялась от 0.5 до 10 $\text{м}^3/\text{ч}$. Выход газа из эксилампы осуществляется через 4 выхлопных отверстия 7 диаметром 2 мм.

Для возбуждения лампы использовался генератор, формирующий импульсы напряжения положительной полярности длительностью 2 мкс с амплитудой 6 кВ, следующих с частотой от 7 до 70 кГц [11]. На рис. 2 представлены осциллограммы тока разряда и импульса напряжения на разрядном промежутке Ar_2 -эксилампы, снятые с помощью пояса Роговского и емкостного делителя напряжения на осциллографе Tektronix TDS-3034.

Регистрация спектров излучения разряда осуществлялась с помощью вакуумного монохроматора VM-502 Acton research corporation. Мощность в.у.ф.-излучения измерялась калиброванным фотоприемником Hamamatsu C8026 с фотоприемной головкой H8025-126 nm на расстоянии 18 мм от разряда и рассчитывалась с учетом спектрального

распределения мощности излучения и графика кривой чувствительности фотоприемника.

Исследования энергетических характеристик Ar_2 -эксилампы показали, что вкладываемая в разряд мощность растет прямо пропорционально частоте следования импульсов напряжения. Однако при этом происходит нагрев эксилампы, разряд переходит из объемной формы в филаментарную с несколькими хаотично движущимися микро-разрядами, что ведет к ухудшению стабильности выхода светового потока, а в дальнейшем к контракции разряда.

На рис. 3 приведена зависимость средней мощности и эффективности излучения молекул Ar_2 от вкладываемой в разряд мощности при скорости потока аргона 0.5 $\text{м}^3/\text{ч}$. При низких частотах повторения импульсов напряжения (7–17 кГц) с увеличением вкладываемой мощности происходит увеличение средней мощности излучения. Разряд при этом носит объемный характер. Далее с увеличением вкладываемой мощности объемный разряд стягивается в диффузный канал и мощность излучения падает. При величине вкладываемой мощности, равной 17.5 Вт и соответствующей частоте 25 кГц, в промежутке формируется несколько диффузных микро-разрядов, что

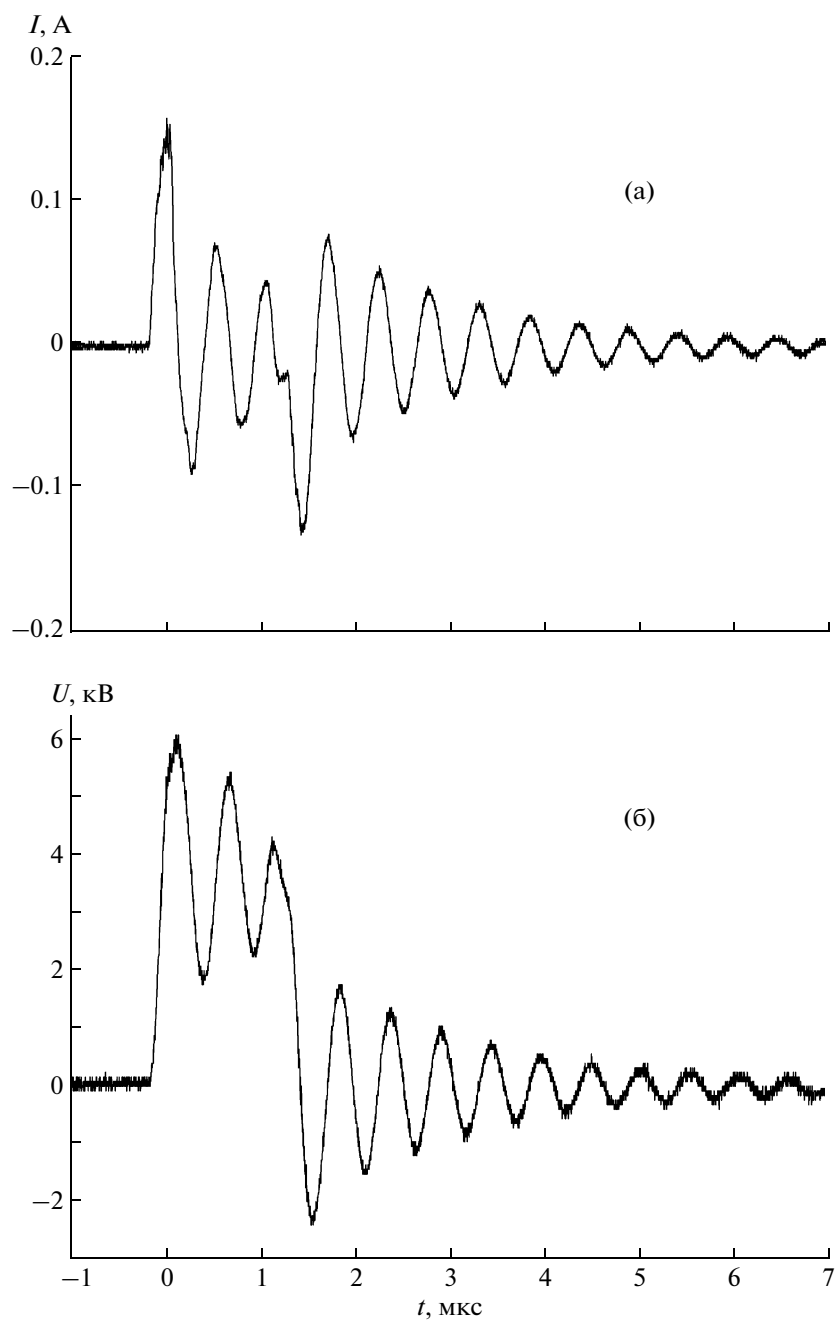


Рис. 2. Осциллограммы тока разряда (а) и импульса напряжения (б), подаваемого на разрядный промежуток Ar_2 -эксилампы. Частота следования импульсов напряжения 7 кГц, скорость протока аргона $0.5 \text{ м}^3/\text{ч}$.

приводит к резкому скачку мощности и эффективности излучения.

При величинах вкладываемой мощности 17.5–50 Вт (диапазон частот повторения импульсов напряжения 25–70 кГц) значения плотности мощности излучения увеличиваются линейно. Однако эффективность излучения молекул Ar_2^* падает, что объясняется перегревом рабочего газа и превышением удельной мощности импульсов возбужде-

ния оптимальных величин. Увеличение скорости потока газа через эксилампу обеспечивает охлаждение и стабилизацию разряда за счет конвективного выноса газа из области разряда.

Величина минимального расхода газа для охлаждения разрядного промежутка, обеспечивающего стабильный выход излучения лампы данной конструкции, при частоте следования импульсов 7 кГц составила 0.5 м^3 . При этом плотность

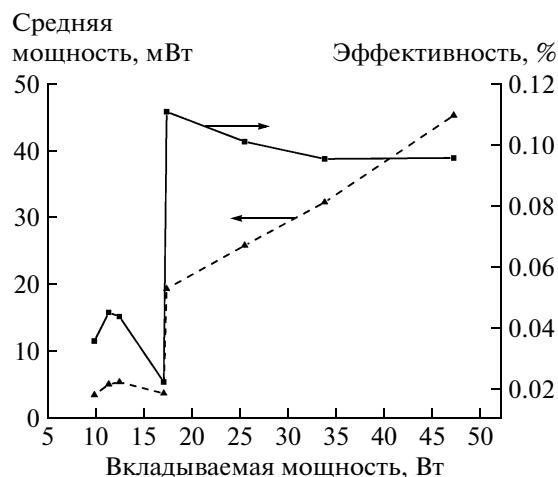


Рис. 3. Зависимость средней мощности и эффективности излучения от вкладываемой в разряд мощности.

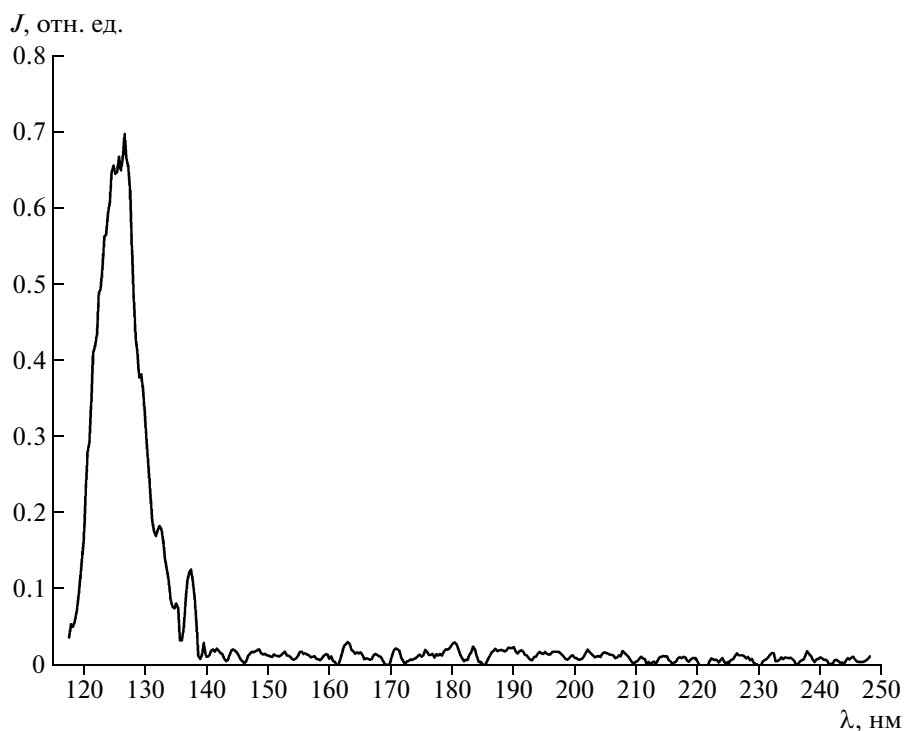


Рис. 4. Спектр излучения Ar_2 -эксилампы.

мощности излучения на поверхности выходного окна составила не менее 0.1 мВт/см^2 при эффективности от вложенной в разряд мощности 0.003% .

Для оценки нестабильности выхода излучения в течение 5 ч через каждую минуту проводились измерения плотности мощности излучения эксилампы. По результатам таких измерений среднеквадратичное отклонение плотности мощности излучения составило 0.004 мВт/см^2 . На частоте повторения импульсов напряжения 70 кГц и уве-

личении скорости потока газа в ~ 10 раз при работе эксилампы в беззонном режиме была получена максимальная плотность мощности излучения, которая составила 10 мВт/см^2 .

Для всех исследованных скоростей прокачки газа в спектре излучения (рис. 4) в диапазоне длин волн $115\text{--}135 \text{ нм}$ регистрировалась широкая полоса с максимумом на длине волны 126 нм , соответствующая второму континууму Ar_2^* . Кроме этого в спектре излучения регистрируется слабо-

интенсивная полоса излучения на длине волны 137.8 нм молекулы.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о высокой стабильности в.у.ф.-излучения однобарьерной проточной Ar₂-эксилампы данной конструкции. Полученные плотности мощности излучения сопоставимы с аналогичными характеристиками эксиплексных ламп у.ф.-диапазона, а предлагаемая конструкция излучателя позволяет получать диффузные разряды в других благородных газах, что имеет существенное значение для применения ламп данного типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. www.ushio.co.jp/
2. *Tode M., Takigawa Y., Iguchi T. et al.* // Metallurgical and materials transactions A. 2007. V. 38A. P. 596.
3. *Muhlberger F., Wieser J., Ulrich A., Zimmermann R.* // Anal. Chem. 2002. V. 74. P. 3790.
4. *Медведев Ю.В., Польшгалов Ю.И., Ерофеев М.В. и др.* // Газовая пром-сть. 2005. № 2. С. 63.
5. *Boyd I.W., Zhang J.Y., Kogelschatz U.* Photo-excited process, diagnostics and application. Kluwer Academic, The Netherlands, 2003.
6. *Будович В.Л., Будович Д.В., Полотнюк Е.Б.* // ЖТФ. 2006. Т. 76. С. 140.
7. *Волкова Г.А., Шишацкая Л.П., Яковлев С.А.* // Оптический журн. 1995. № 3. С. 66.
8. *Шишацкая Л.П., Яковлев С.А., Волкова Г.А.* // Оптический журн. 1998. № 12. С. 93.
9. *Ломаев М.И., Скакун В.С., Тарасенко В.Ф. и др.* // Письма в ЖТФ. 2006. Т. 32. С. 74.
10. *Бакиш Е.Х., Ломаев М.И., Рыбка Д.В. и др.* // Письма в ЖТФ. 2006. Т. 32. С. 52.
11. *Шутиц Д.В., Скакун В.С., Тарасенко В.Ф.* // ПТЭ. 2008. № 5. С. 129.