

А.А. Кузнецов, В.С. Скакун, В.Ф. Тарасенко, Е.А. Фомин

### ИМПУЛЬСНЫЙ ИСТОЧНИК МОЩНОГО СПОНТАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ВУФ-ОБЛАСТИ СПЕКТРА

Приведены результаты исследований импульсного источника мощного спонтанного излучения ( эксимерной лампы ) с длиной волны  $\lambda$ , равной приблизительно 126; 146 или 172 нм, в котором используется излучение димеров, а именно: аргона, криптона, ксенона. При диаметре выходного пучка 10 см получены средние плотности мощности излучения на  $\lambda \sim 146$  и 172 нм, равные примерно 1 мВт/см<sup>2</sup>, а также импульсная плотность мощности  $\sim 0,5$  кВт/см<sup>2</sup> на  $\lambda \sim 172$  нм.

В последнее время источники мощного УФ- и ВУФ-излучения находят все более широкое применение в различных областях науки и техники. Используется при этом как когерентное [1], так и спонтанное [2] излучение. Источники спонтанного излучения отличаются простотой и имеют большой срок службы, однако не позволяют получать значительные плотности импульсной и средней мощности излучения и имеют большие потери при увеличении расстояния между источником и объектом облучения. Нами [3] была разработана широкоапертурная эксиплексная лампа с мощным импульсным излучением на  $\lambda \sim 308, 250, 350$  и 222 нм, диаметром выходного пучка  $\sim 10$  см, в которой использовано излучение импульсного объемного разряда смесей инертных газов с галогенидами при повышенных давлениях. Плотность мощности излучения в этой лампе достигала 2 кВт/см<sup>2</sup>. Подобные лампы могут найти применение в микроэлектронике, биологии, медицине, а также в экологии для разложения вредных веществ.

В данной статье сообщается о создании импульсной электроразрядной лампы ВУФ-диапазона с диаметром выходного пучка  $\sim 10$  см и плотностью импульсной мощности до 0,5 кВт/см<sup>2</sup>, использующей излучение димеров инертных газов.

Отметим, что высокая ( $\sim 50\%$ ) эффективность флуоресценции эксимерных молекул димеров инертных газов при возбуждении пучком и разрядом была известна давно [4,5] и что в настоящее время проводятся расчеты [6] эффективности флуоресценции димеров ксенона и аргона в самостоятельном разряде, не учитывающие контрагирования, которое ограничивает длительность объемной стадии разряда при повышенных давлениях.

#### Экспериментальная установка и методики

Конструкция эксимерной электроразрядной лампы была подобна конструкции эксиплексной лампы, описанной в [3]. Излучатель состоял из газоразрядной камеры объемом 4 л, которая имела 2 основных электрода, один из которых был круглым и профилированным, второй – сетчатым; искровые промежутки системы предьонизации, включенные последовательно с обострительными конденсаторами генератора накачки, расположенными вокруг разрядной области. Также в излучатель входил генератор накачки, собранный по двухконтурной схеме с использованием конденсаторов КВИ-3. Емкость основного накопителя составляла 4 нФ, обострительных конденсаторов 2,5 нФ, а индуктивность разрядного контура основного накопителя  $\sim 30$  нГн.

Излучение на  $\lambda \sim 146$  и 172 нм выводилось в атмосферу через окно, изготовленное из СаF<sub>2</sub> с диаметром используемой поверхности  $\sim 90$  мм. Окно устанавливалось за сетчатым электродом. Геометрическая прозрачность сетчатого электрода составляла 70%.

В экспериментах использовались гелий, неон, аргон, криптон и ксенон высокой чистоты, в которых примесей содержалось  $\lesssim 0,01\%$ . Амплитудно-временные и спектральные характе-

ристики излучения измерялись в аргоне ( $\lambda \sim 126$  нм), криптоне ( $\lambda \sim 146$  нм) и ксеноне ( $\lambda \sim 172$  нм), а также в смесях этих газов с буферными газами – гелием и неоном. Измерения проводились как в квазиотпаянном режиме, когда эксимерная лампа заполнялась рабочим газом или смесью, так и при непрерывной прокачке газов через разрядный промежуток. Во втором случае, благодаря непрерывной подаче свежей смеси, мощность излучения во время длительной работы лампы не уменьшалась, а рабочая частота повторения достигала  $30 \text{ с}^{-1}$ .

Мощность и длительность импульса излучения эксимерной лампы определялась с помощью ФЭУ-140 с преобразователем спектра на основе салициловокислого натрия, которые предварительно калибровались ArF-лазером. Для регистрации спектров излучения в ВУФ-области использовался вакуумный монохроматор ВМР-2 с решеткой 600 штр/мм, который калибровался по длинам волн с помощью линейчатого спектра водородной лампы [7].

## Результаты и их обсуждение

На рис. 1 приведены спектры излучения эксимерной лампы в ВУФ-области спектра, соответствующие излучению димеров инертных газов с нижних колебательных уровней состояний  $1^3\Sigma_u^+$  в основное  $1^1\Sigma_g^+$  [4,7]. Зависимость интенсивности излучения в максимуме континуума в ксеноне, криптоне и аргоне, а также длительности импульса излучения на полувысоте представлены на рис. 2, а, 3, а и 4, а. Оптимальное давление, при котором интенсивность излучения димеров ксенона, криптона и аргона максимальна, составляет соответственно 150, 240 и 300 Торр. Уменьшение интенсивности при дальнейшем увеличении давления связано с контракцией объемного разряда. В искровых разрядах из-за высоких концентраций электронов и температуры газа эффективность флуоресценции эксимерных молекул очень низка. Использование буферных газов (гелия и неона, рис. 2, б, 3, б и 4, б) позволяет улучшить стабильность объемного разряда и увеличить рабочую частоту повторения, при этом в двойных смесях по сравнению с использованием только одного рабочего газа, мощность излучения не уменьшается, а в ряде случаев даже увеличивается. Однако значительное увеличение мощности излучения димеров ксенона, криптона и аргона наблюдалось при добавках буферного газа только при давлении рабочего газа, в два-три раза меньшем оптимального.

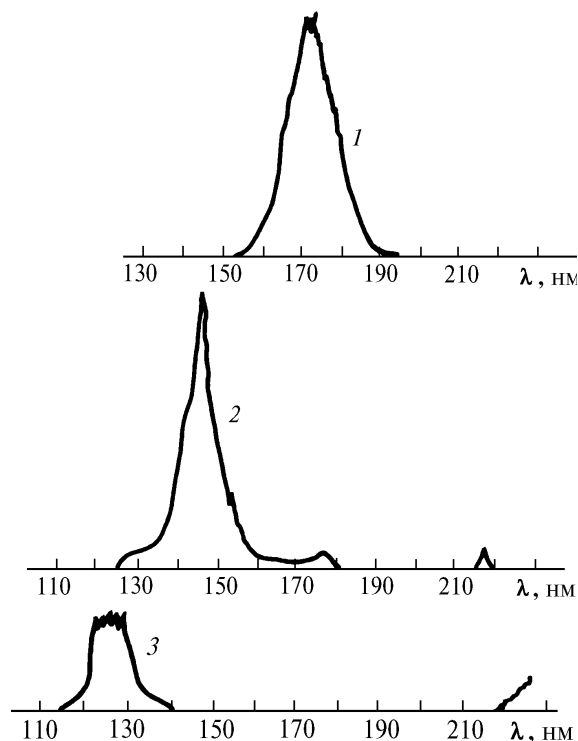


Рис. 1. Спектры излучения ксенона при давлении  $p = 60$  Торр (1), криптона при  $p = 270$  Торр (2) и аргона при  $p = 300$  Торр (3)

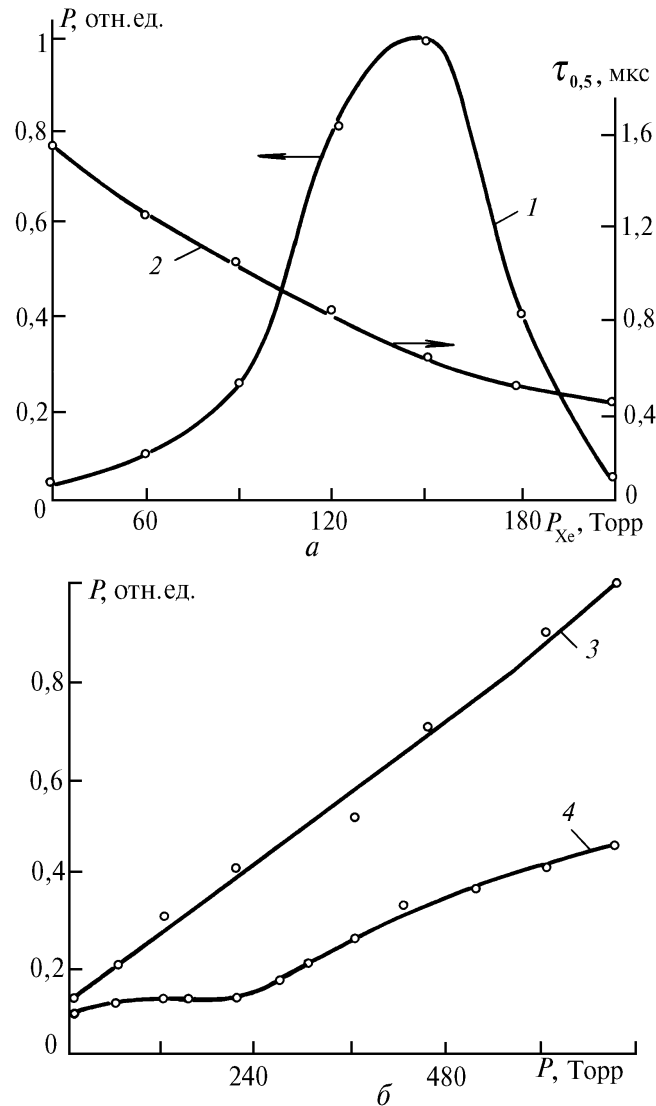


Рис. 2. Зависимости мощности излучения на  $\lambda \sim 172$  нм (1) и длительности импульса излучения на полувысоте (2) от давления ксенона (а), зависимость мощности излучения на  $\lambda \sim 172$  нм от давления буферного газа гелия (3) и неона (4) при давлении ксенона 60 Торр (б)

Так, при добавлении к ксенону (давление 150 Торр) неона (600 Торр) мощность излучения возросла всего на  $\sim 20\%$ , а при добавлении гелия (600 Торр) даже уменьшилась в  $\sim 2$  раза. Это снижение мощности излучения произошло из-за контрагирования разряда. Соотношение максимальных мощностей импульсного излучения димеров в наших экспериментах составила  $P_{Xe} : P_{Kr} : P_{Ar} = 12:6:1$ . Плотность выведенной через окно средней мощности излучения на  $\lambda \sim 172$  и 146 нм в смеси Xe(Kr):He = 1:15 при давлении  $\sim 1$  атм составила  $\sim 1$  мВт/см<sup>2</sup>. Импульсная плотность мощности излучения при выходе из окна на  $\lambda \sim 172$  нм достигала 0,5 кВт/см<sup>2</sup>. Длительность импульсов излучения димеров Ar<sub>2</sub><sup>\*</sup> ( $\lambda \sim 126$  нм), Kr<sub>2</sub><sup>\*</sup> ( $\lambda \sim 146$  нм) и Xe<sub>2</sub><sup>\*</sup> ( $\lambda \sim 172$  нм) при максимальных интенсивностях примерно одинакова и составила соответственно 500, 500 и 600 нс. Диаметр светового пучка на выходе из лампы составлял  $\sim 10$  см, а неоднородности по сечению пучка такого же диаметра на расстоянии от выходного окна  $\gtrsim 8$  см были меньше 10%.

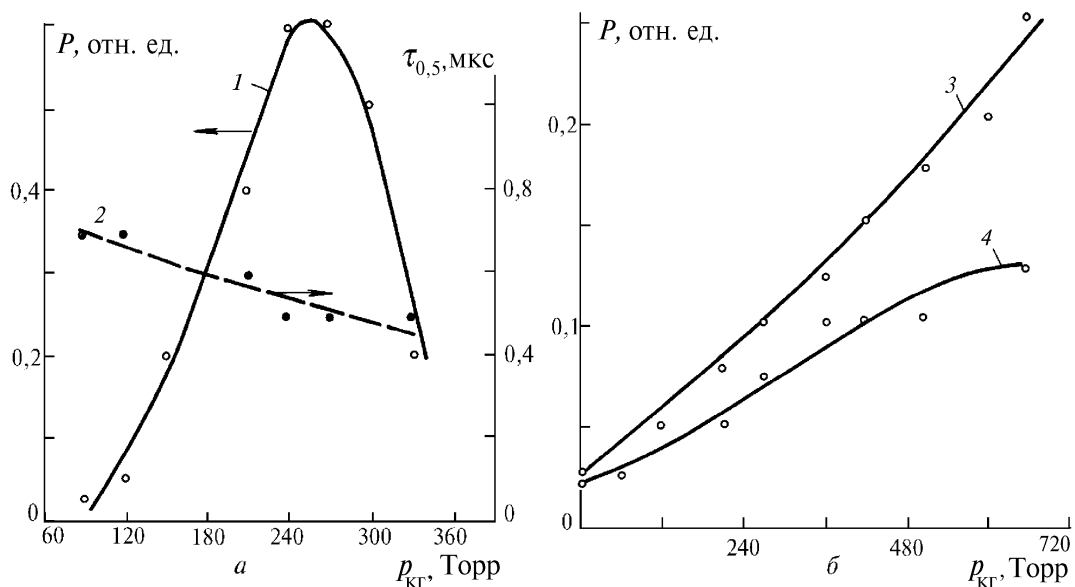


Рис. 3. Зависимости мощности (1) и длительности импульса излучения на  $\lambda \sim 146$  нм от давления криптона (а), зависимости мощности излучения на  $\lambda \sim 146$  нм от давления буферных газов гелия (3) и неона (4) при давлении криптона 90 Торр (б)

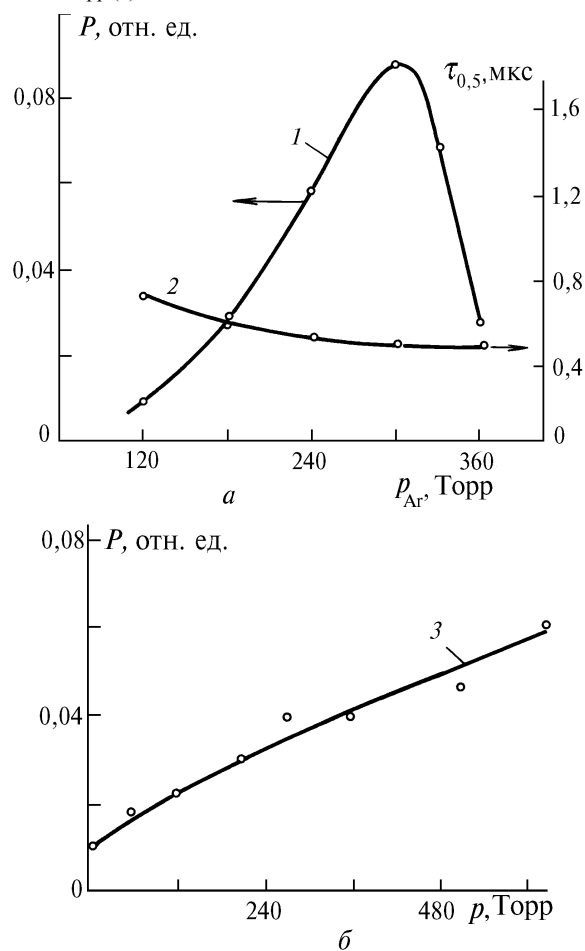


Рис. 4. Зависимость мощности излучения на  $\lambda \sim 126$  нм (1) и длительности импульса излучения на полувысоте (2) от давления аргона (а), зависимость мощности излучения на  $\lambda \sim 126$  нм от давления буферного газа гелия (3) при давлении аргона 120 Торр (б)

## Заклучение

Таким образом, в данной статье сообщается о создании эксимерной электроразрядной лампы с излучением в ВУФ-области спектра с плотностью средней мощности при диаметре выходного пучка 10 см на  $\lambda \sim 146$  и  $172 \text{ нм} \sim 1 \text{ мВт/см}^2$ , а также с импульсной плотностью мощности на  $\lambda \sim 172 \text{ нм} \sim 0,5 \text{ кВт/см}^2$ . Частота следования импульсов эксимерной лампы достигала  $30 \text{ с}^{-1}$ . Излучение подобных ламп предлагается использовать в микроэлектронике, для организации сухих фотостимулированных процессов травления, осаждения и очистки; в экологии, для разрушения токсичных органических веществ; в биологии и медицине, в частности, для дезинфекции воды.

1. Рябов С.Г., Торопкин Г.Н., Усольцев И.Ф. Приборы квантовой электроники. М.: Радио и связь, 1986. 280 с.
2. Курейчик К.П., Безлепкин А.И., Хомяк А.С., Александров В.В. Газоразрядные источники света для спектральных измерений. Минск: Университетское, 1987. 200 с.
3. Коваль Б.А., Скакун В.С., Тарасенко В.Ф., Фомин Е.А., Янкелевич Е.Б. // ПТЭ. 1992. N4. С.244–245.
4. Эксимерные лазеры. /Под ред. Ч. Родза. М.: Мир, 1981. 245 с.
5. Молчанов А.Г., Попов Ю.М. // Квантовая электроника. 1974. Т. 1. N 5. С. 1122–1127.
6. Gochelashvily K.S., Demyanov A.V., Kochetov I.V., Yangurazova L.R. // Optics Communications. 1992. V. 91. N 1, 2. P. 66–70.
7. Зайдель А.Н., Шрейдер Е.Я. Вакуумная спектроскопия и ее применение. М.: Наука, 1976. 431 с.

Институт сильноточной электроники СО РАН,  
Томск

Поступила в редакцию  
2 марта 1993 г.

**A.A. Kuznetsov, V.S. Skakun, V.F. Tarasenko, E.A. Fomin. Pulsed Source of High Power Spontaneous Emission in the Vacuum UV Spectral Region.**

Some results of investigations of a pulsed source of high power spontaneous emission (excimer lamp) at the wavelengths 126, 146, or 172 nm, provided by the use of dimers of Argon, Krypton, and Xenon, respectively. Mean power densities of the beam of 10 cm in diameter obtained at  $\lambda = 146$  and 172 nm were about  $1 \text{ мВт/см}^2$ , and the pulsed power density of the emission at  $\lambda = 172 \text{ нм}$  was about  $0,5 \text{ кВт/см}^2$ .