

04;07;12

## Мощная эксилампа на димерах ксенона

© М.И. Ломаев, В.С. Скакун, В.Ф. Тарасенко, Д.В. Шитц

Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск

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

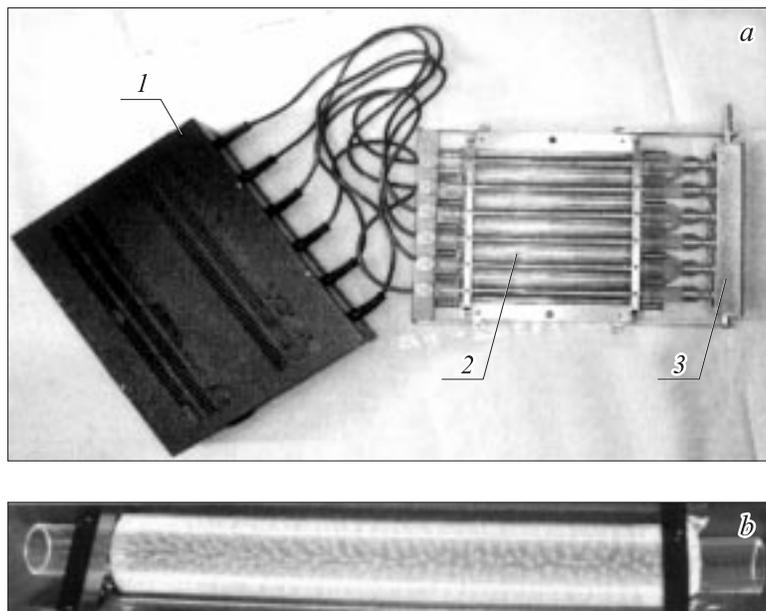
Поступило в Редакцию 20 января 2006 г.

Приведены конструкция и результаты испытаний отпаянной эксилампы в вакуумной ультрафиолетовой области спектра на димерах ксенона ( $\lambda \sim 172$  nm) с возбуждением барьерным разрядом и площадью излучающей поверхности  $20 \times 20 = 400$  cm<sup>2</sup>. Получена плотность средней мощности излучения с поверхности каждой из шести кварцевых трубок (излучателей)  $> 120$  mW/cm<sup>2</sup>. Полная мощность эксилампы при ее включении превышала 50 W.

PACS: 85.60.Jb

1. Источники спонтанного излучения (эксилламп) на димерах ксенона ( $\lambda \sim 172$  nm) позволяют получать наибольшие средние мощности в вакуумной ультрафиолетовой области спектра и находят широкое применение в различных технологиях [1–3]. Для создания ксеноновых эксилламп используются трубки из синтетического кварца (Ge-021, Suprasil, F310), пропускание которого на  $\lambda \sim 172$  nm превышает 80%. Это позволяет создавать отпаянные образцы излучателей со сроком службы более 1000 h. Однако средняя мощность излучения с поверхности эксилламп обычно не превышает 50 mW/cm<sup>2</sup>. Известно о получении средней плотности мощности излучения ксеноновой эксилламп  $\sim 150$  mW/cm<sup>2</sup> [4], однако описанная эксилампа имела сложную конструкцию. Поскольку высоковольтный электрод располагался на внутренней поверхности внутренней трубки, а водяное охлаждение внешней трубки недопустимо из-за поглощения излучения эксилламп водой, то для охлаждения внутренней трубки эксилламп применялась деионизованная вода. В качестве источника питания использовался генератор с повышенной частотой следования импульсов (до 300 kHz).

Целью данной работы было создание отпаянной эксилламп на димерах ксенона с размером излучающей области  $20 \times 20 = 400$  cm<sup>2</sup>, с воздушным охлаждением и плотностью средней мощности излучения  $> 100$  mW/cm<sup>2</sup>.



**Рис. 1.** Фотографии эксилампы (а) и отдельного излучателя в рабочем режиме (б): 1 — генератор возбуждения, 2 — излучатели, 3 — корпус для прокачки охлаждающего газа.

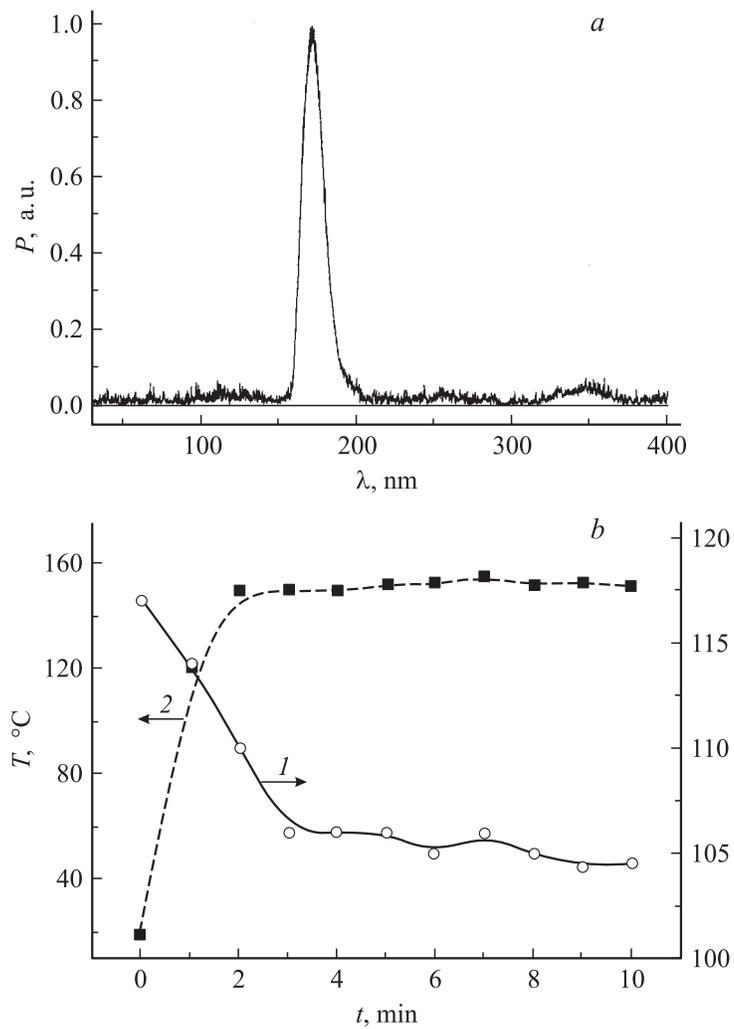
2. Конструкция излучателя и генератора возбуждения эксилампы показана на рис. 1, а. Излучатель состоял из 6 однотипных кварцевых трубок (колб) коаксиальной конструкции, установленных на металлической пластине — держателе. Внешний диаметр внешних трубок, изготовленных из кварца марки F310, составлял 37 мм. Внутренние трубки были изготовлены из кварца марки GE-021 или КУ-1 и имели внешний диаметр 22–23 мм. Внутри каждой колбы вставлялся электрод из алюминивно-магниевой фольги. Внешний электрод состоял из алюминивно-магниевой фольги в форме полуцилиндра, которая помещалась вдоль внешней трубки колбы и являлась отражателем. Оставшаяся часть боковой поверхности трубки покрывалась металлической сеткой с прозрачностью более 90%. Возбуждение ксенона осуществлялось при подаче на электроды импульсного напряжения

от генератора, формирующего двухполярные импульсы напряжения с амплитудой до 6 kV и длительностью  $\sim 2 \mu\text{s}$ . Частота следования импульсов варьировалась в пределах от 15 до 100 kHz. Вводимая в газоразрядную плазму мощность зависела от амплитуды и частоты следования импульсов напряжения и достигала при максимальной частоте следования импульсов 600 W на каждый из шести излучателей. Была предусмотрена возможность включения одного, двух, четырех и шести излучателей одновременно. Фотография одного излучателя в рабочем режиме приведена на рис. 1, *b*. Разряд формировался в области между двумя кварцевыми трубками, установленными коаксиально, и состоял из множества диффузных микрозарядов. Мощность излучения эксилампы в абсолютных единицах определялась с помощью фотоприемника C8026 (Hamamatsu Photonics KK, Electron Tube Center) с фотоприемной головкой H8025–172 nm. Спектр излучения разряда и временной ход импульса излучения регистрировался с помощью вакуумного монохроматора VM-502 (Acton Research Corp.). Чистота используемого ксенона по сертификату производителя составляла 99.9992%. Интегральная картина свечения разряда фотографировалась цифровым фотоаппаратом Olympus Camedia C-2020 Z. Вводимая мощность определялась по осциллограммам импульсов напряжения и тока разряда по методике, приведенной в работе [5]. Осциллограммы импульсов напряжения и тока регистрировались осциллографом TDS 3034 соответственно с помощью делителя напряжения и токового шунта.

3. В экспериментах варьировались давление ксенона и мощность возбуждения, а измерялись мощность излучения, температура кварцевой колбы и вольт-амперные характеристики разряда. Верхняя граница исследованных давлений ограничивалась повышением напряжения пробоя газоразрядного промежутка по мере роста давления, нижняя — уменьшением эффективности излучения при низком давлении. Оптимальное давление Xe при максимальной средней мощности излучения составило 420 Torr.

Спектр излучения эксилампы приведен на рис. 2, *a*. В данных условиях доминирует широкая полоса излучения в диапазоне 155–185 nm с максимумом на длине волны  $\sim 172 \text{ nm}$ . Спектральная полуширина полосы излучения увеличивается при уменьшении давления газа и остается неизменной при варьировании мощности возбуждения.

Наибольшая средняя мощность излучения при кратковременных включениях эксилампы в режиме без принудительного охлаждения превышала 50 W, а плотность мощности излучения достигала  $140 \text{ mW/cm}^2$ .



**Рис. 2.** *a* — спектр излучения ксеноновой эксилампы, *b* — зависимость средней плотности мощности излучения  $P$  димеров ксенона (1) и температуры излучателя  $T$  (2) от времени работы эксилампы  $t$  при газовом охлаждении внутренней трубки излучателя.

Однако при этом наблюдалось быстрое повышение температуры колб излучателей и падение мощности излучения. После выключения эксилампы и охлаждения излучателей до комнатной температуры мощность излучения при повторном включении эксилампы воспроизводилась. Таким образом, для осуществления долговременного режима работы эксилампы необходимо обеспечить эффективный отвод тепла из газоразрядной области.

Для данной конструкции излучателя отвод большей части тепла возможен посредством теплопередачи, во-первых, на металлическую пластину-держатель; во-вторых, на внутренний электрод при условии его интенсивного охлаждения. Оставшееся тепло будет рассеиваться с части поверхности внешних трубок, покрытых сеткой, за счет теплового излучения и теплопередачи в среду, заполняющую пространство между излучателем и облучаемым объектом.

При проведении экспериментов основное внимание было уделено нахождению режимов охлаждения внутреннего электрода и пластины-держателя, при которых обеспечивался необходимый тепловой режим излучателя. Охлаждение пластины-держателя проводилось протоком воды по внутренним полостям пластины, а внутренний электрод, на который подавалось высокое напряжение, охлаждался прокачкой воздуха через внутренние трубки излучателя. Забор и сброс воздуха осуществлялись непосредственно в атмосферу, что существенно упрощает конструкцию эксилампы по сравнению, например, с описанной в [4]. Для улучшения теплообмена между охлаждаемой трубкой и потоком воздуха внутри трубки устанавливался теплообменник с развитой поверхностью и хорошим тепловым контактом с электродом и соответственно с поверхностью кварцевой трубки.

Проведенные исследования при охлаждении внутренней трубки потоком воздуха позволили получить стационарный температурный режим работы эксилампы даже в отсутствие принудительного охлаждения пластины-держателя протоком воды. На рис. 2, *b* приведены зависимости температуры колбы и средней мощности излучения на поверхности излучателей эксилампы при прокачке воздуха с расходом  $\sim 300$  л/мин через внутреннюю полость колб от времени работы после включения эксилампы. Из рисунка видно, что через  $\sim 10$  мин после включения реализуется стационарный режим, при котором средняя мощность излучения составляет  $\sim 100$  мВт/см<sup>2</sup>. При этом средняя мощность, излучаемая с поверхности шести иллучателей в телесный угол  $2\pi$ , составила  $\sim 40$  Вт, а при включении эксилампы превышала 50 Вт.

4. Таким образом, на основе проведенных исследований создана мощная эксилампа на димерах ксенона ( $\lambda \sim 172 \text{ nm}$ ) с площадью плоской излучающей поверхности  $400 \text{ cm}^2$ . Получена плотность средней мощности излучения с поверхности кварцевой трубки излучателя  $> 120 \text{ mW/cm}^2$ . Полная мощность излучения в вакуумной ультрафиолетовой области спектра с поверхности шести включенных параллельно излучателей в стационарном режиме работы составила  $\sim 40 \text{ W}$ . Показано, что при увеличении мощности возбуждения и сохранении оптимальных параметров отдельного импульса возбуждения основным фактором, уменьшающим мощность эксилампы, является нагрев рабочего газа (ксенона) и колбы излучателя.

Предполагается, что созданная эксилампа найдет широкое практическое применение.

Работа выполнена при финансовой поддержке компании SEN ENGINEERING CO., LTD (контракт JP-8/05), РФФИ (проект № 05-08033621-а) и МНТЦ (проект № 2706).

## Список литературы

- [1] *Eliasson B., Kogelschatz U.* // IEEE Transactions on Plasma Science. 1991. V. 19. P. 309–329.
- [2] *Kogelschatz U.* // International Conference on Atomic and Molecular Lasers V. Proc. SPIE. 2004. V. 5483. P. 272–286.
- [3] *Ломаев М.И., Скакун В.С., Соснин Э.А.* и др. // УФН. 2003. Т. 173. № 2. С. 201–217.
- [4] *Arnold E., Dreiskemper R., Reber S.* // Proceedings of the 8th Int. Symp. on Science and Technology of Light Sources (LS-8). Greifswald, Germany, 1998. P. 90–98.
- [5] *Ломаев М.И.* // Оптика атмосферы и океана. 2001. Т. 14. № 11. С. 1091–1095.