

07;12

Бактерицидная лампа емкостного разряда на парах иода

© Э.А. Соснин, Л.В. Лаврентьева, Я.В. Мастерова,
М.В. Ерофеев, В.Ф. Тарасенко

Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск
Томский государственный университет

Поступило в Редакцию 12 января 2004 г.

Создана иодная лампа, основной вклад в излучение которой обеспечивает атомарная линия иода на 206 nm. Средняя мощность излучения на $\lambda = 206$ nm достигала 6 W, при эффективности по вкладываемой в разряд энергии 8%. Ресурс лампы превышает 1700 h. На двух тест-культурах *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus* достоверно установлено бактерицидное действие излучения предложенной лампы.

В последнее время получила значительное развитие техника коротковолнового спонтанного излучения UVB (200–280 nm) и VUV (100–200 nm) диапазонов спектра, которая находит применение в фотохимии, экологии, медицине и фотобиологии [1,2]. При этом наибольшее распространение получают эксилампы (в зарубежных изданиях excimer lamps) [3,4], возбуждаемые различными типами разрядов. Для практического применения эксиламп на практике необходимо иметь высокий срок службы прибора и стабильность выхода излучения. Ресурс работы эксиламп тлеющего разряда может быть увеличен до нескольких сотен часов за счет замены хлора на бром- или иодсодержащие галогеноносители [5,6]. Срок службы рабочей смеси можно также повысить до нескольких тысяч часов, используя барьерный разряд [7]. Аналогичные сроки службы обеспечивает техника возбуждения смесей инертный газ/галогеноноситель емкостным разрядом, предложенная в [8] и развитая в [9–12]. Как указывалось в [3], весьма перспективными для практического применения являются лампы на основе паров иода, которые позволяют получать излучение на длине волны 206 и одновременно на 253, а также излучение в VUV диапазоне спектра [13]. Такая лампа в силу химической инертности иода должна обладать существенным сроком службы.

В данной работе представлены характеристики нового источника на парах иода, возбуждаемых емкостным разрядом, и сделана оценка его бактерицидного действия.

Колба источника была выполнена из кварцевой трубки диаметром 4 и длиной 30 см. Пропускание кварца составляло 75% на длине волны 200 nm. Электроды были размещены на внешней поверхности трубки, образуя разрядный промежуток длиной 22 см. К электродам прикладывалось высокочастотное напряжение в форме двухполярного меандра с частотой 130 kHz и амплитудой несколько киловольт, достаточной для обеспечения пробоя разрядного промежутка. Схема питания лампы была такой же, как описана в [9]. Потребляемая мощность источника питания не превышала 100 W, при этом типичные величины тока через разрядный промежуток не превышали 40 mA.

Величины тока и напряжения на трубке измеряли омическим шунтом и делителем напряжения, сигналы с которых подавались на двухлучевой осциллограф TDS-220. Далее по методике, описанной в [3], определяли вкладываемую в лампу мощность. Среднюю мощность определяли с помощью вакуумного фотодиода ФЭК-22 СПУ с известной спектральной чувствительностью в ультрафиолетовой области спектра по методике, описанной в [14]. Спектр регистрировали комплексом, включающим в себя монохроматор МДР-23 ($L = 1.3 \text{ nm/mm}$), широкополосный фотоумножитель ФЭУ-100, осциллограф TDS-3032 и компьютер.

Трубка заполнялась парами иода, давление которых не превышало 1–2 Torr. Типичный спектр излучения в этих условиях возбуждения приведен на рис. 1. Как видно, спектр содержит атомарную линию иода на 206 nm и молекулярную полосу димера I_2^* с максимумом на 342 nm, вклад в излучение которой незначителен в указанных условиях. Средняя мощность излучения на $\lambda = 206 \text{ nm}$ достигала 6 W при эффективности по вкладываемой в разряд энергии 8%. После изготовления лампа проработала более 1700 h без заметного спада интенсивности излучения. Отметим, что ранее в [6] была представлена эксилампа на рабочей смеси Xe/I, которая также имела в спектре интенсивное излучение на атомарной линии иода, помимо излучения $B \rightarrow X$ полос XeI^* (253 nm) и I_2^* (342 nm) молекул. Судя по представленным в [6] материалам, мощность ультрафиолетового излучения в области $\lambda = 206 \text{ nm}$ достигала 3–3.5 W, эффективность по всей излучаемой мощности в диапазоне 206–342 nm не превышала 5%, а ресурс смеси в

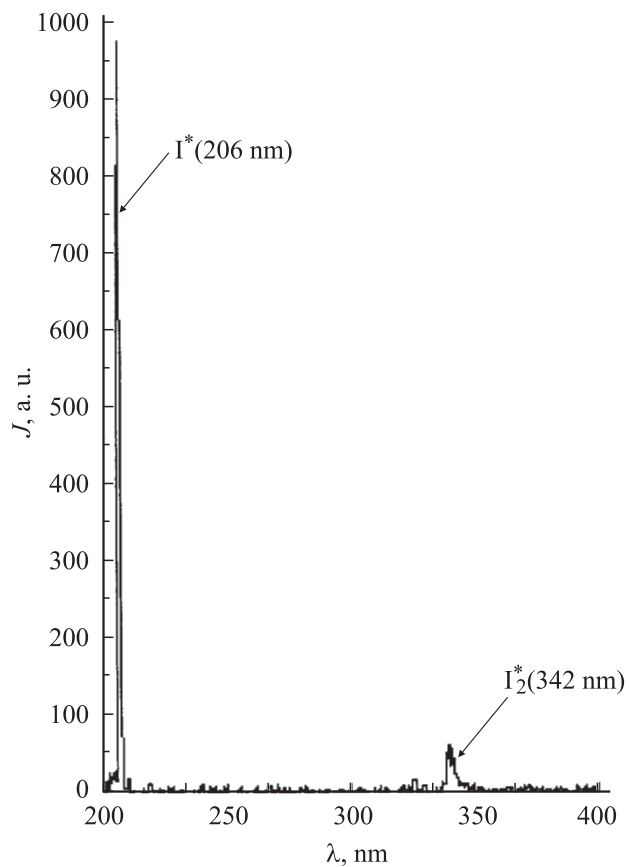


Рис. 1. Спектр излучения лампы емкостного разряда на парах иода.

газостатическом режиме работы составил не менее 300 h. Видно, что по всем параметрам эта лампа уступает разработанной нами лампе емкостного разряда.

Следует также заметить, что лампа [6] была названа бактерицидной, хотя результаты по действию излучения этой лампы на какие-либо микробиологические объекты приведены не были. С одной стороны, сильная линия I^* (206 нм) действительно попадает в так называемый бактерицидный диапазон, к которому традиционно относят излучение

с длинами волн 200–310 nm. Это излучение хорошо поглощается как пуриновыми (аденин (А), гуанин (Г)), так и пиримидиновыми (цитозин (Ц), тимин (Т), урацил (У)) азотистыми основаниями нуклеотидов, вызывая разнообразные нарушения в их структуре и препятствуя размножению микроорганизмов. Анализ показывает, что действие излучения бактерицидного диапазона связано прежде всего с процессами образования в ДНК димеров Т\leftrightarrowТ, Т\leftrightarrowЦ и Ц\leftrightarrowЦ (перечислены в порядке встречаемости) [15]. Однако известно также, что фотодимеризация тимина Т\leftrightarrowТ может стать обратимой: облучение длинами волн $\lambda < 280$ nm обеспечивает преобладание димеризации, при $\lambda > 250$ nm преобладает мономеризация, а в диапазоне $\lambda = 260$ –280 нм идут оба процесса. Это обстоятельство следует учесть при конструировании бактерицидных ламп, в спектре которых должны быть компоненты, отвечающие задаче инактивации, и по возможности исключены компоненты, ведущие к репарации ДНК ультрафиолетовым излучением лампы. С этой точки зрения лампа, предлагаемая как источник бактерицидной энергии и содержащая длинноволновые компоненты, с необходимостью должна проходить экспериментальную проверку по тому, каково действие ее излучения на микроорганизмы.

Мы оценили бактерицидный эффект созданной нами лампы на парах иода, возбуждаемой емкостным разрядом, как ранее определяли бактерицидное действие эксиламп на $B \rightarrow X$ полосах молекул $KrCl^*$ (222 nm), $HeCl^*$ (308 nm) и $HeBr^*$ (283 nm) [16,17].

В качестве объекта исследования использовали музейные штаммы *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus*. *Esch. coli* проявляет самую низкую чувствительность среди энтеробактерий к разного рода воздействиям, а потому считается важным тест-объектом для оценки санитарно-эпидемиологического состояния окружающей среды. *St. aureus* является широко распространенным тест-объектом при изучении действия дезинфицирующих веществ и антибиотиков на грамположительные бактерии, так как обладает высокой приспособляемостью к неблагоприятным воздействиям благодаря скорости конъюгации между клетками.

Штаммы культивировали на мясопептонном агаре. В предварительных опытах на основе метода кратных разведений нами была определена оптимальная для опытов концентрация микробной взвеси. В рамках основного эксперимента проводили облучение высевных на стеклянных подложках культур излучением иодной лампы в течение различных промежутков времени. Плотность мощности излучения на

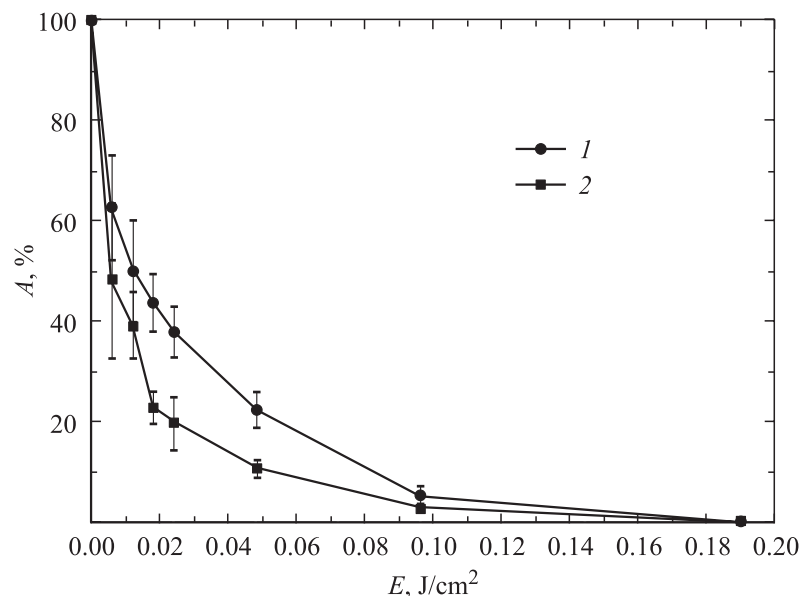


Рис. 2. Выживаемость культур *Esch. coli* (1) и *St. aureus* (2) под влиянием различных доз облучения.

облучаемых поверхностях составляла во всех опытах 3.2 mW/cm^2 . Для каждой экспозиции проводили 4–5 повторов. В качестве контроля использовали необлученные посеы. После облучения колонии микроорганизмов выдерживали в термостате при температуре 37°C в течение 2 суток. Оценку результатов проводили на третьи сутки методом счета, чтобы судить о выживаемости бактерий.

На рис. 2 представлены кривые выживаемости культур при облучении различными дозами излучения. Видно, что при экспозиции $\sim 190 \text{ J/cm}^2$ оба типа микроорганизмов полностью погибают. Таким образом, излучение лампы на парах иода, возбуждаемой емкостным разрядом, обладает выраженным бактерицидным действием.

Таким образом, нами предложен новый источник бактерицидного излучения с высоким сроком службы (более тысячи часов), средней мощностью излучения 6 W и эффективностью 8%.

Авторы выражают признательность М.И. Ломаеву, А.А. Лисенко, Д.В. Щитцу и В.С. Скакуну за техническую поддержку.

Работа была выполнена в 2002–2003 гг. при поддержке Международного научно-технического центра (проект № 1270).

Список литературы

- [1] *Oppenländer T.* Photochemical Purification of Water and Air. Weinheim: WILEY-VCH, Verlag, 2003. 368 p.
- [2] *Соснин Э.А.* // Докл. II Интеграционной междисциплинарной конференции молодых ученых СО РАН и высшей школы „Научные школы Сибири: взгляд в будущее“. Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2003. С. 150–157.
- [3] *Ломаев М.В., Скакун В.С., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф., Шитц Д.В., Ерофеев М.В.* // Успехи физических наук. 2003. Т. 173. № 2. С. 201–217.
- [4] *Boyd I.W., Zhang J.-Y., Kogelschatz U.* // Photo-Excited Processes, Diagnostics and Application. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2003. Chapter 6. P. 161–199.
- [5] *Ломаяев М.И., Тарасенко В.Ф.* // Proceedings of SPIE. 2002. V. 4747. P. 390–398.
- [6] *Шуаибов А.К., Шимон Л.Л., Грабовая И.А.* // Письма в ЖТФ. 2003. Т. 29. В. 20. С. 77–80.
- [7] *Boyd I.W., Zhang J.-Y.* // Applied Surface Science. 2003. V. 168. P. 296–299.
- [8] *Ломаев М.И., Скакун В.С., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф., Шитц Д.В.* // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. В. 21. С. 27–32.
- [9] *Соснин Э.А., Ерофеев М.В., Тарасенко В.Ф., Шитц Д.В.* // ПТЭ. 2002. № 6. С. 118–119.
- [10] *Соснин Э.А., Ерофеев М.В., Лисенко А.А., Тарасенко В.Ф., Шитц Д.В.* // Оптический журнал. 2002. Т. 69. № 7. С. 77–80.
- [11] *Ерофеев М.В., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф., Шитц Д.В.* // Оптика атмосферы и океана. 2000. Т. 13. № 9. С. 862–864.
- [12] *Ломаев М.И., Скакун В.С., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф.* Патент RU 2154323 С2, приоритет 01.06.98, опубл. 10.08.2000. Бюл. № 22.
- [13] *Zhang J.Y., Boyd I.W.* // Appl. Phys. B. 2000. V. 71. P. 177–179.
- [14] *Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф.* // ОпС. 1998. Т. 84. № 3. С. 389–392.
- [15] *Giese N., Darby J.* // Wat. Res. 2000. V. 34. N 16. P. 4007–4013.
- [16] *Sosnin E.A., Lavrent'eva L.V., Yusupov M.R., Masterova Y.V., Tarasenko V.F.* // Proc. of 2nd International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields. Rhodes, Greece (October 7–11), 2002. P. 953–957.
- [17] *Соснин Э.А., Лаврентьева Л.В., Мастерова Я.В., Тарасенко В.Ф.* Устройство для инактивации микроорганизмов. Заявка на патент № 2001122943/13(024355).