

А.И. Васильев, Л.М. Василяк, С.В. Костюченко, Н.Н. Кудрявцев*,
М.Е. Кузьменко, В.Я. Печеркин

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ НА ПАРАМЕТРЫ КВАРЦЕВЫХ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЛАМП НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ С ОКСИДНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

ЗАО НПО "ЛИТ"

ул. Краснобогатырская, 44, корп.1, г. Москва, 107076, Россия

**Московский физико-технический институт,*

Институтский пер., 9, г. Долгопрудный, 141700, Россия

Наличие защитного слоя из оксидов редкоземельных металлов на внутренней поверхности кварцевых колб увеличивает время работы ламп с дуговым разрядом низкого давления в инертных газах и замедляет снижение интенсивности ультрафиолетового излучения амальгамных ламп низкого давления.

Лампы с дуговым разрядом низкого давления широко применяются для генерации ультрафиолетового (УФ) и видимого излучений. Полезное время работы таких ламп составляет от нескольких сотен часов для спектральных ламп до нескольких тысяч часов для ксеноновых и ртутных ламп [1, 2]. В процессе работы интенсивность их излучения уменьшается. Например, для ртутных стеклянных бактерицидных ламп низкого давления величина интенсивности ультрафиолетового излучения может уменьшиться до 50% от начальной величины примерно после 3500 часов работы [2]. Известно, что в бактерицидных лампах низкого давления изготовленных из увиолевого стекла, ионы ртути, которые присутствуют в разрядной плазме низкого давления, взаимодействуют с внутренней поверхностью и проникают в глубь стекла [3]. Это возможно, так как увиолевое стекло содержит до 15 весовых процентов Na_2O . Ионы натрия обладают достаточной подвижностью, чтобы обеспечить проникновение ионов ртути с поверхности в объем стекла [3]. Это приводит к уменьшению атомов ртути в разряде и к потемнению стекла. Последнее приводит к уменьшению интенсивности УФ излучения, что сокращает полезный срок работы ламп. Наличие защитного слоя на внутренней поверхности ртутных бактерицидных ламп из увиолевого стекла препятствует проникновению ионов ртути в глубь стекла, уменьшает скорость последнего и значительно увеличивает полезное время их работы до 10000–12000 часов [4]. При обеззараживании воды УФ излучением, например, требуются мощные высокоэффективные бактерицидные лампы с длительным временем работы и малым спадом интенсивности. Для изготовления таких ламп используют кварц, так как он имеет более высокую температуру плавления и является более стойким материалом, чем стекло из-за отсутствия ионов щелочноземельных металлов, позволяющих ионам ртути проникать в объем кварца. Интенсивность УФ излучения кварцевых ламп уменьшается на 50% примерно через 6500 часов работы [5].

Цель работы – исследование влияния защитного слоя на внутренней поверхности кварца на параметры дугового разряда низкого давления в смеси инертных газов и интенсивность УФ излучения мощных амальгамных ламп низкого давления.

Исследовались лампы с внутренним диаметром кварцевой трубки 16,6 мм с оксидными трипиральными электродами. Все лампы при изготовлении проходили полный цикл стандартной технологической обработки, включая высокотемпературную обработку в вакууме, и заполнялись смесью спектрально чистых инертных газов (неон и аргон). Питание ламп осуществлялось переменным стабилизированным током $1,85 \pm 0,1$ А с частотой 45 ± 3 кГц от электронных пускорегулирующих аппаратов (ЭПРА).

При уменьшении давления инертного газа длительность горения разряда уменьшается от нескольких тысяч часов при давлениях 5–10 Торр до нескольких сотен часов при 1 Торр и до 1 час при давлении 0,3 Торр. Экспериментально установлено, что это время мало зависит от изменения длины

разрядной трубки в несколько раз. Мы предположили, что длительность горения определяется взаимодействием плазмы со стенкой кварца, а не с оксидными электродами ламп. Для подтверждения этого предположения была изготовлена кварцевая лампа с длиной разрядного промежутка 450 мм. После технологической обработки лампа была оставлена на откачном посту и наполнена смесью газов аргон-неон до давления 0,3 Торр, а ее объем был отделен от объема вакуумной системы поста специальным краном. В лампе зажигался разряд и контролировалось падение напряжения при постоянной величине разрядного тока. После самопроизвольного погасания разряда смесь газов заменялась на новую того же состава и давления. После включения ЭПРА разряд зажигался и стабильно горел. Время горения разряда было практически равно времени горения разряда в первом случае. Данную процедуру повторили еще раз. Зависимость напряжения на лампе от времени горения приведена на рис. 1. Таким образом, мы установили, что процесс погасания разряда лампы при низких давлениях инертного газа определяется изменением не свойств оксидных электродов ламп, а состава наполняющего газа кварцевой лампы при горении разряда.

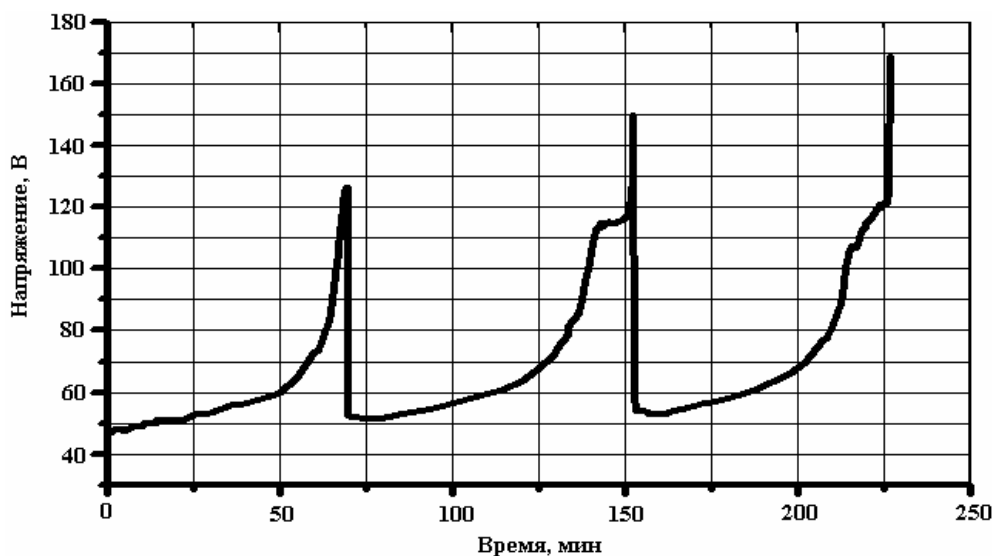


Рис. 1. Изменение напряжения от времени после смены газа

Для того чтобы полностью убедиться, что изменение состава наполняющего газа обусловлено влиянием кварцевой стенки, а не продуктов выделения оксидных электродов, мы провели следующий эксперимент. Изготовлены две полностью идентичные лампы, которые после заполнения инертными газами были отпаяны от вакуумной системы откачного поста. В одной лампе зажигался разряд от ЭПРА и измерялось падение напряжения. В другой лампе зажигался высокочастотный (ВЧ) безэлектродный емкостной разряд. При этом оксидные электроды находились вне зоны ВЧ разряда для того, чтобы исключить их влияние на разрядную плазму. Через определенное время ВЧ емкостной разряд гасился и на короткое время, примерно на 1 минуту, зажигался разряд от ЭПРА и измерялось напряжение на лампе. Разряд выключали и в лампе опять зажигали ВЧ емкостной разряд. Данная процедура выполнялась до тех пор, пока удавалось зажечь разряд от ЭПРА. Полученные результаты приведены на рис. 2. Как видно на рисунке, рост напряжения на обеих лампах происходит практически одинаково. Следовательно, процесс изменения падения напряжения на лампе при низких давлениях инертного газа определяется изменением состава наполняющего газа при горении разряда, вызванного взаимодействием разрядной плазмы с кварцевой стенкой, а не с оксидными электродами ламп.

Для исследования влияния защитного слоя на длительность горения были изготовлены четыре группы кварцевых ламп, по три лампы в каждой группе, длина разрядного промежутка составляла 450 мм, давление смеси аргон-неон – 0,3 Торр. Лампы первой группы были контрольными, а на внутреннюю поверхность кварцевых трубок лампы второй, третьей и четвертой групп был нанесен защитный слой из оксида редкоземельного металла, покрывающий 50, 75 и 100% площади внутренней поверхности лампы соответственно. На рис. 3 приведены усредненные зависимости напряжения на лампе с разрядом в инертных газах от времени для всех четырех групп ламп. Эти кривые имеют два ярко выраженных участка, отличающихся наклоном. После включения лампы напряжение медленно увеличивается до некоторого критического значения, после чего происходит его быстрый рост, который заканчивается самопроизвольным погасанием лампы, поскольку рабочее напряжение на электронном источнике питания ограничено. Повторное зажигание дугового разряда в лампе невозможно. Дли-

тельность первого участка минимальна для ламп без защитного слоя и максимальна для ламп, полностью покрытых защитным слоем. Переход от первого участка ко второму для всех ламп происходит при напряжении, примерно равном 70 В, что соответствует напряженности (1,2–1,3 В/см) электрического поля в положительном столбе разряда. Для проверки предположения, что увеличение напряжения происходит в положительном столбе, была исследована лампа длиной разрядного промежутка 1440 мм без защитного слоя. Для нее также наблюдались два характерных участка кривой напряжения, переход от первого участка ко второму тоже происходил при напряженности поля, составлявшей примерно 1,25 В/см, а длительности первого участка были равны для ламп с различной длиной разрядного промежутка. Полученные результаты позволяют также подтвердить, что на первом участке медленный рост напряжения ламп определяется влиянием внутренней стенки кварца, контактирующей с разрядной плазмой, на свойства плазмы. Наличие защитного слоя из оксидов редкоземельных металлов на внутренней поверхности кварцевой колбы лампы уменьшает взаимодействие разрядной плазмы с кварцем и увеличивает время работы ламп с разрядом в инертных газах при давлении 0,3 Торр почти на порядок по сравнению с лампами без защитного слоя.

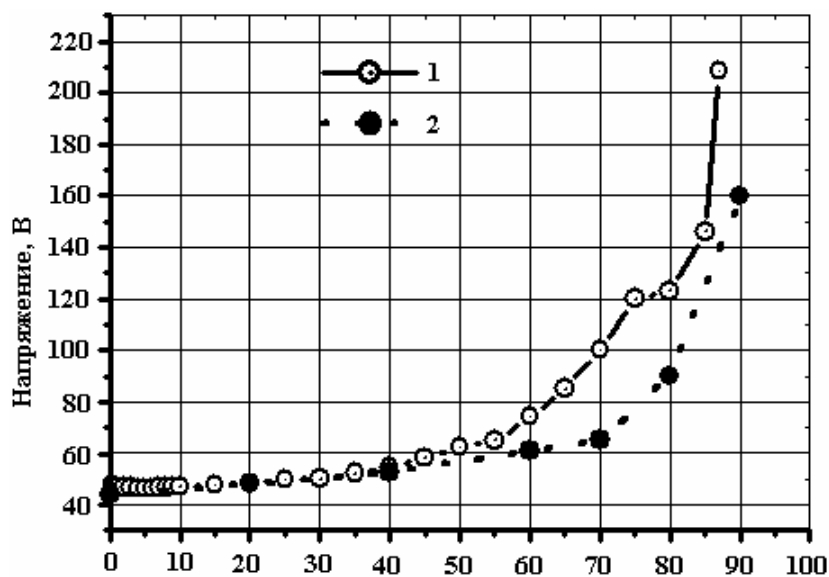


Рис. 2. Зависимость напряжения горения на лампе с постоянно горящим разрядом от ЭПРА (1) и с ВЧ разрядом (2)

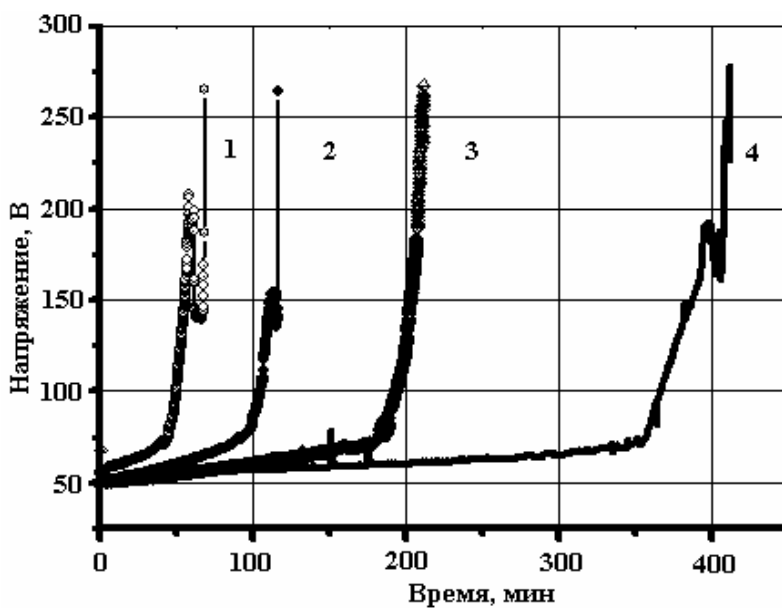


Рис. 3. Зависимости напряжения от времени работы ламп с различной площадью (в %) защитного слоя на внутренней поверхности трубки: 1 – 0; 2 – 50; 3 – 75; 4 – 100

Для исследования влияния качества защитного слоя на длительность горения ламп нами были изготовлены четыре группы ламп со следующими параметрами: длина разрядного промежутка составляла 450 мм, давление смеси аргон-неон – 0,3 Торр. Лампы первой группы были контрольными, а на внутреннюю поверхность кварцевых трубок ламп второй, третьей и четвертой групп наносились защитные слои из оксида редкоземельного металла. Количество защитных слоев у ламп второй группы один, третьей – два и четвертой – три. На рис. 4 приведены зависимости напряжения на лампах от времени горения. При увеличении количества слоев защитного покрытия время горения ламп увеличивается. Если лампа без защитного слоя горит примерно один час, то лампа с тремя слоями защитного покрытия горит около 1000 часов, что на три порядка больше.

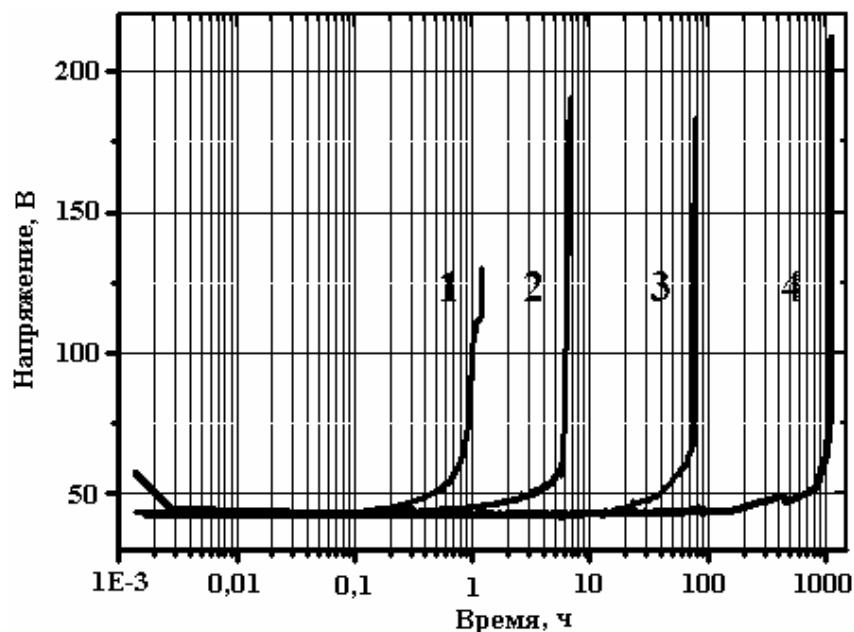


Рис. 4. Зависимость напряжения на лампах от времени горения при различной толщине защитного слоя: 1 – без слоя, 2 – 1 слой, 3 – 2 слоя, 4 – 3 слоя

Для исследования влияния защитного слоя на интенсивность УФ излучения ламп с разрядом в парах ртути при длительном горении были изготовлены шесть образцов кварцевых амальгамных ламп с длиной разрядного промежутка 1440 мм. На внутреннюю поверхность кварцевых трубок трех ламп наносился защитный слой из оксида редкоземельного металла, прозрачный для УФ излучения бактерицидного диапазона, а три лампы были без слоя. Обе группы ламп наполняли одной и той же смесью инертных газов до давления 2,0 Торр, источником паров ртути служила амальгама индия, позволяющая получить максимальную мощность УФ излучения при электрической мощности лампы 240 Вт. При работе амальгамных ламп измерялись напряжение на лампе, интенсивность УФ излучения на длине волны 253,7 нм и коэффициент пропускания кварцевых стенок колбы лампы на длине волны 253,7 нм. Точность измерений напряжения составляла 0,5%, относительная погрешность измерений мощности УФ излучения не превышала 2,5%, коэффициента пропускания – не более 3,5%.

На рис. 5 приведены усредненные по всем лампам из каждой группы зависимости интенсивности и коэффициента пропускания УФ излучения от времени работы ламп с защитным слоем и без него. Величина интенсивности УФ излучения в точке, соответствующей 100 часам работы лампы, взята за 100% в соответствии с общепринятым способом оценки снижения интенсивности УФ излучения люминесцентных и бактерицидных ламп низкого давления [1]. При измерении коэффициента пропускания УФ излучения за 100% была взята величина коэффициента пропускания воздуха. На рис. 5 видно, что интенсивность УФ излучения ламп с защитным слоем через 10000 часов горения составляет 80% от начальной, а для ламп без защитного слоя – менее 40%. Следует отметить, что кривые зависимости УФ излучения от времени хорошо коррелируют с кривыми зависимости коэффициента пропускания для ламп как с защитным слоем, так и без него. Величина напряжения на всех лампах практически не изменяется в процессе их работы. Следовательно, можно предположить, что при работе амальгамных ламп с защитным покрытием параметры разряда и плазмы не изменяются, а спад УФ излучения определяется уменьшением его пропускания стенкой лампы.

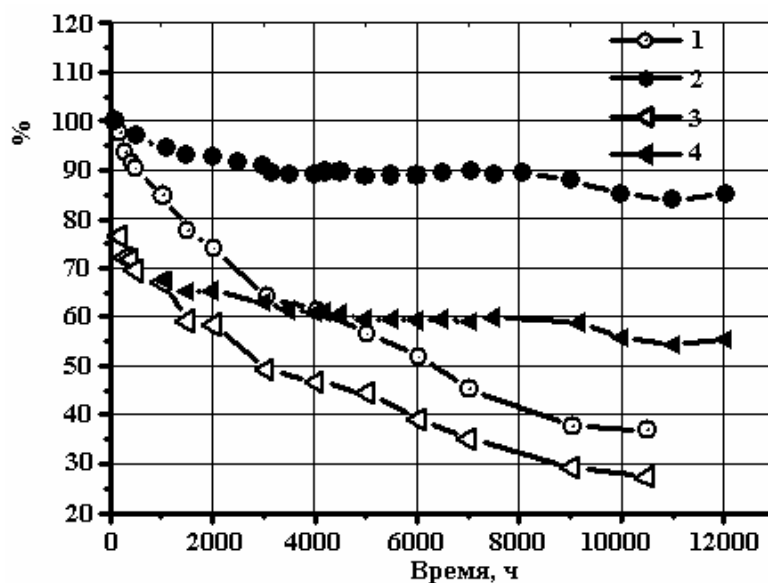


Рис. 5. Зависимости интенсивности УФ излучения (1,2) и коэффициента пропускания кварцевого стекла (3,4) от времени работы амальгамной лампы. 1, 3 – без защитного слоя, 2, 4 – с защитным слоем

Выводы

1. При отсутствии защитного слоя процесс погасания разряда низкого давления $P=0,3$ Торр в кварцевых лампах обусловлен изменением состава газового наполнения лампы.
2. Изменение состава газового наполнения определяется взаимодействием разрядной плазмы с поверхностью кварца.
3. Наличие защитного слоя из оксидов редкоземельных металлов на внутренней поверхности кварцевых ламп с дуговым разрядом в инертных газах увеличивает время работы ламп при низком давлении газа и, следовательно, снижает степень взаимодействия разрядной плазмы с кварцем.
4. Увеличение количества защитных слоев из оксидов редкоземельных металлов на внутренней поверхности кварцевых ламп с дуговым разрядом в инертных газах увеличивает время горения разряда на несколько порядков.
5. Защитный слой значительно замедляет спад интенсивности УФ излучения при работе амальгамных ламп низкого давления.
6. Снижение интенсивности УФ излучения обусловлено уменьшением коэффициента пропускания УФ излучения кварцевой колбой при работе амальгамных ламп.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рохлин Г.Н. Разрядные источники света. М.: Энергоатомиздат. 1991. 720 с.
2. Справочная книга по светотехнике / Под. ред. Ю.Б. Айзенберга. М.: Энергоатомиздат, 1995. 526 с.
3. Hildenbrand V.D., Denissen C.J.M., Geerdings L.M. and others. Interactions of thin oxide films with a low-pressure mercury discharge // Thin solid films. 2000. 371. P. 295–302.
4. UK Patent Application GB 2124019 A.
5. Васильев А.И., Костюченко С.В., Печеркин В.Я. и др. Влияние степени термообработки оксидных электродов на начальный спад бактерицидного излучения мощных амальгамных кварцевых ламп низкого давления // Известия РАН. Серия физическая. 2003. Т. 67. N 9. С. 1310–1313.

Поступила 09.10.06

Summary

A low pressure amalgam lamps are widely used for water air and surface disinfection. Application of amalgam instead of pure mercury is allowed to design a powerful ultraviolet lamp with high efficiency and to improve ecological security of disinfection equipment. The purpose of this paper is the investigation of influence of oxide electrodes and quartz inside surface on the lamp burning time and ultraviolet intensity reduction of low pressure lamps. We are showed the burning time of the arc discharge at the low pressure of the noble gases is defined by interaction of discharge plasma with inner quartz surface. A rare-earth metal oxide protective layer on the inner quartz surface is the way to increase the lamp burning time and to prevent of ultraviolet intensity reduction of low pressure amalgam lamps.