

7. Никонова Е. И., Павловская Е. Н., Старцев Г. П. // Опт. и спектр. 1967. Т. 2. № 6. С. 984.

Статья поступила в редакцию 7 августа 2008 г.

Wind Doppler low-coherence lidar with multiple time coherence of reference and signal waves

G. G. Matvienko, S. N. Polyakov, V. K. Oshlakov

Institute of Atmospheric Optics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia

The notion of multiple time coherence (MTC) of multiple fiber pulses (MFPs) is formulated. The fundamentals and circuit of wind Doppler low-coherence lidar with MTC of reference and signal waves are proposed for the first time. The single mode fiber topologies for forming of the MFPs with MTC properties are considered.

PACS: 42.68.Wt, 41.20.-q
УДК 535.37

Защитное покрытие лампы низкого давления с парами ртути как решающий фактор срока ее службы

Л. М. Василяк

Объединенный институт высоких температур РАН, Москва, Россия

А. И. Васильев, Л. А. Дроздов, С. В. Костюченко, Д. В. Соколов, А. Ю. Старцев
ЗАО «НПО "Лаборатория импульсной техники"», Москва, Россия

Н. Н. Кудрявцев

Московский физико-технический институт (Государственный университет),
г. Долгопрудный Московской обл., Россия

Спад мощности резонансного УФ-излучения в лампах низкого давления с разрядом в парах ртути и инертных газах определяется образованием слоя адсорбированной ртути на поверхности кварца. Защитное покрытие внутренней стороны кварцевой колбы препятствует адсорбции ртути и увеличивает ресурс лампы. Предложена методика ускоренной оценки качества защитного покрытия и ресурса ламп.

PACS: 68.35.-P

Введение

Кварцевые амальгамные лампы с разрядом низкого давления на парах ртути — один из наиболее мощных и эффективных источников бактерицидного УФ-излучения [1, 2].

Основным недостатком данных ламп является высокий спад мощности УФ-излучения по мере их работы. Причиной спада УФ-излучения является снижение пропускания света кварцевым стеклом из-за образования на внутренней поверхности колбы лампы слоя с внедренными атомами ртути, поглощающими резонансное УФ-излучение [3].

Образование поглощающего слоя и потемнение кварца происходят достаточно быстро, например при работе кварцевой бактерицидной лампы с погонной мощностью разряда более 1,5 Вт/см в течение 3—4 тыс. ч, мощность УФ-излучения снижается в два раза, поэтому дальнейшая эффек-

тивная эксплуатация такой лампы далеко не всегда возможна. При этом ресурс электрода полностью не используется, поскольку поддержание разряда в лампе возможно в течение 15—20 тыс. ч.

Таким образом, эксплуатационный срок службы лампы в данном случае определяется не ресурсом электродного узла, а прозрачностью кварцевой колбы для УФ-излучения и уменьшением мощности последнего.

Пленка, поглощающая УФ-излучение, образуется в результате ряда реакций взаимодействия разрядной плазмы с внутренней поверхностью колбы лампы. Для уменьшения скорости этих взаимодействий, а также скорости образования поглощающей пленки в амальгамных УФ-лампах

низкого давления применяются защитные покрытия внутренней поверхности колбы. Эти покрытия, как правило, состоят из оксидов редкоземель-

ных металлов и способны в несколько раз замедлять скорость потемнения кварца по мере работы УФ-ламп [4].

Сходные процессы могут происходить при использовании в лампах емкостного или индукционного безэлектродного разряда в замкнутой кварцевой или стеклянной колбе. Ресурс таких ламп определяется не только электронными компонентами балласта, но и свойствами колбы — устойчивостью ее поверхности к воздействию разрядной плазмы в парах ртути и инертных газах.

При конструировании разрядных ламп в целях генерации видимого излучения на внутреннюю поверхность наносится люминофор, который, помимо сдвига спектра излучения, предохраняет поверхность колбы ламп от воздействия плазменных частиц, однако и он подвержен модификации при работе лампы, приводящей к снижению общего светопропускания колбы. Все описанные процессы ведут к снижению эффективности работы ламп по мере их работы.

Защитное покрытие на внутренней стороне кварцевой колбы позволяет добиться работы УФ-ламп со средним спадом мощности УФ-излучения (20—30 %) в течение 8—12 тыс. ч горения [3]. При этом уровень спада мощности УФ-излучения ламп существенно зависит от состава и качества защитного покрытия. Таким образом, если оптимизировать эти показатели покрытия, то можно достичь существенного улучшения результатов по спаду мощности УФ-излучения амальгамных УФ-ламп низкого давления и увеличения эксплуатационного ресурса.

Поскольку современные газоразрядные лампы низкого давления обладают сроком службы 8 тыс. ч и более, то это существенно замедляет процесс исследования зависимости спада мощности УФ-излучения у ламп от качества и состава защитного покрытия колб.

В работе [5] была предпринята попытка ускорить процесс исследования путем применения разряда без ртути при давлениях инертного газа, более низких, чем в обычных ртутных лампах. Предполагалось, что при таких условиях можно оценивать защитные свойства покрытия внутренней стенки кварцевой колбы по времени самопроизвольного погасания экспериментальной лампы, и что причиной дезактивации последней является наработка отравляющей разряд примеси при разрушении защитного покрытия. Таким образом, чем прочнее защитный слой, тем больше понадобится времени, чтобы его разрушить.

Однако результаты исследований, полученные при использовании данной модели, нельзя уверенно применять для разработки кварцевых УФ-ламп с парами ртути. Разрядные плазмы в смесях инертных газов с ртутью и без нее существенно

отличаются. В разряде ионизируются в основном атомы ртути, так как они имеют существенно меньший потенциал ионизации, чем атомы инертных газов. Атомы и ионы ртути обладают большей массой и меньшей подвижностью в плазме, чем атомы и ионы обычно используемых инертных газов.

При наличии ртути могут происходить плазмохимические процессы ее взаимодействия с защитным покрытием, которые не происходят в плазме инертных газов.

Таким образом, оценка свойств защитного покрытия путем определения времени самопроизвольного погасания разряда в лампе без ртути не всегда приводит к адекватным результатам при использовании данного покрытия в условиях разряда, содержащего ртуть.

Как известно из работ [4, 6], по мере работы кварцевой газоразрядной УФ-лампы часть ртути адсорбируется на стенке, при этом последняя может быть на короткое время очищена от нее путем нагревания до температуры 500—600 °С. Авторами статьи было выдвинуто предположение, что скорость процесса ухода ртути на стенку может зависеть от свойств защитного покрытия. В данной работе приведен ряд экспериментов, направленных на выяснение зависимости скорости адсорбции ртути на стенке кварцевой колбы от качества защитного покрытия на внутренней стороне колбы лампы.

Цель данной работы — исследование зависимости характеристик кварцевых ламп с разрядом в парах ртути и инертных газах при низких давлениях от качества защитного покрытия на внутренней стороне колбы лампы.

Экспериментальная установка и методика эксперимента

Для экспериментов изготавливали кварцевые лампы, в которых формировался разряд в парах ртути и смеси инертных газов при давлении в последних 40 Па. Лампы наполнялись смесью неона и аргона в пропорции 60 : 40. Давление паров ртути оптимизировалось из условия максимальной мощности УФ-излучения экспериментальной лампы и составляло 0,7—1,3 Па.

Использовались кварцевые лампы с внутренним диаметром колб 25 мм и длиной разрядного промежутка 45 см.

Экспериментальные лампы изготавливали по единой технологии из одинаковых материалов с одинаковыми геометрическими размерами. Отличие между ними заключалось только в том, что на внутреннюю поверхность для нескольких групп ламп было нанесено защитное покрытие разными способами, обеспечивающими различную степень равномерности или сплошности защитного слоя, что

проверялось с помощью профилографа Dektak 6M и спектрофотометра Varian Cary 50.

Контрольную группу ламп изготовили без защитного покрытия. В экспериментальные лампы закладывалось малое количество амальгамы таким образом, чтобы общее количество ртути в лампе было $0,40 \pm 0,01$ мг.

Экспериментальную лампу помещали в специализированный корпус с выходной щелью для измерения УФ-излучения. После зажигания периодически измеряли электрические параметры лампы и мощность УФ-излучения на длине волны 254 нм. За время эксперимента лампу несколько раз выключали и измеряли пропускание ее колбы на длине волны 254 нм. Результаты этих измерений сопоставляли с падением мощности УФ-излучения лампы по отношению к максимальному значению.

Принципиальная особенность экспериментальных ламп состояла в том, что в них закладывалось существенно меньшее количество амальгамы, чем в стандартные изделия с расчетным сроком службы 8—12 тыс. ч. По мере работы лампы часть атомов ртути связывалась предположительно на стенке колбы. Потери ртути в разряде компенсировались дополнительным извлечением ее из амальгамы до некоторого момента, когда ее запасы там заканчивались. Далее из-за падения давления паров ртути в разряде наблюдался резкий спад мощности УФ-излучения на длине волны 254 нм.

Таким образом, исходя из величины времени, затрачиваемой на использование всего запаса ртути и зная общее количество ртути, помещенное в экспериментальную лампу, можно судить о скорости ухода ртути из разряда.

Измерения мощности УФ-излучения экспериментальной лампы проводили по методике, изложенной в работе [7], основанной на расчетах, приведенных в [8]. Часть потока УФ-излучения с поверхности лампы попадает на калиброванный на длине волны 254 нм фотоэлемент Ф29, при этом фототок, измеренный цифровым вольтмет-

ром ЦЗ1, можно считать пропорциональным интенсивности излучения экспериментальной лампы.

Экспериментальные лампы зажигали с помощью электронного пускорегулирующего аппарата (ЭПРА), который обеспечивал питание лампы стабилизированным переменным током ($3,2 \pm 0,1$) А с частотой около 45 кГц. Измерения электрических параметров: ток лампы, напряжение на лампе и мощность лампы — осуществляли с помощью анализатора мощности YOKOGAWA PZ4000 — специализированного цифрового осциллографа, позволяющего фиксировать и обрабатывать до 5 млн. точек в секунду. При этом относительная погрешность измерения для тока лампы и мощности на ней составляла 2 %, а для измерения напряжения на лампе — 0,5 %.

Результаты и обсуждение

На рис. 1 приведены профилограммы чистого кварца и образцов ламп с покрытием одинакового состава, нанесенного разными способами. Как видно из графиков, толщина покрытия примерно одинаковая и составляет около 100—150 нм, однако сплошность слоя значительно отличается. Тем не менее, по результатам измерения пропускания аналогичных образцов на длине волны 254 нм на спектрофотометре Varian Cary 50 получено, что среднее пропускание образцов кварца с защитным слоем остается неизменным для обоих способов нанесения.

Профилограммы образцов кварца с покрытиями, полученными при использовании двух разных способов нанесения, и образцов непокрытого кварца позволяют оценить качество полученных защитных слоев.

На профилограмме непокрытого кварца наблюдаются перепады высот от -30 до $+30$ нм относительно начального уровня, таким образом можно полагать, что при превышении уровня 30 нм мы попадаем на частички покрытия.

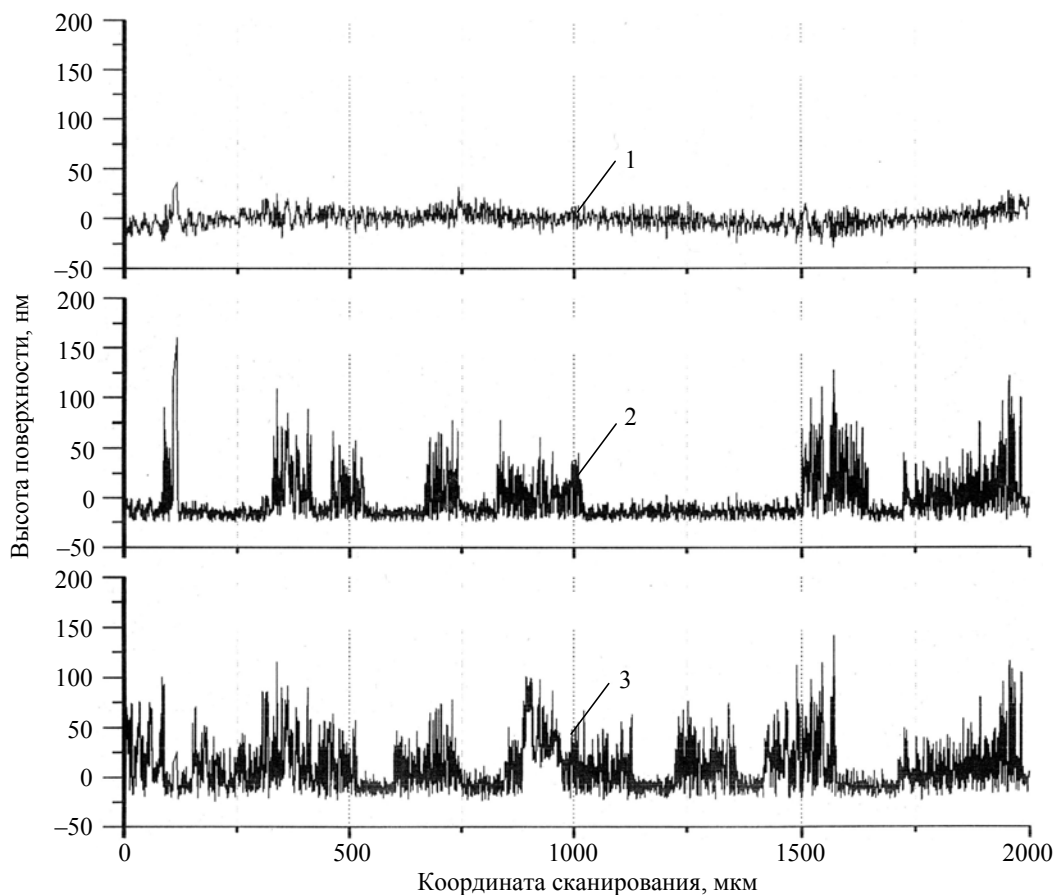


Рис. 1. Профилограммы поверхности экспериментальных колб с различными способами нанесения защитного покрытия:

1 — непокрытый кварц; 2 — 1-й способ нанесения защитного покрытия; 3 — 2-й способ нанесения

На профилограммах образцов кварца с покрытием наблюдаются перепады высот от -30 до $+150$ нм. Основное отличие 1- и 2-го способов нанесения покрытия состоит в сплошности слоя. Меньшего количества участков обнаженного кварца позволяет добиться 2-й способ. При использовании 1-го способа открытых участков кварца $\sim 50\%$, а 2-го способа — не более 20% .

Полученные в ходе экспериментов зависимости мощности УФ-излучения лампы от времени ее работы приведены на рис. 2. Видна четкая зависимость скорости спада мощности УФ-излучения экспериментальных ламп от качества защитного покрытия на внутренней поверхности колбы лампы.

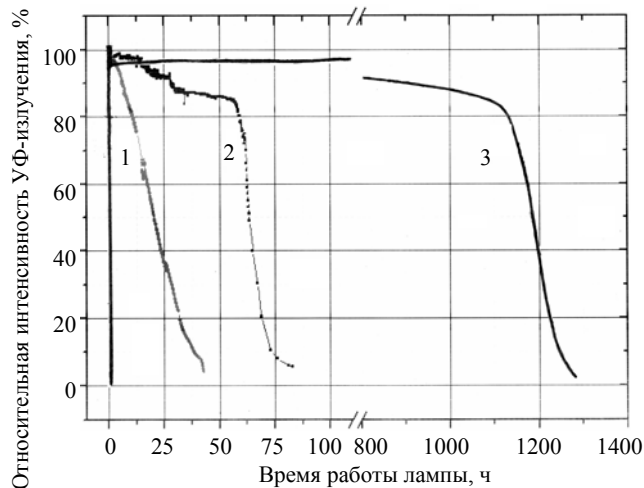


Рис. 2. Зависимости мощности излучения экспериментальных ламп от времени работы:

1 — лампа без покрытия; 2 и 3 — лампы со способами нанесения покрытия 1 и 2, соответственно

Рассматриваемые зависимости можно разделить на три этапа. Первый короткий этап роста интенсивности УФ-излучения объясняется нагреванием колбы лампы от комнатной температуры до рабочего значения около $100\text{ }^\circ\text{C}$, при этом воз-

растает давление паров ртути в колбе лампы, поэтому идет рост мощности УФ-излучения.

При достижении стационарной температуры работы экспериментальной лампы происходит стабилизация электрических параметров разряда и давления паров ртути. Полагаем, что при этих условиях начинаются процессы, приводящие к уходу ртути из разряда. При этом часть ртути уходит на стенку, образуя поглощающую УФ-излучение пленку, что подтверждается периодическими измерениями пропускания колбы экспериментальной лампы по мере ее работы. Этот процесс продолжается до тех пор, пока количество ртути в амальгаме не станет настолько низким, что существенно изменится зависимость давления паров ртути над амальгамой от ее температуры.

После этого давление паров ртути неизбежно снизится, и мощность УФ-излучения начнет падать, при этом пропускание кварцевой стенки колбы лампы будет изменяться значительно медленнее, чем мощность УФ-излучения лампы. Кроме того, изменяется и падение напряжения на разряде. Процесс падения интенсивности УФ-излучения происходит до полного истощения запаса свободной ртути в лампе, и разряд начинает поддерживаться в основном за счет ионов инертных газов, при этом изменяется и цвет свечения разряда с ярко голубого до красновато-малинового.

Рассматривая кривые 1, 2 и 3 (см. рис. 2), можно заключить, что наиболее быстро ртуть уходит из разряда в лампе без защитного покрытия (кривая 1). Применение защитного покрытия позволяет существенно снизить скорость ухода ртути на стенку, а вместе с этим и скорость потемнения кварца во время работы лампы. Во многих приложениях скорость потемнения кварца может определять полезный срок службы газоразрядного устройства.

Заключение

Предложен способ ускоренного испытания качества защитного покрытия и определения полезного ресурса работы ртутных ламп низкого давления. При работе кварцевой амальгамной лампы низкого давления происходит уход ртути из разряда на стенку и переход атомов ртути в связанное состояние, не позволяющее им излучать. Атомы ртути на стенке лампы поглощают резонансное УФ-излучение, в результате чего уменьшается интенсивность УФ-излучения.

Скорость ухода ртути из разряда зависит от качества защитного покрытия внутренней стенки разрядной трубки. Таким образом, полезный срок

службы лампы низкого давления определяется не ресурсом электродов, а запасом ртути и динамикой ее ухода на стенку, где она образует поглощающую УФ-излучение пленку. Если запас ртути достаточно большой, то образующийся на поверхности слой с атомами ртути может снизить мощность УФ-излучения на 50—70 % в течение 3—5 тыс. ч работы.

Применение более качественного защитного покрытия предотвращает спад УФ-излучения при использовании разряда низкого давления в парах ртути и инертных газах, что и позволяет увеличить ресурс газоразрядных ламп, в том числе и безэлектродных.

Применяя более устойчивое к воздействию разрядной плазмы покрытие, можно добиться существенного снижения массы ртути, требуемой для функционирования лампы низкого давления. Качество защитного покрытия можно оценить по предложенной методике ускоренных испытаний, основанной на минимизации содержания ртути в лампе.

Литература

1. Справочная книга по светотехнике/ Под ред. Ю. Б. Айзенберга. — М.: Знак, 2006. — 972 с.
2. *Рохлин Г. Н.* Разрядные источники света. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 720 с.
3. *Васильев А. И., Василяк Л. М., Костюченко С. В., Кудрявцев Н. Н., Кузьменко М. Е., Печеркин В. Я.* Влияние защитного слоя на длительность горения и излучение кварцевых газоразрядных ламп низкого давления// Письма в ЖТФ. 2006. Т. 32. Вып. 1. С. 83—88.
4. *Васильев А. И., Костюченко С. В., Кудрявцев Н. Н., Кузьменко М. Е., Печеркин В. Я.* К вопросу о спаде УФ-излучения кварцевых амальгамных ламп низкого давления// 3-й междунар. симпозиум по теоретической и прикладной плазмохимии// Сб. матер./ Ивановский гос. хим.-техн. университет, 2002. Т. 1. С. 134—139.
5. *Васильев А. И., Дроздов Л. А., Василяк Л. М., Костюченко С. В., Кузьменко М. Е., Печеркин В. Я.* Исследование взаимодействия плазмы с поверхностью кварца в газоразрядных лампах низкого давления// 4-й междунар. симпозиум по теоретической и прикладной плазмохимии// Там же. 2003. Т. 2. С. 153—158.
6. *Hildenbrand V. D., Denissen C. J. M., Greerdink L. M., van der Marel C., Snijders J. H. M., Tamminga Y.* Interactions of thin oxide films a low-pressure mercury discharge// Thin Solid Films. 2000. V. 371. P. 295—302.
7. *Кузьменко М. Е., Печеркин В. Я., Костюченко С. В.* Методика измерения УФ-излучения трубчатых бактерицидных ламп низкого давления// Тез. докл. IV междунар. светотехнической конф. — Вологда. 2000. С. 157—158.
8. *Keitz, H.* Light calculations and measurement. — London: Macmillan, 1971.

Статья поступила в редакцию 19 июня 2008 г.

Protective coating of low pressure lamp with mercury vapors

as the main factor of lamp operating period

L. M. Vasilyak

Institute for High Temperatures, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

A. I. Vasiliev, L. A. Drozdov, S. V. Kostyuchenko, D. V. Sokolov, A. U. Startsev

LIT Technology, Moscow, Russia

N. N. Kudryavtsev

Moscow Institute of Physics and Technology, (State University), Dolgoprudny, Moscow region, Russia

Resonance UV-irradiance power drop in low pressure lamps with discharge in mercury vapors and inert gases is defining by mercury absorption on quartz surface. Protective coating on inner surface of the quartz bulb is preventing from mercury absorption and it is increasing the lamp life time. The fast estimating of coating quality method is proposed. It was showed that the mercury consumption and lamp life time is depending of protective coating quality.

PACS: 68.35.-P

* * *