

УДК 533.9, 535-31

Влияние режимов работы газоразрядной амальгамной лампы низкого давления на интенсивность генерации вакуумного УФ-излучения с длиной волны 185 нм

Л. М. Василяк, Л. А. Дроздов, С. В. Костюченко, Д. В. Соколов, Н. Н. Кудрявцев, Д. А. Собур

Рассмотрены влияние силы тока разряда, давления паров ртути и давления инертного газа на интенсивность и КПД генерации линии 185 нм. Проведено исследование спектров пропускания ВУФ-излучения (вакуумного ультрафиолетового) защитными покрытиями из оксидов редкоземельных металлов и алюминия.

PACS: 52.80.Mg, 42.72.Bj

Ключевые слова: ртутные лампы низкого давления, амальгамные лампы, генерация озона, вакуумное УФ-излучение, защитное покрытие.

Введение

В настоящее время источники ультрафиолетового (УФ) излучения получают все более и более широкое распространение. Они применяются при обеззараживании различных сред, обработке поверхностей, фотохимии и микроэлектронике, при полимеризации лаков и красок, в медицине и в других областях народного хозяйства.

Наибольший интерес представляют ртутные газоразрядные лампы низкого давления, имеющие высокий КПД преобразования электрической энергии в УФ-излучение (35—45 %). В таких лампах давление паров ртути (5—10)·10⁻³ Торр, а давление газовой смеси (как правило, неон—аргон) порядка нескольких Торр. Удельная мощность УФ-излучения для ртутных ламп составляет 0,2—0,5 Вт/см. Для получения ламп с мощностью УФ-излучения более 0,5 Вт/см вместо металлической

ртути все чаще используют амальгаму, позволяющую снизить давление паров ртути при высоких температурах, характерных для мощных ламп [1]. Кроме того, в амальгамных УФ-лампах низкого давления большая часть ртути находится в связанном состоянии. В свободном состоянии присутствуют только сотые доли миллиграмм ртути на лампу [2] и то в тот момент, когда ее поверхность нагрета до рабочей температуры 100—130 °С. Концентрация паров ртути внутри выключенной лампы при комнатной температуре сравнима с предельно допустимой концентрацией (ПДК). Следовательно, такие лампы представляют значительно меньшую экологическую опасность, чем ртутные. Кроме того, использование амальгамы значительно облегчает проблему утилизации ламп, отработавших свой ресурс.

Как известно, спектр ртутного разряда содержит две интенсивные резонансные линии 253,65 и 184,95 нм. УФ-излучение с длиной волны меньше 200 нм обычно называется ВУФ-излучением, которое поглощается в воздухе молекулярным кислородом с образованием озона. Сегодня растет интерес к использованию ВУФ-излучения ртутного разряда, особенно в сочетании с излучением резонансной линии 254 нм. В частности, сочетание излучения с длинами волн 254 и 185 нм можно эффективно использовать для фотохимической очистки воздуха от загрязнений [3]. Таким образом, создание мощной ртутной газоразрядной лампы с высоким КПД генерации ВУФ-излучения является актуальной задачей.

Параметры, определяющие выход ВУФ-излучения

Интенсивность и КПД генерации ВУФ-излучения газового разряда зависят от параметров

Василяк Леонид Михайлович, главный научный сотрудник. Объединенный институт высоких температур РАН.

Россия, 125412, Москва, Ижорская ул., 13, стр. 2.

Тел. 8 (495) 484-18-10. E-mail: vasilyak@ihed.ras.ru

Дроздов Леонид Александрович, начальник лаборатории.

Костюченко Сергей Владимирович, председатель совета директоров.

Соколов Дмитрий Владимирович, начальник светотехнической службы.

ЗАО "Лаборатория импульсной техники".

Россия, 107076, Москва, ул. Краснобогатырская, 44.

E-mail: lit@npo.lit.ru

Кудрявцев Николай Николаевич, ректор, профессор.

Собур Денис Анатольевич, аспирант.

Московский физико-технический институт.

Россия, 141700, г. Долгопрудный Московской обл.,

Институтский пер., 9.

Тел. +7-926-522-84-59. E-mail: soburda@gmail.com

Статья поступила в редакцию 25 сентября 2010 г.

лампы, среди которых основным является температура электронов плазмы разряда (T_e). Электронный уровень атома ртути 6^1P_1 , ответственный за генерацию линии 185 нм, расположен значительно выше уровня 6^3P_1 , с которого излучается линия 254 нм. Для повышения эффективности генерации ВУФ-излучения необходимо повышать температуру электронов. Однако с ростом температуры электронов растут потери на возбуждение более высоких уровней 6^3D и 7^3S , релаксация которых происходит с излучением квантов в видимом диапазоне. Также с ростом температуры электронов растут потери энергии электронов на упругие соударения с атомами инертного газа. Таким образом, существует оптимальное значение температуры электронов, позволяющее получить максимальное значение КПД генерации излучения. Причем оптимальное значение КПД генерации излучения с длиной волны 185 нм будет достигаться при более высоких температурах электронов, нежели для квантов с длиной волны 254 нм. Температура электронов в ртутной амальгамной лампе низкого давления составляет порядка 1 эВ и, в свою очередь, определяется рядом параметров лампы.

В ртутных УФ-лампах низкого давления в качестве инертного газа обычно используется смесь Ne и Ar. При низких давлениях газовой смеси КПД генерации излучения растет с ростом давления, так как происходит уменьшение скорости потерь на ионизацию, а, следовательно, и уменьшение T_e . Однако падение T_e приводит к уменьшению интенсивности УФ-излучения с ростом давления. С дальнейшим ростом давления в области свыше 1 Торр КПД начинает падать, поскольку растут потери энергии на упругие столкновения. Выход УФ- и ВУФ-излучения также зависит от диаметра плазменного столба. С ростом диаметра увеличивается число актов поглощения и излучения фотона до выхода из плазменного столба (так называемый эффект "пленения" [4, 5]). При этом растет вероятность рассеяния энергии возбуждения за счет соударения атома с электроном или атомом газа. Этот эффект приводит к уменьшению КПД генерации УФ-излучения. При этом время жизни возбужденного состояния 6^3P_1 много меньше, чем для состояния 6^1P_1 [6], поэтому эффект пленения линии 185 нм может при экспериментальной проверке оказаться не столь значителен. Кроме того, при большом диаметре трубки уменьшается T_e за счет падения амбиполярной диффузии на стенку и скорости ионизации.

На величину эффекта пленения и последующего рассеяния энергии возбуждения также значительно влияет давление паров ртути. Преимуществом амальгамных ламп является возможность

достижения оптимального значения давления ртути в разряде при любой заранее заданной температуре стенки. Достигается такой эффект оптимизацией состава амальгамы. Наконец, с ростом силы и плотности тока интенсивность излучения разряда растет до насыщения, обусловленного приближением к равновесию между возбуждающими и тушащими соударениями атомов ртути с электронами. КПД лампы при этом падает за счет роста числа соударений второго рода. Кроме того, рост ионизации возбужденных атомов с ростом силы тока разряда приводит к падению напряженности электрического поля и T_e . Повышение давления паров ртути также уменьшает напряженность электрического поля [7].

Интенсивность и КПД генерации УФ- и ВУФ-излучения амальгамной лампой низкого давления определяются большим набором взаимосвязанных параметров. Теоретические исследования генерации УФ-излучения ртутным разрядом проводились в ряде работ [4, 6]. И. М. Весельницким было проведено систематическое исследование зависимости характеристик ртутного разряда от широкого набора параметров [4, 8]. Давление паров ртути поддерживалось во время измерений на заданном уровне путем поддержания требуемой температуры в специальном отростке с ртутью. Вся лампа погружалась в "водяную баню", температура которой поддерживалась на 10 °С выше, чем в отростке. Давление ртути подбиралось соответствующим максимуму излучения линии 254 нм. Исследование проводилось при частоте тока разряда 50 Гц. Погрешности определения светового потока составляли не менее 7—8 %. Таким образом, условия работы экспериментальных ламп И. М. Весельницкого значительно отличались от современных условий эксплуатации установок. Для создания эффективной озоновой амальгамной лампы низкого давления необходимо провести исследования зависимости интенсивности и КПД генерации ВУФ-излучения от широкого ряда параметров.

Одним из недостатков амальгамных кварцевых ламп является спад интенсивности УФ-излучения во время их работы. Основную роль в падении мощности УФ-излучения по мере работы кварцевой лампы играют процессы взаимодействия газоразрядной плазмы с внутренней поверхностью колбы [9]. При горении разряда может происходить модификация внутренней поверхности кварцевой колбы. При этом формируется ртутьсодержащая пленка, поглощающая УФ-излучение. Данный процесс приводит к тому, что через 3000—5000 ч работы кварцевой лампы происходит снижение интенсивности УФ-излучения в 2 раза. С ростом диаметра трубки уменьшается амбиполярная диффузия ионов ртути на стенку

колбы, что замедляет скорость формирования пленки. Уменьшение давления буферного газа, напротив, приводит к росту скорости диффузии.

Применив защитное покрытие на внутренней стороне колбы можно добиться снижения мощности УФ-излучения всего на 15 % за 8—12 тыс. ч работы [9]. В настоящее время разработан ряд защитных покрытий, эффективно защищающих поверхность колбы лампы. Однако покрытия, обладающие хорошим коэффициентом пропускания на длине волны 254 нм, могут поглощать более жесткие ВУФ-кванты 185 нм [10]. Для создания озоновой амальгамной лампы низкого давления необходимо исследовать спектры пропускания различных защитных покрытий в области ВУФ.

Цель данной работы — экспериментальное исследование зависимости интенсивности и КПД генерации ВУФ-излучения с длиной волны 185 нм от параметров газоразрядной амальгамной лампы низкого давления. В работе исследовалась зависимость генерации ВУФ-излучения от давления паров ртути, давления смеси буферного газа, силы тока разряда. Также в работе исследовалась возможность применения различных оксидных пленок в качестве защитного покрытия кварцевой колбы.

Экспериментальная установка

Исследования зависимости интенсивности УФ-излучения лампы от параметров разряда выполнены на основе вакуумного монохроматора McPherson Model 218 с решеткой 600 штрих/мм. Давление в камере монохроматора было менее 10^{-3} Торр. Окна монохроматора выполнены из фторида магния MgF_2 , пропускающего излучение с длинами волн от 105 нм. На выходе монохроматора установлен фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) PMT 658-1 (Hamamatsu R6095). Сигнал ФЭУ измерялся с помощью пикоамперметра Keithley 6485 и обрабатывался на компьютере. Экспериментально было определено оптимальное ускоряющее напряжение ФЭУ, равное 350 В. Темновой ток ФЭУ при этом составлял менее 0,1 нА.

Для обеспечения режима работы лампы, близкого к реальному, была создана экспериментальная камера (рис. 1). Камера представляет собой металлический цилиндр диаметром 200 мм, вдоль оси которого устанавливалась лампа. Перпендикулярно к оси камеры врезан металлический патрубок диаметром 90 мм, с помощью которого камера присоединялась к входному окну вакуумного монохроматора. Измерение интенсивности излучения делалось поперек разрядной трубки для участка трубки длиной около 100 мм. Напротив

патрубка было расположено смотровое окно, эффективно поглощающее УФ-излучение для уменьшения количества отраженных лучей, попадающих на входную щель монохроматора. При работе ВУФ-лампы в воздухе происходит образование озона, эффективно поглощающего УФ-излучение. Для сохранения теплового баланса лампы и предотвращения образования озона экспериментальная камера и патрубок заполнялись азотом. Рассчитанная систематическая ошибка измерений интенсивности излучения лампы на данном стенде составила около 4 %.

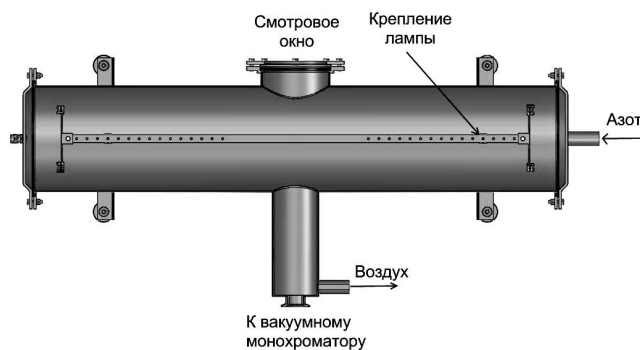


Рис. 1. Схема экспериментальной камеры

Напряжение на лампе измерялось с помощью мультиметра UniTrend UT71E и также обрабатывалось на компьютере. Кроме того, с помощью UT71E измерялась температура стенки колбы лампы. Точность измерения среднеквадратичного напряжения прибором UT71E составляет 0,4 %.

Давление паров ртути в разряде определяется температурой амальгамы. В экспериментальных условиях прогрев амальгамы занимает около 15 мин. Поскольку время релаксации плазмы значительно меньше, то измеряя динамику изменения параметров лампы, мы можем наблюдать зависимость параметров разряда от давления паров ртути (рис. 2). Это в значительной мере упрощает проведение экспериментов по определению оптимального значения давления паров. Давление паров ртути, оптимальное для генерации линий 254 и 185 нм, в общем случае различается, хотя и может принимать близкие значения при определенных параметрах разряда. В данной работе исследовались параметры, обеспечивающие максимальную интенсивность излучения на длине волны 185 нм.

Спектры поглощения защитных покрытий исследовались с помощью спектрофотометра Varian Cary 50. Данный прибор позволяет исследовать спектр пропускания образцов в области длин волн от 190 нм. Выходной пучок спектрофотометра имеет ширину несколько миллиметров и поэтому кривизной исследуемых трубок в первом приближении можно пренебречь. В спектрофотометр по-

мещалась кварцевая трубка без защитного покрытия, и измерялся спектр пропускания кварца. Данный спектр использовался в качестве базовой линии. Далее в спектрофотометр помещалась кварцевая трубка с нанесенным защитным покрытием и измерялся спектр пропускания образцов в диапазоне 190—300 нм. Пренебрегая многократными отражениями, можно рассматривать трубку как две параллельные пластины. Суммарный коэффициент пропускания при этом будет равен квадрату коэффициента пропускания одной стенки трубки. Точность измерений коэффициента пропускания трубки с помощью спектрофотометра составляет порядка 5 %. Статистическая погрешность составила около 10 %. Оптическая плотность покрытия вычислялась как десятичный логарифм коэффициента пропускания, взятого со знаком минус.

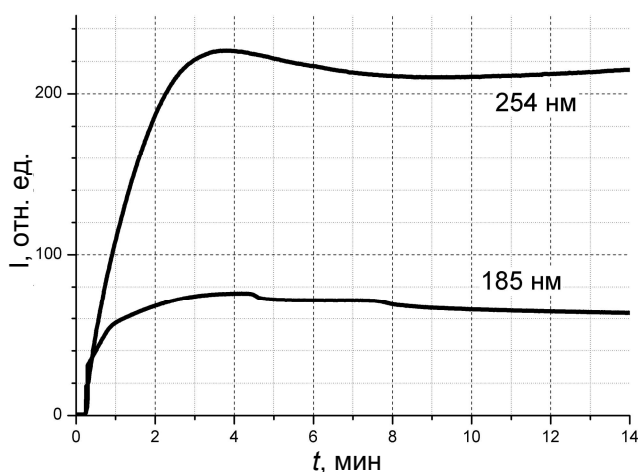


Рис. 2. Зависимость интенсивности излучения амальгамной лампы от времени (инертный газ Ar, давление 1 Торр, сила тока 1,85 А)

Значение коэффициента поглощения на длине волны 185 нм получалось путем экстраполяции данных из области 190—205 нм. Такая экстраполяция оправдана, поскольку из эксперимента видно, что в данной области спектр поглощения изменяется слабо. Погрешность вычисленного таким образом коэффициента пропускания составляет не более 15 %. Для исследований было использовано несколько кварцевых колб, на которые были нанесены различные защитные покрытия. Были нанесены пленочные защитные покрытия из оксидов иттрия, иттербия, алюминия, а также защитные покрытия из нанокристаллического порошка оксида алюминия.

В рамках работы были созданы две серии амальгамных ламп по три лампы каждая. Межэлектродное расстояние составляло 775 мм. Колбы ламп были изготовлены из специально очищенного кварцевого стекла производства компании Raesch. Коэффициент пропускания стекла, вычисленный на основании измерений спектра пропус-

кания, составил около 50 % на длине волны 185 нм. Внутренний диаметр трубки 16 мм, толщина стенки 1,5 мм с защитным пленочным покрытием из оксида алюминия. В качестве буферного газа использовался чистый аргон и смесь Ne/Ar (60 % / 40 %) при давлениях в диапазоне 0,5—2 Торр. Измерение каждой лампы при заданной силе тока повторялось 2—3 раза. Наблюдаемая при этом статистическая погрешность вызвана в первую очередь точностью определения режима работы лампы с максимальной интенсивностью линии 185 нм. Данная погрешность составляет около 5 % для определения интенсивности лампы и около 3 % для напряжения на лампе.

В качестве стабилизированных источников тока использовались серийные электронные пускорегулирующие аппараты (ЭПРА). В экспериментах применялись ЭПРА Golden Way Corp. (EF23701FL) и регулируемые аппараты производства АО "ЭНЭФ" (Л~220-1x300-2222-16, Л~220-1x350-2222-18) с частотой генерируемого тока около 40 кГц. С использованием данных аппаратов эффективное значение силы тока можно было задавать в диапазоне 0,44—3,2 А. Погрешность обеспечения требуемой силы тока составляла менее 0,05 А.

Результаты экспериментов и обсуждение

После включения лампы с ростом температуры стенки лампы растет и давление паров ртути. Как видно на рис. 2, интенсивность ВУФ-излучения и излучения в линии 254 нм растет, достигая максимума. При дальнейшем росте температуры растет давление паров ртути и, следовательно, величина эффекта "пленения". Как и следует из теории, интенсивность падает, выходя на некоторое стационарное состояние [4, 7]. Подобный максимум интенсивности в ряде экспериментов с разрядными токами менее 1 А не наблюдался. Это связано с тем, что амальгама лампы не содержала достаточно ртути для достижения оптимального давления паров ртути при полученных температурах стенки лампы (порядка 100 °С). Надлежащим подбором амальгамы можно добиться, чтобы давление паров ртути в стационарном режиме оставалось вблизи максимума. Для ламп с давлением буферного газа 1 Торр оптимальные давления паров ртути для линии 185 и 254 нм почти совпадали. При других давлениях буферного газа они различались, причем максимум интенсивности излучения линии 185 нм обычно достигался при меньших давлениях паров ртути. Таким образом, подбирая параметры лампы, можно изменять соотношение интенсивностей линий 185 (I_{185}) и 254 нм (I_{254}). Поскольку потери на излучение линии 254 нм со-

ставляют значительную часть в энергетическом балансе лампы, то рост отношения I_{185}/I_{254} позволит повысить КПД генерации ВУФ-излучения лампой.

На рис. 3 показана зависимость параметров лампы, заполненной аргоном при давлении 1 Торр, от тока разряда. Видно, что согласно теории [4, 7] интенсивность ВУФ-излучения растет с ростом силы тока, достигая насыщения при токе 2 А. Напряжение на лампе падает с ростом тока, и оптимальный КПД генерации ВУФ-излучения имеет максимум при значении силы тока разряда около 2 А. Таким образом, использование в амальгамных озоновых лампах значений силы тока выше 2 А нецелесообразно.

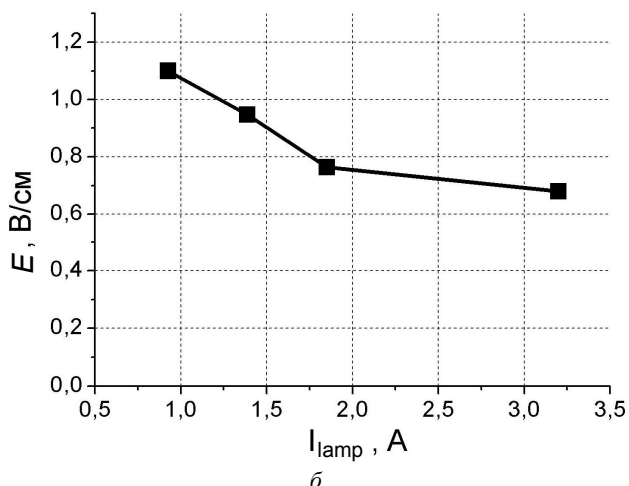
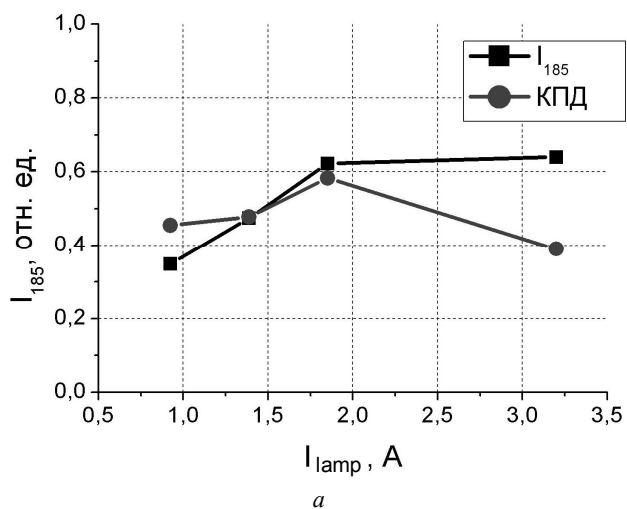


Рис. 3. Зависимость интенсивности и КПД генерации линии 185 нм (а) и напряженности электрического поля (б) от силы тока (инертный газ — аргон, давление 1 Торр)

Сегодня в амальгамных лампах низкого давления, изготавливаемых компанией ЗАО "ЛИТ", в качестве буферного газа обычно используется смесь Ne/Ar (60%/40%). На рис. 4 представлена зависимость интенсивности и КПД генерации ВУФ-

излучения амальгамной лампой от давления буферного газа. В соответствие с теорией [4, 7] понижение давления приводит к росту интенсивности излучения за счет роста электронной температуры плазмы. Одновременно при этом уменьшается КПД и растет нагрузка на конструктивные элементы лампы, такие, как защитное покрытие и электроды. Из рисунка видно, что оптимальное значение давления с точки зрения КПД находится около 1 Торр, поэтому необходимо провести более детальное исследование зависимости параметров лампы от давления смеси в диапазоне 0,8—1,2 Торр.

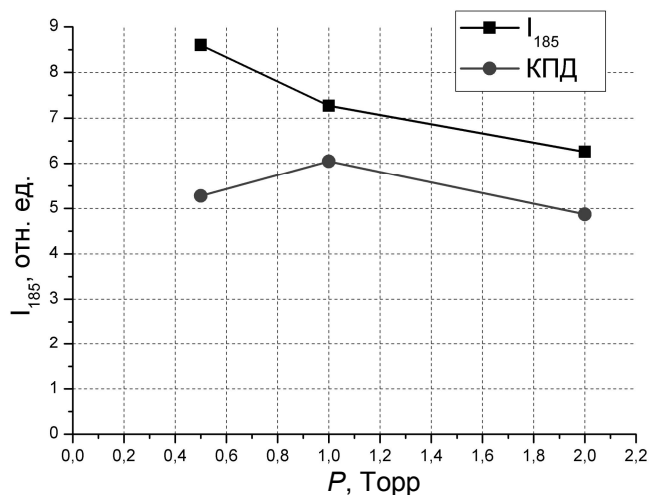


Рис. 4. Зависимость интенсивности и КПД генерации линии 185 нм от давления инертного газа (буферный газ — смесь Ne/Ar (60 % / 40 %), сила тока 1,85 А)

На рис. 5 представлены результаты измерения оптической плотности для различных защитных покрытий (приведены экспериментальные данные на две стенки трубки).

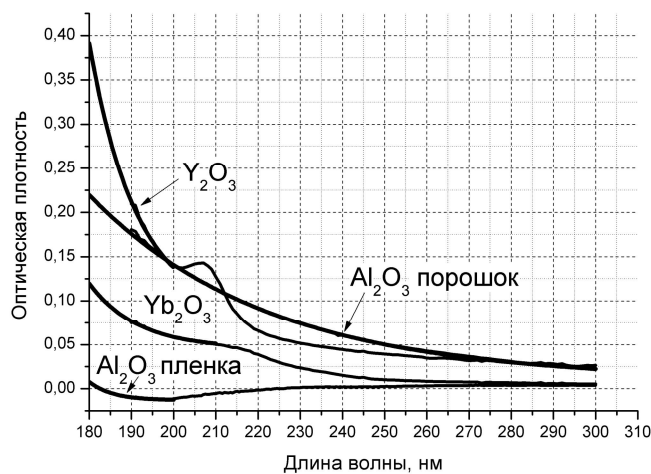


Рис. 5. Спектры поглощения различных оксидных защитных покрытий

Исследования нанесенных покрытий показали, что часто используемый в лампах производства ЗАО "ЛИТ" оксид иттрия [10] эффективно погло-

щает ВУФ-излучение. Пропускание оксида иттербия выше, но все равно при этом в защитном покрытии теряется порядка 30 % интенсивности ВУФ-излучения. Исследование покрытия из нанокристаллического порошка оксида алюминия выявило сильное рассеяние излучения. В то же время вполне вероятно, что рассеяние излучения лампы не приведет к падению эффективности, благодаря малому времени жизни возбужденного уровня 6^1P^1 атома ртути. Данная гипотеза нуждается в экспериментальной проверке, запланированной в рамках дальнейших исследований. Оптимальным с точки зрения пропускания является покрытие колбы лампы пленкой оксида алюминия, поглощение излучения которой составляет несколько процентов. В дальнейшем планируется проведение ресурсных испытаний ламп с различными защитными покрытиями для определения стойкости предложенных покрытий под воздействием плазмы разряда.

Заключение

В работе была исследована зависимость интенсивности эффективности генерации линии 185 нм от параметров лампы, таких как давление паров ртути, давление инертного газа, сила тока разряда. Обнаружено, что можно регулировать соотношение интенсивностей излучения линий 185 и 254 нм в зависимости от требуемых приложений с помощью изменения давления буферного газа. Также данную задачу целесообразно решать с помощью подбора оптимального давления паров ртути за счет выбора амальгамы. Для одновременного достижения максимальной интенсивности обеих линий оптимально использовать давление буферной газовой смеси около 1 Торр.

В работе показано, что при выбранных параметрах лампы (внутренний диаметр 16 мм, давление газовой смеси порядка 1 Торр) интенсивность излучения лампы достигает насыщения при силе тока разряда около 2 А. Кроме того, экспериментально обнаружено, что при такой силе тока достигается максимальный КПД генерации ВУФ-излучения. Целесообразным выглядит использование в качестве источника тока для таких ламп промышленных образцов ЭПРА АО "ЭНЕФ", обеспечивающих эффективную силу тока, равную 1,85 А.

Оптимальные значения давления буферного газа в лампе достигаются при значениях около 1 Торр. При больших давлениях газа падает интенсивность и КПД генерации излучения линии 185 нм. Несмотря на рост интенсивности ВУФ-излучения при понижении давления КПД генерации при этом падает и возрастает нагрузка на конструктивные элементы лампы.

Исследование спектров различных защитных покрытий трубки лампы показало, что использование оксида иттрия неприемлемо из-за высокого поглощения ВУФ-излучения. В качестве защитного покрытия допустимо использовать оксид иттербия, хотя при этом будет теряться значительная часть излучения. Оптимальным с точки зрения пропускания является покрытие колбы лампы пленкой из оксида алюминия. В то же время вопрос выбора защитного покрытия требует дальнейших исследований, направленных на сравнение эффективности работы защитных покрытий в зависимости от срока наработки лампы.

Литература

1. *Василяк Л. М., Васильев А. И., Дроздов Л. А., Костюченко С. В., Кудрявцев Н. Н., Соколов Д. В., Старцев А. Ю.* Защитное покрытие лампы низкого давления с парами ртути как решающий фактор срока ее службы//Прикладная физика. 2009. № 1. С. 120—124.
2. *Василяк Л. М.* Применение импульсных электроразрядных ламп для бактерицидной обработки//Электронная обработка материалов. 2009. № 1. С. 30—40.
3. *Лукин В. В., Попович М. П., Ткаченко С. Н.* Физическая химия озона. — М.: Изд-во МГУ, 1998.
4. *Рохлин Г. Н.* Разрядные источники света. — М.: Энергоатомиздат, 1991.
5. *Биберман Л. М., Воробьев В. С., Якубов И. Т.* Кинетика неравновесной низкотемпературной плазмы. — М.: Наука, 1982.
6. *Миленин В. М., Тимофеев Н. А.* Плазма газоразрядных источников света низкого давления. — Л., 1991.
7. *Уэммаус Д.* Газоразрядные лампы. — М.: Энергия, 1977.
8. *Весельницкий И. М.* Определение оптимальных параметров и некоторые вопросы конструирования люминесцентных ламп повышенной мощности. Дис. ... канд. техн. наук. — М., 1966.
9. *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.
10. *Voronov A.* New generation of low pressure mercury lamps for producing ozone//Proceedings of World congress on ozone and UV technologies. 2007. P. 2166—2172.

Influence of a low pressure amalgam lamp parameters on the intensity of 185 nm UV-radiation generation

L. M. Vasilyak

JIHT of RAS, 13/2 Izhorskaya str., Moscow, 125412, Russia

E-mail: vasilyak@ihed.ras.ru

L. A. Drozdov, S. V. Kostyuchenko, D. V. Sokolov

ZAO "LIT", 44 Krasnobogatyrskaya str., Moscow, 107076, Russia

E-mail: lit@npo.lit.ru

N. N. Kudryavtsev, D. A. Sobur

MIPT, 9 Institute al., Dolroprudny, Moscow region, 141700, Russia

E-mail: soburda@gmail.com

VUV intensity and efficiency (185 nm) — discharge parameter dependence was investigated. Influence of discharge current, pressure of a filling gas and Hg was found. Transmission spectra of rare earth metals oxide and aluminum oxide protective coatings were investigated.

PACS: 52.80.Mg, 42.72.Bj

Keywords: germicidal lamp, amalgam lamp, ozone generation, vacuum UV-radiation, protection coating.

Bibliography — 10 references.

Received September 25, 2010