

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ВРЕМЯ ГОРЕНИЯ РАЗРЯДА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ В КВАРЦЕВОЙ РАЗРЯДНОЙ ТРУБКЕ С ЗАЩИТНЫМ СЛОЕМ

Л.М. Василяк, В.Я. Печеркин

*Объединенный институт высоких температур РАН,
ул. Ижорская, 13, строение 2, г. Москва, 125412, Россия, vpечerkin@yandex.ru*

Показано, что увеличение температуры кварцевой разрядной трубки с защитным слоем из оксидов редкоземельных металлов на внутренней поверхности приводит к уменьшению времени горения дугового разряда низкого давления в инертных газах. Преобладающим механизмом, приводящим к уменьшению времени горения, в этом случае является потеря электронной эмиссии из-за полного распыления эмитирующего вещества оксидных электродов.

УДК 621.387

Дуговой разряд низкого давления широко используется для генерации ультрафиолетового и видимого излучений. В настоящее время широкое применение получили источники УФ излучения бактерицидного диапазона. Важный параметр таких источников излучения – полезное время работы, которое составляет от нескольких сотен часов для спектральных и до несколько тысяч часов для ксеноновых и ртутных источников излучения [1, 2]. Например, для ртутных стеклянных бактерицидных источников низкого давления величина интенсивности ультрафиолетового излучения может уменьшиться до 50% от начальной величины примерно после 3500 часов работы [2]. Для изготовления более мощных бактерицидных источников излучения используют кварц, так как он имеет более высокую температуру плавления и является более стойким материалом, чем стекло. Интенсивность УФ излучения кварцевых источников излучения уменьшается на 50% примерно через 6500 часов работы [3]. Для ряда применений, таких, например, как обеззараживание воды УФ излучением, требуются мощные высокоэффективные источники излучения с более длительным временем работы и малым спадом интенсивности. Ранее нами было показано, что наличие защитного слоя на внутренней поверхности кварцевых разрядных трубок увеличивает время горения разряда низкого давления в инертных газах почти на три порядка, а полезное время работы источников УФ излучения с защитным слоем увеличивается в несколько раз [4]. Для повышения мощности и сохранения высокой эффективности бактерицидных источников излучения низкого давления применяют амальгаму. Амальгама позволяет получить оптимальное значение паров ртути при более высокой температуре стенки разрядной трубки, что является необходимым условием достижения высокой эффективности источников излучения низкого давления. Кроме того, использование различных компонентов в амальгаме позволяет не только варьировать рабочую температуру, но и расширять температурный диапазон, в котором давление паров ртути близко к оптимальному. Это сделано для того, чтобы при изменении температуры среды, в которой находится разрядная трубка, мощность излучения оставалась на одном уровне. Температура воды или воздуха может изменяться в широком диапазоне. На практике при обеззараживании воды колебания температуры возможны от нуля до семидесяти градусов по Цельсию, следовательно, температура стенки разрядной трубки может изменяться в широких пределах. В зависимости от температуры стенки разрядной трубки полезное время работы источников УФ излучения может изменяться.

Цель настоящей работы – исследование влияния температуры кварцевой разрядной трубки с защитным слоем на внутренней поверхности на время горения дугового разряда низкого давления в смеси инертных газов.

Для определения влияния температуры на время горения дугового разряда в инертных газах были изготовлены 12 одинаковых экспериментальных образцов кварцевых разрядных трубок с длиной разрядного промежутка 450 мм. На внутреннюю поверхность всех трубок нанесли защитный слой из оксидов редкоземельных металлов. В оба конца разрядных трубок были заштампованы оксидные электроды и обработаны для всех образцов по одинаковой технологии. Все трубки наполнили смесью инертных газов Ne-Ar/30–70% до давления $P = 0,3$ торр. После изготовления образцы распределили на 4 группы. Трубки первой группы были контрольными. Трубки второй обматывались ас-

бестом в зоне положительного столба так, чтобы электроды и приэлектродные области оставались открытыми. В трубках третьей группы асбестом обматывались электродные области, а зона положительного столба была открытой. И наконец, трубки четвертой группы полностью обматывались асбестом.

Разрядные трубки устанавливались горизонтально на тефлоновых держателях, в них зажигался разряд, измерялись падение напряжения на разряде и температура поверхности разрядной трубки в зонах положительного столба и электрода. Питание разряда осуществлялось от электронного пускорегулирующего аппарата (ЭПРА) переменным стабилизированным током величиной $1,85 \pm 0,1$ А с частотой 45 ± 3 кГц. Температура поверхности кварцевой трубки в зоне положительного столба определялась термопарным термометром Актаком АТТ-2000 с погрешностью не ниже $\pm 3^\circ\text{C}$. Термоконтакт между термопарой и колбой обеспечивался благодаря термопасте КПТ-8. Температура поверхности кварца в приэлектродной зоне измерялась с помощью хромель-алюмелевой термопары и вольтметра В7-40 (схема с холодным концом). Температура холодного конца термопары – с помощью ртутного термометра (цена деления 1°C).

Эксперимент заканчивался самопроизвольным погасанием разряда во всех образцах. Визуальный осмотр после погасания показал, что электроды разрядных трубок всех четырех групп были полностью расплыны – либо с одного конца трубки, либо с обоих концов, что позволяет сделать заключение о полной потере эмиссионной способности электродов. Фотографии электродов до зажигания и после погасания разряда приведены на рис. 1 и 2. Следовательно, в данном случае погасание разряда связано с полной потерей эмитирующего вещества оксидными электродами.

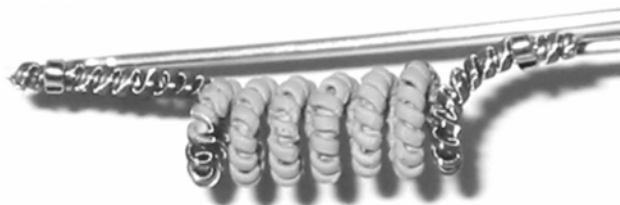


Рис. 1. Внешний вид оксидного электрода до ресурсных испытаний



Рис. 2. Внешний вид оксидного электрода после ресурсных испытаний

Результаты измерений температуры и напряжения на кварцевых трубках в процессе горения разряда приведены на рис. 3 и 4. На рис. 3 показана зависимость температуры поверхности трубок от времени, усредненной по всем трубкам из каждой группы. На рис. 4 приведены зависимости напряжения, усредненные для каждой группы разрядных трубок. На рис. 3 видно, что температура положительного столба минимальна для ламп без асбеста в зоне положительного столба и максимальна для трубок, полностью обмотанных асбестом, так как в этом случае все излучение разряда идет на нагрев стенки. Следует отметить, что в процессе горения температура стенки кварца в зоне положительного столба постоянно возрастает. Скорость повышения температуры минимальна для трубок контрольной группы и максимальна для трубок, полностью обмотанных асбестом. Температура стенки кварца в электродной зоне выше, чем в области положительного столба. Однако она также минимальна для трубок контрольной группы и максимальна для трубок, полностью обмотанных асбестом. На рис. 3 также видно, что для трубок, обмотанных асбестом в электродной зоне, в период зажигания разряда температура сначала возрастает, а затем понижается и определенный период остается практически постоянной, а затем начинает быстро расти вплоть до момента погасания разряда. Для контрольной группы ламп температура в электродной области остается практически постоянной вплоть до времени, когда напряжение начинает резко возрастать, после этого мы также наблюдаем быстрое повышение температуры. Время горения разряда минимально для ламп второй группы и максимально для ламп контрольной группы, хотя по логике первым должен был погаснуть разряд в трубках 4-й группы. Этот эффект можно объяснить следующим образом. На рис. 4 видно, что область быстрого увеличения напряжения разряда 4-й группы начинается по времени раньше других групп, однако затем на определенный промежуток времени наклон кривой напряжения опять становится более пологим, и только после наблюдается резкий рост напряжения, приводящий к погасанию разряда. В то же время температура внешней поверхности кварца в электродной зоне стабилизируется на весь период пологого наклона напряжения. Так как температура внутренней стенки кварца в электродной зоне значительно выше, чем измеряемая нами на внешней поверхности, то она может достигать величины, при которой атомы ЦЗМ, покинувшие электрод и осажденные на стенку разрядной трубки вблизи электродной зоны, сами могут стать вторичными источниками электронов при бомбардировке высо-

коэнергетичными электронами, вылетающими с электрода. И только после того, как оксидный электрод полностью потеряет эмиссию, разряд гаснет.

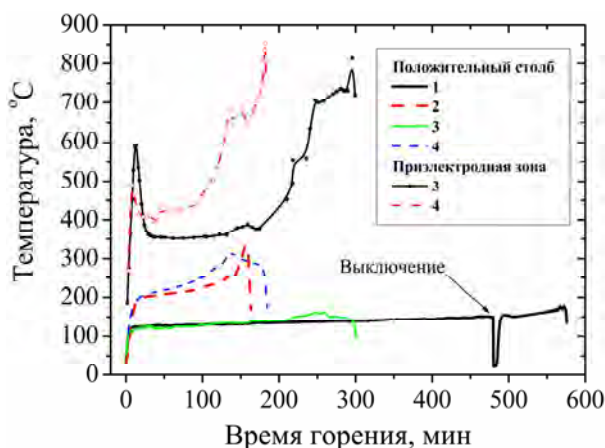


Рис. 3. Зависимости температуры поверхности кварца от времени горения разряда. 1 – контрольная группа ламп; 2 – теплоизоляция положительного столба; 3 – теплоизоляция электродной области; 4 – трубки, полностью обмотанные асбестом

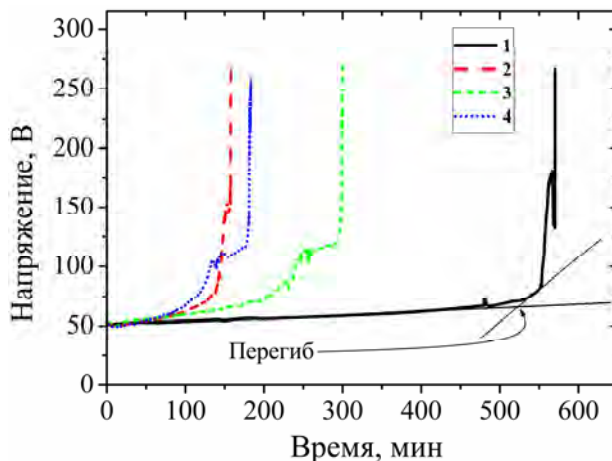


Рис. 4. Зависимости напряжения разряда при различных режимах. 1 – контрольная группа ламп; 2 – теплоизоляция зоны положительного столба; 3 – теплоизоляция электродной области; 4 – лампы, полностью обмотанные асбестом

По результатам проведенных экспериментов и выполненных ранее работ [5] можно сделать вывод, что наличие защитного слоя из окислов редкоземельных металлов на внутренней поверхности кварца приводит к увеличению времени горения дугового разряда в инертных газах. Однако повышение температуры разрядной трубки с защитным слоем приводит к уменьшению времени горения, что необходимо учитывать при разработке оборудования для обеззараживания воды. Наиболее вероятно, что уменьшение времени горения обусловлено в первую очередь изменением газовой среды за счет взаимодействия разрядной плазмы с поверхностью кварца при повышенных температурах разрядной стенки. Продукты выделения вступают в плазмохимические реакции с эмитирующим веществом электродов, в результате чего отравляется оксидный катод, происходит его ускоренное распыление, и в конечном итоге электрод при длительной работе при высоких температурах теряет свою эмиссионную способность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рохлин Г.Н. *Разрядные источники света*. М.: Энергоатомиздат, 1991. 720 с.
2. *Справочная книга по светотехнике*. Под ред. Ю.Б. Айзенберга. М.: Знак, 2006. 972 с.
3. 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, **67**(9), 1310–1313.

4. Василяк Л.М., Костюченко С.В., Печеркин В.Я. и др. Влияние защитного слоя на длительность горения и излучение кварцевых газоразрядных ламп низкого давления. *Письма в ЖТФ*. 2006, **32**(1), 83–88.
5. Vasil'ev A.I., Vasilyak L.M., Kostyuchenko S.V., Kudryavtsev N.N., Kuzmenko M.E. and Pecherkin V.Ya. Investigation of the Effect of a Protective Layer on Parameters of Quartz Low-pressure Gas-discharge Lamps with Oxide Electrodes. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2007, **43**(1), 49–52.

Поступила 05.08.11

Summary

We are showed the burning time of low pressure discharge in quartz discharge tube with protective layer on the inner tube surface is decreased when the temperature is increased. The protective layer consists of rare-earth metal oxides. In this case the predominance mechanism of burning temperature decreasing is loss of electron emission by oxide electrodes from scattering of emitting substance.
