



Рис. 3 – отражение огонька в обычном и энергосберегающем стеклах

Широко распространено мнение, что наиболее оптимальным является использование двухкамерных стеклопакетов с тремя обычными стеклами. В действительности применение однокамерных стеклопакетов с энергосберегающими стеклами (I - стекло) оказывается более выгодным во всех отношениях (рис.3).

Во-первых, это улучшенная теплоизоляция однокамерного стеклопакета с I - стеклом, по сравнению с двухкамерным стеклопакетом с обычными стеклами. Во-вторых, такой однокамерный стеклопакет с I - стеклом в настоящее время дешевле двухкамерного, причем, судя по всему, разница в цене со временем будет увеличиваться [4].

Кроме того, однокамерный стеклопакет легче двухкамерного, а это означает меньшую нагрузку на фурнитуру и, соответ-

ственно, более долгий срок ее службы. Преимущество окна со стеклопакетом, имеющим энергосберегающие стёкла:

- в комнате прохладнее летом и теплее зимой;
- предохраняют от выцветания обои, ковры и картины;
- окна дешевле тех, где стоят двухкамерные стеклопакеты;
- по энергосбережению I - стекло многократно превосходит другие;
- при заполнении аргоном, улучшаются свойства стеклопакета на 13%;
- легче на 30% окон с двухкамерным стеклопакетом, продлевая срок службы фурнитуры;
- по изоляции звука практически не уступает двухкамерному стеклопакету ( 1- 2 дБ ).

Список использованных источников:

1. Колодный Г.Я., Левчук Е.А., Порядин Ю.Д., Яковлев П.П. Многослойные интерференционные покрытия в квантовой электронике // Электронная промышленность. – 1981. – N 5, 6. – с. 93–101.
2. Риттер Э. Пленочные диэлектрические материалы для оптических применений / В кн.: Физика тонких пленок // Под ред. Г. Хасса, М. Франкомбра, Р. Гофмана. – т. 8. – М.: Мир, 1978, с. 7–60.
3. Технология тонких пленок. Справочник / Под ред. Л. Майссела, Р. Глэнга. – т. 1. – М.: Сов. радио, 1977, с.662.
4. Фурман Ш.А. Тонкослойные оптические покрытия. 1977,- Л.: Машиностроение. С.264.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ФОРМИРОВАНИЯ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА С ЭФФЕКТОМ ПОЛОГО КАТОДА

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Божко А.И.

Бордусов С.В. – д-р. техн. наук, профессор

В настоящее время актуальна задача внедрения энерго- и ресурсосберегающих технологий во всех отраслях машиностроения. Исследования в этом направлении идут уже на протяжении долгого времени и всё больший интерес приобретает область вакуумной ионно-плазменной обработки материалов. Таким образом, особенности тлеющего разряда с эффектом полого катода позволяют переходить на новые ресурсосберегающие технологические процессы, причем область применения этих техпроцессов чрезвычайно широка.

Используя разработанный диагностический комплекс, предназначенный для формирования импульсного разряда с эффектом полого катода (ЭПК), были проведены исследования электрофизических характеристик для сред воздуха и молекулярных газов  $N_2$ ,  $H_2$ . В частности, были определены зависимости пробивного напряжения от давления плазмообразующей среды, а также значения вкладываемой в разряд мощности в зависимости от питающего напряжения и от давления плазмообразующей среды. В качестве полого катода использовалась цилиндрическая трубка внутренним диаметром 5,7 мм. Разряд формировался НЧ генератором электрических двухполярных прямоугольных импульсов с частотой следования равной 50 кГц.

Установлено, что при фиксированном значении вкладываемой в разряд мощности напряжение питания необходимое для формирования разряда с эффектом полого катода в азоте больше чем для воздуха [1, 2]. Наименьшими напряжениями питания для формирования разряда с эффектом полого катода обладает газ водород, однако диапазон давлений, при которых наблюдается горение разряда и имеет место эффект полого катода, составляет 221–800 Па. Для поддержания разряда при постоянном значении вкладываемой в разряд мощности, при увеличении значения давления плазмообразующей среды необходимо увеличивать напряжение питания. При увеличении давления плазмообразующей среды переход от классического тлеющего разряда к разряду с ЭПК происходит при достижении значения 46 Па для воздуха, 30 Па для азота и 220 Па для водорода. С увеличением давления плазмообразующей среды и поддержанием вкладываемой в разряд мощности на одном уровне переход от классического тлеющего разряда к разряду с эффектом полого катода проис-

ходит при меньших значениях давления, в случае использования азота в качестве плазмообразующей среды. Переход от классического тлеющего разряда к разряду с ЭПК происходит при 630 В и 650 В при использовании в качестве плазмообразующей среды воздуха и азота соответственно (двухполярный режим работы импульсного источника питания). При этом значение вкладываемой в разряд мощности составляет 40 Вт. При фиксированном значении мощности равном 60 Вт и двухполярном режиме питания переход от классического тлеющего разряда к разряду с ЭПК происходит при 700 В для воздуха и 750 В при использовании в качестве плазмообразующей среды азота.

При однополярном режиме питания и фиксированном значении мощности, равном 40 Вт, переход от классического тлеющего разряда к разряду с ЭПК происходит при 370 В и 390 В при использовании в качестве плазмообразующей среды воздуха и азота соответственно. При фиксированном значении мощности равном 60 Вт и однополярном режиме работы импульсного источника питания переход от классического тлеющего разряда к разряду с ЭПК происходит при 490 В для воздуха и 500 В при использовании в качестве плазмообразующей среды азота.

В случае использования в качестве рабочего газа водорода переход от классического тлеющего разряда к разряду с ЭПК происходит при 690 В и 370 В при двухполярном и однополярном режиме питания соответственно. Фиксированное значение мощности при этом составляет 60 Вт.

Установлено, что значение вкладываемой в разряд мощности в азоте меньше, чем при формировании разряда с эффектом полого катода в воздухе [3]. Наибольшее значение вкладываемой в разряд мощности наблюдается при использовании водорода в качестве рабочего газа.

Экспериментально подтверждено, что при фиксированном значении давления плазмообразующей среды с увеличением напряжения питания значение вкладываемой в разряд мощности увеличивается [4]. В ходе исследования определено, что переход к разряду с ЭПК происходит при установлении значения вкладываемой в разряд мощности равной 20 Вт для двухполярного режима питания и 40 Вт для однополярного режима питания.

При уменьшении давления плазмообразующей среды установленная зависимость вкладываемой в разряд мощности в зависимости от питающего напряжения сохраняется. Переход от классического тлеющего разряда к разряду с ЭПК происходит при 560 В и 620 В при использовании в качестве плазмообразующей среды воздуха и азота соответственно. Переход к разряду с ЭПК происходит при значении мощности, затрачиваемой на формирование разряда, равной 20 Вт.

Большее значение вкладываемой в разряд мощности в воздухе, по сравнению со случаем формирования разряда с эффектом полого катода в азоте сохраняется и при изменении давления плазмообразующей среды. При увеличении давления плазмообразующей среды, значение вкладываемой в разряд мощности уменьшается. Для поддержания значения вкладываемой в разряд мощности на постоянном уровне необходимо изменять значение напряжения питания.

В ходе исследований пробойных характеристик разряда с эффектом полого катода установлено, что минимальное значение мощности, затрачиваемой на формирование разряда с ЭПК в азоте и воздухе в условиях низкого вакуума, составляет 20 Вт и 40 Вт при двухполярном и однополярном режиме работы импульсного источника питания соответственно.

С увеличением давления плазмообразующей среды для поддержания на одном уровне мощности, затрачиваемой на формирование разряда, необходимо увеличивать напряжение питания разряда [4].

Переход от классического тлеющего разряда к разряду с эффектом полого катода зависит от изменения давления плазмообразующей среды и напряжения питания разряда. В условиях низкого вакуума переход происходит при 600 В и 630 В при использовании в качестве плазмообразующей среды воздуха и азота соответственно.

При формировании разряда с эффектом полого катода силовыми импульсами с равной амплитудой при однополярном и двухполярном режиме работы источника питания значения мощности, вкладываемой в разряд, при однополярном режиме питания больше, чем при двухполярном. С уменьшением давления плазмообразующей среды происходит уменьшение вкладываемой в разряд мощности. Формирование разряда с эффектом полого катода при их газовом воздухе и азота при одинаковых условиях формирования разряда значения мощности, вкладываемой в разряд, оказались выше у воздуха.

Список использованных источников:

1. Белевич, В.В. Исследование условий возбуждения тлеющего разряда с эффектом полого катода для применения в процессах обработки металлов / В.В. Белевич, Д.В. Сивенков // Физика конденсированного состояния (ФКС – XIX): материалы XIX республиканской научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, 19-20 апреля 2011 г., г. Гродно. – С. 240-242.
2. Сивенков Д.Н. Исследование характеристик возбуждения разряда с эффектом полого катода // Материалы Республиканской научной конференции студентов и аспирантов высших учебных заведений Республики Беларусь «НИРС – 2011», 18 октября 2011 г., г. Минск – С.22.
3. Сивенков, Д.Н. Исследование электрофизических параметров тлеющего разряда с эффектом полого катода в трубчатом электроде / Д.Н. Сивенков, А.И. Божко, С.В. Бордусов // 48-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»: материалы конференции, 7 – 11 мая 2012 г., г. Минск – С. 15-17
4. Белевич, В.В. Исследование зависимости интенсивности оптического свечения неравновесной плазмы тлеющего разряда с эффектом полого катода от величины подводимой мощности и рода газа / В.В. Белевич, Д.Н. Сивенков // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций (РТ-2012): материалы 8-й Международной молодежной научно-технической конференции, Севастополь, 23-27 апреля 2012 г. / Севастопольский нац. технический ун-т; редкол.: Ю.Б. Гимпилевич [и др.]. – Севастополь, 2012.– С. 413.