

УДК 533.9.07

Н.Н. КОШЕЛЕВ*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Украина***РЕСУРСНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЭМИТТЕРОВ СЛАБОТОЧНЫХ КАТОДОВ**

Предложен экономичный метод ресурсных испытаний импрегнированных скандатных W-Va эмиттеров. Приводится обоснование адекватности проточного и непроточного дуговых разрядов при фиксированном давлении. Экспериментально показано оптимальное соотношение скандатного импрегнанта и вольфрамовой матрицы.

стационарный плазменный двигатель, безнакальный полый катод, эмиттер**Введение**

Составным элементом, определяющим ресурс стационарного плазменного двигателя, является полый катод [1]. Известны результаты длительных испытаний и достаточно точные расчеты срока службы эмиттеров на основе алюминатов бария используемых в катодах в широком диапазоне токов [2]. Однако, при проектировании и испытании слаботоочных катодов (менее 0,5А) применение эмиссионных материалов с плотностью тока до 5 A/cm^2 становится малоэффективным из-за увеличения тепловых потерь развитой поверхностью эмиттера. Применение скандатов и гафнатов бария в качестве импрегнантов позволило создать эмиссионные материалы, которые могут устойчиво работать при плотностях тока в 5 – 10 раз выше алюминатных, однако они требуют проверки их ресурсных возможностей. Методом термоэмиссионных вакуумных испытаний можно оценить расход импрегнанта таких эмиттеров и весовым методом определить ресурс эмиттера, однако при этом погрешность может составлять порядки. Объяснить это можно неадекватностью условий вакуумных испытаний и работой эмиттера в полном катоде. Наиболее точно определить ресурс позволяют прямые испытания, но затраты на проведение огневых испытаний катодов могут быть соизмеримы с затратами на соз-

дание самого изделия, а малая выборка испытуемых образцов не дает статистической точности. Таким образом, необходимо иметь дешевый, и в тоже время, точный метод определения ресурса эмиттеров.

Выбор оптимального давления газа в слаботоочном катоде

При оптимизации тепловой схемы слаботоочного катода, как уже отмечалось выше, есть необходимость увеличения плотности тока с поверхности эмиттера [3]. Однако, при этом, необходимо найти диапазон давления газа, при котором реализуется устойчивый экономичный режим работы катода. Для этого были проведены испытания скандатного эмиттера в стеклянной колбе в диодном режиме при различных давлениях ксенона. Геометрия разрядного промежутка, размеры эмиттера и плотность тока повторяли реальные условия, реализованные в слаботоочном катоде. Результаты испытаний приводятся на рис. 1, в которых выявлены два различных режима работы эмиттера.

Первый, при давлении, примерно, от 10 до 100 тор соответствует устойчивой работе и диффузионной форме привязки разряда, в котором наблюдается область (40 – 60 тор) с минимумом энергетических затрат. Второй, при давлении выше 100 тор приводит к переходу в режим работы с пятном и неустойчивому, скачкообразному изме-

нению напряжения в разряде. Этому режиму сопутствует локальный перегрев поверхности эмиттера в точке привязки с явными признаками существенной эрозии, что делает его непригодным для использования в полном катоде.

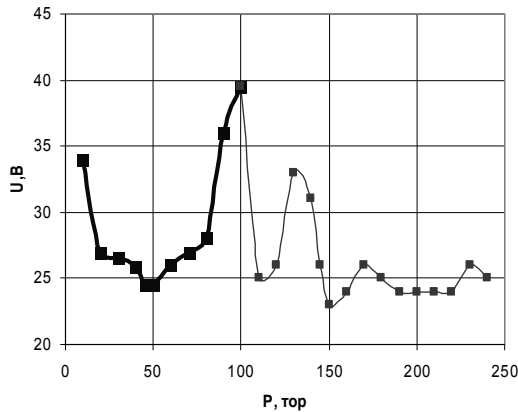


Рис. 1. Результаты испытаний

Итак, полученный диапазон энергетически выгодного разряда, который обнаруживается и в разряде с полым катодом может быть реализован в испытательном герметично запаянном объеме, который при доказательстве адекватности работы плазменных промежутков с протоком и без протока газа, может быть использован для ресурсных испытаний эмиттеров.

Сравнительный анализ работы эмиттера в различных условиях

Характеристиками сравнения работы эмиттеров с протоком и без протока газа выбраны спектры состояния плазмы [4] и вольтамперные зависимости разрядов. Для этого изготовлены макеты полых катодов со сменными диафрагмами и корпусами из металла (рис. 2, а) и стекла (рис. 2, б), а также макет газового диода в стеклянной колбе (рис. 3) с оптимальным давлением ксенона.

Устройство эмиттерных блоков этих макетов было идентичным и соответствовало реальному полному катоду. Расстояние от эмиттера до диафрагмы (в катодах) и анода (в диоде) было выдержано с точностью 0,2 мм.

Конструкция макетов выполнена по безнакальной схеме, поэтому стартовый разогрев катодов производился тлеющим разрядом от специального источника питания. После достижения рабочей температуры эмиттера разряд переходил в дуговую низковольтную форму, после чего макеты проходили приработку в течение нескольких часов.

Контроль давления в устройствах с протоком газа проводился высокоточным манометром соединенным с полостью катодов трубкой с большим сечением.

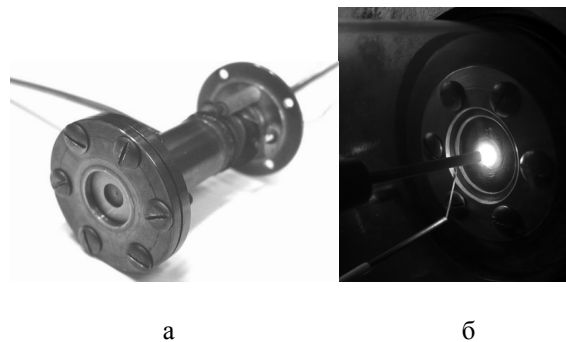


Рис. 2. Макеты полых катодов со сменными диафрагмами и корпусами: а — из металла; б — из стекла

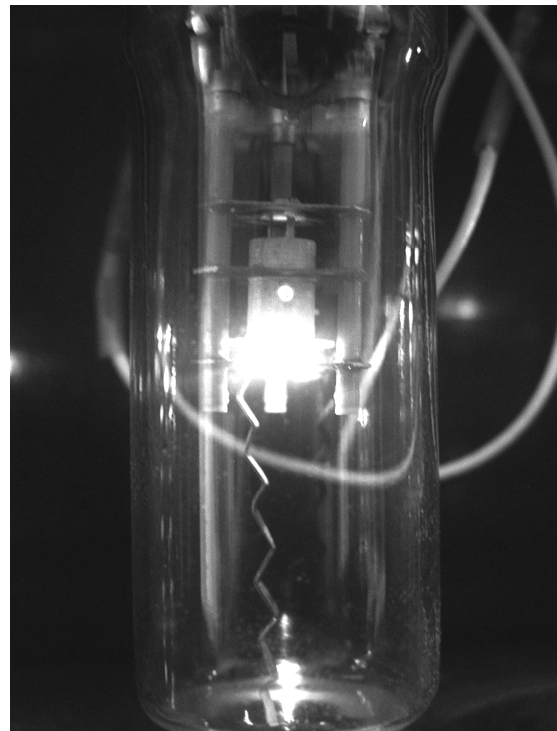


Рис. 3. Макет газового диода в стеклянной колбе

На рис. 4 приведены ВАХ разрядов представленных устройств при давлении ксенона 50 тор, из которых видна повышенная энергетика проточных разрядов. Однако небольшие несовпадения можно объяснить отличием тепловых схем эмиттерных узлов, связанных с неточностью их изготовления и отсутствием теплового экрана у прозрачного катода.

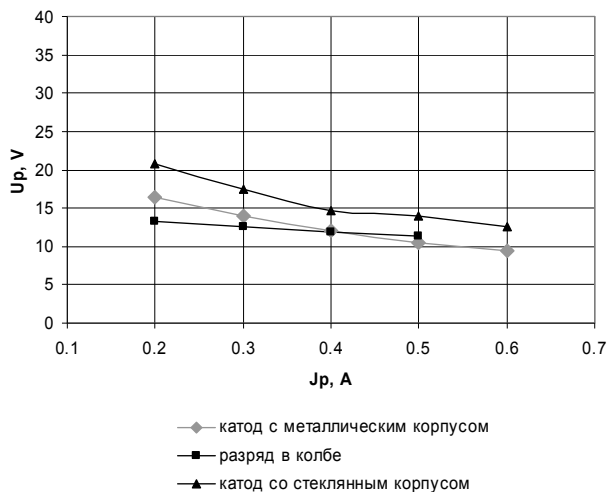


Рис. 4. ВАХ разрядов при давлении ксенона 50 тор

Прозрачные макеты из стекла позволили провести спектральный анализ столба плазмы примыкающей к эмиттеру. Для сопоставления состояний разрядной плазмы в проточном полом катоде (рис. 5, а) и непроточном диоде (рис. 5, б) приведены полные спектры в диапазоне длин волн 390-830 нм.

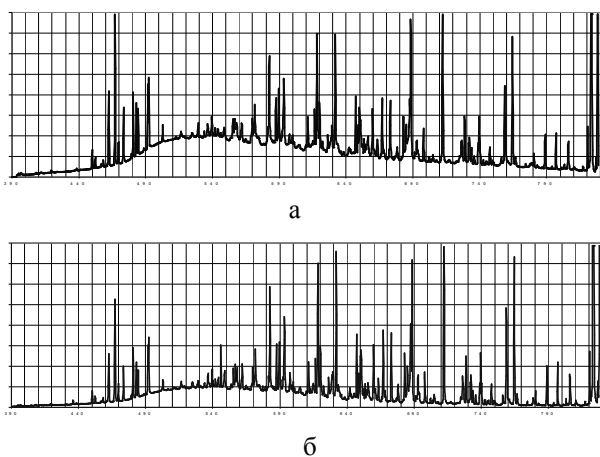


Рис. 5. Спектры остояний разрядной плазмы а – проточном полом катоде; б – непроточном диоде

На рис. 6 приведены интенсивности линий возбужденных атомов ксенона с энергетическими

уровнями близкими к потенциалу ионизации ($\lambda_{Xe-I, 810,2}$; $Wu = 11,75$ эВ; $\lambda_{Xe-I, 817,1}$; $Wu = 11,34$ эВ; $\lambda_{Xe-I, 820,6}$; $Wu = 10,96$ эВ; $\lambda_{Xe-I, 823,2}$; $Wu = 9,82$ эВ).

Достаточно хорошее совпадение интенсивностей линий в полных спектрах говорит о близости составов газа и его примесей в плазме двух разрядов.

Спектральные линии возбужденных атомов ксенона показывают идентичность состояний плазмы в проточном и непроточном разрядах.

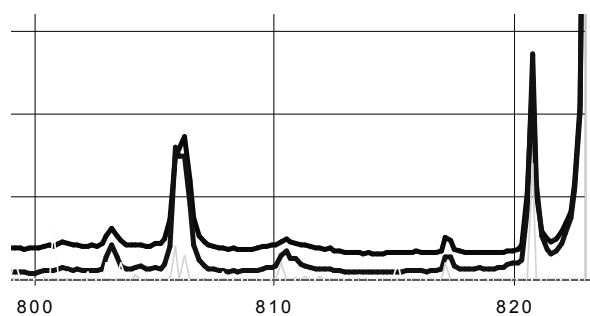


Рис. 6. Интенсивности линий возбужденных атомов ксенона

Результаты ресурсных испытаний эмиттеров

Пять скандатных эмиттеров, изготовленных методом холодного прессования, с содержанием доли импреганта от 20 до 35% в общей массе таблетки испытываются в диодных разрядах при давлении ксенона 50 тор уже в течение 8000 часов при разрядном токе 0,3 А и при плотности тока 20 А/см². Изменения разрядных напряжений от времени представлены на рис. 7.

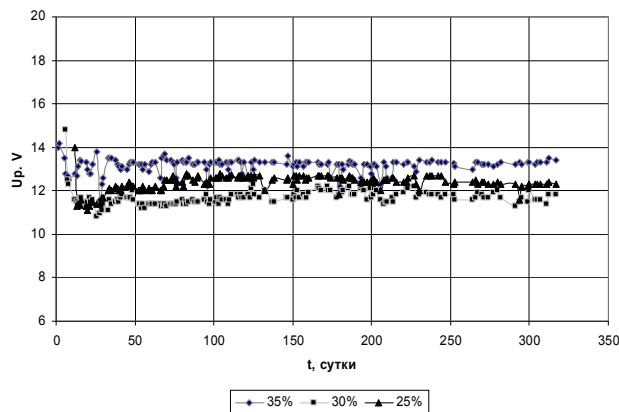


Рис. 7. Изменения разрядных напряжений от времени

После испытаний в течение, примерно, 2000 часов была построена зависимость изменения напряжения разрядов с эмиттерами с разным содержанием импреганта от времени (рис. 8). Наиболее низкой энергетикой, как видно, обладает разряд с эмиттером с 25 – 30% содержанием эмиссионной добавки (рис. 8).

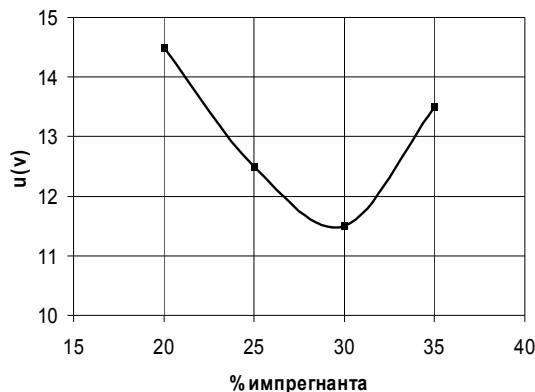


Рис. 8. Зависимость изменения напряжения разрядов с эмиттерами с разным содержанием импреганта от времени

По окончании испытаний предполагается провести взвешивание эмиттерных блоков макетов и расчет скорости уноса импреганта.

Заключение

Применение скандатных эмиттеров для слаботочных полых катодов, работающих при повышенных давлениях и плотности тока, привело к необходимости проверки стабильности их работы в длительных испытаниях. Термоэмиссионные вакуумные испытания дают приблизительные данные о ресурсных параметрах эмиттеров из-за отсутствия фактора ионной компоненты, присутствующего в реальном газовом разряде с полым катодом.

В работе предложен прямой метод ресурсных испытаний эмиттеров в ксеноновом разряде при оптимальном давлении. Показано, что такое давле-

ние лежит в пределах от 40 до 60 тор. Приведены результаты многочасовых испытаний эмиттеров в герметичных стеклянных колбах, при этом показано, что существует оптимальное соотношение скандатного импреганта и вольфрамовой матрицы. Получены несущественные расхождения в параметрах проточного и непроточного разрядов, что подтверждает возможность использования предложенного метода испытаний эмиттеров.

Данная работа проводилась в рамках проекта УНТЦ № 1936.

Литература

1. Максименко Т.А., Лоян А.В., Кошелев Н.Н. Холловский двигатель малой мощности для систем коррекции орбиты малых мини и микроспутников // Авиационно-космическая техника и технология. – 2005. – № 9. – С. 111-115.
2. Palluel P., Shroff A.M. Experimental Study of Impregnated-Cathode Behavior, Emission and Life // Journal of Applied Physics. – 1980. – Vol. 51, № 5. – P. 2894-2902.
3. Patterson M.J., Oleson S.R., Low-Power Ion Propulsion for Small Spacecraft // AIAA Joint Propulsion Conference. – Seattle, July 1997, WA. Paper № 97-3060, 33.
4. Pagnon D., Loyan A., Maksimenko T.A. SPT-20 Hall effect thruster first measurements on the KhAI ground test facility // 10th International Congress of Propulsions Engineering. – Rubechje, Crimea, Ukraine, Sept. 2005.

Поступила в редакцию 1.06.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.И. Оранский, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Харьков.