

УДК 537.523.9

DOI: 10.17223/00213411/65/11/11

СЛАБОТОЧНЫЙ РАЗРЯД В ПОТОКЕ АРГОНА ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ В УСЛОВИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ АТОМОВ МЕТАЛЛОВ: ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ*

Д.В. Белоплов¹, А.С. Бугаев¹, В.И. Гушенец¹, А.Г. Николаев¹, А.В. Никоненко^{1,3},
К.П. Савкин¹, Д.А. Сорокин^{1,2}, А.А. Черкасов¹, М.В. Шандриков¹

¹ *Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия*

² *Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

³ *Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия*

Представлены результаты исследования вольт-амперных характеристик и оптических спектров излучения плазмы импульсного разряда при атмосферном давлении, частоте следования импульсов напряжения несколько десятков килогерц и длительности импульса до 10 мкс в условиях формирования потоков частиц металлов. Особенностью генератора плазмы является сочетание конструктивного исполнения катода-тигля, содержащего легкоплавкую вставку, а также режимов электрического и газового питания разрядной системы, позволяющее осуществить функционирование разряда в слаботоочной форме с током от 40 мА до 1 А, при достаточно высоком напряжении горения от 150 до 200 В, без перехода в дуговую форму. Такие параметры позволяют генерировать потоки атомов легкоплавкой катодной вставки, которые выносятся струей рабочего газа аргона, прокачиваемого с расходом уровня 1 л/мин, за пределы разрядной системы через отверстие напротив катода. Поступление атомов легкоплавкого металла в газоразрядную плазму влияет на амплитудно-временные параметры разряда, а также на свойства ее оптического излучения. В контексте этого явления исследованы спектральные распределения интенсивности оптического излучения, соответствующие линиям магния, индия и цинка, а также их зависимости от времени в течение периода функционирования импульса тока разряда, применительно к выявлению физических особенностей, приводящих к стабильной генерации потоков атомов металлов при атмосферном давлении.

Ключевые слова: *разряд атмосферного давления, газоразрядная плазма, атомы металлов, ионы металлов, оптическая спектроскопия, наночастицы.*

Введение

Генерация плазмы с присутствием металлического компонента при атмосферном давлении необходима для нанесения функциональных и декоративных покрытий [1], получения ультрадисперсных порошков чистых металлов, интерметаллических соединений, оксидной и нитридной керамики [2], поскольку функционирование без применения вакуумных систем значительно ускоряет и удешевляет технологические процессы.

Методы получения металлсодержащей плазмы и синтеза металлических наночастиц можно классифицировать как «сухие» и «влажные». К первым относятся высокотемпературное пламенное [3], левитационно-струйное [4], плазменное [5] распыление, электрический взрыв проводников [6]. Их характерной особенностью является поступление металлического компонента в виде порошкового материала или тонкой проволоки в газовую струю, пламя горелки или плазму дугового разряда, где происходит формирование капель расплавленного металла, увлекаемых потоком рабочего газа в направлении обрабатываемой поверхности или синтезируемого объекта. Так называемые «влажные» методы основаны на применении воздействия плазмы разрядов атмосферного давления на основе плазменных струй [7] и барьерного разряда на жидкости [8], содержащие растворы солей металлов, а также на инъекции этих жидкостей в виде пара или капель непосредственно в плазму разряда, где в результате плазмохимических реакций происходит восстановление атомов металлов, которые агломерируются в наночастицы. Критический анализ известных способов получения металлсодержащей плазмы и синтеза нанопорошков металлов при атмосферном давлении позволяет выявить их очевидные недостатки. Для «сухих» методов необходимо исходное сырье в виде порошка или проволоки [9]. Для «влажных» методов могут применяться огнеопасные, взрывоопасные и токсичные химические соединения [10]. Это стимулирует поиск новых методов, основанных на электроразрядных технологиях. Возможна генерация паров металлов в искровом разряде [11, 12] вследствие электрической эрозии катода. Однако функционирование этих разрядов сопровождается эмиссией микрокапель из катодных пятен, которые имеют значи-

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00265, <https://rscf.ru/project/22-19-00265/>.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>