

УДК 372.881.111.1

АНАЛИЗ ПРИЛОЖЕНИЙ МЕТОДА ИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВГР

© Кутурин В.А., Косов И.А., Кричевский С.В., Колпаков В.А.

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: vitalek57@gmail.com, kosoviliuha@yandex.ru

Метод импедансной спектроскопии (ИС) широко используется в различных исследованиях, например в технологических процессах с использованием низкотемпературной плазмы, формируемой в высоковольтном газовом разряде. В работах [1–5] показано, что применение метода ИС позволяет с помощью полученных информативных параметров контролировать не только свойства самого объекта, обрабатываемого плазмой, но и свойства различных конструкторских узлов источника низкотемпературной плазмы, кроме того, возможен контроль моментов начала и окончания различных технологических процессов вследствие изменения электрофизических параметров газового разряда [2]. Следует отметить, что применение метода импедансной спектроскопии для указанных целей на сегодняшний день для плазменных процессов в высоковольтном газовом разряде изучено недостаточно. Все вышесказанное вместе с гипотезой о том, что целенаправленное действие на определенные плазменные процессы в определенных диапазонах частот может улучшить стабильность, точность, а также управляемость системы источник низкотемпературной плазмы-плазма-обрабатываемый объект (ИНТП-П-ОО) говорит об актуальности исследования.

В настоящей работе осуществлено математическое системное моделирование работы источника низкотемпературной плазмы на основе ВГР с использованием метода импедансной спектроскопии и выполнен расчет по износу катода указанного источника со следующими параметрами: диаметр плазмы 100 мм; ток разряда 0–200 мА; ускоряющее напряжение до 4 кВ [6].

Суть импедансной спектроскопии основана на исследовании зависимости комплексного электрического сопротивления \underline{Z} от частоты $f = \omega/2\pi$ переменного тока. А именно, при подаче некоторого возмущающего синусоидального сигнала малой амплитуды на исследуемую систему выполняется анализ вызванного им сигнала-отклика на выходе [1], обработка этого отклика с дальнейшим построением эквивалентных схем замещения, у которых аналогичная зависимость $\underline{Z} = F(f)$, что и у исследуемой системы. Анализируя изменения значений идеализированных элементов эквивалентных схем: резисторов, конденсаторов и катушек индуктивности; построив амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики и исследуя их изменения, можно производить оценку состояния ИНТП и выполнять контроль изменения электрофизических параметров системы ИНТП-П-ОО при проведении различных технологических операций, например травление и окисление, отжиг [2].

При ходе работы были решены следующие задачи: описан процесс распыления катода ИНТП положительными ионами азота; осаждение распыленных атомов алюминия на торцевую поверхность изолирующих узлов катод – анод; построение и анализ эквивалентных схем систем ИНТП (рис. 1), ИНТП-П-ОО (рис. 2), описывающих их в исходном рабочем состоянии и в пограничных.

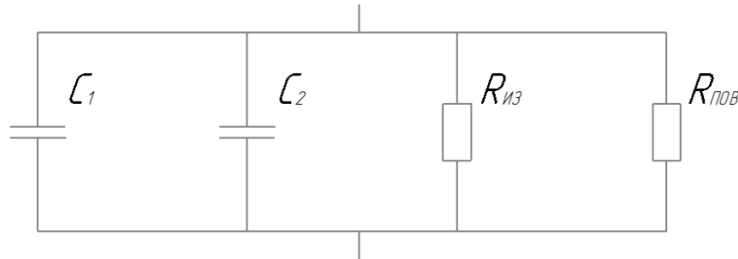


Рисунок 1 – Эквивалентная схема ИНТП: C_1 – емкость, моделирующая образование ямок на поверхности катода; C_2 – емкость, моделирующая провисание сетки-анода; $R_{из}$ – сопротивление фторопластовой изоляции катода; $R_{пов}$ – сопротивление торцов фторопластовой прокладки

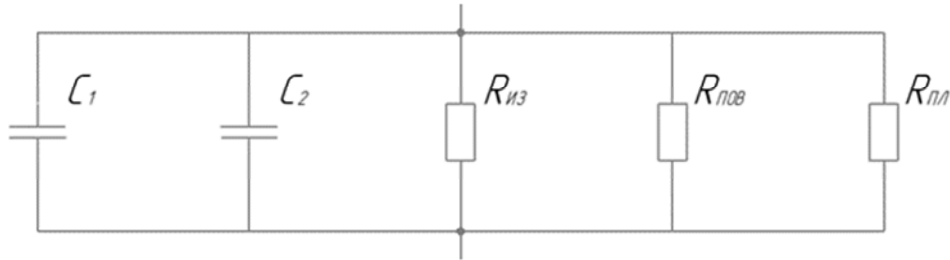


Рисунок 2 – Эквивалентная схема ИНТП-П-ОО: C_1 – емкость, моделирующая образование ямок на поверхности катода C_2 – емкость, моделирующая провисание сетки-анода; $R_{из}$ – сопротивление фторопластовой изоляции катода; $R_{пов}$ – сопротивление торцов фторопластовой прокладки; $R_{пл}$ – сопротивление плазмы для выбранного технологического процесса

В данной работе показана возможность решения задач анализа сложных систем ИНТП-П-ОО с помощью метода импедансной спектроскопии при учете технологических и конструктивных особенностей рассматриваемой системы.

Библиографический список

1. Климов К.Н., Сестрорецкий Б.В., Вершков В.А., Солдатов С.В., Камышев Т.В., Рученков В.А. Электродинамический анализ двумерных неоднородных сред и плазмы. М., 2005. 321 с.
2. Вакуумно-плазменные процессы и технологии: учеб. пособие / А.М. Ефремов, В.И. Светцов, В.В. Рыбкин; ГОУВПО Иван. Гос. хим.-технол. Ун-т. Иваново, 2006. 260 с.
3. Фаррахов Р.Г., Парфенов Е.В., Гусаров А.В., Лазарев Д.М., Фаткуллин А.Р. Импедансная спектроскопия технологического процесса твердого анодирования алюминиевых сплавов // Электронная обработка материалов. 2015. № 51(6). С. 93–102.
4. Булышев А.Е., Преображенский Н.Г. Отклик импеданса безэлектродного ВЧ-разряда на оптическое возбуждение // Докл. АН СССР. 1984. Т. 279, № 6. С. 1357–1359.
5. Yerokhin A., Parfenov E.V., Liang C.J., Mukaeva V.R., Matthews A. Количественная оценка линейности системы для импедансной спектроскопии в ходе плазменно-электролитического оксидирования // Electrochemistry Communications. 2013. Vol. 27. P. 137–140.
6. Формирование оптического микрорельефа во внеэлектродной плазме высоковольтного газового разряда: монография / Н.Л. Казанский, В.А. Колпакову М.: Радио и связь, 2009. 220 с.