

УДК 533.932

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОМОЩНЫХ РЕЖИМОВ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ

Полина Андреевна Ежова

Магистр 2 курса,
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: С. В. Сидорова,
канд. техн. наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Введение. Во время процесса плазменной обработки на образец воздействуют ультрафиолетовое излучение и температура (ее влияние незначительно из-за наличия системы охлаждения проточной водой на установке TRION), а очистка или удаление слоя материала осуществляется за счет химической реакции и физического распыления. В процессе физического распыления (в инертном газе) поверхность подложки подвергается ионной бомбардировке с высокой скоростью и энергией [1, 2, 3].

В качестве изучаемой системы выбраны данные установки плазменной обработки TRION. Данная установка оснащена ВЧ-генератором, который необходимо согласовывать для максимизации падающей мощности и минимизации отраженной. Несмотря на то, что производитель заявляет, что можно проводить процессы при мощности до 600 Вт, но на самом деле невозможно достичь такой мощности.

Создание нейросети является этапом исследования высокомо мощного режима установки плазменной обработки TRION. Анализ влияния входных параметров (заданного потока, заданного давления, заданной мощности, времени обработки) на выходные (считанный поток газа, считанное давление, считанные падающая и отраженная мощности) важен для прогнозирования работы оборудования.

Цель работы – получение регрессионной модели для дальнейшего прогнозирования выдаваемых параметров плазменной обработки по заданным режимам. Допустимое значение ошибки составляет $\pm 10\%$. Используемое ПО для нейросетевого моделирования – Statistica.

Подготовка экспериментальных данных. На рисунке 1 представлены экспериментальные данные в виде графиков зависимости полученной считанной мощности плазмы от времени горения плазмы и заданного давления при потоке аргона 30 ссст (при потоке 10, 15, 20 ссст горение плазмы не так стабильно, а при большем потоке не удастся достичь мощности большей 350 Вт).

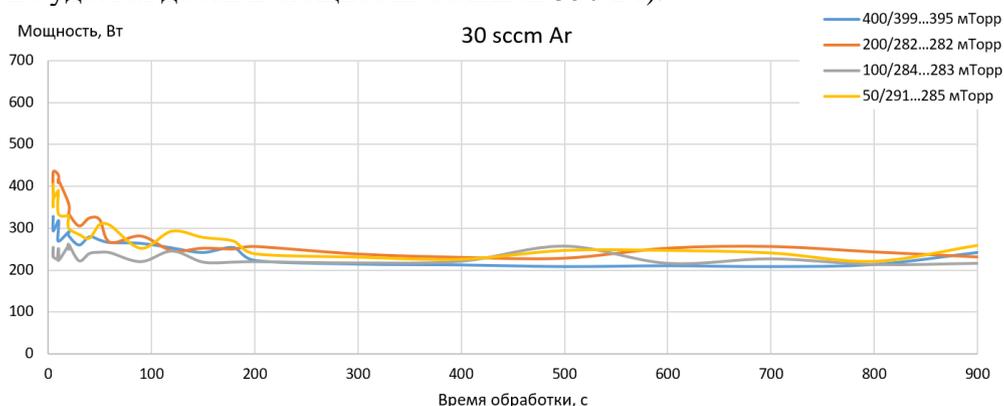


Рисунок 1 – Технологические параметры горения плазмы

В качестве экспериментальных данных взяты заданный поток аргона 30 ссст, заданное давление 400, 200, 100 и 50 мТорр, а заданная мощность 600 Вт. Полученные поток аргона 31 ссст, считанное давление 399...282 мТорр, считанная мощность 415...213 Вт, причем отраженная мощность составила 73...53 Вт.

Нейросетевое моделирование. Задачу регрессии решали с помощью сети MLP (многослойный персептрон) с 7 (MLP 2-5-3) и 14 (MLP 2-15-3) нейронами в скрытом слое. MLP-сети широко применяются для решения задач регрессии и прогнозирования. У сетей данного типа три слоя: входной, скрытый и выходной. Число нейронов входного и выходного слоя равно, соответственно, числу входных и выходных параметров. Для сравнения нескольких типов нейронных сетей выберем радиально-базисную сеть типа RBF 2-15-3.

Для оценки качества обучения сети была составлена сводная таблица, содержащая данные для всех трех сетей – тестовая и контрольная производительности, а также производительность обучения и функция ошибки (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнение параметров тестируемых сетей

Архитектура	Тестовая ошибка	Ошибка обучения	Контрольная ошибка	Средняя ошибка
MLP 2-5-3 Tanh	355,87	376,30	287,52	339,90
MLP 2-5-3 Logistic	169,94	357,34	281,67	269,65
MLP 2-15-3 Logistic	614,84	396,68	458,88	490,13
RBF 2-15-3 Gaussian	544,82	517,34	424,08	495,41
Архитектура	Тестовая произв.	Произв. обучения	Контрольная произв.	Средняя произв.
MLP 2-5-3 Tanh	0,724	0,585	0,603	0,637
MLP 2-5-3 Logistic	0,768	0,648	0,645	0,678
MLP 2-15-3 Logistic	0,820	0,774	0,474	0,689
RBF 2-15-3 Gaussian	0,767	0,575	0,695	0,679

При сравнении можно сделать вывод о близости среднего значения производительности для всех нейросетей (лежат в пределах 0,6...0,7). Учитывая среднее значение ошибки (оно лучшее у MLP 2-5-3 Logistic и превосходит значения у других сетей), для дальнейшего тестирования и варьирования факторами рекомендована сеть MLP 2-5-3 Logistic.

Заключение. В процессе работы с помощью нейросети было обработано большое количество экспериментальных данных (больше 100), что при дальнейших экспериментах поможет упростить прогнозирование действительной падающей мощности, при выставлении 600 Вт, а также считанного значения давления.

Анализ результатов экспериментальных данных показал, что выставлять давление меньше 200 мТорр при потоке 30 ссст не имеет смысла, так как результирующее давление все равно будет в границах от 200 до 400 мТорр. При рассматриваемых параметрах плазменной обработки достичь 600 Вт невозможно. В течение первых 100...200 секунд плазменной обработки значение падающего давления нестабильно, то есть может варьироваться в широких пределах (от 200 до 400 мТорр). Однако, после 200 секунд падающее давление составляет 200...275 мТорр.

Проведено сравнение работы многослойного персептрона и радиально-базисной функции для работы с предоставленными данными. Для всех сетей получена 0 ошибка, что говорит о правильности работы сети. Проведено сравнение сетей MLP 2-5-3 Tanh, MLP 2-15-3 Logisti, RBF 2-15-3 Gaussian и MLP 2-5-3 Logistic. В результате анализа показателей производительности и ошибок сделан выбор в пользу нейросети MLP 2-5-3 Logistic. Эта нейронная сеть была использована для тестирования на новых (выходящих за изучаемые пределы) введенных данных, полученные параметры близки к реальным.

Выбранная нейронная сеть может рекомендована к работе с данными о режимах плазменной обработки, выходящими за пределы обучаемых.

Литература

1. *Hao, W. J. A comparative analysis on physical and chemical plasma cleaning effects on surfaces / W.J. Hao, L. Ming // 15th Electronics Packaging Technology Conference (EPTC 2013). – 2013. – С. 329-334.*
2. *Yamamoto, M. Comparison of Argon and Oxygen Plasma Treatments for Ambient Room Temperature Wafer-Scale Au Au Bonding Using Ultrathin Au Films / M. Yamamoto, T. Matsumae, Y. Kurashima // Micromachines. – 2019. – 10 (2), 119.*
3. *Фельде А.А., Ежова П.А., Сидорова С.В. Исследование влияния ионно-плазменной обработки на поверхность эластичных материалов // Необратимые процессы в природе и технике – 2022. [Электронный ресурс] URL : <https://nppt.bmstu.press/preprints/6195/> (дата обращения 12.03.2023)*