

УДК 533.9.082.76

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ИЗМЕНЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ СВЧ МОЩНОСТИ
В ПЛАЗМЕННОМ ОБЪЕМЕ ПРИ КВАЗИПОСТОЯННОМ РЕЖИМЕ ЕЕ ГЕНЕРАЦИИ**

Тихон О.И., Мадвейко С.И., Бордусов С.В., Достанко А.П., Лях А.С., Жаворонок И.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Рассмотрены особенности влияния условий электропитания СВЧ-магнетрона на величину СВЧ мощности в плазменном объеме при импульсном и квазипостоянном режимах генерации энергии. Установлено, что в режиме работы СВЧ-магнетрона с постоянным уровнем сигнала анодного тока величина СВЧ-мощности в объеме возбуждаемой ею плазмы разряда в среде воздуха уменьшается до 2,3 раз, по сравнению с условиями импульсного электропитания при одинаковой величине мощности электропитания СВЧ-генератора.

Ключевые слова: плазма СВЧ разряда, импульсный источник питания, режим генерации.

**RESEARCH OF THE NATURE OF CHANGES IN THE VALUE OF MICROWAVE POWER
IN THE PLASMA VOLUME AT THE QUASI-CONSTANT MODE OF ITS GENERATION**

Tsikhan O., Madveika S., Bordusau S., Dostanko A., Liakh A., Zhavaranak I.

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
Minsk, Belarus*

Abstract. The paper discusses the peculiarities of the microwave magnetron power supply conditions effect on the microwave power value in the plasma volume in pulsed and quasi-continuous energy generation modes. It was found that in the microwave magnetron operating mode with a constant anode current signal level, the microwave power value in the volume of the excited air plasma discharge decreases by up to 2.3 times, compared to the pulsed power supply conditions at the same power consumption level of the microwave generator.

Key words: microwave plasma, pulsed power supply, generation mode.

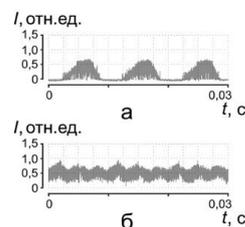
*Адрес для переписки: Тихон О.И., ул. П. Бровки, 6, г. Минск 220013, Республика Беларусь
e-mail: kritgar@bsuir.by*

Технологические процессы плазменной обработки полупроводниковых материалов являются в настоящее время неотъемлемой частью современного производства микро- и наноэлектроники. За счет высокой степени ионизации и плотности широкое применение в производстве микроструктур находит плазма СВЧ-разряда, используемая на операциях плазменной очистки, травления и модификации поверхностных слоев материалов.

Актуальной задачей является разработка нового и модернизация имеющегося производственного оборудования с целью повышения энергоэффективности реализуемых технологических процессов.

В настоящее время большинство технологических установок СВЧ-плазменной обработки, использующих в качестве источника энергии СВЧ магнетроны средней мощности, реализуют импульсный режим их электропитания с частотой следования импульсов анодного тока в 50 или 100 Гц, скважность сигналов составляет примерно 2. Пример осциллограммы сигнала анодного тока в импульсном режиме питания представлен на рис. 1, а [1]. Одним из перспективных направлений повышения эффективности работы СВЧ-плазменных установок является переход к квазипостоянному режиму питания СВЧ-магнетрона. Осциллограмма сигнала анод-

ного тока в таком режиме генерации представлена на рис. 1, б [2].



а – импульсный режим со скважностью 2;
б – квазипостоянный режим

Рисунок 1 – Осциллограмма сигналов анодного тока при различных режимах питания СВЧ магнетрона

Для реализации квазипостоянного режима генерации плазмы СВЧ-разряда был применен экспериментальный импульсный трехфазный источник питания СВЧ-магнетрона 2М261-М22 (рис. 2). Использование регулируемого инверторного блока в цепи каждой фазы дает возможность динамически управлять скважностью и амплитудой сигнала анодного тока, тем самым задавая длительность воздействия и величину потребляемой генераторной системой мощности [1]. Работа источника в составе СВЧ-генератора с включением трех блоков инверторов позволяет обеспечить относительно постоянный уровень сигнала анодного тока.

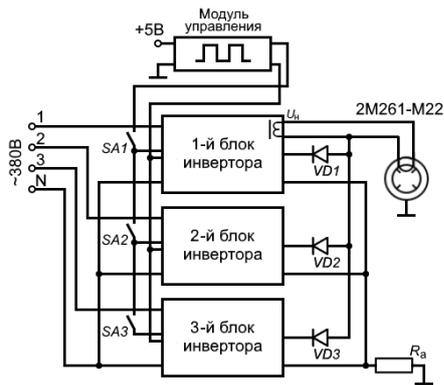


Рисунок 2 – Схема трехфазного импульсного источника питания СВЧ-магнетрона

Целью исследования являлось определение влияния условий электропитания СВЧ-магнетрона на величину СВЧ-мощности в плазменном объеме. Структурная схема исследовательского стенда представлена на рис. 3.



Рисунок 3 – Структурная схема исследовательского стенда

Определение величины мощности выполнялось с использованием «активного зонда», подключенного к измерителю МЗ-28 и расположенного в центре вакуумируемой разрядной камеры СВЧ-плазмотрона резонаторного типа [3]. Величина давления при формировании СВЧ-разряда составляла 133 Па, рабочий газ – воздух.

СВЧ-магнетрон при проведении экспериментов работал в двух режимах генерации: в импульсном со скважностью ~2 и частотой импульсов анодного тока 100 Гц; в квазипостоянном режиме. Величина мощности, потребляемой СВЧ-генераторной системой, устанавливалась путем изменения скважности управляющих сигналов источника питания и изменялась для импульсного режима в диапазоне 570–1850 Вт, для квазипостоянного – 1850–5450 Вт.

Полученная экспериментальная зависимость представлена на рис. 4. Для обоих режимов электропитания наблюдается близкий к линейному

характер роста величины мощности СВЧ-энергии в плазменном объеме с увеличением мощности, потребляемой СВЧ-генератором.

На основании полученных данных установлено, что при квазипостоянном режиме генерации плазмы наблюдаются меньшие значения проникающей в разряд СВЧ-мощности, чем в импульсном режиме при близких величинах потребляемой генератором мощности электропитания. Зарегистрированные показания измерителя мощности МЗ-28 указывают на снижение примерно в 2,3 раза уровня СВЧ-мощности для случая уменьшения скважности сигнала анодного тока СВЧ магнетрона, а значит изменения режима электропитания, при величине потребления от сети на уровне ~1850 Вт.

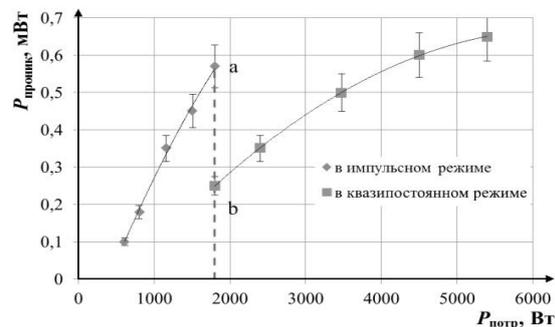


Рисунок 4 – Зависимость величины СВЧ-мощности в плазменном объеме от мощности, потребляемой СВЧ генераторной системой

Полученные результаты указывают на то, что реализация квазипостоянного режима генерации СВЧ-разряда может иметь положительный эффект при обработке в плазме полупроводниковых структур, для которых недопустимо воздействие высокого уровня СВЧ-электромагнитного излучения.

Литература

1. Тихон, О. И. Исследование режима работы СВЧ магнетрона от инверторного блока питания / О. И. Тихон (науч. рук. С.И. Мадвейко) // Актуальные вопросы физики и техники : материалы X Респ. научной конф. студ., магистр. и аспирантов, Гомель, 22 апреля 2021 г. : в 2 ч. / Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины ; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.] – Гомель, 2021. – Ч. 1. – С. 208–211.
2. Жаворонок, И. А. Исследование режимов работы трехфазного импульсного источника питания СВЧ магнетрона на плазменную нагрузку / И. А. Жаворонок, О. И. Тихон // Электронные системы и технологии : сборник матер. 57-й научной конф. аспирантов, магистрантов и студентов УО «БГУИР», Минск, 19–23 апреля 2021 г. / Белорус. гос. ун-т информ. и радиоэлектр. ; ред.: Д. В. Лихачевский [и др.] – Минск, 2021. – С. 178–180.
3. Investigation of Silicon Wafers' Influence on the Local Microwave Power Values in a Resonator-Type Plasmatron / S. Madveika [et al.] // Plasma Physics and Technology. – 2019. – Vol. 6, № 3. – P. 239–242.