

## ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИМПУЛЬСНОГО ПИТАНИЯ НА ДУГООБРАЗОВАНИЕ И СТАБИЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА ПРИ РЕАКТИВНОМ МАГНЕТРОННОМ РАСПЫЛЕНИИ

*Нестерчик Р.И.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники<sup>1</sup>  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: Завадский С.М. – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры ЭТТ*

**Аннотация.** В статье рассматривается влияние временных характеристик импульсного питания на дугообразование и стабильность процесса при реактивном магнетронном распылении. В работе приведены экспериментально полученные зависимости напряжения разряда от частоты следования импульсов и длительности положительного импульса

**Ключевые слова.** Магнетронные распылительные системы, реактивное магнетронное распыление, импульсное питание, дугообразование, микродуги.

Одной из проблем реактивного магнетронного распыления является возникновение на поверхности мишени магнетрона микродуг, которые приводят к неконтролируемому росту тока в дуге, выбросу материала мишени и соответственно к нестабильности процесса нанесения. Процесс формирования микродуг на поверхности мишени во многом определяется ростом оксидной пленки в разрядной зоне мишени магнетрона, на поверхности которой происходит накопление положительного заряда. Если заряд достигает напряжения пробоя диэлектрика, то возникает дуга, что приводит к кратковременному изменению условий распыления и взаимодействия кислорода с распыленными атомами материала. Поврежденный участок мишени может служить источником для возникновения дополнительного дугообразования и, в результате, этот процесс может носить лавинообразный характер. Кроме того, образование дуг может приводить к капельным выбросам из поверхности мишени, и эти капли снижают качество пленки. Все эти процессы являются причиной нарушения стабильности процесса распыления.

Анализ показал, что процесс формирования микродуг на поверхности мишени является следствием роста оксидной пленки в разрядной зоне мишени магнетрона. В процессе распыления при ионной бомбардировке оксидной пленки на ее поверхности происходит накопление положительного заряда. Если заряд достигает напряжения пробоя диэлектрика, то возникает дуга. При дуге происходит резкое снижение напряжения и увеличение тока разряда, что приводит к кратковременному изменению условий распыления и взаимодействия кислорода с распыленными атомами материала. Поврежденный участок мишени может служить источником для возникновения дополнительного дугообразования и, в результате, этот процесс может носить лавинообразный характер. Кроме того, образование дуг может приводить к капельным выбросам из поверхности мишени, и эти капли снижают качество пленки. Все эти процессы являются причиной нарушения стабильности процесса распыления.

Установлено, что эффект формирования микродуг особенно проявлялся при больших концентрациях кислорода и длительных процессах распыления, когда наблюдался резкий рост количества микродуг. При увеличении тока разряда активное формирование микродуг происходило при все большей концентрации кислорода. Так, при  $I_t = 0,5$  А дуги отмечались при концентрации кислорода более 22 %, а при  $I_t = 1,5$  А – при  $\Gamma_{O_2}$  более 50 %. При  $I_t = 1,5$  А и концентрации кислорода более 70 % из-за большого количества дуг блок питания не обеспечивал стабилизацию параметров питания МРС.

Для устранения дуг было предложено использовать ассиметричное импульсное питание магнетрона током средней частоты (1 – 100 кГц). При ассиметричном импульсном питании полярность подаваемого на мишень магнетрона напряжения изменяется от отрицательного

значения до положительного. В течение импульса отрицательной полярности (рабочего импульса) ионы под действием электрического поля ускоряются по направлению к мишени и расплывают атомы мишени. В течение импульса положительной полярности электроны из плазмы привлекаются к мишени и компенсируют скопившийся на поверхности оксидной пленки заряд. Для эффективного устранения микродуг длительность рабочего импульса должна быть меньше времени, необходимого для накопления достаточного заряда для образования пробоя и, как следствие, возникновения и развития дуги. Анализ, проведенный в работе [1] показал, что время накопления заряда зависит от параметров разряда распылительной системы и свойств наносимого материала. Поэтому для выбора параметров импульсного питания проведены исследования процессов импульсного реактивного магнетронного распыления  $V$  мишени в среде  $Ar/O_2$  рабочих газов. В ходе экспериментов частота следования импульсов изменялась от 1 до 100 кГц. Длительность положительного импульса  $\tau$  изменялась от 3 до 50 мкс. Амплитуда положительного импульса, в зависимости от его длительности, составляла  $U^+ = 25 - 40$  В.

На рисунке 1 представлены типичные осциллограммы напряжения при импульсном питании магнетрона.

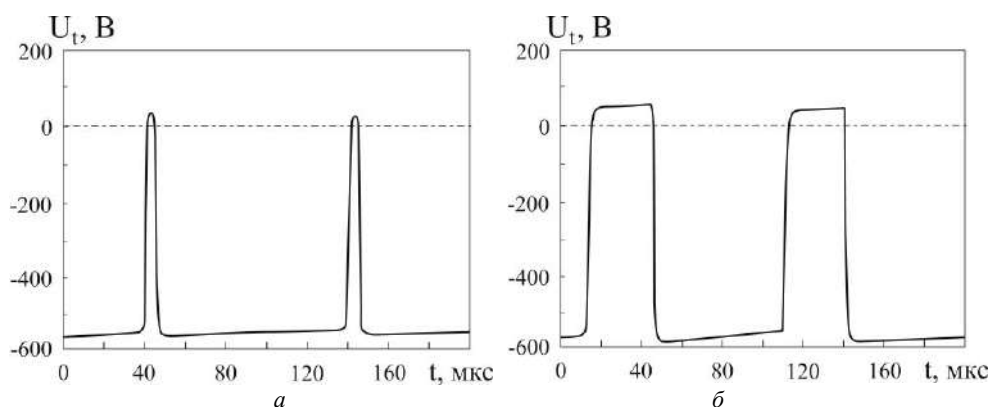


Рисунок 1 – Осциллограммы напряжения разряда при импульсном питании магнетрона ( $F = 10$  кГц) и разной длительности положительного импульса: а –  $\tau = 3$  мкс; б –  $\tau = 30$  мкс

Установлено, что увеличение частоты следования импульсов приводило к увеличению напряжения разряда (рисунок 2). При токе разряда  $I_t = 1,5$  А и  $F = 82$  кГц напряжение разряда достигало максимума выходного напряжения блока питания -800 В. Также увеличение длительности импульса приводило к увеличению напряжения разряда (рисунок 3). При частоте 50 кГц увеличение  $\tau$  с 3 до 7 мкс приводило к увеличению  $U_t$  с 613 до 744 В.

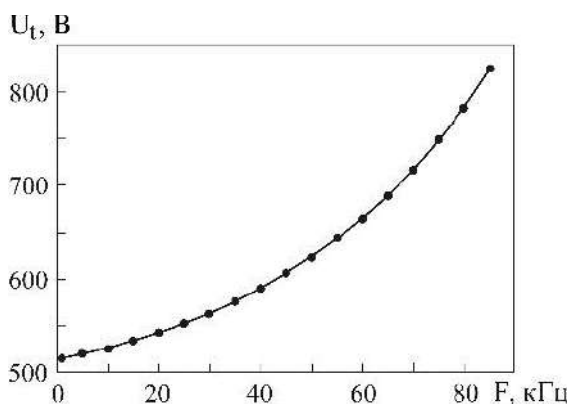


Рисунок 2 – Зависимости напряжения разряда от частоты следования импульсов, ( $\Gamma_{O_2} = 50\%$ ,  $I_t = 1,5$  А,  $\tau = 3$  мкс).

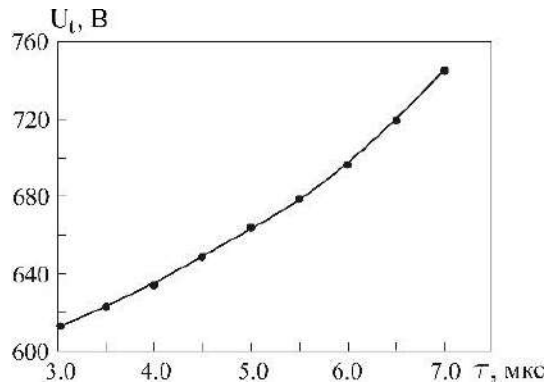


Рисунок 3 – Зависимости напряжения разряда от длительности положительного импульса, ( $\Gamma_{O_2} = 50\%$ ,  $I_t = 1,5$  А,  $\tau = 3$  мкс).

Установлено, что при частоте более 5 кГц и длительности импульса более 3 мкс не детектируется формирование микродуг. При частоте 10 кГц и длительности импульса 3 мкс обеспечивается устойчивая работа MPC во всем диапазоне концентраций кислорода. Таким образом использование импульсного питания обеспечивает эффективное устранение микродуг, а процесс нанесения стабильным и повторяемым.

#### Список литературы

1. Технологические процессы и системы в микроэлектронике: монография / А. П. Достанко [и др.]; под общей ред. А. П. Достанко. – Минск: Бестпринт, 2009. – 200 с.

UDC 621.793

## INFLUENCE OF TIME CHARACTERISTICS OF PULSED POWER ON ARCHING AND STABILITY OF THE PROCESS UNDER REACTIVE MAGNETRON SPUTTERING

*Nestsiarchyk R.I.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics<sup>1</sup>, Minsk, Republic of Belarus*

*Zavadskiy S.M. – PhD, assistant professor, associate professor of the department of ETT*

**Annotation.** The article considers the influence of the temporal characteristics of pulsed power supply on arcing and process stability during reactive magnetron sputtering. The paper presents the experimentally obtained dependences of the discharge voltage on the pulse repetition rate and the duration of the positive pulse.

**Keywords:** Magnetron sputtering systems, reactive magnetron sputtering, pulse power, arcing, microarcs.