

УДК 621.793

## РАЗРЯДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНЕТРОННОЙ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ РЕАКТИВНОМ МАГНЕТРОННОМ РАСПЫЛЕНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ВАНАДИЕВОЙ МИШЕНИ НА ПОСТОЯННОМ И ИМПУЛЬСНОМ ТОКЕ

*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 состава газовой среды на характеристики разряда магнетрона при высоковакуумном реактивном магнетронном распылении. Представленные зависимости скорости нанесения пленок оксида ванадия от процентного содержания кислорода в смеси газов аргон/кислород для различных режимов при распылении на постоянном токе и при импульсном распылении.

**Ключевые слова.** Магнетронные распылительные системы, реактивное магнетронное распыление, импульсное питание, скорость нанесения.

Проведены исследования влияния тока разряда, типа питания и состава газовой среды на характеристики разряда магнетрона при высоковакуумном реактивном магнетронном распылении ванадиевой ( $V$ ) мишени в среде  $Ar/O_2$  рабочих газов.

На рисунке 1 представлена зависимость напряжения разряда от содержания кислорода в  $Ar/O_2$  смеси газов  $U_f(\Gamma_{O_2})$  при использовании ДС питания магнетрона. Зависимости получены в режиме стабилизации тока разряда. Как видно из рисунка 1, независимо от тока разряда при увеличении содержания кислорода ( $\Gamma_{O_2}$ ) напряжение разряда увеличивалось. При токе разряда  $I_f = 0,5$  А при распылении мишени в среде  $Ar$  напряжение разряда составляло 365 В. При добавке кислорода напряжение разряда первоначально резко увеличивалось до 441 В при  $\Gamma_{O_2} = 8$  %. При дальнейшем увеличении  $\Gamma_{O_2}$  до 70 % напряжение разряда монотонно увеличивалось до 520 В. При уменьшении концентрации кислорода (обратное направление) напряжение разряда снижалось. Причем уменьшение напряжения происходило по тому же пути, что и увеличение. Т.е. при высоковакуумном реактивном магнетронном распылении ванадия гистерезис напряжения, характерный для процессов реактивного магнетронного нанесения диэлектрических пленок, отсутствовал.

На рисунке 2 представлены зависимости напряжения разряда от концентрации кислорода в  $Ar/O_2$  смеси газов при распылении  $V$  мишени импульсным током ( $F = 10$  кГц,  $\tau = 3$  мкс,  $U^+ = 25$  В). Ток разряда изменялся от 0,5 до 1,5 А. Зависимости получены в режиме стабилизации тока разряда. Как видно из рисунка, характер кривых соответствовал зависимостям  $U_f(\Gamma_{O_2})$ , полученным при распылении на постоянном токе. Однако при тех же режимах распыления напряжение разряда при импульсном питании имело более высокие значения по сравнению с распылением на постоянном токе. При увеличении и уменьшении концентрации кислорода напряжение разряда изменялось по одной кривой, т.е. отсутствовал гистерезис напряжения.

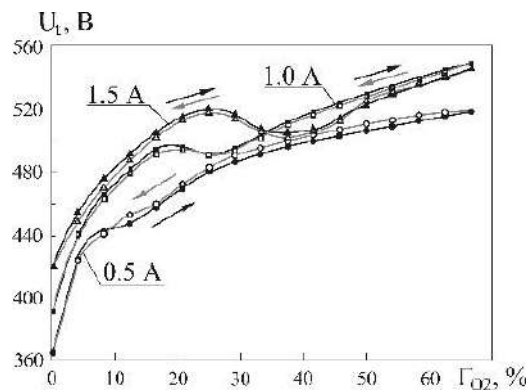


Рисунок 1 – Зависимость напряжения разряда от содержания кислорода в Ar/O<sub>2</sub> смеси газов при распылении мишени на постоянном токе при различном токе разряда

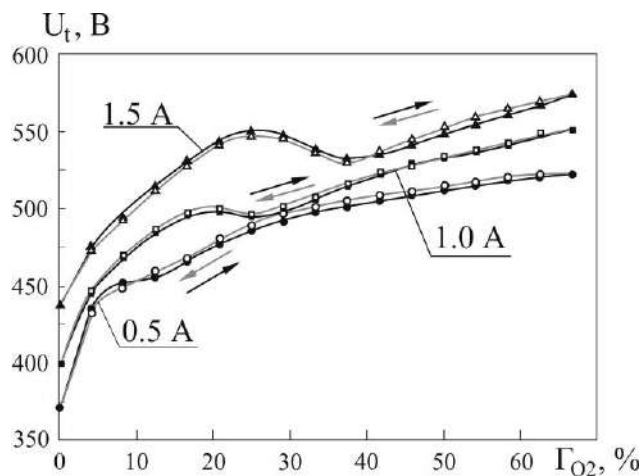


Рисунок 2 – Зависимость напряжения разряда от содержания кислорода в Ar/O<sub>2</sub> смеси газов при распылении мишени импульсным током при различном токе разряда (б).

Проведенные исследования скорости нанесения пленок при использовании постоянного тока и импульсного питания магнетрона ( $F = 10$  кГц,  $U^+ = 25$  В,  $\tau = 3$  мкс) показали, что скорость нанесения также имеет сильную зависимость от концентрации кислорода в Ar/O<sub>2</sub> смеси газов (рисунок 3). Такое поведение зависимости скорости нанесения от  $\Gamma_{O_2}$  характерно для процессов реактивного магнетронного нанесения пленок оксидов и связано с формированием на поверхности мишени оксидной пленки, которая имеет более низкий коэффициент распыления.

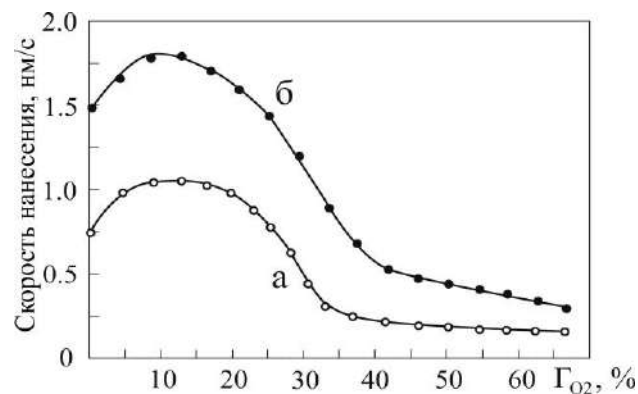


Рисунок 3 – Зависимость скорости нанесения пленок оксида ванадия от процентного содержания кислорода в Ar/O<sub>2</sub> смеси газов для различных режимов распыления ( $I_r = 1,5$  А,  $h = 85$  мм) при распылении на постоянном токе (а) и при импульсном распылении (б).

При использовании импульсного питания магнетрона характер кривой не изменялся (рисунок 2, кривая б). Однако скорость нанесения увеличилась практически на 70 % и переход

в реактивный режим работы, в котором скорость нанесения имеет низкие значения и практически не зависит от  $G_{O_2}$ , происходил при больших концентрациях кислорода (порядка 40 %). Такое поведение, по-видимому, связано с более высокими напряжениями разряда и эффектом «разрядки» оксидной пленки в течение длительности положительного импульса при импульсном распылении.

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы:

- при высоковакуумном магнетронном распылении напряжение разряда однозначно зависит от концентрации кислорода как при *DC*, так и при импульсном питании магнетрона;
- увеличение частоты и длительности положительного импульса приводит к увеличению напряжения разряда. При магнетронном распылении повышение напряжения разряда при стабилизации тока ведет к увеличению скорости распыления за счет увеличения средней энергии бомбардирующих мишень ионов. Это позволяет уменьшить время процесса. Однако, с другой стороны, более высокие напряжения разряда являются следствием уменьшения проводимости плазмы, что говорит об ухудшении условий плазмообразования. Кроме того, увеличение  $Ut$  при импульсном питании может приводить к увеличению влияния эффектов, связанных с ионной и электронной бомбардировкой растущей пленки. Это такие эффекты как дефектообразование, имплантация ионов и атомов отдачи и распыление пленки. При этом может происходить обогащение поверхности отдельным элементом, кристаллизация или аморфизация поверхностного слоя. Также в ряде случаев бомбардировка ионами высокой энергии ведет к возникновению дефектов в виде вакансий, межузельных атомов, дислокаций и появлению неоднородностей [1, 2]. Поэтому для нанесения пленок оксида ванадия был выбран режим импульсного питания, при котором напряжение разряда было минимальным, при этом обеспечивалась возможность стабильной работы МРС во всем диапазоне концентраций кислорода и отсутствовали эффекты дугообразования:  $F = 10$  кГц,  $\tau = 3$  мкс,  $U_+ = 25$  В, которые в дальнейшем использовались при нанесении пленок оксида ванадия.

#### Список использованных источников

1. Chapman, B. *Glow discharge processes* / B. Chapman. – Wiley, NY, 1980. – 417 p.
2. Tachi, Sh. *Impact of plasma processing on integrated circuit technology migration: From 1 mm to 100 nm and beyond* / Sh. Tachi / *Journal of Vacuum Science Technology*. – 2003. – Vol. 21, № 5 – P. S131–S138.

UDC 621.793

## DISCHARGE CHARACTERISTICS OF A MAGNETRON SPUTTERING SYSTEM UNDER REACTIVE MAGNETRON SPUTTERING OF A METAL VANADIUM TARGET AT DIRECT AND PULSED CURRENT

*Nestsarchyk 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 composition of the gaseous medium on the characteristics of the magnetron discharge during high-vacuum reactive magnetron sputtering. The presented dependences of the deposition rate of vanadium oxide films on the percentage of oxygen in the argon/oxygen gas mixture for different modes during DC and pulsed sputtering.

**Keywords:** Magnetron sputtering systems, reactive magnetron sputtering, pulse power, deposition rate.