

УДК 538.9

**ПОИСК РЕЖИМОВ ОСАЖДЕНИЯ ОКСИДА ИТРИЯ В МЕТАЛЛИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ  
РАБОТЫ МАГНЕТРОННОЙ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**Е.Д. Воронина

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Д.В. Сиделёв

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [edv2@tpu.ru](mailto:edv2@tpu.ru)**SEARCHING FOR THE PARAMETERS OF YTTRIUM OXIDE FILM DEPOSITION  
IN A METALLIC MODE OF MAGNETRON SPUTTERING SYSTEM OPERATION**E.D. Voronina

Scientific Supervisor: Ass. Prof., PhD. D.V. Sidelev

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [edv2@tpu.ru](mailto:edv2@tpu.ru)

***Abstract.** This study aims to identify the possibility of deposition of yttrium oxide coatings using reactive magnetron sputtering in the metallic mode. There is found that sputtering yttrium target in the metallic mode can be done using dual magnetron sputtering of yttrium and copper targets.*

**Введение.** В последнее время наблюдается большой интерес к покрытиям на основе оксида иттрия ( $Y_2O_3$ ). Так, благодаря температурным и оптическим характеристикам оксида иттрия, он выступает предпочтительным кандидатом в теплозащитных покрытиях и оптических волноводах. Получить такие покрытия возможно методом магнетронного распыления в реактивной среде (смеси аргона и кислорода), в основе которого заложено параллельные процессы столкновительного распыления иттриевой мишени ионами плазмы (аргона и кислорода) и конденсации атомов иттрия и кислорода на обрабатываемой поверхности (подложке). Выбор данного метода обусловлен его сравнительно высокими скоростями осаждения и большому количеству управляющих параметров процесса. Однако, присутствие кислорода в рабочем объёме может привести к нестабильности процесса нанесения покрытий, который обычно описывается кривой гистерезиса, типичной для реактивных процессов. Данная кривая показывает изменение параметров процесса (напряжение, тока и давления) от потока кислорода в рабочую камеру. На гистерезисной кривой обычно выделяют 3 характерные области: металлическая, переходная и реактивная. Так при подаче кислорода в камеру и увеличении его расхода до определённого значения происходит переход от режима с высокой скоростью осаждения (металлический режим) к режиму с низкой скоростью осаждения (реактивный). Снижение скорости осаждения покрытия вызвано формированием на поверхности мишени тонкой окисной плёнки, которая характеризуется значительно меньшим коэффициентом распыления, чем у металлов. Конечно, для нанесения покрытий предпочтительным является металлический режим, так как в таком случае не происходит значительного окисления мишени и возможно получить максимальные скорости осаждения.

Однако, важным является и обеспечение необходимой стехиометрии сформированного покрытия, что в случае металлического режима распыления может быть крайне затруднительно.

Процесс нанесения оксидных покрытий методом магнетронного распыления в металлическом режиме ранее был реализован на примере системы медь-кислород [1] путём пространственного удаления ввода подачи кислорода от области распыляемой мишени и её распылении преимущественно ионами аргона. Для дополнительной диссоциации молекулярного кислорода в рабочей камере использовался внешний высокочастотный (ВЧ) источник плазмы с индуктивной связью [2]. В настоящей работе требуется сделать оценки применимости описанного выше метода для получения плёнок оксида иттрия. Следовательно, настоящая работа направлена на поиск способов распыления иттриевой мишени методом магнетронного реактивного распыления в металлической области кривой гистерезиса в среде смеси аргона и кислорода.

**Экспериментальная часть.** В работе была использована вакуумная установка для нанесения покрытий методом магнетронного распыления, разработанная в Томском политехническом университете в НОЦ им. Б.П. Вейнберга. Для нанесения покрытий использовалась магнетронная распылительная система, которая оснащена медной или иттриевой мишенями ( $\varnothing 90$  мм и толщина 6 мм, чистота - 99,9%). Поток аргона в каждом эксперименте был постоянный и составлял  $30 \text{ см}^3/\text{мин}$ . В качестве внешнего ВЧ источника плазмы использовался радиочастотный плазменный генератор (РПГ-128, Лаборатория вакуумных технологий плюс, Зеленоград, Россия), его мощность во всех экспериментах была 1,25 кВт. Ввод подачи кислорода был удален от области мишени и установлен вблизи ВЧ источника. В ходе работы была проведена серия экспериментов, направленных на выявление возможности распыления иттриевой мишени в металлическом режиме, в зависимости от схемы организации процесса, все схемы кратко описаны в Таблице 1.

Таблица 1

Схемы организации процессов распыления

№	Тип питания	Насос для основной откачки	Материал мишени
1	униполярное	турбомолекулярный насос Shimadzu TMP-403LM	иттрий
2	биполярное	турбомолекулярный насос Shimadzu TMP-403LM	иттрий (2 шт.)
3	униполярное	турбомолекулярные насосы Shimadzu TMP-403LM и KYKY FF-160/700E	иттрий
4	биполярное	турбомолекулярный насос Shimadzu TMP-403LM	иттрий, медь

**Результаты.** Были получены кривые гистерезиса процессов реактивного магнетронного распыления иттрия в среде аргона и кислорода при различных схемах организации процесса распыления (рис. 1). Из рисунка 1а видно, что при униполярном одиночном распылении не наблюдается гистерезисной петли, напряжение разряда не зависит от потока кислорода. Это свидетельствует о распылении мишени в реактивном режиме даже при минимально возможном потоке кислорода в камеру (т.е. в присутствии остаточного кислорода).

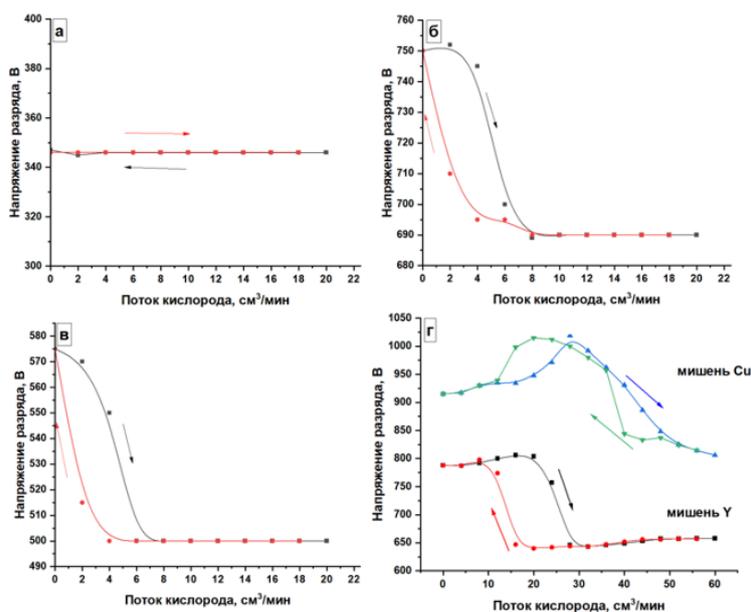


Рис. 1. Гистерезисные кривые процесса магнетронного распыления иттриевой мишени в различных схемах организации процесса распыления: а) – одиночное униполярное распыление, б) - дуальное магнетронное распыление иттриевых мишеней, в) – одиночное униполярное распыление с увеличенной скоростью откачки, г) - дуальное магнетронное распыление с иттриевой и медной мишенями

На рис. 1б и 1в показано, что применение дуального распыления и увеличение скорости откачки при одиночном униполярном распылении (от 0,24 до 0,36 м<sup>3</sup>/с) приводит к формированию петли гистерезиса большей площади с явной переходной областью. Однако, получить область стабильного металлического режима, используя схемы 2 и 3, не удаётся. Применение дуального магнетронного распыления с иттриевой и медной мишенями позволило достичь распыления иттрия в металлическом режиме. Это возможно благодаря тому, что магнетрон с медной мишенью выполняет роль источника металлической меди, которая, оседая на стенках камеры активно поглощает кислород за счёт хемосорбции (т.е. происходит геттерная откачка). Используя методику расчёта параметров вакуумной системы [3] была рассчитана эффективная скорость геттерной откачки, которая равна 0,87 м<sup>3</sup>/с, что в 2,4 раза больше, чем в схеме №3.

**Заключение.** В результате работы были рассмотрены 4 схемы организации процесса распыления, направленные на поиск возможности магнетронного реактивного распыления иттриевой мишени в металлическом режиме. Приведенные схемы процесса позволили распылять иттриевую мишени в переходном режиме (схема 2 и 3) и в металлическом (схема 4).

*Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-29-01173.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sidelev D.V., Voronina E.D., Grudin V.A. High-rate magnetron deposition of CuOx films in the metallic mode enhanced by radiofrequency inductively coupled plasma source // Vacuum. – 2023. – V. 207. – P. 111551.
2. Patent Berlin E.V., Grigoryev V.J. (2017). Plasma generator. US 9,704,691.
3. Розанов Л. Н. Вакуумная техника: учебник для вузов по спец. «Вакуумная техника». – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. шк. – 1990. – 320с.