

04;11;12

Устойчивые токовые осцилляции при магнетронном распылении оксидных мишеней

© А.Х. Абдуев, А.М. Магомедов

Институт физики Дагестанского научного центра

Поступило в Редакцию 27 ноября 1997 г.

Впервые наблюдались незатухающие полные токовые осцилляции в процессе магнетронного распыления оксидных керамических мишеней при постоянном токе. Показано, что наблюдаемые осцилляции обусловлены непрерывной генерацией атомарного кислорода в результате процессов хемосорбции–десорбции на разогретой ионной бомбардировкой поверхности мишени. Обнаружены осцилляции прилипающей природы (подобные тричелевским) при низких давлениях ($P = 4 \times 10^{-4}$ Торр).

Неустойчивости разрядов в электроотрицательных газах известны и широко изучены [1–3]. В частности, в [4] предсказываются регулярные токовые осцилляции между плоскими электродами, аналогичные пульсациям Тричеля, при давлениях газа $1 \div 10$ Торр.

В настоящей статье сообщается о наблюдении устойчивых токовых осцилляций в процессе магнетронного распыления при постоянном токе керамических мишеней из оксида цинка при давлениях менее $5 \cdot 10^{-4}$ Торр, связанных с непрерывной генерацией атомарного кислорода на поверхности мишени.

Блок-схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Питание установки магнетронного распыления обеспечивалось пульсирующим выпрямленным напряжением удвоенной сетевой частоты. В качестве мишеней нами использованы прессованные и отожженные керамические пластины оксида цинка с удельным сопротивлением около $1 \Omega \cdot \text{cm}$ и общим размером $110 \times 375 \times 5$ mm.

Величина разрядного промежутка составляла 10 см. Рабочими газами являлись аргон или смеси Ar–O₂. В зависимости от схемы питания, состава и давления газа были изучены осциллограммы тока и напряжения, а также вольт-амперные характеристики (ВАХ) разряда.

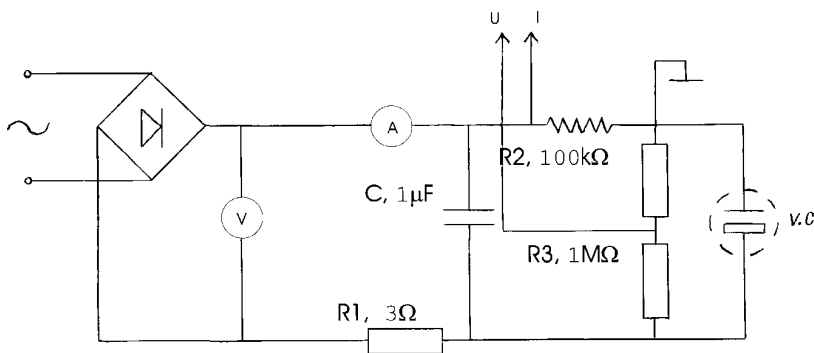


Рис. 1. Схема питания установки магнетронного распыления и измерения характеристик разряда. V.C. — вакуумная камера.

На рис. 2 приведены результаты измерений, выполненных в атмосфере $\text{Ar}:\text{O}_2 = 3:1$. Все измерения выполнены при напряжении питания $U = 550 \text{ V}$ и токе разряда $I = 6 \text{ A}$. При отсутствии в цепи емкости C , подключенной параллельно разрядному промежутку, осциллограммы напряжения, тока и ВАХ при давлении $P = 4 \cdot 10^{-4} \text{ Torr}$ соответствуют характеристикам нормального тлеющего разряда (рис. 2, *aI* и *aII*).

Результаты измерений при включении в цепь емкости C и различных давлениях приведены на рис. 2 (*b, c, d*). При $P > 6 \cdot 10^{-4} \text{ Torr}$ на осциллограммах напряжения и тока можно наблюдать затухающие осцилляции в момент пробоя разрядного промежутка (рис. 2, *b*). ВАХ в этой стадии указывает на запаздывание импульсов тока от напряжения. В дальнейшем ВАХ соответствует статической характеристике нормального тлеющего разряда.

Уменьшение давления ($P \approx 5 \cdot 10^{-4} \text{ Torr}$) приводит к зарождению осцилляций тока в области максимального напряжения (рис. 2, *c*). При давлениях $3 \cdot 10^{-4} < P < 5 \cdot 10^{-4} \text{ Torr}$ разряд становится полностью осциллирующим, а постоянная составляющая разрядного тока ничтожно мала. При этом ВАХ уже не содержит элементов статической характеристики. Увеличение или уменьшение расстояния анод-катод или величины C вызывает появление постоянной составляющей тока вплоть до исчезновения осцилляций. Уменьшение давления ниже $P \approx 3 \cdot 10^{-4} \text{ Torr}$ приводит к срыву разряда. Нам не удалось

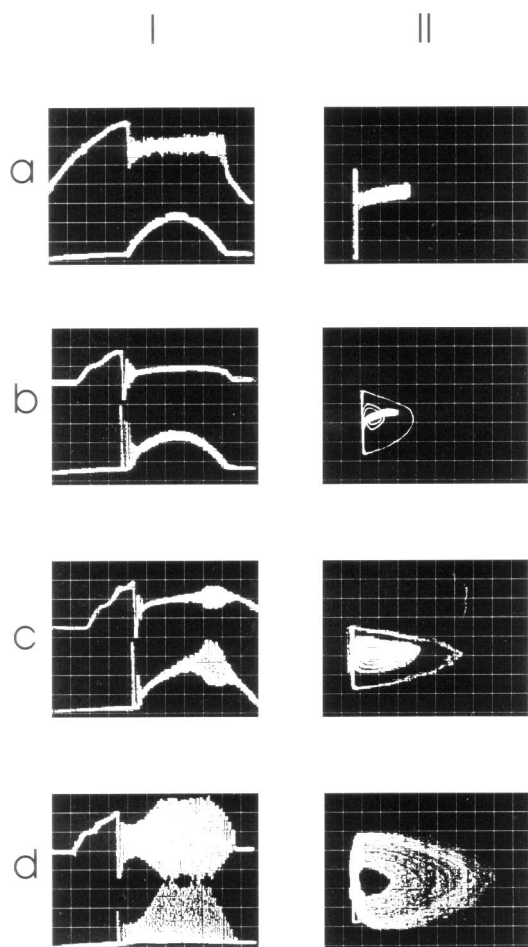


Рис. 2. Осциллограммы напряжения (верхние) и тока (нижние) (I), и ВАХ (II) разряда при различных условиях: *a* — без емкости *C* в цепи питания; *b, c, d* — с емкостью *C* при давлениях $6 \cdot 10^{-4}$ Торр, $5 \cdot 10^{-4}$ Торр и $4 \cdot 10^{-4}$ Торр соответственно.

обнаружить значительного изменения частоты пульсаций в зависимости от расстояния между электродами и от соотношения парциальных давлений газа, рассчитанных в [4].

Для выяснения роли кислорода в возникновении осцилляций мы изучили характеристики разряда в атмосфере чистого Ar. При этом также наблюдались осцилляции, однако через несколько минут распыления они полностью затухали и в дальнейшем разряд не испытывал влияния емкости. Разряд в атмосфере аргона приводил к почернению мишени в результате обеднения поверхностного слоя кислородом. Восстановление осциллирующего режима происходило лишь через несколько минут распыления мишени в смеси Ar-O₂, приведшего к окислению поверхностного слоя мишени. Это дает основание полагать, что осцилляции разрядного тока связаны с десорбцией атомарного кислорода с поверхности мишени и образованием отрицательных ионов O⁻ в результате прилипания электронов. Незатухающий характер осцилляций обусловлен процессами, протекающими на поверхности мишени. Известно, что ионная бомбардировка оксида цинка приводит к десорбции атомарного кислорода [5,6]. Известно также, что температура поверхности мишени при магнетронном распылении близка к температуре плавления (разложения) мишени. Как показали выполненные нами ранее исследования [7], процессы на поверхности мишени оксида цинка протекают по следующей схеме:

— десорбция атомарного кислорода при ионной бомбардировке; при этом атомы O ионизируются и удерживаются полем вблизи поверхности мишени;

— возгонка цинка и его окисление вблизи мишени. Дефицит кислорода в разогретом поверхностном слое восполняется за счет кислорода, подаваемого в камеру в составе рабочего газа. Таким образом, при магнетронном распылении содержащийся в объеме молекулярный кислород непрерывно преобразуется на поверхности мишени в атомарный.

Наличие емкости C в цепи питания изменяет внешнюю ВАХ источника и в сочетании с флуктуациями, обусловленными прилипательной неустойчивостью, приводит к запаздыванию обратной связи по напряжению и возникновению токовых осцилляций [8]. В [4] приведена модель, описывающая динамику распределения положительной и отрицательной областей пространственного заряда и потенциала в разрядном промежутке при $P \approx 1 \div 10$ Торг. Однако достоверное определение механизма пульсаций требует дополнительных исследований.

Описанный импульсный режим магнетронного распыления на установке постоянного тока обнаружил ряд достоинств прикладного характера. Это многократное увеличение предельной скорости распыления и расширение возможностей управления процессами в газовой фазе при реактивном магнетронном распылении. Результаты дальнейших исследований мы предполагаем сообщить в следующей публикации.

Список литературы

- [1] Райзер Ю.П. // Физика газового разряда. М.: Наука, 1992. 536 с.
- [2] Nighan W.L., Wiegand W.J. // Phys. Rev. A. 1974. V. 10. N 3. P. 922–945.
- [3] Morrow R. // Phys. Rev. A. 1985. V. 32. P. 1799.
- [4] Peres I., Pitchford L.C. // J. Appl. Phys. 1995. V. 78. N 2. P. 774–783.
- [5] Моррисон С. Химическая физика поверхности твердого тела. М.: Мир, 1980. 488 с.
- [6] Лисаченко А.А., Моисеенко И.Ф., Глебовский А.А. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1982. Т. 46. № 12. С. 2274–2278.
- [7] Абдуев А.Х., Магомедов А.М., Шахиаев Ш.О. // Неорг. мат. 1997. Т. 33. № 1. С. 1–3.
- [8] Мелехин В.Н., Наумов Н.Ю. // ЖТФ. 1984. Т. 54. № 8. С. 1521–1530.