

04;11;12

АНОМАЛЬНЫЙ СРЫВ ТОКА В МАГНЕТРОНЕ С ГОРЯЧИМ КАТОДОМ

© А.М. Маратанов

Магнетронное распыление становится определяющим методом для нанесения тонких пленок [1]. Подавляющее большинство работ с магнетронами описывает распыление холодного катода [2,3]. Известны отдельные работы, где распыляется расплавленная поверхность горячего катода [4]. Однако авторы не поясняют, происходит ли кардинальное изменение характеристик разряда магнетрона при переходе от холодного ($\sim 300\text{K}$) к горячему катоду ($\sim 1200\text{K}$). В настоящей работе исследован подобный переход и обнаружены "критические" температуры, при которых скачкообразно изменяются вольт-амперные характеристики разряда.

Горение газового разряда в магнетронных системах ионного распыления обусловлено наличием скрещенных $\mathbf{E} \times \mathbf{V}$ -полей в тонком прикатодном слое (рис. 1). При давлении плазмообразующего газа (аргона), равном $4 \cdot 10^{-4} - 5 \times 10^{-3}$ Тор, над поверхностью мишени-катода образуется замкнутый дрейфовый ток электронов $j_{e\varphi}$, перпендикулярный полям \mathbf{E} и \mathbf{V} [5]. В пространстве, где дрейфуют электроны, возникает область повышенной концентрации плазмы [6]. Эта область отделена от поверхности мишени темным катодным пространством h (рис. 1), на которое приходится падение большей части разрядного напряжения. Величина h изменяется в диапазоне $0.3 \dots 2.5$ мм в зависимости от условий горения разряда: давления рабочего газа (аргона), V_p , I_p , материала катода и т.д. [2]. Давление аргона в магнетронных системах таково, что длина λ свободного пробега его атомов $\lambda \gg h$.

В данной работе исследовался магнетрон с цилиндрическим катодом 1 (рис. 1). В качестве материала катода использовались медь М2 и нержавеющая сталь Х18Н9Т. Оригинальная схема косвенного охлаждения 3 катода позволяет регулировать температуру мишени в области привязки магнетронного разряда посредством изменения ионного тока, который для данных систем практически равен току разряда $j_i \approx j_p$, а также посредством изменения расхода охлаждающей воды. Экспериментально показано, что в области давлений плазмообразующего газа (аргона)

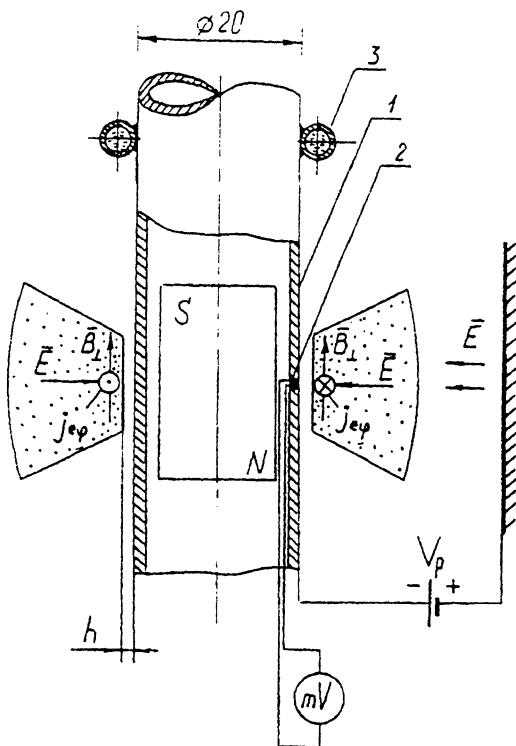


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 — катод; 2 — хромель-копелевая термопара; 3 — охлаждение катода.

$p = (3.5 \dots 5) \cdot 10^{-3}$ Тор в таких системах наблюдаются срывы тока разряда (рис. 2). Для получения воспроизводимых результатов кривая 1 снималась несколько раз. В перерывах между экспериментами катод охлаждался до температуры 284 К. Все точки характеристики 1 снимались быстро, за 20...30 с, поэтому температура горячей зоны катода оставалась намного выше температуры прилегающих областей благодаря тепловой инерционности материала катода. На кривой 1 ясно видны два пика со срывами тока $\Delta j_p = 520$ и 160 А/м^2 , что указывает на возможное существование двух температурных режимов горения разряда.

Для измерения температуры катода в каждой мишени была установлена хромель-копелевая термопара. Хорошая воспроизводимость экспериментальных результатов позволяет утверждать, что вышеуказанные срывы тока происходят при совершенно определенной температуре мишени. Кривые 2-5 (рис. 2) снимались медленнее, чем кривая 1, а именно 4...6 мин каждая. Поэтому можно было ожидать заметное выравнивание температурного градиента в метал-

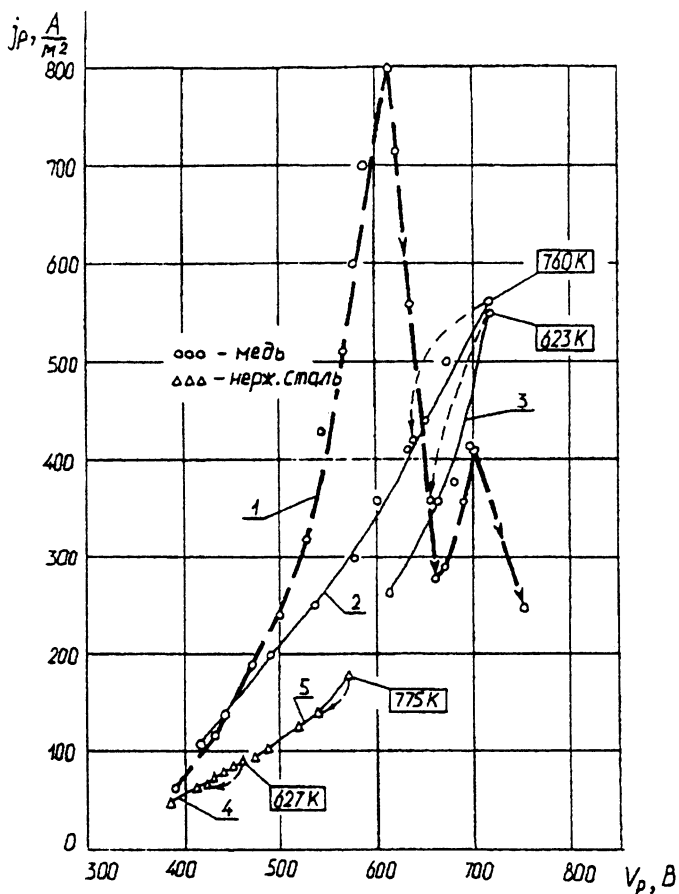


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики магнетронного разряда. Давление аргона $p = (3,5 \dots 5) \cdot 10^{-3}$ Тор. Время снятия характеристики: 1 — 25 с; 2-5 — 5 мин.

ле катода междузоной привязки разряда и прилегающими к ней областями и, как следствие, меньшую величину Δj_p срыва тока, чем для кривой 1. При давлении аргона $p = 3.5 \cdot 10^{-3}$ Тор на медной мишени срывы тока составили $\Delta j_p = 140$ и 190 A/m^2 при температуре катода $T = 760$ и 623 K соответственно, на мишени из нержавеющей стали — $\Delta j_p = 40$ и 30 A/m^2 при $T = 775$ и 627 K соответственно. Поскольку срывы тока магнетронного разряда наблюдались специально на разных металлах, было сделано предположение о непричастности материала катода к данному явлению, а само явление отнесено лишь к влиянию температуры.

Возможным вариантом объяснения явления срыва тока разряда может быть действие эффекта, подобного радиометрической [7]. Атомы рабочего газа, находящиеся в темном прикатодном пространстве магнетронного разряда, ударяются о разогретую поверхность катода, отражаются от нее с энергией, большей, чем до соударения, и устремляются к границе области интенсивной ионизации. Обладая повышенной кинетической энергией, отраженные атомы "отодвигают" границу плазмы от катода и увеличивают тем самым ширину h темного прикатодного пространства. Тогда, согласно закону Чайлда-Ленгмюра, в зазоре h резко уменьшается напряженность электрического поля [2], что незамедлительно приводит к падению величины ионного тока и, следовательно, тока разряда.

Таким образом, при переходе от холодного катода магнетрона к горячему необходимо учитывать снижение тока разряда с ростом температуры катода в соответствии с данными настоящей работы. Экспериментально установлено, что снижение наступает по крайней мере дважды; при температурах катода $T_1 \approx 625$ К и $T_2 \approx 767$ К.

Список литературы

- [1] Clarke G.A., Osborne N.R., Parsons R.R. // J. Vac.Sci. and Technol. 1991. V. 9. N 3. P. 1160-1170.
- [2] Stearns D.G., Rosen R.S., Vernon S.P. // J. Vac.Sci. and Technol. 1991. V. 9. N 5. P. 2662-2668.
- [3] Jia Q.X., Anderson W.A. // Thin Solid Films. 1991. V. 196. P. 29-34.
- [4] Данилин В.С., Сырчин В.К. Магнетронные распылительные системы. М.: Радио и связь, 1982. 72 с.
- [5] Марагтанов А.М. // Физика плазмы. 1995. Т. 21. № 7. С. 652-654.
- [6] Марагтанов М.К. // Плазменные ускорители и ионные инжекторы. Л.: Наука, 1984. С. 264-268.
- [7] Физические эффекты в машиностроении: Справочник. М.: Машиностроение, 1993. 224 с.

Московский государственный
технический университет
имени Н.Э. Баумана

Поступило в Редакцию
11 октября 1995 г.