

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОФИЛЯ ЭРОЗИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МИШЕНЕЙ ПРИ DC МАГНЕТРОННОМ РАСПЫЛЕНИИ

С.Н. МЕЛЬНИКОВ¹, Д.А. ГОЛОСОВ¹, С.М. ЗАВАДСКИЙ¹, А.П. ДОСТАНКО¹,
С.П. КУНДАС², Б.А. ТОНКОНОГОВ²

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
s_melnikov@tut.by

²Международный государственный экологический университет имени А.Д. Сахарова
ул. Долгобродская, 23, г. Минск, 220070, Республика Беларусь
boristonkonogov@iseu.by

Приведены результаты экспериментальных исследований динамики изменения профиля эрозии металлических Cu и Ti мишеней при DC магнетронном распылении. На основе полученных данных установлено, что форма профиля эрозии мишени не зависит ни от материала мишени, ни от времени распыления. Коэффициент использования материала мишени является характеристикой определенной магнетронной распылительной системы и зависит только от параметров магнитной системы магнетрона. При увеличении зоны эрозии мишени напряжение разряда постепенно снижается, что ведет к уменьшению средней энергии ионов и, как следствие, снижению коэффициента распыления.

Ключевые слова: магнетронное распыление, ионное распыление, эрозия мишени

В настоящее время метод магнетронного распыления завоевал лидирующие позиции среди процессов формирования тонкопленочных слоев в микроэлектронике [1]. Поскольку в микроэлектронике широко используются мишени из драгоценных металлов и многокомпонентных сплавов, эффективное использование материала мишени во многих случаях является главным критерием при разработке промышленных магнетронных распылительных систем (MPC). В результате этой работы было исследование динамики распыления металлических мишеней с целью получения данных для разработки методики, которая бы позволяла предсказывать профиль зоны эрозии, время работы и коэффициент использования материала мишени.

Проведена серия экспериментов по распылению Cu (чистота 99,9 %) и Ti (чистота 99,9 %) мишеней методом DC магнетронного распыления на магнетронной системе RIF.039.001 оригинальной конструкции. Во всех экспериментах использовался режим стабилизации тока разряда магнетрона $I_t = 0,2$ А. Для Cu мишени проведено 8 процессов с общим временем распыления 20 часов, а для Ti мишени – 5 процессов с общим временем распыления 12 часов. После каждого процесса распыления мишень извлекалась из камеры, производилось ее взвешивание и измерение профиля эрозии.

На рис. 1 и рис. 2 представлено изменение профилей эрозии Cu и Ti мишеней. Скорость эрозии Cu мишени в зоне максимальной плотности тока составляла 0,225 мм/час. Для Ti мишени скорость эрозии составляла 0,068 мм/час. Коэффициент использования материала мишени K_t определялся путем взвешивания мишени при максимальной выработке. При глубине эрозии в области максимального распыления 96,5 % от толщины мишени K_t превышал 32 %. Нормирование полученных профилей зоны эрозии Cu мишени после серии процессов распыления показало практически пол-

ное совпадение профилей. Нормированные профили эрозии Ti мишени также полностью совпадали с профилями Cu мишени.

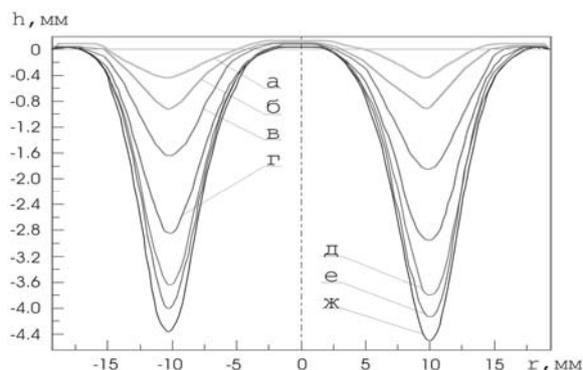


Рис. 1. Профили эрозии Cu мишени при различном времени распыления: а – 2 часа; б – 4 часа; в – 8 часов; г – 12 часов; д – 16 часов; е – 18 часов; ж – 20 часов

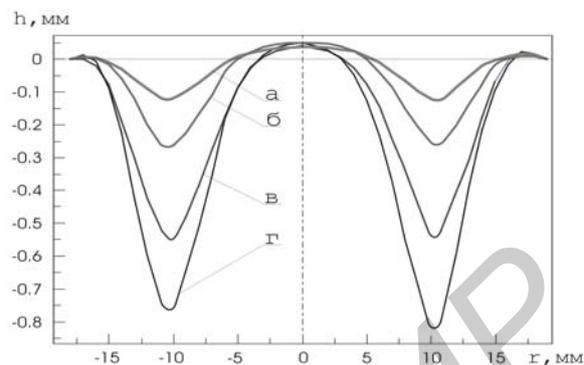


Рис. 2. Профили эрозии Ti мишени при различном времени распыления: а – 2 часа; б – 4 часа; в – 8 часов; г – 12 часов

Для определения соотношения между профилем эрозии мишени и распределением магнитного поля проведено моделирование магнитного поля магнетрона RIF.039.001. Анализ распределения индукции магнитного поля показал, что магнитная система магнетрона имела небольшую несбалансированность II-го типа, что вызывало смещение максимума горизонтальной составляющей магнитного поля B_r к оси магнетрона при удалении от мишени.

Коэффициент распыления материала мишени рассчитывался исходя из массы распыленного материала. В течение первых процессов, когда происходило начальное формирование зоны эрозии, коэффициент распыления как для Cu, так и для Ti мишеней имел более низкие значения ($Y_{Cu} = 1,55$; $Y_{Ti} = 0,378$). После формирования зоны эрозии коэффициент распыления возрастал и достигал максимума ($Y_{Cu} = 1,8$; $Y_{Ti} = 0,393$) и далее от процесса к процессу по мере увеличения зоны эрозии мишени линейно уменьшался до 0,97 для Cu мишени и 0,344 для Ti мишени. Снижение коэффициента распыления в первую очередь связано с уменьшением напряжения разряда.

Средняя энергия бомбардирующих мишень ионов E_i рассчитывалась по методике, предложенной в [2]. Установлено, что отношение E_i/U_i , где U_i – напряжения разряда, для Cu мишени в процессе распыления мишени уменьшалось с 0,81 до 0,55, а для Ti мишени – с 0,9 до 0,87.

Таким образом, на основе полученных данных установлено, что форма профиля эрозии мишени не зависит ни от материала мишени, ни от времени распыления. Коэффициент использования материала мишени является характеристикой определенной МРС и зависит только от параметров магнитной системы магнетрона. Это позволяет при моделировании эрозии мишеней производить один расчет для заданной конфигурации магнитной системы и масштабировать полученный профиль в зависимости от времени распыления. В режиме стабилизации тока разряда магнетрона при увеличении зоны эрозии мишени напряжение разряда постепенно снижается, что ведет к уменьшению средней энергии ионов и, как следствие, снижению коэффициента распыления.

Список литературы

1. Pauleau Y. Materials surface processing by directed energy techniques. Elsevier Ltd., 2006.
2. Yamamura Y., Tawara H. // Atomic data and nuclear data tables. 1996. Vol. 62. P. 149–253.