

Исследование влияния арочного магнитного поля на дисперсный состав капельной фазы вакуумно-дугового испарителяО.О. Гранкина^{1,2}, Т.О. Гранкина¹, Д.В. Кириллов¹¹Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)²Московский физико-технический институт (государственный университет)

Одно из важнейших технологических применений вакуумно-дуговой плазмы связано с ее использованием для ионно-плазменного осаждения покрытий, улучшающих эксплуатационные свойства изделий. Благодаря высокой энергии плазмы метод позволяет получать покрытия высокой плотности с хорошей адгезией. Недостатком метода является наличие в потоке плазмы разряда микрокапель - мелких капель материала катода. Это, как правило, снижает служебные характеристики покрытий и препятствует более широкому практическому использованию вакуумно-дугового метода в сфере нанотехнологий, точной механики, оптики, микроэлектроники.

Современная технология вакуумно-дугового нанесения покрытий требует снижения доли капельной фазы и размеров микрокапель в продуктах эрозии катода и более полного использования материала катода. Для решения этих задач используют дуговые испарители с управляемым движением катодных пятен [1]. В таких испарителях часто используются магнитные системы, создающие на поверхности катода арочное магнитное поле [2]. В работе ставилась цель исследовать влияния индукции арочного магнитного поля на дисперсные характеристики капель, на массу капель в потоке плазмы вакуумного дугового разряда.

Была разработана методика исследований и проведен ряд экспериментов, в ходе которых были получены образцы с титановыми, медными, алюминиевыми, кремниевыми покрытиями при различных комбинациях тока разряда и индукции арочного магнитного поля [3,4,5]. В результате анализа были получены зависимости функции плотности распределения капель по диаметрам, функции плотности распределения массы по диаметрам при разных значениях тока разряда и индукции магнитного поля. Впервые приведены данные дисперсных характеристиках капельной фазы в диапазонах диаметров менее 0,5 мкм, в настоящий момент в существующих работах проводился дисперсный анализ капель в основном с диаметрами более 1 мкм. Были проведены исследования капельной фазы при горении вакуумной дуги на кремниевом катоде, что на ранее не исследовалось [6,7].

Для проведения дисперсного анализа капельной фазы была разработана программа, которая детектирует и вычисляет характерный размер микрообразований на микрофотографиях покрытий. В основе работы программы лежит классификатор Виолы-Джонса с использованием признаков Хаара [8]. Для улучшения качества распознавания использовалось преобразование снимка с помощью детектора границ Кэнни [9]. Процент верных срабатываний при работе программы составляет более 95%, а процент ложноположительных срабатываний составил менее 5% [10].

Проведенные исследования показали, что индукции арочного магнитного поля влияет на эрозию катода при горении вакуумно-дуговом разряда, а как следствие и на толщину осаждаемого покрытия. Анализ зависимостей функций плотности распределения микрокапель по диаметрам показал, что для всех исследуемых материалов с увеличением индукции магнитного поля число капель уменьшается, а при увеличении тока разряда – увеличивается (рис.1,а). Так, например, при увеличении индукции магнитного поля в 5 раз число капель на алюминиевом покрытии уменьшалось в 2-2.5 раз, на кремниевом, титановом покрытии в 1.5-2 раза при разных токах разряда. Увеличение количества капель в 1,5-2 раза наблюдалась при увеличении тока разряда в 1.75 раз. Динамика изменений сохранялась на всех диапазонах диаметров капель. Анализ полученных зависимостей нормированной функции плотности распределения массы по диаметрам показал, что наибольший вклад в суммарную массу капель вносят капли диаметром 0.5 до 1.2 мкм для алюминиевых, медных, титановых покрытий, для кремниевых покрытий основной вклад вносят капли диаметром 0.15 до 0.3 мкм (рис.1,б).

Разработанная методика анализа позволяет проводить исследования влияния режимов работы дугового испарителя на образование микродефектов в тонких пленках с целью совершенствования технологии осаждения покрытий вакуумно-дуговым методом.

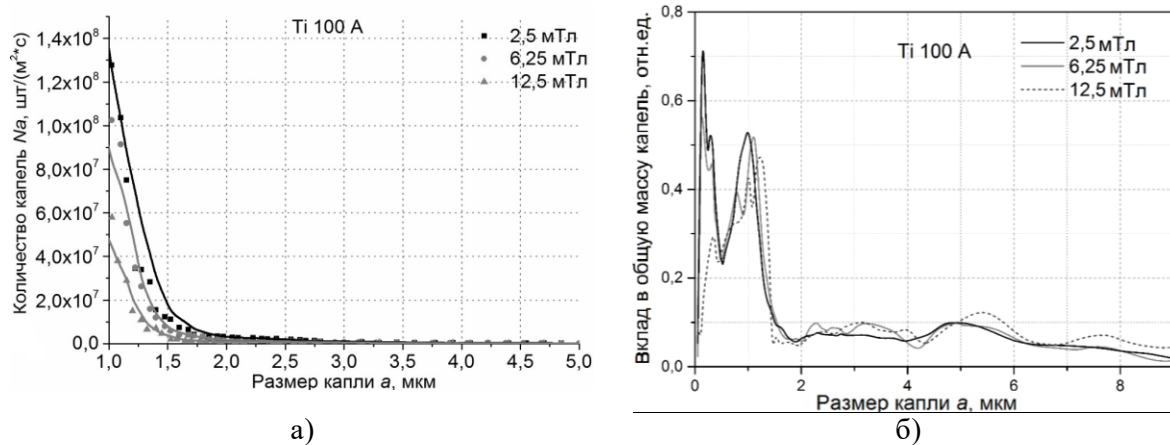


Рис.1. а) Плотность распределения микрокапель по размерам для титанового катода при токе 100А и разных значениях индукции магнитного поля; б) плотность распределения массы по размерам для титанового катода при токе 100А и разных значениях индукции магнитного поля

Литература

1. Духопельников Д.В., Кириллов Д.В., Рязанов В.А., Чжо В.Н. Оптимизация траектории движения катодного пятна для повышения равномерности выработки катода вакуумного дугового испарителя // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. № 10 (22). С.42.
2. Духопельников, Д. В., Кириллов Д. В., Шуренкова С. А. Динамика движения катодных пятен по поверхности катода в поперечном магнитном поле // Наука и образование. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 1. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/256359.html> (дата обращения 10.10.2016).
3. Духопельников, Д. В., Жуков А. В., Кириллов Д. В., Марахтанов М. К. Структура и особенности движения катодного пятна вакуумной дуги на протяжённом титановом катоде // Измерительная техника. 2003. № 10. с. 42–44.
4. Гранкина, О. О., Гранкина Т. О. Исследование поверхностной плотности микрокапель в титановых покрытиях, полученных в вакуумно-дуговом испарителе с арочным магнитным полем // Молодёжный научно-технический вестник, электронный журнал, 2015. — № 2, <http://sntbul.bmstu.ru/doc/760856.html>, дата обращения: 10.10.2016.
5. Гранкина Т. О., Гранкина О. О. Оценка возможности испарения микрокапли в плазме вакуумного дугового разряда // Молодой ученый. — 2015. — №24. — С. 104-110.
6. Духопельников Д.В., Кириллов Д.В., Марахтанов М.К., Воробьев Е.В., Булычев В.С. Вакуумная дуга на поликристаллическом кремниевом катоде // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. № 11. С. 188-197.
7. Духопельников Д.В., Кириллов Д.В., Булычев В.С. Характеристики кремниевых микрокапель в покрытиях, осажденных методом вакуумного дугового испарения. Энциклопедический справочник. 2015. № 12. С. 18-24.
8. Viola P., Jones M. J. Robust Real-Time Face Detection // Int'l J. Computer Vision, 57(2): 137-154, 2004
9. Гладилин С.А., Котов А.А., Николаев Д.П., Усилин С.А. Построение устойчивых признаков детекции и классификации объектов, не обладающих характерными яркостными контрастами // Информационные технологии и вычислительные системы, № 2014/01, 2014 г., С.61-72.
10. Гранкина О.О., Гранкина Т.О. Разработка подсистемы распознавания микробразований на снимках покрытий, полученных методом ионно-плазменного напыления // Сборник тезисов докладов V Всероссийского конгресса молодых ученых. 2016. Режим доступа: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/4048/4048.pdf> (дата обращения 10.10.2016).