

СИЛЬНОТОЧНОЕ МАГНЕТРОННОЕ РАСПЫЛЕНИЕ Al МИШЕНИ

В.А. ГРУДИНИН¹, Д.В. СИДЕЛЁВ¹

¹Инженерная школа ядерных технологий, Томский политехнический университет
E-mail: vladergu@mail.ru

Сильноточное импульсное магнетронное распыление (в зарубежной литературе – HiPIMS) [1,2] представляет собой инструмент, позволяющий получать тонкоплёночные покрытия, которые имеют выгодные преимущества в функциональных свойствах в сравнение с покрытиями, полученными при помощи классического распыления на постоянном токе (DC) или при средних частотах (MF). Главная особенность технологии HiPIMS заключается в формировании импульсов большой плотности мощности (10^3 – 10^4 Вт/см²) высокой скважности с частотой следования (<10 кГц). Однако эта технология обладает более низкой скоростью осаждения покрытий (на ~30...70% ниже, чем при DC [1]), что вызвано множеством факторов [2], которые в настоящее время уже достаточно хорошо изучены. Исходя из этого, перспективным направлением исследований в этой области является поиск методов повышения скорости осаждения. В настоящей работе предложено использовать комбинацию последовательных импульсов среднечастотного и сильноточного источников питания как средства для повышения скорости осаждения Al покрытий. Выбор Al в качестве материала мишени обусловлен его высокой теплопроводностью (236 Вт/м·К), что немаловажно ввиду высокой тепловой нагрузки на мишень, и большим спектром применений Al плёнок в современной промышленности.

Исследования проводились на ионно-плазменной установке, оборудованной ионным источником, магнетронной распылительной системой, системой вращения образцов (скорость - 10 об/мин) и системой анализа оптического спектра плазмы (двухканальный спектрометр AvaSpec ULS-2048L2). Для проведения эксперимента был разработан комбинированный источник питания (DC+HiPIMS) на базе серийных источников APEL-M-5PDC и APEL-M-5HiPIMS. Система синхронизации обеспечивает последовательную подачу импульсов среднечастотного и сильноточного источников питания с фиксированной паузой (10...100 мкс) после сильноточного импульса.

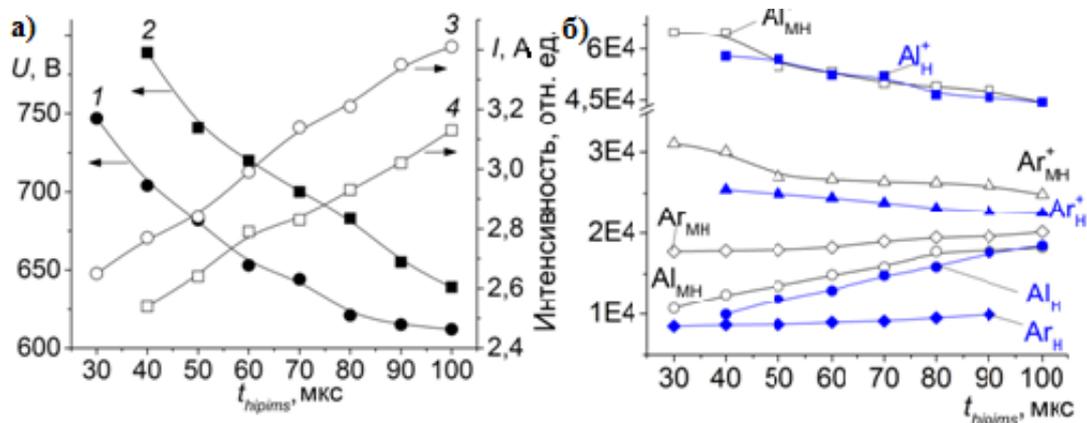


Рисунок 1 – а) эволюция напряжения (1, 2) и тока (3, 4) разряда в случае стабилизации мощности (2 кВт) при вариации длительности импульса сильноточного источника питания: 1, 3 – MF (0,6 кВт) + HiPIMS (2 кВт); 2, 4 – HiPIMS (2 кВт); б) изменение интегральной интенсивности оптического сигнала компонент плазмы от длительности импульса сильноточного источника питания. При распылении с помощью MF+HiPIMS: Al_{MH}⁺, Al_{MH} – ионы и атомы алюминия; Ar_{MH}⁺, Ar_{MH} – ионы и атомы аргона. При распылении с помощью HiPIMS: Al_H⁺, Al_H – ионы и атомы алюминия; Ar_H⁺, Ar_H – ионы и атомы аргона

Подача импульса среднечастотного источника питания перед сильноточным импульсом приводит к снижению рабочего напряжения и повышению среднего тока

разряда. В этом случае DC источник питания создаёт предварительную ионизацию диодного промежутка, что способствует более быстрому выходу работы магнетрона в высокоомощный режим [3]. Такие результаты, рисунок 1.а, были получены при изменении длительности импульса HiPIMS (частота следования импульсов – 1 кГц; усреднённая мощность HiPIMS – 2 кВт). Подача напряжения от DC источника питания обуславливает повышение оптического сигнала всех компонент плазмы, наибольший рост сигнала зафиксирован для нейтральных атомов аргона, рисунок 1.б.

На рисунке 2.а показаны скорости осаждения плёнок Al при использовании различных источников питания. Наблюдается существенный рост скорости осаждения при комбинированной подаче среднечастотных импульсов (средняя мощность 0,6 кВт). Одной из причин повышения скорости осаждения следует считать зависимость коэффициента распыления Al от энергии налетающих ионов. На рисунке 2.б показана зависимость коэффициента распыления Al ионами Ag, определённая путём расчёта в программе SRIM-2008 [4]. Согласно им, этот фактор приводит к 8-13% увеличению скорости осаждения Al покрытий. Помимо этого, относительный рост количества ионов Ag к числу ионов Al снижает интенсивность эффекта самораспыления, также оказывающего существенное влияние на скорость осаждения покрытий.

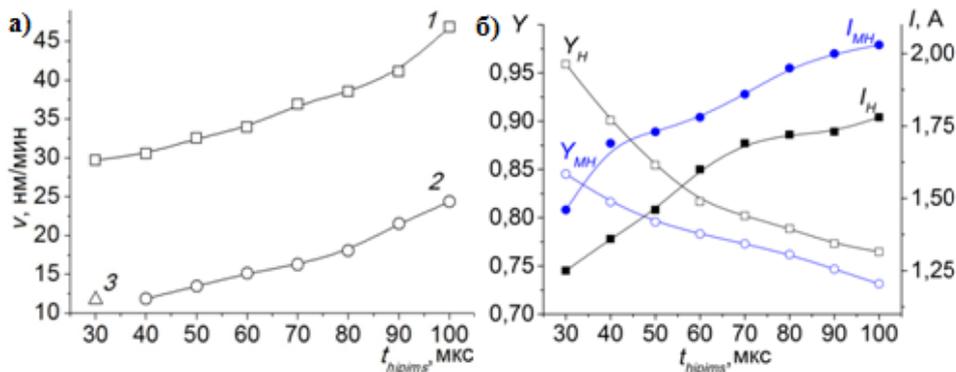


Рисунок 2 – а) скорость осаждения плёнок Al на вращающуюся подложку: 1 – распыление с помощью DC+HiPIMS (DC– 0,6 кВт; HiPIMS – 2 кВт); 2 - распыление с помощью HiPIMS (2 кВт); 3 – распыление с помощью DC (0,6 кВт); б) зависимость коэффициента распыления (Y) Al мишени и среднего тока разряда от длительности импульса сильноточного источника питания (1 кВт): Y_{MH} , I_{MH} – при распылении с помощью DC+HiPIMS; Y_H , I_H – при распылении с помощью HiPIMS

Таким образом, исследования по распылению Al мишени в плазме магнетронного разряда показали, что более высокая производительность процесса осаждения Al покрытий наблюдается при комбинации импульсов DC и сильноточного источников питания. В этом случае наблюдается более быстрый переход MPC в высокоомощный режим, зафиксировано повышение среднего тока разряда и снижение рабочего напряжения разряда.

Исследование поддержано Российским Фондом Фундаментальных Исследований (проект № 18-38-00676 мол_а.)

Список литературы

1. Sarakinos K., Alami J., Konstantinidis S. High power pulsed magnetron sputtering: A review on scientific and engineering state of the art // Surf. Coat. Technol. – 2010. – 204. – P.1661.
2. Anders A. Deposition rates of high power impulse magnetron sputtering: Physics and economics // J. Vac. Sci. Technol. – 2010. – №28. – P.783-790.
3. Vasina P., Mesko M., Imbert J.C. et al. Experimental study of a pre-ionized high power pulsed magnetron discharge // Plasma Sources Sci. Technol. – 2007. – 16. – P.501.
4. Ziegler J. et al. TRIM (the Transport of Ions in Matter) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.srim.org>. – 12.06.18.