

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ОЧИСТКИ В ВЫСОКОПЛОТНОЙ ПЛАЗМЕ АРГОНА НА ПАРАМЕТРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОПТИЧЕСКОГО СТЕКЛА

Михолап А.А., Логунов К.Т.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Котов Д.А. – канд. техн. наук, доцент

Исследовано влияние параметров очистки в высокоплотной индуктивно-связанной плазме аргона на морфологию поверхности стеклянных подложек. Очистка проводилась в диапазоне мощности высокочастотного источника от 100 до 2000 Вт длительностью до 150 с. Морфология поверхности анализировалась методом атомно-силовой микроскопии, а диагностика плазмы обеспечивалась методом оптической эмиссионной спектроскопии. Установлено, что параметры очистки при мощности разряда 300 Вт и длительности 60 с обеспечивают минимальную шероховатость и удаление загрязнений без повреждения поверхности. Анализ полученных данных выявил высокую эффективность очистки длительностью 60 секунд и мощностью ВЧ-источника в 300 Вт для обработки поверхности.

Качество подготовки поверхности подложек является критическим фактором в технологиях формирования функциональных покрытий и слоев. Ключевой задачей этого этапа является удаление загрязнений с рабочей стороны подложки. Для этой цели применяются химические (органические растворители, влажное травление) и физические (ультразвук, механическая обработка) методы [1, 2], однако им присущи следующие недостатки: появление неоднородности обработки, ограниченной эффективности против стойких загрязнений и риск повторного загрязнения. В связи с этим методы плазменной привлекает особое внимание, обеспечивая высокую степень очистки и тонкую настройку параметров, что делает его одним из наиболее эффективных решений для высокотехнологичных производств [3–6]. Исходя из этого, можно сделать вывод о критической важности исследований методов плазменной очистки и их последующего влияния на формируемые пленки

В качестве объекта для такого исследования в данной работе выбраны стеклянные подложки. Их очистка проводилась в высокоплотной индуктивно-связанной плазме (ICP) при пониженном давлении. Также следует отметить, что плазменная очистка часто считается ограниченно применимой для очистки стекла, так как стекло будет накапливать заряд и со временем препятствовать дальнейшей очистке [2].

В качестве подложек использовались образцы из оптического стекла К8 с линейными размерами 20 на 20 мм и толщиной подложки 0,7 мм. Очистка проводилась методом высокоплотной индуктивно-связанной плазмы в вакуумной камере. Для очистки использовался экспериментальный комплекс на основе ВУ-1БСп при расстоянии источник-подложка 110 мм, частоте питающего напряжения – 13,56 МГц и первоначальной откачки до базового давления $8 \cdot 10^{-3}$ Па. При определении влияния режимов очистки применялся следующий режим: мощность варьировалась в диапазоне 100–2000 Вт, время обработки составляло от 0 до 5 мин, расход газа Ar - от 2,29 до 4,78 л/ч.

Для анализа изменений морфологии поверхности проводилось исследование методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) на площади 10 на 10 мкм² в центре образцов. Полученные изображения анализировались с использованием специализированного программного обеспечения для расчёта параметров шероховатости, включая среднеарифметическое отклонение высот (R_a), среднеквадратичное отклонение (R_q), а также среднюю шероховатость по 10 точкам (R_z) и визуализацию 3D-рельефа.

Значения шероховатости исходного состояния поверхности стеклянной подложки до обработки плазмой составили $R_a = 0,717$ нм, $R_q = 1$ нм и $R_z = 1,88$ нм.

На рисунке 2(a) представлены зависимости R_a , R_q и R_z от времени очистки в высокоплотной индуктивно-связанной плазме аргона. Данные измерения проводились при мощности ВЧ-источника в 300 Вт. В то время как на рисунке 2(b) можно наблюдать зависимость данных шероховатостей от мощности разряда, полученные при длительности очистки в 1 мин.

Исходя из графика, представленного на рисунке 2a видно, что при длительности обработки до 60 секунд влияние плазмы на шероховатость поверхности минимально. При длительности обработки после 60 секунд виден рост всех параметров шероховатости, что может быть связано с повреждением изначальной поверхности подложки. Стоит отметить, что величина R_z при длительности очистки в 60 секунд имеет минимальное значение, что связано с устранением большей части поверхностных загрязнений.

На рисунке 2b видно, что при мощности до 300 Вт не наблюдается значительного влияния на шероховатость, за исключением R_z . При мощностях 100-300 Вт показатель влияния очистки R_z значительно отличается для изначальной подложки и подложки после очистки, что может указывать на устранение большей части поверхностных загрязнений без затрагивания морфологии поверхности самого стекла. Параметры шероховатости, особенно R_q , начинают резко расти при увеличении мощности разряда. Это указывает на возможное начало микроповреждений самой поверхности, а также усиление воздействия плазмы.

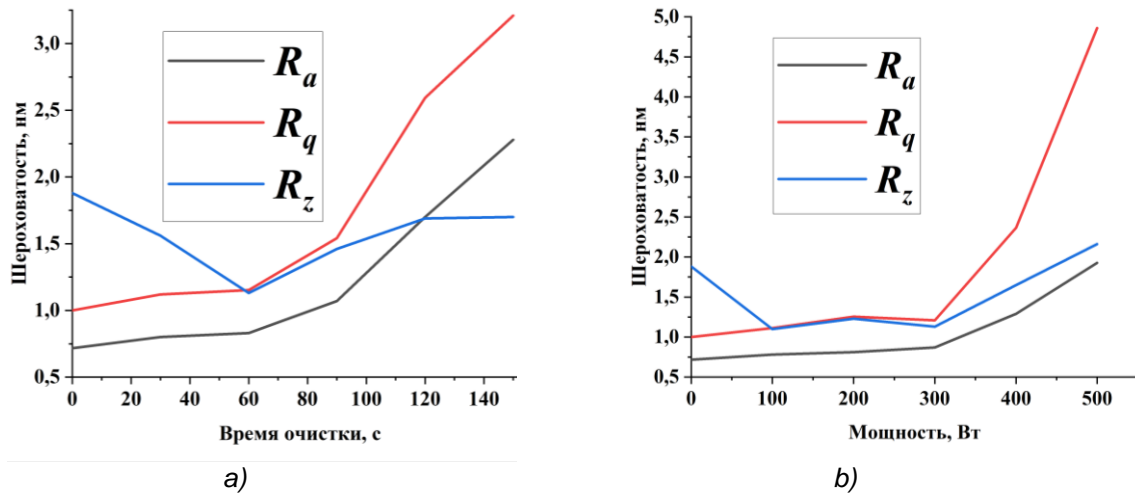


Рис. 1. Зависимость шероховатости подложки из стекла от: а – длительности очистки; б – мощности ВЧ-источника высокоплотной индуктивно-связанной плазмы аргона

Основываясь на полученных данных, можно сделать вывод о том, что режим очистки длительностью 60 секунд и мощностью ВЧ-источника в 300 Вт является наиболее эффективным перед нанесением тонких и ультратонких пленок. Но для более толстых пленок возможно использование режимов с большей мощностью и длительностью.

Сделан вывод о том, что полученные зависимости могут быть применены при отработке режимов очистки в высокоплотной плазме аргона. Практическая значимость работы заключается в повышении качества обработки стеклянных подложек.

Список использованных источников:

1. Лучкин А. Г., Лучкин Г. С. "Очистка поверхности подложек для нанесения покрытий вакуумно-плазменными методами" Вестник Казанского технологического университета, vol. 15, no. 15, pp. 208-210, 2012.
2. Irving F. Stowers and Howard G. Patton "Cleaning Optical Surfaces", Proc. SPIE 0140, Optical Coatings: Applications and Utilization II, 1978.
3. Sun, Jianan Yu, Yanmei Tang, Jianming Zeng, Yan Chen, Jiaxuan, Plasma Cleaning Technology: Mechanisms, Influencing Factors, and Applications, IEEE Access, PP, 1-1, 2025.
4. Rauschenbach, Bernd, Low-Energy Ion Irradiation of Materials, Springer International Publishing, 2022.
5. Arnold, Thomas Boehm, Georg Fechner, Renate Meister, J. Nickel, Andreas Frost, Frank Hänsel, T. Schindler, Axel. Ultra-precision surface finishing by ion beam and plasma jet techniques—status and outlook, 2010.
6. Ildar Gafarov, Alexander Tovstopyat, Vadim Galeev, Anastasia Golyaeva, Yuri Golyaev, Evgeny Kuznetsov, Investigation of the argon temperature modes in ICP-processing of glass-ceramics, Phys. Plasmas, 2019.