



Рис. 3. Оптические изображения стали в процессе коррозии в растворе NaCl (а, б, в); после выдержки в растворе NaOH (ж, з, и) и NaCl(г, д, е) и травления в растворе с ПЭГ: 7 дней (а, г, ж), 14 дней (б, д, з) и 20 дней (в, е, и)

На рис. 3 (ж–и) изображены фотографии стали, подвергшейся травлению, после выдержки в NaOH. Поверхность недостаточно очистилась, на всех образцах наблюдаются продукты коррозии, язвы по-прежнему находятся на поверхности.

Модельные образцы проверяли на устойчивость к атмосферной коррозии. Показано, что образцы, протравленные в растворе с полиэтиленгликолем, более устойчивы к атмосферной коррозии. Предлагаемый травитель готовится из дешевого и доступного сырья и позволит существенно сократить производственные издержки на предприятиях, использующих растворы кислот для обработки металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jezowski P., Nowicki M., Grzeszkowiak M., Czajka R., Beguin F.. Chemical etching of stainless steel 301 for improving performance of electrochemical capacitors in aqueous electrolyte//Journal of Power Sources № 279. - 2015. – P. 555-562
2. Лямина Г.В, Вайтулевич Е.А., Божко И.А., Панина А.А.. Методы диагностики эксплуатационных свойств материалов: учебное пособие Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 106 с.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОСАЖДЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРЕМНИЙ-УГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНОК

А.С. Гренадёр¹, К.В. Оскомов¹, С.В. Работкин¹, А.А. Соловьёв^{1,2}, В.С. Сыпченко²

Научный руководитель: зав. лаб., к.т.н. А.А. Соловьёв

¹Институт сильноточной электроники СО РАН,

Россия, г. Томск, пр-т Академический 2/3, 634055

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: 1711Sasha@mail.ru

На сегодняшний день актуальным является поиск универсального покрытия, используемого для защиты от повреждений и просветления оптических элементов и ИК-систем, работающих, в частности, в агрессивных средах. Большую популярность приобрели алмазоподобные (DLC) покрытия, обладающие такими достоинствами как высокая твердость, прозрачность и химическая стойкость. Серьезный недостаток DLC пленок заключается в свойственных им высоких остаточных (внутренних) напряжениях (> 6 ГПа), что способствует деградации (разрушению) покрытия и выходу из строя рабочего элемента [3-9]. Для минимизации остаточных напряжений целесообразно использовать отжиг при высокой температуре ($>400^\circ\text{C}$), но не все подложки могут быть подвергнуты такой обработке. Кремний-углеродные (а-С:H:Si:O) пленки имеют низкие внутренние напряжения (< 1 ГПа), не подвержены графитизации и при этом обладают всеми достоинствами DLC [7, 8].

В данной работе исследовано влияние таких параметров осаждения, как рабочее давление аргона и амплитуда биполярного напряжения смещения подложки на механические и оптические свойства кремний-углеродных пленок. Осаждение пленок проводилось в плазме несамостоятельного дугового разряда с накаливаемым катодом в парах кремнийорганической жидкости [10] на подложки из монокристаллического кремния и стекла. Установлено, что увеличение рабочего давления аргона в вакуумной камере от $2 \cdot 10^{-2}$ Па до $2,5 \cdot 10^{-1}$ Па приводит к повышению прозрачности кремний-углеродных пленок с 70 до 90 %, увеличению их коэффициента преломления с 1,7 до 2,1, а также повышению твердости и модуля упругости пленок с 3 до 9 ГПа и с 35 до 80 ГПа, соответственно. Показано, что увеличение амплитуды биполярного напряжения смещения от 100 до 1300 В способствует увеличению твердости пленок с 3 до 14 ГПа и их коэффициента преломления с 1,9 до 2,45, а также снижению прозрачности пленок (на длине волны 550 нм) с 80 до 10 %.

Кроме этого, морфология полученных кремний-углеродных пленок исследовалась с помощью атомно-силовой микроскопии, а отношение атомов углерода с sp^3 и sp^2 -гибридизаций атомных орбиталей в пленке определялось посредством спектроскопии комбинационного рассеяния света.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mansaro R.D., Ruas R., Mousinho A.P. et al Use of Diamond-like Carbon with Tungsten (W-DLC) films as Biocompatible materials // *Surface & Coatings Technology*. – 2008. – V. 202. – P. 2813-2816.
2. Yan-Yu Liao, Wei-Bo Liao, Cheng-Chung Jaing et al Optical Properties of Transparent Diamond-like Carbon Thin Films // *Optical Interference Coatings*. – 2016. – P. 3.
3. Paul R., Bhattacharyya S., Bhar R., Pal A. Modulating of Residual Stress in Diamond-like Carbon Films with Incorporation of Nanocrystalline Gold // *Applied Surface Science*. – 2011. – V. 257. – P. 10451-10458.
4. Yue W., Gao X., Wang C. et al Microstructure and Friction Reducing Performance of Sulfurized W Doped Diamond-like Carbon Film // *Materials Letters*. – 2012. – V. 73. – P. 202-205.
5. Veverkova J., Hainworth S. Effect of Temperature and Counterface on the Tribological Performance of W-DLC on a Steel Substrate // *Wear*. – 2008. – V. 264. – P. 518-525.
6. Mangolini F., Rose F., Hilbert J. et al Thermally induced evolution of hydrogenated amorphous carbon // *Applied Physics Letters*. – 2013. – V. 103. – P. 161605-1 – 161605-5.

7. Choi H. W., Moon M.-W., Kim T.-Y. et al The Thermal Annealing Effect on The Residual Stress and Mechanical Property in the Compressive Stressed DLC Film // *Materials Science Forum.* – 2005. – V. 475-479. – P. 3619-3622.
8. Randeniya L.K., Bendavis A., Martin P.J. et al Molecular structure of SiO_x-incorporated diamond-like carbon films; evidence for phase segregation // *Diamond & Related Materials.* – 2009. – V. 18. – P. 1167-1173.
9. Damasceno J.C., Camargo S.S. Plasma Deposition and Characterization of Silicon oxide-containing Diamond-like carbon films obtained from CH₄:SiH₄:O₂ gas mixtures // *Thin Solid Films.* – 2008. – V. 516. – P. 1890-1897.
10. Гренадёр А.С., Оскомов К.В., Соловьёв А.А., Работкин С.В. Осаждение кремний-углеродных покрытий из плазмы несамостоятельного дугового разряда с накальным катодом // *Журнал технической физики.* – 2016. – Т. 86. – Вып. 5. – С. 51-56.