

novel monothiooxamides and 1,3,4-thiadiazoles // *Organic & Biomolecular Chemistry*, - 2022. - Vol 20. - pp. 8962-8976.

2. Rifaioglu A.S., Atas H., Martin M.J., Cetin-Atalay R., Atalay V., Doğan T. Recent applications of deep learning and machine intelligence on in silico drug discovery: methods, tools and databases // *Briefings Bioinform.*, - 2019, - Vol. 20. - pp. 1878-1912.

3. Meng X.Y., Zhang H.X., Mezei M., Cui M. Molecular docking: a powerful approach for structure-based drug discovery // *Curr Comput Aided Drug Des.* - 2011. - Vol. 7(2). - pp. 146-157.

4. Tagami T., Yamashita K., Okuyama M., Mori H., Min Y., Kimura A. Molecular basis for the recognition of long-chain substrates by plant  $\alpha$ -glucosidases // *J. Biol. Chem.* - 2013, - Vol. 288. - pp. 19296-19303.

## **ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ЗАГРУЗКИ НА ТОПОГРАФИЮ И МИКРОРЕЛЬЕФ Ni-P ПОКРЫТИЙ**

Петухов И.В., Медведева Н.А., Султанов А.А.

Пермский государственный национальный исследовательский университет

Процесс химического никелирования находит широкое применение благодаря тому, что позволяет осаждать равномерные покрытия на детали сложной конфигурации, на диэлектрики. Покрытия имеют достаточно высокую коррозионную стойкость, твердость, износостойкость.

В настоящее время оптическое волокно (ОВ) используется не только для передачи информации, но и для изготовления датчиков различных физических величин (температуры, напряжений, давления и т.д.) в нефтяной, газовой промышленности, атомной энергетике. Условия эксплуатации датчиков могут включать в себя температуры до 600<sup>0</sup>С, агрессивные среды. Повышение температурной и коррозионной стойкости ОВ представляет актуальную задачу.

Обычно ОВ изготавливается с полимерным защитно-упрочняющим покрытием, которое защищает его от внешних механических воздействий и влаги. Такое оптическое волокно может работать при температурах до 200<sup>0</sup>С. Для повышения рабочей температуры используют металлизированные ОВ, в которых защитно-упрочняющее покрытие из меди или алюминия наносится непосредственно в башне вытяжки из расплавленного металла. Рабочая температура таких волокон на воздухе составляет 350-400<sup>0</sup>С.

Для повышения коррозионной стойкости и термостойкости можно поверх металлизированного слоя из меди наносить слой никелевого покрытия. Это может осуществляться электрохимическим или химическим никелированием. В первом случае потребуются непрерывная протяжка волокна через ванну никелирования, во втором случае, благодаря особенностям процесса можно покрытие наносить на моток оптического волокна.

Никель-фосфорные покрытия, полученные химическим осаждением, на поверхности оптического волокна должны быть равномерными (рис. 1 а), со сглаженной микроструктурой и низкой шероховатостью, что в свою очередь, задается условиями осаждения и составом раствора химического никелирования. Одним из значимых факторов является плотность загрузки (отношение площади покрываемой поверхности к объему раствора).

В работе методами интерференционной микроскопии, бесконтактной 3D профилографии, сканирующей электронной микроскопии исследованы процессы роста Ni-P покрытий, формируемых из ацетатного раствора химического никелирования при плотностях загрузки от 0,5 до 3,0 дм<sup>2</sup>/л.

В процессе роста Ni-P покрытия на поверхности формируются «сфероиды» (рис.1 б).

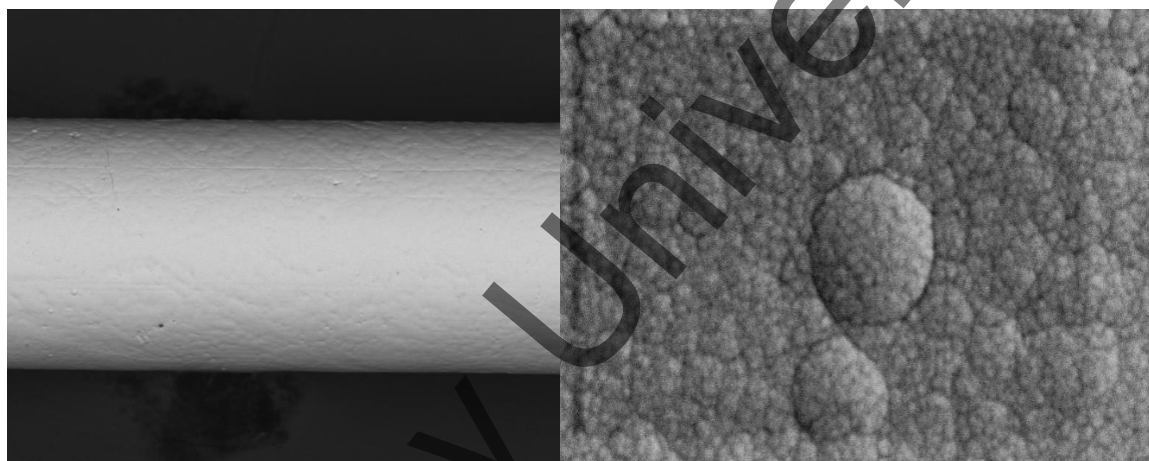


Рис.1. Микротомография Ni-P покрытия на поверхности Si защитно-упрочняющего покрытия на оптическом волокне (а), «сфероидная» структура покрытий (б). Увеличение: а – 250, б – 5000

Установлено, что повышение плотности загрузки не вызывает увеличения микрошероховатости покрытий. При плотности загрузки 2,0 дм<sup>2</sup>/л наблюдается даже снижение микрошероховатости покрытий.

Некоторое увеличение шероховатости покрытий при плотности загрузки 3,0 дм<sup>2</sup>/л связано с тем, процесс роста происходит в условиях низкой скорости осаждения и локализации процессов роста на отдельных участках поверхности при пассивации остальной поверхности покрытия.

Образующиеся в процессе роста покрытия «сфероиды» сильно вытянуты в плоскости подложки (рис.2), отношение среднего радиуса к высоте >100.С ростом плотности загрузки происходит уменьшение средней высоты «сфероидов», зависимость радиуса сфероидов от плотности загрузки имеет сложный характер. Радиусы «сфероидов» максимальны при плотности

загрузки  $2,0 \text{ дм}^2/\text{л}$ . Аналогичным образом изменяется среднее значение отношения радиуса «сфероидов» к высоте от плотности загрузки.

Оценка скоростей роста «сфероидов» в горизонтальном и вертикальном направлениях, в рамках механизма слоистого роста, показывает снижение скорости роста в вертикальном направлении с ростом плотности загрузки и наличие максимума на зависимости скорости горизонтального роста от плотности загрузки при значении  $2,0 \text{ дм}^2/\text{л}$ .

Статистический анализ выборок радиусов и высот «сфероидов», отношения  $r/h$  для каждой из исследованных плотностей загрузок показал, в большинстве случаев распределение «сфероидов» по размерам не подчиняется нормальному закону. Отклонения от нормального закона обусловлены повышенными значениями коэффициента асимметрии. Это связано с тем, что с увеличением плотности загрузки происходит агрегация отдельных «сфероидов», детализация структуры, которых затруднена из-за недостаточного горизонтального разрешения используемого нами метода интерференционной микроскопии, бесконтактной 3D профилографии.

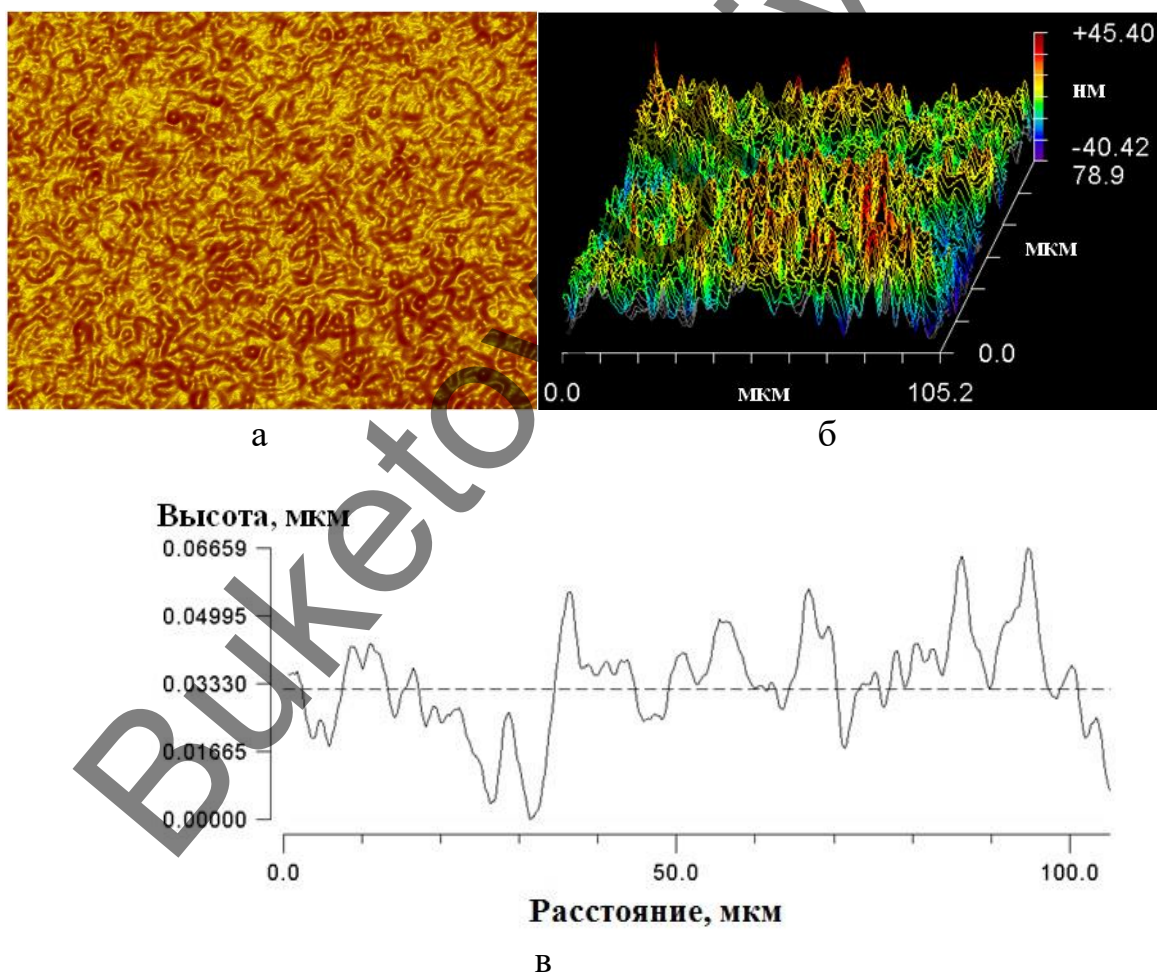


Рис. 2. Топография и микрорельеф Ni-P покрытия: а – карта градиентов; б – 3D изображение поверхности; в – микропрофиль вдоль выделенного направления. Плотность загрузки  $0,5 \text{ дм}^2/\text{л}$

Благодарности: исследование выполнено при поддержке Пермского научно-образовательного центра «РАЦИОНАЛЬНОЕ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ», 2023.

## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В СУЛЬФИТНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТАХ ЗОЛОЧЕНИЯ И СВОЙСТВА ПОЛУЧАЕМЫХ ПОКРЫТИЙ

Петухов И.В.<sup>1</sup>, Попова А.М.<sup>2</sup>, Кичигин В.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет

<sup>2</sup>Пермская научно-производственная приборостроительная компания

Для осаждения толстых слоев золота в микроэлектронике, оптоэлектронике, интегральной оптике используются сульфитные электролиты золочения. Они имеют нейтральное значение pH, что позволяет осаждать достаточно толстые слои золота ( $\geq 20$  мкм) через маску фоторезиста при изготовлении различных устройств, работающих в СВЧ-диапазоне.

Из сульфитных электролитов осаждаются мягкие, блестящие покрытия, обладающие невысокими внутренними напряжениями даже при значительной толщине покрытий, если подобраны оптимальные условия осаждения и состав электролита. Для стабильной и продолжительной работы сульфитных электролитов необходимо использовать стабилизирующие добавки.

В работе исследованы два электролита золочения:

1. Электролит №1 на основе сульфита натрия с добавкой 2,2'-дипиридила в качестве стабилизатора. Состав, г/л: Au (в пересчете на металл) – 8,5, сульфит натрия – 40, этилендиамин – 32, 2,2'-дипиридил – 0,1; pH электролита – 7,2. В данном электролите золото присутствует в виде комплексного соединения  $\text{Na}_3\text{Au}(\text{SO}_3)_2$ . Рабочая плотность тока 20–25 А/м<sup>2</sup>, выход по току 96–98%. Введение добавки 2,2'-дипиридила несколько повышало твердость (до ~0,85 ГПа) и шероховатость покрытий.

2. Электролит №2 на основе сульфита аммония. Состав электролита, г/л: Au (в пересчете на металл) – 9,0, сульфит аммония – 100; pH электролита – 6,8. Золото присутствует в виде комплексного соединения  $(\text{NH}_4)_3\text{Au}(\text{SO}_3)_2$ . Рабочая плотность тока 20–40 А/м<sup>2</sup>, выход по току 94–95%. Покрытия были блестящие и имели низкую твердость –  $0,66 \pm 0,05$  ГПа. После добавления к электролиту этилендиамина (32 г/л) повышался выход по току до 97–98% и микротвердость – до  $0,82 \pm 0,04$  ГПа. По данным электронной микроскопии, средний размер кристаллитов при этом уменьшался с 37 нм до 27 нм.

В обоих электролитах осаждение покрытий проводилось при температуре 50<sup>0</sup>С в условиях перемешивания.

Электрохимические процессы, протекающие в сульфитных электролитах золочения, как катодные, так и анодные процессы, недостаточно хорошо изучены. В связи с этим проведены электрохимические исследования в электролитах №1 и №2. Электрохимические измерения проводились на