

**Figure 1.** Kinetic curves of the photocatalytic hydrogen production over NT and NT 350 photocatalysts under UV-irradiation.

**Acknowledgements.** This study was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (Project No. 20-03-00299).

#### References

1. *Chen X., Mao S.S.* // Chem. Rev. 2007. V. 107. P. 2891-2959.
2. *Kozlova E.A., Parmon V.N.* // Russ. Chem. Rev. 2017. V. 86. P. 870-906.
3. *Recatalá D., Llusar R., Gushchin A.L.* // Chem. Sus. Chem. 2015. V. 8. P. 148-157.
4. *Valeeva A.A., Kozlova E.A., Vokhmitsev A.S., Kamalov R.V., Dorosheva I.B., Saraev A.A., Weinstein I.A., Rempel A.A.* // Sci. Reports. 2018. V. 8. P. 9607.

УДК 661.965

### ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ПАЛЛАДИЕВЫХ ПОКРЫТИЙ ТИПА НАНОЗВЕЗДЫ И НАНОЦВЕТЫ НА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНУЮ ВОДОРОДОПРОНИЦАЕМОСТЬ ЧЕРЕЗ Pd-Ag МЕМБРАНЫ

И.С. Петриев<sup>1\*</sup>, П.Д. Пушанкина<sup>1</sup>, И.С. Луценко<sup>1</sup>, Ю.С. Глазкова<sup>1</sup>,  
Т.И. Мальков<sup>1</sup>, М.Г. Барышев<sup>1</sup>

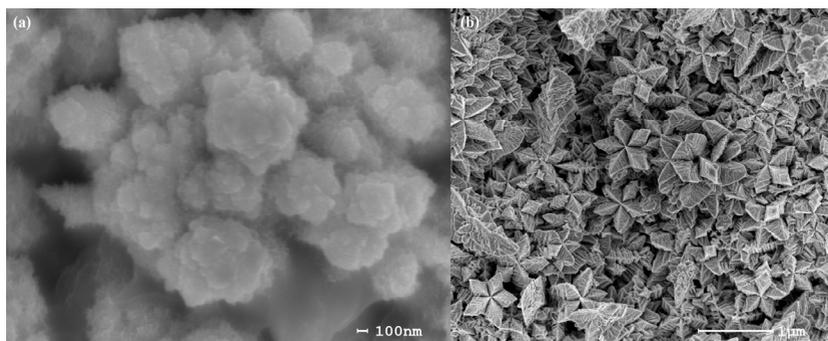
<sup>1</sup> Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия  
\*petriev\_iliya@mail.ru

Мембраны на основе палладия используются для производства водорода высокой степени чистоты. Одним из способов модификации



поверхности мембран является создание наноструктурированного слоя с помощью порошкообразных хемосорбирующих водород веществ [1]. Целью данного исследования было получение стойких к длительному использованию палладийсодержащих пленок, модифицированных пентагонально структурированным покрытием типа «наноцветы», способных пропускать водород при низких температурах. Это позволит снизить энергетические затраты в процессе получения высококачественного водорода, а также использовать разработанные мембраны для создания водородного электрода кислородно-водородного топливного элемента, работающего при низких (0-100 °С) температурах.

В ходе данного исследования были получены два метода модификации поверхности: классический метод палладиевой черни «наночастицы» и новый авторский метод «наноцветы». Микрофотографии поверхности модифицированных пленок, полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-7500F, показаны на рисунке 1.



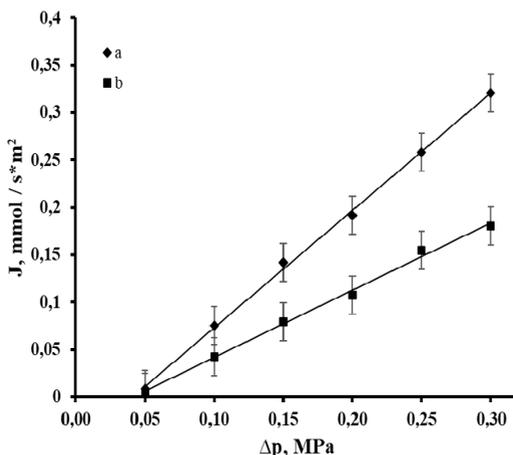
**Рисунок 1.** Микрофотографии поверхности палладий-серебряных плёнок с модифицирующими покрытиями, полученными методами: (а) «наночастицы» и (б) «наноцветы»

Пентагонально структурированные нанокристаллиты палладия были получены электрохимическим методом из рабочего раствора, содержащего поверхностно-активное вещество – тетрабутиламмоний бромид. Необходимым условием получения таких структур являлась пониженная плотность тока, по сравнению с классическим методом палладиевой черни.

Тонкие палладий-серебряные пленки толщиной 10 мкм с двух сторон были модифицированы разработанными покрытиями. После чего данные пленки в качестве мембран исследовались в процессах водородопроницаемости. Как видно из рисунка 2, значения плотности потока водорода для мембран, модифицированных методом «наноцветы» при-



близительно в 1,8 раза выше значений для мембран, полученных методом классической палладиевой черни.



**Рисунок 2.** Зависимость плотности потока от избыточного давления водорода на входной стороне мембран, модифицированных методами (а) «наноцветы» и (б) «наночастицы»

Номинально это очень маленькие значения, но в условиях пониженной температуры они являются достаточно существенными, поскольку в данном температурном диапазоне практически отсутствует стабильная проницаемость.

Образование на поверхности мембран покрытий с принципиально новыми структурными организациями – «наноцветы» – повышает адсорбционную активность поверхности, что сказывается на каталитической активности материала по отношению к реакциям с участием водорода, как в работе [2]. Это же, на наш взгляд, является причиной снижения энергетического барьера процесса диссоциации и рекомбинации молекул водорода на поверхности мембраны, что приводит к увеличению скорости проникновения водорода через мембрану на основе сплава Pd-23%Ag. Полученные экспериментальные данные позволяют говорить о том, что рост адсорбционной активности поверхности мембраны обусловлен не только экстенсивным путем – увеличения развитости, удельной площади покрытия, но и интенсивным – создания заданной структурной организации модифицирующего покрытия.

Важной особенностью эксперимента стала увеличенная плотность проникающего потока вопреки сниженной реальной площади поверхности. Эта особенность была зафиксирована у мембран, имеющих более низкую шероховатость, но обладающих пентагонально структу-



рированной организацией поверхности. Это происходило вопреки классическим представлениям об ускорении поверхностных стадий транспорта водорода, говорящим о безальтернативности экстенсивного увеличения развитости и удельной площади поверхности палладиевых мембран.

Работа выполнена при финансовой поддержке основной части государственного задания Министерства науки и высшего образования Кубанского государственного университета № FZEN-2020-0022 и гранта РФФИ и Краснодарского края № 19-42-233004.

#### Список источников:

1. *Vielstich W.* // Berichte der Bunsengesellschaft für physikalische Chemie. 1966. V. 70. P. 224.
2. *Lytkina A.A., Orekhova N.V., Ermilova M.M., Petriev I.S., Baryshev M.G., Yaroslavtsev A.B.* // Int. J. Hydrogen Energy. 2019. V. 44. P. 13310-13322.

УДК 661.965

### НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ СИНТЕЗ И ЭЛЕКТРОКАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗВЕЗДОБРАЗНЫХ НАНОКРИСТАЛЛИТОВ НА ОСНОВЕ ПАЛЛАДИЯ

И.С. Петриев\*, П.Д. Пушанкина, И.С. Луценко, Ю.С. Глазкова,  
Т.И. Мальков, М.Г. Барышев

*Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия*

*\*petriev\_iliya@mail.ru*

Наночастицы благородных металлов широко используются в качестве катализаторов в реакциях каталитического восстановления кислорода, топливных элементах и других гетерогенных каталитических процессах. Металлы платиновой группы считаются универсальными катализаторами в различных реакциях. Палладий является достаточно устойчивым к каталитическим ядам, таким как монооксид углерода (СО), что делает его перспективным материалом для использования в кислородно-водородных и спиртовых топливных элементах.

В ходе исследования были разработаны две методики синтеза биметаллических наноструктурированных катализаторов на поверхности палладийсодержащих пленок типа «наночастицы» и «нанозвезды» (рисунк 1).