

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТА ВОДОРОДА ЧЕРЕЗ НИОБИЕВЫЕ МЕМБРАНЫ С МОДИФИЦИРУЮЩИМ ПОКРЫТИЕМ НА ОСНОВЕ ПАЛЛАДИЕВЫХ НАНОКРИСТАЛЛИТОВ\*

И.С. Петриев, И.С. Луценко, П.Д. Пушанкина, В.Ю. Фролов,  
Ю.С. Глазкова, Т.И. Мальков, А.М. Гладких, М.А. Откидач,  
Е.Б. Сыпало, П.М. Барышев, Н.А. Шостак, Г.Ф. Копытов

*Кубанский государственный университет, г. Краснодар, Россия*

Разработана методика получения модифицирующего нанокристаллического покрытия для газодиффузионных Pd–Nb–Pd-мембран. Модифицирующее покрытие в виде палладиевых нанокристаллитов синтезировано методом электрохимического осаждения. Плотность потока водорода через модифицированные Pd–Nb–Pd-мембраны достигает значения  $0.024$  моль/(с·м<sup>2</sup>) в диапазоне избыточного давления при оптимальной рабочей температуре 300 °С. Полученное значение для модифицированных наноструктурированным покрытием мембран в 1.6 раза выше, чем для аналогичных мембран без модифицирующего слоя. Экспериментально подтверждено, что модификация поверхности мембраны наноструктурированным покрытием увеличивает скорость переноса водорода через Pd–Nb–Pd-мембраны за счет ускорения диссоциативно-ассоциативных процессов на поверхности.

**Ключевые слова:** водородопроницаемость, палладий-ниобиевые мембраны, металлы пятой группы, модификация поверхности, палладиевые нанокристаллиты, сверхчистый водород.

### Введение

Развитие водородной энергетики приводит к увеличению спроса на водород высокой степени чистоты. Высокочистый водород широко применяется в нефтехимии для производства углеводородных топлив и используется в технологиях микроэлектроники. Один из наиболее простых и эффективных способов его получения – мембранное выделение. В связи с этим актуальной научно-технической задачей является разработка высокопроизводительных мембранных фильтров водорода. На данный момент роль таких мембранных фильтров в основном выполняют металлические мембраны. Обычно в качестве основы водородопроницаемых мембран используются палладий и его сплавы, поскольку они обладают высокой селективностью по отношению к водороду [1, 2]. Однако высокая цена таких мембран и относительно невысокая производительность являются их серьезными недостатками. Многочисленные исследования [3, 4], проведенные за последние несколько лет, показывают, что металлы пятой группы являются перспективным и достаточно недорогим материалом для создания водородопроницаемых мембран. Поэтому транспорт водорода через мембраны на их основе происходит на порядки быстрее, чем через мембраны на основе палладия. Это обуславливается высокой скоростью транскристаллического переноса водорода через кристаллическую решетку металлов пятой группы.

Тем не менее существует ряд проблем, мешающих использованию металлов пятой группы в чистом виде в качестве основы для водородопроницаемых мембран. Одна из проблем заключается в высокой растворимости водорода в этих металлах. В рабочих условиях растворимость приводит к недопустимо высокой концентрации растворенного водорода. В дальнейшем это может привести к механическому разрушению мембраны [5]. Известным решением данной проблемы является легирование металлов пятой группы другими металлами. Например, в работах [6, 7] отмечены более высокая скорость потока и механическая прочность у мембран сплавов ниобия с вольфрамом, рутением и молибденом в сравнении с чистым ниобием.

Другая проблема, на данный момент не решенная в полной мере, заключается в образовании поверхностных оксидных слоев, которые блокируют процессы диссоциативной адсорбции и ассоциативной десорбции молекул водорода, тем самым препятствуя их проникновению через мембрану. Эту проблему можно устранить нанесением тонкого защитного слоя палладия на поверх-

\* Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания Кубанского государственного университета № FZEN-2020-0022, РФФИ и администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 20-42-235001 и Кубанского научного фонда в рамках гранта № МФИ-20.1/132.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала  
**«Известия высших учебных заведений. Физика»**  
осуществляется на платформе  
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU  
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>