

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ СОРБЦИИ-ДЕСОРБЦИИ ВОДОРОДА В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ

В.Н. Кудияров, А.М. Лидер, И. Саквин, Г.В. Гаранин, В.В. Федоров

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: kudiyarov@tpu.ru

Автоматизированный комплекс управления газовыми процессами предназначен для высокоточного определения сорбционных и десорбционных характеристик по водороду различных материалов, в том числе в новых функциональных материалах, как в ручном, так и в полностью автоматическом режимах проведения экспериментального исследования. Высокая точность определения характеристик достигается за счет высокоэффективных аппаратно-программных средств измерения термодинамических параметров газа и методик обработки полученных данных. Автоматизированный комплекс управления газовыми процессами выполнен в виде комплекса оборудования, позволяющего выполнять определение сорбционных и десорбционных характеристик по водороду различных материалов. Установка состоит из газового тракта с портом для реакционных камер, вакуумного откачного поста, квадрупольного масс-спектрометра, реакционной камеры, трубчатой печи, системы подачи газов, системы измерения термодинамических параметров, системы управления газовым трактом, управляющего компьютера с программным обеспечением. Программное обеспечение комплекса включает в себя программный модуль сбора, визуализации и анализа данных термодинамических измерений и программный модуль обработки данных и управления масс-спектрометром.

Газовый тракт и вакуумный откачной пост в режиме откачивания обеспечивают уровень вакуума не хуже, чем $1 \cdot 10^{-4}$ мбар при производительности вакуумного насоса не менее $1 \text{ м}^3/\text{ч}$. Квадрупольный масс-спектрометр обеспечивает анализ выделяющихся газов в диапазоне давлений до $1 \cdot 10^{-4}$ мбар в режиме реального времени с диапазоном работы 1...100 а.е.м. и имеет независимую высоковакуумную откачку и возможность дросселирования потока из реакционной камеры. Реакционная камера обеспечивает возможность проведения исследований процессов сорбции и десорбции газов образцами объемом до 10 см^3 с размерами, не менее $18 \times 20 \times 2$ мм. Газовый тракт и реакционная камера обеспечивают возможность проведения исследования процессов сорбции и десорбции газов в диапазоне давлений газов до 50 бар. Трубчатая печь обеспечивает нагрев реакционной камеры до температуры $900 \text{ }^\circ\text{C}$ в ручном и автоматическом режимах. Система питания позволяет поддерживать постоянной скоростью изменения температуры образца в диапазоне 0,1-10 К/мин. Система подачи газов обеспечивает напуск газов, в том числе водорода, до максимального давления в вакуумном тракте и в реакционной камере 50 бар, число каналов подключения газа 3. Система измерения термодинамических параметров обеспечивает измерение термодинамических параметров газа с точностью $\pm 2\%$ для давления и $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ для температуры. Система проведения измерений и анализа результатов обеспечивает проведение исследований с точностью не хуже 10 % процессов сорбции и десорбции газов, в режимах откачка, напуск, РСІ-сорбция, РСІ-десорбция, анализ термостимулированного газовойделения с задаваемой скоростью нагрева.

Программный модуль управления обеспечивает автоматическую работу комплекса в режимах откачка, напуск, РСІ-сорбция, РСІ-десорбция, анализ термостимулированного газовойделения с задаваемой скоростью нагрева. Программный модуль сбора, визуализации и анализа данных термодинамических измерений обеспечивает непрерывную регистрацию термодинамических данных процессов сорбции и десорбции газов в реакционной камере. Программный модуль сбора, визуализации и анализа данных термодинамических измерений обеспечивает визуализацию термодинамических данных процессов сорбции и десорбции газов в реакционной камере в виде двумерных графиков, отображающих в реальном времени параметры процесса. Программный модуль сбора, визуализации и анализа данных термодинамических измерений обеспечивает анализ ранее сохраненных экспериментальных данных. Программный модуль обработки данных и управления масс-спектрометром обеспечивает вывод и визуализацию данных масс-спектрометра в режиме отображения парциального давления и относительной интенсивности линий выбранных для анализа масс частиц.

Проверка работоспособности комплекса и оценка достоверности получаемых результатов выполнены во всем диапазоне значений экспериментальных давлений и температур с использованием порошка LaNi_5 и сплавов титана и циркония с различным состоянием поверхности. Полученные результаты хорошо согласуются с литературными и табличными данными и с фундаментальными знаниями в области изучения процессов взаимодействия водорода с твердыми телами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания «Наука» в рамках научного проекта № FSWW–2020–0017.