

СПОСОБ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ВАКУУМНОЙ КАМЕРЫ ТОРСАТРОНА УРАГАН-2М

Г.П. Глазунов, В.К. Пашнев

*Институт физики плазмы Национального научного центра
“Харьковский физико-технический институт”*

Поступила в редакцию 12.04.2012

Предложен метод оперативной оценки степени загрязненности стенки вакуумной камеры установки Ураган-2М основанный на процессе десорбции газов в вакууме с поверхности образца нержавеющей стали 12Х18Н10Т при его нагреве до 250 – 300 °С. Изготовлено, откалибровано на специальном стенде, и установлено в установке У-2М устройство, позволяющее регистрировать малые потоки десорбирующихся газов во время импульсного нагрева образца. Апробация метода во время предварительной откачки У-2М в течение нескольких дней показала снижение уровня загрязнения поверхности (уменьшение газовой выделенности при нагреве до 250 °С) примерно в 40 раз при улучшении вакуума с $1,6 \cdot 10^{-6}$ Торр до $6,4 \cdot 10^{-7}$ Торр. Предполагается использовать данную методику для оценки качества различных сценариев процесса чистки поверхности вакуумной камеры (wall conditioning) при подготовке торсатрона Ураган-2М к плазменным экспериментам.

Ключевые слова: торсатрон Ураган-2М, состояние поверхности, диагностика, газовой выделение в вакууме.

Запропоновано метод оперативної оцінки ступеня забрудненості стінки вакуумної камери установки Ураган-2М заснований на процесі десорбції газів у вакуумі з поверхні зразка неіржавіючої сталі 12Х18Н10Т при його нагріві до 250 – 300 °С. Виготовлено, відкалібровано на спеціальному стенді, і встановлено в установці У-2М пристрій, що дозволяє реєструвати малі потоки газів, що десорбуються, під час імпульсного нагріву зразка. Апробація методу під час попереднього відкачування У-2М протягом декількох днів показала зниження рівня забруднення поверхні (зменшення газовой виділеності при нагріві до 250 °С) приблизно в 40 разів при поліпшенні вакууму з $1,6 \cdot 10^{-6}$ Торр до $6,5 \cdot 10^{-7}$ Торр. Передбачається використовувати дану методику для оцінки якості різних сценаріїв процесу чищення (wall conditioning) при підготовці торсатрона Ураган-2М до плазмових експериментів.

Ключові слова: торсатрон Ураган-2М, стан поверхні, діагностика, газовой виділення у вакуумі.

The method has been suggested for operative estimation of impurity level of Uragan-2M vacuum chamber surfaces. It is based on the desorption process in a vacuum from the surface of stainless steel probe during its heating up to temperature of 250 – 300 °С. To perform the experiments the device was designed, manufactured and installed in the U-2M vacuum chamber, which gives possibility to register low flows of gases desorbed from the 12KH8N10T stainless steel sample during its pulsed heating. Method approbation under U-2M preliminary pumping during some days had shown decrease of the surface impurity level (decrease of outgassing in a vacuum at the sample heating up to 250 °С) in 40 times at the vacuum improvement from $1,6 \cdot 10^{-6}$ Torr $6,5 \cdot 10^{-7}$ Torr. It is proposed to use this method to estimate the quality of various scenarios of wall conditioning process under Uragan-3M torsatron preparing to plasma experiments.

Keywords: torsatron Uragan-2M, wall conditions, diagnostics, outgassing in vacuum.

ВВЕДЕНИЕ

Чистка поверхности стенок вакуумных камер термоядерных установок (wall conditioning) является обязательным технологическим процессом их подготовки к проведению плазменных экспериментов. Степень загрязнения

этой поверхности (количество монослоев примесных газов, скорость газовой выделенности в вакууме) во многом определяет предельный вакуум в установке и потоки примесей в плазме во время разрядов. Особенно остро эта проблема стоит для непрогреваемых плазменных установок. В торсатронах Ураган-2М и

Ураган-3М чистка поверхностей обращенных в плазму осуществляется ВЧ разрядами в атмосфере водорода [1, 2]. Контроль за эффективностью чистки производится обычно по изменению интенсивности свечения спектральных линий СIII, CIV во время рабочих разрядов. Кроме того, проводится масс-спектрометрический анализ остаточного газа и измерение предельного вакуума. Эти методы контроля дают информацию о концентрации примесей в объеме вакуумной камеры. Однако для плазменных экспериментов важно знать не только предельный вакуум и парциальные давления примесных газов в объеме, но и количество примесей на поверхности стенки вакуумной камеры. С другой стороны известен достаточно простой способ оценки степени загрязненности поверхности (количества монослоев сорбированных на ней газов) при помощи метода термодесорбции [3, 4]. Он заключается в том, что в вакуумную камеру размещают металлический образец, нагреваемый электрическим током. Прирост давления, обусловленный десорбцией газов с поверхности образца пропорционален количеству монослоев, т.е. степени загрязнения. Представляло интерес изучить возможность использования такого метода для диагностики степени загрязнения поверхностей вакуумной камеры У-2М и оценки эффективности различных методов их чистки.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 1 показана схема эксперимента. В вакуумную камеру установки У-2М (1) устанавливался зонд (2), представлявший собой полосу из нержавеющей стали 12Х18Н10Т (из такого же материала изготовлена стенка вакуумной камеры У-2М) размером 10×190×0,3 мм. Зонд через токоподводы (3) подсоединен к блоку питания, позволяющему проводить импульсный (3 – 5 сек) нагрев зонда до заданной температуры. Верхняя граница температурного диапазона была 300 °С, поскольку при более высоких температурах начинается диффузионное выделение газов из нержавеющей стали. Определяемой характеристикой была удельная скорость газовыделения q (Торр·л/с·см²) при нагреве зонда в вакууме.

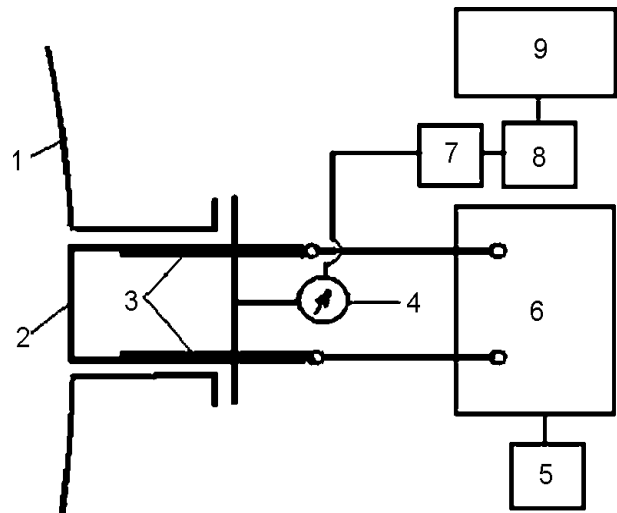


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 – стенка вакуумной камеры У-2М, 2 – зонд из нержавеющей стали, 3 – токоподводы, 4 – лампа ПМИ-2, 5 – реле времени, 6 – блок питания, 7 – прибор ВИТ-2, 8 – модуль аналогового ввода WAD-AIK-BUS, 9 – компьютер.

Перед размещением зонда в камере У-2М проводилась его калибровка по напряжению нагрева и удельному газовыделению при температурах 200 – 300 °С на специальном стенде “Блок газоанализатора Ураган-2М”. Методика измерения газовыделения описана ранее в [5]. Единственным отличием был импульсный нагрев образца, что позволило свести к минимуму газовыделение окружающих зонд деталей. Апробация метода проводилась в период высоковакуумной откачки камеры У-2М после ее вскрытия на атмосферу и последующей герметизации. Первые данные снимали после достижения в камере У-2М вакуума $\sim 1,6 \cdot 10^{-6}$ Торр. Проводился нагрев зонда до требуемой температуры (200 – 300 °С) прямым пропусканием электрического тока и измерялось максимальное увеличение давления p , вызванного десорбцией газов с поверхности образца. Изменение давления в трубке от времени (рис. 2) автоматически записывалось при помощи модуля WAD-AIK-BUS на компьютере. Скорость газовыделения определялась из уравнения $q = (p - p_0)S/2F$, где p_0 и p – начальное и конечное давление, S – проводимость трубка, F – эффективная площадь поверхности образца. Обработка кривых (рис. 2), снятых при различном давлении в камере установки Ураган-2М (измерения проводились до предельного давления $\sim 6,4 \cdot 10^{-7}$ Торр) дает динамику

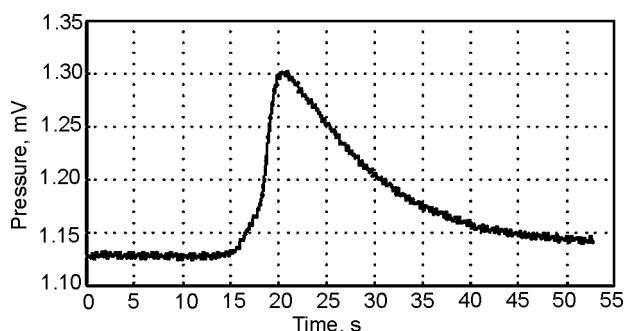


Рис. 2. Аппаратная кривая изменения давления от времени в патрубке У-2М (температура зонда 250 °С, начальное давление $1,13 \cdot 10^{-6}$ Торр).

снижения скорости газовой выделению стенок вакуумной камеры (рис. 3).

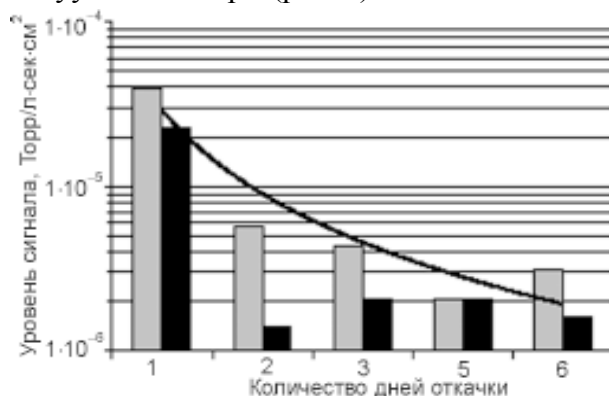


Рис. 3. Зависимость скорости газовой выделению нержавеющей стали от продолжительности откачки камеры У-2М: серым цветом отмечены данные измеренные в 10 часов, черным – в 15 часов того же дня.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Из рис. 3 следует, что при улучшении вакуума в установке У-2М от $6 \cdot 10^{-6}$ Торр до $6,5 \cdot 10^{-7}$ Торр скорость газовой выделению при нагреве зонда снижается более чем на порядок. Поскольку количество десорбируемого газа пропорционально количеству монослоев газа на поверхности зонда, можно говорить о соответствующем их уменьшении на поверхности вакуумной камеры У-2М. Для количественной оценки числа монослоев n на поверхности камеры воспользуемся следующим уравнением $n(\text{см}^{-2}) = V \cdot L / N_w$, где $V(N \text{ см}^3) = qt$ – объем газа, десорбированный с единицы поверхности зонда, t – время десорбции газа, L – количество молекул в см^3 газа (число Лошмидта). При расчете количества молекул в монослое N_w полагалось, что основной сорбированный газ – пары воды (по данным [6] $N_w = 5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$). Это подтверждается дополнительными масс-спектрометрическими

исследованиями с аналогичным зондом на специальном стенде для измерения газовой выделению материалов [5]. В масс-спектре десорбирующихся при 250 – 300 °С газов (см. рис. 4) основная доля принадлежит H_2O . Значения q для температур 250 °С и 300 °С взяты из работы [5]. При температуре десорбции 250 °С количество монослоев “слетевших” с поверхности зонда составило ~ 30 (вакуум в камере $1,6 \cdot 10^{-6}$ Торр) и ≈ 2 для предельного вакуума $6,4 \cdot 10^{-7}$ Торр. Заметим, что повышение температуры десорбции до 300 °С существенно увеличивает количество десорбируемого газа и, соответственно, повышает чувствительность метода. Кроме того, для измерений при очень низких давлениях возможно использование “открытой” ионизационной лампы вблизи зонда, или датчика масс-спектрометра.

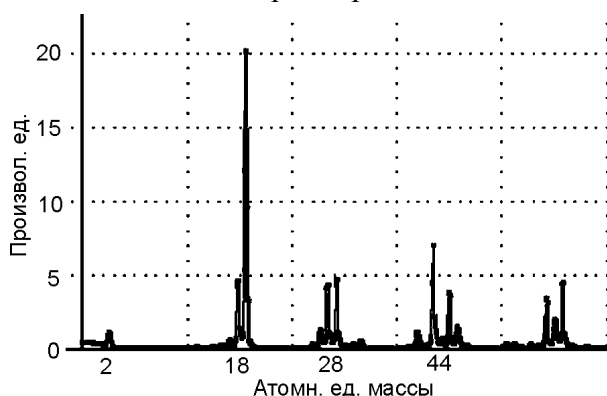


Рис. 4. Масс-спектр остаточных газов в камере измерений при нагреве образца нержавеющей стали до температуры 250 °С, ($p \sim 10^{-6}$ Торр).

ВЫВОДЫ

Предложен метод оперативной оценки степени загрязненности стенки вакуумной камеры установки Ураган-2М, основанный на процессе десорбции газов в вакууме с поверхности образца нержавеющей стали 12Х18Н10Т при его нагреве до 250 – 300 °С. Апробация метода во время предварительной откачки У-2М в течение нескольких дней показала снижение уровня загрязнения поверхности (уменьшение газовой выделению при нагреве до 250 °С) примерно в 40 раз при улучшении вакуума с $1,6 \cdot 10^{-6}$ Торр до $6,4 \cdot 10^{-7}$ Торр. Предполагается использовать данную методику для оценки качества различных сценариев процесса чистки (wall conditioning) при

подготовке торсатрона Ураган-2М к плазменным экспериментам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Назаров Н.И., Плюснин В.В., Ранюк Т.Ю. и др. Очистка поверхностей установки Ураган-3 плазмой// Физика плазмы. - 1987. - Т. 13. - С. 1511-1515.
2. Volkov E.D., Nazarov N.I., Glazunov G.P. The cleaning of surfaces and coating deposition with the use of low temperature RF discharge plasmas//In Proc. of Int. Conf. on Phenomena in Ionized Gases (Warsaw, Poland). Contributed papers. - 1999. - Vol. 1. - P. 205-206.
3. Сорбционные процессы в вакууме/Под ред. К.Н. Мызникова. - М.: Атомиздат, 1966. - 316 с.
4. Измерение давления в вакуумных системах/ Под ред. Л.П. Хавкина. - М.: Мир, 1966. - 208 с.
5. Глазунов Г.П., Андреев А.А., Барон Д.И., Шулаев В.М., Столбовой В.А., Чернышенко В.Я. Влияние способа нанесения вакуумно-дуговых TiN покрытий на их газовыделение в вакууме при высоких температурах//Физическая инженерия поверхности. - 2009. - Т. 7, № 4. - С. 341-346.

6. Дэшман С. Научные основы вакуумной техники. - М.: Мир, 1964. - 716 с.

LITERATURA

1. Nazarov N.I., Plyusnin V.V., Ranyuk T.Yu. i dr. Ochistka poverhnostej ustanovki Uragan-3 plazmoj// Fizika plazmy. - 1987. - T. 13. - S. 1511-1515.
2. Volkov E.D., Nazarov N.I., Glazunov G.P. The cleaning of surfaces and coating deposition with the use of low temperature RF discharge plasmas//In Proc. of Int. Conf. on Phenomena in Ionized Gases (Warsaw, Poland). Contributed papers. - 1999. - Vol. 1. - P. 205-206.
3. Sorbcionnye processy v vakuume/ Pod red. Myznikova K.N. - M.: Atomizdat, 1966. - 316 s.
4. Izmerenie davleniya v vakuumnyh sistemah/ Pod red. L.P. Havkina. - M.: Mir, 1966. - 208 s.
5. Glazunov G.P., Andreev A.A., Baron D.I., Shulaev V.M., Stolbovoj V.A., Chernyshenko V.Ya. Vliyanie sposoba nanoseniya vakuumno-dugovyh TiN pokrytij na ih gazovydelenie v vakuume pri vysokih temperaturah//Fizicheskaya inzheneriya poverhnosti. - 2009. - T. 7, № 4.- S. 341-346.
6. Dushman S. Nauchnye osnovy vakuumnoj tehniki. - M.: Mir, 1964. - 716 s.