

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОЩНОСТИ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО РАЗРЯДА В ВОДОРОДНОЙ ПЛАЗМЕ НА НАКОПЛЕНИЕ ВОДОРОДА В ТИТАНЕ

Ван Яомин, Сун Хонгвей, А.А. Мазыкин

Научный руководитель: В.С. Сыпченко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: wangym1110@mails.jlu.edu.cn

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE HIGH-FREQUENCY DISCHARGE POWER IN HYDROGEN PLASMA ON ACCUMULATION OF HYDROGEN IN TITANIUM

Van Yaomin, Sun Hongwei, A.A. Masykin

Scientific Supervisor: Teaching assistant V.S. Sypchenko

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: wangym1110@mails.jlu.edu.cn

The effect of power of high-frequency discharge in hydrogen plasma on the efficiency of hydrogen absorption in titanium placed in the stream of plasma was studied. A strong increase of the efficiency of hydrogen absorption in VT1-0 titanium with increasing of the discharge power is obtained. Optimum absorbed power of generator for the effective saturation as 250 watts are obtained.

Взаимодействие молекулярного водорода с металлами изучается на протяжении последнего столетия. Взаимодействие низкоэнергетических атомов водорода с металлами также представляет значительных интерес как с точки зрения фундаментальных исследований, так и в связи с работой крупных токамаков. Ограниченность экспериментальных данных в области водородного материаловедения и химии гидридов обусловлен сложностью и специфическими особенностями проведения эксперимента в активированных газовых средах [1].

Растворимость атомов водорода в металлах зависит от многих факторов, которые можно разделить на внешние и внутренние [1,2]. К внешним факторам относятся температура, давление, различного рода влияний внешнего электрического и магнитного полей. Внутренние факторы определяются природой растворителя и растворяемого вещества. Подробные исследования влияния этих факторов на растворимость примеси внедрения и замещения в металлах и сплавах проведены в обзорах [1].

Насыщение из водородной плазмы (ВП) является одним из наиболее простых способов насыщения. При соответствующем подборе способа получения и параметров плазмы этот способ позволит насыщать материалы до высоких концентраций и высокой чистоты водорода [3]. Для изучения процессов проникновения и состояния водорода в металлах и полупроводниках была разработана и создана установка для насыщения водородом металлов и полупроводников из высокочастотной (ВЧ) ВП [4].

Принципиальная схема вакуумной установки по насыщению из ВП приведена в [4]. Установка, состоит из вакуумной части, источника молекулярного водорода, ВЧ генератор для возбуждения плазмы, системы подогрева и контроля температуры образцов и системой компьютерного управления.

Методика насыщения из ВП на описанной установке состоит в следующем: в начале получают

высокий вакуум ($\sim 10^{-6}$ торр) и включают нагрев для обезгаживания образца при температуре 500 °С или более (в зависимости от материала) в течение часа. После чего понижают скорость откачки вакуумного объема и доводят давление до $P \sim 10^{-3}$ торр. После чего устанавливают нужную температуру для насыщения образца. После обезгаживания образца по системе натекания в реактор подается молекулярный водород, при этом давление в реакторе повышается до необходимого значения $\sim 10^{-1}$ торр. После чего включают ВЧ генератор и зажигается разряд в водороде (производится атомизация молекул водорода и ионизация атомов водорода – образуется плазма). И в течение необходимого времени выдерживается образец. При этом образец размещается между индуктором и откачным фланцем.

В настоящей работе насыщение образцов титана марки BT1-0 производилось при одном изменяющемся параметре насыщения – мощности разряда: 50, 100, 150, 200 и 250 Вт.

Исследования насыщенных образцов производилось методом термостимулированного газовыделения

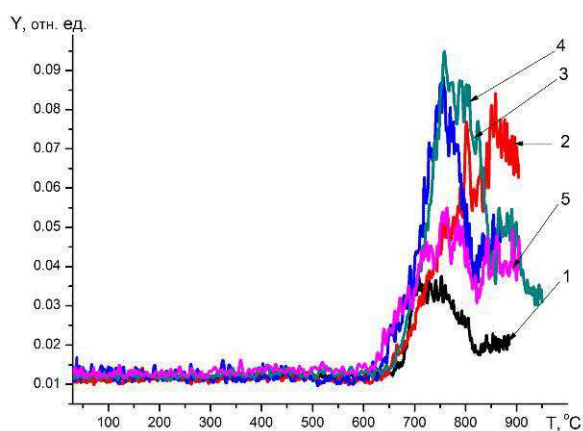


Рис. 1. Спектры ТСГВ H_2 при разных мощностях насыщения: 1 – 50 Вт, 2 – 100 Вт, 3 – 150 Вт, 4 – 200 Вт, 5 – 250 Вт

установка (описана в [5]), и на анализаторе водорода RHEN-602. Обработка результатов эксперимента производилась в пакете программ OriginLab 8.6.

На рис. 1 показаны зависимости интенсивностей выделения H_2 из образцов BT1-0 насыщенных при мощностях разряда 50, 100, 150, 200 и 250 Вт. Видно, что наибольшая интенсивность выхода водорода наблюдается при температуре $T \sim 750$ °С для образцов 1, 3, 4 и 5, а для образца 2 температурный пик смещен к $T \sim 800$ °С.

Все полученные спектры термо-стимулированного газовыделения (ТСГВ) интегрировались и на анализаторе водорода RHEN-602 измерялось массовое содержание водорода в зависимости от мощности разряда. Полученные зависимости представлены на рис. 2 и 3.

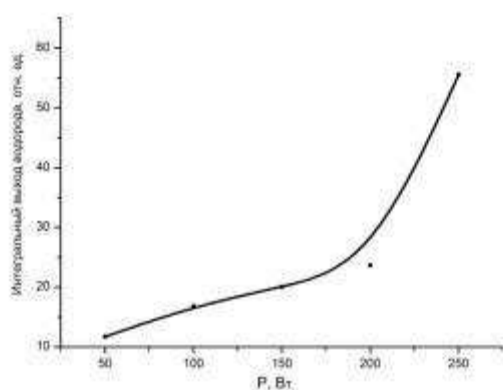


Рис. 2. Интегральный выход после ТСГВ водорода из титана BT1-0 в зависимости от мощности разряда

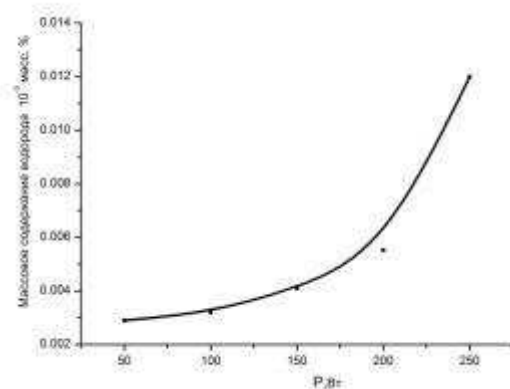


Рис. 3. Концентрации водорода в насыщенных образцах BT1-0 (RHEN-602) в зависимости от мощности разряда

Из рис. 2 и 3 видно, что полученные зависимости аналогичны и наблюдается медленный рост содержания водорода в титане, но при мощностях ВЧ выше 200 Вт наблюдается резкое возрастание.

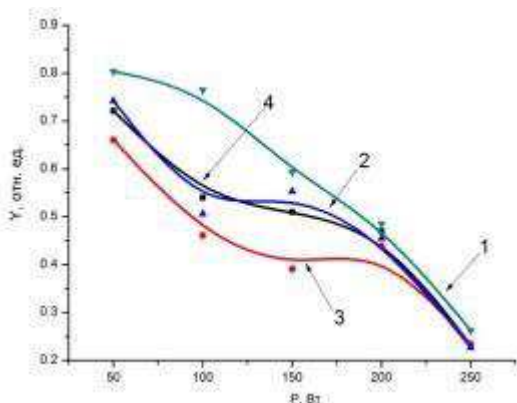


Рис. 4. Интенсивность выхода молекул газов по отношению к водороду в при разных мощностях ВЧ разряда: 1 – CH/H_2 ; 2 – NH/H_2 ; 3 – O/H_2 ; 4 – OH/H_2

Чтобы понять причину такого поведения, произведена нормировка всех интегральных спектров выходов газов при ТСГВ на выход водорода при одних и тех же мощностях разряда.

Результаты такой обработки представлены на рис. 4. Из рис. 4 видно, что относительный выход молекул OH/H_2 , NH/H_2 , O/H_2 , и CH/H_2 уменьшается с увеличением мощности. Выход CH/H_2 имеет близкую к линейной зависимость, в то время как зависимостях для остальных молекул наблюдается ступенька в области 100 – 150 Вт. Такое поведение выхода указанных молекул делает понятным различие в зависимостях полученных интегралов по спектрам ТСГВ (рис. 2) и

измеренных на анализаторе водорода (рис. 3). Эти различия очевидно вызваны изменением условий формирования молекул при ТСГВ, вызванных модификацией поверхности в водородной плазме при $P = 250$ Вт.

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Обнаружен сильный рост зависимости эффективности насыщения образцов титана ВТ1-0 в высокочастотной водородной плазме при росте мощности поглощенного высокочастотного излучения (возрастание концентрации поглощенного водорода с ростом поглощенной мощности).
2. Оптимальная мощность ВЧ генератора для эффективного насыщения – 250 Вт.
3. Возможна калибровка спектров ТСГВ по результатам анализатора водорода RHEN-602.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матысина З.А. Д.В. Щур. Водород и твердофазные превращения в металлах, сплавах и фуллеритах. Д.: «Наука и образование», 2002. – 420 с.
2. Кривоглаз М.А. Растворимость в упорядочивающихся сплавах II. // Физ. мет. и металловед. – 1955. – Т. 1. – № 3. – С. 393.
3. Никитенков Н.Н., Тюрин Ю.И., Сигфуссон Т.И., и др.. Особенности плазменного насыщения нанокристаллических и крупно-кристаллических образцов титана водородом и дейтерием // Известия РАН. Серия физическая. – 2012. – Т.76. – №6. С. 803 – 807.
4. Сапрыкина А.А., Сыпченко В.С., Сигфуссон Т.И.. Установка и методика насыщения образцов из водородной плазмы // Перспективы развития фундаментальных наук: Сборник научных трудов IX Международной конференции студентов и молодых ученых. – 2012. – С. 202 – 204.
5. Никитенков Н.Н., Хашхаш А.М., Шулепов И.А., Хоружий В.Д., Тюрин Ю.И., Чернов И.П., Е.Н. Кудрявцева. // Приборы и техника эксперимента. – 2009. – № 6. – С. 110 – 114.