

ОБ ОДНОМ РЕЖИМЕ СУЩЕСТВОВАНИЯ МАГНЕТРОННОГО РАЗРЯДА

В. Н. Бориско

*Харьковский государственный университет,
310108, Харьков, пр. Курчатова, 31*

В планарном магнетронном разряде с металлогидридным катодом в условиях замкнутого объема обнаружен новый стационарный режим функционирования разряда, в котором управление давлением рабочего газа в разрядной камере осуществ-

ляется изменением величины разрядного тока. Данная зависимость, снятая в диапазоне разрядных токов 50 — 300 мА, близка к линейной, при этом давление рабочего газа изменялось в пределах 70 — 130 Па.

В настоящее время в системах газового питания различных плазменных и электрофизических устройств, использующих изотопы водорода в качестве рабочего вещества, находят широкое применение твердотельные генераторы газа на базе гидридов металлов Ti, Zr, Zr, Er и т.д. Достоинством таких генераторов газа является, прежде всего, высокая чистота напускаемого газа, наряду с безопасностью и компактностью его хранения. Существующие интерметаллические соединения на основе Zr-V позволяют создавать универсальные системы газового обеспечения, совмещающие функции как генератора рабочего газа, так и гетера в одном устройстве [1]. Особенностью данных сплавов является снижение потенциала ионизации десорбируемого водорода на 0,3-0,5 эВ, которое обусловлено наличием колебательно-возбужденных молекул [2-3]. Сочетание сорбционных и эмиссионных свойств данных материалов открывает новые возможности в повышении газовой и энергетической эффективности плазменных устройств, работающих на изотопах водорода. Кроме того, применение металлогидридов в качестве материалов электродов позволит создать компактные и надежные конструкции.

Возможность применения таких, насыщенных водородом, интерметаллических электродов исследовалась только в тлеющем разряде [4-5]. Было показано, что наличие металлогидридных электродов приводит к снижению напряжения горения самостоятельного тлеющего разряда, которое обусловлено увеличением сечения ионизации десорбируемого водорода в 1,3-1,5 раза по сравнению с обычным молекулярным водородом из баллона. В этом случае происходит также изменение свойств газовой фазы разряда — возрастает доля H^+ и H_3^+ по отношению к содержанию молекулярных ионов H_2^+ . Однако исследования параметров плазмы и процессов, протекающих в такой плазме не проводилось. Кроме того, некоторые полученные экспериментальные результаты не получили однозначной интерпретации и для их объяснения требуются дальнейшие исследования.

Целью настоящей работы является исследование влияния насыщенного водородом металлогидридного катода на характеристики газового разряда. Для экспериментов был выбран планарный магнетронный разряд, водоохлаждаемый катод из нержавеющей стали которого был покрыт слоем порошка из гетерного сплава ZrVFe и находился под отрицательным потенциалом 200 — 700 В. Для сравнительных измерений использовали катод из нержавеющей стали. В таком разряде в области катода постоянными магнитами создавалось магнитное поле арочной конфигурации, радиальная составляющая которого на поверхности катода составляла 350 Э. Заземленный цилиндрический анод из нержавеющей стали был расположен на расстоянии 1 см от плоскости катода. В предварительно откаанную разрядную камеру через систему напуска подавался водород до давления 90 — 100 Па. Затем при отключенных откачке и газонапуске зажигался разряд. Увеличение тока разряда, путем повышения вводимой в разряд мощности, приводило к росту давления водорода в газоразрядной камере, а уменьше-

ние тока — к снижению. В этом случае при каждом новом значении величины разрядного тока устанавливался стационарный режим горения разряда, которому соответствовало свое значение давления рабочего газа. Таким образом, можно было осуществлять стационарный режим горения разряда при давлении водорода в разрядной камере значительно отличающемся от давления, при котором происходило его зажигание.

Зависимость давления рабочего газа от величины разрядного тока для металлгидридного и нержавеющей катодов приведена на рис. 1. Видно, что наличие металлгидридного катода приводит к существенному изменению давления в разрядной камере, а сама зависимость носит линейный характер. Обнаруженный режим горения магнетронного разряда был назван автостабилизированным по давлению. Возможность его существования обусловлена следующими факторами. Характерной особенностью разрядов такого типа является локализация плотной плазмы вблизи поверхности катода. Это приводит к интенсивной бомбардировке катода ионами и быстрыми атомами водорода. Если в данной области расположен гидридообразующий сплав, то он при этих условиях будет интенсивно насыщаться водородом с образованием гидридов [5].

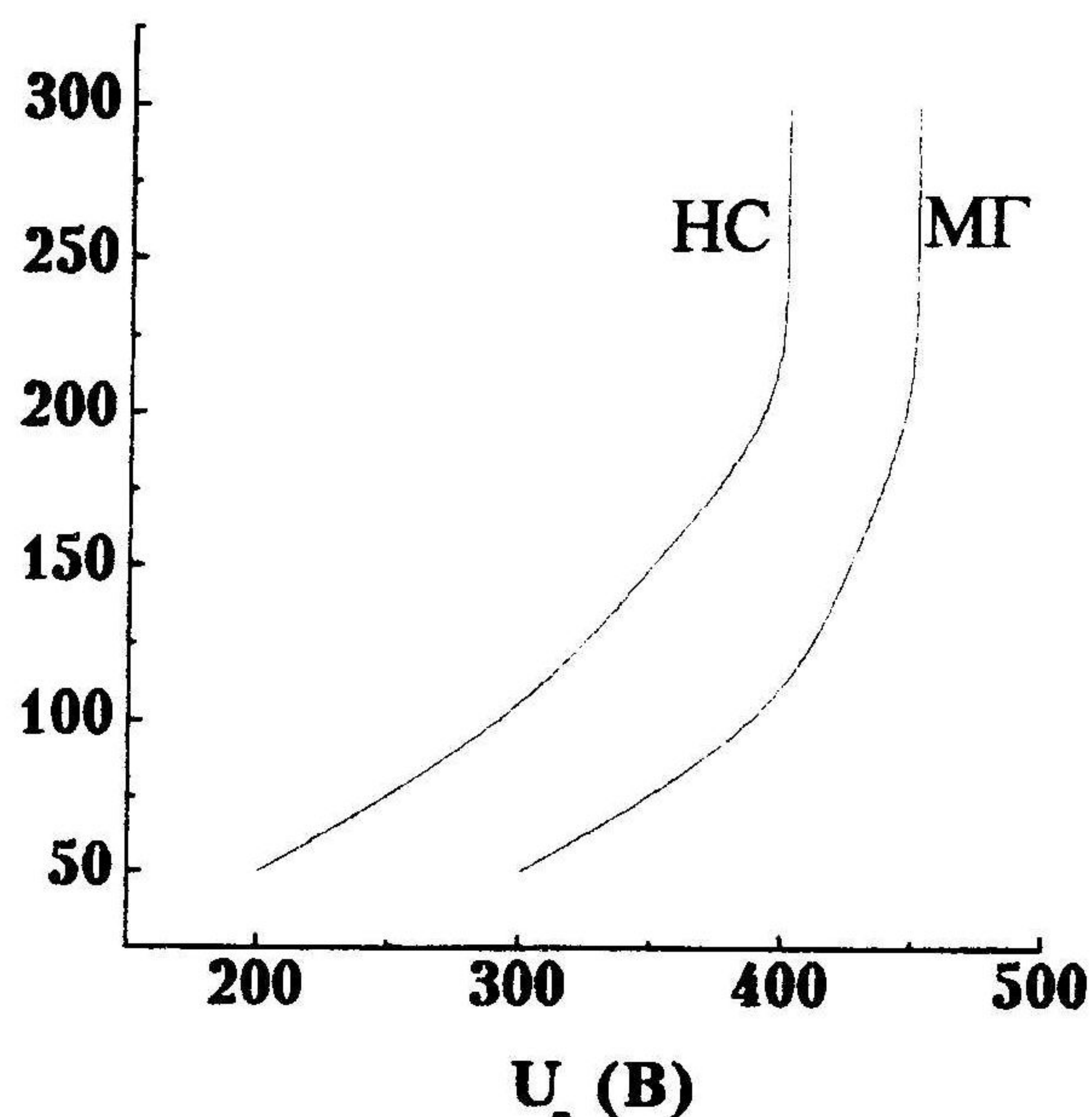
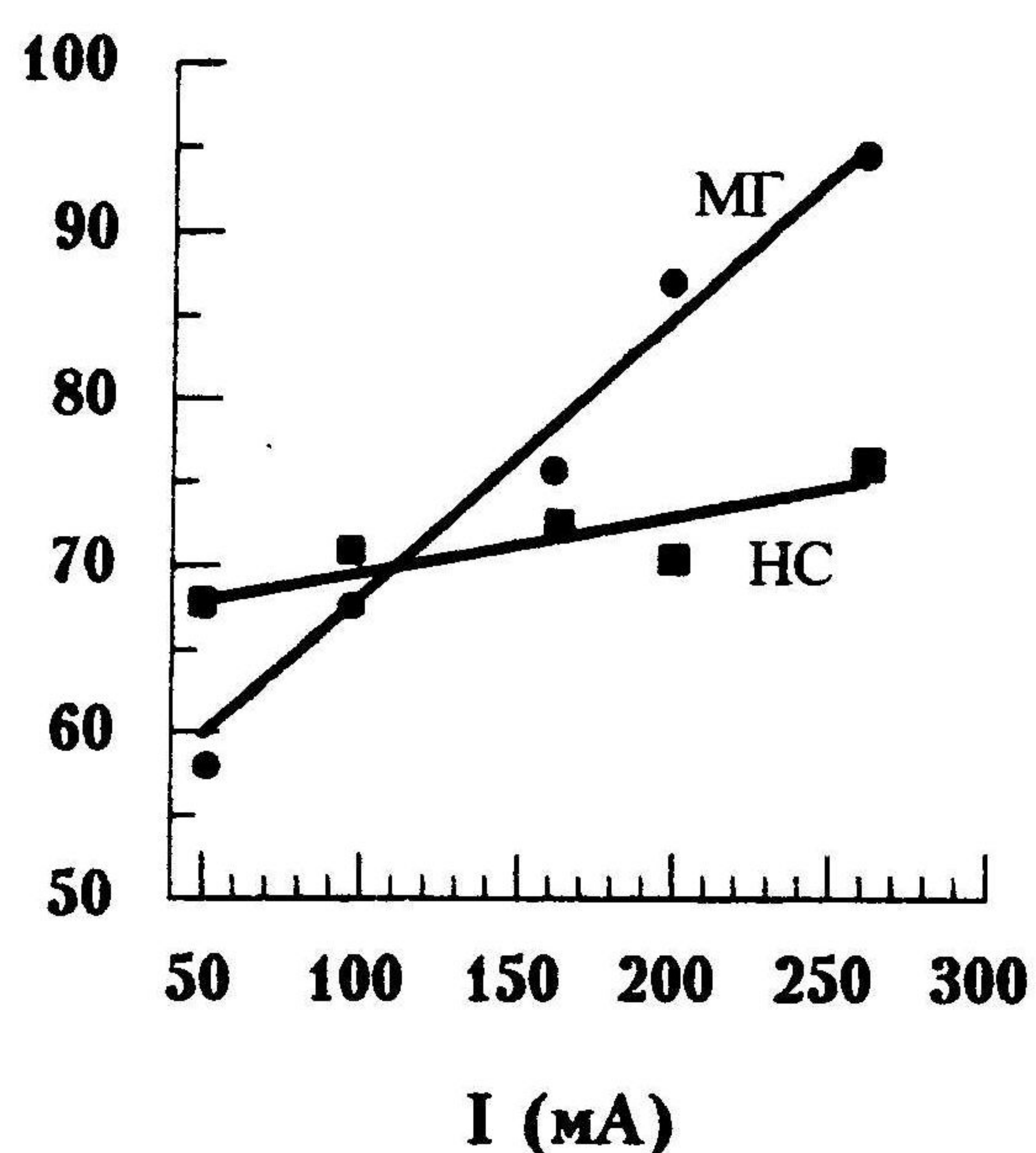


Рис. 1. Зависимость давления водорода P от величины разрядного тока I . МГ — катод из сплава $ZrVFe$. НС — катод из нержавеющей стали.

Рис. 2. Вольт-амперная характеристика магнетронного разряда. МГ — металлгидридный катод; НС — катод из нержавеющей стали.

Такой процесс носит неравновесный характер. Насыщение водородом имеет место даже при давлениях ниже равновесного давления диссоциации существующего гидрида. С другой стороны, разогрев катода под действием интенсивной бомбардировки приводит к интенсификации процессов как ионной стимулированной десорбции, так и термодесорбции из металлгидридов и соответствующему повышению давления в камере. В результате, в замкнутом объеме устанавливается динамическое равновесие между процессами сорбции водорода из плазмы разряда и его десорбции в газоразрядный объем.

Вольт-амперные характеристики разрядов, горящих в среде водорода в замкнутом объеме, для катодов из нержавеющей стали и металлгидрида, представлены на рис. 2. Из сравнения кривых видно, что для одинаковых значений величины разрядного тока падение напряжения на разряде с металлгидридным катодом превышает аналогичное значение для контрольного разряда. Для выяснения причины повышенного напряжения на разряде с металлгидридным катодом зондовой методикой были проведены измерения параметров плазмы на высоте 0.5 см над срезом анода в точках, находящихся над областью локализации плазменного шнура. Значения температуры электронов для разрядов с катодами обоих ти-

пов оказались одинаковыми $T_e \approx 2$ эВ. Однако, зависимости плотности плазмы от величины разрядного тока существенно отличаются (рис.3.).

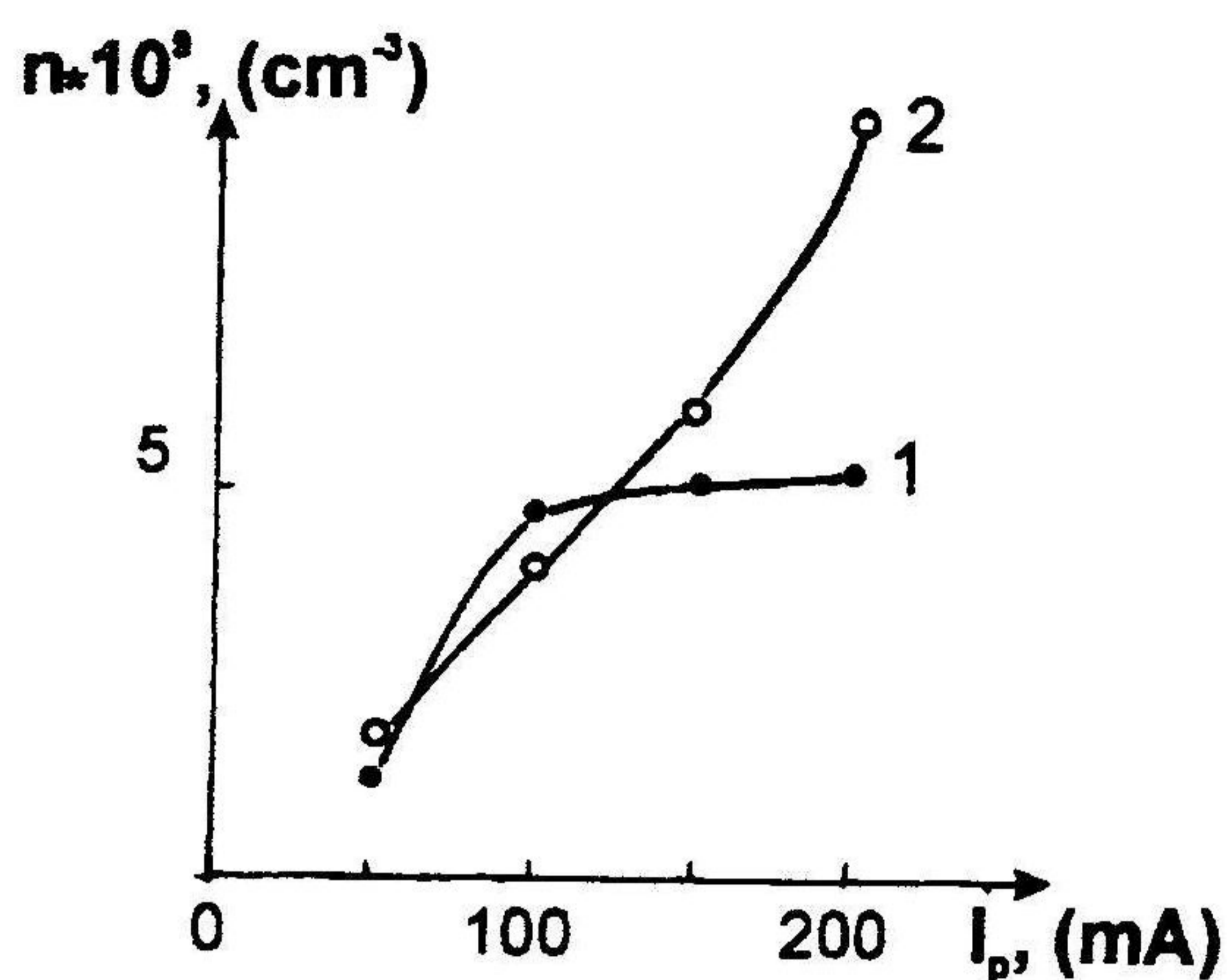


Рис.3. Зависимость плотности плазмы от разрядного тока: 1 — катод из нержавеющей стали, баллонный водород; 2 — катод из металло-гидридного сплава.

В случае контрольного разряда с увеличением величины разрядного тока наблюдается тенденция к насыщению, а для разряда с металлгидридным катодом плотность плазмы монотонно возрастает. Наличие интерметаллического катода приводит к тому, что плотность газа в прикатодной области определяется динамическим равновесием между процессами сорбции и десорбции, которое зависит от температуры и водородсорбционных характеристик гидридообразующего материала. Поэтому возрастание давления водорода при увеличении величины разрядного тока в этом режиме сопровождается увеличением плотности газа в газоразрядной камере. Связанное с этим увеличение частоты столкновений электронов с нейтральными частицами приводит как к интенсификации процессов ионизации, так и к увеличению диффузионного потока электронов из области локализации плазменного шнура.

По этой причине в разряде с металлгидридным катодом увеличение разрядного тока сопровождается повышением плотности плазмы, находящейся вне области электромагнитной ловушки. Кроме того, увеличение плотности водорода в газовой фазе влечет за собой уменьшение длины свободного пробега электронов, что приводит к увеличению падения напряжения, необходимого для поддержания разряда.

Следует указать еще на один механизм повышенного значения потенциала горения разряда с металлгидридным катодом, который обусловлен десорбцией из такого катода молекул водорода в колебательно-возбужденном состоянии. Это приводит к увеличению сечения образования отрицательных ионов и, как следствие, к увеличению напряжения поддержания разряда.

Таким образом, в результате проведенных исследований магнетронного разряда с металлгидридным катодом в условиях замкнутого объема экспериментально обнаружен эффект зависимости давления газа в камере от величины разрядного тока.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ю.Ф. Шмалько, В.В. Соловей, М.В. Лотоцкий, Е.В. Ключко. Металлогидридно-вакуумные технологии для физико-энергетических систем. ВАНТ. сер. ядерно-физические исследования, 1994, вып. 1, с. 13-19.
- [2] Yu.F. Shal'ko, Ye.V. Klochko, M.V. Lototsky. Influence of isotopic effect on the shift of the ionization potentials of hydrogen desorbed from metal hydride surface. Int. J. Hydrogen energy, 1996, v. 21, № 11, p. 1057-1059.
- [3] С.Б. Валуйская, М.В. Лотоцкий, Л.П. Скрыпаль и др. Исследования процесса "активации" водорода металлгидридами. II масс-спектроскопическое определение потенциала и сечения ионизации водорода. ВАНТ. сер. ядерная техника и технология, 1989, вып. 1, с. 58-61.
- [4] С.А. Галчинский, В.В. Дорохов, Н.Ф. Лазарев и др. Исследования процесса "активации" водорода металлгидридами. I масс-спектральный анализ плазмы тлеющего разряда. ВАНТ. сер. ядерная техника и технология, 1989, вып. 1, с. 55-58.
- [5] В.Н. Вербицкий, М.В. Лотоцкий, С.В. Митрохин и др. Взаимодействие интерметаллических соединений с водородом в плазме тлеющего разряда. Вестник МГУ, сер. 2, химия, Т. 24, № 4, с. 414-418.