

# ПЛАЗМЕННЫЙ ИСТОЧНИК ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ИОНОВ ВОДОРОДА

*В.Н. Бориско*

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

Приведены результаты экспериментального исследования физической модели источника отрицательных ионов водорода на основе разряда Пеннинга с катодами из гидридообразующего сплава Zr-V-Fe. Показано, что наличие электродов из гидридообразующего сплава существенно увели-

чивает выход отрицательных ионов, что обусловлено десорбцией водорода с катодов в колебательно-возбужденном состоянии. Плотность тока, эжектируемого пучка из такого источника, составила 2-3 мА/см<sup>2</sup> при токовой эффективности 30-40 %.

Пучки отрицательных ионов водорода находят широкое применение во многих областях науки и техники. Поэтому для успешного решения различных задач, стоящих перед исследователями, необходимо наличие таких источников ионов (ИИ), которые могли бы формировать пучки с необходимыми параметрами. Имеется много ИИ разных типов, которые используют различные механизмы для образования отрицательных ионов. Однако, наиболее перспективными являются плазменные источники отрицательных ионов, работающие на механизме диссоциативного прилипания низкоэнергетичных электронов к колебательно возбужденным молекулам. Сечение данного процесса возрастает обратно пропорционально энергии электрона, а также с увеличением квантового колебательного числа [1]. Поэтому, для эффективной работы таких источников необходимо наличие низкоэнергетичных электронов и колебательно возбужденных молекул водорода.

В настоящей работе описывается новый источник с осциллирующими электронами, в котором для получения колебательно возбужденных молекул водорода используется эффект металлогидридной активизации. Данный эффект заключается в способности некоторых гидридообразующих соединений генерировать вблизи поверхности возбужденные и ионизированные атомы и молекулы водорода [2].

Принцип работы источника основан на том, чтобы в область разряда, где электроны имеют минимальную энергию, инжектировать колебательно возбужденные молекулы водорода. Такой областью в отражательном разряде является прикатодная область, где происходит поворот траектории осциллирующих электронов, а также эмиссия низкоэнергетичных вторичных электронов, образующихся в результате бомбардировки катода ионами. Данная идея находит удачное конструктивное решение при использовании гидридообразующих сплавов Zr-V в качестве катода разряда, так как такое интерметаллическое соединение, насыщенное водородом, десорбирует молекулы изотопов водорода уже в колебательно возбужденном состоянии.



Экспериментальное исследование плазменного источника отрицательных ионов водорода осуществлялось на устройстве, конструкция электродов которого представляла собой ячейку Пеннинга с катодом, изготовленным из насыщенного водородом сплава Zr-V-Fe. Второй катод был изготовлен из нержавеющей стали. Оба катода в процессе экспериментов находились под потенциалом земли, а на анод подавался положительный потенциал. Эксперименты проводились при следующих параметрах разряда: анодное напряжение  $U_a = 1-4$  кВ, разрядный ток  $I_p = 1.5 - 3$  мА, величина внешнего магнитного поля  $H_0 = 0.3 - 1$  кЭ, рабочее давление водорода  $p = (0.1-2) \cdot 10^{-3}$  мм. рт. ст. Параметры плазмы, создаваемой в таком устройстве были следующие: температура электронов  $T_e \approx 20 - 60$  эВ, плотность плазмы  $n \approx (1 - 8) \cdot 10^9$  см<sup>-3</sup>.

В зависимости от внешних параметров исследовались условия существования разряда в случаях использования катодов из интерметаллического соединения, либо из нержавеющей стали. Типичный вид вольт-амперной характеристики разряда (кривая 1) приведен на рис.1. Здесь же показана зависимость давления водорода в ячейке от величины разрядного тока (кривая 2). Видно, что наблюдается резкое увеличение давления рабочего газа при достижении некоторого критического значения величины разрядного тока, что обусловлено ионной стимулированной десорбцией молекул водорода из металлогидридного катода.

Были также исследованы кривые зажигания разряда с различными катодами (Рис.2.). Видно, что зажигание разряда с металлогидридными катодами хуже, чем с катодами из нержавеющей стали. Это обусловлено десорбцией из металлогидридного катода молекул в колебательно-возбужденном состоянии, что приводит к значительному увеличению сечения образования отрицательных ионов и, как следствие, к ухудшению зажигания разряда.

Исследования пространственного распределения параметров плазмы в межэлектродных зазорах для катодов обоих типов показало, что как потенциалы пространства, так и температура электронов практически не зависят от материала катода. Наблюдается лишь небольшое отличие плотностей плазмы в прикатодных областях. В области металлогидридного катода плотность плазмы немного меньше, что, по-видимому, связано с процессом перезарядки положительных ионов на молекулах водорода, десорбируемого из такого катода.

Рабочий режим источника отрицательных ионов водорода выбирался при величине разрядного тока  $I_p = 1.5 - 3$  мА, напряженности внешнего магнитного поля  $H_0 = 300 - 500$  Э и давлении рабочего газа  $p = 1.86 \cdot 10^{-3}$  мм рт. ст.

Извлечение пучков отрицательных ионов водорода осуществлялось перпендикулярно силовым линиям внешнего магнитного поля системами извлекающих электродов, которые были расположены возле каждого из катодов и находились при потенциале 1.2 - 1.8 кВ. Обычно в потоке отрицательных ионов, извлекаемых из источника, электронный компонент составляет значительную величину. Поэтому при формировании таких пучков применяют различные фильтры, обеспечивающие сепарацию электронной составляющей пучка от ионной. В данном случае сопутствующие электроны относительно легко увести из ионного потока вдоль силовых линий магнитного поля и сепарация электронов от отрицательных ионов осуществляется автоматически.

Пучок отрицательных ионов после прохождения системы вытягивающих электродов регистрировался коллектором, расположенном от них на расстоянии 0.8 см.



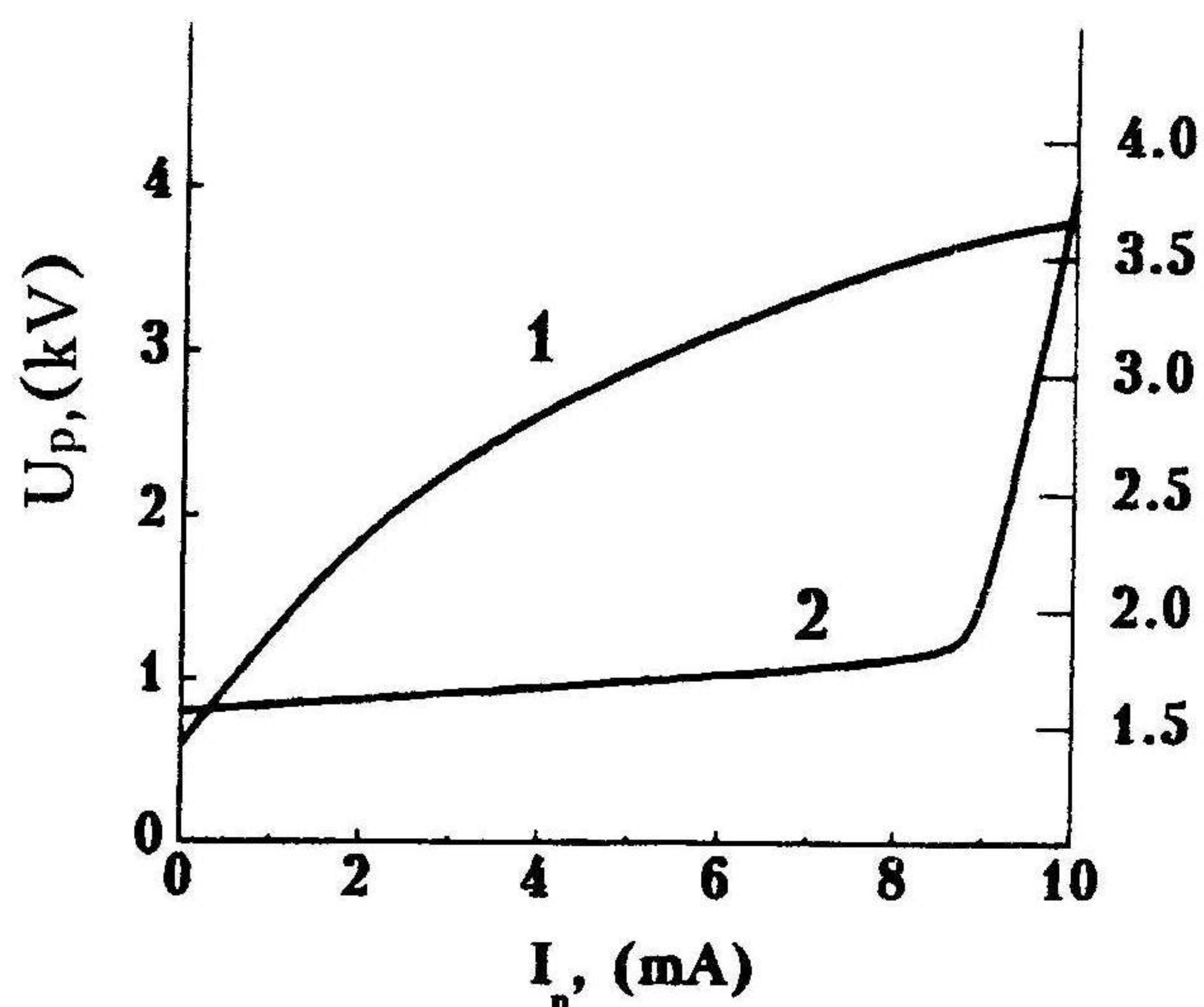


Рис. 1. ВАХ разряда:  
1-зависимость  $U_p(I_p)$ ;  
2-зависимость  $P(I_p)$ .

Полученные пучки отрицательных ионов водорода имели плотность тока  $j = 2 - 3 \text{ mA/cm}^2$ . Сравнительный анализ влияния материала катода на выход отрицательных ионов из источника в зависимости от величины давления рабочего газа (Рис.3.) показал наличие критического давления, превышение которого приводит к значительному увеличению тока пучка  $\text{H}^-$  в случае применения металлогидридного катода. Токовая эффективность источника составила 30-40 %.

Таким образом, в данной работе экспериментально показана возможность создания эффективного источника отрицательных ионов водорода с металлогидридными катодами. Применение интерметаллических гидридообразующих соединений в качестве катодов позволяет значительно увеличить выход отрицательных ионов благодаря десорбции колебательно-возбужденных молекул водорода. Обнаружено, что увеличение выхода отрицательных ионов и токовой эффективности наблюдается при превышении некоторого критического давления рабочего газа.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] М. Капителли. Неравновесная колебательная кинетика. М.: Мир, 1989, 392 с.
- [2] Б.С. Валуйский, М.В. Лотоцкий, Л.П. Скрипаль и др. Исследования процесса "активирования" водорода металлогидридами. Масс-спектрометрическое определение потенциала и сечения ионизации водорода. — ВАНТ, сер. Ядерная техника и технология, вып. 1, 1989, с.58-61.

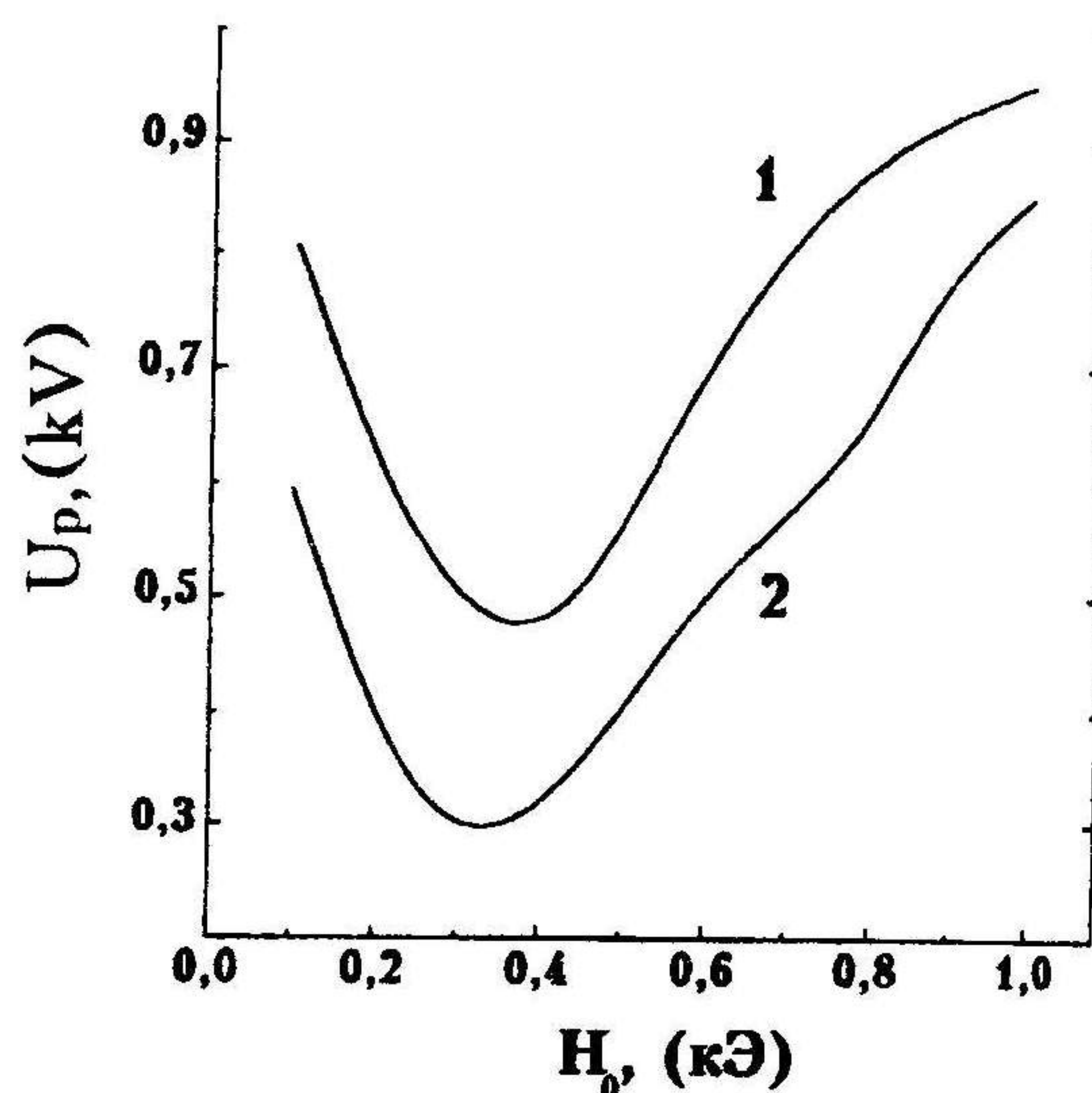


Рис. 2. Кривые зажигания:  
1. МГ-катод;  
2. НС-катод.

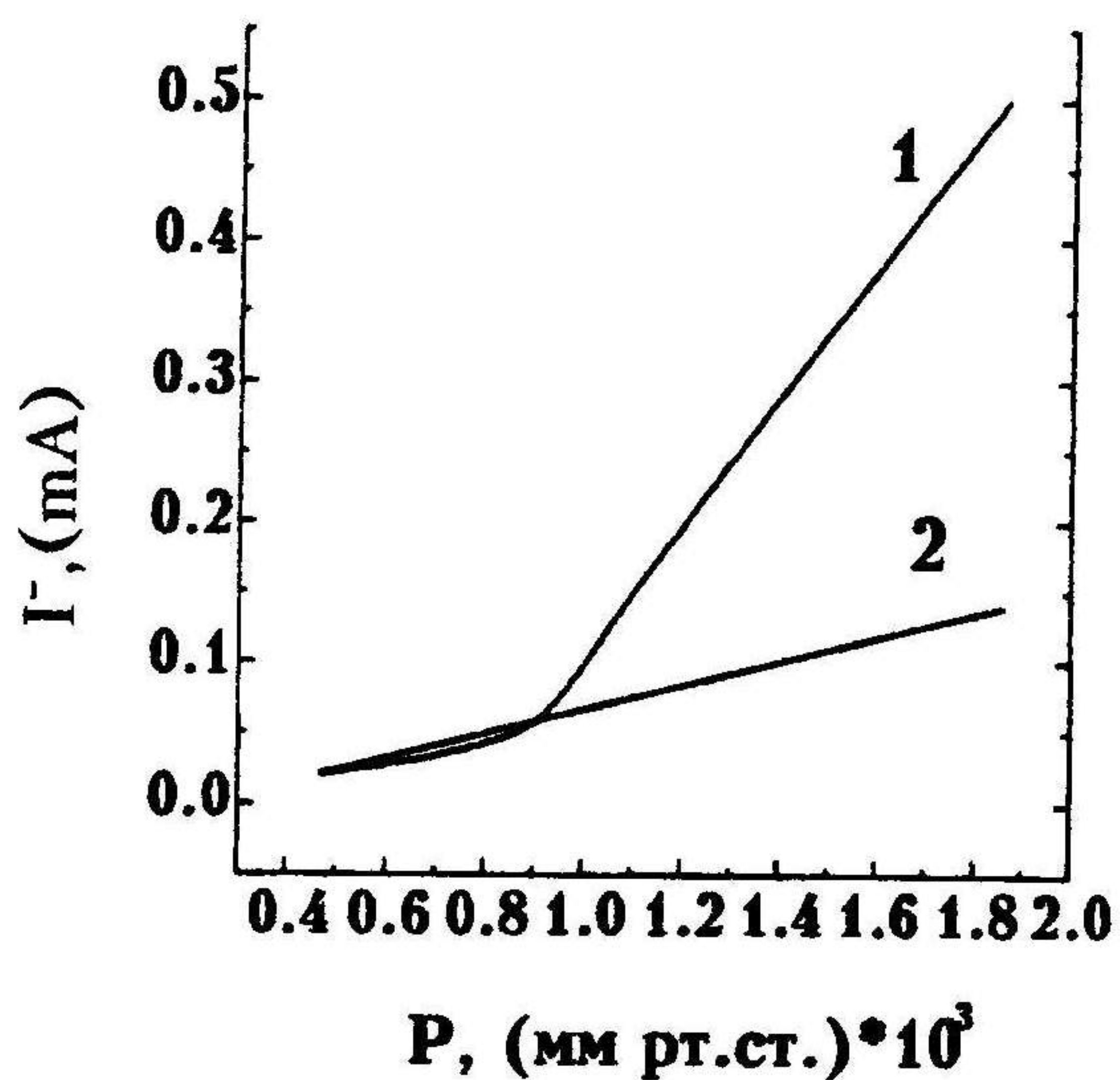


Рис. 3. Зависимость тока отрицательных ионов от  
1. МГ-катод; 2. НС-