

04; 12

© 1992

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ
ЛОВУШКИ ЭРЛ-М ПРИ РАБОТЕ НА РАЗЛИЧНЫХ РАБОЧИХ
ВЕЩЕСТВАХА.И. Б у г р о в а, А.С. Л и п а т о в,
А.И. М о р о з о в, В.К. Х а р ч е в н и к о в

В работах [1-5] теоретически и экспериментально обоснована перспективность создания магнитных ловушек без щелей с $\beta \sim 1$ для эффективного удержания плазмы. Такие ловушки получили общее название - галатей.

К классу галатей относится электроразрядная ловушка на основе магнитного квадруполья (ЭРЛ-М), подробное описание которой приведено в работе [5]. Плазма в такой ловушке создается с помощью электрического разряда и удерживается в области нуля магнитного поля. Электроны в ловушке замагничены, в то время как $\rho_i \gg L$, где ρ_i - ионный ларморовский радиус, L - характерный размер ловушки. Поэтому для удержания ионов принципиально необходимо создать достаточно узкую электростатическую потенциальную яму. В этих целях в ловушке ЭРЛ-М катод помещается в область нуля магнитного поля, и на него подается отрицательный относительно „земли“ (анода) потенциал. В [5] приведены результаты экспериментальных исследований ловушки, работающей на ксеноне, с удерживающим магнитным барьером $H_g = 20$ э.

В данной работе проводится исследование параметров ловушки при работе на различных рабочих веществах. Величина магнитного барьера при этом составляла $H_g = 140$ Э. Рабочими веществами были ксенон, аргон и азот. Для создания магнитного барьера такой величины через магнитные катушки пропускался импульс тока, который имел практически прямоугольную форму. Его длительность составляла 200 мс. Число ампер-витков в каждой катушке было равно $1.05 \cdot 10^4$.

Запуск ловушки осуществлялся следующим образом. Устанавливался требуемый ток накала катода. Затем подавался газ, и включалось разрядное напряжение. При этом зажигался газоструйный разряд, описанный в статье [4]. При включении импульса тока через магнитные катушки между ними возникало яркое плазменное кольцо - плазида. При этом было замечено также свечение мантии - полый плазменной оброчки, локализованной около сепаратрисы магнитного поля, охватывающей катушки.

На рис. 1. изображены вольт-амперные характеристики разряда для различных газов в двух случаях, когда объемный расход газов одинаков (кривая „а“) и когда массовый расход одинаков (кривая „б“). Из рис. 1, а видно, что в случае одинакового объемного рас-

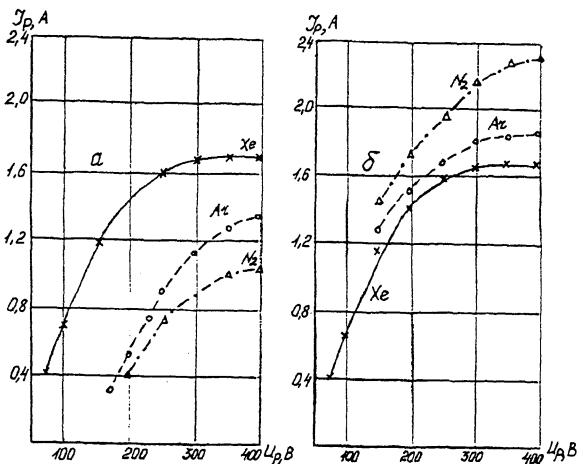


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики разряда $H_0 = 140$ Э, $\alpha - \dot{V} = 0.2$ см³/с, $\delta - \dot{m} = 2$ мг/с.

хода разрядный ток больше у ксенона и меньше у азота. Кроме того, зажигание разряда у аргона и азота происходит при больших напряжениях, чем у ксенона. В случае одинакового массового расхода (кривая „б“), наоборот, разрядный ток для ксенона меньше, чем для аргона и азота. Эти результаты можно объяснить тем, что у ксенона потенциал ионизации меньше, чем у аргона и азота, и составляет величину 12.1 В, в то время как у аргона и азота он соответственно равен 15.7 В и 15.8 В [6]. Поэтому, когда в ловушку идет одинаковый объем газа в единицу времени, то есть одинаковое количество частиц, при прочих равных условиях количество ионизованных молекул у ксенона будет больше, чем у аргона и азота. Если же одинаков массовый расход \dot{m} , то количество частиц азота и аргона, попадающих в ловушку в единицу времени, будет больше, чем у ксенона и поэтому количество рождаемых ионов может быть также больше.

Для измерения локальных параметров плазмы в ловушке использовался электрический зонд, который мог перемещаться в пространстве. В объеме плазмиды электронный ларморовский радиус больше размера рабочей части зонда, поэтому влиянием магнитного поля на зондовые характеристики можно пренебречь. Зонд выставлялся в центр плазмиды по минимальной величине плавающего потенциала и располагался со сдвигом по азимуту от катода на 90° . Затем он перемещался вдоль оси r (перпендикулярно оси симметрии магнитных катушек). По вольт-амперным характеристикам зонда для каждого значения r стандартным методом определялась электронная температура T_e и потенциал пространства φ . В полулогарифмическом масштабе электронная ветвь вольт-амперной характеристики хорошо ложится на прямую линию, что указывает на максвелловское

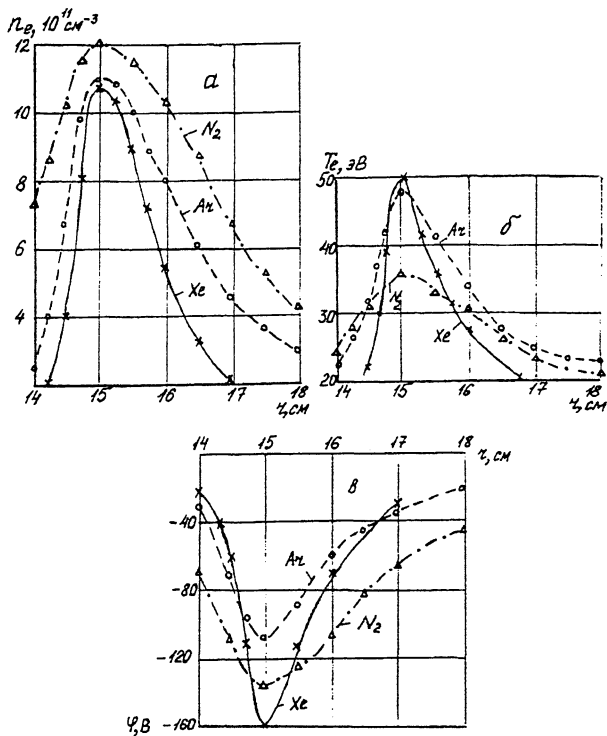


Рис. 2. Распределение концентрации (а), электронной температуры (б) и потенциала пространства (в) вдоль оси r для разных газов: $\dot{m} = 2$ мг/с, $U_p = 200$ В, $H_g = 140$ Э, $J_{pXe} = 300$ мА, $J_{pAr} = 270$ мА, $J_{pN_2} = 200$ мА.

распределение электронов в объеме плазмиды. Концентрация n рассчитывалась по ионному току насыщения.

На рис. 2. изображено изменение концентрации (рис. 2, а) электронной температуры (рис. 2, б) и потенциала пространства (рис. 2, в) вдоль оси r , снятые для одинакового массового расхода газов. Из рисунка видно, что в центре потенциальной ямы концентрации ионов ксенона, аргона и азота, соответственно, равны: $n_{Xe} = 1.07 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$, $n_{Ar} = 1.1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$, $n_{N_2} = 1.2 \times 10^{12} \text{ см}^{-3}$. Электронные температуры и средние энергии ионов составляют величины: $T_{eXe} = 50$ эВ, $T_{eAr} = 48$ эВ, $T_{eN_2} = 35$ эВ, $\langle \varepsilon_i \rangle_{Xe} = 80$ эВ, $\langle \varepsilon_i \rangle_{Ar} = 54$ эВ, $\langle \varepsilon_i \rangle_{N_2} = 67$ эВ.

Оценки показывают, что при таких значениях n, T и $\langle \varepsilon_i \rangle$ разброс плазменного давления для разных газов в ловушке не превышает 15%. При этом величина β_δ , рассчитанная по величине магнитного поля в барьере $H_g = 140$ Э, равна 0.25 ± 0.15 , где величина 0.15 определяется сортом газа.

Из рис. 2 также видно, что плазма увеличивается в размерах при работе на аргоне и азоте, по сравнению с плазмидой, образованной ксеноновой плазмой. Вероятно, это связано с большей подвижностью более легких ионов азота и аргона.

В заключение следует отметить, что в системе получены достаточно высокие параметры плазмы при использовании мощности разрядного тока всего в 60 Вт. Это позволяет сделать вывод о том, что электроразрядные ловушки типа ЭРЛ-М представляют значительный интерес как с точки зрения физики, так и в прикладных целях, ввиду простоты их конструкции и надежности в работе.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] М о р о з о в А.И. // Физика плазмы. 1992. Т. 18. В. 3. С. 305-316.
- [2] М о р о з о в А.И., Х р и п у н о в В.И. // Физика плазмы. 1992. Т. 18. В. 7. С. 838-849.
- [3] М о р о з о в А.И., П а с т у х о в В.П. // Физика плазмы. 1992. Т. 18. В. 3. С. 317-328.
- [4] Б у г р о в а А.И., Л и п а т о в А.С., М о р о з о в А.И., Х а р ч е в н и к о в В.К. // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. С. 29-33.
- [5] Б у г р о в а А.И., Л и п а т о в А.С., М о р о з о в А.И., Х а р ч е в н и к о в В.К. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 8. С. 1-5.
- [6] Г р а н о в с к и й В.Л. // Электрический ток в газе. М. Л., 1952. Т. 1. 432 с.

Поступило в Редакцию
5 декабря 1992 г.