

ПАРАМЕТРЫ ПЛАЗМЫ МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО КОМПРЕССОРА В ЗОНЕ КОМПРЕССИИ

В.И. Берков, А.И. Морозов.

В работе приводятся результаты исследований МПК, имеющего при небольшой энергетике батареи (≤ 30 кдж) совокупность параметров представляющих практический интерес; время жизни квазистационарной плазмы $\tau \sim 40$ мксек, длина струи $L \geq 2$ м, струя макроустойчива, расходимость потока $\theta < 10^\circ$; концентрация примесей в центральной зоне компрессии (ЦЗК)

$\alpha \lesssim 0,5\%$, $T_e \lesssim 11$ эв, $N_e \lesssim 5 \cdot 10^{17}$ см $^{-3}$, $W_i \lesssim 200$ эв. Наблюдаются режимы, в которых половина подведенной в разряд энергии выделяется в виде излучения (в основном в вакуумном ультрафиолете).

Принцип МПК был предложен в работе [1], а подтверждение компрессионных течений было описано в [2, 3]. Питание рассматриваемого МПК осуществлялось батареей из 16 конденсаторов ИМ-5/150. Собственно компрессор имел коническо-цилиндрический катод ($\Phi_{max} = 12$ см) и 12 анодных стержней, расположенных по окружности $\Phi = 22$ см. Рабочим веществом служил водород при $P_{H_2} = 0,3$ мм рт. ст. Ток и напряжение разряда показаны на рис. 1, б. Внешний вид плазменного потока

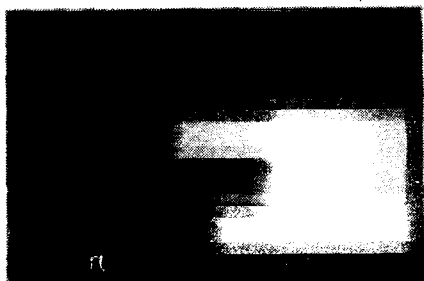
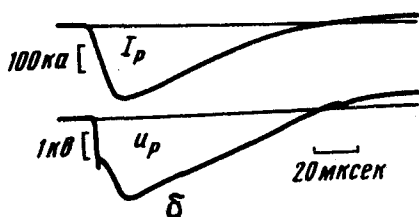


Рис. 1, а - Общий вид разряда, б - ток и напряжение разряда

изображен на фотографии рис. 1, а. Заметим, что аналогичный вид имеют кадры СФР-граммы, снятые после выхода плазменной "пробки" за срез компрессора [4]. Кадры скоростного фоторегистратора (СФР), интерферограммы [5] и зонды указывают на то, что плазменный поток в целом устойчив, совершая в зоне компрессии лишь небольшие качания амплитудой < 1 см. Условно можно считать, что ЦЗК имеет длину ~ 6 см и находится от сре-

за катода на $z \sim 3$ см. Наиболее сжатая часть плазмы имеет диаметр ~ 3 мм. Расходимость потока измерялась по следам на мишени, концентрация примесей ионов по абсолютной интенсивности линий [9], энергия излучения зоны компрессии полупроводниковым болометром [10], направленная скорость ионов по доплеровскому смещению спектральных линий. Для определения T_e и N_e применялась фотоэлектрическая регистрация интенсивности континуума. Оптический тракт калибровался в видимой области при помощи лампы СИВ-200, применяемой для астрономических исследований (ошибка ее калибровки 5%), а в близкой ультрафиолетовой области при помощи источника с $T = 36000^\circ$, описанного в [7]. Плазма МПК соответствует критериям применимости метода измерения по спаду интенсивности континуума и ее бальмеровскому скачку [6]. Излучение континуума наблюдается в течение всего разряда, начиная с момента выхода плазменной пробки за срез катода. Во время прохождения пробки ($\tau \sim 15 \div 18$ мксек) интегральная интенсивность континуума в $5 \div 6$ раз превосходит интенсивность в квазистационарной части ($20 < \tau < 55$ мксек). Для измерений был выбран промежуток $20 < \tau \leq 30$ мксек, поскольку в это время с одной стороны закончились переходные процессы, а с другой – разрядный

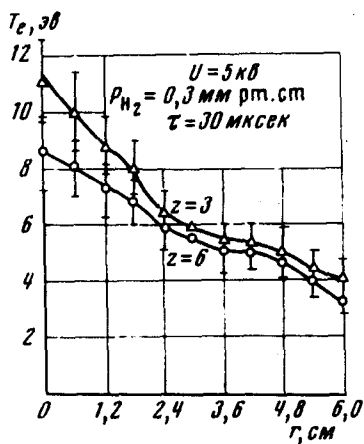


Рис. 2. Распределение $T_e(r)$

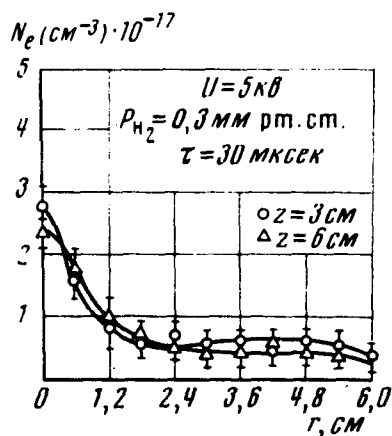


Рис. 3. Распределение $N_e(r)$

ток еще достаточно большой. Измерения интенсивности континуума ϵ_λ проводились в районе 3500, 4200, 4500, 5000, 5400, 6000 Å. После абелизации ϵ_λ на $\epsilon_\lambda = 4500$ Å и $\epsilon_\lambda = 3500$ Å были получены зависимости

$T_e(r)$. приведенные на рис. 2. Определение плотности $N_e(r)$ производилось путем измерения абсолютной интенсивности континуума ($\lambda \approx 4500 \text{ \AA}$)

$$N_e = A_1 \lambda \left[\frac{\epsilon \lambda}{\psi(T_e)} \right]^{1/2}, \quad \text{где } A_1 = 1,6 \cdot 10^{15},$$

$$\psi(T_e) = e^{-bc/\lambda T_e} \left\{ E_H^{1/2} T_e^{-1/2} g_{ff} + \frac{2}{27} E_H^{3/2} g_{fb} T_e^{-3/2} e^{-\frac{E_H}{9T_e}} \right\}$$

g_{ff} , g_{fb} — факторы Гаунта [8]. Результаты определения $N_e(r)$ приведены на рис. 3. Подробные карты $T_e(r, z)$ и $N_e(r, z)$, полученные в зоне компрессии для $P_{H_2} = 1 \text{ мм рт.ст.}$ показывают, что максимальные T_e^{max} и N_e^{max} в квазистационарной стадии определяются током разряда I_p . Например, $T_e^{max}(z\theta) = 3 \cdot 10^{-4} I_p^2 (\text{ка})$. обстоятельное сравнение полученных в зоне компрессии параметров с предсказанными в [1] зависимостями требует подробного исследования всей картины течения в МПК. Однако полученных данных оказалось достаточно для вычисления одного из основных параметров, фигурирующих в теории, — показателя политропы γ . Взяв в качестве "начального" значения измеренное в канале компрессора $(T_{e0}) = 2 \text{ эв}$, а в качестве T_e^{max} и N_e^{max} измеренные значения (рис. 2, 3), получаем $\gamma \approx 1,5$. Это не слишком отличается от показателя адиабаты $\gamma = 5/3$. Уменьшение γ по сравнению с показателем адиабаты обусловлено достаточно сильным излучением примесей, зарегистрированным в зоне компрессии. Важно отметить также тот факт, что, как показывает расчет, существующее в зоне компрессии количество примесей достаточно для объяснения мощного вакуумного ультрафиолетового излучения. Таким образом при весьма скромной энергетике данный МПК дает узкий ($d \lesssim 2 \text{ см}$) поток плазмы с параметрами, согласующимися между собой и теорией [1]. МПК может найти применение как инжектор плазмы для мощных термоядерных установок, как мощный генератор света, а также в ряде других направлений.

Поступила в редакцию
6 декабря 1973 г.

Литература

- [1] А.И.Морозов. ЖТФ, 37, 2147, 1967.
- [2] I. G. Linhart. Ядерный синтез, 10, 211, 1970.
- [3] А.И.Морозов, И.Е.Ковров, А.К.Виноградова. Письма в ЖЭТФ, 7, 257, 1968.
- [4] А.И.Морозов. Вестник АН СССР, 1968.
- [5] А.К.Виноградова, В.П.Виноградов. Доклад на I Всесоюзной конференции по плазменным ускорителям, М., 1971 г.
- [6] С.Ю.Лукьянов. ЖЭТФ, 36, 1621, 1959.
- [7] Н.Н.Огурцов, И.В.Подмошенский, М.И.Демидов. Оптико-механическая промышленность, №1, 1960.
- [8] Г.Грим. Спектроскопия плазмы, ИИЛ, 1969.
- [9] В.И.Берков, П.Е.Ковров и др. Доклад на Всесоюзной конференции по плазменным ускорителям, Минск, 1973.
- [10] В.И.Берков. Доклад на Всесоюзной конференции по плазменным ускорителям, Минск, 1973.