

07; 11

© 1990

ВЗРЫВНАЯ ЭМИССИЯ, ИНИЦИИРУЕМАЯ ЛАЗЕРОМ
НА КОНТАКТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛ-ПЛАЗМАН.К. Берёжецкая, В.А. Копьев,
И.А. Коссы

Явление взрывной эмиссии на контакте металл-плазма лежит в основе формирования „униполярных“ дуг [1] – предполагаемых источников поступления материала стенки или диафрагмы в удерживаемый замкнутыми магнитными ловушками горячий плазменный шнур [2, 3]. Трудности изучения униполярных дуг непосредственно в ловушках стимулировали постановку экспериментов, в которых пристеночные явления в стеллараторах и токамаках моделировались вводом металлических электродов в незамагниченную кратковременно существующую горячую плазму [4, 5].

Одна из основных причин, затрудняющих исследование дуг, – произвольность места возникновения взрывоэмиссионного центра на поверхности контактирующего с плазмой металла. Например, постановка столь информативного метода измерения концентрации электронов во взрывоэмиссионной области, как лазерная интерферометрия, требует локализации места дугообразования с точностью до 50–100 мкм. Столь прецизионную инициацию взрывоэмиссионных процессов на плоской (или близкой к плоской) поверхности не обеспечит ни один из распространенных в экспериментальной практике способов (в частности, нанесение механически рисок и др.).

В настоящей работе в качестве средства локализации униполярной дуги в заданном месте металлической поверхности предложено использовать сфокусированное в данную точку излучение мощного лазера. Схема эксперимента приведена на рис. 1. В качестве плазмы, моделирующей пристеночную плазму в замкнутых магнитных ловушках, выбрана короткоживущая ($\tau \leq 10\text{--}100$ мкс), плотная, горячая и высокопотенциальная плазма, создаваемая пучком мощного СВЧ излучения [6] (воздействие в вакууме на диэлектрическую мишень). В созданную СВЧ пучком плазму (СВЧ корону) вводится цилиндрический электрод ($l \approx 2$ мм; $d \approx 5$ мм), выполненный из алюминия. Высокотемпературность ($T_e \leq 200$ эВ) и высокопотенциальность ($\varphi_p \leq 2$ кВ) плазмы – результат развития нелинейных процессов взаимодействия СВЧ излучения с созданной им же у поверхности мишени ионизованной средой в области „резонанса“ ($\omega = \omega_p$) [7].

При достаточно высоких интенсивностях СВЧ излучения температура и концентрация электронного компонента в СВЧ короне

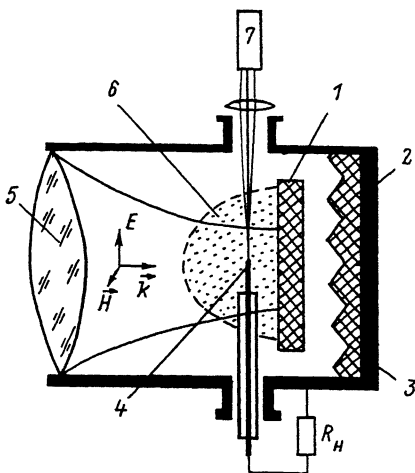


Рис. 1. Схема эксперимента. 1 - диэлектрическая (или металлодиэлектрическая) мишень, 2 - вакуумная камера, 3 - поглощающая СВЧ излучение нагрузка, 4 - взрывоэмиссионный электрод, 5 - линза, формирующая СВЧ пучок, 6 - плазменное образование (СВЧ корона), 7 - иницирующий лазер.

столь велики, что квазистатические поля у погруженного в корону электрода

$$\bar{E} \sim \sqrt{n_e \cdot T_e} \quad (1)$$

оказываются причиной начала взрывоэмиссионных явлений на микроостриях ($\bar{E} \approx 10^6$ В/см). Как показано в [6, 8], возникновение взрывоэмиссионного центра (как правило, в каждой реализации - одного) сопровождается появлением квазистационарного электронного тока в цепи: электрод-плазма СВЧ короны - стенка камеры - электрод.

Интенсивность СВЧ излучения в настоящем эксперименте относительно невысока ($S \approx 10^4 \frac{Вт}{см^2}$), температура и концентрация электронов плазмы в короне недостаточно велики для стимуляции взрывоэмиссионных явлений. В качестве инициатора взрывной эмиссии, провоцирующего „униполярную“ дугу в заданном месте поверхности электрода, в этих условиях используется лазер ЛТИПЧ-5 ($\lambda = 1,06$ мкм), работающий в режиме модулированной добротности (длительность импульса около 15 нс, энергия в импульсе от 15 до 40 мДж). Излучение лазера фокусируется на поверхности алюминиевого электрода в заранее выбранную точку.

На рис. 2 приведены осциллограммы, характеризующие последовательность воздействия СВЧ и лазерного импульсов: лазерный им-

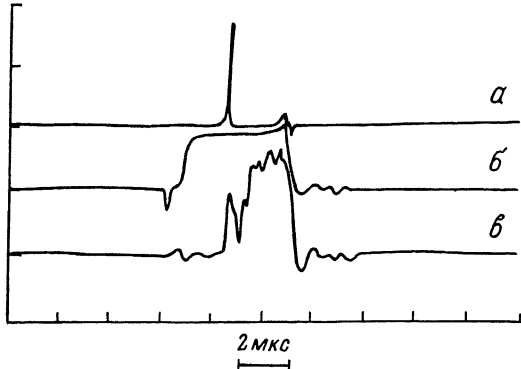


Рис. 2. Характерные осциллограммы, а - лазерный импульс, б - импульс СВЧ излучения, в - квазистационарный ток.

пульс задержан относительно СВЧ импульса на 2 мкс. Как следует из экспериментов, облучение лазером поверхности электрода приводит к формированию взрывоэмиссионного центра за времена, не превышающие нескольких десятых микросекунды от момента включения лазера. О рождении „горячей“ эмиссионной точки на электроде свидетельствует появление квазистационарного тока в цепи: электрод - плазма короны - стенка камеры - электрод (рис. 2, в). Действительно, величина квазистационарного тока, регистрируемого в цепи электрода, будучи отнесенной к площади пятна лазерного излучения $\lesssim 10^{-3}$ см², дает значения плотностей тока, превышающие 10^4 А/см². Столь высокая плотность тока не объяснима ни одним из известных эмиссионных механизмов, кроме термоавтоэлектронного.

Факт поджига униполярной дуги и ее привязки к месту фокусировки лазерного излучения подтверждается скоростной фотосъемкой с использованием фотоэлектронного регистратора ФЭР-7 (характерные ферограммы приведены на рис. 3).

Таким образом, в работе продемонстрирована возможность инициации лазером взрывоэмиссионного центра и униполярной дуги в заданной точке поверхности металлического электрода, контактирующего с горячей и плотной плазмой. Этот результат может сказаться в существенном расширении состава современных плазменных диагностик, применимых к столь сложному объекту, как униполярная дуга.

Описанный в настоящей работе эксперимент представляет интерес и для проблемы высокоэффективной трансформации энергии СВЧ излучения в постоянный ток, затронутой в [6, 8]. Так, применение лазерной инициации, как следует из приведенных выше результатов, снижает уровень интенсивности СВЧ излучения, при котором начинает проявляться механизм трансформации. Для пробле-

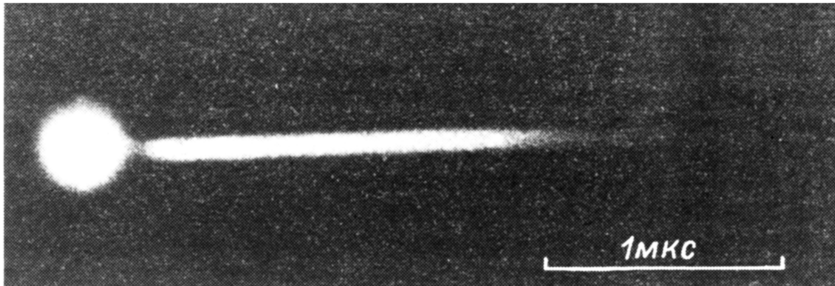


Рис. 3. Ферограмма свечения дуги (светящаяся точка в начале развертки соответствует лазерному излучению).

мы преобразования энергии мощного СВЧ излучения в энергию квазистационарного тока, по-видимому, важен и следующий экспериментальный факт. Оказалось, что при подходе к верхней границе использованной энергии лазера (~ 40 мДж) эффект трансформации начинал проявляться уже на плазменном образовании, создаваемом самим лазером (лазерном факеле). В этом случае конструкция преобразователя (или измерителя высокого уровня СВЧ мощности) упрощается, т.к. пропадает необходимость в диэлектрической или металлодиэлектрической мишени, являющейся источником плазмы, изначально контактирующей с металлическим электродом.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] R o b s o n A.E., T h o n e m a n P.C. // Proc. Phys. Soc. 1959. V. 73. Pt. 3. N 471. P. 508.
- [2] M c C r a c k e n G.M., G o o d a l l D.H.J // Nucl. Fusion. 1978. V.18. P. 537.
- [3] В о й ц е н я В.С., В о л к о в Е.Д., Г р и б а н о в Ю.А., Д и к и й А.Г., Л а ц ь к о Е.М., Р ы б а л к о В.Ф., С о л о д о в ч е н к о С.И. // ЖТФ. 1980. Т. 50. В. 2. С. 415.
- [4] T i e n J.K., P a n a y o t o v N.F., S t e v e n s o n R.D., G r o s s R.A. // J. of Nuclear Materials. 1978. N 76, 77. P. 481-488.
- [5] А л д о х и н В.Н., Б а т а н о в Г.М., Б е р е ж е ц к а я Н.К., В о р о н ц о в а С.Н., Г р и ц и н и н С.И., И в а н о в В.А., К о с с ы й И.А., Л а з а р е в а И.Ю., С е р г е й ч е в К.Ф. Препринт № 189, М., 1981. 15 с.
- [6] А н ц и л о в А.М., Б е р е ж е ц к а я Н.К., Г р и ц и н и н С.И., Д о р о ф е ю к А.А., К о п ь е в В.А.,

Коссы И.А., Лукьяничков Г.С., Никурадзе П.О. // Тр. ИОФАН. 1988. Т. 16. С. 16-45.

- [7] Батанов Г.М., Иванов В.А., Коссы Л.А. Nuclear and Turbulent Processes in Physics. N.Y.: Gordon and Breach, Harward Academic Published, 1984. V. 1. P. 45-55.
- [8] Аскарьян Г.А., Батанов Г.М., Бережечка Н.К. // Письма в ЖЭТФ. 1979. Т. 29. С. 706-709.

Институт общей физики
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию
31 июля 1989 г.
В окончательной редакции
26 февраля 1990 г.