

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

04

Журнал технической физики, т. 63, в. 5, 1993

© 1993 г.

СПОНТАННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ  
ЗА УДАРНОЙ ВОЛНОЙ В ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ПЛАЗМЕ

Р.Ф.Авраменко, А.И.Климов, В.И.Николаева

В экспериментах по распространению ударной волны (УВ) в неравновесной слабоионизированной плазме был обнаружен ряд особенностей поведения вольт-амперных характеристик (ВАХ) разряда, динамики электронной концентрации  $N_e$  на волне, светимости возбужденного газа [1]. Изменение этих величин в плазменном шнуре в свою очередь должно было привести к изменению соответствующей величины напряженности магнитного поля ( $H$ ) вокруг шнура.

В настоящей работе исследовались вопросы генерации поля в разряде при распространении в нем ударной волны и взаимосвязи динамики этого магнитного поля с механизмом стимулированной контракции разряда за ударной волной.

Эксперименты проводились на однодиафрагменной ударной трубе из кварцевого стекла круглого сечения с внутренним диаметром  $\sim 32$  мм, подробно описанной в [1]. На этой установке создавались ударные волны со скоростями 600–1200 м/с. В качестве исследуемого газа использовался воздух при давлении  $P_a = 3\text{--}12$  Тор.

Продольный разряд в рабочей секции (РС) трубы создавался импульсной тиратронной схемой [1]. Величина накопительной емкости  $C$  составляла 0.2–2 мкФ. Балластное сопротивление  $R_b$  обеспечивало квазистационарный ток разряда в диапазоне от 0.1 до 10 А. Характерное время горения разряда до момента прихода ударной волны в рабочую секцию не превышало  $t_{\text{гор}} \leq 1$  мс. Как было показано ранее [2], при этих условиях температура  $T_a$  в разряде не превышала 600 К, электронная температура  $T_e$  составляла 1–2 эВ [3]. Диаметр светящегося плазменного шнура был  $\simeq 20$  мм.

Величина напряженности магнитного поля вокруг плазменного шнура измерялась магнитометром, расположенным на расстоянии 3–5 см от трубы. Магнитометр имел равномерную амплитудно-частотную характеристику в диапазоне частот от 1 кГц до 10 МГц и чувствительность  $k = 0.127$  м·В/а. Динамика светящегося плазменного шнура в заданном сечении трубы изучалась с помощью СФР с вертикальной щелью.

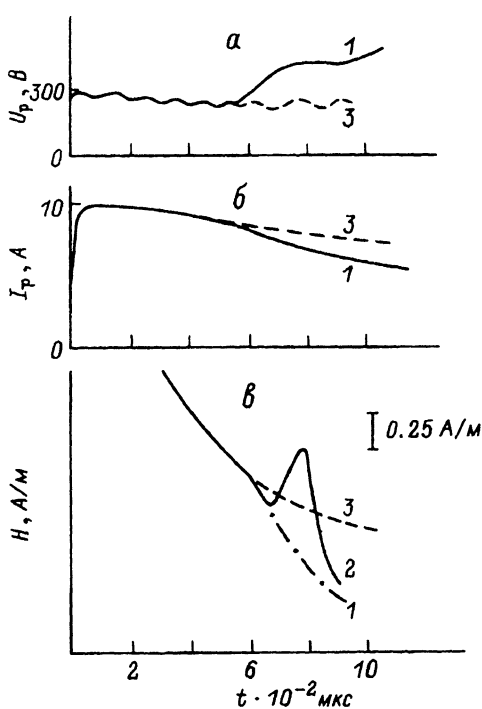


Рис. 1. Характерные осциллограммы сигналов напряжения  $U_p(t)$ , тока  $I_p(t)$  в импульсном разряде и напряженности магнитного поля вокруг разрядного шнура  $H(t)$ .

$a$  — разряд с УВ,  $b$  — разряд без УВ; 1 — нормальный режим, 2 — аномальный; воздух,  $P_a = 6 \text{ Тор}$ ,  $V_0 = 900 \text{ м/с}$ .

Вольт-амперная характеристика разряда регистрировалась с помощью безындуктивных калиброванных делителей.

На рис. 1 показаны характерные сигналы напряжения  $U_p$ , тока  $I_p$  разряда и напряженности магнитного поля. В момент входа ударной волны в зону разряда происходило “пригасание” разряда: величина  $U_p$  увеличивалась более чем в 2 раза, величина  $I_p$  уменьшалась на 25%. Модуляция этих величин на волне зависела от скорости ударной волны: чем выше была скорость волны  $V_0$ , тем больше была величина модуляции. При начальной скорости  $V_0 \geq 1.1 \text{ км/с}$  происходило полное гашение разряда  $I_p$ .

Характер изменения напряженности магнитного поля в эксперименте мог быть различным. Как правило, при вхождении волны в разрядную зону наблюдалось монотонное уменьшение ее величины (рис. 1, кривая 1) в соответствии с уменьшением полного разрядного тока. Однако в ряде экспериментов наблюдалось резкое ее увеличение до 20–30% (рис. 1, кривая 2). Последний случай при условии уменьшения общего тока  $I_p$  в печи разряда является аномальным, и объяснение его следовало искать в локальном перераспределении параметров и структуры разряда в прифронтальной зоне ударной волны. Именно в связи с этим нами был исследован вопрос о стимулированной контракции разряда в ударносжатом газе за фронтом волны.

На рис. 2,  $a$  показана характерная фоторазвертка динамики светящегося разрядного шнура, полученной в средней части рабочей секции. Стрелкой обозначен фронт волны (II), положение которого контролировалось лазерным шпирев-методом [1]. Из рис. 2,  $a$  видно, что за фронтом ( $t > 60 \text{ мкс}$ ) происходила контракция разряда: отмечаются уменьшение

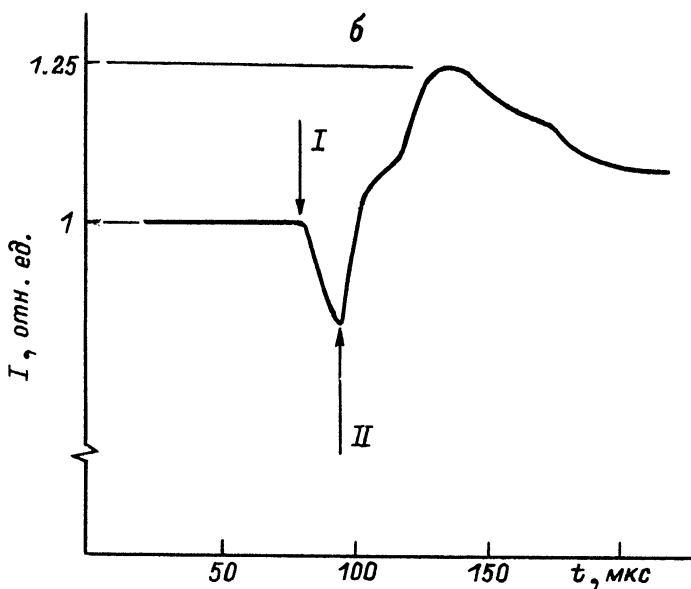
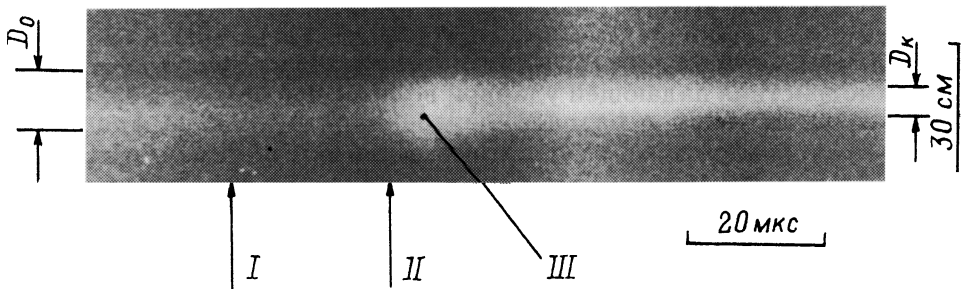
*a*

Рис. 2. Фоторазвертка свечения разряда за УВ *a* и осциллограмма сигнала свечения плазмы  $I_{CB}$  с ФЭУ *б*.

*П* — предвестник, *Ш* — шарообразный плазмоид за фронтом УВ в разряде,  $D_0$  — диаметр невозмущенного разряда до УВ,  $D_k$  — диаметр контрагированного разряда за УВ; воздух,  $P_a = 6$  Тор,  $V_0 = 900$  м/с.

диаметра плазменного столба в 2–3 раза и одновременное увеличение его светимости в 1.3–1.5 раза. В прифронтной зоне происходит формирование плазменного образования шарообразной формы (*Ш*). Иногда за фронтом в разряде наблюдалась шлянгово-изгибная неустойчивость плазменного жгута с временным инкрементом изгибных колебаний порядка 1–2 мм/мкс.

Было отмечено также, что интенсивность излучения возбужденного газа, измеренная с помощью ФЭУ, уменьшалась в области перед фронтом ударной волны на 25–30% (в области предвестника *I* на рис. 2).

Несколько замечаний относительно шарообразного плазмоида (III) за фронтом ударной волны (рис. 2,а). Структура этого образования, по-видимому, представляет из себя тороидальный плазменный вихрь. Действительно, как показали результаты численного моделирования процесса взаимодействия падающей ударной волны с неоднородно нагретым по сечению трубы газом в разряде, первоначально плоский фронт волны трансформировался в конусообразный, а за ним образовывался тороидальный вихрь [4]. Циркуляционное течение в плазменном вихре в принципе могло обеспечить появление дополнительных токов в нем по отношению к основному току разряда, что в свою очередь должно было привести к появлению азимутальных и радиальных составляющих магнитного поля, реально зарегистрированных магнитометром в нашем эксперименте.

Необходимо отметить также, что описанный выше характер стимулированной контракции неравновесного тлеющего разряда за фронтом ударной волны существенно отличался от характера контракции равновесного дугового разряда за слабой волной при атмосферном давлении, исследованного ранее в работе [5]. В последнем случае контракция была очень резкой и происходила практически мгновенно за характерное время менее 1 мкс за фронтом. В этой работе не было обнаружено перечисленных выше особенностей структуры плазмы в прифронтной зоне волны (образование предвестника I и плазмоида III).

Таким образом, в данной работе было показано, что в прифронтной зоне ударной волны действительно происходят перестройка структуры разряда и развитие плазменных неустойчивостей, носящих нерегулярный, спонтанный характер и приводящих к локальному перераспределению плотности тока в разряде и к генерации дополнительных магнитных полей.

#### Список литературы

- [1] Горшков В.А., Климов А.И., Мишин Г.И. и др. // ЖТФ. 1987. Т. 57. Вып. 10. С. 1893-1898.
- [2] Климов А.И., Мишин Г.И., Федотов А.Б., Шахатов В.А. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. Вып. 20. С. 31-35.
- [3] Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1987. 590 с.
- [4] Войнович Р.А., Евтюгин Н.В., Марголин А.Д. и др. // ФГВ. 1982. № 1. С. 77-79.
- [5] S. Miyashiro // Jap. J. Appl. Phys. 1983. Vol. 22. N 12. P. 1901-1905.

Научно-исследовательский институт  
радиоприборостроения  
Москва

Поступило в Редакцию  
4 февраля 1992 г.  
В окончательной редакции  
16 февраля 1993 г.