

03;04;07;11

©1995

ТОНКАЯ СТРУКТУРА ПРИЭЛЕКТРОДНЫХ ОБЛАСТЕЙ ХеСІ РАЗРЯДА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

М.К.Макаров

Трудность однородного формирования электрического газового разряда высокого давления так или иначе связана с неустойчивостью катодного слоя. Неизбежность пространственных нарушений такого рода является следствием неоднородности электронной эмиссии с поверхности катода [1,2]. В случае эксимерного ХеСІ разряда хорошо известно явление множественного формирования катодных пятен, когда приэлектродная область оказывается пронизанной опирающимися на них тонкими сильноточными каналами [5]. Одним из очевидных решений проблемы является искусственное создание таких условий, при которых поверхностная плотность локальных эмиссионных центров на катоде была бы достаточно высока и диффузные каналы, перекрываясь, образовывали бы квазиоднородный столб плазмы. Однако большинство предлагаемых способов (спецполировка рабочих поверхностей, графитовое напыление, использование плазменных электродов и т.д.) оказываются малопригодными с практической точки зрения.

В этой связи обращает на себя внимание тонкая структура слаботоочного ХеСІ разряда, формирующаяся вблизи анода при колебательном режиме накачки (рис. 1). На рис. 2 представлены интегральные фотографии такого разряда в типичной эксимерной газовой смеси Ne/Хе/НСІ=1000/10/1, $p = 2$ атм. Разряд с плотностью тока $j \sim 30$ А/см² зажигался между двумя плоскими алюминиевыми электродами, один из которых (на снимках нижний) был полупрозрачен для рентгеновского излучения предыонизации (доза $D \sim 2-5$ МР/импульс, $t_{\text{имп}} \sim 20$ нс). Глубина промежутка составляла $d = 3.5$ см, площадь поперечного сечения активной области — $S \sim 25-30$ см². Питание разряда происходило от керамического конденсатора, коммутируемого непосредственно на промежуток. Предварительная ионизация среды осуществлялась после подачи высокого напряжения [3].

На фотографиях рис. 2 хорошо заметно узкое (~ 0.07 см) резко очерченное темное пространство вблизи верхнего

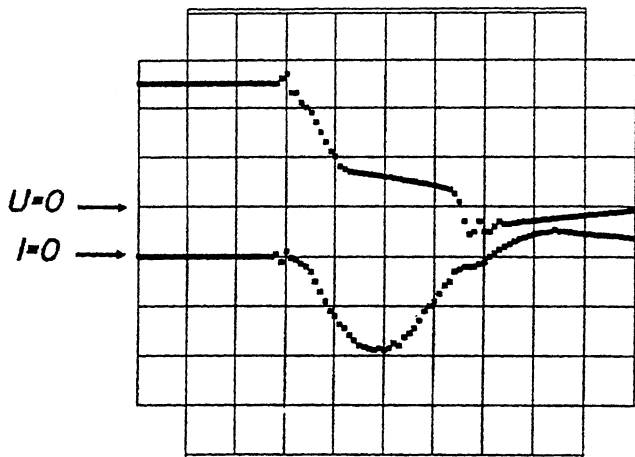
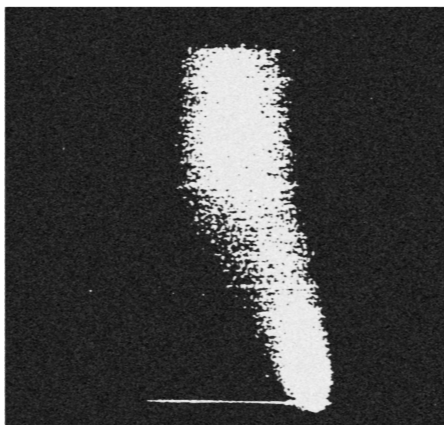


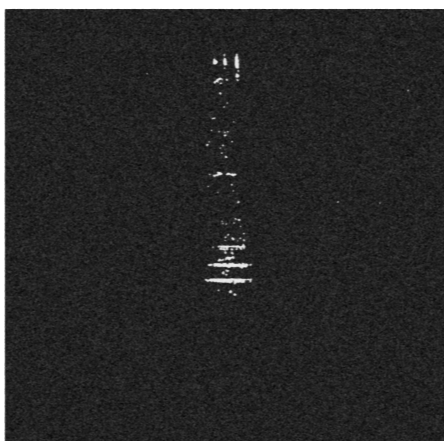
Рис. 1. Типичные осциллограммы тока разряда и напряжения на плазме. $C = 1.5$ нФ; шкалы — $\Delta t = 100$ нс/дел, $\Delta U = 6$ кВ/дел, $\Delta i = 50$ А/дел.

электрода (катод после смены полярности), однородно заполненное большим количеством тонких каналов. Если образование темной области происходит в результате дрейфа электронов после смены полярности электродов, электрическое поле на аноде должно быть достаточно велико. В данном случае в качестве завышенной оценки длительности переходного периода можно принять величину $\delta t \sim 10$ нс. Тогда, исходя из размеров темной зоны, дрейфовая скорость электронов должна составлять $v_d \sim 0.07$ см/10 нс $\sim 7 \cdot 10^6$ см/с, что соответствует полю в слое $(E/p)_k \sim 4$ кВ/(см · атм). При этом средняя напряженность электрического поля в плазме не превышает величины $E/p \sim 0.1-0.2$ кВ/(см · атм) и, что особенно важно, никаких специальных требований к качеству поверхности электрода не предъявляется. Для сравнения: в [5] аналогичная картина вблизи тщательно отполированного катода наблюдалась при среднем поле $E/p \sim 4.5$ кВ/(см · атм) и длительности фронта импульса напряжения $t_\phi < 10$ нс.

Единственным, но, на наш взгляд, решающим отличием описываемой ситуации от традиционной является тот факт, что формирование тонкой структуры начинается при средней концентрации электронов в промежутке $N_e \sim 10^{13}$ см⁻³, а не при типичном уровне предьонизации $N_{e0} \sim 10^8$ см⁻³. Можно легко показать, что с ростом “стартовой” концентрации электронов сокращается глубина дрейфового пространства. Действительно, в этом случае накопление объемного заряда в прикатодной области будет идти быстрее



a



b

Рис. 2. Интегральные фотографии слаботочного ($j \sim 30 \text{ А/см}^2$) ХеСl разряда при колебательном режиме возбуждения. *a* — $C = 1.5 \text{ нФ}$, *b* — $C = 3 \text{ нФ}$.

и компенсация внешнего электрического поля, вызывающего первоначальный дрейф электронов, наступит раньше, на меньшем расстоянии от катода. С другой стороны, на несколько порядков большая, нежели в традиционном случае, концентрация положительных ионов вблизи поверхности катода приводит к значительному усилению вторичной электронной эмиссии и улучшению ее однородности. Наконец, более мощный поток энергетичных фотонов из объема (как благодаря увеличению концентрации возбужденных атомов Хе, так и за счет сокращения глубины темного пространства) усиливает фотоэмиссию с катода. Все это в целом и приводит к значительно более плотному и однородному заполнению каналами дрейфового пространства.

Правомерен вопрос об использовании наблюдаемого явления для формирования однородного разряда накачки ХеСl лазеров. Что касается слаботочного ХеСl разряда ($j \sim 1-30 \text{ А/см}^2$), то его зажигание не представляет проблемы [6]. Принципиально устойчивый, он элементарно формируется в любых начальных условиях и при любой конфигурации электродной системы. При этом энергетические затраты на его поддержание несущественны. Переход затем в сильноточную рабочую фазу накачки также возможен. Разработанные к настоящему времени схемы с магнитной изоляцией [7] позволяют достаточно просто реализовать режим со сменой полярности электродов и согласованным вводом в плазму запасенной энергии.

Список литературы

- [1] *Месяц Г.А.* // Письма в ЖТФ. 1975. Т. 1. В. 14. С. 660-663.
- [2] *Королев Ю.Д., Месяц Г.А.* // Физика импульсного пробоя газов. М.: Наука, 1991. 223 с.
- [3] *Макаров М.К.* // J. Phys. D: Appl. Phys. 1995. V. 28. N 6. P. 1083-1093.
- [4] *Канатенко М.А.* // Письма в ЖТФ. 1983. Т. 9. В. 4. С. 214-218.
- [5] *Böttcher W., Lück H., Niesner St., Schwabedissen A.* // Appl. Phys. B. 1992. V. B54. P. 295-302.
- [6] *Buchkov Yu.I., Kostyrya I.D., Makarov M.K., Suslov A.I., Yastremski A.G.* // Rev. Sci. Instrum. 1994. V. 65. N 4. P. 793-798.
- [7] *Taylor R.S.* // Appl. Phys. B. 1994. V. B59. P. 479-508.

Институт сильноточной
электроники
СО РАН
Томск

Поступило в Редакцию
14 июля 1995 г.