

- [1] Исупов В.А., Байтамаев Б., Парфенова Н.Н., Смоленский Г.А. // ЖТФ. 1987. Т. 57. Вып. 10. С. 1962–1966.
 [2] Shrout T.R., Dougherty J.P. // Proc. Symp. Ceram. Dielec. Compos. Proc. and Prop. Westerville (Ohio), 1990. P. 3–19.
 [3] Исупов В.А. // ФТТ. 1991. Т. 33. Вып. 7. С. 2205–2207.
 [4] Дидковская О.С. // Сегнето- и пьезоматериалы и их применение. М., 1978. С. 140–143.
 [5] Shannon R.D. // Acta Cryst. Vol. A32. N 1. P. 751.
 [6] Vokov A.A. // Abstr 7th Europ. Meet Ferroelectricity. Dijon (France), 1991. P. 126.

Ростовский университет
 Научно-исследовательский
 институт физики

Поступило в Редакцию
 3 июня 1992 г.

04:09
 © 1993 г.

Журнал технической физики, т. 63, в. 7, 1993

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОЛЯ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В ХОЛОДНОЙ НЕРАВНОВЕСНОЙ ПЛАЗМЕ ВО ВЛАЖНОМ ВОЗДУХЕ

Е.Т.Протасевич

В [1–3] установлено, что существует критическое значение влажности воздуха, при достижении которого образуется холодная неравновесная плазма (ХНП) с температурой электронов $T_e \lesssim 2000$ К и поступательной температурой (температурой атомов водорода) $T \sim 300$ К. При работе в импульсном режиме для такой плазмы характерно большое время распада, превышающее на несколько порядков время распада в сухом воздухе [4]. Причина этого явления до сих пор точно не установлена. Согласно [5], для случая, когда плазма является неидеальной, значение коэффициента ее рекомбинации сильно зависит от величины внутривлазменных электрических полей. При этом чем выше их напряженность, тем меньше значение коэффициента рекомбинации, и наоборот.

Цель данной работы — измерение электрических полей в плазме VЧ разряда на основе использования спектральных линий атомарного водорода и поиск корреляции между увеличением напряженности этих полей и замедлением скорости распада ХНП.

Разряд исследовался в кварцевых трубках ($d \sim 1.0$ и 2.4 см) по схеме, подробно описанной в [1–3]. Рабочее давление в системе составляло 25–900 Па и определялось преимущественно давлением водяного пара. При расстоянии между внешними кольцевыми электродами, равном 10 см, мощность, рассеиваемая в разряде на частоте 37 МГц, составляла ~ 100 Вт. Охлаждение трубки — естественное, воздушное, режим разряда — проточный. Линии водорода серии Бальмера выделялись с помощью монохроматора МДР-4 с дифракционной решеткой 1200 штрихов/мм. Для повышения эффективности спектральных измерений служила дополнительная информация о форме спектральной линии H_β , полученная на интерферометре Фабри–Перо при изучении разряда во влажном воздухе в [1].

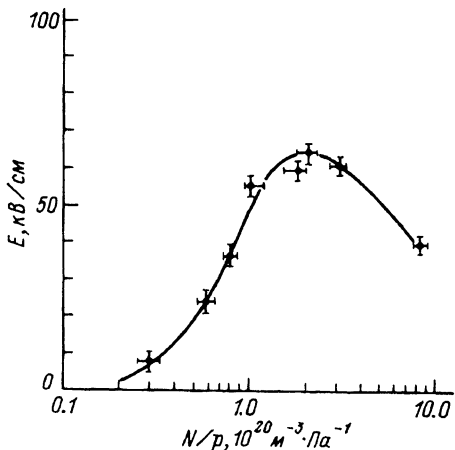


Рис. 1. Изменения напряжения внутриплазменного электрического поля в зависимости от параметра N/p .

В рассматриваемом эксперименте величина сдвига линии H_{β} в ультрафиолетовую область спектра составляет $\delta\lambda_s \sim 1-4 \cdot 10^{-2}$ нм, что соответствует изменениям частоты $\delta\nu_s = (\delta\lambda)c/\lambda^2 \simeq 10^{10}-10^{11}$ Гц. Тогда в случае линейного эффекта Штарка частота и напряженность электрического поля связаны между собой известным соотношением $\nu_s \simeq 10^{11} E$, из которого по величине смещения линии H_{β} , зарегистрированной в эксперименте, можно рассчитать значение напряженности электрического поля в плазме.

На рис. 1 представлена кривая изменения величины электрического поля E в зависимости от концентрации в разряде паров воды N и полного давления неионизованной смеси (воздух + H_2O). Из рис. 1 видно, что максимальное значение E составляет приблизительно 64 кВ/см. $E_{\text{макс}}$ наблюдается при выполнении условия

$$0.8 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3} \cdot \text{Па}^{-1} < N/p < 8.0 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3} \cdot \text{Па}^{-1} \quad (1)$$

и соответствует режиму охлаждения плазмы [1-4]. Поскольку максимум по концентрации электронов находится левее относительно $E_{\text{макс}}$ в рассматриваемой зависимости [6], то можно утверждать, что при увеличении влажности воздуха возрастает вклад ионов (или заряженных кластеров) в величину суммарного электрического поля. Тогда, согласно механизму расширения спектральных линий, предложенного Хольцмарком [7], средние значения напряженностей полей для случаев точечных зарядов и диполей могут быть определены из соотношений

$$E = 2.61n^{2/3}e \quad \text{и} \quad E = 4.54nM, \quad (2)$$

где n — число заряженных частиц в единице объема, M — дипольный момент. Кроме молекул H_2O наибольшим дипольным моментом обладают такие радикалы OH и OH^- , линейно-полосовой спектр которых был зарегистрирован в эксперименте.

Расчетные значения E значительно превосходят величину напряженности внешнего электрического поля, которая составляла 12.0-22.5 В/см.

По этой причине влиянием последнего на суммарную величину электрического поля можно пренебречь.

Значения напряженностей внутривлазменных электрических полей, представленные на рис. 1, вряд ли можно считать завышенными, поскольку, например, в тлеющем разряде при $n_e \sim 10^{14} \text{ см}^{-3}$ величина $E \sim 20 \text{ кВ/см}$ [8]. В нашем случае n_e было того же порядка. Появление провала в линии H_β характерно для значений $n_e \sim 10^{14} \text{ см}^{-3}$. В описываемом эксперименте это происходило при $N/p \sim 0.82 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3} \cdot \text{Па}^{-1}$, затем по мере увеличения n_e глубина провала увеличилась, а с уменьшением концентрации электронов [6] наблюдалось его сглаживание, как это показано на рис. 2¹ В [10] в качестве примера рассмотрено расщепление линии H_β при $E = 55 \text{ кВ/см}$, что также находится в хорошем согласии с результатами, представленными на рис. 1.

Более сильному действию электрических полей подвержены более высокие члены серии Бальмера, имеющие большие квантовые числа. Анализ эмиссионного спектра холодной неравновесной плазмы показывает, что по мере увеличения концентрации паров воды (другими словами, охлаждения и уплотнения плазмы) происходит обеднение спектров за счет исчезновения на них линий H_ϵ и H_ξ ($n = 7, 8$). Последнее обстоятельство также связано с появлением в плазме сильных электрических микрополей.

Таким образом, существует явная корреляция между наличием в ХНП сильных электрических полей и увеличением времени распада [5]. Мак-

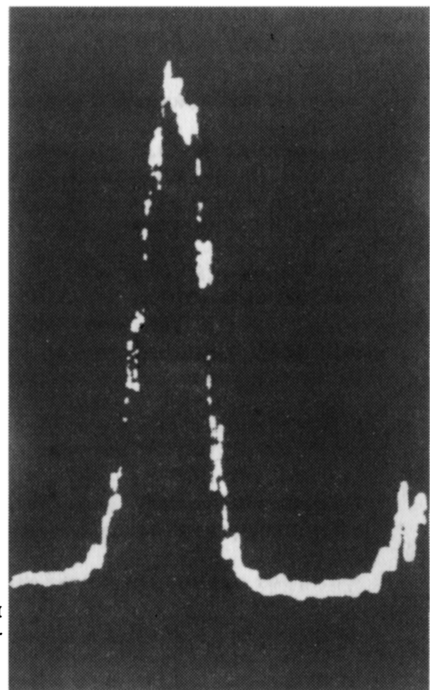


Рис. 2. Типичный профиль спектральной линии H_β на экране запоминающего осциллографа.

$N = 4.7 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}$, $p = 190 \text{ Па}$.

¹ Запись спектральной линии осуществлена на интерферометре Фабри-Перо фирмы "Цейс" в университете Т.Масарика (г.Брно, Чехословакия) А.Браблецом и В.Капичкой в 1983 г. Материал частично использован в [1,9].

симулы $E_{\text{макс}}$ и $\tau_{\text{макс}}$ по оси N/p практически совпадают. Действие же микрополей приводит к нереализации высоковозбужденных дискретных состояний, что уменьшает коэффициент рекомбинации плазмы [5,11].

Автор выражает благодарность А.Браблецу и В.Капичке за помощь в записи спектральных линий.

Список литературы

- [1] Протасевич Е.Т., Капичка В., Браблец А. // ЖТФ. 1985. Т. 55. Вып. 4. С. 743-745.
- [2] Протасевич Е.Т., Дейнеженко А.Л., Браблец А., Капичка В. // ЖТФ. 1988. Т. 58. Вып. 7. С. 1452-1453.
- [3] Протасевич Е.Т. // ТВТ. 1989. Т. 27. Вып. 6. С. 1206-1218.
- [4] Копытин Ю.Д., Протасевич Е.Т., Чистякова Л.К., Шишковский В.И. Воздействие мощного лазерного и ВЧ излучений на воздушную среду. Новосибирск: Наука, 1992. С. 270.
- [5] Куриленков Ю.К. // ТВТ. 1980. Т. 18. Вып. 6. С. 1312-1314.
- [6] Протасевич Е.Т. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. Вып. 16. С. 1006-1009.
- [7] Фриш С.Е. Спектроскопия газоразрядной плазмы. Л.: Наука, 1970. С. 361.
- [8] Баярлуу Ч., Киселевский Л.И., Макаревич А.Н., Соловьянчик Д.А. // ЖПС. 1990. Т. 53. № 1. С. 26-30.
- [9] Браблец А., Капичка В., Дейнеженко А.Л., Протасевич Е.Т. // Scripta Fac. Sci. Nat. Univ. Purk. Brun. 1985. Vol. 15. N 5. P. 247-249.
- [10] Горчаков Л.В., Демкин В.П., Муравьев И.И., Янчарина А.М. Излучение атомов инертных газов в электрическом поле. Томск, 1984. 144 с.
- [11] Куриленков Ю.К., Протасевич Е.Т. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15 Вып. 14. С. 7-12.

Научно-исследовательский
институт ядерной физики
при Томском политехническом
институте им.С.М.Кирова

Поступило в Редакцию
27 июля 1992 г.