

I. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ГЕНЕРАТОРАХ ПЛАЗМЫ, ЭМИССИОННЫЕ СВОЙСТВА ПЛАЗМЫ, ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ И ИОННЫХ ПУЧКОВ

Инициация поверхностных стримеров барьерной отрицательной короной постоянного напряжения в аргоне

Б.Б. Балданов, А.П. Семенов, Ц.В. Ранжуров

Институт физического материаловедения СО РАН,
670047 Улан-Удэ, Россия
e-mail: ts_ranjurov@mail.ru
DOI 10.31554/978-5-7925-0524-7-2018-8-11

Представлены результаты экспериментальных исследований отрицательной короны постоянного напряжения, возбуждаемой металлическим острием над плоскостью покрытой диэлектриком.

Введение

За последние десятилетия наблюдается значительный интерес к нетепловым видам плазмы атмосферного давления из-за увеличения числа их промышленных приложений, таких как контроль загрязнений, удаление летучих органических соединений, контроль выхлопных газов автомобилей, генерация озона, очистка воды, обработка поверхности полимеров [1].

Одним из наиболее эффективных и технологичных методов улучшения контактных свойств поверхности полимеров является воздействие низкотемпературной неравновесной плазмы [2]. При этом важной особенностью процесса плазмохимической модификации полимерных материалов является то, что изменениям подвергается только поверхность полимера и тонкий поверхностный слой толщиной $10\text{--}10^3$ нм [2]. Структурно-химические превращения в поверхностном слое, вызванные воздействием плазмы, ведут к изменениям электрофизических, физико-механических, оптических и других свойств поверхности полимера [3–8].

В настоящее время известен ряд газоразрядных методик, используемых в создании технологий обработки поверхностей полимеров: коронный, барьерный, тлеющий низкочастотный (НЧ, $50\text{--}10^3$ Гц), высокочастотный (ВЧ,

$13,56$ МГц), микроволновый (СВЧ, $2,45$ ГГц) разряды, скользящая дуга [9–15]. Однако, несмотря на целый ряд достигнутых положительных эффектов взаимодействия системы плазма-полимер, в т.ч. реализованных в промышленности, механизм и соответственно технология плазменной обработки полимеров разработаны недостаточно. В частности, представляет интерес исследование возможностей поверхностного разряда.

Целью данной работы является изучение слаботоочного поверхностного разряда в аргоне атмосферного давления с диэлектрическим барьером на аноде, иницированного отрицательным коронным разрядом постоянного напряжения.

1. Методика эксперимента

Исследования проводились в разрядной камере в структуре электродов острие–плоскость рис. 1 [16–18]. Катод 1 представляет собой стальной стержень с радиусом закругления вершины конуса $r = 25$ мкм. Плоский электрод 2 представляет конструкцию из стальной пластины площадью $S = 96$ см². На плоский электрод помещался диэлектрик – полимерная пленка (политетрафторэтилен, толщина $d = 60$ мкм), которая удерживалась на краях специальными зажимами. Расстояние от вершины острия до диэлектрической пленки составляет 30 мм.

Максимальное напряжение регулируемого высоковольтного источника ВС-20-10 составляло 20 кВ. Для стабилизации разряда острое нагружалось регулируемым балластным сопротивлением $R_6 > 1$ МОм. Плазмообразующий газ аргон прокачивается через разрядную камеру. Расход аргона G измеряется с помощью ротаметра РМ-А-0,16 ГУЗ до $5 \cdot 10^{-5}$ кг/с.

2. Результаты и обсуждение

Отрицательная корона с диэлектрическим барьером на аноде реализуется путем подачи постоянного напряжения U на электродную структуру острие-плоскость. Разряд инициируется повышением напряжения до некоторого критического значения, соответствующего напряжению зажигания U^* . Визуальная картина свечения отрицательной короны с барьером качественно соответствует общепринятому определению короны и характеризуется слабовыраженным свечением зоны генерации, которая располагается вблизи острия, при этом дрейфовая область остается практически темной [19]. На рис. 2. представлены фотографии, иллюстрирующие эволюцию развития поверхностного разряда, возбуждаемого коронирующим острием отрицательной полярности над полимерной пленкой. При дальнейшем повышении напряжения на поверхности диэлектрика начинают формироваться яркие

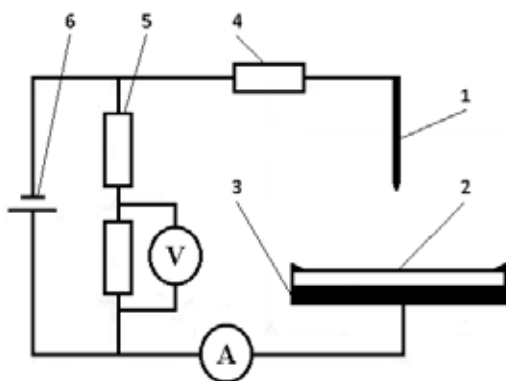


Рис. 1. Схема экспериментальной установки. 1 – острое; 2 – диэлектрический барьер из полимерной пленки; 3 – плоский электрод; 4 – балластное сопротивление; 5 – делитель напряжения; 6 – источник питания

поверхностные разряды — стримеры.

Как видно, стримеры формируются на краю диэлектрической пленки, при этом имеется как контрагированная, так и диффузная форма разряда, рис. 2 (а). Первичные стримеры, зарождающиеся на краю диэлектрика, имеют контрагированную форму разряда, которые при дальнейшем распространении по поверхности диэлектрика начинают сильно ветвиться. На расстоянии $l = 1,5-2$ см на поверхности диэлектрика относительно оси острие-плоскость стримеры полностью распадаются, и на площади $S = 3$ см² формируется объемная диффузная плазменная область. Дальнейшее повышение напряжения U приводит к увеличению частоты следования поверхностных стримеров, одновременно при этом усиливается свечение и сужается площадь, занимаемая диффузной плазменной областью. В данном режиме формирования разряда стримеры характеризуются сложной пространственной структурой, однако при этом имеют выраженную периодичность формирования и частоту следования, рис. 3. Отметим, что слаботочные поверхностные разряды характеризуются малой плотностью тока (не более 10 мА/см²) на поверхности и невысокой плотностью мощности (< 10 Вт/см²).

По мере роста напряжения в сформированной плазменной диффузной области зарождаются отдельные стримеры, которые затем вытягиваются из плазменной области в сторону коронирующего острия, рис. 2 (b). При замыкании разрядного промежутка острие-плоскость стримерами разряд переходит в режим контрагированного плазменного разряда, характеризуемого ярким однородным свечением в пределах плазменного канала. В режиме плазменного контрагированного разряда поверхность диэлектрика практически полностью заполняется поверхностным разрядом, состоящим из множества стримеров различного диаметра и диффузной плазмы, заполняющей пространство между стримерами, рис. 2 (c).

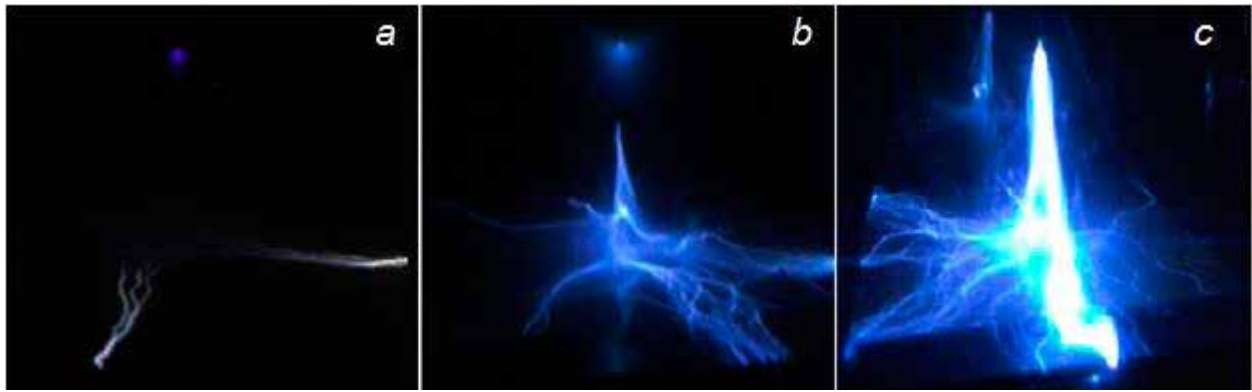


Рис. 2. Стадии горения отрицательной короны с диэлектрическим барьером – пленка ПТФЭ, толщиной $d = 60$ мкм



Рис. 3. Осциллограммы импульсов тока: *a* – отрицательной короны с диэлектрическим барьером ($I = 184$ мкА, $t = 40$ мкс); *b* – слабotoчного поверхностного разряда ($I = 44$ мкА, $t = 1.2$ мс); *c* – 1 – импульсы тока отрицательной короны; 2 – импульсы тока поверхностного разряда; 3 – импульс тока стримерного разряда ($I = 1.4$ мА, $t = 0.3$ мс)

Заключение

Экспериментально исследованы свойства высоковольтного искрового разряда в геометрии острие-плоскость, при ограничении разрядного тока балластным сопротивлением. Показано, что искровой разряд при ограничении разрядного тока балластным сопротивлением является слабotoчным, а характер протекания тока в тонком плазменном канале искры представляет собой установившийся режим регулярных импульсов тока.

Список литературы

[1]. Fridman A., Chirokov A., Gutsol A. // J. Phys. D: Appl. Phys. 2005. V. 38. R1–R24.
 [2]. Энциклопедия низкотемпературной плазмы. / Под ред В.Е.Фортова. Вводный том IV. // Гильман А.Б. Взаимодействие химически активной плазмы с поверхностью полимерных материалов. М.: Наука. 2000. С. 393-399.

[3]. Гильман А.Б. // Химия высоких энергий. 2003. Т. 37. № 1. С. 20-26.
 [4]. Гильман А.Б., Потапов В.К. // Прикладная физика. 1995. №3-4. С. 14-21.
 [5]. Рычков А.А., Малыгин А.А., Трифонов С.А., Рычков Д.А. // Журнал прикладной химии. 2004. Т. 77. №2. С. 280-284.
 [6]. Pelagade S.M., Singh N. L., Rane R. S., Mukherjee S., Deshpande U.P., Ganesan V., Shripathi T. // Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology. 2012. No. 2. P. 132-136.
 [7]. Kim S.R. // Journal of Applied Polymer Science, 2000. V. 77. No. 9. P. 1913-1920.
 [8]. Guzman L., Man B.Y., Miotello A. // Thin Solid Film. 2002. V. 420. P. 565-570.
 [9]. Акишев Ю.С., Апонин Г.И., Каральник В.Б., Монич А.Е., Трушкин Н.И. // Физика плазмы. 2004. Т. 30. №12. С. 1088–1104.
 [10]. Акишев Ю.С., Грушин М.Е., Монич А.Е., Напартович А.П., Трушкин Н.И. // Химия высоких энергий. 2003. Т. 37. №5. С. 330–335.

- [11]. Njatawidjaja E., Kodama M., Matsuzaki K. // Surface and Coatings Technology. 2006. V. 201. No. 3-4. P. 699-706.
- [12]. Lui C.Z., Wu J.Q., Ren I.Q., Tong J., Li J.Q., Cui N., Brown M.D., Meenan B.J. // Materials Chemistry and Physics. 2004. V. 85. P. 340-346.
- [13]. Jie-Rong C., Wakida T. // J. Appl. Polym. Sci. 1997. V. 63. No. 13. P. 1733-1739.
- [14]. Xu H., Hu Z., Wu S., Chen Y. // Materials Chemistry and Physics. 2003. V. 80. P. 278-282.
- 15]. Шемякин И.А., Королев Ю.Д., Касьянов В.С., Гейман В.Г., Болотов А.В., Франц О.Б., Ландль Н.В. // Известия вузов. Физика. 2014. Т. 57. №10/3. С. 312–316.
- [16]. Балданов Б.Б., Ранжуров Ц.В. // Прикладная физика. 2014. №2. С. 26–28.
- [17]. Балданов Б.Б., Ранжуров Ц.В. // Успехи прикладной физики. 2014. Т. 2. №2. С. 112–116.
- [18]. Балданов Б.Б., Ранжуров Ц.В. // Химия высоких энергий. 2016. Т. 50. №1. С. 64–67.
- [19]. Дандарон Г.-Н.Б., Балданов Б.Б. // Физика плазмы, 2007. Т. 33. № 3. С. 273-279.