ХИМИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ, 2021, том 55, № 2, с. 166–168

ПЛАЗМОХИМИЯ

УДК 544.722+537.523

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРА РАСТЕКАНИЯ ТОКА ПО ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИМЕРА НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛНОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭНЕРГИИ

© 2021 г. Б. Б. Балданов[a], *, Ц. В. Ранжуров[a]

[a] *Институт физического материаловедения СО РАН, ул. Сахьяновой, 6, Улан-Удэ, 670047 Россия*

**E-mail: baibat@mail.ru*

Поступила в редакцию 22.09.2020 г.
После доработки 29.10.2020 г.
Принята к публикации 02.11.2020 г.

Определена полная поверхностная энергия полимерной пленки политетрафторэтилена, модифицированной в неравновесной плазме слаботочного поверхностного разряда атмосферного давления. Показано, что полная поверхностная энергия и ее дисперсионная и полярная составляющие имеют неоднородный характер и существенно зависят от растекания тока по поверхности пленки.

Ключевые слова: поверхностная энергия, политетрафторэтилен, поверхностный разряд, полимерная пленка, стример

DOI: 10.31857/S0023119321020029

Поверхностная энергия является одной из важнейших характеристик материала. К настоящему времени разработано множество методов расчета поверхностной энергии полимеров на основе измерения контактных углов смачивания тестовых жидкостей, обзоры которых даны в работах [1, 2]. Общим для этих методов является методология получения контактных углов смачивания капель тестовых жидкостей, и то, что все они позволяют исследовать только достаточно однородные образцы.

Как известно, полимеры характеризуются низкой поверхностной энергией [3], для улучшения контактных свойств поверхности полимеров применяют различные методы модификации поверхности [4]. В настоящее время известен ряд газоразрядных методик, используемых в плазменной технологии обработки поверхности полимеров: коронный, барьерный, тлеющий низкочастотный (НЧ, 50 Гц–1 кГц), высокочастотный (ВЧ, 13.56 МГц), микроволновый (СВЧ, 2.45 ГГц) разряды [5–7].

Одним из перспективных способов модификации поверхности полимерных материалов является использование барьерных разрядов на основе коронного разряда [8, 9]. Особенностью рассматриваемых разрядов является хаотичное распределение тонких проводящих каналов (стримеров) по поверхности полимерных пленок, которые приводят к формированию на поверхности различных плазменных образований. Данное обстоятельство значительно усложняет исследование поверхностных свойств полимеров.

Целью настоящей работы является изучение влияния характера растекания тока по поверхности полимера на величину полной поверхностной энергии при воздействии слаботочного поверхностного разряда.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследования проводились в разрядной камере с вмонтированными электродами острие–плоскость [9]. Катод – острие представляет собой стальной стержень, радиусом закругления вершины конуса $r = 25$ мкм, плоский электрод в данной конфигурации электродов представляет конструкцию из стальной пластины площадью $S = 96$ см^2. На плоский электрод помещалась полимерная пленка (политетрафторэтилен, **ПТФЭ**) размером 45 × 45 мм, которая зажималась по краям специальными зажимами. Размер обрабатываемой области 40 × 40 мм. В работе использовалась не модифицированная неориентированная пленка ПТФЭ (ГОСТ 24222-80), толщиной 60 ± 3 мкм. Расстояние от вершины острия до диэлектрической пленки составляет 30 мм.

Максимальное напряжение регулируемого высоковольтного источника ВС-20-10 составляло 20 кВ. Для стабилизации разряда острие нагружалось регулируемым большим сопротивлением $R_б$ (>1 МОм). В целях сохранения паспортной чистоты аргона все эксперименты проводились при слабой прокачке газа через разрядную камеру. Расход аргона G измеряли с помощью ротаметра РМ-А-0.16 ГУЗ до 5×10^{-5} кг/с.

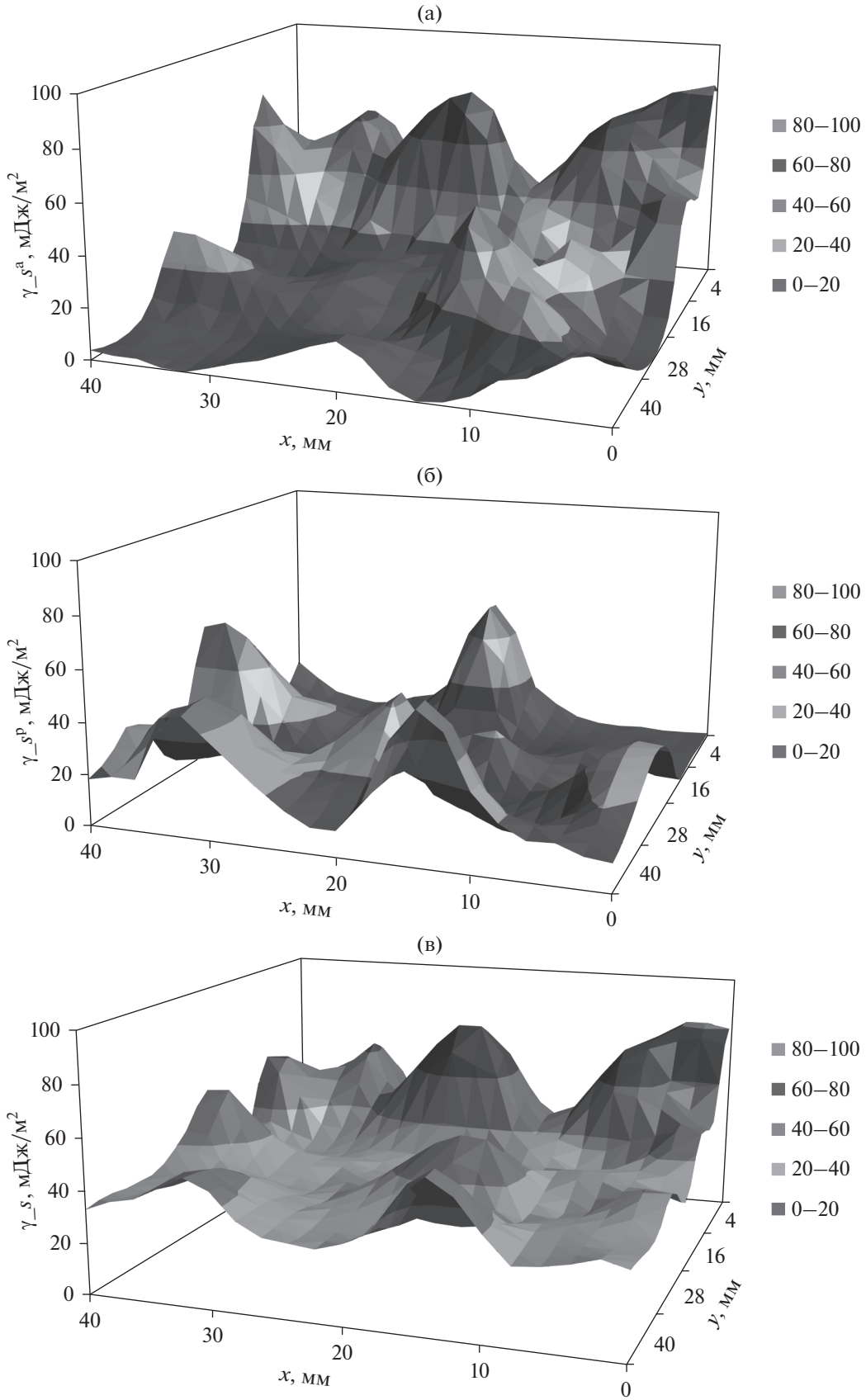

Рис. 1. Влияние характера растекания тока на значение поверхностной энергия модифицированной пленки ПТФЭ: (а) дисперсионная составляющая; (б) полярная составляющая; (в) полная поверхностная энергия.

Контактные углы смачивания θ определяли по методу лежащей капли с помощью микроскопа. Величины углов смачивания определяли с помощью программного пакета DropSnake – LB-ADSA, работающего с программным обеспечением ImegeJ [10]. Исходную пленку исследовали по стандартной процедуре: для расчетов использовали средние значения десяти капель обоих жидкостей, а при исследовании модифицированной пленки капли наносились на узлы прямоугольной сетки с размером ячейки 6 мм, причем крайние узлы сетки находились на расстоянии 2 мм от краев обработанной области пленки ПТФЭ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исходная пленка ПТФЭ характеризуется контактными углами смачивания воды равными 102° и глицерина – 90°.

Полную поверхностную энергию и ее дисперсионную и полярные составляющие рассчитывали по методу Оунса–Вендта–Рабеля–Кьельбле (ОВРК) [11–13]:

$$\gamma_l(1+\cos\theta) = 2\sqrt{\gamma_l^d\gamma_s^p} + 2\sqrt{\gamma_l^p\gamma_s^p}, \qquad (1)$$

где γ_l, γ_l^d, γ_l^p – полная поверхностная энергия жидкости, ее дисперсионная и полярная составляющие соответственно; θ – контактный угол смачивания; γ_s^d, γ_s^p – дисперсионная и полярная составляющие поверхностной энергии твердого тела. В качестве тестовых жидкостей использовали воду (бидистиллят) и глицерин [14].

Полная поверхностная энергия γ_s исходной пленки ПТФЭ равна 21.0 мДж/м^2, ее дисперсионная γ_s^d и полярная γ_s^p составляющие – 20.3 мДж/м^2 и 0.7 мДж/м^2 соответственно.

На рис. 1 представлены результаты расчетов полной поверхностной энергии γ_s пленки ПТФЭ, модифицированной в плазме слаботочного поверхностного разряда (рис. 1в) и ее дисперсионной γ_s^d (рис. 1а) и полярной γ_s^p (рис. 1б) составляющих. Как видно полная поверхностная энергия и ее дисперсионная и полярная составляющие имеют неоднородный характер и сильно зависят от характера растекания тока по образцу. В областях распространения стримеров [9] увеличивается преимущественно полярная составляющая поверхностной энергии: в точках около опорных пятен, где частота и интенсивность свечения стримеров максимальна, наблюдаются максимальные значения полярной составляющей и минимальные значения дисперсионной составляющей полной поверхностной энергии $\gamma_s^d = 0.8 \pm 0.3$ мДж/м^2 и $\gamma_s^p = 54 \pm 4$ мДж/м^2, в областях со средней частотой и интенсивностью свечения $\gamma_s^d = 1.3 \pm 0.45$ мДж/м^2 и $\gamma_s^p = 43 \pm 2.5$ мДж/м^2, в областях с низкой частотой и интенсивностью свечения стримеров $\gamma_s^d = 12.5 \pm 4.5$ мДж/м^2 и $\gamma_s^p = 17 \pm 6$ мДж/м^2. Увеличение полярной составляющей полной поверхностной энергии наблюдается с увеличением частоты и интенсивности свечение стримеров, что можно связать с увеличением величины тока и времени обработки. Значения полной поверхностной энергии в областях с высокой и средней интенсивностью распространения стримеров хорошо согласуются с известными литературными данными [15–19].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *ZenkiewiczM.* // J. Achiev. Mater. Manuf. Eng. 2007. V. 24. № 1. P. 137.
2. *Erbil H.Yi.* // Surface Science Reports. 2014. V. 69. P. 325.
3. *Гильман А.Б.* // Химия высоких энергий. 2003. Т. 37. № 1. С. 22.
4. *Назаров В.Г.* Поверхностная модификация полимеров. М., МГУП. 2008. 474 с.
5. *Naprtovich A.P.* // Plasmas and Polymers. 2001. V. 6. № 1/2. P. 1.
6. *Akishev Yu.S., Grushin M.E., Napartovich A.P. et al.* // Plasmas and Polymers. 2002. V. 7. № 3. P. 261.
7. *Brandenburg R.* // Plasma Sources Sci. Technol. 2017. V. 26. P. 053001.
8. *Акишев Ю.С., Грушин М.Е., Монич А.Е. и др.* // Химия высоких энергий. 2003. Т. 37. № 5. С. 330.
9. *Балданов Б.Б., Ранжуров Ц.В.* // Химия высоких энергий. 2016. Т. 50. № 1. С. 64.
10. *Rasband W.S.* // ImageJ. U.S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA. 1997–2014. http://imagej.nih.gov/ij/
11. *Owens D., Wendt R.* // J. Appl. Polym. Sci. 1969. V. 13. P. 1741.
12. *Rabel W.* // Farbe und Lack. 1971. V. 77. № 10. P. 997.
13. *Kaelble D.* // J. Adhesion. 1970. V. 2. P. 66.
14. *Rulison C.* // Krüss Application Note № 213. Hamburg. 2000. P. 22.
15. *Пискарев М.С., Гильман А.Б., Шмакова Н.А. и др.* // Химия высоких энергий. 2008. Т. 42. № 2. С. 169.
16. *Pelagade S.M., Singh N.L., Rane R.S. et al.* // JSEMAT. 2012. V. 2. № 2. P. 132.
17. *Zhou L., Lu G.-H., Chen W. et al.* // Chen. Phys. B. 2011.V. 20. № 6. P. 065206.
18. *Sarani A., De Geyter N., Nikiforov A.Yu. et al.* // Surface & Coatings Technology. 2012. V. 206. P. 2226.
19. *Chen W., Jie-rong Ch., Ru L.* // Applied Surface Science. 2008. V. 254. P. 2882.