

Физика твёрдого тела

УДК 530.1:51

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФРАКТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИМЕРОВ, СФОРМИРОВАННЫХ ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИЕЙ

А. А. Сафонов, А. М. Штеренберг

Самарский государственный технический университет,
443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244.

E-mail: alsaj@samtel.ru

Описывается методика моделирования структуры поверхности полимера, синтезируемого в процессе плазмотимического парофазного осаждения (полимеризации). Методика реализована с использованием вычислительной техники и позволяет производить моделирование геометрии поверхности по заданному начальному распределению структурообразующих элементов и рассчитывать фрактальную размерность данной модели. Произведены сравнения фрактальных характеристик с экспериментально найденными для синтезированных в газовой разряде поверхностей полимеров из исходных фтор- и кремнийорганических соединений.

Ключевые слова: *фрактальная поверхность, моделирование фракталов, газоразрядная полимеризация.*

Введение. Неравновесные физико-химические процессы, протекающие как в объёме тлеющего разряда пониженного давления, так и в областях, находящихся в зоне досягаемости активных компонент данного вида источника низкотемпературной плазмы, приводят к образованию макроскопических твердотельных систем, состоящих из фрактальных кластеров — объектов дробной размерности, что экспериментально подтверждается результатами микроскопического анализа продуктов газоразрядной полимеризации [1, 2].

Моделирование данных процессов и сравнение полученных данных с экспериментальными предоставляет возможность осмыслить некоторые явления, исследование которых традиционными методами статистической физики невозможно. Величины фрактальной размерности, найденные при компьютерном моделировании процесса заполнения поверхности и при проведении эксперимента, позволяют судить о размерности кластера и о механизме его образования [3]. Образование фрактального кластера происходит при слипании или слиянии частиц во всевозможных сочетаниях их размеров. На структуру и геометрические свойства кластера влияют условия протекания процесса в объёме тлеющего разряда и его окрестностях и характеристики исходных частиц, в том числе их счётные распределения по размерам. В основу

Александр Александрович Сафонов, инженер, каф. общей физики и физики нефтегазового производства. Александр Моисеевич Штеренберг (д.ф.-м.н., профессор), зав. кафедрой, каф. общей физики и физики нефтегазового производства.

ляции для нескольких снимков одной точки под различными углами (обычно $\pm 5^\circ$). При регистрации сканирующим туннельным микроскопом фиксируется туннельный ток между зондом и образцом, что позволяет получить информацию об истинном трёхмерном рельефе поверхности истинной топографии при условии однородности электрических свойств поверхности на резонансной частоте.

Разработанный метод моделирования, несмотря на указанные недостатки, позволяет установить изменение фрактальных характеристик поверхности при заполнении элементами по заданным распределениям размеров. Как показывает эксперимент (см. таблицу), определённые условия синтеза реальных плёнок находятся в хорошем согласовании с данными моделирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (государственные контракты №№ П808 и № П843).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смирнов Б. М. Физика фрактальных кластеров. — М.: Наука, 1991. — 134 с.
2. Михайлов Е. Ф., Власенко С. С. Образование фрактальных структур в газовой фазе // УФН, 1995. — Т. 165, № 3. — С. 263–283.
3. Федер Е. Фракталы. — М.: Мир, 1991. — 254 с.
4. Hassan M. K. Fractal dimension and degree of order in sequential deposition of mixture // *Phys. Rev. E*, 1997. — Vol. 55, No. 5. — P. 5302–5310.
5. Zhang J.-Z., Ye X.-Y., Yang X.-J., Liu D. Structural characteristics of fractal clusters grown during vapor-solid transformation // *Phys. Rev. E*, 1997. — Vol. 55, No. 5. — P. 5796–5799.
6. Smirnov B. M. The properties of fractal clusters // *Phys. Repts.*, 1990. — Vol. 188, No. 1. — P. 1–78.
7. Vandewalle N., Ausloos M. Construction and properties of fractal trees with tunable dimension: The interplay of geometry and physics // *Phys. Rev. E*, 1997. — Vol. 55, No. 1. — P. 94–98.
8. Milošević S., Živić I., Miljković V. Adsorption of linear polymers on impenetrable fractal boundaries of checkerboard fractal lattices // *Phys. Rev. E*, 1997. — Vol. 55, No. 5. — P. 5671–5679.
9. Meakin P., Wasserman Z. R. Some universality properties associated with the cluster-cluster aggregation model // *Phys. Lett. A*, 1984. — Vol. 103, No. 6–7. — P. 337–341.
10. Kolb M., Jullien R. Chemically limited versus diffusion limited aggregation // *J. Physique Lett.*, 1984. — Vol. 45, No. 20. — P. 997–981.
11. Meakin P. Structure of the active zone in diffusion-limited aggregation, cluster-cluster aggregation, and the screened-growth model // *Phys. Rev. A*, 1985. — Vol. 32, No. 1. — P. 453–459.
12. Акимов И. А. Фотоколориметрия и спектральные методы анализа / В сб.: *Оптика и спектроскопия*. — М.: Наука, 1988. — Т. 63. — С. 1276–1281.
13. Meakin P. The effects of rotational diffusion on the fractal dimensionality of structures formed by cluster-cluster aggregation // *J. Chem. Phys.*, 1984. — Vol. 81, No. 10. — P. 4637–4639.
14. Dale W. S., James E. M., Pierre W., David S. C. Fractal geometry of colloidal aggregates // *Phys. Rev. Lett.*, 1984. — Vol. 52, No. 26. — P. 2371–2374.
15. Зынь В. И., Молчатский С. Л. Исследование фрактальной структуры поверхности полимерных плёнок стирола и октаметилтрисилоксана // *Поверхность*, 1999. — № 4. — С. 66–69.
16. Li J. M., Lu L., Su Y., Lai M. O. Self-affine nature of thin film surface // *Applied Surface Science*, 2000. — Vol. 161, No. 1–2. — P. 187–193.
17. Durand H. A., Sekine K., Etoh K., Kataoka I. Effect of energy on direct ion beam deposition of carbon thin films: induced defects and graphitization // *Surface and Coatings Technology*, 2000. — Vol. 125, No. 1–3. — P. 57–60.
18. Бородич Ф. М., Онищенко Д. А. Фрактальная шероховатость в задачах контакта и трения (простейшие модели) // *Трение и износ*, 1993. — Т. 14, № 3. — С. 37–39.