

## ИОННО–СТИМУЛИРОВАННОЕ ТРАВЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПЕРФТОРИРОВАННОГО ПОЛИМЕРА МФ–4СК В ПЛАЗМЕ СИЛЬНОТОЧНОГО ДИФФУЗНОГО РАЗРЯДА

И. В. Иванов, Д. В. Мозгрин, Я. А. Садеков, И. К. Фетисов, Г. В. Чудаев  
*Московский инженерно-физический институт (государственный университет)*

В докладе представлены результаты исследования возможности развития микро-рельефа поверхности плёнки перфторированного полимера МФ–4СК с помощью ионно-стимулированного травления в плазме сильноточного диффузного разряда.

Использование сильноточного диффузного разряда для генерации больших объемов плотной  $n_i \approx 1.5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$  однородной плазмы с отрывом ионной температуры от электронной  $3 \div 20 \text{ эВ}$ , а также интенсивных, до  $10 \div 12 \text{ А/см}^2$  ионных потоков с энергией ионов до  $100 \text{ эВ}$  позволяет существенно повысить эффективность ионно-стимулированного травления. Такой разряд обладает следующими параметрами: напряжение горения разряда  $U_{\text{разр}} = 65 \div 140 \text{ В}$ , ток разряда  $I_{\text{разр}} = 10 \div 2000 \text{ А}$ , время горения разряда  $\tau_{\text{разр}} \leq 1.2 \text{ мс}$ , плотность плазмы может достигать  $10^{15} \text{ см}^{-3}$ , при температуре электронной компоненты порядка  $5 \div 8 \text{ эВ}$ . Измерения средней плотности катодного тока разряда показали, что она может достигать  $90 \text{ А/см}^2$ . Разряд реализуется преимущественно в диапазоне давлений  $10^{-2} \div 5 \text{ Торр}$ .

Эксперименты по обработке поверхности полимера проводились с использованием разрядного устройства с полыми профилированными электродами (рис. 1). Оно представляет собой два полых аксиально-симметричных электрода  $\varnothing 120 \text{ мм}$  (рис. 1–1, 2), разнесенных на расстояние  $\cong 10 \text{ мм}$  и помещенных в магнитное поле многослойных катушек (рис. 1–3), включенных навстречу (магнитное поле типа «антипробкотрон»). Отношение

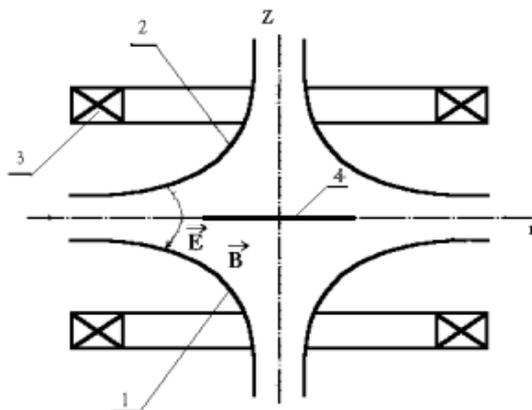


Рис. 1

максимального магнитного поля  $B_{\text{max}}(z, 0)$  на оси симметрии системы к максимальному магнитному полю в плоскости симметрии  $B_{\text{max}}(0, r)$  составляет  $B_{\text{max}}(z, 0)/B_{\text{max}}(0, r) \cong 3$ . Величина индукции магнитного поля регулируется током катушек в пределах  $0 \div 1000 \text{ Гс}$ . Профиль электродов совпадает с профилем силовой линии магнитного поля, что обеспечивает перпендикулярность электрического и магнитного полей вдоль всей поверхности катода. Кроме того, профиль электродов в ряде случаев (при выполнении критерия образования полого катода) позволяет совместить сильноточный магнетронный разряд с разрядом с полым катодом. Образец помещается посередине между электродами (рис. 1–4).

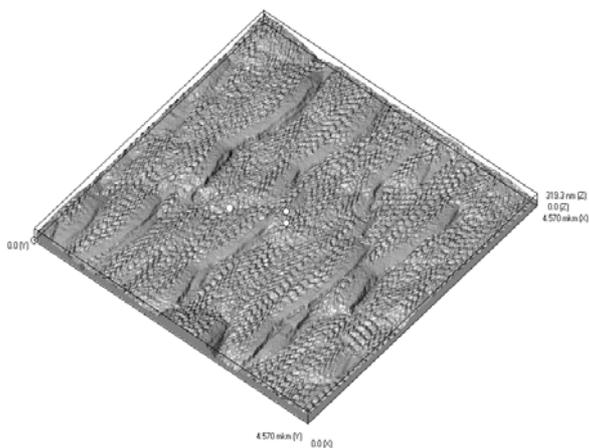


Рис. 2



Рис. 3

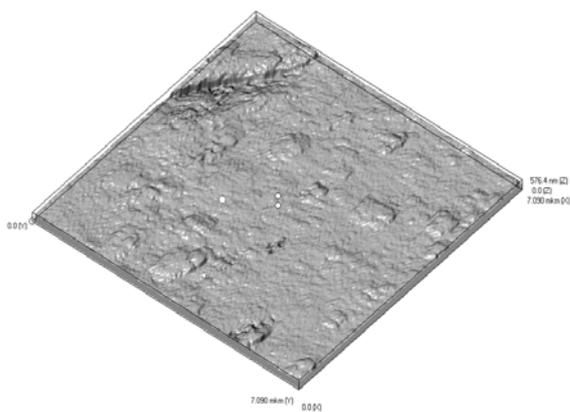


Рис. 4

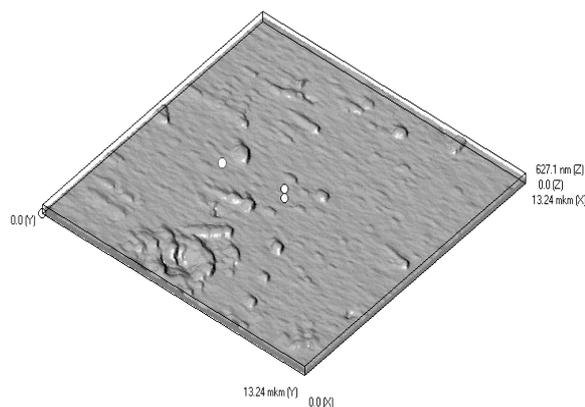


Рис. 5

Система питания установки состоит из источника питания стационарного разряда и импульсного источника. Диагностика поверхности образцов осуществляется с помощью оптического, растрового электронного и сканирующего туннельного (разрешение до 1 нм) микроскопов.

Эксперименты по ионно-стимулированному травлению с использованием в качестве генератора плазмы сильного диффузного разряда в устройстве с профилированными электродами показали его высокую эффективность и позволили выделить ряд режимов, отличающихся высокой устойчивостью и годных для технологического применения. В процессе обработки фиксировались давление и состав рабочего газа (использовались смеси газов Ar, O<sub>2</sub> и SF<sub>6</sub>), величина магнитного поля, экспозиция, фиксировались осциллограммы тока и напряжения. На рис. 2, 3 и 4 представлены изображения поверхностей, об-

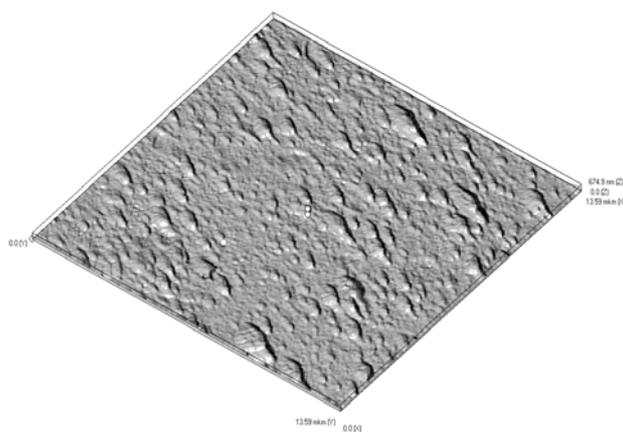


Рис. 6

работанных в среде газов Ar/SF<sub>6</sub> (50 %/50 %) при давлениях, соответственно, P = 0.25, 0.15 и 0.05 Торр. U<sub>стац</sub> ~ 500 В, I<sub>стац</sub> ~ 80 А. U<sub>разр</sub> ~ 100 В, I<sub>разр</sub> ≈ 500, 400 и 600 А, τ ~ 0.4 ÷ 1 мс. Потоки ионов на образцы составили ~ 2·10<sup>19</sup> част/(см<sup>2</sup>·с). Экспозиция 50 импульсов. На рис. 5 и 6 показаны поверхности, обработанные в среде газов Ar/O<sub>2</sub> (50 %/50 %) при давлениях P = 0.25 и 0.15 Торр, соответственно. U<sub>стац</sub> ~ 270 и 350 В, I<sub>стац</sub> ~ 90 мА. U<sub>разр</sub> ≈ 100 В, I<sub>разр</sub> ≈ 400 А, τ ~ 0.2 ÷ 1 мс. Потоки ионов на поверхности ~ 1·10<sup>19</sup> част/(см<sup>2</sup>·с). Экспозиция 50 и 45 импульсов.

Обработанные образцы имеют характерный размер микронеровностей ~ 100 ÷ 400 нм, рельеф заполняет всю поверхность образца. Эксперименты показали, что уменьшение давления рабочей смеси практически не влияет на величину микронеровностей в случае газов Ar/SF<sub>6</sub>. Однако для газов Ar/O<sub>2</sub> высота рельефа уменьшилась почти вдвое (рис. 5 и 6). Изменение давления влияет на регулярность рельефа. При большем давлении микрорельеф заполняет всю поверхность, микронеровности расположены очень плотно. С уменьшением давления «бугорки» находятся на некотором расстоянии друг от друга, с дальнейшим уменьшением эти расстояния превосходят неровности по размерам более чем на порядок.

При обработке образцов в среде SF<sub>6</sub> неровности имеют четко выраженные края, в случае травления в среде O<sub>2</sub> неровности сглажены, рельеф более равномерен. Образец, обработанный в среде Ar/SF<sub>6</sub> (50 %/50 %) при давлении 0.25 Торр, имеет более мелкую регулярную структуру, появление которой может быть связано с большей величиной ионного потока, приходящего на образец.

В результате проведённой работы была показана принципиальная возможность развития микрорельефа посредством ионно-стимулированного травления при использовании в качестве генератора плазмы столба сильноточного диффузного разряда в среде газов Ar/O<sub>2</sub> и Ar/SF<sub>6</sub>. На всех образцах наблюдается образование микрорельефа с характерными размерами 0.5 ÷ 2 мкм и высотой 100 ÷ 500 нм. Рельеф регулярен и занимает всю поверхность обработанных образцов.

### **Литература:**

1. Мозгрин Д. В., Фетисов И. К., Ходаченко Г. В. // Известия академии наук. 1996. Т. 60. № 4. С. 215–218.
2. Фетисов И. К. Газовый разряд низкого давления в магнитном поле / МИФИ, 1999.
3. Мозгрин Д. В., Фетисов И. К., Ходаченко Г. В. Структура сильноточного диффузного разряда низкого давления в магнитном поле // VII Конференция по физике газового разряда: Тезисы докладов. Ч. 2. С. 73.