

# ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИВИНИЛТРИМЕТИЛСИЛАНА ПРИ ОБРАБОТКЕ КИСЛОРОДНОЙ ПЛАЗМОЙ

А.И.Акишин<sup>1</sup>, В.П.Бабаев<sup>1</sup>, Н.В.Белова<sup>2</sup>, Г.Г.Бондаренко<sup>2</sup>, А.И.Гайдар<sup>2</sup>,  
Л.С.Новиков<sup>1</sup>, В.Н.Черник<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>НИИЯФ МГУ, <sup>2</sup>НИИПМТ

Morphology, elemental consistence and mass losses of polyvinylthreemetilsylan under oxygen plasma irradiation with 20 eV ions have been investigated.

Органические полимеры являются наиболее распространенными материалами на поверхности современных космических аппаратов (КА). Они используются в виде пленок терморегулирующих покрытий и слоев экранно-вакуумной термоизоляции, в виде волокон в нитях и тканях чехлов и экранов, в качестве матрицы входят в состав композиционных материалов, терморегулирующих покрытий, красок и клеев. Эластомерные прокладки являются уплотнительными элементами, обеспечивающими герметичность внутренних отсеков КА. Углеродные волокна служат армирующим компонентом конструкционных углепластов, графиты используются в качестве пигментов черных терморегулирующих покрытий и твердой смазки. Эксплуатация органических полимеров на околоземных орбитах показала низкую стойкость большинства типов к атомарному кислороду (АК) набегающего потока. Поэтому интенсивно ведутся разработки полимеров, обладающих высокой стойкостью к воздействию. Как показали натурные эксперименты и лабораторные исследования высокую стойкость к АК проявляют кремнийорганические полимеры [1]. К этому классу полимеров относится поливинилтриметилсилан (ПВТМС)[2]. Он представляет собой соединение  $\text{CH}_2\text{-CH-Si-3CH}_3$ .

В настоящее время ПВТМС как нанопористый стеклообразный материал нашел широкое применение при изготовлении промышленных селективно-проницаемых мембран, которые широко используются при разделении углеводородов (газов, газообразных продуктов), получаемых при переработке нефти [2]. Возможно, что ПВТМС может найти также применение в космической технологии. Важным методом, влияющим на основные характеристики таких мембран, является их модификация в процессе обработки их поверхности с помощью низкотемпературной плазмы. В настоящей работе ПВТМС подвергался облучению в потоке кислородной плазмы в вакууме с энергией ионов  $\sim 20$  эВ, генерируемой магнитоплазодинамическим ускорителем кислородной плазмы [3].

Методика экспериментов включала подготовку образцов ПВТМС, их облучение потоком плазмы АК одновременно с образцами-свидетелями, измерение потери массы и толщины облученных образцов, исследование свойств исходных и облученных образцов, структуры и свойств их

поверхности. Для исследований использовались образцы ПВТМС в виде пластин размером 200\*200 мм толщиной около 1 мм.

Облучение образцов АК проводилось на вакуумном имитационном стенде с плазменно-пучковым источником атомарного кислорода [3]. В данном источнике для формирования плазменных потоков кислорода с низкой энергией используется схема магнитоплазодинамического ускорителя с внешним магнитным полем, модифицированная для функционирования в окислительной плазмообразующей среде [3]. Струя ускоренной плазмы кислорода, падающая на образцы, состоял из ионов, атомов и молекул кислорода со среднемассовой скоростью 16 км/с (энергия ионов 20 эВ) и плотностью потока  $(2,5-3,5) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . Поскольку при столкновении с поверхностью быстрые молекулы потока диссоциируют, а ионы нейтрализуются, то в результате на материал воздействуют атомы, имеющие среднюю скорость 16 км/с.

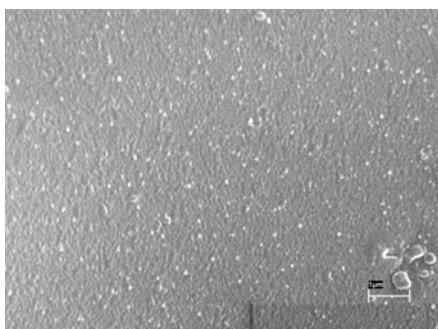


Рис.1. Фото поверхности ПВТМС, полученная на РЭМ до облучения

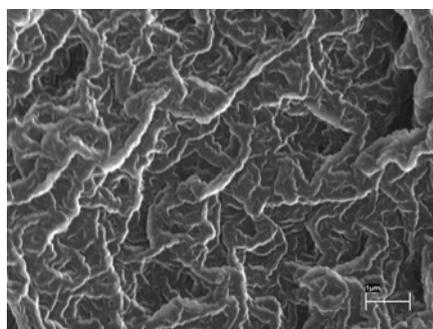


Рис.2 Фото поверхности ПВТМС, полученная на РЭМ после облучения кислородной плазмой на плазмотроне

Облучение проводилось несколькими циклами для исследования кинетики потери массы образцами. В каждом цикле взвешивание образцов ПВТМС и полиимидного образца-свидетеля производилось на аналитических весах АДВ-200 с ценой деления 0,1 мг вне камеры до, и после обработки АК.

Поверхность образцов до и после облучения различными флюенсами частиц с оценкой их элементного состава изучали методом электроннозондового рентгеноспектрального микроанализа и получением микрофотографий с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ) Zeiss «EVO-40» без специальной подготовки поверхности

На рис.1 приведена фотография поверхности ПВТМС, полученная на РЭМ до облучения. На рис.2 приведена фотография поверхности ПВТМС, полученная на РЭМ, после облучения в струе кислородной плазмы с энергией ионов около 20 эВ, эквивалентный флюенс, приведенный к 5эВ  $4 \cdot 10^{21} \text{ част/см}^2$ .

На рис.3 приведен спектр элементного анализа ПВТМС до облучения, полученный с помощью электроннозондового рентгенового микроанализа.

На рис.4 показан спектр элементного анализа ПВТМС после облучения в струе кислородной плазмы с энергией ионов 20 эВ, эквивалентный флюенс, приведенный к 5эВ  $4 \cdot 10^{21} \text{ част/см}^2$ . Коэффициенты эрозии, определенные по результатам данных экспериментов составляют для ПВТМС  $R_e = 0,05 \cdot 10^{-24} \text{ г/О}$ ,

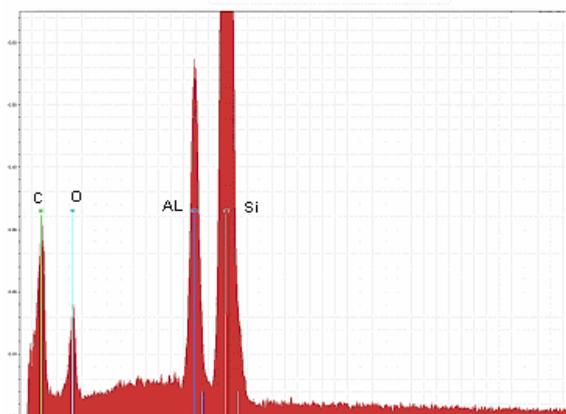


Рис.3. Спектр элементного анализа поверхности ПВТМС до облучения, полученный с помощью электроннозондового рентгеновского микроанализа

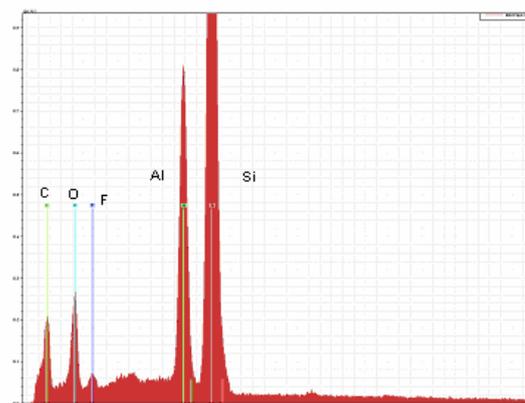


Рис.4 Спектр элементного анализа поверхности ПВТМС после облучения (энергия ионов 20 эВ, флюенс  $4 \times 10^{21}$  част/см<sup>2</sup>), полученный с помощью электроннозондового рентгеновского микроанализа

количества С. При этом остается неизменным соотношение Si/O. Это можно объяснить образованием летучих оксидов углерода, уносящих (С с поверхности, или формированием пленки оксидов кремния, защищающий нижележащие слои полимера от травления. Вследствие этого процесса скорость уноса массы по мере увеличения флюенса уменьшается.

Этот результат согласуется с представлениями о защитном эффекте кремнийорганических покрытий, обусловленным конверсией кремниевой составляющей полимера в оксид при воздействии АК [4,5]. Элементный анализ облученного образца ПВТМС по сравнению с необлученным показал снижение углерода на 15 ат.%. Появление фтора в спектре связано с наличием в камере тефлоновых материалов. Наличие в спектре кислорода можно объяснить наличием адсорбированной воды и кислорода в пористой структуре ПВТМС.

1. А.И Акишин, Л.С.Новиков, В.Н.Черник. Воздействие на материалы и элементы оборудования космических аппаратов вакуума, частиц ионосферной плазмы и солнечного ультрафиолетового излучения. Энциклопедия «Новые наукоемкие технологии в технике». Т.17. Под ред. Новикова Л.С., Панасюка М.И. М.: ЭНЦИТЕХ: 2000, с.100.
2. С.Г.Дургарьян, В.Г.Филимонова. Синтез и свойства блок-сополимеров полидиметилсилоксан-поливинилтриметилсилан // Высокомолекулярные соединения 1986, т. XXVIII, №2, с.329-333
3. А.И.Акишин, Л.С.Новиков, В.Н.Черник. Применение ускорителя кислородной плазмы для исследования распыления материалов // Поверхность. 2004, №4, с.52-56
4. В.Н.Черник, С.Ф.Наумов, С.А.Демидов, С.П.Соколова, В.И.Свечкин. Исследования полиимидных пленок с защитными покрытиями для космических аппаратов //

Перспективные материалы. 2000. № 6. С. 32-36.

5. J. Kleiman, Z. Iskanderova, Technological aspects of protection of polymers and carbon-based materials in space // Proc. of 8th Int. Symp. on Materials in Space Environment, Arcashon, France 5-9 June 2000, ONERA