

УДК 53.05

ИЗУЧЕНИЕ И АНАЛИЗ МИКРОРЕЛЬЕФА ПОЛИИМИДНЫХ ПЛЕНОК

Расколец Елена Сергеевна⁽¹⁾, Моисеев Константин Николаевич⁽²⁾

*Студентка 5 курса⁽¹⁾, аспирант⁽²⁾,
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет*

*Научный руководитель: Ю.В. Панфилов,
доктор технических наук, профессор кафедры «Электронные технологии в
машиностроении»*

В работе были проведены исследования поверхности и характеристик полимерного материала ПМ-А, активированного в вакуумной установке ПРЭЛсИ и не активированного. Установлена зависимость между условиями обработки пленки (напряжение источника ионов, давление в рабочей камере, число проходов, рабочий газ) и параметрами шероховатости и фрактальной размерности, показано, что при исследовании образца пленки на атомно-силовом микроскопе, число точек сканирования влияет на точность получения данных (в данном случае данных параметра шероховатости). Кроме того, была проведена оценка зависимости параметра шероховатости пленки от угла наклона ионного пучка (по отношению к нормали) при ее обработке.

В настоящее время полиимидные пленки имеют широкое применение в науке и технике. Это связано с тем, что полиимидная пленка имеет отличные физические, химические и электрические характеристики, устойчивость к радиации, растворителям, перепадам температур, поэтому используется в качестве высокотемпературной изоляции погруженных электродвигателей для добычи нефти и тяговых электродвигателей для городского транспорта; изоляции трансформаторов, генераторов и конденсаторов; изоляции бортовых проводов и кабелей для авиации и космоса; подложек для гибких печатных плат и т.д. Полиимидные пленочные материалы (ПМ) находят свое применение в конструкциях космических аппаратов. Одна из областей их применения – использование ПМ-материалов в качестве электроизоляции фотоэлектрических преобразователей углепластиковых обшивок солнечных панелей. Широкие перспективы исследования и применения ПМ-материалов связаны с увеличением срока службы солнечных панелей, а, следовательно, и спутников.

В работе рассматривается возможность оптимальной обработки пленки с целью получения определенных значений параметров шероховатости и фрактальной размерности, необходимых для повышения адгезии (прочности при отслаивании пленки от углепластиковой обшивки

7. Электрическая прочность, МВ/м, не менее	
а) в комнатной среде	
среднее значение	210
при минимуме	150
б) в комнатной среде после выдержки образцов в течение 24ч. в среде с относит. Влажностью (93+/-2)% и температурой (23+/-2) С	160
среднее значение	120
при минимуме	

Активация пленки проводится в ФГУП НИИ Вакуумной техники им. С.А.Векшинского в вакуумной установке ПРЭЛсИ (прямопролетная электронно-лучевая с ионной очисткой). Обработка пленки ведется ионными источниками с замкнутым дрейфом электронов. В результате обработки происходит очистка поверхности пленки от технологических загрязнений, ее обезгаживание и удаление адсорбированной воды, микрорельеф полиимидной пленки сглаживается. Все эти факторы приводят к увеличению адгезии клеевого соединения пленки с подложкой.

Исследование топографии поверхности образцов полиимидных пленок проводился на сканирующем зондовом микроскопе «ФемтоСкан» (ФГУП НИИ Вакуумной техники им. С.А.Векшинского) с максимальным полем сканирования 10 x 10 мкм в режиме атомно-силовой микроскопии.

Таблица 2. Характеристики микрорельефа полиимидных пленок

№ образца	Способ обработки	Дата обработки (дата снятия скана 08.2002г.)	Размер скана, мкм	R _q , нм
Исходная	Не обрабатывалась		9,8 6 2,5	3,54 1,5 1,85
5-1	Обработана ионным пучком воздуха (P _{возд} =6÷8·10 ⁻⁴ мм. рт. ст.) в два прохода: 1 проход: U _{разр} =0,8 кВ 2 проход: U _{разр} =1,1 кВ	23.01.2002 г.	2,5 10	3 13-16
4-5	То же	26.09.2001 г.	7,5 7	2,28 1,8

			0,9	0,36
4-1	То же	29.03.2001 г.	9 6 3,5 3,5 4,2 3,7	3,6 3,4 1,3 2,6 1,57 1,5
3-3	То же	13.02.2001 г.	8 1,8 1,8	7,5 2,4 14,5
Воздух	То же	25.09.2000 г.		
Азот	Обработана ионным пучком азота ($P_{\text{возд}}=6\div 8\cdot 10^{-4}$ мм. рт. ст.) в два прохода: 1 проход: $U_{\text{разр}}=0,6$ кВ 2 проход: $U_{\text{разр}}=1,1$ кВ	10.10.2000 г.		
№2а (18.12.2002)	$D=27$ Кул/м ² $I=100$ мА $U=1,4$ кВ $P_{N_2}=0,7\cdot 10^{-4}$ мм. рт. ст.	23.07.2002 г.	1,1 2,9 9	0,1831 0,57 0,78
№2	Не обрабатывалась	23.07.2002 г.	1 9	2,104 5
№3	$D=135$ Кул/м ² $I=100$ мА $U=1,4$ кВ $P_{N_2}=0,7\cdot 10^{-4}$ мм. рт. ст.	23.07.2002 г.	1,1 8	0,307 1,37

Целью работы являлось выявление возможного влияния обработки ионами на морфологию поверхности полиимидной пленки и изменения морфологии поверхности обработанной пленки в процессе хранения. В работе исследовались образцы полиимидной пленки с различной обработкой и различными сроками хранения. Кроме того, рассматривался образец металлизированной полиимидной пленки с защитным слоем после натуральных испытаний. Защитный слой представляет собой вакуумное покрытие на основе диоксида кремния толщиной 0,4 мкм, нанесенное на часть поверхности образца. Образец был экспонирован на околоземной орбите в течение 377 календарных суток.

Для каждого образца были получены изображения поверхности в диапазоне размеров от 10 мкм до 1 мкм. Анализ полученных изображений

показал, что рельеф поверхности после обработки сглаживается, при этом значение шероховатости уменьшается на порядок и составляет десятые нанометров.

Что касается летного образца, то на участке поверхности с защитным покрытием, наблюдаются трещины, ширина которых составляет примерно 600 нм, а в остальном покрытие имеет четкую зернистую структуру, средний размер зерна составляет 120 нм.

Кроме того, для образца полиимидной пленки (материал ПМ-А-Дак, активация 31.10.08) было сделано 200, 20 и 10 сканов и сняты данные по шероховатости. Цель – показать насколько различаются полученные значение шероховатости при уменьшении числа точек сканирования, это поможет в дальнейшем определить оптимальное необходимое число сканов (и точек сканирования) для получения наиболее точных данных.

Таблица 3. Результаты расчета для шероховатости

i	j	n	Шероховатость $R_a, \text{нм}$	\bar{Y}_i	S_i^2	S_y	$t_{кр}$	M (Y)
1	1	20	5,75	6,67	40,6487	0,4508	1,9719	$5,7779 < M(Y) < 7,5559$
	2		2,42					
					
	n		9,15					
2	1	20	1,71	2,71	8,3319	0,6454	2,0930	$1,3599 < M(Y) < 4,0617$
	2		4,46					
					
	n		1,89					
3	1	10	4,13	2,37	1,2229	0,3497	2,2622	$1,5805 < M(Y) < 3,1627$
	2		1,24					
					
	n		2,03					

Таким образом, границы существования истинного значения параметров шероховатости определяются найденными доверительными интервалами, а значения, выходящие за их пределы, обусловлены наличием случайных факторов (повышенная влажность воздуха, работа установки, человеческий фактор и т.д.). Стандартное отклонение при различном количестве точек измерения n различно, чем выше n, тем больше дисперсия (действие случайных факторов) и тем выше точность измерения параметров.

Для оценки зависимости шероховатости от угла наклона источника ионов была взята неактивированная полиимидная пленка.

Активация проводилась на уснровке УВН в МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре «Элионные технологии в машиностроении».

Было установлено, что при увеличении угла наклона ионного источника шероховатость уменьшается, поверхность сглаживается. Результаты отражены в Таблице 5.

Таблица 4. Параметры обработки

Давление предельное, Па	$5 \cdot 10^{-3}$
Давление рабочее, Па	$5 \cdot 10^{-2}$
Ток ионный, мА	100
Напряжение ускоряющее, кВ	4

Таблица 5. Результаты

Угол наклона (относительно нормали)	Шероховатость R_q , нм
0°	9,972
30°	9,594
45°	5,485
60°	2,586

Полиимидная пленка служит в качестве экранно-вакуумной теплоизоляции, стабилизирует температуру станции, применяется для спутников, находящихся на низких орбитах, где много атомарного кислорода, разрушающего солнечные панели, поэтому нанесенный на пленку слой диоксида кремния является защитой от атомарного кислорода.

В связи с этим, возникает необходимость повышения прочности склеивания и увеличения адгезии полиимидной пленки. Было установлено, что прочность при отслаивании пленки от углепластиковой обшивки в исходном состоянии составляет менее 0,2 кг/см ширины. После обработки ионным пучком на установке ПРЭЛСИ адгезия возрастает в 3 раза и составляет 0,56-0,66 кг/см ширины, это происходит за счет того, что рельеф поверхности полиимидной пленки сглаживается, при этом значение шероховатости уменьшается.

Литература

1. *Нестеров С.Б., Логинов Б.А., Зилова О.С., Сабирзянов Н.Р.* Сканирующие зондовые микроскопы // Издательский дом МЭИ. 2007. – С. 17-24.
2. *Бухарев А.А., Овчинников Д.В., Бухарева А.А.* Диагностика поверхности с помощью сканирующей зондовой микроскопии (обзор) // Заводская лаборатория. 1997. №5. С. 10-27.
3. *Арутюнов П.А., Толстихина А.Л.* Атомно-силовой микроскоп – универсальное средство измерения физических величин в мезоскопическом диапазоне длин // Датчики и системы. Измерения, контроль, автоматизация. 2000. №4. С. 39-48.
4. *Филонов А.С., Гаврилко Д.Ю., Яминский И.В.* Руководство пользователя пакета программного обеспечения для управления сканирующим зондовым микроскопом и обработки изображений «FemtoScan Online» // Центр перспективных технологий, М., 2001.