

УДК 541.18

А. Ж. АМБАРЦУМЯН, Ш. А. МАРКАРЯН

НЕКОТОРЫЕ СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Рассмотрены некоторые современные методы исследования твердых поверхностей в нанометрических масштабах на глубине нескольких ангстрем. Для этого необходимо применение специальной техники, так как количество анализируемого материала чрезвычайно мало ($\leq 10^{-13} \text{ г/см}^3$) и в случае применения классических методов анализа сигнал, исходящий от этих поверхностей, не выявляется на фоне более мощного сигнала из внутренних слоев материала.

Представленные методы наиболее часто употребляются для исследования поверхностей полимерных биоматериалов.

Введение. В современном мире человек сталкивается с применением полимерных материалов в различных отраслях своей деятельности. Очень часто их использование обусловлено поверхностными характеристиками этих материалов, например, при покраске, склеивании, изготовлении различных деталей, применяемых в микроэлектронике... [1–3]. В частности, когда полимерные материалы применяются в медицинской инженерии (имплантация различных внутренних органов, протезирование и др.) или в биотехнологии (фильтрующие мембраны, культивация ячеек и др.), роль поверхности становится чрезвычайно важной, так как контакт между полимером и окружающей его средой осуществляется на уровне этих поверхностей. Иначе говоря, биосовместимость полимерных материалов непосредственно связана с химическим составом и обработкой их поверхностей [4–6]. Следовательно, поверхности полимерных биоматериалов очень часто подвергаются физической, химической и биологической обработке с целью повышения адгезии различных белков и, следовательно, органических ячеек на этих материалах. Надо отметить, что механизм адгезии на молекулярном уровне между поверхностью и реагирующим веществом остается еще не полностью исследован.

Одним из наиболее важных этапов в решении этой проблемы является анализ твердых поверхностей в нанометрических масштабах, на глубине нескольких ангстрем. В этой статье будут рассмотрены четыре категории раз-

личных методов, наиболее часто употребляемых для исследования поверхностей полимерных биоматериалов: 1) метод смачивания; 2) спектроскопические методы; 3) микроскопические методы; 4) метод функциональной дериватизации. Вышеперечисленные методы дают информацию различного рода и дополняют друг друга [7–9].

В настоящее время одним из направлений кафедры физической химии является изучение биологических систем с помощью современных физических методов. Эти исследования включают в себя как гомогенные, так и гетерогенные системы. В данном обзоре особое внимание уделено изучению полимерных поверхностей, обладающих высокой биосовместимостью.

1. Метод смачивания. Смачивание происходит при взаимодействии между жидкостью и твердым материалом [9, 10]. Оно может происходить при распространении жидкости на некую поверхность, при всасывании жидкости в пористую среду или при ламинарном передвижении двух несмешивающихся жидкостей. Это явление очень часто описывается методом измерения угла смачивания θ (рис. 1) между капелькой жидкости и поверхностью.

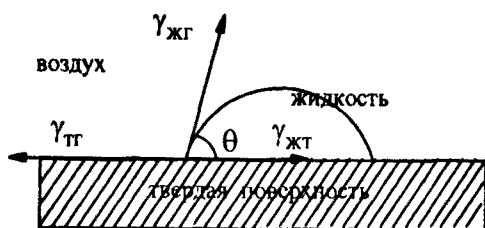


Рис. 1. Измерение угла смачивания.

При хорошо смачиваемых поверхностях θ (в град.) имеет небольшое значение, которое растет с уменьшением смачиваемости

поверхности данной жидкостью. В случае биоматериалов чаще всего измеряют смачиваемость их поверхностей водой (рис. 2).

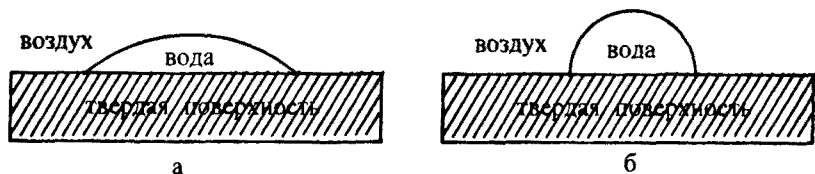


Рис. 2. Смачиваемость поверхности биоматериалов: а – гидрофильная, б – гидрофобная поверхности.

Измерение величины θ основано на равновесии между тремя фазами – твердой (m), жидкой ($ж$) и газовой ($г$), которые образуются при помещении капли жидкости на твердую поверхность [9]. При равновесии векторная сумма поверхностных натяжений этих трех фаз равняется нулю и высчитывается уравнением Юнга :

$$\gamma_{mg} = \gamma_{mj} + \gamma_{jg} \cos \theta, \quad (1)$$

где $\gamma_{mg}, \gamma_{mj}, \gamma_{jg}$ – поверхностные натяжения между твердой и газовой, твердой и жидкой, жидкой и газовой фазами соответственно.

Параллельно с вышеописанным статическим методом существует еще и динамический метод измерения угла смачивания, при котором или жидкость, или твердая поверхность равномерно передвигаются друг относительно друга. Весы Вильгельма (рис. 3) измеряют мениск жидкости,

адгезированной на твердой поверхности материала, который вводится

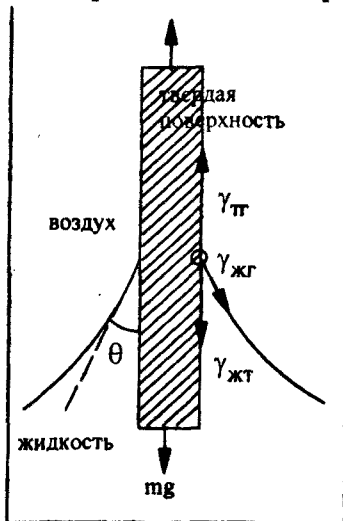


Рис. 3. Динамический метод измерения угла смачивания (весы Вильгельма).

или вытаскивается из жидкости, смачивающую способность которой мы хотим измерить. При этом используется следующее уравнение:

$$mg = p\gamma_{жг} \cos\theta - V\rho g, \quad (2)$$

где p – периметр образца, V – объем перемещенной жидкости, ρ – ее плотность, g – ускорение свободного падения.

Разница между углами θ при введении и выведении образца из жидкости называется гистерезисом угла смачивания. Причинами гистерезиса могут быть или шероховатость, или химическая гетерогенность твердых поверхностей. Наличие маленького гистерезиса или его отсутствие есть хорошее доказательство того, что мы имеем плоскую и химически гомогенную поверхность.

2. Спектроскопические методы.

2.1. Спектроскопия XPS (X-ray photoelectron spectroscopy). X-лучевая фотоэлектронная спектроскопия, ранее называемая ESCA (Electronic spectroscopy for chemical analyses), основана на фотоэлектрических явлениях [11,

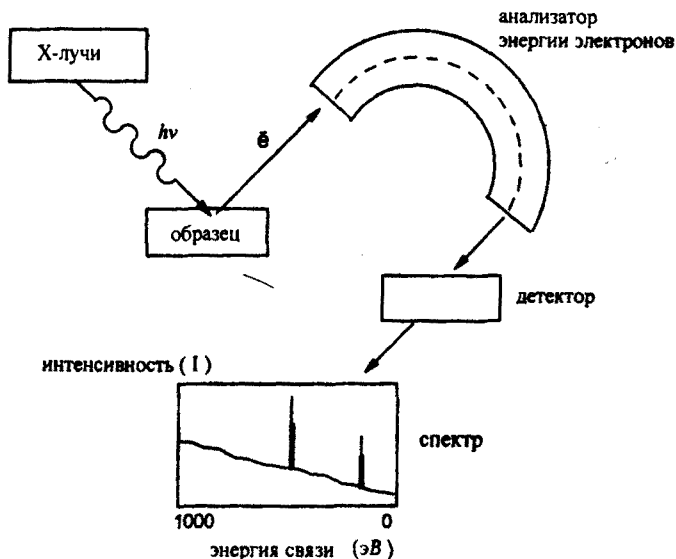
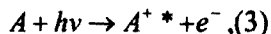


Рис. 4. Упрощенная схема спектрометра XPS.

12]. Когда какая-либо твердая поверхность подвергается бомбардировке достаточно энергетическими фотонами, то она излучает электроны атомов, составляющих эту поверхность:



где A – атом или молекула, A^{*+} – возбужденный ион. Кинетическая энергия E_k этих электронов связана с энергией $h\nu$ фотона, падающего на поверхность,

следующим уравнением:

$$E_k = h\nu - E_b - E_c - \Phi_{sp}, \quad (4)$$

где E_b – энергия связи электрона в атоме, из которого он выходит, E_c – ра-

бота, произведенная электроном для преодоления сил электростатического притяжения между позитивно заряженной поверхностью и электроном, Φ_{sp} - фактор, связанный с конфигурацией спектроскопа.

Техника XPS позволяет исследовать ограниченный слой твердого вещества глубиной от 1 до 10 нм (10–20 атомных слоев). Действительно, X-лучи

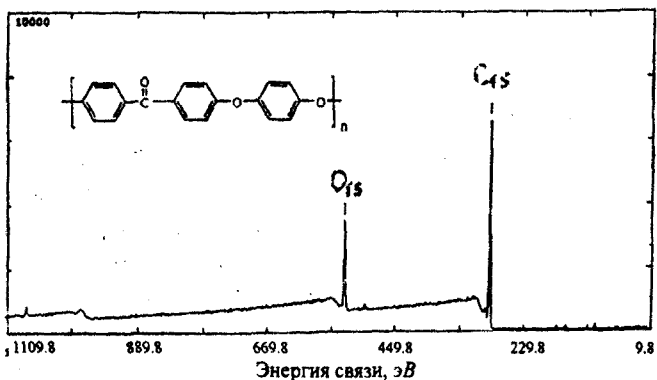


Рис. 5. Общий спектр XPS полиэфирε-иркетона.

проникают в образец на глубину примерно 1 мкм без ослабления. В противоположность этому, продуцированные фотоэлектроны подвергаются неэластичным столкновениям с атомами при их переходе из внутренних слоев к поверхности, при этом они теряют свою энергию и составляют шум спектра. Лишь фотоэлектроны, исходящие из очень тонких слоев поверхности, не подвергаются таким столкновениям.

При XPS спектрометр функционирует в вакууме (10^{-5} – 10^{-10} торр) [9], схема устройства приведена на рис. 4.

Полученный спектр имеет пики, соответствующие различным энергиям связи E_b , следовательно, каждый пик соответствует группе атомов одного типа, составляющих эту поверхность. То есть спектр XPS дает информацию об атомном составе поверхности (за исключением атомов водорода). Полученные соотношения интенсивностей пиков атомов присутствующих элементов переводятся в соотношения атомных концентраций; атомная фракция каждого элемента может быть вычислена (атомный анализ). К тому же, анализ тонкой структуры пиков указывает на присутствие разных функциональных групп (например, степень окисления углерода меняется в зависимости от типа связи с соседними атомами). В качестве примера мы приводим общий спектр полиэфирε-иркетона (рис. 5) и спектры, иллюстрирующие тонкие структуры

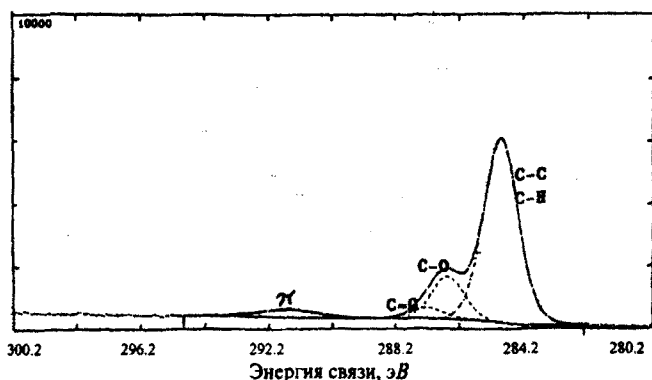


Рис. 6. Спектр XPS полиэфирε-иркетона, иллюстрирующий тонкую структуру пика C_{1s} .

и спектры, иллюстрирующие тонкие структуры

пиков C_{1s} (рис. 6) и O_{1s} (рис. 7), в которых дифференцированные пики указы-

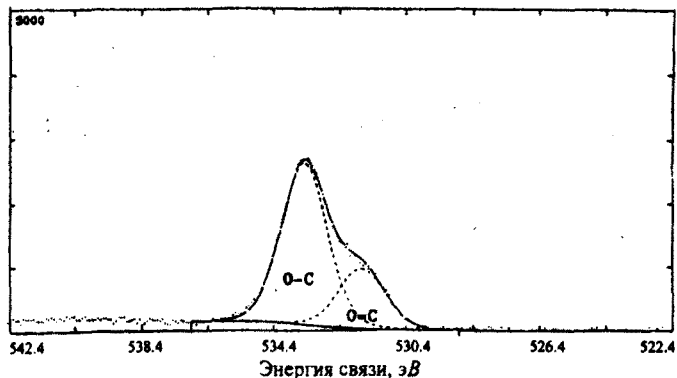


Рис. 7. Спектр XPS полиакрилата, иллюстрирующий тонкую структуру пика O_{1s} .

вают на разную степень окисления углерода и кислорода в молекуле [13, 14].

Меняя угол падения X-лучей, можно получить информацию о размещении атомов в межфазной области в интервале 10–100 Å. При анализе XPS образец не подвергается деградации.

2.2. Спектроскопия SIMS (secondary ion mass spectrometry). Это масс-спектрометрический анализ, применяемый на крайней поверхности твердого материала [15, 16]. Пучок ионов благородного газа, чаще всего Ar или Xe, с энергией $\leq 4 \text{ кэВ}$ направлен на поверхность образца, который испускает фрагменты вещества в вакуум, где расположен анализируемый образец (рис. 8). Эти фрагменты содержат один или множество атомов, которые

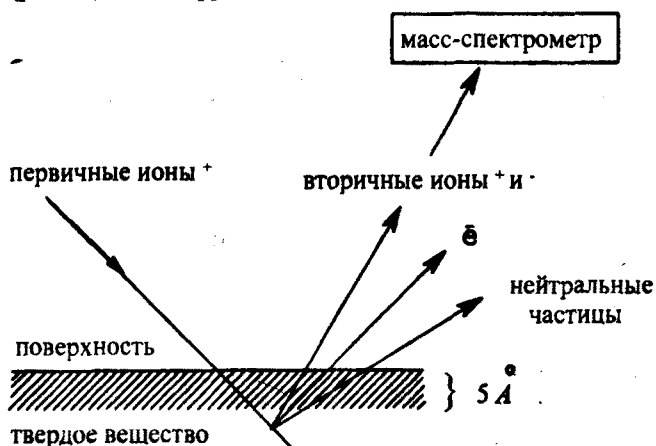


Рис. 8. Упрощенная схема спектрографа SIMS.

чаще всего нейтральны, но небольшой процент из них имеет положительный или отрицательный заряд. Заряженные фрагменты отправляются в масс-спектрометр (квадрупольного типа) для получения масс-спектров положительных и отрицательных вторичных ионов. Пучок первичных ионов должен иметь слабую плот-

ность потока, чтобы предотвратить деградацию образца во время получения спектра.

В процессе масс-спектрометрирования полимеров поверхность последних заряжается положительно. Этот заряд нейтрализуется электронной пушкой, охватывающей более широкую поверхность, чем та, которая достигается пучком первичных ионов.

Масс-спектры пленок полиэтилена, полипропилена или полистирола очень похожи. Например, в спектре полистирола мы находим пик 91 D, соответствующий катиону тропилиума ($C_7H_7^+$). Метакрилаты метила, этила, 2-гидроксиэтила, изобутила могут быть быстро идентифицированы по их

SIMS-отпечаткам, они выявляют интенсивные пики 15 D (CH_3^+), 29 D (C_2H_5^+), 45 D ($\text{C}_2\text{H}_4\text{OH}^+$) и 57 D (C_4H_9^+) соответственно. На масс-спектре пленки полиэтилентерефталата (ПЭТ) [9] (рис. 9) хорошо видна мономерная протонированная единица 193 D и пики ожидаемой фрагментации – 149 D ($\text{HO}_2\text{-C}_6\text{H}_4\text{-CO}^+$), 104 D ($\text{C}_6\text{H}_4\text{CO}^+$) и 77D (C_6H_5^+).

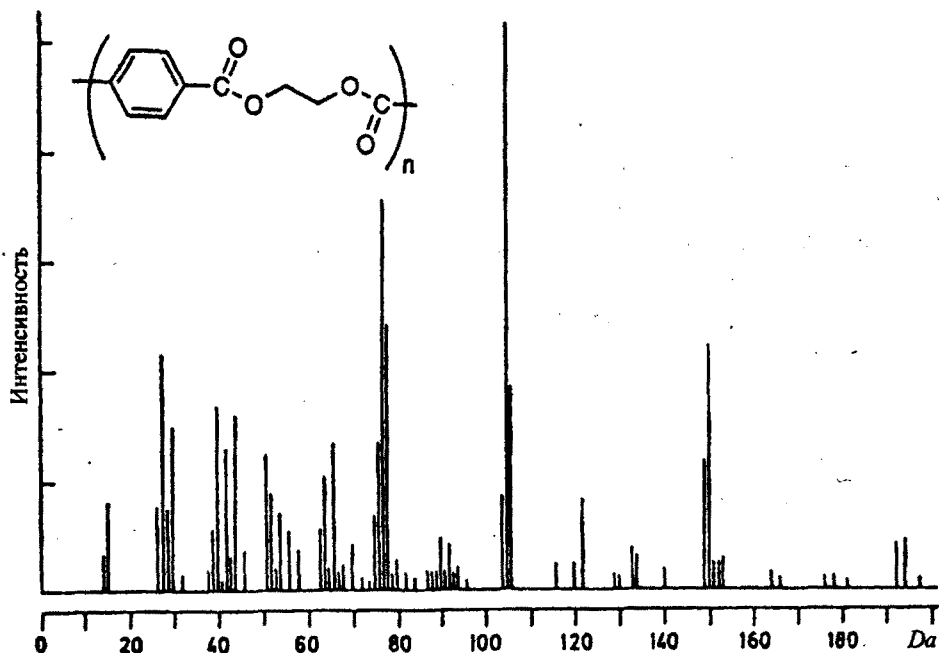


Рис. 9. Спектр SIMS полиэтилентерефталата.

Описанные спектры – это спектры положительных ионов. Спектры отрицательных ионов также могут дать кое-какую информацию, например, в случаях с полиэфиром и поликарбонатом. Последние нововведения в SIMS ориентируются в основном в двух направлениях: изображение ионов и улучшение чувствительности и разрешенности, в частности для повышенных масс. Хорошая пространственная разрешенность может быть достигнута фокусировкой пучка первичных ионов на очень малую площадь поверхности ($\leq 0,5 \mu\text{км}$).

Большой прогресс в технике SIMS был достигнут благодаря введению анализатора TOF (*time of flight*), который измеряет пульсы ионов.

2.3. *Инфракрасная спектроскопия.* Спектроскопия инфракрасной абсорбции дает информацию о молекулярной структуре (функциональные группы) полимерных материалов [14, 17, 18]. Обычным методом анализа поверхности является ATR (*attenuated total reflection*), принцип которого изображен на рис. 10.

Инфракрасное излучение, полностью отраженное в оптическом элементе с высоким коэффициентом преломления, проникает на малую глубину образцов, помещенных по обеим сторонам оптического элемента. Если образец поглощает часть энергии, соответствующей собственной частоте, то энер-

гия будет потеряна на эту долю. Потеря или ослабление энергии зависит также от целого ряда факторов: коэффициента абсорбции и концентрации образца, коэффициентов преломления образца (n_2) и кристалла (n_1), угла падения, числа отражений и состояния поляризации пучка.

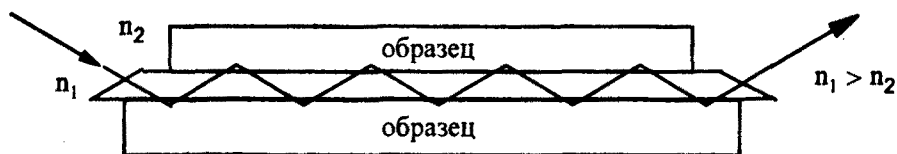


Рис. 10. Схематическое изображение метода ATR.

Имеется большая схожесть между спектром, полученным методом ATR, и спектром абсорбции, зарегистрированным трансмиссионным методом. Тем не менее, в области длинных волн полосы ATR относительно более интенсивные. Спектр ATR для ПЭЭК представлен на рис. 11 [9, 14].

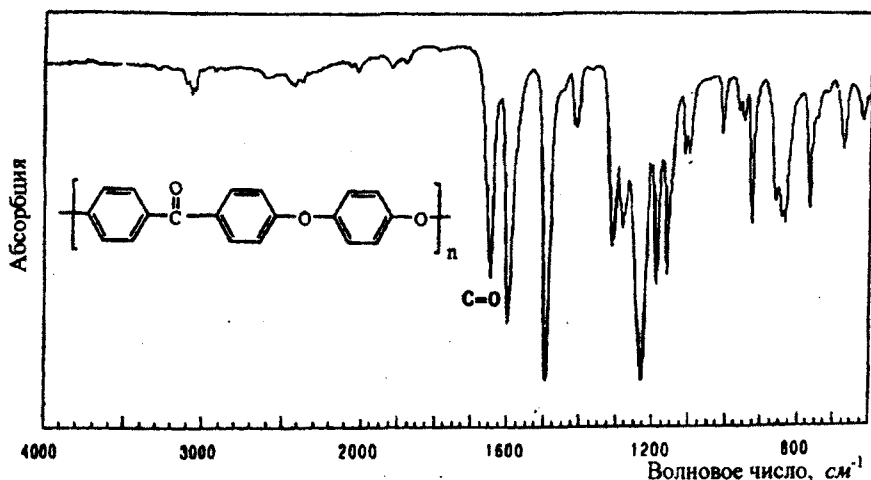


Рис. 11. Спектр ATR полиэфирэфиркетона.

Глубина анализируемой поверхности варьирует от 1 до 10 мкм в зависимости от длины волны и угла падения. В противоположность XPS и SIMS, ИК-спектроскопия не требует вакуума.

3. Различные виды микроскопии.

3.1. SEM (scanning electron microscopy) — сканирующая электронная микроскопия. Тончайший пучок электронов с энергией от 20 до 40 кэВ направляется на поверхность образца в микроскопе, который прочесывает ее согласно модели параллельных линий [9, 19]. Под влиянием электронов на поверхности образца происходят различные феномены, наиболее значительные из них (рис. 12) — отщепление вторичных электронов с энергией в десятки эВ и отражение первичных электронов с большей энергией. Угол падения первичного пучка меняется из-за шероховатости поверхности

(топологической структуры образца), чем и объясняются разные интенсивности этих двух типов электронов.

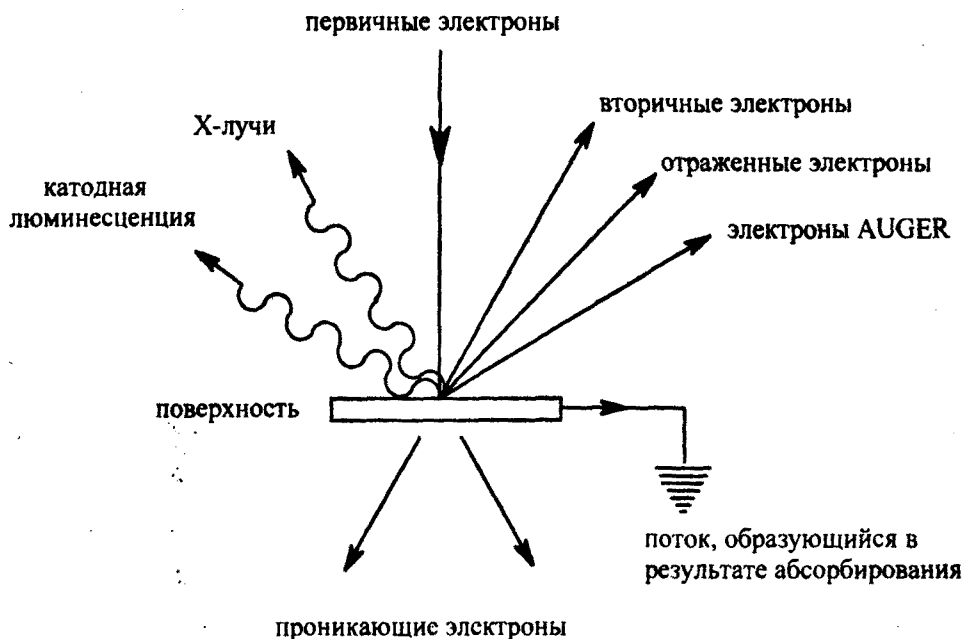


Рис. 12. Схема электронной бомбардировки поверхности.

Поток электронов собирается с целью увеличения его интенсивности перед отправкой в катодную трубку, синхронизированную с прочесыванием пучка, что позволяет восстановить картину анализируемой поверхности в

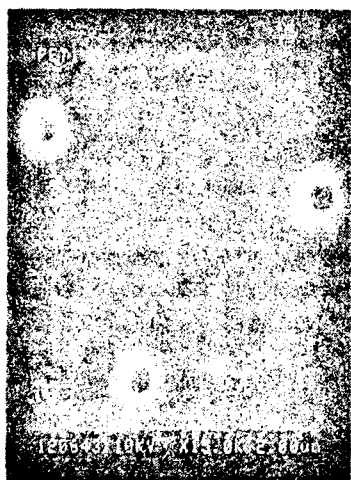


Рис. 13. SEM-рисунок микропористой мембраны полиэтилентерефталата (средний диаметр пор – 0,49 мкм, количество пор на единицу поверхности – $1,45 \cdot 10^9$ пор/см²).

трех измерениях. Преимуществом микроскопии SEM является простота подготовки образцов. Тем не менее, лишь образцы-проводники могут быть проанализированы этим методом. В противном случае поверхность образца покрывают тонким слоем (~100 нм) металла (золото, сплав золото-палладий, алюминий), чтобы предотвратить скопление зарядов от электронного пучка, бомбардирующего поверхность. Техника SEM позволяет произвести топографический и морфологический анализ твердой поверхности. При этом может быть произведено увеличение образца в 20–20000 раз с разрешением порядка 50–250 Å. Анализ SEM производится в вакууме. На рис. 13 представлена SEM-картина микропористой мембраны полиэтилентерефталата, используемой в качестве носителя для культивирования клеток [20]. Этим методом можно

определить средний диаметр пор и их количество на единицу поверхности.

3.2. *STM и AFM микроскопии.* Современные разновидности микроскопии поверхности это STM (*scanning tunneling microscopy*) – туннельная сканирующая микроскопия и AFM (*atomic force microscopy*) – микроскопия близких взаимодействий. Эти методы дают топологическую картину поверхности с разрешающей способностью порядка атомных масштабов. При STM измеряют генерируемый электрический ток в то время, когда образец, поддерживаемый при определенном потенциале, прочесывается тончайшим металлическим острием (изготовленным чаще всего из сплава платина–иридий). Полученный туннельный поток отображает атомную топографию поверхности. Первые исследования STM были осуществлены в ультравакууме. В настоящее время разрабатываются другие вариации этой техники, которые позволяют исследовать вещество в воздухе или в жидкости. Тем не менее, техника STM ограничена использованием лишь образцов из проводящего материала.

В противоположность этому, техника AFM [9, 21] позволяет получать картины поверхностей независимо от того, являются ли они проводниками или нет.

На рисунке 14 представлен принцип работы микроскопа AFM. Острие зафиксировано на носителе с отражающей поверхностью. Образец помещен на пьезосканере, который взаимосвязан с контрольным блоком. Эта взаимосвязь обеспечивает постоянный контроль над силой взаимодействия между острием и поверхностью образца.

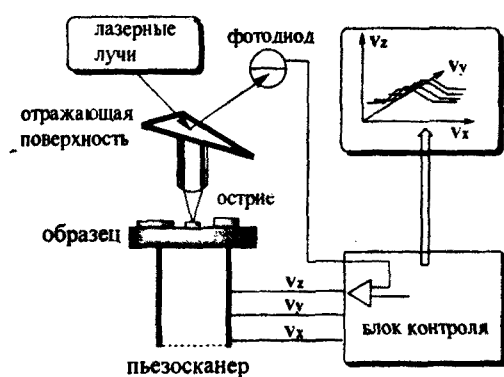


Рис. 14. Упрощенная схема микроскопа AFM.

При прочесывании поверхности острие совершает вертикальные перемещения в соответствии с шероховатостью поверхности, тем самым сохраняя силу взаимодействия постоянной. Эти движения приводят к отклонению носителя (Δz), измеряя

которое можно установить силу воздействия на острие согласно уравнению Гука:

$$F = -k\Delta z, \quad (5)$$

где k – коэффициент взаимодействия.

Перемещение носителя определяется оптическим методом, при котором отраженные лазерные лучи, попадая на фотодиод, генерируют поток, пропорциональный позиции носителя.

Если острие устанавливается в нескольких ангстремах от поверхности, то между ними возникают отталкивающие силы (контактный режим). Если же острие устанавливается в нескольких десятках ангстрем от поверхности и колеблется с частотой большей собственной частоты, то острие и поверхность притягиваются (бесконтактный режим). Эта техника хорошо адаптирована для изучения мягких материалов, таких как некоторые полимеры и биологические образцы. В качестве примера мы приводим картины поверхности блок-сополимера полиметилметакрилат-полистирола (рис. 15) [22].

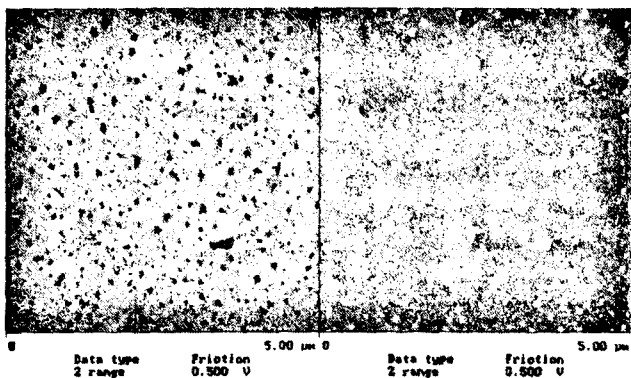


Рис. 15. Картины AFM поверхности блок-сополимера полиметилметакрилат-полистирола.

которые изучаются в реакциях химической дериватизации, осуществляемых в зоне твердое вещество–газ или, чаще, твердое вещество–жидкость. С этой целью используются классические реакции органической химии: ацилирование гидроксильных и аминных групп, превращение карбонильных групп в основание Шиффа, эстерификация кислотных групп или их взаимодействие с аминами согласно технике пептидического синтеза [23]. Реактивность полимерной поверхности зависит от экспериментальных условий ее дериватизации: полярной или аполярной природы растворителей и реактивов, их концентрации, температуры и времени контакта. Агент дериватизации должен содержать маркер, который позволяет количественно анализировать дериватизированную поверхность.

4.1. Анализ XPS. Дериватизация полимерных поверхностей посредством фторированных молекул

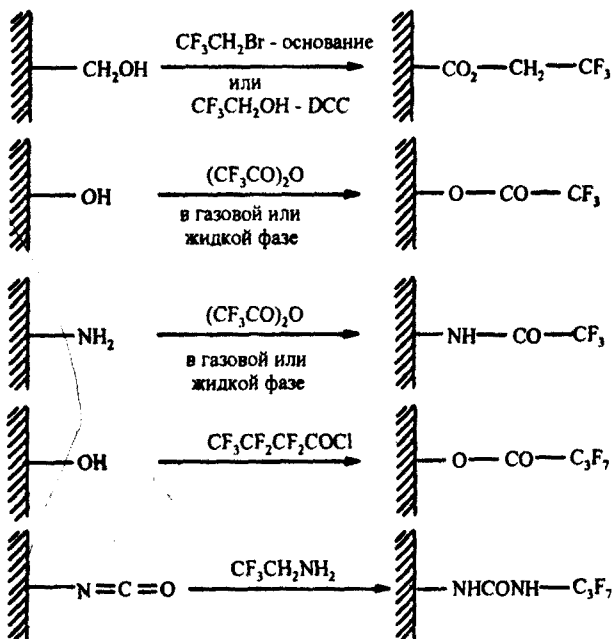


Схема 1. Примеры маркировки фтором полимерных поверхностей.

4. Функциональные дозировки.

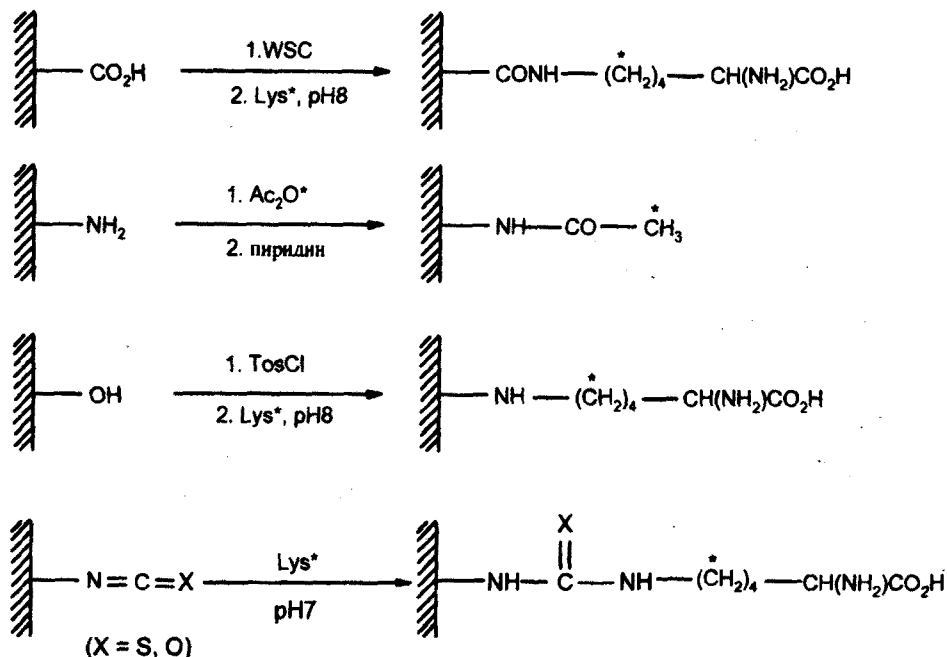
Спектроскопические методы позволяют выявить присутствие некоторых структурных формирований на поверхности полимерных материалов. Однако они не дают никаких сведений относительно реакционной способности функциональных групп на поверхности.

Спектроскопические методы позволяют выявить присутствие некоторых структурных формирований на поверхности полимерных материалов. Однако они не дают никаких сведений относительно реакционной способности функциональных групп на поверхности. Наиболее часто используемая техника для количественного анализа реактивности поверхностных групп при методе XPS [9].

Поскольку исходный полимер не содержит атомов фтора, отношение атомов F/C, измеренное опытным путем на дериватизированной поверхности, прямо пропорционально числу функциональных групп, которые вошли во взаимодействие с молекулой-зондом при экспериментальных условиях, свойственных маркировке [24]. На схеме 1

представлены несколько типичных реакций маркировки фтором полимерных поверхностей.

4.2. Анализ LSC (*liquid scintillation counting*) – расчет по сцинтилляции жидкости. Интересная техника радиомаркировки разработана сотрудниками Лувенского католического университета Бельгии [9, 22], при которой тритированные зонды фиксируются ковалентным способом на реактивных группах полимерных поверхностей (схема 2).



WSC (water soluble carbodiimide, карбодимид, растворимый в воде); Lys* L-[4,5-³H]-лизин; Ac₂O* – [2,2-³H] (CH₃CO)₂O.

Схема 2. Примеры маркировки полимерных поверхностей с применением тритированных зондов.

Когда в качестве зонда используется L-[4,5-³H]-лизин, экспериментальные условия маркировки очень близки к таким, которые применяются при прививке биологически активных молекул (пептидов, белков) на поверхность полимеров. Следовательно, эффективность (уровень сцепления) стратегии активной биосовместимости полимерного материала может быть оценена на основе радиоактивности, приписываемой маркированному тритированным лизином образцу.

Используется техника LSC, которая позволяет вычислять радиоактивность, выброшенную маркированными тритием частицами. Распад трития сопровождается вялым β-излучением. Это – β-электроны, выброшенные во время распада. Они трудно определяемы, так как пробегают малые дистанции в результате их взаимодействия с материей. Учитывая это, нужно уменьшить до минимума расстояние между источником и детектором излучения.

С этой целью радиоактивный образец помещается в сцинтилирующую жидкость, которая содержит растворитель, передающий энергию β -излучения светящемуся веществу. Оно трансформирует эту энергию в фотоны (рис. 16). Столкновение β -частицы с молекулой растворителя провоцирует ее

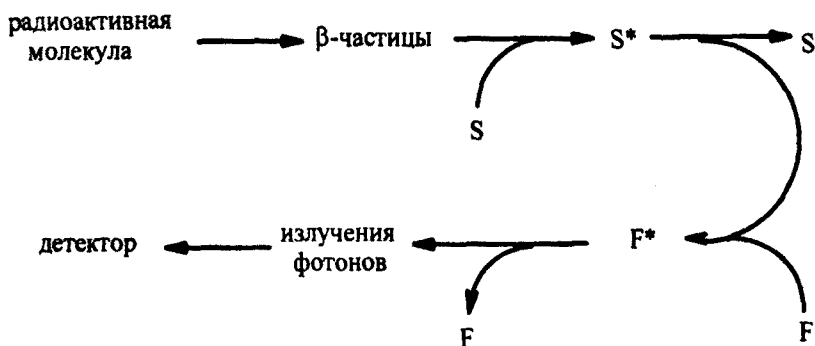


Рис. 16. Схема регистрации радиоактивности трития методом LSC.

переход в возбужденное состояние. При возвращении в стабильное состояние излучаются фотоны, число которых пропорционально энергии маркированной частицы, фиксированной на поверхности. Следовательно, достаточно произвести замер электрических импульсов, порожденных столкновением продуцированных фотонов с фотокатодом полимультипликатора.

4.3 Тандемный анализ LSC/XPS. Синтез смешанных зондов [24], содержащих одновременно атомы фтора и трития, позволяет анализировать образцы методами LSC и XPS (схема 3).

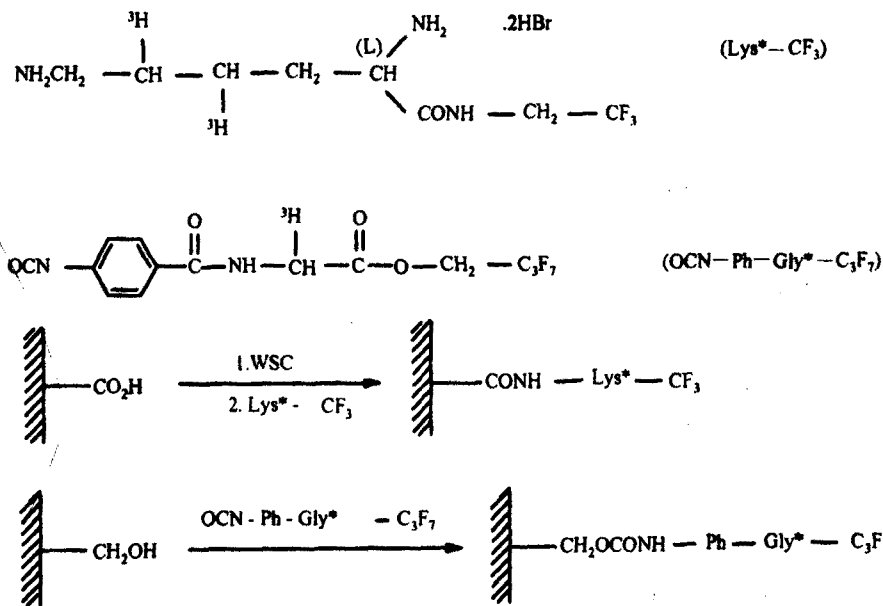


Схема 3. Использование смешанных зондов при анализе гидроксильных и кислотных групп на поверхности полиэтилтерефталата.

Эти дополнительные анализы особенно полезны для характеристики реактивности поверхности микропористых мембран. Действительно, при анализе XPS исследуется атомный состав (соотношение F/C) видимой поверхности образца на глубину 50–100 Å, тогда как анализ LSC дает число всех “маркировщиков”, фиксированных на тотальной открытой поверхности (видимая и внутренняя поверхности пор).

Кафедра физической и коллоидной химии

Поступила 03.11.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. **Feast W.J., Munro H.S.** Polymer Surfaces and Interfaces. I, Chichester: John Wiley and Sons, 1987.
2. **Feast W.J., Munro H.S., Richards R.W.** Polymer Surfaces and Interfaces. II, Chichester: John Wiley and Sons, 1993.
3. **Garbassi F., Morra M., Oecillo E.** Polymer Surfaces, from Physics to Technology. Chichester: John Wiley and Sons, 1994.
4. **Marchand-Brynaert J.** – Recent Res. Devel. In Polymer Science, 1998, v. 2, p. 335–362.
5. **Noiset O., Schneider Y.-J., Marchand-Brynaert J.** – J. Biomater. Sci. Polymer Edn., 1999, v. 10, p. 657–677.
6. **Noiset O., Schneider Y.-J., Marchand-Brynaert J.** – Journal of Polymer Science. Part A: Polymer Chemistry, 1997, v. 35, p. 3779–3790.
7. **Walls J.M.** Methods of Surface Analysis, Techniques and Applications. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
8. **Lagues M.** l'Actualite Chimique, Janv.–fev., 1990, p. 17–35.
9. **Marchand-Brynaert J.** – Chimie Nouvelle, 1996, v. 14, № 55, p.1613–1620.
10. Wettability, Surfactant Science Series. v. 49, J.S. Berg (Editor). New York: Marcel Dekker, 1993.
11. **Hercules D.M., Hercules S.H.** – J. Chem. Educ., 1984, v. 61, p. 402–409.
12. **Hercules D.M., Hercules S.H.** – Там же, p. 483–489.
13. **Marchand-Brynaert J., Pantano G., Noiset O.** – Polymer, 1997, v. 38, № 6, p. 1387–1394.
14. **Henneuse C., Goret B. and Marchand-Brynaert J.** – Polymer, 1998, v. 39, № 4, p. 835–844.
15. **Henneuse-Boxus C., Poleunis C., De Ro A., Adriaensen Y., Bertrand P. and Marchand-Brynaert J.** – Surf. Interface Anal. 1999, v. 27, p. 142–152.
16. **Hercules D.M., Hercules S.H.** – J. Chem. Educ., 1984, v. 61, p. 592–599.
17. **Scheuing D.R.** – ACS Symposium Series, 1991, p. 447.
18. **Mira-Bella F.M. Jr.** Internal Reflection Spectroscopy, Theory and Applications. New York: Marcel Dekker, 1992.
19. **Watt I.M.** The principles and Practice of electron microscopy. Cambridge: University Press, 1985.
20. **Meugenot P., Marchand-Brynaert J.** – Macromolecules, 1996, v. 29, p. 3552–3559.
21. **Leckband D.** – Nature, 1995, v. 376, p. 617–618.
22. **Hambardzumyan A., Biltresse S., Dufrene Y. and Marchand-Brynaert J.** – J. Colloid Interface Sci., 2002, v. 252, p. 443–449.
23. **Boxus T., Deldime-Rubbens M., Meugenot P., Schneider Y.-J., Marchand-Brynaert J.** – Polym. Adv. Technol., 1996, v. 7, p. 589–598.
24. **Deldime M., Dewez J.-L., Schneider Y.-J., Marchand-Brynaert J.** – Appl. Surf. Sci., 1995, v. 90, p. 1–14.

ՊԻՆԴ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՄԱՆ ՈՐՈՇ
ԺԱՄԱՆԱԿԱԿԻՑ ՄԵԹՈԴՆԵՐ

Ամփոփում

Աշխատանքում ներկայացված են պինդ մակերևույթների ուսումնասիրման ժամանակակից մեթոդներ, որոնք հնարավորություն են տալիս կատարել մակերևութային շերտի քանակական և որակական անալիզ: Շերտի հաստությունը չի գերազանցում մի քանի անգստրեմը, իսկ մակերեսը նանոմետրական կարգի մեծություն է: Նմանատիպ անալիզի դեպքում գործ ունենք նյութի չնչին քանակների հետ ($\leq 10^{-13} \text{ g}/\text{cm}^2$), որոնց համար հայտնի դասական մեթոդները կիրառելի չեն, քանզի ուսումնասիրվող նմուշի ծավալից ստացվող ազդանշանները, որպես կանոն, լինելով անհամեմատ ավելի հզոր, խանգարում են մակերևույթից ստացված թույլ ազդանշանների հայտնաբերմանը:

Ներկայացված մեթոդները մեծ կիրառություն ունեն պոլիմերների, մասնավորապես կենսապոլիմերների մակերևույթների ուսումնասիրման բնագավառում:

A. J. HAMBARDZUMYAN, Sh. A. MARKARIAN

SOME MODERN METHODS OF SOLIDE SURFACES ANALYSES

Summary

In the present article some modern techniques, which allow qualitative and quantitative analyses in nm scale of solid surfaces with a thickness equal to some atomic layers are described. For an analysis of thin layers of surfaces classical methods are not applicable, because a very small quantity of material is used ($\leq 10^{-13} \text{ g}/\text{cm}^2$) and the signal coming from surface layer is covered by a large signal of the bulk.

Described methods are widely applied in the study of polymers' surfaces, specially, in analyses of biomaterial surfaces.