

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

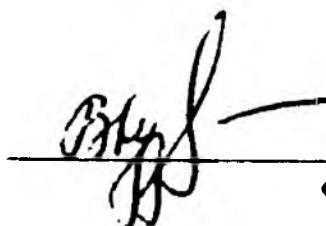
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
«ИССЛЕДОВАНИЕ
ВЛИЯНИЯ УФ ИЗЛУЧЕНИЯ
НА ПОВЕРХНОСТЬ
ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ
ВОЛОКОН МЕТОДОМ ИК
СПЕКТРОСКОПИИ»

Методические указания



Министерство образования и науки Российской Федерации

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



УДТВЕРЖДАЮ
Декан ФФ ТГУ
В. М. Кузнецов
«03» июня 2010 г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

**«ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УФ ИЗЛУЧЕНИЯ
НА ПОВЕРХНОСТЬ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ ВОЛОКОН
МЕТОДОМ ИК СПЕКТРОСКОПИИ»**

Методические указания

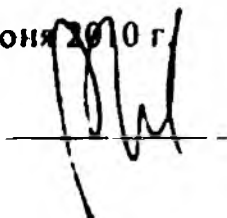
Томск
2010

УДК 535.343.2:54-74

Рассмотрено и утверждено методической комиссией физического факультета

Протокол № 34 от «02» июня 2010 г.

Председатель комиссии



В.Н. Черепанов

Изложены рекомендации для выполнения лабораторной работы по исследованию поверхности тонковолокнистых полимерных материалов (ТПМ), модифицированных гетерогенными металлоксидными наночастицами SnO_2 и TiO_2 после обработки ультрафиолетовым излучением эксиплексной лампы. Методические указания разработаны для магистрантов и студентов химических, физических и строительных специальностей в рамках курса «Межмолекулярные взаимодействия», работающих в области модификации полипропилена.

Методическое пособие подготовлено при финансовой поддержке проекта ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы в рамках реализации мероприятия 1.2.1 (госконтракт № П1128) и гранта президента РФ на поддержку ведущей научной школы (№ НШ-4297.2010.2). Лабораторная работа проводится на базе научно-образовательного центра Томского государственного университета «Квантовая химия, спектроскопия и фотоника наноматериалов».

Составители: вед. н.с., д.ф.-м.н. Чайковская О.Н.
лаборант «ОСП СФТИ ТГУ» Петрова А.Ю.

Тема: Исследование влияния УФ излучения на поверхность полипропиленовых волокон методом ИК спектроскопии

Цель работы: Изучение основ ИК спектроскопии, получение ИК спектров тонковолокнистого полимерного материала на основе полипропилена и их анализ.

Задание:

1. Изучить теорию ИК спектроскопии.
2. Познакомиться с принципом действия прибора *NIKOLET-380*.
3. Получить ИК спектры тонковолокнистого полимерного материала (ТПМ).
4. Облучить полипропиленовые волокна эксилампой $KrCl$ ($\lambda \sim 222$ нм), варьируя время облучения.
5. Сравнить полученные спектры со спектрами из базы данных.
6. Проанализировать результаты.

В результате выполнения лабораторной работы студент должен:

Знать:

- физические явления, лежащие в основе метода исследования состава и структуры вещества;
- принцип работы и конструкцию устройств и прибора, используемого в данном методе исследования;
- практические возможности метода.

Уметь:

- проводить необходимые эксперименты;
- получать результаты, их обрабатывать и анализировать в рамках используемого метода;
- дать оценку использования полученных результатов в практических целях.

Теоретическая часть

Введение

В настоящее время наиболее перспективным представляется использование наноразмерных металлосодержащих частиц для разложения токсичных органических веществ. Из литературных источников известно, что полупроводниковые наночастицы, в частности TiO_2 , введенные в загрязненную воду и образовавшую в ней коллоидный раствор, используются для фотокаталитической минерализации органических соединений в сточных водах. Генерированные светом дырочные центры могут быть использованы для фотоокисления различных соединений на поверхности наночастиц до их полной деструкции [1]. В тоже время высокая эффективность рекомбинации генерированных светом электронов и дырок является препятствием для практического применения полупроводниковых наночастиц в фотокатализе. Значительный интерес в этом плане представляют полупроводниковые нанокристаллические гетероструктуры, состоящие из полупроводников с различным строением электронных уровней. Это позволяет достичь больших величин квантового выхода разделения зарядов. К числу таких гетероструктур относятся наночастицы ($\text{SnO}_2 + \text{TiO}_2$).

Уменьшение размеров полупроводниковых наночастиц приводит к сдвигу дна зоны проводимости в сторону более отрицательных потенциалов, а потолка валентной зоны – в сторону более положительных потенциалов. Кроме того, важным для осуществления фотокаталитических процессов на поверхности полупроводников является то обстоятельство, что наночастицы обладают большой удельной поверхностью. И малый размер может обеспечить высокую эффективность выхода генерированных светом электронов и дырок на поверхность наночастиц, повышая тем самым вероятность фотокаталитического процесса на поверхности полупроводника. Коллоидные растворы наночастиц являются удобными для демонстрации возможности их применения в фотокатализе. Однако практическое их применение затруднено из-за необходимости отделять наночастицы от раствора после окончания фотокаталитического процесса. Гораздо более перспективным представляются тонкие слои наночастиц адсорбированные на каком-либо носителе.

В данной работе в качестве носителя использованы тонковолокнистые полимерные материалы. По сравнению с гранулированными сорбентами они обладают более развитой удельной поверхностью.

Наиболее перспективны материалы, полученные в результате рециклинга таких полимеров, как полипропилен [2]. При этом решается не только задача очистки воды, но и проблема утилизации твердых бытовых отходов. Полипропиленовые отходы не разлагаются в естественной среде, их пиролиз так же не улучшает экологическую обстановку. Таким образом, альтернативы рециклингу различных полимерных отходов практически нет.

Инфракрасная (ИК) спектроскопия является одним из самых распространённых методов молекулярной спектроскопии для изучения структуры вещества. Длины волн инфракрасного излучения лежат в диапазоне от 10 до 10000 см⁻¹. Впервые инфракрасные лучи были обнаружены в 1800 году сэром Вильямом Гершелем, который, направляя солнечные лучи через призму на термометр, за граничным «красным» участком видимого спектра обнаружил повышение температуры, то есть существование невидимого излучения. Было установлено, что это излучение подчиняется законам отражения и преломления и может поглощаться веществом в дискретных частотных интервалах. Было найдено, что характер инфракрасного поглощения веществом зависит от его строения, а также обнаружено, что некоторые химические группы избирательно поглощают в определённых спектральных областях. Особенно важной оказалась область 600–1500 см⁻¹, которая чрезвычайно чувствительна к строению молекул и получила название «области отпечатков пальцев».

ИК область спектра лежит в диапазоне длин волн от границы видимой области, т.е. от 0,7 до 1000 мкм, что соответствует 10 см⁻¹, то есть нижнему пределу колебательных частот молекул. Вся ИК область условно делится на ближнюю, среднюю и дальнюю (или длинноволновую). Граница между ближней и средней областями лежит около 2 мкм (~ 5000 см⁻¹), условно она соответствует пределу, за которым обычно наблюдается обертоны валентных колебаний, а границей между средней и длинноволновой областью называют область ниже 200 см⁻¹. Это деление весьма условно и в большей степени определяется тем, что для каждой из указанных областей существует специфика в применяемой аппаратуре и методиках.

Хотя в настоящее время спектроскопия УФ-видимого диапазона и классическая ИК спектроскопия – широко применяемые аналитические методы, спектроскопия ближнего ИК используется в очень специфических целях. Установлено, что только около 1 % всех анализов основано на этом виде спектроскопии. Посредством спектро-

скопии ближней ИК области легко провести различие между полимерами всех типов.

Основные преимущества спектроскопии ближней ИК

- В отличие от обычной ИК спектроскопии используются образцы «нормальной» толщины (10 мм) и кварцевые кюветы, как и в ультрафиолетовой и видимой спектроскопии, предварительной подготовки образца не требуется.
- Использование хемометрических методов, таких, как так называемый анализ главного компонента или анализ множественной регрессии, позволяет рутинно проводить в целях контроля анализа большого количества образцов.
- Вследствие наличия оптоволокон с прозрачностью до 2500 нм можно проводить измерения образцов, расположенных на расстоянии нескольких километров от спектроскопа.
- В отличие от других спектральных методов можно измерять «неспектральные» параметры образца, такие как размер гранул, величина рН, содержание NaCl и многое другое.

В основе метода ИК спектроскопии лежит изучение частотной зависимости поглощения электромагнитного излучения в инфракрасном диапазоне, обусловленного переходом исследуемых молекулярных систем из основного в колебательно-возбуждённое состояние (прежде всего, с уровня $\nu = 0$ на уровень $\nu = 1$, где ν – колебательное квантовое число).

ИК спектр любой частицы представляет собой набор полос поглощения, основными характеристиками каждой из которых являются частота и интенсивность. В ИК спектре поглощения проявляются только те колебания, при которых изменяется дипольный момент системы, причём интенсивность полосы поглощения тем выше, чем больше изменение дипольного момента при соответствующем колебании.

Согласно основному правилу отбора, колебание активно в ИК спектре, если оно сопровождается изменением дипольного момента. В гомоядерной двухатомной молекуле растяжение связи не меняет нулевого дипольного момента, следовательно, молекулы такого типа не будут давать колебательный ИК спектр. В случае двухатомной гетероядерной молекулы с изменением длины связи при колебании будет изменяться дипольный момент, эти молекулы дают колебательный спектр поглощения или испускания.

Специфическое правило отбора для гармонического осциллятора таково:

$$\Delta \nu = \pm 1.$$

Применение этого правила для отбора к выражениям для энергетических колебательных уровней показывает, что в гармоническом приближении при переходе с уровня ν на уровень $\nu+1$ энергия меняется на величину:

$$\Delta E = h c \omega_e.$$

В ангармоническом приближении:

$$\Delta E = h c (\omega_e - 2 \omega_e x_e (\nu + 1)).$$

Вид колебательного спектра двухатомной молекулы определяется расстояниями между колебательными уровнями. В соответствии с правилом отбора в спектре поглощения должна наблюдаться одна полоса, отвечающая $\Delta E = \pm h c \omega_e$. Спектр реальной молекулы более сложный, так как могут наблюдаться переходы и для $\Delta \nu = \pm 2, \pm 3, \dots$ между уровнями колебательной энергии в приближении ангармонического осциллятора. Интенсивность полос поглощения пропорциональна числу молекул в начальном гармоническом состоянии, а при обычных условиях практически все молекулы находятся в основном гармоническом состоянии.

Уравнение Шрёдингера для гармонических колебаний многоатомной молекулы имеет вид:

$$E_{\nu_k} = h \omega_k (\nu_k + 1/2),$$

где $\nu_k = 0, 1, 2, \dots$ – колебательное квантовое число, а ω_k – колебательная постоянная. Колебательная энергия многоатомной молекулы в гармоническом приближении является функцией p ($p = 3N - 6$, N – число молекул в молекуле) колебательных квантовых чисел. Таким образом, многоатомная молекула характеризуется набором колебательных состояний, каждому из которых соответствует свой набор квантовых чисел ν_k . Самый низкий уровень энергии, для которого все $\nu_k = 0$, называется нулевой энергией молекулы. Энергетические уровни, для которых все колебательные квантовые числа равны нулю за исключением одного, называются фундаментальными. Уровни колебательной энергии с одним отличным от единицы

квантовым числом называются обертонами, а уровни, которые имеют несколько отличных от нуля чисел ν , называются составными или комбинированными. Переходы между уровнями молекулы могут происходить с испусканием или поглощением молекулы. Переход из основного состояния на один из фундаментальных уровней будет происходить с поглощением кванта света с основной или фундаментальной частотой. При переходах из основного состояния на обертоновые или составные уровни наблюдаются обертоны или составные частоты соответственно.

В реальности интерес представляют те уровни, которые попадают в инфракрасную область спектра. При комнатной температуре наиболее заселён уровень нулевой колебательной энергии, поэтому в ИК спектрах наиболее интенсивны полосы основных частот.

Чисто колебательных спектров многоатомных молекул не существует. Всегда наблюдаются колебательно-вращательные спектры. Каждое колебательное состояние имеет свой собственный набор вращательных состояний.

Для качественной интерпретации ИК спектров в аналитических приложениях широко используется концепция групповых колебаний, смысл которой состоит в том, что наблюдаемые полосы поглощения соотносят с колебаниями определённых функциональных групп или фрагментов молекулярной системы (в этом случае говорят о характеристических полосах). В основе этой концепции лежат эмпирические обобщения, основанные на большом объёме экспериментального материала по рядам соединений.

ИК спектры макромолекул полипропилена

Открытие стереоспецифической полимеризации положило начало новому этапу в исследовании структуры и свойств полипропилена (ПП). В зависимости от условий полимеризации структура полипропилена может быть нескольких типов, которые различаются пространственным расположением метильных (CH_3) групп по отношению к главной цепи полимера:

1. Изотактическая – все CH_3 -группы находятся по одну сторону от плоскости цепи. Макромолекулы изотактического ПП имеют третичную симметрию, так как CH_3 -группы располагаются вдоль главной углеводородной цепи по спирали.

2. Синдиотактическая – CH_3 -группы располагаются последовательно по разные стороны от плоскости главной углеводородной цепи ПП.
3. Атактическая – структура с неупорядоченным расположением метильных групп.

Промежуточное положение между чисто атактической и чисто изотактической структурами занимают стереоблокполимеры, в макромолекулах которых регулярно чередуются различные по длине изотактические и атактические участки. Стереизомеры ПП существенно различаются по механическим, физическим и химическим свойствам. Стереизомерный состав ПП обычно определяют методами ИК спектроскопии, которая дает полезную информацию о структуре макромолекул и о протекающих в них химических превращениях.

Интерпретация ИК спектров полипропилена возможна на базе характеристических частот валентных колебаний CH -группы, симметричного деформационного колебания CH_2 -группы (полоса 1435см^{-1}), антисимметричного деформационного колебания CH_3 -группы (полосы 1454 и 1640см^{-1}) и симметричного деформационного колебания CH_3 -группы (полоса 1378см^{-1}).

Под степенью микротаكتичности понимают отношение числа изотактических триад к общему числу триад. Для количественного определения степени микротаكتичности предложено использовать несколько вариантов отношений: соотношение интенсивностей полос поглощения 974 и 995см^{-1} , 974 и 1380см^{-1} , 974 и 1460см^{-1} , 1380 и 1460см^{-1} .

Увеличение степени микротаكتичности приводит к увеличению доли дальнего порядка в полимере, следовательно, и кристалличности. Полосы 810 , 839 , 894 , 992см^{-1} могут характеризоваться как «полосы кристалличности». Степень кристалличности определяется путём исследования температурной зависимости интенсивности полосы поглощения 790см^{-1} . В практике иногда используют отношение интенсивностей полос поглощения 1170 и 840см^{-1} как средство измерения кристалличности.

Практическая часть

Рабочая установка и основные части ИК спектрометра Nicolet-380 показаны на рис. 1:

Status indicators – статусные индикаторы

Dessicant access cover – дверца осушителя

Sample compartment sliding door – дверца кюветного отделения

External beam port (optional) – вывод луча (дополнительно)

Humidity indicator – индикатор влажности

Detector fill port (optional) – порт заполнения детектора (дополнительно)

Sample compartment cover (optional) – крышка кюветного отделения

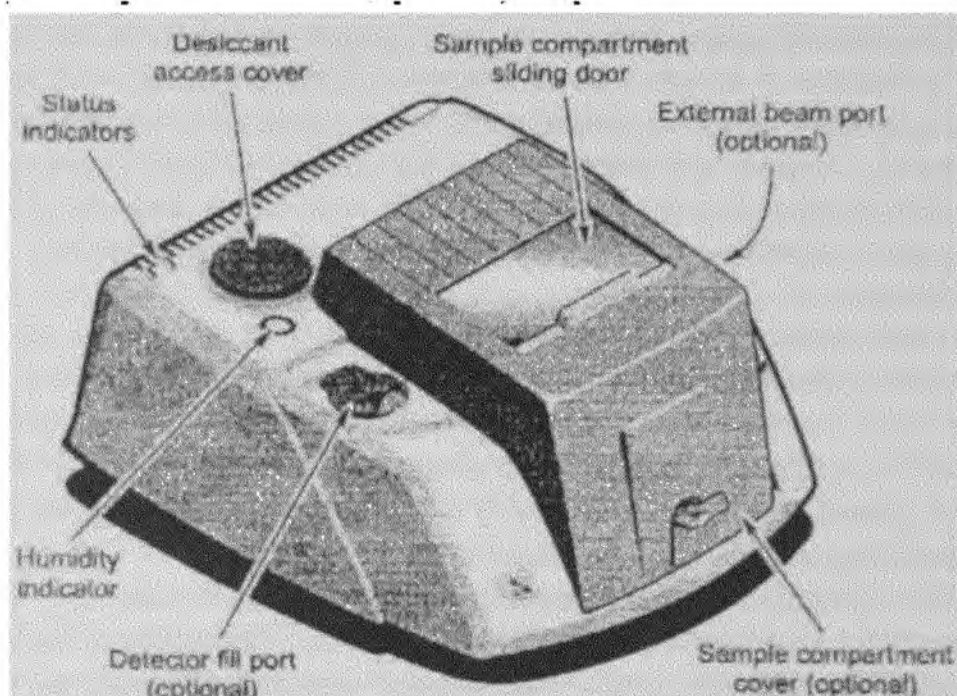


Рис. 1. Спектрометр *Avatar* с установленной крышкой кюветного отделения

Когда спектрометр включен, загорается индикатор ***Power***, индикатор ***Scan*** загорается во время сканирования. Данные индикаторы представлены на рис. 2.

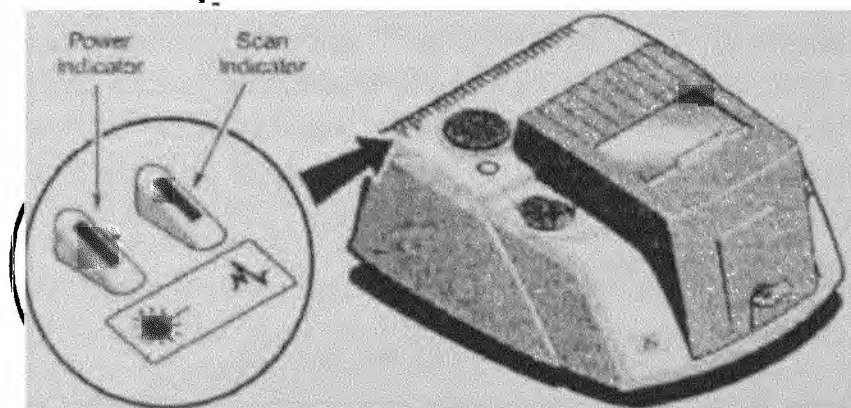


Рис. 2. Индикаторы ***Power*** и ***Scan***, где ***Power Indicator*** - индикатор ***Power***, ***Scan indicator*** - индикатор ***Scan***

На рис. 3 показано расположение элементов оптической схемы спектрометра со снятой крышкой:

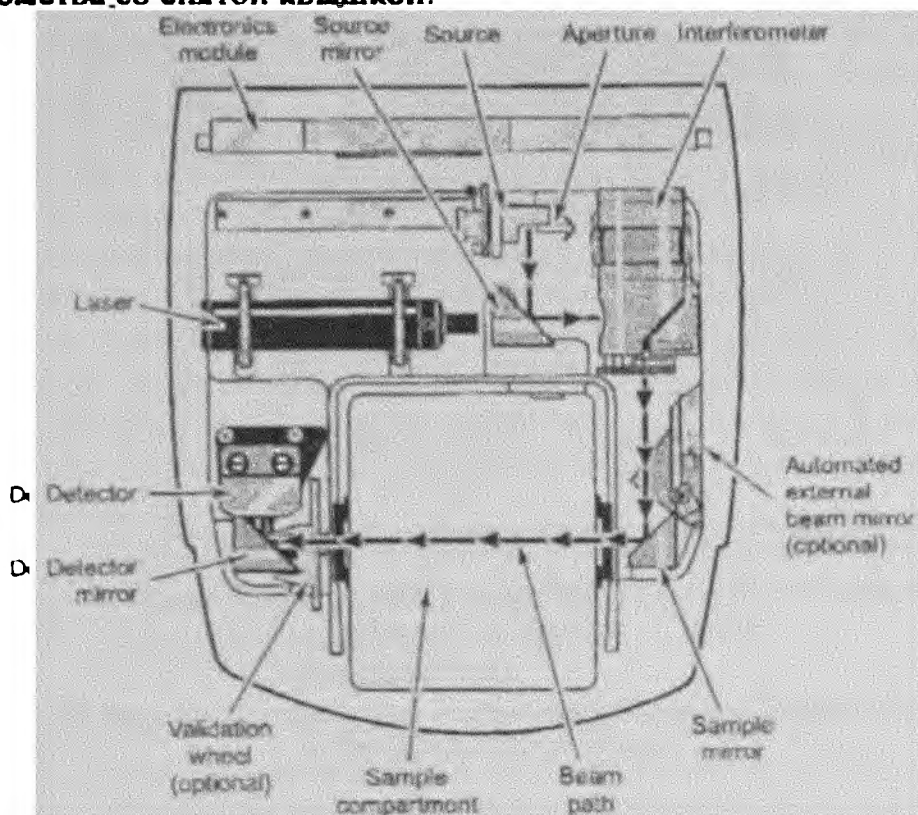


Рис. 3. Элементы оптической схемы ИК спектрометра

Electronics module – электронный блок

Source – источник ИК излучения

Interferometer – интерферометр

Aperture – апертура

Source mirror – зеркало источника

Optional automated external beam mirror – дополнительное автоматическое зеркало вывода луча

Sample mirror – зеркало образца

Sample compartment – кюветное отделение

Optional validation wheel – дополнительный проверочный комплект

Detector mirror – зеркало детектора

Detector – детектор

Laser – лазер

На рис. 4 показано расположение разъемов, выключателей, места подводки системы продувки на задней панели спектрометра.

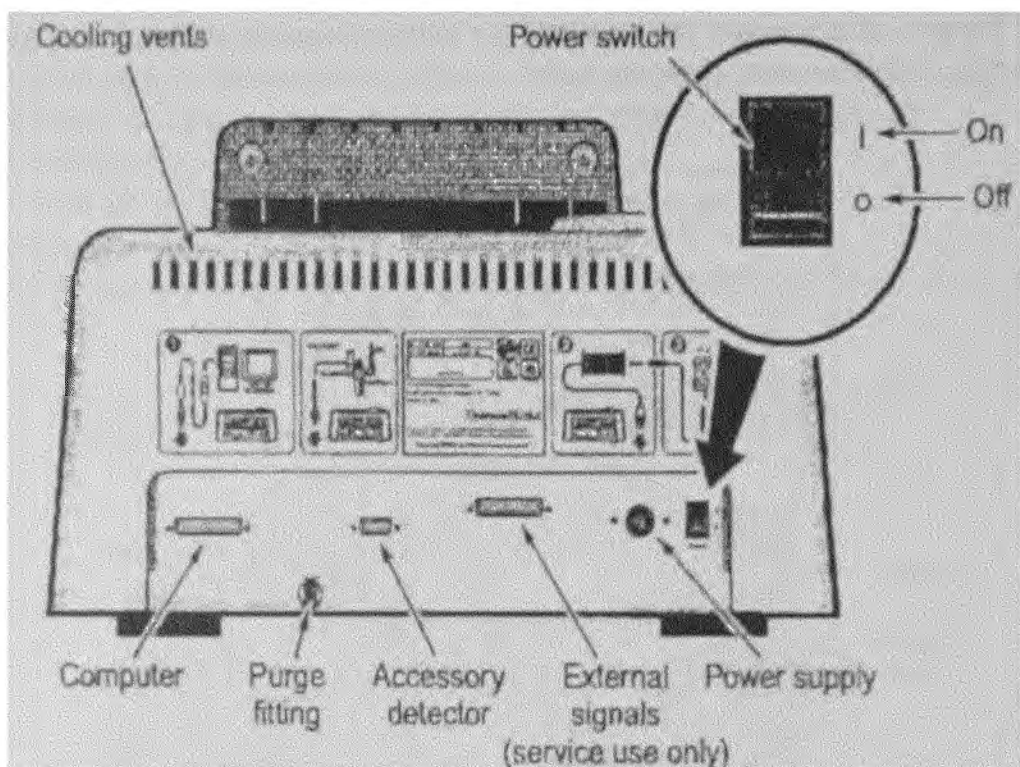


Рис. 4. Расположение разъемов, выключателей, места подвода системы продувки на задней панели спектрометра

Cooling vents – охлаждающая решётка

Power supply – подвод питания

Accessory detector – разъем для дополнительного детектора приставки

Computer – разъем для компьютера

Power switch – сетевой выключатель

Purge fitting – продувочный фитинг

External signals – подключение внешних сигналов (только для использования сервис – инженером)

Перед началом работы необходимо получить «нулевую линию». Она снимается без образца. Вычитание «нулевой линии» от спектра образца – называемое «сравнением» – устраняет эффекты, обусловленные инструментальными атмосферными погрешностями; таким образом, пики в полученном спектре обусловлены исключительно откликом образца.

Можно не снимать «нулевую линию» для каждого образца, если не меняются параметры программного обеспечения, соответствующие условиям эксперимента. Однако, для получения хороших ре-

зультатов снимайте «нулевую линию» каждые 4 часа. Если вы будете снимать «нулевую линию» перед каждым получением образца, то результаты будут наилучшими, но это требуется очень редко.

Программное обеспечение *OMNIC* автоматически контролирует состояние получаемых интерферограмм, «нулевой линии» и спектров образца. Индикатор *Bench Status*, расположенный под строкой меню, показывает состояние работающей системы. Когда *OMNIC* осуществляет контроль и определяет возникновение неполадок с получаемыми данными или спектром, индикатор *Collect Status* превращается в желтый кружок или красный крестик. Можно щелкнуть по индикатору (или щелкнуть по кнопке *View Collect Status* по окончании процесса сканирования), чтобы вывести на экран суммарные неполадки, возникшие при получении спектра, и другую информацию о процессе.



Индикатор в виде желтого кружка свидетельствует о перегреве МСТ – детектора. На экране появляется сообщение с описанием проблемы.



Индикатор в виде красного крестика свидетельствует о том, что спектрометр не смог успешно пройти диагностический тест и необходима коррекция. На экране появляется сообщение с описанием проблемы.

Оборудование и материалы

1. ИК спектрометр *Nicolet-380*.
2. Весы аналитические *OHAUS AR-2140*.
3. КгС1 эксиллампа.
4. Вытяжной шкаф.
5. Тонковолокнистые полимерные материалы.
6. Чашки Петри.
7. Пинцет.
8. Халат.
9. Очки для защиты глаз от УФ излучения.

Источники ошибок

1. Неверный выбор режима работы прибора.
2. Неверное время облучения.
3. Систематические ошибки весов.

4. Случайные ошибки при закреплении образца и работе с эксилампами.

5. Изменение температуры и влажности помещения в процессе эксперимента.

Техника безопасности при выполнении работы

Опасность представляют использование электроприборов и УФ излучение.

1. Перед началом работы необходимо убедиться в исправности приборов и наличии защитного заземления.

2. Электромагнитное излучение эксилексной лампы может вызвать повреждение глаз и кожи, которое обусловлено фотохимическими и тепловыми эффектами. В связи с этим облучение образцов проводить в вытяжном шкафу с закрытой шторкой, обязательно иметь защитные очки перед включением источника излучения и закрыть незащищенные участки кожи.

Оценка необходимой степени точности

Данные физических или химических измерений неизбежно включают некоторые ошибки или погрешности. Результатом отдельного экспериментального наблюдения является *измеряемое* значение X . Разность между X и *истинным* значением X_0 данной величины представляет собой ошибку конкретного измерения. На практике, однако, невозможно выполнить бесконечно большое число измерений. Точность результата чаще всего выражают с помощью *стандартного отклонения* s , которое представляет собой квадратный корень из второго момента распределения относительно среднего значения и является мерой точности результатов измерения. Стандартное отклонение вычисляется по формуле:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

где X_i – конкретное измеряемое значение; \bar{X} – среднее арифметическое значение; N – число измерений.

УФ-облучение

Эксперимент проводится при комнатной температуре в стационарном режиме. На аналитических весах взят навеску образцов: матричное волокно, модифицированное в разных условиях наночастицами SnO_2 и TiO_2 . По 25 мг образцов поместить на чашку Петри на расстоянии 6 см от лампы. Надеть очки и включить лампу. Закрыть шторку. Облучить $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ эксилампой (рис. 5 и 6) в течение 5, 10, 20, 40 и 80 мин.

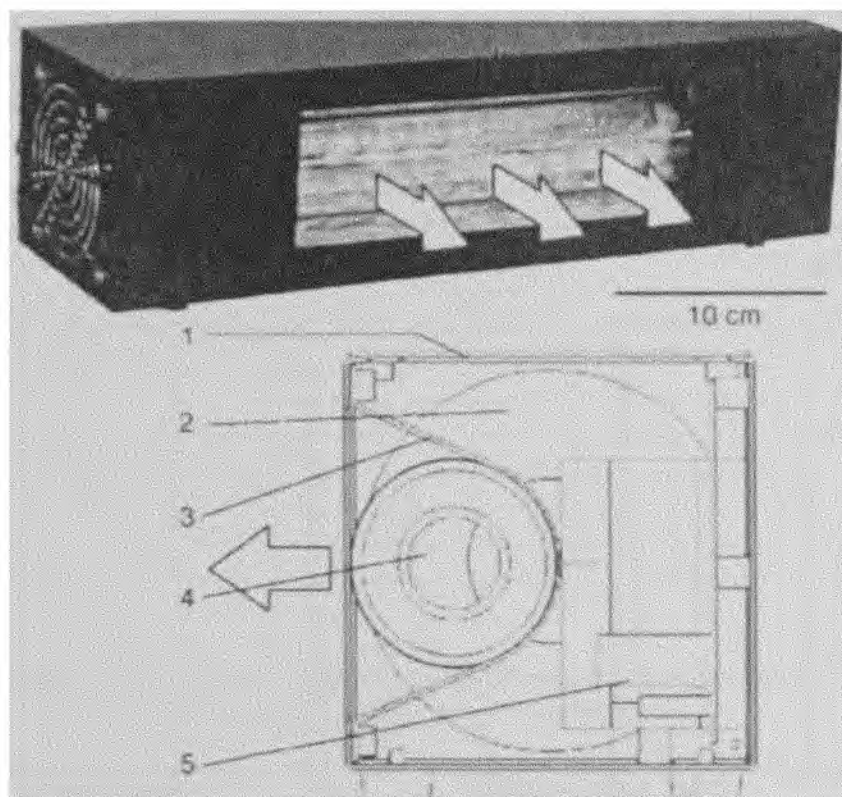


Рис. 5. Внешний вид эксилампы емкостного разряда: 1 – корпус, 2 – вентилятор, 3 – рефлектор, 4 – эксилампа, 5 – блок питания. Белые стрелки показывают направление светового излучения

Порядок выполнения работы

1. Изучить руководство по эксплуатации прибора *Nicolet -380*.
2. Облучить образец тонковолокнистого материала $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ эксилампой (5, 10, 20 и 40 мин). Для каждого времени образец делится на 3 пробы.
3. Получить «нулевую линию».

4. Снять ИК спектры образца до и после облучения $KrCl$ эксилампой, не забывая записывать «нулевую линию» после каждого 3 измерений.
5. Спектр каждой пробы записываем 3 раза, меняя положение на кристалле.
6. Для каждого образца из ИК спектров определить спектральные коэффициенты: C_1 ($D_{970}/D_{990-1000}$), C_2 (D_{997}/D_{974}), C_3 ($D_{1720}/D_{2650-2750}$), C_4 ($D_{1650-1850}/D_{2750}$), C_5 ($D_{3250-3600}/D_{2750}$), C_6 (D_{974}/D_{1380}) и C_7 (D_{974}/D_{1460}), по которым условно судим о кристалличности и окисленности исследуемого тонковолокнистого материала.
7. Полученные данные занести в табл. 1.
8. Оценить ошибки измерения. Результаты занести в табл. 2.
9. Проанализировать результаты и сделать выводы о стереоизомерном составе изученных образцов.
10. Сделать выводы о функциональных свойствах образцов и их возможном практическом применении в качестве фильтровального материала.

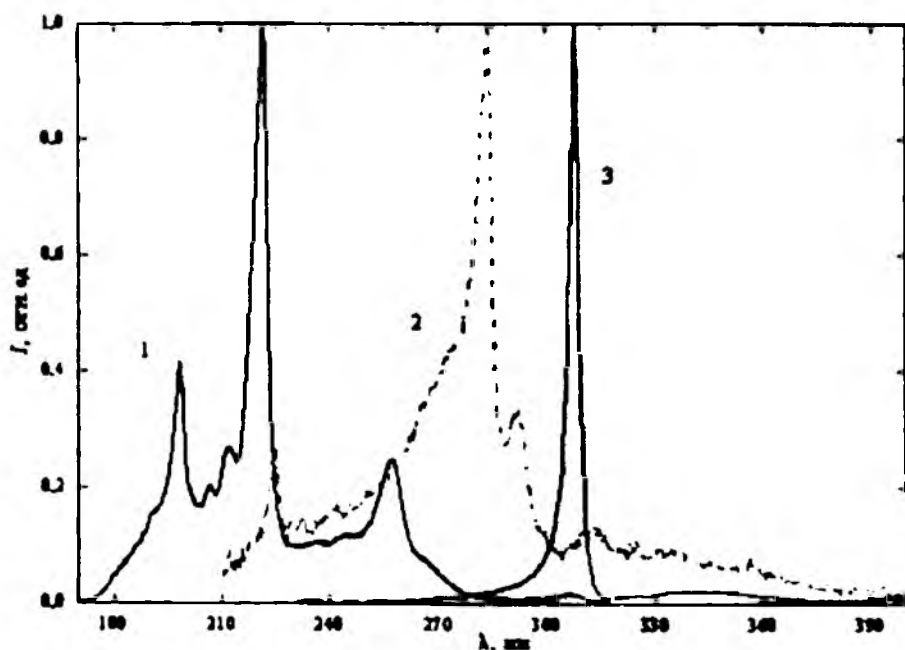


Рис. 6. Спектр излучения эксиламп: 1 – $KrCl$; 2 – $XeBr$, 3 – $XeCl$

Контрольные вопросы

1. В каком диапазоне длин волн лежит ИК область спектра?
2. Что представляет собой ИК спектр частицы? Какими характеристиками он обладает?

3. Как отличаются ИК спектры поглощения гомоядерных двухатомных и многоатомных молекул?
4. Запишите уравнение Шрёдингера для гармонических колебаний многоатомной молекулы.
5. Какой уровень энергии называется нулевой энергией? Фундаментальным? Обертонным? Составным?
6. Расскажите идею концепции групповых колебаний?
7. Какие полосы (отношения полос) в ИК спектре характеризуют стереоизомерный состав полипропилена?
8. Перечислите основные части рабочей установки.
9. Для чего нужна «нулевая линия»?

Таблица 1

Спектральные коэффициенты для образца 1 по данным ИК спектрометрии

| № | проба | Спектральные коэффициенты | | | | | | |
|---|-------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | C_1 | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_6 | C_7 |
| 1 | 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| 4 | 2 | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | |
| 7 | 3 | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | |

Таблица 2

Степень микротактичности и окисленности тонковолокнистого материала на основе полипропилена до и после УФ облучения

| № | Спектральные коэффициенты | УФ облучение, мин | | | | | |
|-----------|---------------------------|-------------------|---|----|----|----|----|
| | | 0 | 5 | 10 | 20 | 40 | 80 |
| Образец 1 | | | | | | | |
| 1 | C_1 | | | | | | |
| 2 | C_2 | | | | | | |
| 3 | C_3 | | | | | | |
| 4 | C_4 | | | | | | |
| 5 | C_5 | | | | | | |
| 6 | C_6 | | | | | | |
| 7 | C_7 | | | | | | |
| Образец 2 | | | | | | | |
| 8 | C_1 | | | | | | |
| 9 | C_2 | | | | | | |
| 10 | C_3 | | | | | | |

Основная и дополнительная литература

1. Соболева Н.М., Носонович А.А., Гончарук В.В. Гетерогенный фотокатализ в процессах обработки воды // *Химия и технология воды*. – 2007. – Т. 29, № 2. – С. 125–159.
2. Крессер Т. Полипропилен. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1963. – 231 с.
3. Шмидт В. Оптическая спектроскопия для химиков и биологов. – М.: Техносфера, 2007. – С. 350–363.
4. Пентин Ю.А., Курамшина Г.М. Молекулярная спектроскопия. – М.: Мир, 2008. – С. 152–196.
5. Пентин Ю.А., Вилков Л.В. Физические методы исследования в химии. – М.: Мир, 2006. – С. 287–297.
6. Экспериментальные методы химии высоких энергий / Под ред. М.Я. Мельникова. – М.: Изд-во МГУ, 2009. – С. 309–321.
7. Филимошкин А.Г., Воронин Н.И. Химическая модификация полипропилена и его производных. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1998. – С. 15–21.
8. Филимошкин А.Г., Воронин Н.И. Химические реакции полимеров полипропилена и этилена. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1990. – С. 67–71.

**Отпечатано на участке оперативной полиграфии
редакционно-издательского отдела ТГУ**

Заказ №13 от « 8 » 06 2010 г. Тираж 50 экз.