

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра материаловедения, технологии
и управления качеством

**ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНА С НАНО- И
МИКРОВОЛОКНИСТЫМИ МАТЕРИАЛАМИ**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 4 курса 421 группы по направлению 22.03.01 «Материаловедение
и технологии материалов» студентки 4 курса факультета нано- и
биомедицинских технологий
Дмитриевой Екатерины Юрьевны

Научный руководитель
в.н.с., к.ф.-м.н., доцент

должность, уч. степень, уч. звание

А.А. Сердобинцев

подпись, дата

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой
профессор, д.ф.-м.н.

должность, уч. степень, уч. звание

С.Б. Вениг

подпись, дата

инициалы, фамилия

Саратов, 2016

ВВЕДЕНИЕ

Среди разнообразных физических методов, какие используются при исследовании химических соединений, качественного и количественного анализа в химии, значительная часть основана на взаимодействии вещества с электромагнитным излучением. Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом вызывает в нем процессы различной физической природы. От энергии фотонов зависит характер процессов, сопровождающих поглощение, отражение и пропускание излучения веществом. Целый диапазон энергий электромагнитного излучения можно поделить на области, соответствующие разным физическим процессам [1].

ИК-Фурье спектроскопия представляет собой мощный и современный метод идентификации химических соединений. К преимуществам метода можно отнести его неразрушающий характер, высокую чувствительность к примесям и большое разнообразие методик измерения, позволяющих применять его к различным материалам. Однако в последнее время появляется всё больше новых высокотехнологичных материалов с уникальными свойствами. В частности, к таким материалам можно отнести нетканые материалы, полученные методом электроформования. Особенностью таких материалов является сверхмалая толщина составляющих материал волокон, типичные значения диаметров лежат в области десятков и сотен нанометров. Учитывая вышесказанное, представляет интерес выяснение особенностей взаимодействия электромагнитного излучения, видимого и инфракрасного (ИК) диапазона с волокнистыми материалами, имеющими различную среднюю толщину волокон.

Целью данной работы является выявление особенностей отражения электромагнитного излучения от тканых и нетканых материалов в зависимости от размеров составляющих материал волокон.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1. изучение литературы:
 - а) об электромагнитном излучении;
 - б) о физических процессах рассеяния и поглощения электромагнитного излучения;
2. изучение литературы о методах исследования:
 - а) о методе ИК-спектроскопии;
 - б) о методе изучения спектральных характеристик отражения;
 - в) о методе сканирующей электронной микроскопии;
3. изучение литературы о методе магнетронного распыления;
4. напыление образцов методом магнетронного распыления;
5. снятие сканов образцов методом сканирующей электронной микроскопии;
6. изучение взаимодействия электромагнитного излучения с нано- и микроволокнистыми материалами;
7. анализ полученных экспериментальных данных.

В ходе выполнения дипломной работы было проведено изучение спектров отражения образцов нетканых и тканых материалов в видимом и инфракрасном диапазоне излучения.

Образцы представляют собой:

1. нетканый материал полиамид 6 (ПА6) – нетканый материал, полученный методом бескапиллярного электроформования, 100% полиамид;
2. нетканый материал полиамид 6 (ПА6 нап) – нетканый материал, полученный методом бескапиллярного электроформования, 100% полиамид с напылением нержавеющей стали;
3. бежевая ткань (беж) – ткань подкладочная 100% полиамид;
4. бежевая ткань (беж нап) – ткань подкладочная 100% полиамид с напылением нержавеющей стали;
5. белая ткань (бел) – ткань рюкзачная полиамидная – полуфабрикат (марка «Кордон 500»), 100% полиамид;

6. белая ткань (бел нап) – ткань рюкзачная полиамидная – полуфабрикат (марка «Кордон 500»), 100% полиамид с напылением нержавеющей стали.

Дипломная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка использованных источников, включающего 36 источников. Общий объем диплома составляет 51 страницы, включая 26 рисунков и 3 таблицы.

1 Электромагнитное излучение

В первой части дипломной работы рассказывается об электромагнитном излучении и его диапазонах.

Электромагнитное излучение – распространяющееся в пространстве возмущения электромагнитного поля [2]. К электромагнитному излучению относят: ультрафиолетовое, инфракрасное излучение, радиоволны, видимый свет, рентгеновское и гамма излучение.

Среди электромагнитных полей, порожденных электронными зарядами и их перемещением, принято относить именно к излучению ту долю переменных электромагнитных полей, которая распространяется намного дальше от собственных источников – передвигающихся зарядов, затухая незначительно с расстоянием.

2 Физика процессов рассеяния и поглощения

Во второй части дипломной работы рассказывается о физических процессах рассеяния и поглощения.

Рассеяние электромагнитных волн всякой системой связано с неоднородностью системы на молекулярном уровне, или же на уровне скоплений, состоящих из множества молекул. Физические принципы рассеяния независимо от типа неоднородности остаются схожими для всех систем. Вещество содержит дискретные электрические заряды: электроны и протоны [3]. В случае если на какое-либо препятствие, которое имеет возможность быть отдельным атомом, электроном или же молекулой, твердым веществом или же жидкостью, падает электромагнитная волна, то под действием падающей волны электрического поля электрические заряды в

данном препятствии приходят в колебательное движение. Как раз это вторичное излучение называют излучением, рассеянным препятствием. Рассеяние и поглощение не считаются взаимно независимыми процессами, но для краткости мы будем часто упоминать только рассеяние, но считать также и поглощение.

Все среды, за исключением вакуума, являются в определенном смысле неоднородными. Даже в средах, которые мы считаем однородными, с помощью достаточно тонкого зонда можно выделить отдельные неоднородности. Поэтому все среды рассеивают свет. В результате рассеяния возникают многие явления, которые обычно с рассеянием не связывают:

- 1) диффузное отражение шероховатыми поверхностями;
- 2) дифракция на щелях, решетках и краях;
- 3) зеркальное отражение и преломление на оптически гладких границах раздела.

3 Методы исследования

В третьей части дипломной работы рассказывается об используемых методах исследования.

Сначала рассказывается об ИК-спектроскопии. Инфракрасная область диапазона разделяется на некоторое количество поддиапазонов согласно использующимся оптическим материалам, которые обязаны быть прозрачны в предоставленной области диапазона [1].

В двухатомной молекуле АВ атомы А и В, удерживаются в конкретном положении очень крепко, впрочем, не абсолютно жестко. Полная энергия молекулы считается суммой поступательной, вращательной, колебательной и электронной энергий.

Поступательная энергия недостаточно воздействует на молекулярные спектры. Нормальными колебаниями в молекуле называются колебательные движения. За счёт первоначально скопленной энергии при отсутствии внешнего воздействия совершаются колебания. Эти колебания представляют собой независимые повторяющиеся смещения атомов. Все атомы колеблются

в фазе с одинаковой частотой, и при этом состояние их центра масс не изменяется [1].

Способность вещества поглощать энергию ИК-излучения зависит от суммарного изменения дипольного момента молекулы при вращении и колебании. Поглощать ИК-излучение может только молекула, имеющая электрический дипольный момент, величина или направление которого меняется в процессе вращения и колебания. Электрическая асимметрия молекулы, т. е. дипольный момент – несовпадение центров тяжести положительных и отрицательных зарядов в молекуле.

Затем рассказывается о характеристиках в видимом и ближнем ИК-диапазоне. Монохроматор – оптический прибор для выделения узких интервалов длин волн спектра оптического электромагнитного излучения. Принцип действия этих приборов основан на явлении дисперсии света.

А в конце рассказывается о сканирующем электронном микроскопе. Растровый электронный микроскоп (РЭМ) схож по механизму электронному микронзонду, но специализирован для получения изображений. Изображение получается при развертывании пучка в растр, который в дальнейшем передается в виде сигнала от детектора электронов на телевизионный экран или же монитор компьютера. Выбирая разные режимы регистрации того или же другого типа сигнала, получаем либо топографический контраст или же изображение фазового состава.

4 Магнетронное распыление

В четвертой части дипломной работы рассказывается о магнетронном распылении.

Ионное распыление – это процесс кинетического выбивания атомов с поверхности твердого тела (мишени) за счет передачи импульсов от ионов к атомам мишени при бомбардировке ее поверхности ионами.

Ионное распыление в критериях газового разряда – очень сложный процесс, вследствие того, что поверхность мишени подвергается влиянию не только ионов рабочего газа, но и других высокоэнергетических частиц,

захватывая атомы после перезарядки ионов и фотоны из разрядной плазмы. На поверхности мишени, находящейся в газовой среде, где есть реакционно-активные добавки, в одно и тоже время происходят химические реакции, действующие на ход процесса распыления.

Когда говорят о системах, где мишень в одно и тоже время может быть катодом газового разряда, нередко применяют название катодное распыление, имея в виду при этом, что распыление мишени – есть результат влияния всех частиц, попадающих на катод [4].

Магнетронное распыление относится к способам распыления материалов ионной бомбардировкой.

5 Экспериментальная часть

В пятой части дипломной работы представлены экспериментальные результаты дипломной работы.

Так как в зависимости от соотношения длины волны и диаметра волокна будет меняться механизм рассеяния, то представляет интерес изучение взаимодействия электромагнитного излучения с нано- и микроволокнистыми материалами. В ИК-спектроскопии принято использовать спектры в обратных сантиметрах (см^{-1}). Но для того чтобы было проще проанализировать Фурье-спектры, перейдем из обратных сантиметров (см^{-1}) в микрометры ($\mu\text{м}$). Так как сравнивать мы будем длину волны с толщиной (диаметром) волокон образцов. Формула для перехода из см^{-1} в $\mu\text{м}$:

$$\lambda = \frac{10^4}{k}, \quad (1)$$

где λ – длина волны в $\mu\text{м}$, k – волновое число в см^{-1} .

По спектрам (рисунок 1) исходных материалов, полученных на ИК-Фурье спектрометре видно, что из трех материалов лучше всего отражает бежевая ткань. А хуже всего нетканый материал полиамид 6 (ПА 6). По спектру бежевой ткани видно, что в спектре много дополнительных пиков. Что не наблюдается на двух других спектрах.

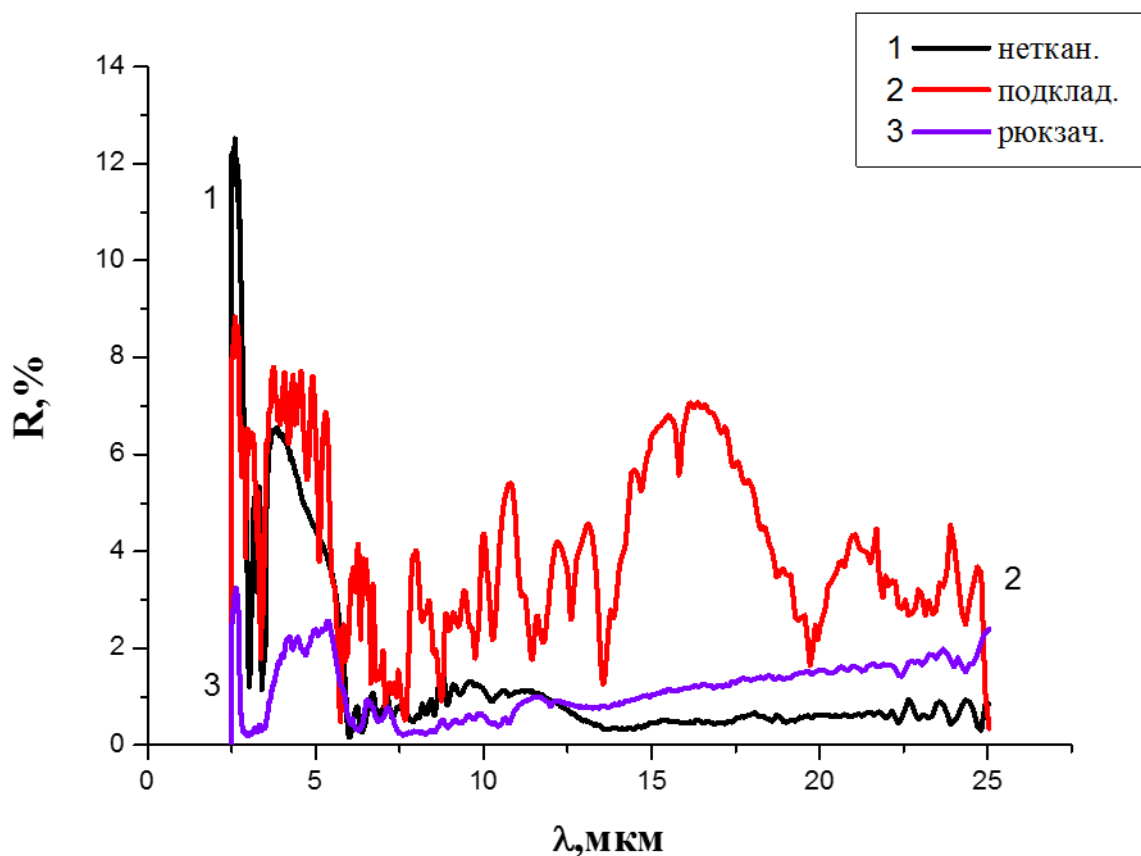
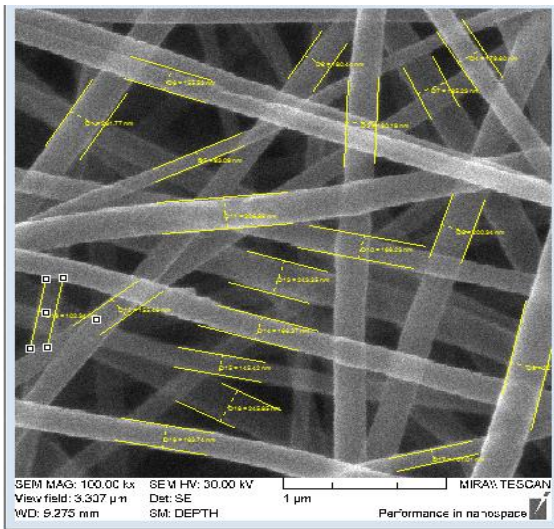
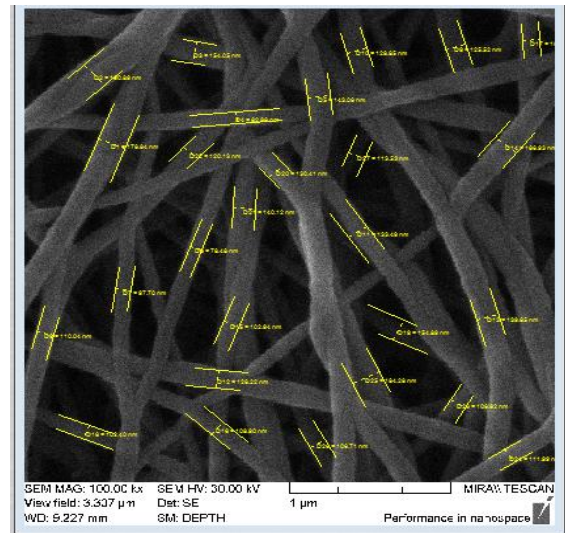


Рисунок 1 – Спектры отражения исходных материалов, полученные на ИК-Фурье спектрометре (в среднем ИК диапазоне): 1 – спектр нетканого материала (ПА 6), 2 – спектр подкладочной (беж) ткани и 3 – спектр рюкзаичной (бел) ткани

Для лучшей интерпретации результатов измерений спектров отражения были получены изображения волокон образцов (рисунок 2) на сканирующем электронном микроскопе Tescan MIRA II LMU в режиме детектирования вторичных электронов. С помощью программы Vega TC Demo подсчитано количество волокон и определён их диаметр по каждому полученному изображению.



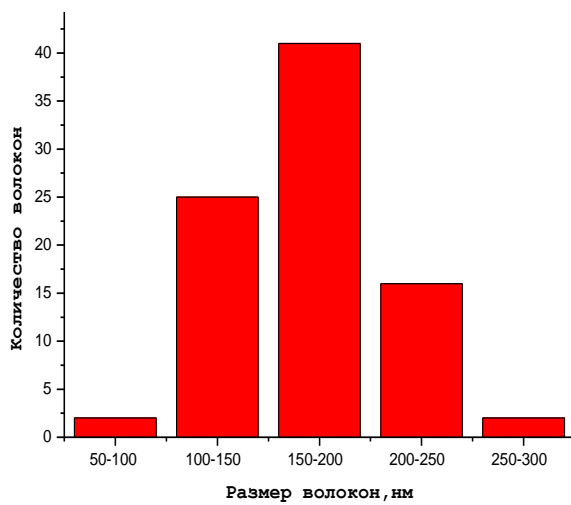
а)



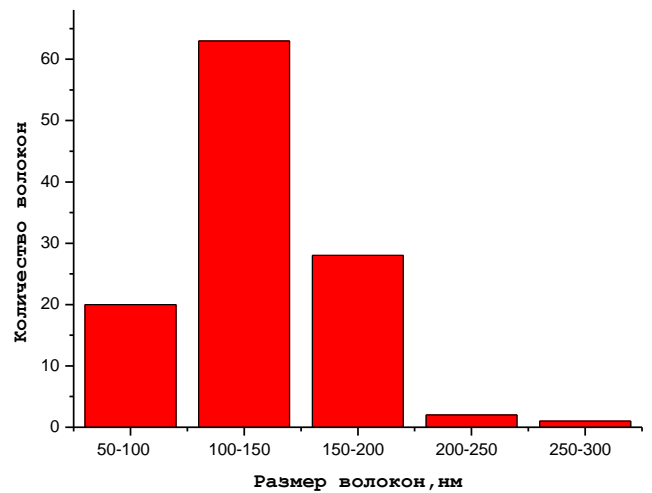
б)

Рисунок 2 – Пример СЭМ-изображения волокон нетканого материала (ПА 6):
а) чистый, б) с напылением

По результатам электронной микроскопии построили распределения толщины волокон (рисунок 3) исследуемых образцов, подсчитали среднее значение толщины волокна (см. таблицу 1).



а)



б)

Рисунок 3 – Пример гистограммы распределения толщины волокон нетканого материала (ПА 6): а) чистый, б) с напылением

Таблица 1 – Средняя толщина волокон по образцам

Образцы	Толщина волокон	Разброс толщины волокон	Среднеквадратичное отклонение
Нетканый материал (ПА 6)	171,94 нм	204,72 нм	42,55783 нм
Нетканый материал (ПА 6) - нап	130,29 нм	194,72 нм	34,80398 нм
Подкладочная (беж) ткань	14,65 мкм	9,83 мкм	2,00775 мкм
Подкладочная (беж) ткань - нап	13,06 мкм	14,8 мкм	3,08127 мкм
Рюкзачная (бел) ткань	23,62 мкм	21,8 мкм	4,04575 мкм
Рюкзачная (бел) ткань - нап	23,9 мкм	21,32 мкм	4,3981 мкм

По таблице 1, видно, что толщина волокон отличается у исходных и напыленных образцов. В случае белой ткани после напыления толщина волокон увеличилась в диаметре. Это связано с тем что сверху на полимер нанесли слой нержавеющей стали. Что не наблюдается в двух других образцах: для нетканого материала и бежевой ткани диаметр волокон уменьшился после напыления. Такая разница в толщине волокон может быть объяснена усадкой ткани в вакууме. Так как полимер полиамид относится к гигроскопичным материалам, которые хорошо впитывают влагу не только на поверхности волокна, но еще и внутри. Внутренняя влага гигроскопичных полимеров на стадии производства удаляется только частично или остается в материале полностью. На стадии хранения происходит дополнительное впитывание влаги из окружающей среды. Для более эффективного и глубокого удаления влаги из полимеров широко используется вакуумная сушильная система. Принцип работы системы заключается в следующем: вода при обычном давлении испаряется при 100°C, но если понизить давление до 400 мбар, то вода будет испаряться при температуре около 45°C [36]. Так как при магнетронном напылении остаточное давление в вакуумной

камере снижается до $3 \cdot 10^{-5}$ Торр ($4 \cdot 10^{-5}$ мбар), то температура испарения воды снизится гораздо больше, и можно ожидать практически полного удаления влаги из полимера. В результате диаметр волокон после напыления снижается, даже несмотря на напыление покрытия на поверхность волокон.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения дипломной работы было рассмотрено взаимодействие нано- и микроволокнистых материалов с электромагнитным излучением с точки зрения отражения в видимой и инфракрасной областях спектра. Описаны физические явления, лежащие в основе метода. Показано, как извлекалась информация, и как проводился количественный анализ.

В ходе написания дипломной работы были выполнены следующие задачи:

1. ознакомление с литературой:
 - а) об электромагнитном излучении;
 - б) о физических процессах рассеяния и поглощения;
2. ознакомление с литературой о методах исследования:
 - а) о методе ИК-спектроскопия;
 - б) о методе изучения спектральных характеристик отражения;
 - в) о методе сканирующей электронной микроскопии;
3. ознакомление с методом магнетронного распыления;
4. напыление образцов методом магнетронного распыления;
5. снятие сканов образцов методом сканирующей электронной микроскопии;
6. экспериментальное изучение взаимодействия электромагнитного излучения с нано- и микроволокнистыми материалами;
7. проведение анализа полученных данных.

В ходе написания дипломной работы была выявлена следующая особенность: в дальнем ИК-диапазоне на спектре подкладочной (бежевой) ткани присутствует пик, длина волны которого практически совпадает со средней толщиной волокна самого материала, что не наблюдается на двух

других образцах. В случае нетканого материала, этого пика не наблюдается, так как длина волны на несколько порядков меньше средней толщины волокна самого материала. А для рюкзачной ткани этот пик не попал в исследуемый диапазон измерения, так как он лежит вне диапазона измерений использованного прибора.

Таким образом, при изучении методом ИК-Фурье спектроскопии волокнистых материалов нужно учитывать толщину волокна, так как при близости диаметра волокна к длине волны, возможно появление паразитных пиков, обусловленных интерференционными эффектами. В результате состав волокнистого материала может быть определен неверно.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что все поставленные в работе задачи выполнены в полном объёме, цель достигнута.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Бойко, В.И. Инфракрасная спектроскопия редких и рассеянных элементов/ В.И. Бойко. Томск: "Томский политехнический университет", 2008. 21 с.
- 2 Электромагнитное излучение [Электронный ресурс] // artyom-719 [Электронный ресурс]. URL: <http://artyom-719.narod.ru/38elektormagnizlychenie.htm> (дата обращения: 16.10.2015.). Загл. с экрана. Яз.рус.
- 3 Борен, К. Поглощение и рассеяние света малыми частицами / К. Борен, Д. Хафмен. М.: «Мир», 1986. 660 с.
- 4 Кузьмичёв, А.И. Магнетронные распылительные системы. Кн. 1. Введение в физику и технику магнетронного распыления/ А.И. Кузьмичёв. Киев: Аверс, 2008. 244 с.