

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

И.Н. Анисина, О.Н. Каныгина, А.Г. Четверикова

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Учебное пособие

Рекомендовано ученым советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлению подготовки 12.03.04 Биотехнические системы и технологии

Оренбург
2020

УДК 620.22:666.3(075.8)
ББК 30.37я73+35.41я73
А67

Рецензент – кандидат химических наук, доктор биологических наук,
доцент Сальникова Е.В.

Анисина, И.Н.

А67 Физико-химические свойства функциональных материалов
[Электронный ресурс] : учебное пособие для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлению подготовки 12.03.04 Биотехнические системы и технологии / И.Н. Анисина, О.Н. Каныгина, А.Г. Четверикова; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Оренбург. гос. ун-т». – Оренбург : ОГУ. – 2020. – 104 с. – Загл. с тит. экрана.
ISBN 978-5-7410-2460-7

Учебное пособие включает классификацию современных функциональных материалов по составам и свойствам. Описаны методы исследования структуры материалов. Рассмотрены физико-химические свойства металлов, сплавов, керамики, композиционных, наноматериалов и их применение в медико-биологической практике.

Учебное пособие предназначено для обучающихся по образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 12.03.04 Биотехнические системы и технологии. Отдельные разделы могут быть полезны студентам, обучающимся по направлению 03.03.02 Физика и 04.04.01 Химия.

УДК 620.22:666.3(075.8)
ББК 30.37я73+35.41я73

©Анисина И.Н.,
Каныгина О.Н.,
Четверикова А.Г., 2020
© ОГУ, 2020

ISBN 978-5-7410-2460-7

Содержание

Введение	4
1 Классификация современных материалов.....	6
2 Методы исследования структуры материалов	14
2.1 Методы оптической и туннельной микроскопии	14
2.2 Дифракционные методы.....	18
3 Металлы и сплавы в медико-биологической практике	23
4. Керамика, композиты и пластмассы в биотехнических системах	29
4.1 Керамика	29
4.2 Применение керамики в медико-биологической практике	34
4.2.1 Корундовая керамика в медицине.....	34
4.2.2 Гидроксиапатит в медицине	37
4.2.3 Стоматологическая керамика	39
4.2 Композиты	42
4.3 Полимеры, пластмассы.....	44
5. Наноматериалы.....	55
6 Глоссарий	63
7 Тесты для самопроверки.....	90
7.1. Классификация современных материалов.....	90
7.2 Методы исследования материалов	92
7.3 Металлы, стали и сплавы в медико-биологической практике	94
7.4 Керамика, композиты и пластмассы в биотехнических системах	96
7.5 Наноматериалы.....	99
Список использованных источников	102

Введение

Согласно учебным планам направлений подготовки 12.03.04 Биотехнические системы и технологии и 03.03.02 Физика, разработанным в соответствии с требованиями ФГОС ВО 3-го поколения, предусмотрено изучение дисциплины «Физическое материаловедение».

Целью освоения дисциплины является изучение возможностей и способов использования современных материалов в медицинской практике, исходя из их структуры и функциональных характеристик, а также ознакомление с новыми материалами и технологиями, перспективами их развития и внедрения в биотехнические и наносистемы в ближайшем будущем.

Задачами освоения дисциплины является формирование системных знаний о многоуровневой иерархии структуры материалов, их свойствах и условиях грамотной эксплуатации в медико-биологической практике.

В процессе изучения дисциплины обучающийся осваивает ряд общепрофессиональных (ОПК), профессиональных (ПК) и универсальных (УК) компетенций, необходимых для будущего специалиста.

Содержание учебного пособия соответствует лекционному курсу рабочих программ дисциплины «Физическое материаловедение». Приводится классификация современных материалов по составам и свойствам. Описаны методы исследования структуры материалов. Особое внимание уделено рассмотрению физико-химических свойств металлов, сплавов, керамики, композиционных и наноматериалов, нашедших широкое применение в медико-биологической практике.

В процессе прослушивания курса лекций, чтения статей, при подготовке к семинарам и другим видам занятий обучающиеся отмечают незнакомые, непонятные слова и термины. Для нахождения их значения предлагается использовать глоссарий, представленный в учебном пособии. В глоссарии (словарь узкоспециализированных терминов в какой-либо отрасли знаний с толкованием, иногда переводом на другой язык, комментариями и примерами)

собраны термины, понятия, определения, используемые в курсе изучения дисциплины «Физическое материаловедение», часть терминов визуализирована с помощью иллюстраций. Отобраны те термины, которые авторы посчитали наиболее актуальными и необходимыми в предложенных рамках изучаемой дисциплины. Для самопроверки приведены тесты для закрепления изученного материала. Предложен список полезной литературы.

1 Классификация современных материалов

Широкое разнообразие используемых в настоящее время материалов объясняется умением получать новые структуры с заданными свойствами, обеспечивающими более высокое качество продукции.

Еще в восьмом тысячелетии до н.э. люди заметили, что если горшок из сырой глины обжечь на огне, он становится прочнее: в нем можно, например, хранить жидкости, и он не деформируется, даже если его поставить на горящие угли. Таким образом, мягкая, легко поддающаяся обработке глина, превращается в прочный и твердый как камень материал.

Это первое намеренное превращение неорганического вещества природного происхождения в новый материал с другими свойствами ознаменовало зарождение технологии материалов.

Семь тысяч лет спустя философы древней Греции пришли к выводу, что всякое вещество состоит из мельчайших невидимых частиц одного и того же основного вещества. Эту попытку понять природу предметов окружающего нас мира можно считать началом науки о материалах.

Вплоть до недавнего времени между теми, кто занимался практической разработкой новых материалов, и теми, кто трудился, содействуя развитию науки о материалах, лежала глубокая пропасть. Мастерство специалистов и технические приемы постоянно совершенствовались. Выбор и методы преобразования материалов, их обработка стали важнейшими факторами человеческой культуры. В то же время наука о материалах (знание того, как они устроены и почему те или иные воздействия на них приводят к определенным эффектам) развивалась медленно и не выходила за рамки умозрительных представлений. Так было вплоть до XIX века пока химики и физики, вооружившись теорией и новыми техническими средствами анализа, не подключились к эмпирическим разработкам инженеров и ремесленников. В течение последних 50 лет это сотрудничество было и остается плодотворным. Появление новых мощных теоретических концепций и совершенных приборов

способствовало тому, что наука стала основной движущей силой в развитии техники.

Дерево, камень и глина – материалы природного происхождения. В то же время это технологические материалы. Потому что из них можно сделать рукоятку, топор и фарфоровый тигель. Технологический материал – это природный материал, который человек использует в своей практике или обрабатывает его, придавая ему новые свойства. Древние ремесленники пользовались знаниями о материалах (сначала о керамике, затем о бронзе и железе) и способах их обработки, опираясь на собственный опыт. Археологи находят тому вещественные доказательства. Ученые – материаловеды могут проанализировать находки и сделать некоторые выводы относительно того, как были изготовлены те или иные предметы, но при этом они не всегда в состоянии понять, насколько хорошо были знакомы ремесленники с природой использованных материалов.

Первые шаги на пути к реальному прогнозированию свойств материалов были сделаны в конце XIX века. Начало этому положила химия, которая оказалась весьма полезной в практической работе. Она способствовала появлению более эффективных методов обработки материалов, известных на протяжении многих столетий.

Только во второй половине XX столетии химикам и физикам удалось сделать ряд фундаментальных открытий, на которые опираются все современные разработки новых материалов и технологические методы их получения и обработки (рисунок 1). Основной вклад науки в рассматриваемую область состоял в том, что ей удалось установить взаимосвязь между внешне проявляющимися свойствами материалов и их внутренним строением. Как было установлено, материалам свойственна определенная внутренняя архитектура, иными словами, иерархическая последовательность структурных уровней. Эта архитектура представлялась довольно сложной, так как она должна была объяснять все многообразие проявляемых материалами свойств. Признание этого факта в свою очередь предполагало, что поведение того или

иного материала можно предсказать заранее, если тщательно изучить его внутреннюю архитектуру – структуру.



Рисунок 1 – Современная парадигма физического материаловедения

Всякий материал имеет структуру, под которой понимают определенное расположение, или конфигурацию составляющих его компонентов. Материал обладает субатомной структурой; ее анализируют, изучая размещение и плотность электронов и их взаимодействие. На следующем уровне исследуется организация атомов или молекул – например, расположение атомов в кристаллической решетке. Следующий структурный уровень охватывает очень большие группы атомов с хорошо выраженными особенностями, такими как отдельные зерна металла или керамики. Агломераты этих групп образуют микроструктурные элементы, мезоструктуру, а те в свою очередь – макроструктуру, которую можно видеть невооруженным глазом.

Эти новые рубежи достигнуты наукой, сформировавшейся на основе интеграции различных дисциплин и получившей название материаловедения. Ее представители, как бы они себя не называли – учеными или инженерами, - имеют дело с изучением взаимосвязи между структурой, свойствами и поведением материалов, а также зависимости этих взаимосвязей от методов обработки.

Новые твердофазные материалы в принципе можно создавать как путем использования новых химических композиций, так и разрабатывая новые процессы получения, позволяющие в широких пределах варьировать структурно-чувствительные, зависящие от несовершенств электронной и

кристаллической структуры, свойства.

Для решения проблем создания неорганических материалов с заданными свойствами и разработки рациональной технологии, позволяющей воспроизводимым образом в значимых количествах получать указанные материалы, необходим системный подход. В первом случае целесообразно опираться на систему фундаментальных физико-химических принципов, а во втором – на систему факторов, определяющих минимум энергетических, трудовых, материальных, а также связанных с осуществлением природоохранных мероприятий затрат.

В системе фундаментальных физико-химических принципов важнейшими являются:

- принцип периодичности изменения свойств неорганических соединений элементов, расположенных в порядке возрастания атомного номера;
- принципы химического, термодинамического и структурного подобия;
- принципы физико-химического анализа, включая принципы непрерывности, соответствия и совместимости компонентов равновесной системы;
- принципы ограничения числа независимых параметров состояния в равновесной системе;
- принцип структурного разупорядочения и непостоянства состава;
- принцип химического, структурного и фазового усложнения системы;
- принцип химической, гранулометрической и фазовой однородности;
- принцип эквивалентности источников беспорядка в условиях минимизации свободной энергии системы;
- принцип одинакового эффекта различных физико-химических

воздействий;

- принцип неравноценности объемных и поверхностных свойств твердых тел;

- принцип метастабильного многообразия физико-химических систем.

Важнейшая проблема научного материаловедения – уменьшение различий между ресурсами человеческого сообщества и потребностями отдельной личности (рисунок 2). Единственный путь сомкнуть «ножницы» – связан с созданием и эффективным использованием новых материалов и технологий. Только с их помощью можно решить глобальные задачи человеческого сообщества, среди которых несомненным приоритетом пользуются улучшение здоровья, в том числе улучшение качества окружающей среды. Экологические проблемы современного материаловедения заключаются в следующем: создание безотходных технологий, химической энергетики, информационных технологий и др.

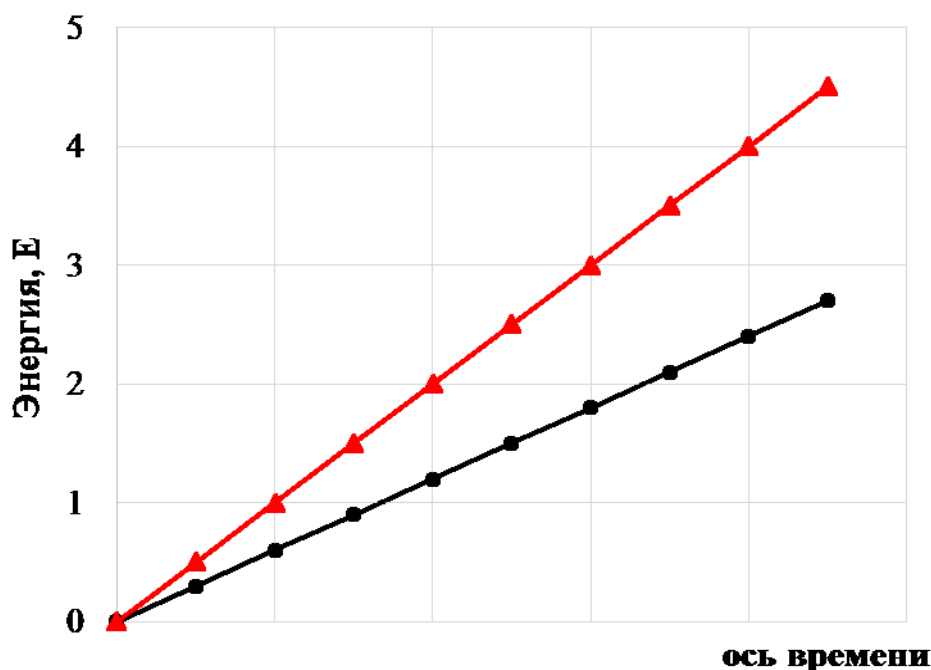


Рисунок 2 – Схема различий между ресурсами человеческого сообщества (1) и потребностями отдельной личности (2)

Поддержание условий существования человечества, могут обеспечить

только природные ресурсы – компоненты природы. Они могут быть реальными и потенциальными. Природные ресурсы, используемые в производственной деятельности человека на определенном этапе развития производительных сил, относятся к реальным, а не вовлеченным в производство из-за суровых климатических условий, недостатка технической оснащенности и по другим причинам – к потенциальным. Одни из них служат непосредственными условиями существования человека (например, среда обитания воздух и вода, а также рекреационные, лечебно-оздоровительные, познавательно-информационные и другие ресурсы). Другие являются источником и фактором развития производства – это природа как источник сырья, непосредственно потребляемого материальным производством, и пространственный базис для размещения производительных сил. Связь научного материаловедения с фундаментальными науками показана на рисунке 3.

Природные ресурсы подразделяют на группы по характеру использования (производственные, здравоохранительные, эстетические, познавательно-информационные, рекреационные и др.), по принадлежности к определенным компонентам природы (почвенно-земельные, водные, биологические – ресурсы растительного и животного мира, минеральные, ресурсы атмосферы, энергетические), по степени восстанавливаемости (исчерпаемые и неисчерпаемые). Исчерпаемые природные ресурсы подразделяются на возобновляемые, относительно возобновляемые и невозобновляемые (рисунок 4).

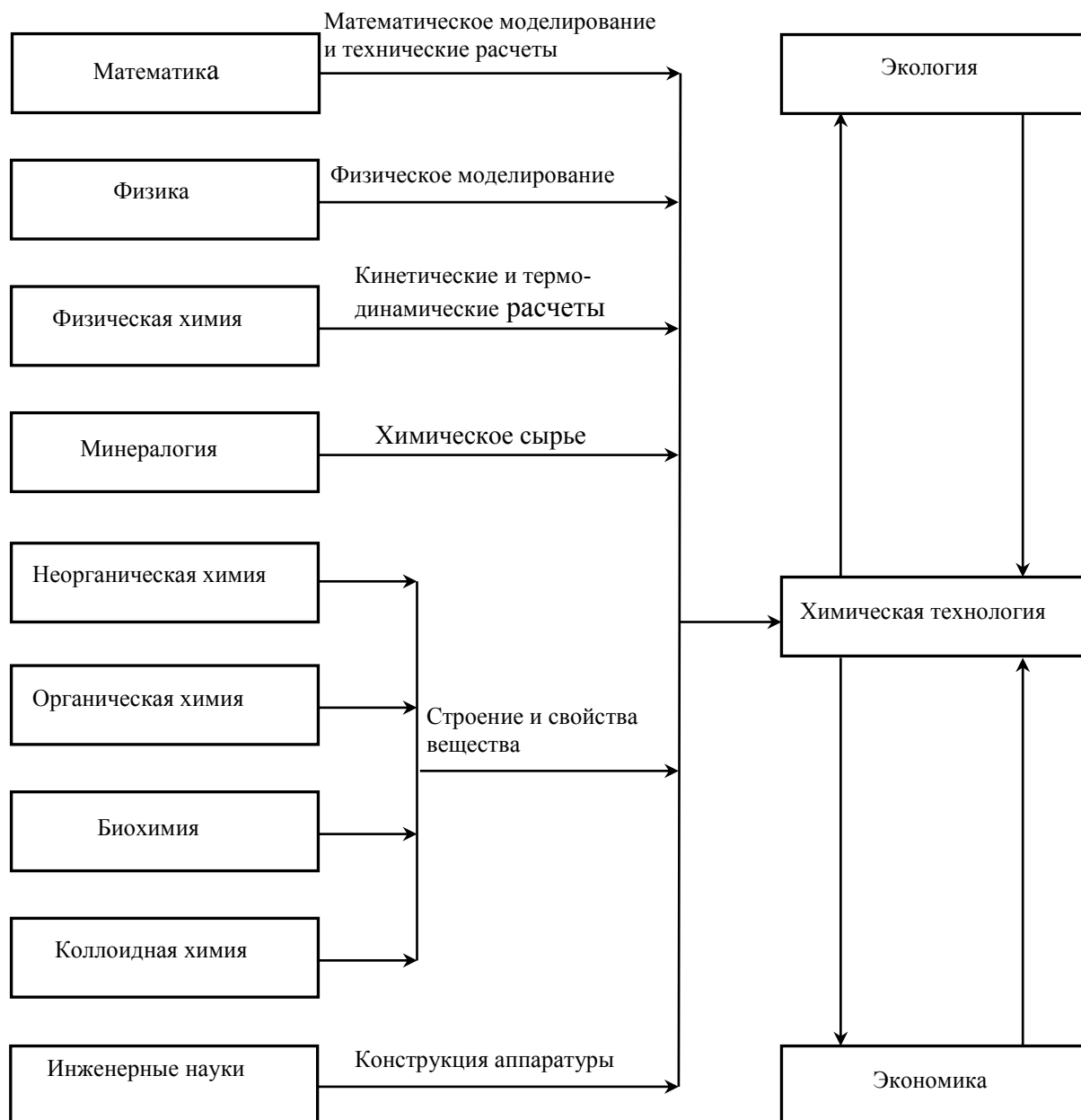


Рисунок 3 – Связь материаловедения с фундаментальными науками

По характеру взаимодействия компонентов все сплавы подразделяются на три основных типа: механические смеси, химические соединения и твердые растворы.



Рисунок 4 – Классификация сырья для химических технологий

Механическая смесь двух компонентов A и B образуется, если они не способны к взаимодействию или взаимному растворению. Каждый компонент при этом кристаллизуется в свою кристаллическую решетку. Структура механических смесей неоднородная, состоящая из отдельных зерен компонента A и компонента B . Чем больше в сплаве данного компонента, тем ближе к нему по свойствам смесь.

Химическое соединение (ХС) образуется когда компоненты сплава A и B вступают в химическое взаимодействие. При этом соотношение чисел атомов в соединении соответствует его химической формуле A_mB_n . ХС имеет свою кристаллическую решетку, которая отличается от кристаллических решеток компонентов; имеет однородную структуру, состоящую из одинаковых по составу и свойствам зерен.

При образовании *твердого раствора (ТР)* атомы одного компонента входят в кристаллическую решетку другого. *ТР замещения* образуются в результате частичного замещения атомов кристаллической решетки одного компонента атомами второго. *ТР внедрения* образуются если атомы

растворенного компонента внедряются в кристаллическую решетку компонента – растворителя. Твердый раствор имеет однородную структуру, одну кристаллическую решетку. В отличие от химического соединения он существует не при строго определенном соотношении компонентов, а в интервале концентраций. Обозначают твердые растворы строчными буквами греческого алфавита α , δ , β , τ , и т. д.

2 Методы исследования структуры материалов

Все методы исследования структуры материалов делят на прямые и косвенные, на разрушающие и неразрушающие.

- макроструктура – визуальный осмотр (неразрушающий метод),
- мезоструктура (объекты больше 1 мкм) – оптическая микроскопия,
- микроструктура (объекты от 10 мкм до 0.0001 мкм) ПЭМ, РЭМ, дифракционный структурный анализ (неразрушающий, прямой),
- наноструктура – туннельная, силовая микроскопия (косвенный).

2.1 Методы оптической и туннельной микроскопии

Выбранный участок объекта в микроскопе увеличивается дважды – окуляром и объективом, поэтому общее увеличение N определяется формулой:

$$N = N_{об} \cdot N_{ок} = 250 \cdot L / f_{об} \cdot f_{ок};$$

где $f_{об}$ и $f_{ок}$ – фокусное расстояние объектива и окуляра,

L – оптическая длина тубуса,

250 мм – расстояние наилучшего зрения глаза человека (все величины в формуле в мм).

Основное увеличение достигается объективом (до 100 раз), увеличение окуляров обычно не превышает 20 раз.

Кроме увеличения существует еще одна важная характеристика

изображения – это его качество, которое определяется пределом разрешения прибора и глаза человека. Предел разрешения – это наименьшее расстояние между точками, которое может различить оптическое устройство. Человеческий глаз имеет предел разрешения $0.1 \div 0.3$ мм.

Полезное увеличение микроскопа $M = \beta_{\text{гл}} / \beta_{\text{мик}}$. Предел разрешения микроскопа определяется выражением:

$$\beta_{\text{мик}} = 0.61 \cdot \lambda / n \cdot \sin \alpha,$$

где λ – длина волны света, используемого для получения увеличенного изображения (для видимого света $\lambda \approx 0.6$ мкм),

n – показатель преломления (для воздуха $n=1$),

α – апертурный угол (максимальное значение $\alpha=90^\circ$).

Тогда максимальное разрешение микроскопа $\beta_{\text{мик}} = 0.61 \cdot 0.6 \approx 0.36$ мкм, а максимальное полезное увеличение $M \approx 1000$ раз. Обычно используют увеличение в пределах от 200 до 600 раз.

Для более точного определения масштаба увеличения пользуются объект-микрометром (полупрозрачной линейкой с ценой деления $C_0=0.01$ мм).

При исследовании рельефных структур применяют метод косо́го освещения, когда для передачи изображения используются преимущественно косые, непараллельные оси микроскопа лучи. Если исследуемый объект имеет фазы, различающиеся по рассеивающей способности (неметаллические включения в металле, поры в керамике, трещины), то применяют метод темнопольного освещения. При этом в формировании изображения структуры прямые лучи не участвуют и создается контраст, обратный светлопольному. Отполированная поверхность шлифа выглядит темной, а участки, вызывающие рассеивание света, выглядят яркими.

Атомы в твердых телах расположены настолько близко друг к другу и имеют такие малые размеры, что определить эти характеристики при помощи обычных оптических наблюдений невозможно. В частности, видимый свет,

обладая длиной волны порядка 5000 Å, не может быть инструментом для выявления атомных позиций. Излучения, применяемые для определения структуры, должны иметь длину волны, соизмеримую с межатомными расстояниями, которые в твердых телах составляют преимущественно всего несколько ангстрем ($1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ м}$).

Туннельный микроскоп. Явление туннелирования и как его следствие туннельный перенос заряда между двумя проводящими средами послужили физической основой для разработки инструментария по исследованию морфологии поверхности твердых тел. Такой инструмент получил название туннельного микроскопа. Поскольку туннельный ток экспоненциально сильно зависит от напряженности электрического поля, то изменения геометрического расстояния между катодом и анодом в единицы ангстрем вызывает изменения туннельного тока на порядок. Это обстоятельство дает принципиальную возможность при сканировании поверхности твердых тел получать геометрическое разрешение рельефа на атомарном уровне.

Возможность прецизионных перемещений зонда туннельного микроскопа в горизонтальной плоскости и вертикальном направлении обеспечивается за счет электромеханических систем, использующих пьезоэлектрический эффект. Приборная реализация туннельного микроскопа также требует прецизионного формирования зонда туннельного микроскопа. Чтобы обеспечить высокое значение электрического поля (следовательно, и туннельного тока) у поверхности зонда, его окончание должно иметь атомарную остроту. В идеале на конце острия зонда должен находиться один атом. На рисунке 5 схематически показана конфигурация «зонд–поверхность», реализующая эти требования.

Для формирования топологического рельефа поверхности при сканировании в СТМ используют обратную связь, позволяющую поддерживать режим постоянного туннельного тока (рисунок 6,а).

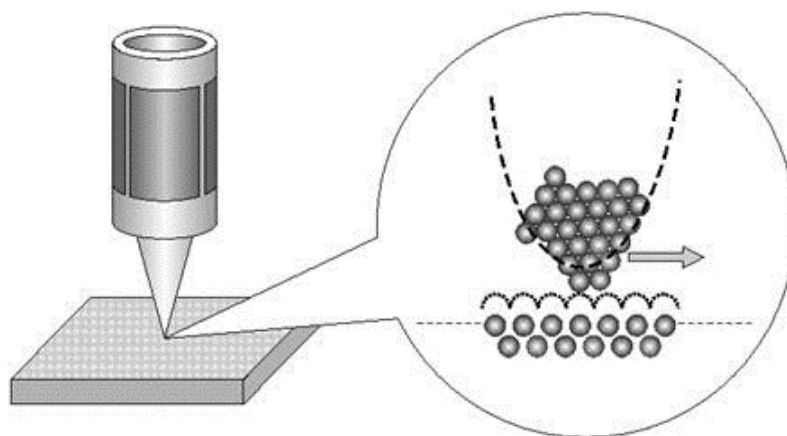


Рисунок 5 – Реализация атомарного разрешения в сканирующем туннельном микроскопе

В этом случае микроперемещения зонда в вертикальном направлении будут такие, чтобы геометрическое расстояние в системе «зонд–подложка» оставалось постоянным (рисунок 6,б). Следовательно, сканирование в режиме постоянного туннельного тока позволяет формировать морфологию поверхности на атомарном уровне.

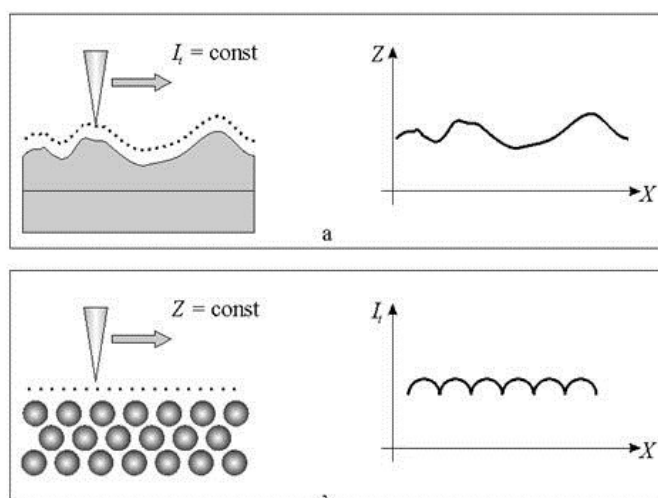


Рисунок 6 – Формирование СТМ изображений поверхности: а – в режиме постоянного туннельного тока; б – в режиме постоянного среднего расстояния

С использованием туннельных микроскопов удастся получить информацию о микрорельефе поверхностей твердых тел на атомарном уровне. Метод сканирующей зондовой микроскопии был обоснован и разработан в 1986 году, и в этом же году был впервые реализован сканирующий туннельный

микроскоп, а затем и атомно-силовой микроскоп.

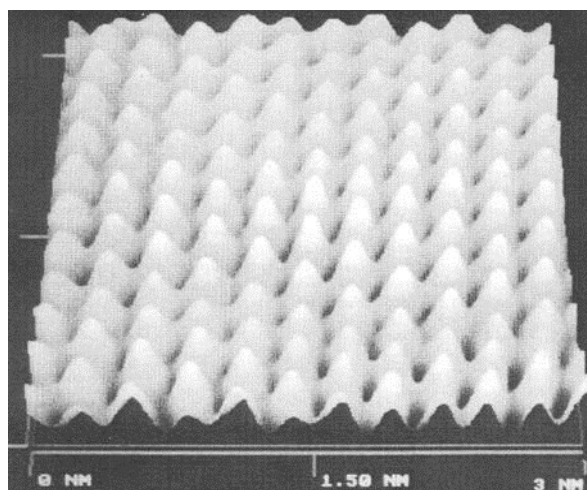


Рисунок 7 – Микрофотография поверхности образца золота, полученная с помощью атомного силового микроскопа

Безусловно, что его практическая реализация потребовала решить целый ряд сложных технологических и технических вопросов. На рисунке 7, в качестве примера приведена микрофотография поверхности образца золота, размером 3х3 нм, показывающая возможность простых методов визуализации атомов.

2.2 Дифракционные методы

Для определения атомно-молекулярной структуры твердых тел используют дифракционные методы. Их классификация связана с видом используемого излучения. По ним методы дифракционного анализа структуры подразделяются на рентгенографию, электрографию и нейтронографию. Все эти методы основываются на том, что волны, проходя через кристаллическое вещество, испытывают дифракцию, т. к. кристаллическая решетка со средними межатомными расстояниями порядка 10^{-10} м является для них дифракционной решеткой. Длина волны излучения при этом должна быть сравнима с этими межатомными расстояниями.

Рентгеновское излучение при прохождении через кристалл

взаимодействует с электронными оболочками атомов, и дифракционная картина отражает распределение электронной плотности ρ в веществе, которую можно характеризовать как функцию координат $\rho(x,y,z)$. Электронография использует электроны таких энергий, что они взаимодействуют не с электронными оболочками, а с электростатическим полем атома $\varphi(x,y,z)$. Такое взаимодействие значительно сильнее, чем в случае рентгеновского излучения, поэтому интенсивность дифракции электронов примерно в 10^6 раз больше, чем для рентгеновских лучей. В методе нейтронографии нейтроны взаимодействуют с дельтаобразным потенциалом ядерных сил $\delta(x,y,z)$. Интенсивность дифракции примерно в 100 раз меньше, чем для рентгеновского излучения. Однако метод обладает тем преимуществом, что с его помощью легко выявляется различие атомов с близкими порядковыми номерами в таблице Менделеева, что трудно сделать методами рентгенографии и электронографии. Конечный результат исследования перечисленными методами – установление распределения вида $\rho(x,y,z)$ либо $\varphi(x,y,z)$ или $\delta(x,y,z)$ в элементарной ячейке. Максимумы этих функций соответствуют центрам равновесия атомов исследуемого вещества. Геометрическая теория дифракции первоначально была разработана для рентгеновских лучей, а затем перенесена на электроны и нейтроны. В рентгенографии для исследования атомной структуры применяют рентгеновские лучи с длиной волны, м: $(0.7 \div 3.0) \cdot 10^{-10}$, в электронографии – электроны с длинами волн де Бройля $(3 \div 6) \cdot 10^{-12}$, в нейтронографии – тепловые нейтроны с длиной волны около 10^{-10} . В случае рентгено- и электронографии дифракционную картину можно получить на пленке (фото) или при помощи специальных датчиков, а в нейтронографии – при помощи ионизационных счетчиков.

Дифракционная картина позволяет качественно судить о структурном состоянии твердого тела. Если дифракционная картина на пленке представляет собой набор точек, то твердое тело находится в состоянии монокристалла. Если она является набором концентрических колец (например, на плоскую пленку) –

поликристалла. Если размытые (диффузные) кольца (гало), то тело находится в аморфном состоянии.

Дифракция рентгеновских лучей в кристаллах. Падающая на атом вещества электромагнитная волна рентгеновского излучения вызывает индуцированные колебания электронов. При этом излучается электромагнитная волна с той же частотой, с какой происходят колебания. Волна рассеивается по всем направлениям. Процесс поглощения энергии падающего излучения и отдачи этой энергии при испускании сферической волны той же длины называется *когерентным рассеянием* падающего излучения. Зная распределение электронов в атоме, можно теоретически рассчитать рассеивающую способность атома. В реальном теле атомов огромное количество, и в падающий пучок рентгеновских лучей всегда попадает большое их число. Каждый из атомов становится источником рассеянных волн, которые в результате интерференции могут усиливать или ослаблять друг друга. Это означает, что энергия излучения рассеивается в разных направлениях с различной интенсивностью. Вид картины рассеяния будет зависеть от сорта атомов, расстояний между ними, частоты падающего излучения и ряда других факторов. Российский ученый Вульф и англичане Брегги, дали простое толкование интерференции рентгеновских лучей в кристаллах, объяснив ее отражением от атомных сеток. Пусть на кристалл под углом скольжения θ , падает параллельный пучок монохроматических рентгеновских лучей с длиной волны λ (рисунок 8). Лучи отражаются от параллельной поверхности семейства плоскостей с межплоскостным расстоянием d под таким же углом θ . Параллельные отраженные лучи I и II интерферируют, т. е. усиливают и ослабляют друг друга. Если их разность хода $\Delta = (AB + BC) - AD$ равна целому числу n длин волн λ , то наблюдается интерференционный максимум. Условие возникновения такого максимума можно записать в виде $2d\sin\theta = n\lambda$. Данное соотношение носит название *формулы Вульфа-Брэггов*. Закон Вульфа-Брэггов является следствием периодичности пространственной решетки и не

связан с расположением атомов в ячейке или в узлах решетки.

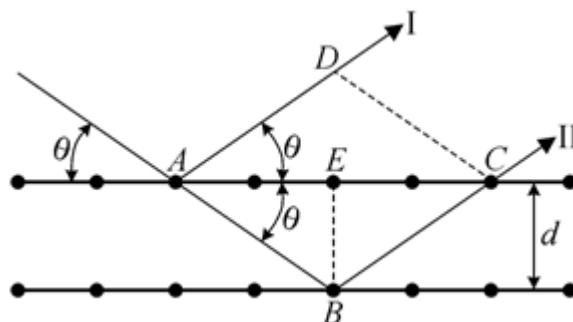


Рисунок 8 – Схема дифракции рентгеновский лучей на пространственной решетке

Метод порошка. Дифрактометр регистрирует картину в виде чередования кривой фона и максимумов интерференции. Последние возникают на определенных углах положения счетчика 2θ . С помощью уравнения (1) по измеренному значению угла рассеяния θ можно рассчитать межплоскостные расстояния d_{HKL} для любого дифракционного максимума. Далее делается предположение о типе кристаллической структуры данного материала и определяются значения индексов полученных отражений. Затем, если этот этап расчета выполнен, можно определить размеры элементарной ячейки. Если известны химический состав и плотность материала, рассчитывают количество атомов в элементарной ячейке. Наконец, по интегральной интенсивности дифракционных линий можно установить детальное расположение атомов в элементарной ячейке.

Методы определения структуры аморфных твердых тел. Основными методами изучения структуры аморфных твердых тел являются методы дифракции рентгеновских лучей, электронов или нейтронов. В отличие от кристаллов, дифракционная картина рассеяния от которых представляет собой совокупность узких максимумов различной интенсивности, рассеяние аморфными телами имеет вид широких диффузных гало. Для иллюстрации этого факта на рисунке 9 представлены дифрактограммы метасиликата натрия, переходящего из аморфного (рисунок 9,а) в кристаллическое (рисунок 9,в)

состояние. Рентгенограмма кристалла представлена на рисунке 9 в виде штрих-диаграммы, в реальности каждый дифракционный максимум имеет определенную, хотя и небольшую, ширину.

В довольно грубой модели такую картину дифракции на аморфных материалах можно рассматривать как происходящую на совокупности *наноразмерных* беспорядочно ориентированных кристаллитов. Основанием для такой модели служит тот факт, что при уменьшении размеров кристаллитов в порошковом образце всегда наблюдается размытие дифракционных максимумов (рисунок 9,б).

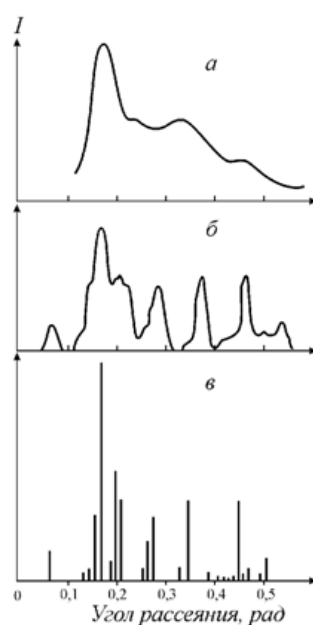


Рисунок 9 – Рентгенограммы метасиликата натрия находящегося: а) в аморфном состоянии; б) в виде очень мелких кристаллитов; в) в поликристаллическом состоянии

Кроме того, положение максимума на диффузном гало аморфного образца практически всегда соответствует положению на рентгенограмме основных максимумов для поликристалла такого же химического состава. Такой подход, однако, позволяет лишь качественно объяснить характер дифракционной картины, получаемой от аморфных веществ, т. к. даже при исследовании структуры аморфных материалов с помощью наиболее высокоразрешающего метода – дифракции электронов – узкие дифракционные

максимумы обнаружить не удалось. По этой причине модель аморфных материалов как нанокристаллических веществ далеко не всегда считается справедливой.

В качестве другой модели принято представление о структуре аморфных твердых тел в виде непрерывного распределения сферических частиц, характеризующихся почти плотной упаковкой (иначе – *случайной сеткой атомов*). В этом распределении отсутствует дальний порядок в расположении атомов, однако оно отличается и от полностью случайного, распределения атомов в газах.

3 Металлы и сплавы в медико-биологической практике

В огромном ряду материалов, с незапамятных времен известных человеку и широко используемых им в своей жизни и деятельности, металлы всегда занимали особое место. Причина этого – в особых свойствах металлов, выгодно отличающих их от других материалов и делающих во многих случаях незаменимыми. Металлы – один из классов конструкционных материалов, характеризующийся определённым набором свойств:

- «металлический блеск» (хорошая отражательная способность);
- прочность и пластичность;
- высокая теплопроводность;
- высокая электропроводность.

Данные свойства обусловлены особенностями строения металлов. Согласно теории металлического состояния, металл представляет собой вещество, состоящее из положительных ядер, вокруг которых по орбитали вращаются электроны. На последнем уровне число электронов невелико и они слабо связаны с ядром. Эти электроны имеют возможность перемещаться по всему объёму металла, т.е. принадлежать целой совокупности атомов. Таким образом, пластичность, теплопроводность и электропроводность обеспечиваются наличием «электронного газа». Все металлы представляют

собой кристаллические вещества, то есть укладка атомов в них характеризуется определенным порядком – периодичностью, как по различным направлениям, так и по различным плоскостям. Этот порядок определяется понятием кристаллическая решетка. Металлы состоят из большого количества кристаллов, то есть, имеют поликристаллическое строение. Эти кристаллы называются зернами. Они имеют полиэдрическую форму и различно ориентированы в пространстве. Каждое зерно имеет свою ориентировку кристаллической решетки, отличную от ориентировки соседних зерен, вследствие чего свойства реальных металлов усредняются, и явления анизотропии не наблюдаются. В кристаллической решетке реальных металлов всегда имеются различные дефекты (несовершенства), которые нарушают связи между атомами и оказывают влияние на свойства металлов. Различают следующие структурные несовершенства:

- точечные – малые во всех трех измерениях;
- линейные – малые в двух измерениях и сколь угодно протяженные в третьем;
- поверхностные – малые в одном измерении.

Свойства металлов зависят от природы атомов, из которых они состоят, и от силы взаимодействия между этими атомами. Силы взаимодействия между атомами, в свою очередь, в значительной степени определяются расстояниями между ними. В аморфных телах, с хаотическим расположением атомов в пространстве, расстояния между атомами в различных направлениях равны, следовательно, свойства будут одинаковые, то есть аморфные тела изотропны. В кристаллических телах атомы правильно располагаются в пространстве, причем, по разным направлениям расстояния между атомами неодинаковы, что предопределяет существенные в силах взаимодействия между ними и, конечном результате, разные свойства. Зависимость свойств от направления называется анизотропией.

Металлическим сплавом называется материал, полученный сплавлением двух или более металлов или металлов с неметаллами, обладающий

металлическими свойствами. Вещества, которые образуют сплав, называются компонентами. Фазой называют однородную часть сплава, характеризующуюся определенными составом и строением и отделенную от других частей сплава поверхностью раздела. Под структурой сплава понимают форму размер и характер взаимного расположения фаз в металлах и сплавах. Структурными составляющими называют обособленные части сплава, имеющие одинаковое строение с присущими им характерными особенностями.

Сталью называется сплав железа с углеродом, в котором углерода содержится не более 2,14%. Практически в сталях, как правило, содержится углерода не более 1,5%. Углерод существенно влияет на свойства стали даже при незначительном изменении его содержания. В стали имеются две основные фазы – феррит и цементит (частично в виде перлита). Количество цементита возрастает прямо пропорционально содержанию углерода. Феррит характеризуется высокой пластичностью и низкой твердостью, а цементит, напротив, очень низкой пластичностью и высокой твердостью. Поэтому с повышением содержания углерода до 1,2% снижаются пластичность и вязкость стали и повышаются твердость и прочность. Повышение содержания углерода влияет и на технологические свойства стали. Ковкость, свариваемость и обрабатываемость резанием ухудшаются, но литейные свойства улучшаются. Кроме железа и углерода в стали всегда присутствуют постоянные примеси. Наличие легирующих примесей объясняется технологическими особенностями производства стали (марганец, кремний) и невозможностью полного удаления примесей, попавших в сталь из железной руды (сера, фосфор, кислород, водород, азот).

По химическому составу (рисунок 10) стали могут быть углеродистыми, содержащими железо, углерод и примеси и легированными, содержащими дополнительно легирующие элементы, введенные в сталь с целью изменения ее свойств.

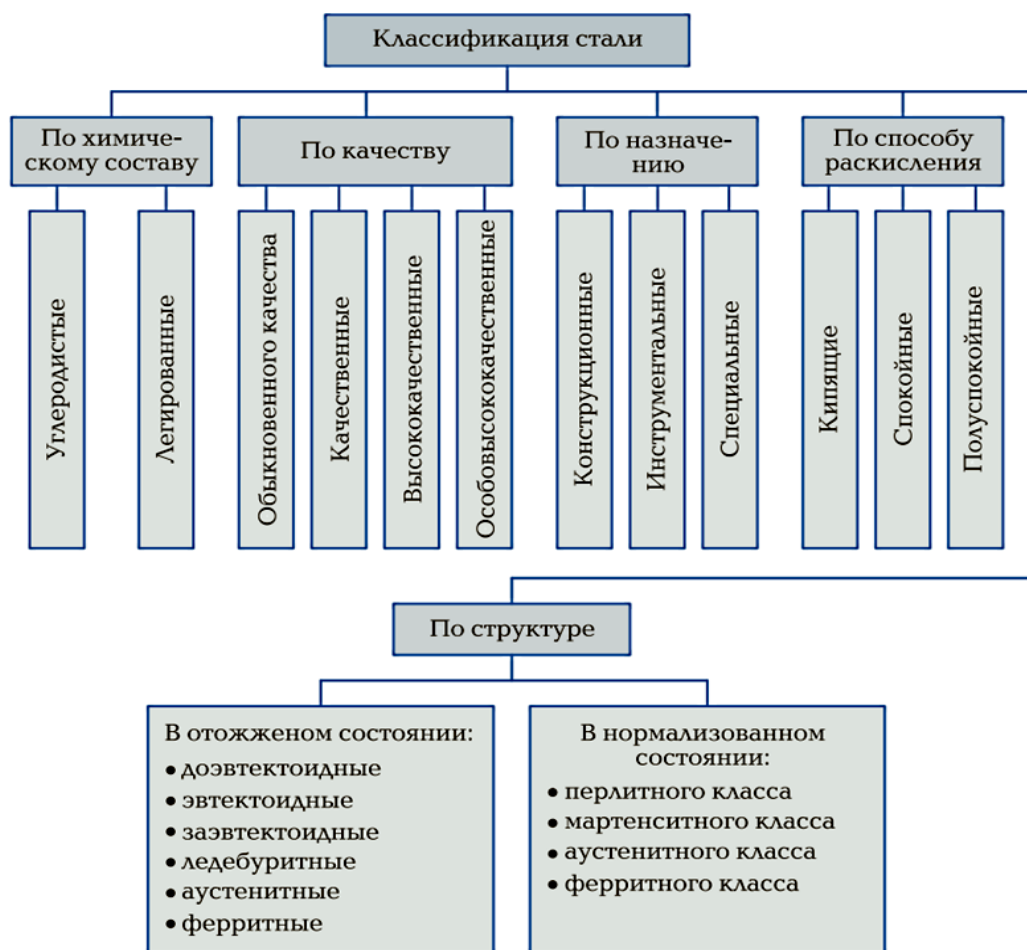


Рисунок 10 – Классификация стали

По содержанию углерода стали делятся на низкоуглеродистые (до 0,25% C), среднеуглеродистые (0,25-0,7% C) и высокоуглеродистые (более 0,7% C).

По назначению различают стали конструкционные, идущие на изготовление деталей машин, конструкций и сооружений, инструментальные, идущие на изготовление различного инструмента, а также стали специального назначения с особыми свойствами: нержавеющие, жаростойкие, жаропрочные, износостойкие, с особыми электрическими и магнитными свойствами и др.

По показателям качества стали классифицируются на обыкновенного качества, качественные, высококачественные и особо высококачественные. Качество стали характеризуется совокупностью свойств, определяемых процессом производства, химическим составом, содержанием газов и вредных примесей.

Порошковая металлургия – область техники, охватывающая процессы

получения порошков металлов и металлоподобных соединений и процессы изготовления изделий из них без расплавления. Характерной особенностью порошковой металлургии является применение исходного материала в виде порошков, из которых прессованием формуется изделия заданной формы и размеров. Полученные заготовки подвергаются спеканию при температуре ниже температуры плавления основного компонента. Основными достоинствами технологии производства изделий методом порошковой металлургии являются:

- Возможность изготовления деталей из тугоплавких металлов и соединений, когда другие методы использовать невозможно;
- Значительная экономия металла за счет получения изделий высокой точности, в минимальной степени нуждающихся в последующей механической обработке (отходы составляют не более 1-3%);
- Возможность получения материалов максимальной чистоты;
- Простота технологии порошковой металлургии.

Твердые сплавы, пористые материалы: антифрикционные и фрикционные, фильтры; электропроводники, конструкционные детали, в том числе работающие при высоких температурах и в агрессивных средах, изготавливают методом порошковой металлургии.

Применение металлических материалов и сплавов в медицине (таблица 1) известно с давних времен. Высокой конкурентной способностью в этой сфере до сих пор владели многочисленные легированные стали, например, наиболее широко известные материалы для внутрисосудистых окклюдеров и стентов – нержавеющие стали 300, 304 и 316L на основе железа Fe. Помимо железа и минимального содержания углерода ($< 0,3\%$) в их состав входит большое количество никеля (10-15%), хрома (8-21%), а остальные компоненты, например, молибден (2-4%), процентное содержание которых невелико, помогают стабилизировать кристаллографическую структуру и определяют физические характеристики сплава. Нержавеющие стали дешевле других материалов, и легко поддаются обработке, однако их антикоррозионные

свойства невысоки.

Таблица 1 – Металлы, используемые в медицине

№	Материал	Свойства	Недостатки
1	Золото, Au	- имеет достаточно высокую температуру плавления; - высокопластично; - самый инертный металл - высокая проводимость тепла и электрического тока; - не взаимодействует с большинством кислот.	- очень мягкий металл.
2	Серебро, Ag	- Обладает самой высокой теплопроводностью среди металлов - имеет самую высокую электропроводность среди всех известных металлов; - температура плавления 962 °С; - не поддаётся коррозии.	- очень мягкий; - растворяется в азотной кислоте, в горячей концентрированной серной кислоте.
	Титан, Ti	- обладает стойкостью к коррозии; - нетоксичен; - высокая прочность; - биосовместимый; - долговечный; - неферромагнитное свойство.	- высокая стоимость производства; - плохая обрабатываемость резанием; - плохие антифрикционные свойства, обусловленные налипанием титана на многие материалы.

Титан *Ti* получил в медицине более широкое распространение, например, в имплантационной хирургии в связи с тем, что имеет малый удельный вес и высокие механические свойства. Чистый титан характеризуется высокой коррозионной стойкостью вследствие того, что на его поверхности образуется тонкая окисная плёнка, которая защищает его от большинства агрессивных сред.

В 70-х годах произошло открытие, и затем широкое внедрение в клиническую практику новых биоадаптированных материалов с мартенситными превращениями и программируемым формоизменением – сверхэластичных сплавов с памятью формы. Среди определённого круга таких трансформируемых по свойствам металлических систем с памятью все жёсткие требования практического применения в медицине хорошо выдержали биоинертные сплавы на основе никелида титана *TiNi*.

4 Керамика, композиты и пластмассы в биотехнических системах

4.1 Керамика

Керамика (др.греч., κέραμος – глина) – изделия из неорганических, неметаллических материалов (в том числе, глины) и их смесей с минеральными добавками, изготавливаемые под воздействием высокой температуры с последующим охлаждением.

Хотя, в узком смысле слово керамика и обозначает глину, прошедшую обжиг, однако современное использование этого термина давно расширило его значение, включив все известные неорганические неметаллические материалы. Керамические материалы могут иметь прозрачную или частично прозрачную структуру, могут включать стекла. Самая ранняя керамика использовалась лишь в быту как посуда из глины или из смесей её с другими материалами. В настоящее время керамика применяется как индустриальный материал (машиностроение, приборостроение, авиационная и химическая промышленности и др.), как строительный материал, художественный, как материал, широко используемый в медицине (рисунок 11). В XX столетии новые керамические материалы были созданы для использования в полупроводниковом производстве и других областях.

Следует констатировать, что в настоящее время еще не сформирована единая научная теория керамики, хотя и достигнут очевидный прогресс в понимании физико-химических явлений в твердом теле, технологии порошковых сред, теории спекания, механизме усталостного разрушения. Однако этого недостаточно для широкого внедрения технологии новой керамики и потребуются еще много усилий и времени, чтобы реализовать преимущества этих материалов и достичь требуемого уровня свойств.

Тем не менее, сочетание научных достижений и потребительских стимулов, а также тенденций в разработке новой техники привело к созданию множества керамик со специальными свойствами и позволило определить

основные направления дальнейших исследований.



Рисунок 11 – Области применения керамики

Лидирующее положение в данной области занимают Соединенные Штаты Америки и Япония, прогноз специалистов которых позволил расположить керамические материалы по возрастанию приоритетов в следующий ряд: традиционная керамика, конструкционная или инженерная (включая инструментальную и пористую), электронная керамика (включая оптические материалы).

Использование керамических протезов и имплантатов в медицине - одно из новых направлений, получивших заметное развитие в последнее десятилетие благодаря достижениям в области конструкционной керамики, производства высокочистых порошков, процессов их формования и обработки керамических изделий. Наибольшие успехи здесь достигнуты в США, Германии и Японии.

Любой керамический материал является многофазной системой. В керамике могут присутствовать кристаллическая, стекловидная, и газовая фаза.

Кристаллическая фаза представляет собой определенные химические соединения и твердые растворы. Эта фаза составляет основу керамики и определяет значения механической прочности, термостойкости и другие основные свойства.

Стекловидная фаза находится в керамике в виде прослоек стекла, связывающих кристаллическую фазу (1-10 %), хотя и ухудшают механические свойства, но она облегчает технологию изготовления изделий. Газовая фаза находится в порах и поэтому, по ее присутствию, определяют плотность и пористость материала. Они также снижают механическую прочность материала.

Техническая керамика включает искусственно синтезированные керамические материалы различного химического и фазового состава; они обладают специфическими комплексами свойств. Такая керамика содержит минимальное количество или совсем не содержит глины. Основными компонентами технической керамики являются оксиды и бескислородные соединения металлов.

Керамика на основе чистых оксидов. В производстве оксидной керамики используют в основном следующие оксиды: Al_2O_3 , ZrO_2 , MgO , CaO , BeO , TiO_2 , SiO_2 . Температура плавления чистых оксидов превышает 2000°C поэтому их относят к классу высокоогнеупорных. Оксидная керамика обладает высокой прочностью при сжатии по сравнению с прочностью при растяжении или изгибе. С повышением температуры прочность керамики понижается. При использовании материалов в сфере химических технологий важным свойством является окисляемость. Керамика из чистых оксидов, как правило, не подвержена процессу окисления.

Керамика на основе Al_2O_3 (корундовая) обладает высокой прочностью, которая сохраняется при высокой температурах, химически стойкая, отличный диэлектрик. В корундовых тиглях проводят плавление различных металлов и оксидов, шлаков. Корундовый материал микролит (ЦМ-332) по свойствам превосходит другие инструментальные материалы: его плотность достигает

3960 кг/м³, сопротивление сжатию – 5000 МПа, твердость – 92-93 HRA, огнеупорность – 1200 °С.

Особенностью оксида циркония (ZrO₂) является слабокислотная или инертная природа, низкий коэффициент теплопроводности. Рекомендуемая температура применения керамики из оксида циркония 2000-2200 °С.

Керамика на основе оксидов магния и кальция стойка к действию основных шлаков различных металлов, в том числе и щелочных, однако термическая стойкость – низкая.

Керамика на основе оксида бериллия характерна высокая теплопроводность, обеспечивающая ей высокую термостойкость. Прочностные свойства материала не высоки.

Бескислородная керамика. К тугоплавким бескислородным соединениям относятся соединения элементов с углеродом (MeC) – карбиды, с бором (MeB) – бориды, с азотом (MeN) – нитриды, с кремнием (MeSi) – силициды и серой (MeS) – сульфиды. Эти соединения отличаются высокой огнеупорностью (2500-3500 °С), твердостью (иногда как у алмаза) и износостойкостью по отношению к агрессивным средам. Материалы обладают высокой хрупкостью. Сопротивление окислению при высоких температурах (окалиностойкость) карбидов и боридов работает вплоть до 900-1000 °С, несколько ниже оно у нитридов. Силициды могут выдерживать 1300-1700 °С, во время эксплуатации на поверхности образуется защитная пленка кремнезема.

Широкое применение получил карбид кремния – карборунд (SiC). Он обладает высокой жаростойкостью (1500-1600 °С), высокой твердостью, устойчивостью к кислотам и неустойчивостью к щелочам; применяется в качестве нагревательных стержней, защитных покрытий графита и в качестве абразива.

Бориды обладают металлическими свойствами, их электропроводность очень высокая: $(12-57) \cdot 10^{-1}$ Ом·м. Они износостойки, тверды, стойки к окислению. В технике получили распространение дибориды тугоплавких

металлов ($\text{TiB}_2, \text{ZrB}_2$). Диборид циркония используют для изготовления термпар, работающих при температуре свыше 2000°C в агрессивных средах, труб, емкостей, тиглей. Покрытия из боридов повышают твердость, химическую стойкость и износостойкость изделий.

Неметаллические нитриды являются высокотемпературными материалами, имеют низкую теплопроводность и электропроводимость. При обычной температуре они изоляторы, а при высокой – полупроводники. Твердость и прочность этих нитридов меньше, чем твердость и прочность карбидов и боридов. Они стойки к окислению, действию металлических сплавов. Нитрид бора $\alpha\text{-BN}$ – "белый графит" – имеет гексагональную, графитоподобную структуру. Это мягкий порошок, стойкий к нейтральной и восстановительной атмосфере, используется как огнеупорный смазочный материал, изделия из него термостойки. Другой известной модификацией является $\beta\text{-BN}$ – алмазоподобный нитрид бора с кубической структурой, называемый эльбором. Он получается при высоком давлении и температуре 1360°C в присутствии катализатора. Плотность эльбора достигает 3450 кг/м^3 , температура плавления – 3000°C . Он является техническим заменителем алмаза, стоек к окислению до 2000°C (алмаз начинается окисляться при 8000°C). Нитрид кремния (Si_3N_4) более других нитридов устойчив на воздухе и в окислительной атмосфере до 160°C . Нитрид кремния прочный, износостойкий, жаропрочный материал.

Силициды отличаются от нитридов и боридов полупроводниковыми свойствами, окалиностойкостью, они стойки к действию кислот и щелочей. Их можно применять при температуре $1300\text{--}1700^\circ\text{C}$, даже при 1000°C они не реагируют с расплавленным свинцом, оловом и натрием.

Из сульфидов нашел практическое применение только дисульфид молибдена MoSi_2 , имеющий высокие антифрикционные свойства. Его применяют в качестве сухого вакуумостойкого смазочного материала.

Подводя итоги, можно перечислить основные преимущества керамики:

- относительно простые и экономически выгодные технологии спекания порошков;
- уникальные свойства керамики и керамических композитных материалов;
- керамические материалы обладают большей биологической совместимостью, чем металлы и полимеры, и это позволяет использовать их в медицине как для имплантации искусственных органов, так и в качестве конструкционных материалов в биотехнологии и генной инженерии.

4.2 Применение керамики в медико-биологической практике

4.2.1 Корундовая керамика в медицине

Среди большого разнообразия технических керамик особенно выделяется по механической прочности и химической стойкости корундовая керамика, основу которой составляет окись алюминия. Окись алюминия существует в виде нескольких кристаллических модификаций, из которых самой устойчивой является модификация, называемая корундом. Отсюда и название керамического материала. По своей структуре керамика представляет поликристаллический материал, ее также называют поликристаллическим сапфиром или рубином. Уникальные физические и химические свойства корундовых материалов определяются характером химической связи в молекуле Al_2O_3 и ее кристаллическим строением. Корундовая керамика обладает высокой стойкостью ко всем видам механических нагрузок. Так, предел прочности корундовой керамики при изгибе достигает 3000 кг/см^2 , а при сжатии – более 10000 кг/см^2 . В отличие от пластмасс и металлов она не деформируется при ударе, нагреве, высоком давлении. Такая высокая прочность керамики объясняется большой энергией кристаллической решетки (3681 ккал/моль), которая определяет прочность связей в кристалле.

Большое практическое значение имеет устойчивость корундовой керамики к износу при трении. Многие отечественные и зарубежные

исследователи пришли к выводу, что при взаимодействии деталей из керамики износ практически отсутствует или крайне незначителен. Трение и износ керамических материалов гораздо меньше в растворе, чем в сухой среде. Коэффициент трения у пары керамика-керамика, помещенной в раствор, много меньше, чем у металлов, находящихся в аналогичных условиях.

В молекуле алюминий находится в максимально окисленном состоянии - каждый анион алюминия окружен шестью противоположно заряженными анионами кислорода. Подобные химические связи очень прочны, поэтому корундовые материалы устойчивы ко многим агрессивным факторам. Результаты испытаний корундовой керамики на растворимость в тканевой жидкости млекопитающих показали, что по коррозионной стойкости она не уступает золоту и платине.

Учитывая такое удачное сочетание физических и химических свойств корундовых материалов, в середине 70-х годов XX века во многих странах мира стали проводить исследования, оценивающие возможность применения керамики в медицине. Первыми в СССР эти материалы исследовали и применили в клинической практике работники Тбилисского медицинского института, врачи-травматологи О. Гудушаури, О. Омиадзе, Г. Думбадзе. В своих исследованиях они, в частности, показали, что корундовая керамика безвредна для организма теплокровных животных независимо от ее агрегатного состояния (порошок, гранулы, пластины) и способа введения в организм. Она не обладает местнораздражающим и общерезорбтивным действием как при непосредственном воздействии на организм, так и в отдаленные сроки после введения. Даже в тех случаях, когда биокерамические материалы подвергаются химической или биологической деградации, концентрация продуктов деградации в окружающих тканях настолько мала, что они легко контролируются регуляторными системами организма. Весьма существенно и то, что продукты деградации и износа корундовой керамики абсолютно нетоксичны.

Ученые многих стран пришли к выводу – корундовые материалы

обладают биосовместимостью и вызывают минимальные изменения в окружающих тканях.

Высокая механическая прочность, биоинертность, отсутствие токсического влияния керамических материалов на организм, а также возможность изготавливать образцы эндопротезов любой величины и формы позволили широко использовать корундовую керамику в клинической практике. Наиболее широкое применение в медицине корундовые материалы нашли при замещении костей и суставов. В настоящее время керамические эндопротезы применяются практически во всех областях хирургической ортопедии: для пластики тазобедренного и других крупных суставов, протезирования крыши вертлужной впадины, замещения костей кисти, замещения части и целых длинных трубчатых костей, для внутрикостного соединения костей.

Применение корундовой керамики в травматологии и ортопедии позволило в более короткие сроки восстанавливать целостность кости при самых тяжелых ее дефектах. С успехом в травматологии применяется корундовый материал монокристаллического строения (монокристаллический корунд, он же лейкосапфир), из него изготавливают внутрикостные штифты, которые не требуют дальнейшего удаления. В последние годы корундовая керамика успешно используется при оперативных вмешательствах на позвоночнике: для эндопротезирования межпозвонковых дисков и замещения дефектов позвонков.

Корундовая керамика применяется для пластики костей черепа, орбиты, придаточных пазух и костей носа. В отоларингологии керамика применяется при слухоулучшающих операциях для протезирования слуховых косточек, а также для операций при хронических и экссудативных заболеваниях среднего уха.

В стоматологии корундовая керамика моно- и поликристаллического строения широко используется для пластики верхней и нижней челюстей и имплантации зубов.

4.2.2 Гидроксиапатит в медицине

Гидроксилапатит (гидроксиапатит), (англ. hydroxyapatite, hydroxylapatite, ГАП) – минерал $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ из группы апатита, гидроксильный аналог фторапатита и хлорапатита. Название минерала происходит от греческого «апатао» – обманываю, поскольку красиво окрашенные природные разновидности апатитов часто путали с бериллами и турмалином. Несмотря на очень широкий спектр окраски природных апатитов, вызванных различными примесями, низкая твердость (он является эталоном значения 5 по 10-балльной шкале Мооса) не позволяет рассматривать его как полудрагоценный поделочный камень.

ГАП является основной минеральной составляющей костей (около 50 % от общей массы кости) и зубов (96 % в эмали). В медицине синтетический гидроксиапатит используется как наполнитель, замещающий части утерянной кости (в травматологии и ортопедии, хирургии кисти), и как покрытие имплантатов, способствующее нарастанию новой кости.

Долгое время считалось, что гидроксилапатит $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ – идеальный в плане биосовместимости материал для восстановления поврежденных костей и зубов. Первая документированная попытка использовать ГАП в качестве остеозамещающего материала относится к 1920-м годам. Однако успешное применение ГАП в указанных целях совершилось только через 60 лет. Гидроксилапатит прекрасно совместим с мускульной тканью и кожным покровом; после имплантации он может напрямую срастаться с костной тканью в организме. Его высокая биосовместимость объясняется кристаллохимическим подобием искусственного материала костному «минералу» позвоночных.

Известно, что костный минерал содержит в заметном количестве (~8% по массе) карбонат-ионы; существует также природный минерал сходного состава – даллит. Считается, что карбонат-ионы могут занимать две разные позиции в структуре ГАП, замещая гидроксил и/или фосфат-ионы

с образованием карбонатгидроксилапатита (КГАП) А- и Б-типа, соответственно. Апатит биологического происхождения относится к Б-типу. Замещение фосфат-ионов карбонат-ионами приводит к уменьшению размеров кристаллов и степени кристалличности ГАП, а это сильно затрудняет исследование природных биоминералов. Увеличение доли карбонат-ионов в составе гидроксилапатита вызывает закономерные изменения в равновесной форме кристалла. Игольчатые кристаллы «сплющиваются» до пластин, которые очень похожи на кристаллиты существующего в организме апатита. Таким образом, внесением в синтезируемый минерал небольшой доли карбонат-ионов можно получить материал, аналогичный биогенному и по химическому составу, и геометрически.

Важной характеристикой ГАП является стехиометрия его состава, которую принято выражать соотношением Са/Р. Переменный состав вызван тем, что при синтезе ГАП из раствора нельзя защититься от ионов H_3O^+ и HPO_4^{2-} , которые могут замещать соответственно ионы Ca^{2+} и PO_4^{3-} в кристаллической структуре гидроксилапатита.

Существуют различные методы синтеза ГАП. Их можно условно разделить на высоко- и низкотемпературные. Высокотемпературные методы не представляют для нас большого интереса, так как полученные таким образом материалы практически не биоактивны. Низкотемпературные методы можно разделить на две большие группы: *гидролиз* (в том числе так называемые *гидротермальные* методы синтеза) и *осаждение из раствора*. Интересен так же комбинированный метод так называемого *золь–гель синтеза*. В нем сухой остаток геля подвергается разложению при относительно невысокой температуре 400-700 °С (по сравнению с высокотемпературным синтезом). Материалы, полученные таким образом, представляют собой твердую, пористую керамику, по химическому составу и физическим свойствам напоминающую минерал кости.

Риск развития инфекционных осложнений при использовании гидроксиапатита также является одним из самых низких среди всех имплантов

(до 3%), при этом вовлечение в дефект черепа придаточных пазух не является противопоказанием к применению. К недостаткам гидроксиапатита можно отнести высокую стоимость ряда композиций, необходимость дополнительного армирования титановой сеткой при больших дефектах, невозможность использования в областях черепа, несущих функциональную нагрузку.

К настоящему времени разработаны биокерамические импланты из чистого гидроксиапатита (CustomBone) для закрытия крупных дефектов черепа, изготавливаемые с использованием методики стереолитографии. Они обладают микро- и макропористой структурой, подобной структуре человеческой кости, что обеспечивает срастание импланта с естественной костью пациента благодаря проникновению в имплант костных клеток.

Возможно использование комбинированных имплантов. При больших размерах костного дефекта необходимо армировать титановой сеткой имплант на основе гидроксиапатита.

4.2.3 Стоматологическая керамика

Можно сказать, что керамический материал, называемый фарфором, занимает особое место в стоматологии, так как, несмотря на развитие композитов и стеклоиономерных материалов, именно применение керамического материала – фарфора для восстановления зубов, дает наилучший эстетический результат. Его цвет, светопроницаемость и естественность невозможно сравнить ни с каким другим материалом.

Поскольку в наше время стараются сохранить как можно дольше естественные зубы, возросли требования к эстетическим свойствам зубных протезов. Это положение привело к росту количества зубных протезов, изготавливаемых из керамических масс.

Потребность в керамических протезах увеличивается примерно на 50% каждые 4 года. Поэтому керамика будет всегда оставаться одним из наиболее востребованных материалов для восстановления зубов.

Сегодня трудно переоценить значимость применения стоматологического фарфора для изготовления виниров, вкладок, коронок и мостовидных протезов, где эстетическое качество фарфора превосходит все современные материалы, заменяющие эмаль и дентин.

Фарфор был первым материалом, из которого изготовили фарфоровую жакетную коронку. За последние годы на рынке появилось множество новых материалов, которые относят к фарфору. В действительности, при сравнении с ранними видами фарфора они представляют собой самые разнообразные керамические материалы.

В настоящее время более правильно использовать общий термин стоматологическая керамика, тогда как стоматологический фарфор является всего лишь одной из групп материалов этого класса.

Первые стоматологические фарфоры представляли собой смеси каолина, полевого шпата и кварца, и они коренным образом отличались по составам от традиционной керамики, каменной керамики и бытового фарфора. Только в 1838 году Elias Wildman изготовил стоматологический фарфор, по прозрачности и расцветке отдаленно напоминавший натуральные зубы.

Каолин является водным алюмосиликатом ($\text{AlO}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и действует, как связующее вещество, позволяя моделировать необожженный фарфор. Каолин непрозрачен, даже если он присутствует в небольших количествах, поэтому у первых стоматологических фарфоров отсутствовала необходимая прозрачность. Таким образом, каолин был исключен из состава стоматологического фарфора, который сегодня представляет полевошпатное стекло с включениями кристаллического кварца.

Кварц остается неизменным в процессе обжига и действует, как упрочняющий компонент состава. Он присутствует в виде тонкокристаллической дисперсии в стеклофазе, образовавшейся в результате расплавления полевого шпата. При охлаждении расплава полевого шпата образуется стеклянная матрица.

Распределение частиц порошка по размерам является решающим

фактором, влияющим на плотность упаковки частиц в сыром изделии. Чем плотнее их упаковка, тем меньше усадка материала при обжиге. Усредненный размер частиц в порошке составляет около 25 мкм, и диапазон разброса частиц по размерам достаточно широк, благодаря чему частицы меньших размеров заполняют свободные пространства между крупными частицами. Некоторые порошки фарфора состоят из частиц разной формы и разных размеров, что позволяет повысить плотность упаковки.

В состав стоматологических фарфоров вводят и ряд других добавок. В число этих добавок входят оксиды металлов, которые позволяют придать фарфору необходимую окраску, например, оксид железа служит коричневым пигментом, медь – зеленым, титан – желтовато-коричневым, кобальт окрашивает керамику в голубой цвет. В состав стоматологического фарфора можно также ввести органическое связующее вещество, состоящее из сахара и крахмала, и это облегчит работу с порошками.

Стоматологический фарфор обладает высокой химической стабильностью и прекрасными эстетическими свойствами, которые со временем не ухудшаются. Теплопроводность и коэффициент термического расширения стоматологического фарфора совпадают с аналогичными характеристиками дентина и эмали.

За последние 15 лет произошли революционные изменения керамических материалов, предлагаемых для изготовления зубных протезов, и в настоящее время стало возможным применение цельнокерамических реставраций как для передних, так и для жевательных зубов. Не исключена и возможность ограниченного использования керамики для изготовления цельнокерамических мостовидных протезов. Без сомнения, развитие и совершенствование новых материалов и технологий будут продолжаться, и будет расти роль керамики в изготовлении медицинских эстетических реставраций.

4.2 Композиты

Композиционные материалы – искусственно созданные материалы, которые состоят из двух или более компонентов, различающихся по составу и разделенных выраженной границей, и которые имеют новые свойства, запроектированные заранее. Компоненты композиционного материала различны по геометрическому признаку. Компонент, непрерывный во всем объеме композиционного материала, называется матрицей (рисунок 12). Компонент прерывистый, разделенный в объеме композиционного материала, называется арматурой. Матрица придает требуемую форму изделию, влияет на создание свойств композиционного материала, защищает арматуру от механических повреждений и других воздействий среды. В качестве матриц в композиционных материалах могут быть использованы металлы и их сплавы, полимеры органические и неорганические, керамические, углеродные и другие материалы.



Рисунок 12 – Классификация композитов

Свойства матрицы определяют технологические параметры процесса

получения композиции и ее эксплуатационные свойства: плотность, удельную прочность, рабочую температуру, сопротивление усталостному разрушению и воздействию агрессивных сред.

Армирующие или упрочняющие компоненты равномерно распределены в матрице. Они, как правило, обладают высокой прочностью, твердостью и модулем упругости и по этим показателям значительно превосходят матрицу. Вместо термина армирующий компонент можно использовать термин наполнитель. Композиционные материалы классифицируют по геометрии наполнителя, расположению его в матрице, природе компонентов.

Свойства композиционных материалов зависят не только от физико-химических свойств компонентов, но и от прочности связи между ними. Максимальная прочность достигается, если между матрицей и арматурой происходит образование твердых растворов или химических соединений. Логично, что благодаря своим уникальным функциональным характеристикам (таблица 2) композиты нашли столь широкое применение в медицине.

Таблица 2 – Композиционные материалы, применяемые в медицине

<i>№</i>	<i>Название материала и формула</i>	<i>Свойства</i>	<i>Недостатки материала</i>	<i>Применение в медицине</i>
1	Алюминий, армированный нитями стали	- высокая удельная прочность; - высокая жёсткость; - высокая износостойкость; - высокая усталостная прочность; - возможность изготовить конструкции со стабильными геометрическими параметрами.	- анизотропия свойств; - низкая ударная вязкость; - гигроскопичность; - токсичность.	- пломбирование с использованием композитных материалов; - использование в имплантации.
2	Полиэфирэфиркетон	- имеет высокую температуру длительной эксплуатации (от – 40 до +260°C); - выдерживает кратковременное	- анизотропия свойств; - низкая ударная вязкость; - гигроскопичность; - токсичность.	- применяется в медицине, для изготовления: а) оборудования, требующего периодической стерилизации

№	Название материала и формула	Свойства	Недостатки материала	Применение в медицине
		нагревание до +350° С; - устойчивость к деформации; - стоек к высокоэнергетическим лучам; - не горючий; - стойкость к гидролизу.		(рукоятки инструмента, держатели ампул, зонды и т. д.); б) подшипниковых колец и подшипников для бормашин, колб (цилиндры) для выращивания и уничтожения бактерий; в) инструментов или крепежных элементов, находящихся под воздействием рентгеновского излучения.
3	Пирографит изотропный	- отсутствие токсичности и коррозии - высокая прочность - технологичность - близкие к естественным тканям физические свойства.	- анизотропия свойств; - низкая ударная вязкость; - гигроскопичность; - токсичность.	- используется для изготовления искусственных клапанов сердца человека.

4.3 Полимеры, пластмассы

Полимеры – высокомолекулярные соединения (ВМС), вещества с высокой молекулярной массой (от нескольких тысяч до нескольких миллионов), в которых атомы, соединенные химическими связями, образуют линейные или разветвленные цепи, а также пространственные трехмерные структуры.

К полимерам относятся многочисленные природные соединения: белки, нуклеиновые кислоты, целлюлоза, крахмал, каучук и другие органические вещества. Большое число ВМС получают синтетическим путем на основе простейших соединений и элементов нефтяного, углехимического, лесохимического и минерального происхождения в результате реакций

полимеризации, поликонденсации и химических превращений одних полимеров (природных и синтетических) в другие. Особую группу составляют неорганические полимеры (пластичная сера, силикаты и др.). Обладая высокой степенью химической инертности, они сразу же привлекли внимание многочисленных исследователей и хирургов.

Полимерные материалы делят на три основные группы: пластические массы, каучуки, химические волокна. Они широко применяются во многих областях человеческой деятельности, удовлетворяя потребности различных отраслей промышленности, сельского хозяйства, медицины, культуры и быта.

Пластмассы (пластики) представляют собой органические материалы на основе полимеров, способные при нагреве размягчаться и под давлением принимать определённую устойчивую форму. В большинстве своем пластмассы состоят из смолы, а также наполнителя, пластификатора, стабилизатора, красителя и других добавок, улучшающих технологические и эксплуатационные свойства пластмассы. Свойства полимеров могут быть в значительной степени улучшены и изменены, в зависимости от требований, предъявляемых различными отраслями техники, с помощью различных составляющих пластмассы. Наполнители служат для улучшения физико-механических, диэлектрических, фрикционных или антифрикционных свойств, повышения теплостойкости, уменьшения усадки, а также для снижения стоимости пластмасс. По массе содержание наполнителей в пластмассах составляет от 40 до 70 %. Наполнителями могут быть тканевые, а также порошкообразные и волокнистые вещества.

Пластификаторы увеличивают пластичность и текучесть пластмасс, улучшают морозостойкость. В качестве пластификаторов применяют дибутилфталат, трикрезилфосфат и др. Их содержание колеблется в пределах 10-20 %.

Стабилизаторы – вещества, предотвращающие разложение полимерных материалов во время их переработки и эксплуатации под воздействием света, влажности, повышенных температур и других факторов. Для стабилизации

используют ароматические амины, фенолы, сернистые соединения, газовую сажу.

Красители добавляют для окрашивания пластических масс. Применяют как минеральные красители (мумие, охра, умбра, литопон, крон и т. д.), так и органические (нигрозин, родамин).

Смазочные вещества – стеарин, олеиновая кислота, трансформаторное масло – снижают вязкость композиции и предотвращают прилипание материала к стенкам пресс-формы.

В зависимости от поведения связующего вещества при нагреве пластмассы разделяют на термореактивные и термопластичные.

Термореактивные пластмассы при нагреве до определенной температуры размягчаются и частично плавятся, а затем в результате химической реакции переходят в твердое, неплавкое и нерастворимое состояние. Термореактивные пластмассы необратимы: отходы обычно используют после измельчения только в качестве наполнителя при производстве пресспорошков.

Термопластичные пластмассы при нагреве размягчаются или плавятся, а при охлаждении твердеют. Термопластичные пластмассы обратимы, но после повторной переработки пластмасс в детали физико-механические свойства их несколько ухудшаются.

К группе термореактивных пластмасс относятся пресспорошки, волокниты и слоистые пластики. Они выгодно отличаются от термопластичных пластмасс отсутствием хладотекучести под нагрузкой, более высокой теплостойкостью, малым изменением свойств в процессе эксплуатации. Термореактивные пластмассы перерабатывают в детали (изделия) преимущественно методом прессования или литьём под давлением.

В медицинской промышленности применение пластических масс позволяет осуществлять серийный выпуск инструментов, специальной посуды и различных видов упаковки для лекарств. В хирургии используют пластмассовые клапаны сердца, протезы конечностей, ортопедические вкладыши, туторы, стоматологические протезы, хрусталики глаза и др. Сейчас

синтетические полимеры, выпускаемые в мире, примерно на 75% состоят из продуктов полимеризации. Применяются они в строительстве и радиоэлектронике, машиностроении и производстве бытовых изделий.

Применение полимеров в медицине. Началом применения полимерных материалов в медицине следует считать 1788 год, когда во время операции А. Шумлянский прибежал к каучуку. Затем в 1895 году был использован целлулоид для закрытия костных дефектов после операций на черепе. В 1939 году совместные усилия стоматологов и химиков (И. Ревзина, Г. Петрова, И. Езриелева и др.) привели к созданию полимера АКР-7 для изготовления челюстных и зубных протезов. Вскоре появился ряд пластмасс из акриловых смол, оказавшихся пригодными для глазных протезов и восстановительных операций в челюстно-лицевой хирургии. В 1943 году С. Федоровым из полиметилметакрилата впервые сделана заплата для закрытия дефекта черепа. В настоящее время этот материал широко применяется у нас в стране и за рубежом. Из него изготавливают трубки для дренирования слезного мешка, гайморовой полости, протезы кровеносных сосудов, клапанов сердца, пищевода, желудка, мочевого пузыря, желчных протоков, уретры, хрусталика глаза; штифты и пластинки для фиксации костей при переломах, полимерные сетчатые «каркасы» для соединения кишок, сухожилий, трахеи.

Синтез медицинских полимеров может осуществляться по двум механизмам, лежащим в основе получения синтетических макромолекул: поликонденсации и полимеризации.

Перспективы использования полимеров в медицинской практике неограниченны. Из устойчивых к воздействию высокой температуры полимеров производят шприцы разового применения, системы для переливания крови, аппараты искусственного кровообращения и искусственной почки, шпатели, аппликаторы (таблица 3).

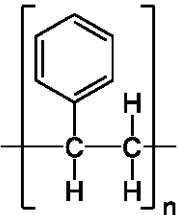
В настоящее время из полимеров изготавливается более трех тысяч различных видов медицинских изделий. Химическая промышленность выпускает различные полимеры с точным соблюдением тех требований,

которые к ним предъявляют. Однако специальных полимеров для применения в медицине выпускается пока еще мало. Первостепенной задачей является разработка технических условий на «медицински чистые» полимеры, которые не оказывали бы вредного действия на организм человека.

Развитие методов синтеза и модификации медицинских полимеров и сополимеров, взаимопроникновение идей и методов химии, биологии и медицины позволяют перейти к решению важнейших задач теоретической и практической медицины, осуществлению самых дерзновенных идей человечества.

Таблица 3 – Полимеры, применяемые в медицине

№	Название материала и формула	Положительные качества	Недостатки материала	Применение в медицине
1	Фторопласт (политетрафторэтилен) – $(-C_2F_4-)_n$; $\left(\begin{array}{cc} F & F \\ & \\ -C & -C- \\ & \\ F & F \end{array} \right)_n$	-высокая теплостойкость и морозостойкость; -практически отсутствует водопоглощение; -удерживает ультрафиолет; -очень высокая химическая стойкость; -не разрушается под влиянием щелочей, кислот и даже смеси азотной и соляной кислот; -износостойкость.	-мягкий и текучий материал, имеет ограниченное применение; -Разрушается расплавами щелочных металлов, фтором и трифторидом хлора.	-фторопласт с успехом применяется для изготовления имплантатов для сердечнососудистой и общей хирургии, стоматологии, офтальмологии. -применение в качестве изоляции проводов, особенно высоковольтных, электротехнических деталей, при изготовлении высококачественных конденсаторов, печатных плат
2	Полипропилен – $(-C_3H_6-)_n$ $\left(\begin{array}{c} -CH_2-CH- \\ \\ CH_3 \end{array} \right)_n$	-материал устойчив к высоким температурам (t плавления = $175^\circ C$); - высокая ударная прочность; - высокая стойкость к многократным изгибам; - низкая газопроницаемость; - высокая химическая стойкость.	- чувствительность к воздействию света (Под действием света и кислорода воздуха в полипропилене проходят процессы разложения); - низкая морозостойкость (t хрупкости = от -5 до $-15^\circ C$)	- полипропилен используется для производства ингаляторов и разовых шприцов, так как устойчивость этого материала к высоким температурным режимам была доказана на практике;

№	Название материала и формула	Положительные качества	Недостатки материала	Применение в медицине
				- использование для упаковки шприцов; -использование полипропиленовой мононити в ортопедии и имплантации.
3	Полистирол 	-обладает низким влагопоглощением; - устойчив к радиоактивному излучению; -имеет отличные электрофизические свойства – низкие диэлектрические потери, высокую электрическую прочность, высокое объемное сопротивление; -Химически он стоек к сильным кислотам и щелочам.	-хрупкость; - низкая теплостойкость; -низкое сопротивление ударным нагрузкам; - при температурах выше 60°C снижается устойчивость формы; - разрушается под действием концентрированной азотной кислоты и ледяной уксусной; - на воздухе при УФ облучении полистирол подвергается старению.	- применяется их для длительного хранения различных препаратов и веществ при отрицательной температуре; - морозоустойчивость контейнеров из полистирола позволяет безопасно хранить в них донорские органы; - производство разнообразного лабораторного оборудования: чашек Петри, лотков и подставок, ванночек и др.

В настоящее время широким фронтом ведутся работы по синтезу физиологически активных полимерных лекарственных веществ, полусинтетических гормонов и ферментов, синтетических генов. Так же большие успехи достигнуты в создании сополимерных заменителей плазмы человеческой крови. Синтезированы и с хорошими результатами применяются в клинической практике эквиваленты различных тканей и органов человека: костей, суставов, зубов. Созданы протезы кровеносных сосудов, искусственные клапаны и желудочки сердца. Синтез полупроницаемых полимерных мембран и умелое использование разнообразных свойств сополимерных материалов

привели к созданию аппаратов «искусственное сердце-легкое» и «искусственная почка». Они позволяют временно заменить соответствующие органы человека, в частности проводить сложные хирургические операции на сердце и легких.

Медицинские полимеры и сополимеры используются для культивирования клеток и тканей, хранения и консервации крови, кроветворной ткани – костного мозга, консервации кожи и многих других органов. В терапии широко используются сополимеры – ионообменники (ионообменные смолы) для удаления из организма щелочных металлов, радиоактивных элементов, для введения в организм дополнительных количеств необходимых ионов металлов. Изучается возможность применения ионообменников для коррекции электролитного и кислотно-щелочного равновесия биологических сред при сердечной, печеночной и почечной недостаточности. На основе синтетических сополимеров создаются противовирусные вещества, пролонгаторы важнейших лекарственных средств, противораковые препараты.

Наиболее часто применяющиеся в медицине полимеры – силиконы. Их положительными свойствами являются химическая и физиологическая инертность, термостабильность – до 180 °С. Силиконы необходимы при косметических операциях на лице, молочных железах, для изготовления катетеров, клапанов сердца, пленки для защиты поверхности кожи при ожогах.

Так же полимеры могут применяться как плазмо- и кровозаменители и для удлинения времени действия многих лекарственных препаратов. Помимо восстановления баланса крови при кровопотерях они обладают способностью связывать в организме токсические вещества. Отсюда, естественно, возникла идея использовать раствор полимера для пролонгирования (удлинения) срока действия лекарственного вещества. Исследования показали, что введение новокаина, инсулина, пенициллина, тетрациклина в раствор плазмозаменителя увеличивает продолжительность их действия и уменьшает токсичность.

В качестве пролонгаторов используются полимеры, обладающие

ионообменными свойствами. Лекарственный препарат в организме постепенно «освобождается» от полимерной ионообменной смолы и оказывает терапевтическое действие. Этот механизм «освобождения» в основном сводится к тому, что соляная кислота желудочного сока разрушает соединения лекарственного вещества с ионообменной смолой, к которой добавляют антибиотики и сульфаниламиды. По сравнению с обычными, такие препараты обладают большей активностью. Скорость разрушения полимерных соединений, а, следовательно, и степень пролонгации лекарств во многом зависят от того, насколько малы частицы ионообменной смолы: чем они меньше, тем медленнее идет их разрушение. Этот метод удлинения влияния лекарственных препаратов является одним из самых перспективных.

В настоящее время осуществлен синтез полимерных препаратов - антисклеротических, противоопухолевых, анестезирующих, противолучевых, антибиотических, противотуберкулезных. Увеличение сроков действия лекарств дает возможность более рационально и реже вводить их в организм, что значительно удобнее для больных и медицинского персонала, особенно при длительном, иногда многомесячном лечении.

К полимерам, применяемым для протезов внутренних органов, предъявляются жесткие требования. Главнейшее из них – длительное сохранение основных физико-механических свойств при постоянном разрушительном воздействии ферментативных систем живого организма. Наиболее успешно применяются в хирургии полимеры, изготовленные на основе акриловой и метакриловой кислот, хорошо зарекомендовавшие себя в травматологии и ортопедии и используемые для замещения тазобедренного сустава и дефектов костей черепа.

Особенно высокие требования предъявляются к полимерам в ортопедической стоматологии – протезировании. Зубные протезы должны быть изготовлены по моделям с особой точностью, отражающей форму челюсти, а также положение и форму зубов. В результате долгих поисков была найдена рецептура отечественного полимерного материала на основе акриловых смол,

который с успехом применяется в стоматологии.

Согласно данным археологических исследований, еще в древности в стоматологической ортопедии применяли импланты – устройства для замещения дефектов костной ткани – изготовленные из природных материалов: кораллов, слоновой кости, а также костей человека и животных. Известно, что среда организма человека характеризуется высокой коррозионной активностью. основные требования, предъявляемые к материалам для имплантации, – устойчивость к коррозионно-активным средам и биомеханическая совместимость. Имплантат должен иметь значения модуля упругости, прочности и трещиностойкости, близки к таковым у кости. Модуль упругости материала должен быть таким, чтобы не экранировать костную ткань от физиологических нагрузок, необходимых для ее жизнедеятельности.

Гибридные композиционные материалы с полимерной составляющей более эластичны, чем пористая керамика. Поэтому можно заполнять такими материалами костный дефект любой формы без зазора между костью и матриксом. Гибридные композиционные материалы с матриксами из биополимеров могут соответствовать по структуре и свойствам костной ткани в на много большей степени, чем спеченная керамика. Минеральная фаза фосфата кальция придает композиционному материалу повышенную жёсткость и биологическую активность, которая не присуща полимеру. В качестве матриксов используют коллаген и желатин, полисахариды, а также синтетические полимеры (рисунок 13).

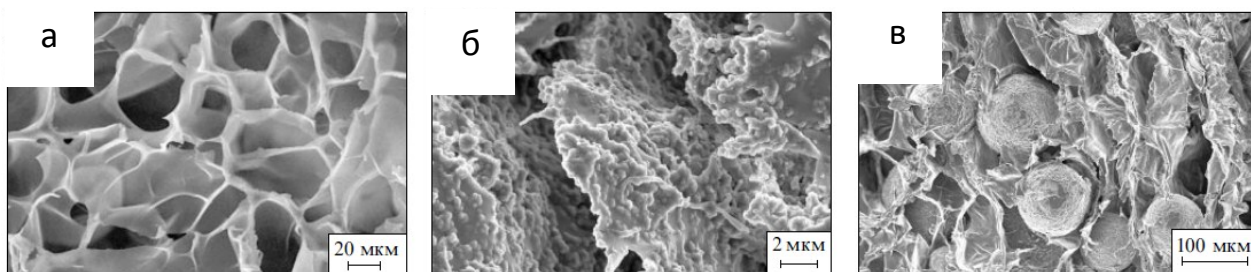


Рисунок 13 – Пористый матрикс хитозан/желатина (а), стенки которого армированы ультрадисперсными частицами фосфата кальция (б) и гранулами (в)

В последние годы разрабатываются новые полимеры на основе эпоксидных смол, обладающие лучшими физико-механическими качествами. Они идут также на протезирование дефектов лица, когда по тем или иным причинам хирургическую операцию выполнить невозможно. Пломбировочные материалы создаются на основе эпоксидных смол «холодного» отверждения. Они достаточно тверды, сохраняют постоянный объем. Срок их службы исчисляется десятилетиями.

Современная реконструктивная хирургия сердца и сосудов немыслима без полимеров. Известно, что они должны обладать так называемой «биологической инертностью», иметь необходимую механическую прочность, соответствующие «усталостные» характеристики, желаемую физическую структуру, а главное – не вызывать образования тромбов на своей поверхности при контакте с кровью. Но идеальных в этом отношении сосудистых протезов пока нет.

Разработка, изготовление и применение эластичных трубок из синтетических волокон ознаменовали собой новый этап в сосудистой хирургии. Протезирование стало одним из самых распространенных видов восстановительных операций на сосудистой, главным образом артериальной системе.

Сосудистые протезы из полимеров начали применяться в клинической практике с начала 50-х годов нашего столетия. Изучены непосредственные и отдаленные результаты этих вмешательств. Пластическим материалом служат тканые, вязаные, плетеные протезы из разнообразных синтетических волокон (лавсана, терилена, дакрона, тефлона) отечественного и зарубежного производства.

В качестве биоматериалов используются полимеры, металлы, неорганические материалы, материалы на основе углерода и композиты на их основе. Следует отметить, что с точки зрения ассортимента и возможностей использования полимерные биоматериалы значительно превосходят другие виды биоматериалов. Такими материалами являются так называемые

полимерные гидрогели, упоминания о которых в последние годы все чаще появляются на страницах медицинских журналов. На сегодняшний день полимерные гидрогели являются наиболее универсальными и перспективными материалами для использования в ряде различных областей медицинской науки и открывают новый пласт в инновационной и фундаментальной медицине, что в недалеком будущем сделает возможным лечение пациентов, страдающих заболеваниями, с которыми современная медицина пока еще не в состоянии справиться. Говоря о перспективах использования супер пористых полимеров на основе поливинилового спирта (ПВС), хотелось бы сделать акцент на безопасности применения полимерных гидрогелей как химических веществ и возможном улучшении положительной клинической картины в случае комбинированного использования полимерных гидрогелей с классическими методами лечения.

Развитие современных медицинских технологий было бы невозможно без применения различных функциональных материалов. В последние годы возрастает интерес к биоразлагаемым материалам для использования в медицине и других областях народного хозяйства. Синтетические биоразлагаемые полимеры широко используются в медицине для создания систем контролируемой доставки лекарственных препаратов, шовных хирургических материалов, для изготовления ортопедических изделий (винты, штифты, стержни), а также нетканых материалов и матриц для тканевой инженерии. Наиболее востребованными полимерами для изготовления изделий биомедицинского назначения являются сложные полиэфиры α -гидроксикислот. Регулирование молекулярной и надмолекулярной структуры биоразлагаемых полимеров позволяет управлять физико-химическими и физико-механическими характеристиками материалов, а также кинетикой их биodeградации. Это дает возможность подбирать оптимальный состав и структуру материала для разработки широкого ассортимента биомедицинских изделий. Введение различных функциональных наполнителей, таких как фосфаты кальция, в структуру материала позволяет создавать биоактивные композиционные

материалы с улучшенными физико-механическими характеристиками. Для получения высокодисперсных биомедицинских материалов для регенеративной медицины применяют методы электроформования и лиофилизации. Варьирование технологических параметров в этих процессах позволяет изготавливать материалы и изделия с заданным размером пор и различными механическими характеристиками.

5 Наноматериалы

Нанотехнология как научное направление сформировалось 10-15 лет назад, оно изучает объекты, размер которых составляет 0.1-100 нм. Под наноструктурными материалами понимают такие, в которых основные структурные элементы (кристаллиты, волокна, поры) не превышают 100 нм. Термин «нанотехнология» впервые использовал японский ученый К. Танигучи в 1974 г. В 1990 г. в компании IBM с помощью сканирующего туннельного микроскопа была сложена аббревиатура IBM из 35 ксеноновых атомов на (110) никелевого монокристалла.

Широкий интерес к наноматериалам обусловлен тремя причинами:

- методы нанотехнологии позволяют получить принципиально новые устройства и материалы с характеристиками, значительно превосходящими их современный уровень;
- нанотехнология оказалась весьма широким междисциплинарным направлением, объединяющим специалистов в области физики, микроэлектроники, химии, материаловедения, биологии, медицины, наук о Земле, компьютерной техники, экономики;
- решение проблемы нанотехнологии выявило много пробелов как в фундаментальных, так и в технологических знаниях.

Во многих странах (США, Объединенная Европа, Япония, Китай) приняты национальные программы интенсивного развития нанотехнологических исследований и разработок.

Приоритетные направления нанотехнологии:

- молекулярный дизайн материалов и веществ с заданными свойствами, значительно превосходящими свойства их современных аналогов;
- нанопроцессоры с низким уровнем энергопотребления и существенно более высокой производительностью;
- небольшие по размеру запоминающие устройства с огромным объемом памяти;
- новые лекарственные препараты и методы их введения в организм;
- новые методы мониторинга окружающей среды и организма человека с использованием наносенсоров.

Через 10÷15 лет ежегодный рынок продукции нанотехнологии составит 1 трлн долларов США: 340 млрд придётся на новые материалы, 300 млрд – на полупроводниковую промышленность, 180 млрд – на фармацевтику и т.д.

Основные особенности проявления размерных эффектов в наноматериалах:

- с уменьшением размера зерна значительно возрастает роль поверхностей раздела;
- свойства поверхностей раздела в нанометровом интервале могут быть отличными от таковых для обычных крупнокристаллических материалов;
- размер кристаллитов по мере их уменьшения может быть соизмерим с характерными размерами некоторых физических явлений (например, с длиной свободного пробега носителей в процессах переноса);
- размерные эффекты могут иметь квантовый характер, когда размер зерна становится соизмерим с длиной волны де Бройля.

Квантовые размерные эффекты начинают оказывать влияние на электронные свойства наноматериалов, когда размер области локализации свободных носителей заряда становится соизмеримым с длиной волны де Бройля:

$$\lambda \approx h / (2m^* E)^{1/2},$$

где m^* – эффективная масса электрона, E – энергия носителей.

Для металлов, в которых эффективная масса электронов близка к массе свободных электронов, а кинетическая энергия не превышает несколько электронвольт (эВ), длина волны λ составляет $0.1 \div 1.0$ нм, т.е. влияние размера зерен на их электронные свойства может проявляться лишь для очень малых кристаллитов или в очень тонких пленках. Для полуметаллов (висмут) и полупроводников (узкозонных типа InSb), отличающихся малыми значениями как эффективной массы ($m^* \approx 0.1 m_0$), так и энергией носителей (0.1 эВ), λ составляет около 100 нм, т.е. проявление квантовых эффектов становится ощутимо.

Для макроскопических кристаллов характерна квадратичная зависимость плотности электронных состояний $N(E)$ от энергии. Уменьшение областей локализации электронов вплоть до размера λ в одном, двух или трех направлениях сопровождается изменением характера зависимостей $N(E)$. Такая схема эволюции энергетического спектра имеет место не только для электронов, но и для других квазичастиц. Двух-, одно- и нульмерные структуры носят названия квантовых ям, квантовых проволок и квантовых точек.

Подавляющее большинство наноматериалов по своей природе неравновесны из-за избыточной поверхностной энергии, наличия неравновесных фаз, пограничных сегрегаций, пор и несплошностей, избыточной концентрации дефектов кристаллического строения, наличия остаточных напряжений.

С уменьшением размера зерна отмечено значительное увеличение электросопротивления для металлов, нитридов и боридов переходных металлов. Заметное изменение электросопротивления начинается с размеров менее 100 нм из-за того, что удельное сопротивление на межзеренной границе составляет $3 \cdot 10^{-12}$ Ом·см для крупнокристаллических и наноматериалов. При анализе электросопротивления плёнок следует учитывать рассеяние электронов внешними поверхностями и структурой пленок. По характеру зависимости электросопротивления от толщины без учета нанокристалличности пленки

делятся на три группы:

- толстые, проводимость которых сопоставима с проводимостью крупнокристаллических объектов (для монокристаллов более 100 нм);
- тонкие (10 нм), проводимость которых существенно меньше, чем толстых;
- островковые (1 нм), проводимость которых отличается от компактного материала на несколько порядков. Важное значение имеет соотношение размеров зерен и толщины пленки.

Основные наноматериалы: консолидированные наноматериалы, нанополупроводники, нанополимеры, нанобиоматериалы, фуллерены, тубулярные наноструктуры, катализаторы, нанопористые материалы и супрамолекулярные структуры.

Консолидированные наноматериалы – компакты, пленки, покрытия из металлов получаемых методами порошковой технологии. *Нанополупроводники, нанополимеры, нанобиоматериалы* могут быть как в консолидированном, так и в изолированном состоянии.

Фуллерены и углеродные нанотрубки – особый класс материалов.

Фуллерён – молекулярное соединение, принадлежащее классу аллотропных форм углерода и представляющее собой выпуклые замкнутые многогранники, составленные из чётного числа трёхкоординированных атомов углерода. Первоначально данный класс соединений был ограничен лишь структурами, включающими только пяти- и шестиугольные грани. Если в состав молекулы фуллерена, помимо атомов углерода, входят атомы других химических элементов, то, если атомы других химических элементов расположены внутри углеродного каркаса, такие фуллерены называются эндоэдральными, если снаружи – экзоэдральными.

Молекулярное образование углерода в форме усечённого икосаэдра имеет массу 720 а.е.м. В молекулах фуллеренов атомы углерода расположены в вершинах шести- и пятиугольников, из которых составлена поверхность сферы или эллипсоида. Самый симметричный и наиболее полно изученный

представитель семейства фуллеренов – фуллерен (C_{60}), в котором углеродные атомы образуют усечённый икосаэдр, состоящий из 20 шестиугольников и 12 пятиугольников, напоминающий футбольный мяч (как идеальная форма, крайне редко встречающаяся в природе). Так как каждый атом углерода фуллерена C_{60} принадлежит одновременно двум шести- и одному пятиугольнику, то все атомы в C_{60} эквивалентны, что подтверждается спектром ядерного магнитного резонанса (ЯМР) изотопа ^{13}C – он содержит всего одну линию. Однако не все связи C-C имеют одинаковую длину. Связь $C=C$, являющаяся общей стороной для двух шестиугольников, составляет 1,39 Å, а связь C-C, общая для шести- и пятиугольника, длиннее и равна 1,44 Å. Кроме того, связь первого типа двойная, а второго — одинарная, что существенно для химии фуллерена C_{60} . В действительности изучение свойств фуллеренов полученных в больших количествах показывают распределение их объективных свойств (химическая и сорбционная активности) на 4 устойчивых изомера фуллерена, свободно определяемые по различному времени выхода из сорбционной колонки жидкостного хроматографа высокого разрешения. При этом атомная масса всех 4-х изомеров равнозначна, имея массу 720 а.е.м.

Следующим по распространённости является фуллерен C_{70} , отличающийся от фуллерена C_{60} вставкой пояса из 10 атомов углерода в экваториальную область C_{60} , в результате чего молекула является вытянутой и напоминает своей формой мяч для игры в регби.

Так называемые высшие фуллерены, содержащие большее число атомов углерода (до 400), образуются в значительно меньших количествах и часто имеют довольно сложный изомерный состав. Среди наиболее изученных высших фуллеренов можно выделить C_n , где $n = 74, 76, 78, 80, 82$ и 84 .

Фуллерены, несмотря на отсутствие атомов водорода, которые могут быть замещены как в случае обычных ароматических соединений, всё же могут быть функционализированы различными химическими методами. Например, успешно были применены такие реакции для функционализации фуллеренов, как реакция Дильса – Альдера, реакция Прато, реакция Бингеля. Фуллерены

также могут быть прогидрированы с образованием продуктов от $C_{60}H_2$ до $C_{60}H_{50}$.

Углеродные нанотрубки – это протяжённые цилиндрические структуры диаметром от одного до нескольких десятков нанометров и длиной до нескольких сантиметров (при этом существуют технологии, позволяющие сплести их в нити неограниченной длины), состоящие из одной или нескольких свёрнутых в трубку графеновых плоскостей и заканчивающиеся обычно полусферической головкой, которая может рассматриваться как половина молекулы фуллерена. Идеальная нанотрубка представляет собой свёрнутую в цилиндр графитовую плоскость, то есть поверхность, выложенную правильными шестиугольниками, в вершинах которых расположены атомы углерода. Результат такой операции зависит от угла ориентации графеновой плоскости относительно оси нанотрубки. Угол ориентации, в свою очередь, задаёт хиральность нанотрубки, которая определяет, в частности, её электрические характеристики.

Применение нанотехнологий в биологии и медицине вызвало появление новых приборов, супрамолекулярных систем, структур, комплексов и композитов. Одним из ярких примеров нанотехнологических композитов являются дендримеры (рисунок 14). Впервые дендримеры (от греческого «дендрон» – дерево) были получены в лабораториях в конце 1980-х годов. До появления дендримеров в химии, биологии и медицине для оценки полидисперсных продуктов широко использовались три традиционных макромолекулярных архитектурных класса: линейные, пересекающиеся, разветвленные.

В отличие от традиционных полимеров синтез дендримеров обеспечивает возможность получения монодисперсных, структурно-контролируемых макромолекулярных архитектур, подобных наблюдаемым в биологических системах, что и позволило выделить дендримеры в принципиально новый класс нанотехнологических полимеров (согласно концепции и документам 7-й Рамочной программы Европейского союза, дендримеры входят в разделы:

«Нанотехнология», «Нанобиология», «Наномедицина»).

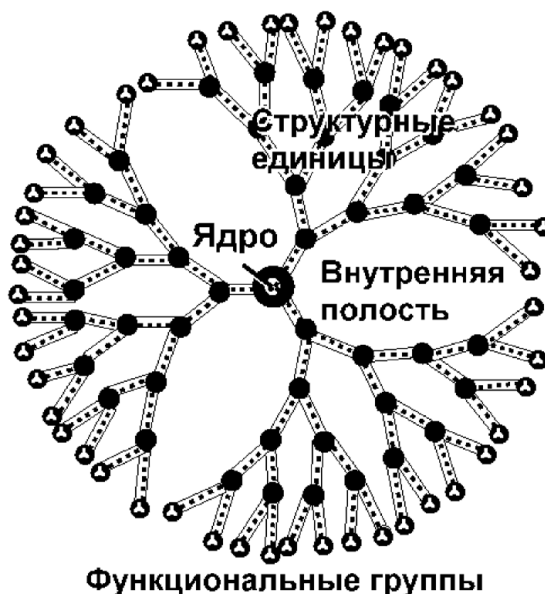


Рисунок 14 – Структура дендримера

С 1979 г. для синтеза дендримеров применяются две основные стратегии: дивергентный метод, в котором рост дендрона начинается от ядра, и конвергентный метод, в котором уже готовые ветви дендримера присоединяются к ядру.

В настоящее время синтезировано более ста различных видов дендримеров. Из них можно выделить пять наиболее распространенных семейств:

Полиамидоаминные (ПАМАМ) дендримеры имеют этилендиаминное ядро и их ветви сконструированы из метилакрилата и этилендиамина. Половинные поколения ПАМАМ дендримеров имеют карбоксильные группы на своей поверхности, а полные поколения – аминогруппы. В настоящее время имеется большой выбор ПАМАМ дендримеров с поверхностными группами самого различного типа.

Полипропилениминные (ППИ) дендримеры имеют бутилендиаминное ядро и полипропилениминовые мономерные группы. Кроме ППИ, вторая популярная аббревиация данных дендримеров это ДАБ (диаминобутил) – по названию ядра.

Фосфорные дендримеры синтезированы группой Majoral и Caminade и

фосфорные группы в своей структуре.

Карбозилановые дендримеры имеют ядро на основе кремния и амониевые или аминогруппы на периферии.

Полилизинные дендримеры представляют собой дендримерную структуру, составленную из остатков лизина.

Таким образом, дендримеры являются одним из ярких примеров наноматериалов. В отличие от классических линейных полимеров дендримеры могут иметь как типичный для полимеров высокий молекулярный вес, так и характерные для малых молекул свойства, в том числе моодисперсность, точно определенный состав, сравнительно низкую вязкость при высокой концентрации в растворе. Широкое применение дендримеров позволит разработать новые пути доставки лекарств и генетического материала в организм человека.

Различают естественные и искусственные наночастицы. Естественные биологические и небологические наночастицы не являются новыми для человека и экосистемы. Примерами естественных биологических наночастиц могут служить некоторые вирусы, небологических – компоненты дымов от сгорания углеродсодержащих материалов, сварочного аэрозоля. На протяжении тысячелетий эволюции человек сталкивался с воздействием естественных наночастиц и выработал адаптационные, защитные механизмы, адекватные естественному воздействию. Искусственные нанообъекты были созданы сравнительно недавно и представляют собой новый фактор воздействия на окружающую среду и человека. В настоящее время можно наметить следующие направления для работы в области обеспечения безопасности применения нанотехнологий и наноматериалов:

- продолжить изучение воздействия на человека наночастиц и наноматериалов с целью предотвращения потенциального вреда для здоровья для чего установить их токсические свойства и разработать способы измерения их концентраций в воздухе рабочей и жилой зоны;
- изучить возможности использования достижений нанотехнологий в

целях профилактики ряда профессиональных заболеваний;

– разработать правила по безопасному обращению с нанообъектами и наноматериалами.

6 Глоссарий

Агглютинация (лат. agglutinatio – приклеивание) – склеивание и выпадение в осадок из однородной взвеси бактерий, эритроцитов и др. клеток, несущих антигены, под действием специфических веществ – агглютининов, в роли которых могут, например, выступать антитела или лектины.

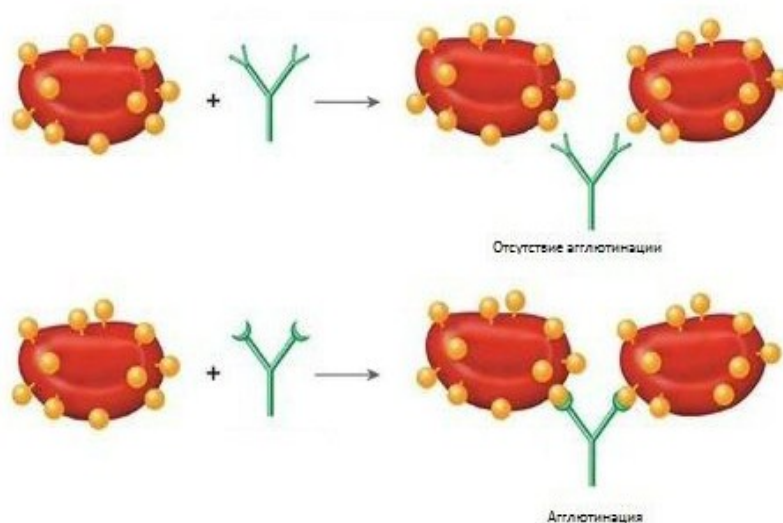


Рисунок 15 – Схема реакции агглютинации

Агломерация – пространственная группировка и адгезия дисперсных частиц, в результате которой образуются более крупные по размерам вторичные частицы.



Рисунок 16 – Агломерация частиц в вихревом поле: напыление (а), увлажнение (б) и сушка (в)

Адсорбенты – высокодисперсные природные или искусственные

материалы с большой удельной поверхностью, на которой происходит адсорбция веществ из соприкасающихся с ней газов или жидкостей.

Акустическое излучение – ультразвуковые, звуковые и сейсмические волны (в зависимости от физической среды передачи).

Аллотропия (греч. *allos* – иной, *tropos* – поворот, свойство) – существование одного и того же элемента в виде различных по свойствам и строению структур.

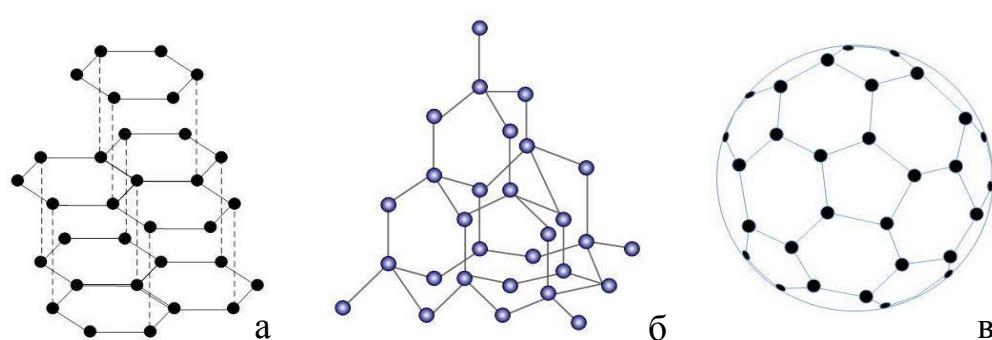


Рисунок 17 – Аллотропные модификации углерода: графит (а), алмаз (б) и фуллерен (в)

Алюмосиликаты – группа природных и синтетических силикатов, комплексные анионы которых содержат кремний и алюминий.

Анизотропия – зависимость свойств кристалла от направления, возникающая в результате упорядоченного расположения атомов (ионов, молекул) в пространстве.

Антитела (иммуноглобулины, ИГ, Ig) – вид белковых соединений плазмы крови, синтезирующихся плазматическими клетками в организме человека и других теплокровных животных в ответ на попадание в него чужеродных или потенциально опасных веществ (это молекулы из бактерий или вирусов, белковые токсины и т.п. вещества, которые в соответствии с их ролью в иммунном ответе называют антигенами).

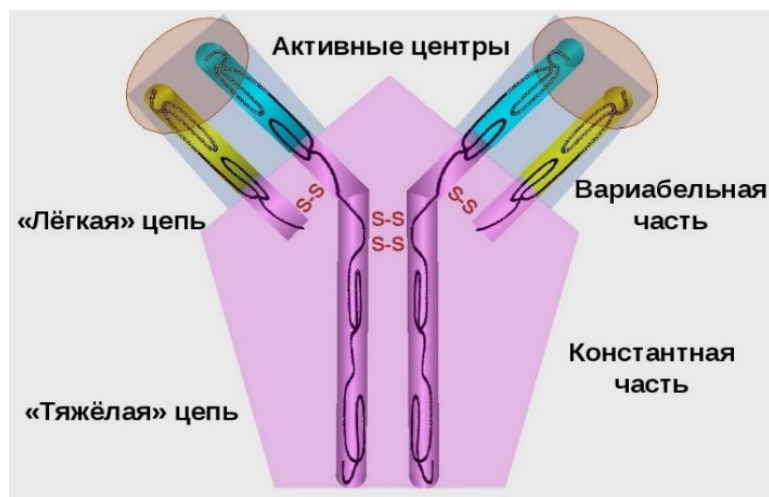


Рисунок 18 – Схематическое строение антитела

Биомиметика (от латинского «биос» – жизнь и «мимесис» – имитация) – создание устройств, приборов, механизмов или технологий, идея и основные элементы которых заимствуются из живой природы.

Различают следующие направления биомиметики:

- биологическую биомиметику, изучающую процессы, происходящие в биологических системах;
- теоретическую биомиметику, которая строит математические модели этих процессов;
- техническую биомиметику, применяющую модели теоретической биомиметики для решения инженерных задач.

Одним из первых примеров создания биомиметического материала является широко распространенная «липучка», прототипом которой стали плоды репейника, цеплявшиеся за одежду. Импульсом к развитию биомиметики в последние годы послужило развитие нанотехнологий. Размеры биологических макромолекул – нуклеиновых кислот (ДНК, РНК) и белков (антигены, антитела, вирусные капсиды, ферменты и др.) находятся в нанодиапазоне.

Биокерамика (англ. biocompatible nanoceramics или англ. nanostructured bioceramics) – наноструктурированный керамический материал, используемый в медицине для восстановления (замещения) поврежденных твёрдых тканей. Биокерамические материалы можно разделить по типу биохимического

взаимодействия с организмом:

- биоинертные (биотолерантные), к которому относятся биоматериалы, такие как оксид алюминия и оксид циркония, которые сохраняют форму имплантата и поверхностную структуру без врастания тканей и не изменяются под действием окружающей среды.

- биологически активные материалы, изменяющиеся на границе с живыми тканями типа гидроксиапатита.

- биорезорбируемые материалы, полностью заменяющиеся биологическими структурами, типа трикальцийфосфата или сульфата кальция.

Биоинертная биокерамика заняла свою нишу в эндопротезировании. Материалы в этой области должны обладать определенными химическими свойствами (отсутствие нежелательных химических реакций с тканями и межтканевыми жидкостями, отсутствие коррозии) и механическими характеристиками.

Бионика (от греч. *biōn* – элемент жизни, буквально – живущий) – наука, пограничная между биологией и техникой, решающая инженерные задачи на основе анализа структуры и жизнедеятельности организмов. Бионика тесно связана с биологией, физикой, химией, кибернетикой и инженерными науками – электроникой, навигацией, связью, морским делом и др. Основные направления работ по бионике охватывают следующие проблемы: изучение нервной системы человека и животных и моделирование нервных клеток – нейронов и нейронных сетей для дальнейшего совершенствования вычислительной техники и разработки новых элементов и устройств автоматики и телемеханики (нейробионика); исследование органов чувств и других воспринимающих систем живых организмов с целью разработки новых датчиков и систем обнаружения; изучение принципов ориентации, локации и навигации у различных животных для использования этих принципов в технике; исследование орфологических, физиологических, биохимических особенностей живых организмов для выдвижения новых технических и научных идей.

Биополимеры – класс полимеров, встречающихся в природе в естественном виде, входящие в состав живых организмов: белки, нуклеиновые кислоты, полисахариды, лигнин.

Биосенсор – это аналитический прибор, в котором для определения химических соединений используются реакции этих соединений, катализируемые ферментами, иммунохимические реакции или реакции, проходящие в органеллах, клетках или тканях.

Вязкость (внутреннее трение) – одно из явлений переноса, свойство текучих тел (жидкостей и газов) оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой.

Гетероструктура (греч. гетеро - союз, товарищество) – комбинация нескольких гетеропереходов (контакт двух разных полупроводников), используемая для создания потенциальных ям для электронов и дырок в слоистых полупроводниковых структурах и применяемая в полупроводниковых лазерах и светоизлучающих диодах.

Гидрогели представляют собой трехмерные полимерные сетки, образованные с помощью, электростатической или ковалентной сшивки из гидрофильных мономеров. Первые гидрогели биомедицинского назначения были получены в 1955 году на основе 2-гидроксиэтилметакрилата. Гидрогели могут быть классифицированы следующим образом:

- аморфные, полукристаллические, водородно-связанные;
- ионные (заряженные) или нейтральные;
- физически или химически сшитые;
- синтетические и натуральные.

В результате наличия упругой сети, вода эффективно заполняет внутрипоровое пространство полимерных гидрогелей. Соответственно, гидрогель легко изменяет свои размеры и форму в ответ на воздействие окружающей среды, что это является одной из его основных характеристик. Количество воды в полимерной матрице может составлять от 20 до 99 масс. %. Гидрогели, содержащие более 95% воды, называют суперабсорбентами.

Гидроксиапатит кальция – это неорганический компонент, присутствующий в нашем организме и являющийся основным компонентом нашей костной ткани. Он входит в состав костей, в клеточный и бесклеточный цемент и эмаль зубов. Выделяют его из кораллов рода *Porites*, которые добывают в море. Совершенно безопасен для человека и инертен к его тканям. По этой причине получил широкое применение в медицине: стоматологии, челюстно-лицевой хирургии, ортопедии. В косметологии используется как наполнитель в филлерах для восполнения утраченных объемов.

Графен – углеродный наномонослой, в котором связи C*С образуют правильные графитовые шестиугольники («пчелиные соты»).

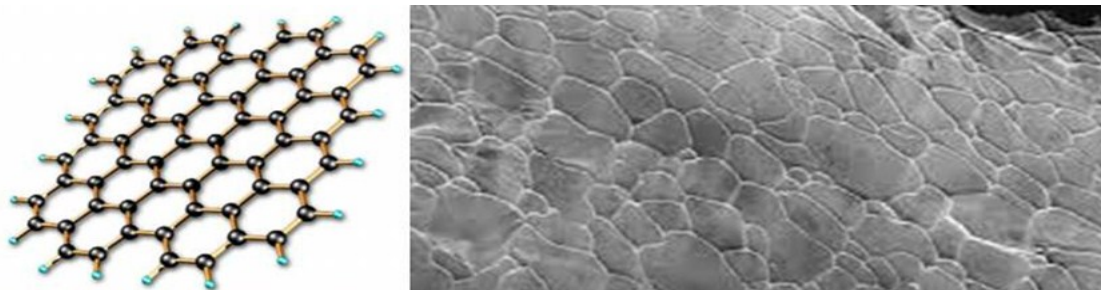


Рисунок 19 – Структура графена

Дендример или арборол (англ. dendrimer) – макромолекула с симметричной древообразной с регулярными ветвлениями структурой, нанотехнологический полимер. Ветви дендримера имеют общую центральную группу.

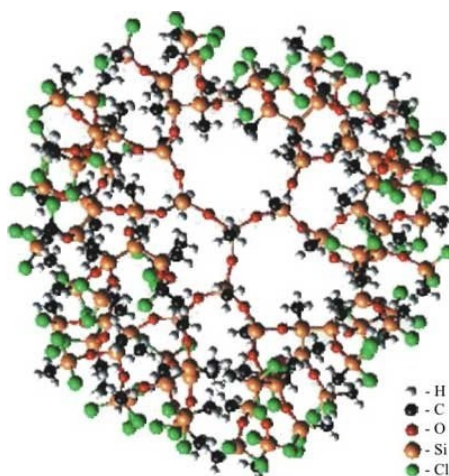


Рисунок 20 – Пример дендромера

Деформация – изменение формы и размеров тела под воздействием приложенных сил. Различают деформацию: а) горячую, возникающую в результате обработки металлов давлением после нагрева заготовки до температуры, при которой процессы рекристаллизации протекают одновременно с деформированием; б) пластическую, влияние которой на форму, структуру и свойства тела остается после снятия вызвавшей ее нагрузки; в) упругую, влияние которой на форму, структуру и свойства тела устраняется после прекращения действия внешних сил.

Диссипация (лат. dissipatio – рассеяние) – процесс необратимого рассеивания (или возврата) энергии, полученной системой при различных процессах (например, при трении).

Диспергирование – раздробление крупных частиц на более мелкие. Приводит к увеличению поверхности раздела, то есть дисперсности, и образованию коллоидных и других дисперсных систем (порошков, суспензий, эмульсий).

Закалка – вид термической обработки, в результате которой в сплавах образуется неравновесная структура: осуществляют нагрев выше критических температур, выдержку при этих температурах с последующим быстрым охлаждением.

Зерно (иногда употребляется термин *кристаллит*) – минимальный объем кристалла, окруженный высокодефектными высокоугловыми границами, в поликристаллическом материале.

Излом – нарушение целостности объекта в результате разрушения.

Износ – изменение размеров, формы, массы и состояния поверхности вследствие разрушения (изнашивания) поверхностного слоя изделия при трении.

Изомеры – химические соединения, одинаковые по молекулярной массе и составу, но различающиеся по строению.

Индентор – тело правильной геометрической формы (шар, конус, трех- и четырехгранная пирамиды), изготовленное из прочных материалов (закаленной

стали, твердого сплава или алмаза) и использующееся для измерения твердости.

Интеркаляция – обратимое внедрение молекул ионов или атомов между молекулами или группами атомов другого типа.

Интерметаллиды – химическое соединение двух или нескольких металлов между собой. Интерметаллиды, как и другие химические соединения, имеют фиксированное соотношение между компонентами. Для интерметаллидов характерна преимущественно металлическая связь между атомами в решётке, однако существуют интерметаллиды с ионным и ковалентным типами химической связи, а также промежуточные случаи (ионно-металлическая и ковалентно-металлическая связь). Интерметаллиды часто являются частным случаем металлидов (при наличии только металлической связи). Обладают, как правило, высокой твёрдостью и высокой химической стойкостью, имеют более высокую температуру плавления, чем исходные металлы. Многие интерметаллиды менее пластичны, чем исходные металлы, и сообщают повышенную хрупкость сплавам, в структуру которых они входят, так как связь между атомами в решётке в них является переходной от металлической к ковалентной или ионной.

Квантовая точка – наноразмерная частица проводника или полупроводника. Её размер должен быть настолько малым (обычно размером $\sim 1-10$ нм), чтобы были существенны квантовые эффекты. Это достигается, если кинетическая энергия электрона, обусловленная неопределённостью его импульса, будет заметно больше всех других энергетических величин. Исторически первыми квантовыми точками были нанокристаллы селенида кадмия.

Квантовая нить – объект нитеобразной формы с поперечными размерами, удовлетворяющими условию размерного квантования. Потенциальная энергия электрона в таком объекте ниже, чем за его пределами, и за счет малых поперечных размеров движение электрона ограничено в двух измерениях. Движение вдоль оси нити остается свободным, в то время как движение в других направле

Керамика – неорганические поликристаллические материалы, получаемые из сформированных минеральных масс (глины и их смеси с минеральными добавками) при высокотемпературном спекании в интервале от 1200 до 2500 °С.

Керметы – это композиционные металлокерамические материалы, представляющие собой гетерогенную композицию одной или нескольких керамических фаз с металлами или сплавами с малой взаимной растворимостью, получаемые спеканием металлических и керамических порошков. Они имеют кристаллическую структуру, в которой дисперсные кристаллы керамики, составляющей до 90 % общего объема, заключены в металлическую матрицу. Керметы сочетают свойства керамик (высокие твердость и сопротивление износу, тугоплавкость, жаропрочность и др.) и металлов (теплопроводность, пластичность.)

Кластер – разновидность наночастиц, представляющая собой аморфную или поликристаллическую наноструктуру, хотя бы один характерный размер которой находится в пределах 1-10 нм. Нанокластер состоит из десятков, сотен или тысяч атомов и обладает определенными свойствами.

Коллоидный раствор *иначе* дисперсная система; золь (англ. colloidal solution или colloidal system) – высокодисперсная система, в которой дисперсионная среда представляет собой жидкость, а размер частиц дисперсной фазы составляет от 1 до 1000 нм.

Композит – многокомпонентный материал, изготовленный из двух или более компонентов с существенно различными физическими и/или химическими свойствами, которые, в сочетании, приводят к появлению нового материала с характеристиками, отличными от характеристик отдельных компонентов и не являющимися простой их суперпозицией. При этом отдельные компоненты остаются таковыми в структуре композитов, отличая их от смесей и твёрдых растворов. В составе композита принято выделять матрицу/матрицы и наполнитель/наполнители. Варьируя состав матрицы и наполнителя, их соотношение, ориентацию наполнителя, получают широкий

спектр материалов с требуемым набором свойств. Композиции, уровень свойств которых реализуется подбором компонентов, являются искусственными. Естественные композиты получаются при естественном структурировании.

Костная ткань – одна из разновидностей плотной соединительной ткани. Костное вещество состоит из органических (оссеин) – 1/3 и неорганических (2/3) (главным образом солей кальция, 95%) веществ.

Коррозия – самопроизвольный окислительно-восстановительный процесс разрушения металлов и сплавов вследствие взаимодействия с окружающей средой.

Легирование (в переводе с латинского *ligare* – «связывать») – это процесс введения в состав материала (металла, сплава, полупроводника) определенных примесей. Применяется легирование для изменения или улучшения физических и химических свойств металлов, сплавов. В особенности, для придания металлам и сплавам повышенной коррозионной стойкости. Металл, подвергшийся легированию, называется легированным. Легирование может быть объемным и поверхностным. Объемное легирование предусматривает введение добавок в весь объем металла. Поверхностное же легирование – введение легирующих добавок только в верхний (поверхностный) слой.

Лектины – белки и гликопротеины, обладающие способностью высокоспецифично связывать остатки углеводов на поверхности клеток, в частности, вызывая их агглютинацию.

Ленгмюра-Блоджетт технология (англ. Langmuir-Blodgett method сокр., LB) – технология получения моно- и мультимолекулярных пленок путем переноса на поверхность твердой подложки пленок Ленгмюра (монослоев амфифильных соединений, образующихся на поверхности жидкости). Метод формирования моно- и мультимолекулярных пленок был разработан Ирвингом Ленгмюром и его ученицей Катариной Блоджетт в 1930-х гг. В настоящее время данная технология, названная методом Ленгмюра–Блоджетт, активно используется в производстве современных электронных приборов. Основная

идея метода заключается в формировании на водной поверхности мономолекулярного слоя амфифильного вещества и последующем его переносе на твердую подложку. В водной фазе молекулы амфифильного вещества располагаются на поверхности раздела «воздух–вода». Для формирования поверхностного мономолекулярного слоя используют сжатие поверхностного слоя с помощью специальных поршней. При последовательном изотермическом сжатии изменяется структура мономолекулярной пленки, которая проходит через ряд двумерных состояний, условно именуемых состояниями газа, жидкого кристалла и твердого кристалла. Таким образом, зная фазовую диаграмму пленки, можно управлять ее структурой и связанными с ней физико-химическими свойствами.

Литьё – технологический процесс изготовления отливок, заключающийся в заполнении литейной формы расплавленным материалом (литейным сплавом, пластмассой, некоторыми горными породами) и дальнейшей обработке полученных после затвердевания изделий.

Материалы – вещества или смесь веществ, из которых изготавливают что-либо или которые способствуют каким либо действиям. Можно различить:

вяжущие материалы – порошкообразные материалы, образующиеся при смешивании с водой в тестообразную массу, которая со временем затвердевает в результате происходящих в ней физико-химических процессов, превращаясь в прочный материал.

гидрофильные материалы – материалы, интенсивно поглощающие молекулы воды из окружающей среды.

гидрофобные материалы – материалы, отталкивающие молекулы воды.

композиционные материалы (композиты) – сложные материалы, в состав которых вводят сильно отличающиеся по свойствам нерастворимые или малорастворимые один в другом компоненты, разделенные в материале ярко выраженной границей.

лакокрасочные материалы – вязкожидкие составы, наносимые на поверхность конструкции тонким слоем (60-600 мкм), который через некоторое

время твердеет и образует пленку, плотно сцепляющуюся с основанием.

магнитомягкие материалы – ферромагнитные материалы, которые намагничиваются до насыщения и перемагничиваются в слабых магнитных полях, характеризующиеся высокими значениями магнитной проницаемости (10^2 - 10^5) и небольшой коэрцитивной силой (напряженность магнитного поля для полного размагничивания).

магнитотвердые (магнитожесткие) материалы – ферромагнитные материалы, которые намагничиваются и перемагничиваются в сильных магнитных полях, характеризующиеся высокой коэрцитивной силой и остаточной магнитной индукцией.

металлические порошковые материалы (металлокерамика) – материалы, изготавливаемые путем прессования металлических порошков в изделия необходимых формы и размеров и последующего спекания сформированных изделий в вакууме или защитной атмосфере при температуре $0,75$ - $0,8 t_{пл}$.

пористые металлические порошковые материалы – материалы, в которых после окончательной обработки сохраняется 10-30 % остаточной пористости.

наноструктурные (нанокристаллические, нанофазные, наноразмерные и т.п.) материалы – объекты с характерным структурным размером менее 100 нм.

пленкообразующие материалы – растворы или расплавы полимеров, а также неорганические вещества, которые наносятся на какую-либо поверхность, и после твердения образуют прочные пленки, хорошо прилипающие к различным материалам.

смазочные материалы – материалы, вводимые на поверхность трения для уменьшения силы трения и (или) интенсивности изнашивания.

Матрикс – ячеистая трёхмерная структура, обладающая упруго-эластичными свойствами и способная удерживать в ячейках дисперсионную среду и частицы дисперсной фазы.

Межзёренная граница – поверхность раздела двух зёрен (кристаллитов)

в поликристаллическом материале. Межзёренная граница является дефектом кристаллической структуры и имеет склонность к понижению электрической проводимости и температуропроводности. Высокая энергия границ и относительно слабая связь в большинстве межзёренных границ часто делает их предпочтительным местом для возникновения коррозии и выделения второй фазы.

Мембрана – тонкая гибкая плёнка или пластинка, обычно закреплённая по периметру.

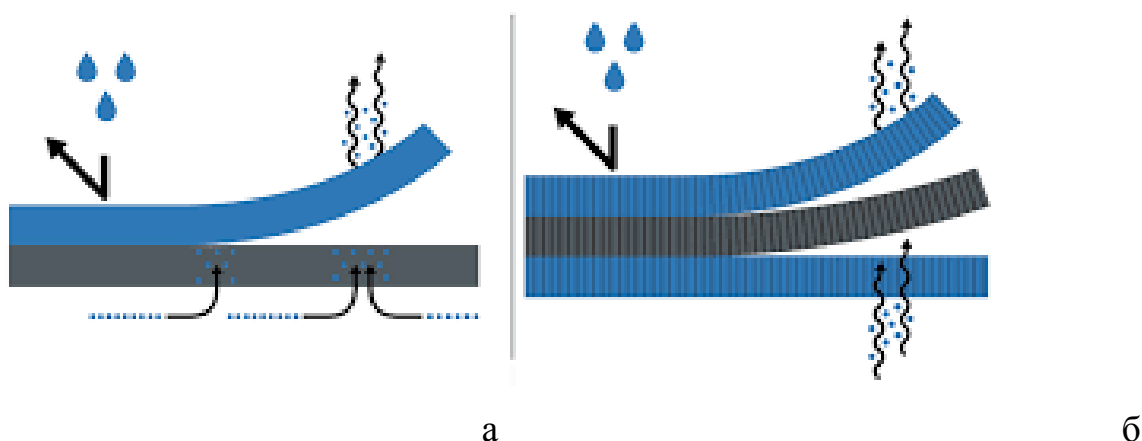


Рисунок 21 – Мембраны: беспорозая (а), микропористая (б)

Метаматериалы – специальные композиционные материалы, которые получают, путём искусственной модификации внедряемых в них элементов. Изменение структуры осуществляется на наноуровне, что дает возможность менять размеры, формы и периоды решетки атома, а также иные параметры материала. Благодаря искусственному преобразованию структуры, модифицированный объект приобретает совершенно новые свойства, которых нет у материалов природного происхождения, а именно, модифицируется магнитная, диэлектрическая проницаемость, а также иные физические показатели выбранного объекта. В результате преобразованные материалы приобретают уникальные оптические, радиофизические, электрические и иные свойства, которые открывают широкие перспективы для развития научного прогресса.

Металлы – определенная группа элементов периодической таблицы

Менделеева, обладающая пластичностью, ковкостью, высокой электропроводностью и теплопроводностью. *Благородные металлы* – серебро, золото, металлы платиновой группы, для них характерна высокая устойчивость против коррозии. *Железные металлы* – железо, кобальт, никель и близкий к ним по свойствам марганец. *Легкие металлы* – металлы, обладающие малой плотностью (бериллий, магний, алюминий). *Редкоземельные металлы* – лантан, церий, неодим, празеодим и др., объединяемые под названием лантаноидов, и сходные с ними по свойствам иттрий и скандий. *Тугоплавкие металлы*, температура плавления которых выше, чем у железа (т.е. 1539 °C). *Урановые металлы* – актиниды, имеющие преимущественное применение в сплавах для атомной энергетики. *Цветные металлы*, имеющие характерную окраску (красную, желтую, белую), обладающие большой пластичностью, малой твердостью, относительно низкой температурой плавления, для них характерно отсутствие полиморфизма; включающие в себя легкие, благородные и легкоплавкие металлы. *Черные металлы* темно-серого цвета, имеющие большую плотность (кроме щелочноземельных), высокую температуру плавления, относительно высокую твердость и во многих случаях обладающие полиморфизмом; включающие в себя железные, тугоплавкие, урановые, редкоземельные и щелочные металлы.

Мицелла (англ. micelle) – отдельная частица высокодисперсной коллоидной системы с жидкой дисперсионной средой, состоящая из ядра и поверхностной стабилизирующей оболочки. Средний размер мицелл составляет от 1 до 100 нм. К мицеллам относят частицы в лиофильных коллоидах (растворах поверхностно-активных веществ). В лиофильных золях мицелла представляет собой ассоциат молекул (агрегаты, состоящие из десятка и сотен амфифильных молекул). В каждой молекуле длинный гидрофобный радикал связан с полярной (гидрофильной) группой. При образовании мицеллы несколько десятков или сотен молекул объединяются так, что гидрофобные радикалы образуют ядро (внутреннюю область), а гидрофильные группы – поверхностный слой мицеллы.

Концентрацию поверхностно-активных веществ в растворе, при которой в системе образуются устойчивые мицеллы, находящиеся в равновесии с неассоциированными молекулами поверхностно-активного вещества, называют критической концентрацией мицеллообразования. Если дисперсионной средой является органическая жидкость, ориентация молекул в мицелле может быть обратной: ядро содержит полярные группы, а гидрофобные радикалы обращены во внешнюю фазу (обратная мицелла).

Металл-органические каркасные структуры (англ. metal-organic frameworks, MOF) – это пористые кристаллические материалы, в которых ионы металла связаны между собой с органическими молекулами. Внутри таких каркасных структур образуются достаточно крупные поры нанометрового размера, в которых могут находиться «гостевые» молекулы. MOF состоит из т.н. неорганических кластеров, которыми, как правило, выступают ионы металлов или иные полиядерные неорганические кластеры, и так называемых органических полифункциональных молекул (именуемых также лигандами или линкерами). Неорганические кластеры связаны с органическими полифункциональными молекулами сильными ковалентными связями. Металл-органические каркасные структуры могут быть одномерными, двумерными или трехмерными. Внешне они выглядят в первом случае как цепочки, во втором – как сетки, в третьем – как каркасы, кристаллические решетки.

Молекулярный дизайн – конструирование новых химических соединений с заданными свойствами с привлечением компьютерных, теоретических и экспериментальных методов. Опирается на имеющиеся сведения о механизме действия химических веществ и/или эмпирического соотношения «структура-свойство». Сформировался в последней четверти 20 века. Одним из наиболее развитых направлений является молекулярный дизайн лекарственных веществ на основе пространственной структуры биологической мишени (как правило, белковой природы – рецептора или фермента) – компьютерное конструирование молекул с характеристиками (геометрическими параметрами, распределением электростатического и

липофильного потенциалов, расположением доноров и акцепторов протонов и т. д.), обеспечивающими наилучшее взаимодействие с такой мишенью.

Молекулярные машины – белковые молекулы или, чаще, макромолекулярные комплексы, образованные с участием белков, которые способны осуществлять направленные движения. Работа таких машин обеспечивает перемещение клеточных структур и органелл (например, расхождение хромосом при клеточном делении), изменение формы клеток, активное перемещение клеток, активный транспорт через мембрану против градиента концентрации, мышечные сокращения, перемещение полимеров вдоль матрицы при синтезе биополимеров подобное. Молекулярная машина, в отличие от макроскопической механической машины, во-первых, маленькая, т.е. подвергается тепловому движению своих собственных частей и внешних молекул, что делает невозможным сбережения механической энергии. Во-вторых, она построена из полимеров, а это значит, что ее частям присуща конформационная подвижность. Однако вследствие того, что молекула белка имеет определенную достаточно жесткую пространственную организацию, конструкция молекулярной машины допускает не любые, а определенным образом направленные в пространстве движения ее частей.

Нанобиотехнология – это область науки на стыке биологии и нанотехнологии. Этот широкий термин обычно используют как в случаях применения нанотехнологических устройств и наноматериалов в биотехнологии, так и при использовании биологических молекул для нанотехнологических целей.

Нановолокно – объект, два характеристических размера которого находятся в нанодиапазоне (от 1 до 100 нм) и существенно меньше третьего размера.

Нанодисперсия – это жидкость, содержащая частицы и агломераты частиц с характерным размером до 100 нм. Такие жидкости представляют собой коллоидные растворы наночастиц в жидком растворителе. Вследствие малых размеров включений такие системы обладают особыми физико-

химическими свойствами.

Нанокapsулы – наночастицы, состоящие из полимерных, липидных или других оболочек, окружающих их внутреннюю полость или содержимое.

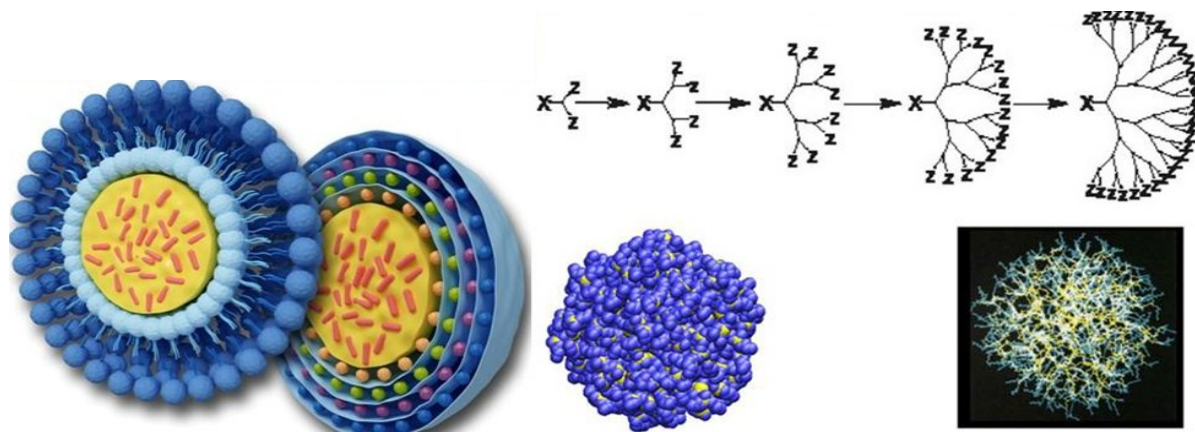


Рисунок 22 – Структура нанокapsул

Нанокристалл – кристалл, размеры которого по одному или нескольким измерениям лежат в нанодиапазоне.

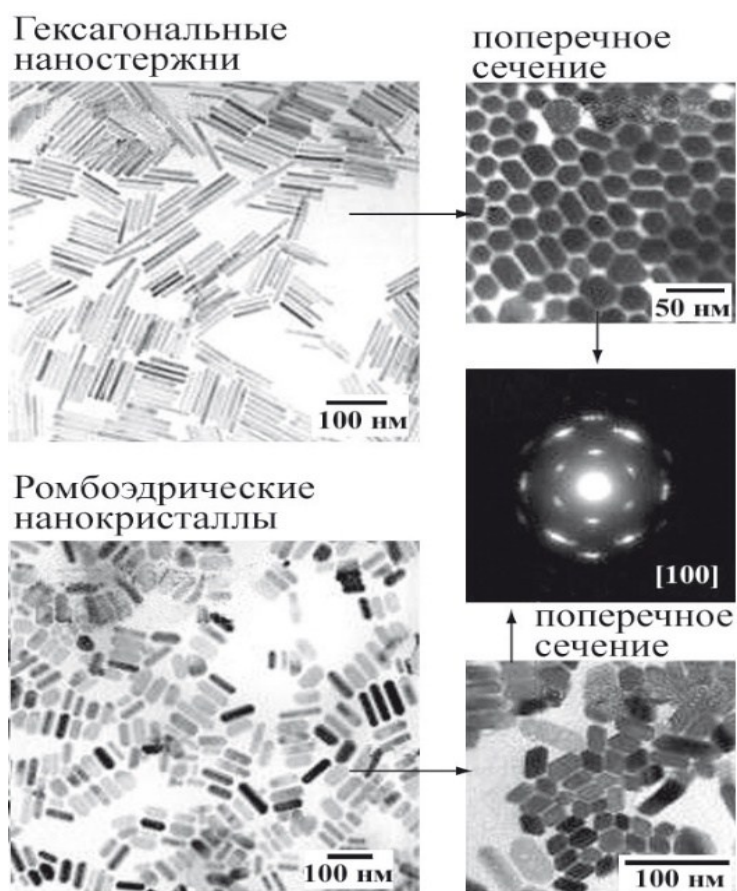


Рисунок 23 – Структуры различных нанокристаллов

Нanomатериалы – материалы, созданные с использованием наночастиц и/или посредством нанотехнологий, обладающие какими-либо уникальными свойствами, обусловленными присутствием этих частиц в материале.



Рисунок 24 – Классификационная схема нанокристаллов

Наномедицина – является одним из активно развивающихся научных направлений медицинской науки и подразумевает: слежение, исправление, генетическую коррекцию и контроль биологических систем организма человека, на молекулярном уровне, используя наноустройства, наноструктуры и информационные технологии.

Нанометрология (англ. nanometrology) – раздел метрологии, включающий разработку теории, методов и инструментов для измерения параметров объектов, линейные размеры которых находятся в нанодиапазоне, то есть от 1 до 100 нанометров.

Наноструктура (англ. nanostructure) – совокупность наноразмерных объектов искусственного или естественного происхождения, свойства которой определяются не только размером структурных элементов, но и их взаимным расположением в пространстве.

Наноструктурные пленки и покрытия – структуры, состоящие из кристаллитов и кластеров с характерным размером от 1 нм до нескольких десятков нм. Обладают уникальными свойствами и многофункциональностью, что проявляется в высоких значениях твердости ($H > 30$ ГПа), величины упругого восстановления ($>70\%$), прочности, термической стабильности, жаростойкости и коррозионной стойкости.

Нанотрубка – топологическая форма наночастиц в виде полого стержня. Впервые возможность образования наночастиц в виде трубок была обнаружена для углерода. В настоящее время подобные структуры получены из нитрида бора, карбида кремния, оксидов переходных металлов и некоторых других соединений. Диаметр нано-трубок варьируется от одного до нескольких десятков нанометров, а длина достигает нескольких микрон

Нанотехнологии – это совокупность методов и приемов, обеспечивающих возможность контролируемым образом создавать и модифицировать объекты, включающие компоненты с размерами менее 100 нм, имеющие принципиально новые качества и позволяющие осуществлять их интеграцию в полноценно функционирующие системы большего масштаба.

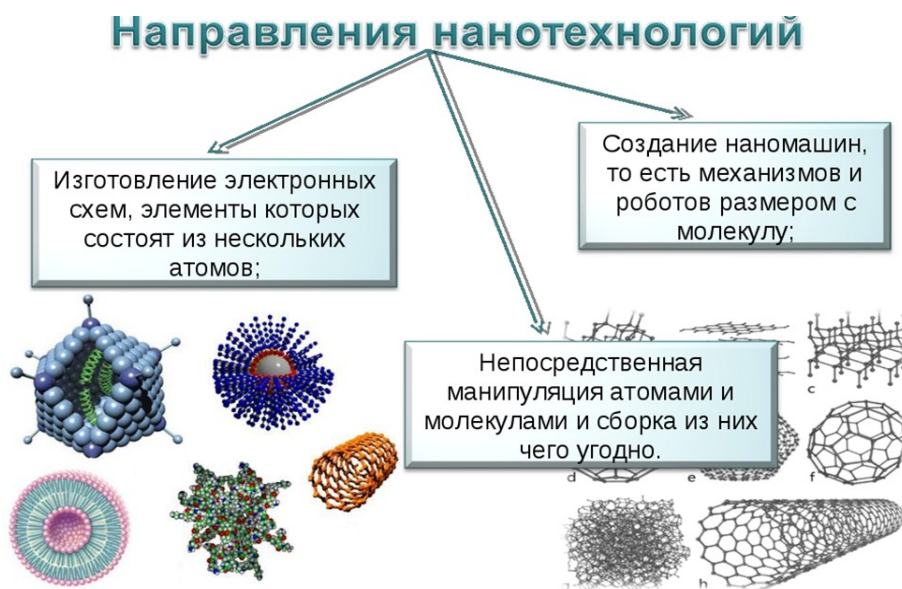


Рисунок 25 – Направления развития нанотехнологий

Наночастица (англ. nanoparticle) – изолированный твердофазный объект, имеющий отчётливо выраженную границу с окружающей средой, размеры

которого во всех трёх измерениях составляют от 1 до 100 нм.

Нанoeлектроника – область электроники, занимающаяся разработкой физических и технологических основ создания интегральных электронных схем с характерными топологическими размерами элементов менее 100 нанометров.

Нуклеиновая кислота – высокомолекулярное органическое соединение, биополимер (полинуклеотид), образованный остатками нуклеотидов.

Нуклеотиды – группа органических соединений, представляют собой фосфорные эфиры нуклеозидов. Свободные нуклеотиды, в частности АТФ, цАМФ, АДФ, играют важную роль в энергетических и информационных внутриклеточных процессах, а также являются составляющими частями нуклеиновых кислот и многих коферментов.

Огнеупоры – материалы преимущественно из минерального сырья, обладающие огнеупорностью не ниже 1580 °С.

Отжиг – процесс, включающий нагрев и выдержку материала при достаточно высокой температуре для приведения его в конечном итоге к пластическому состоянию после охлаждения с соответствующей скоростью, как правило, медленной. В случае железных сплавов требующаяся температура отжига выше критической температуры. Цель отжига может заключаться в том, чтобы облегчить холодную обработку материала, улучшить эффективность инструмента, механические свойства материала и т. п.

Пена – дисперсная система с газовой дисперсной фазой и жидкой или твёрдой дисперсионной средой. Пены по своей природе близки к концентрированным эмульсиям, но дисперсной фазой в них является газ, а не жидкость. Пены получают из растворов поверхностно-активных веществ. Для повышения их устойчивости в растворы ПАВ добавляют высокомолекулярные вещества, повышающие вязкость растворов.

Пластичность – способность материалов изменять свои размеры и форму под действием внешних сил, не разрушаясь при этом.

Полимеры – вещества, состоящие из «мономерных звеньев», соединённых в длинные макромолекулы химическими или координационными

связями. Полимерами могут быть неорганические и органические, аморфные и кристаллические вещества. Количество мономерных звеньев в полимере (степень полимеризации) должно быть достаточно велико (в ином случае соединение будет называться олигомером).

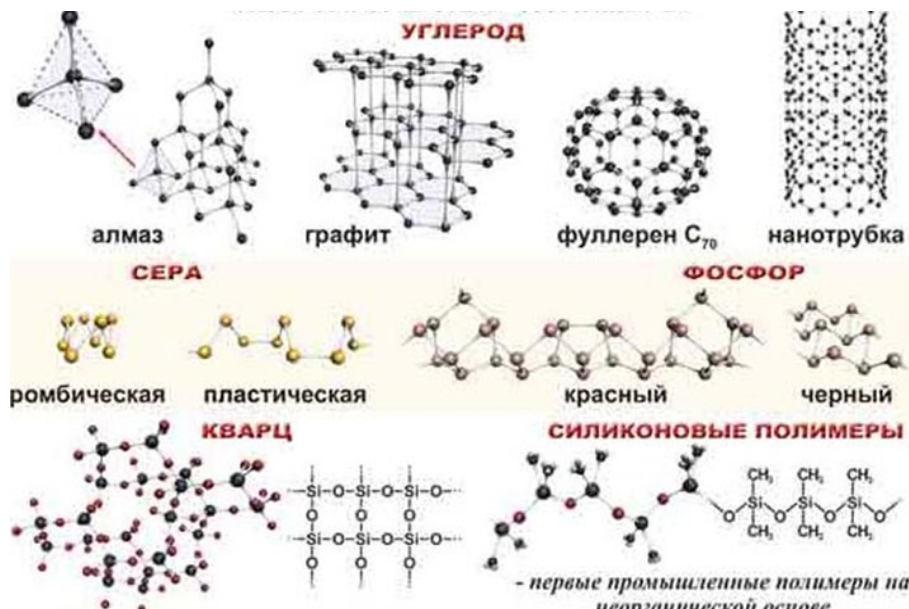


Рисунок 26 – Примеры неорганических полимеров

Пористый кремний – обладает такими важными свойствами, как биосовместимость, биодоступность и способность к биodeградации, что позволяет применять его для решения широкого спектра биологических и медицинских задач в области диагностики и лечения.

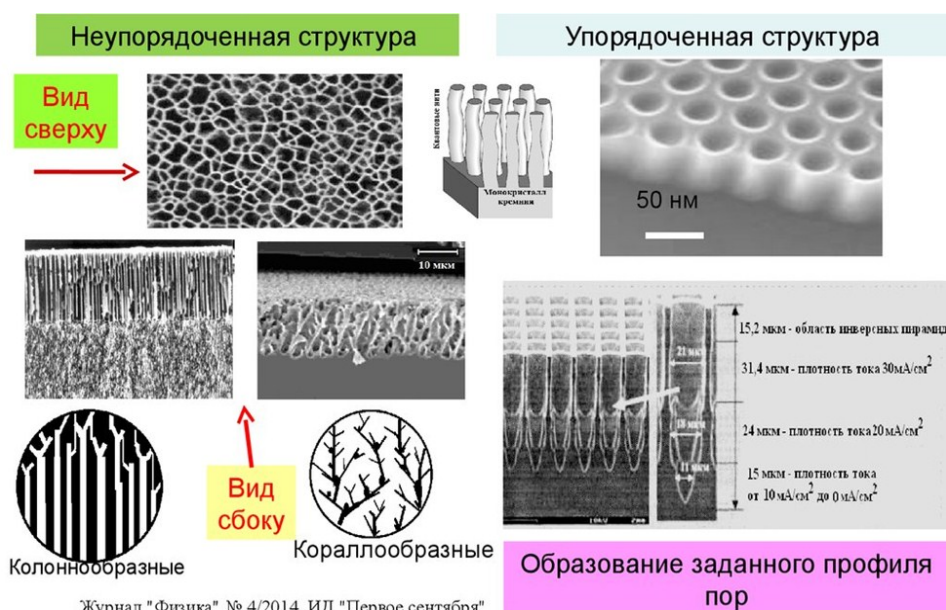


Рисунок 27 – Структура пористого кремния

Прочность – способность материала сопротивляться разрушающему воздействию внешних сил.

Реактопласты – это многокомпонентные полимерные материалы на основе термореактивных полимеров, которые под действием тепла, отвердителей, катализаторов или инициаторов химических реакций переходят в нерастворимое и неплавкое состояние с образованием трехмерной сетчатой структуры.

Регенерация (восстановление) – способность живых организмов со временем восстанавливать повреждённые ткани, а иногда и целые потерянные органы.

Рецептор – объединение из терминалей (нервных окончаний) дендритов чувствительных нейронов, глии, специализированных образований межклеточного вещества и специализированных клеток других тканей, которые в комплексе обеспечивают превращение стимулов внешней или внутренней среды (раздражителей) в нервный импульс.

Самосборка – процесс образования упорядоченной надмолекулярной структуры или среды, в котором в практически неизменном виде принимают участие только компоненты (элементы) исходной структуры, аддитивно составляющие или собирающие, как части целого, результирующую сложную структуру; относится к типичным методам получения наноструктур (наноматериалов). Основная задача, которая стоит при организации процесса самосборки, – это необходимость таким образом повлиять на параметры системы и так задать свойства отдельных частиц, чтобы они организовывались с образованием желаемой структуры. Самосборка, в частности, находится в основе многих процессов супрамолекулярной химии, где «инструкции», как собирать большие объекты, «закодированы» в структурных особенностях отдельных молекул. Возможно, следует отличать самосборку от самоорганизации, которая может быть использована как механизм создания сложных «шаблонов», процессов и структур на более высоком иерархическом уровне организации, чем тот, что наблюдался в исходной системе, за счет

многочисленных и многовариантных взаимодействий компонент на низких уровнях, на которых существуют свои, локальные, законы взаимодействия, отличные от коллективных законов поведения самойупорядочивающейся системы.

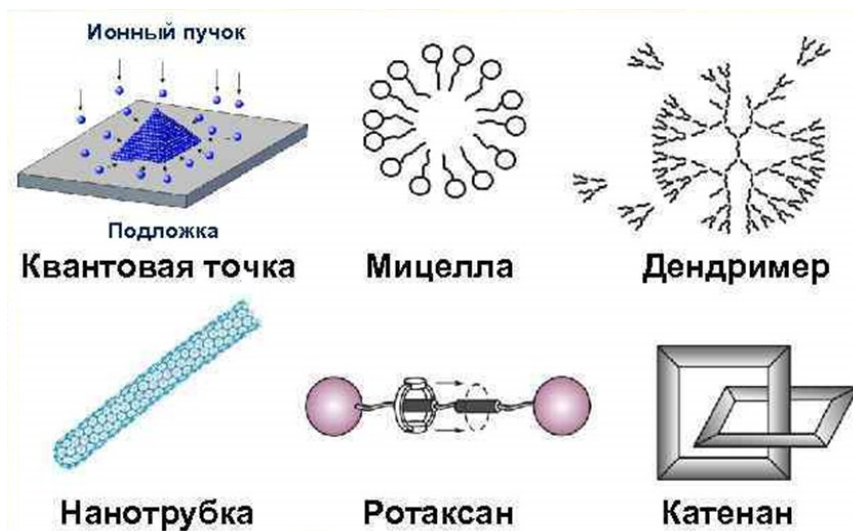


Рисунок 28 – Примеры супрамолекулярных комплексов

Силикаты (от лат. *silex* камень) – класс наиболее распространённых минералов; природные химические соединения с комплексным кремнекислородным радикалом.

Синтез – процесс соединения или объединения ранее разрозненных веществ, молекул или атомов в единое целое.

Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ) представляет собой совокупность большого числа экспериментальных методов по изучению структуры и свойств поверхности, как на микроуровне, так и на уровне отдельных молекул и атомов. Сканирующий зондовый микроскоп измеряет параметры поверхности в небольшой локальной зоне нанометровых размеров вблизи острия зонда. Постепенно перемещая зонд вдоль исследуемой поверхности удастся получить представление о свойствах области, размер которой может быть от сотни нанометров до десятков и сотен микрон.

Создание СЗМ связано с изобретением сканирующего туннельного микроскопа (СТМ) сотрудниками исследовательского отдела фирмы IBM (Цюрихская научная лаборатория, Рюмликон, Швейцария) Гердом Биннигом и

Гейни Рорером в 1981 г. За это достижение в 1986 г. им была присуждена Нобелевская премия по физике. Следующим шагом в развитии СЗМ стало изобретение атомно-силового микроскопа (АСМ), который за счёт регистрации сил межатомного взаимодействия зонда и образца позволил расширить область применения на непроводящие материалы, и впоследствии стал эффективным инструментом измерения сил электромагнитного взаимодействия. Другим направлением в СЗМ стала сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия (СБОМ), основанная на сканировании образца, помещенного в так называемое «ближнее поле», световой волной, проходящей через отверстие с размером меньше длины волны. При этом удаётся достичь разрешения, значительно превышающего разрешение обычного оптического микроскопа. За относительно короткое время семейство методик СЗМ нашло широкое применение в различных областях науки, став одним из самых распространённых для исследования физики поверхности.

Сплавы – это вещества, состоящие из двух или более элементов периодической системы. Получают их с помощью спекания или сплавлением. *Компонент* – вещество, образующее сплав. Если оба компонента теряют свою кристаллическую решётку, и у сплава образуется новая решётка, то это *химическое соединение*. Если один из компонентов сохраняет кристаллическую решётку, а другие её теряют, такие сплавы называются *твёрдыми растворами*. Если оба компонента сохраняют кристаллическую решётку и свойства, то сплавы называются *смесями*. Химические соединения: металлы обладают восстановительными свойствами, а неметаллы – окислительными. Сплавы: стали, чугуны, медные, алюминиевые, магниевые, титановые, оловянистые и свинцовые сплавы.

Твердость – это способность материала сопротивляться проникновению в него другого, более твердого тела индентора во всем диапазоне нагружения: от момента касания с поверхностью и до вдавливания на максимальную глубину. Твердость материала может быть охарактеризована в тех же самых терминах стандартного испытания, включающего в себя вдавливание

индентора (образца материала), например по Бринеллю, Виккерсу или Роквеллу, или царапание поверхности материала, применяемого в испытании по Моосу.

Термопласты (термопластичные полимеры) – это полимеры, которые размягчаются при нагревании и затвердевают при охлаждении. При комнатных температурах термопластичные полимерные материалы находятся в твердом (стеклообразном или кристаллическом) состоянии. При повышении температуры они переходят сначала в высокоэластическое состояние, затем (при дальнейшем нагревании) – в вязкотекучее состояние, что обеспечивает возможность формования термопластов различными методами. Переходы термопластов из твердого в высокоэластичное и вязкотекучее состояния обратимы и могут повторяться многократно, что делает возможной вторичную переработку термопластичных полимеров.

Углепластики (карбопластики, углеродопласты) – это композиты, содержащие в качестве наполнителя углеродные волокна. Этот сравнительно новый класс материалов получил в последние годы наиболее интенсивное развитие благодаря своим уникальным свойствам, а именно, высоким значениям прочности и жесткости, низкой плотности, химической инертности, тепло- и электропроводности, высокой усталостной прочности, низкой ползучести, низким значениям коэффициента линейного термического расширения, высокой радиационной стойкости.

Упругость – свойство материалов восстанавливать свои размеры и форму после прекращения действия нагрузки.

Фаза – пространственно ограниченная и отличная от других частей системы, имеющая свою кристаллическую решетку и свои свойства. Гомогенные вещества имеют одну фазу, а гетерогенные – несколько фаз.

Флуктуация – (от лат. fluctuatio – колебание) – циклическое колебание, нестабильность; отклонение от состояния равновесия, от нормы, любое случайное отклонение какой-либо величины. В квантовой механике – отклонение от среднего значения случайной величины, характеризующей

систему из большого числа хаотично взаимодействующих частиц; такие отклонения вызываются тепловым движением частиц или квантовомеханическими эффектами.

Хитозан – аминосахар. Получают хитозан из хитина из панцирей красноногих крабов или из низших грибов путём удаления ацила (карбонового соединения), который придаёт жёсткость хитину.

Хрупкое разрушение – разрушение, при котором трещина зарождается и распространяется до некоторой значительной пластической деформации. Поверхность металла при хрупком разрушении блестит, а ее зернистость обусловлена отражением света от отдельных кристаллов. В полимерных материалах поверхность излома может быть гладкой и зеркальной или отчасти расколотой и неровной.

Цеолиты – большая группа близких по составу и свойствам минералов, водные алюмосиликаты кальция и натрия из подкласса каркасных силикатов, со стеклянным или перламутровым блеском, известных своей способностью отдавать и вновь поглощать воду в зависимости от температуры и влажности.

Чугун – сплав железа с углеродом, который содержат 2,14-6,67 % углерода и постоянные примеси или специально вводимые легирующие элементы.

Эвтектика – хорошо организованная механическая смесь двух (или более) видов кристаллов, имеющая минимальную температуру плавления.

Электропроводность – способность тела (среды) проводить электрический ток, свойство тела или среды, определяющее возникновение в них электрического тока под воздействием электрического поля. Также физическая величина, характеризующая эту способность и обратная электрическому сопротивлению.

Эмульсия (новолат. emulsio, от лат. emulgeo – дою, выдаиваю) дисперсная система с жидкой дисперсионной средой и жидкой дисперсной фазой. Эмульсии являются обычно грубодисперсными системами, у которых капельки дисперсной фазы имеют размеры от 1 до 50 мкм. Эмульсии состоят из

несмешиваемых жидкостей, причем если одна из жидкостей является полярной (например, вода), то вторая – неполярная или малополярная (например, органическая жидкость). Например, молоко – одна из первых изученных эмульсий, в нём капельки жира распределены в водной среде. Эмульсии низкой концентрации – неструктурированные жидкости. Высококонцентрированные эмульсии – структурированные системы.

Эндоэдральные фуллерены – молекулы фуллеренов (молекулярных соединений, принадлежащих классу аллотропных форм углерода) в клетку которых заключены один или несколько атомов или молекул. Такие соединения обозначаются формулой $M_m@C_n$, где M – инкапсулированный атом или молекула.

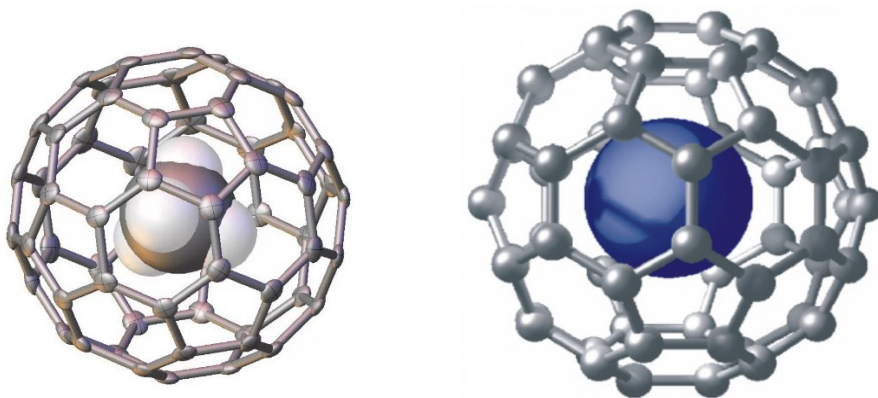


Рисунок 29 – Примеры эндофуллеренов

Эпитаксия – ориентированный рост одного кристалла на поверхности другого (подложки). Различают гетероэпитаксию, когда вещества подложки и нарастающего кристалла различны, и гомоэпитаксию (автоэпитаксию), когда они одинаковы. Ориентированный рост кристалла внутри объёма другого называется эндотаксией. Эпитаксия наблюдается при кристаллизации, коррозии.

Эталон – средство измерений (или комплекс средств измерений), обеспечивающее воспроизведение и хранение единицы физической величины для передачи её размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений, выполненное по особой спецификации и официально утверждённое в качестве эталона.

Эффект памяти формы – явление возврата к первоначальной форме при нагреве, которое наблюдается у некоторых материалов после предварительной деформации.

7 Тесты для самопроверки

7.1 Классификация современных материалов

1. Все твердые тела делятся на:
 - а) аморфные и кристаллические;
 - б) монокристаллические и поликристаллические;
 - в) аморфные и монокристаллические.
2. Способность вещества существовать в различных кристаллических модификациях называется:
 - а) изомерия;
 - б) анизотропия;
 - в) полиморфизм.
3. Вещество, в состав которого входят два и более компонентов, называется:
 - а) металлическим;
 - б) кристаллическим;
 - в) многофазным.
4. К основным трем классам современных материалов относят:
 - а) природные, композитные и керамические;
 - б) металлические, керамические и полимерные;
 - в) аморфные, металлические и органические.
5. Классификацию функциональных материалов с учётом свойств проводят по:
 - а) областям применения;
 - б) химическим и фазовым составам;
 - в) по плотности и прочности.
6. К самым пластичным материалам относят:
 - а) металлы и сплавы;

б) керамику;

в) полимеры.

7. К полимерам относят:

а) мицеллы и фуллерены;

б) жидкие кристаллы и стекла;

в) полиэтилены и полистиролы.

8. Основные типы фаз в твердом состоянии называются:

а) химические соединения, твердые растворы, механические смеси;

б) механические смеси, поликристаллы и частицы;

в) твердые растворы, аморфные тела и фазы.

9. К нанобъектам относят:

а) фуллерены, нановолокна;

б) порошки, частицы;

в) зерна, поликристаллы.

10. К порошкам относятся системы, состоящие из частиц размерами:

а) менее 1 мм;

б) около 1 см

в) более 5 дм.

11. К природным материалам относят:

а) резины и каучуки;

б) дерево и глины;

в) керамику и металлы.

12. Гетерогенные системы, полученные из двух и более компонентов (фаз), значительно различающихся по свойствам, разделенных ярко выраженной границей, называются:

а) полимеры;

б) композиты;

в) импланты.

13. Основы современного материаловедения зародились на стыке наук:

а) физики и химии;

- б) химии и биологии;
- в) физики и медицины.

14. Удельной поверхностью частицы называется:

- а) площадь поверхности частицы, отнесенная к единице объема;
- б) полная поверхность частицы;
- в) объем частицы, отнесенный к поверхности.

15. керамические материалы относятся к:

- а) неорганическим;
- б) органическим;
- в) аморфным.

7.2 Методы исследования материалов

1. Методы исследования структуры и свойств материалов делят на два основных вида:

- а) оптические и механические;
- б) разрушающие и неразрушающие;
- в) механические и химические.

2. К структурному микроуровню относят объекты размерами:

- а) менее 1 нм;
- б) менее 1 мм;
- в) менее 1 мкм.

3. Простейшим неразрушающим методом изучения твердотельных объектов размерами более 1 мкм является:

- а) оптическая микроскопия;
- б) рентгеноспектральный анализ;
- в) инфракрасная спектрометрия.

4. Неправильная форма кристаллитов, искривленные границы, трещины и тройные стыки зерен относят к:

- а) макродефектам структуры;
- б) мезодефектам структуры;

в) микродефектам структуры.

5. Рентгенофазовый анализ определяет:

а) элементный состав вещества;

б) физические свойства вещества;

в) типы элементарных ячеек вещества

6. Наиболее распространенный дифракционный метод исследования веществ:

а) рентгенография;

б) электронография;

в) нейтронография.

7. Электронная микроскопия – это метод исследования структур имеющих размеры :

а) нанометры;

б) микрометры;

в) миллиметры.

8. Основной принцип рентгенофазового анализа, заключающийся в том, что дифракционные пики принадлежат:

а) только монокристаллам;

б) всем кристаллическим фазам;

в) аморфным и кристаллическим фазам.

9. Интенсивность излучения пропорциональна:

а) амплитуде длины волны;

б) квадрату амплитуды волны;

в) квадрату периода волны.

10. Длина волны ИК-излучения должна быть меньше:

а) 3 нм;

б) 3 мм;

в) 30 мкм.

11. Чувствительность прибора – это:

а) минимальное изменение параметра, который определяет прибор;

- б) точность измерений прибора;
 - в) способность приборов давать раздельное изображение двух близких друг к другу точек объекта.
12. Укажите современную градацию структурных уровней материалов:
- а) мега- макро и микроуровни;
 - б) микро- субмикроуровни;
 - в) макро-мезо- и микроуровни.
13. Объектами исследования в методах оптической микроскопии являются:
- а) атомы и молекулы;
 - б) зерна и границы зерен;
 - в) внешние параметры объекта.
14. Электронная микроскопия относится к методами:
- а) прямым, неразрушающим;
 - б) прямым, разрушающим;
 - в) косвенным, разрушающим.
15. Рентгенофазовый анализ относится к методами:
- а) прямым, неразрушающим;
 - б) прямым, разрушающим;
 - в) косвенным, разрушающим.

7.3 Металлы, стали и сплавы в медико-биологической практике

1. Кубическую гранецентрированную решетку имеют металлы:
- а) алюминий, медь, никель, свинец;
 - б) хром, молибден, ванадий;
 - в) магний, цинк, графит.
2. Металлические хирургические инструменты, как правило, изготавливают из:
- а) медных сплавов;
 - б) нержавеющей стали;
 - в) армированной керамики.
3. Металлы и сплавы теряют свою работоспособность при температурах выше:

- а) 200 °С;
- б) 1200 °С;
- в) 2000 °С.

4. К наиболее важным цветным металлам относятся:

- а) алюминий, медь, магний, никель, титан;
- б) хром, молибден, ниобий, тантал;
- в) железо, кремний, свинец, бериллий.

5. Бронзы и латуни относятся к сплавам:

- а) меди;
- б) железа;
- в) никеля.

6. К тугоплавким металлам относятся:

- а) вольфрам, молибден, хром;
- б) медь, никель, алюминий;
- в) натрий, бериллий, железо.

7. Внесение в материал примесей, необходимых для улучшения структуры, называется:

- а) армированием;
- б) растворением;
- в) легированием.

8. Явление разрушения металла в результате взаимодействия с окружающей средой называется:

- а) коррозия;
- б) жаростойкость;
- в) жаропрочность.

9. Основные функциональные характеристики металлов и сплавов:

- а) прозрачность и пористость;
- б) прочность и пластичность;
- в) плохая тепло- и электропроводность.

10. Сталями называются сплавы на основе:

- а) алюминия;
- б) меди;
- в) железа.

11. Виды механического разрушения разделяют на:

- а) хрупкий, вязкий и смешанный;
- б) быстрый, медленный и средний;
- в) простой, сложный, средний.

12. Химическое соединение двух или более металлов с высокой твердостью и химической стойкостью называется:

- а) сплав;
- б) твердый раствор;
- в) интерметаллид.

13. Сплав железа с углеродом (от 2,14 до 6,67 % углерода) называют:

- а) чугун;
- б) композит;
- в) бронза.

14. Инструментальные материалы должны обладать в первую очередь:

- а) высокой плотностью, пластичностью, теплопроводностью;
- б) высокой твердостью, прочностью, износо-и теплостойкостью;
- в) высокой тепло- и электропроводностью, пористостью.

15. Технологический процесс изготовления металлических заготовок, заключающийся в заполнении предварительно изготовленной литейной формы, называется:

- а) спеканием;
- б) литьем;
- в) плавлением.

7.4 Керамика, композиты и пластмассы в биотехнических системах

1. Любой композит – это сочетание:

- а) поликристаллов и аморфных тел;

б) органических и неорганических компонент;

в) матрицы и наполнителя.

2. Пластмассы по поведению при изменении температуры делят на:

а) каучуки и полимеры;

б) термопласты и реактопласты;

в) пенопласты и полимеры.

3. Большинство пластмасс нельзя использовать при температурах выше:

а) 1000 °С;

б) 500 °С;

в) 200 °С.

4. Неметаллы имеют преимущественно следующие типы химических связей:

а) молекулярные и металлические;

б) ковалентные и ионные;

в) слоистые и водородные.

5. Керамика по химическому составу делится на два основных класса:

а) кислородную и бескислородную;

б) карбидную и нитридную;

в) сульфидную и фторидную.

6. Современные виды керамики по применению делят на две группы:

а) конструкционную и функциональную;

б) пористую и плотную;

в) прочную и пластичную.

7. Керметы – это:

а) полимерно-аморфные материалы;

б) керамико-металлические материалы;

в) газонаполненные материалы.

8. Пены – это:

а) газонаполненные материалы;

б) наполненные органические полимеры;

в) дисперсно-упрочненные материалы.

9. Наибольшей биологической совместимостью в качестве имплантов обладают:

- а) полимеры;
- б) металлы;
- в) керамики.

10. В качестве костных имплантов наиболее перспективными считают:

- а) нержавеющей сталь;
- б) пластмассы;
- в) гидроксиапатиты.

11. Способ синтеза материалов посредством компактирования и спекания порошков называется технологией:

- а) литейной;
- б) порошковой;
- в) лазерной.

12. Пластмассы, удобные для переработки в изделия, имеющие высокую упругость и пластичность, называются:

- а) реактопласты;
- б) термопласты;
- в) полимеры.

13. Составной многокомпонентный материал, состоящий из матрицы, армированной наполнителями, называется:

- а) композит;
- б) сплав;
- в) твердый раствор.

14. Вещество, характеризующееся многократным повторением одного или нескольких составных звеньев, соединенных между собой, называется:

- а) полимер;
- б) диэлектрик;
- в) пластмасса.

15. К пластмассам относятся следующие материалы:

- а) карбиды, нитриды и оксиды металлов;
- б) композиты, керметы, стекла;
- в) полиэтилен, поливинилхлорид, полистирол.

7.5 Наноматериалы

1. Нанокapsулы представляют собой:

- а) молекулярное соединение, представляющее собой выпуклые замкнутые многогранники, составленные из трёхкоординированных атомов углерода;
- б) наночастицу, состоящую из полимерной, липидной или другой оболочки, окружающей её внутреннюю полость или содержимое;
- в) это аллотропная модификация углерода, представляющая собой полую цилиндрическую структуру.

2. Наночастицы подразделяются по форме и размерам на:

- а) одномерные, двумерные и трехмерные;
- б) крупные, средние и мелкие;
- в) игольчатые, пластинчатые и сферические.

3. Основные области применения наноматериалов в медицине:

- а) искусственные органы и ткани;
- б) стимулирующие добавки и витамины;
- в) защита от радиологического воздействия.

4. Наноструктурированный керамический материал, используемый в медицине для восстановления поврежденных твёрдых тканей, называется:

- а) керметом;
- б) имплантом;
- в) биокерамикой.

5. Композит фосфатно-кальцевая керамика+биополимер является:

- а) новым видом медицинского инструментария;
- б) матриксом, моделирующим костную ткань;
- в) имплантом для мягких тканей живого организма.

6. Композиционный материал, свойства которого обусловлены не столько свойствами составляющих его элементов, сколько искусственно созданной периодической структурой, называется:

- а) наноматериал;
- б) метаматериал;
- в) полиматериал.

7. Технология создания нового материала путём объединения существовавших ранее компонентов называется:

- а) плавлением;
- б) синтезом;
- в) обжигом.

8. Полимерные композиционные материалы из переплетённых нитей углеродного волокна, расположенных в матрице из смол, называются:

- а) полистиролы;
- б) углепластики;
- в) керметы.

9. Основные достоинства углепластиков:

- а) малая плотность и способность пропускать рентгеновские лучи;
- б) высокая плотность и прочность;
- в) малая прочность и плотность.

10. Микроструктурный уровень охватывает изучение дефектов в интервале:

- а) 10^{-10} - 10^{-7} м;
- б) 10^{-7} - 10^{-3} м;
- в) 10^{-3} - 10^{-1} м.

11. К наноматериалам относят:

- а) молекулы и атомы;
- б) тонкие пленки, аморфные сплавы;
- в) метаматериалы.

12. Объект размерами не более 100 нм, состоящий из ионов, атомов или молекул и отличающийся по свойствам от массивного аналога, называется:

- а) частица;
- б) вещество;
- в) наночастица.

13. Частица, которая при изменении размеров изменяет физические свойства, называется:

- а) наночастицей;
- б) молекулой;
- в) атомом.

14. Фуллерены – это форма существования:

- а) кислорода;
- б) углерода;
- в) водорода.

15. Топологическая форма наночастиц в виде полого стержня имеет вид:

- а) нанотрубки;
- б) нанокapsулы;
- в) нанокристаллы

Список использованных источников

1. Андриевский, Р. А. Наноструктурные материалы: учеб. пособие / Р. А. Андриевский, А. В. Рагуля. – М.: Академия, 2005. – 117 с.
2. Бердинский, В. Л. Кристаллофизика [Текст] : учебное пособие для студентов, обучающихся по программам высшего образования по направлениям подготовки 03.04.02 Физика и 04.04.01 Химия / В. Л. Бердинский, О. Н. Каныгина, А. Г. Четверикова; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т". – Оренбург : ОГУ, 2016. – 105 с. – ISBN 978-5-7410-1617-6.
3. Большая Российская энциклопедия. – М. : Научное издательство, «Большая Российская энциклопедия», 2005. Зефилов, Н. С. Химическая энциклопедия / Н. С. Зефилов. – М. : Большая Российская энциклопедия. – 1995. – Т. 4. – 639 с.
4. Брокгауз, Ф. А. Энциклопедический словарь / Ф. А. Брокгауз, И. А. Ефрон. – М. : Издательство «Русское слово», 1996. – 5547 с.
5. Верещагин В.И., Хабас Т.И., Кулинич Е.А., Игнатов В.П. Химическая технология. Керамические и стеклокристаллические материалы для медицины.: Учебное пособие для магистратуры / В.И.Верещагин и др. – М.: Изд-во Юрайт, 2016. – 147 С. – Серия: Университеты России.
6. Гусев, А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И. Гусев. – 2-е изд. испр. – М.: Физматлит, 2009. – 435 с.
7. Дендримеры и их применение в биологии и медицине / Д. Г. Щербин, Б. Клайнерт, М. Брышевска // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук. 2010. № 2. С. 109-120. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34901494>
8. Елисеев, А.А. Функциональные наноматериалы / А.А. Елисеев, А.В. Лукашин. – М. : Физматлит, 2010. – 454 с. – ISBN 978-5-9221-1120-1.
9. Иванова, В.С. Введение в междисциплинарное наноматериаловедение / В. С. Иванова. – М.: «Сайнс-Пресс», 2005. – 208 с.

10. Измеров, Н.Ф. Нанотехнологии и наночастицы – состояние проблемы и задачи медицины труда / Измеров Н.Ф., Ткач А.В., Иванова Л.А. // Медина труда и промышленная экология, 2007, № 8, С.1-4. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12175307>
11. Каныгина, О. Н. Физические методы исследования : учеб. пособие / О. Н. Каныгина, А. Г. Четверикова, В. Л. Бердинский. – Оренбург. : ОГУ, 2015. – 142 с. – ISBN 978-5-7410-1222-2.
12. Керамические и композиционные материалы на основе фосфатов кальция для медицины / Баринов С.М. // Успехи химии. 2010. Т. 79. № 1. С. 15-32. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12993386>
13. Ковнеристый, Ю. К. Объемно-аморфизирующиеся металлические сплавы и наноструктурные материалы на их основе / Ю. К. Ковнеристый // Металловедение и термическая обработка, 2005. – №7. – С. 14-16.
14. Лахтин, Ю. М. Материаловедение [Текст] : учебник для высших технических учебных заведений / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – 3-е изд., стер. - Москва: Альянс, 2014. – 528 с.: ил. – Библиогр.: с. 520. – Предм. указ: с. 521-523. – ISBN 978-5-91872-012-7.
15. Марков, В.Ф. Материалы современной электроники : учебное пособие / В.Ф. Марков, Х.Н. Мухамедзянов, Л.Н. Маскаева ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2014. – 272 с. : схем., ил. – ISBN 978-5-7996-1186-6.
16. Материаловедение и технология материалов: Учебник / Г.П. Фетисов, Ф.А. Гарифуллин. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. – 397 с.: 60x90 1/16. – (Высшее образование: Бакалавриат). (переплет) ISBN 978-5-16-006899-2, 200 экз. Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=413166>
17. Мини-словарь толкования основных терминов по дисциплине «Материаловедение» / Владим. гос. ун-т; Сост.: Л.В.Картонова. Владимир. – 32 с.

18. Муслов С.А. Металлы медицинского назначения и их упругие свойства // Современные наукоемкие технологии. – 2007. – № 8. – С. 64-66; URL: <http://top-technologies.ru/ru/article/view?id=25236>
19. Третьяков Ю.Д., Путляев В.И. Введение в химию твердофазных материалов. М.: Наука, 2006. – 400с., ISBN 5-211-06045-8.
20. Нанотехнологии. Ударный вводный курс [Текст] : учебное пособие / Р. Х. Мартин-Пальма, А. Лахтакия; пер. с англ.: Е. Г. Заблоцкой, А. В. Заблоцкого. – 2-е изд. – Долгопрудный : Интеллект, 2017. – 208 с. : ил. – Библиогр. в конце гл. – ISBN 978-5-91559-238-3.
21. Никитин В.С. Технологии будущего /В.С. Никитин. Москва : РИЦ «Техносфера», 2010. – 264. – ISBN 978-5-94836-256-4.
22. Политика и позиции России в нанотехнологиях: среднесрочный взгляд / Александр Терехов // Экономические стратегии, 2017. – № 7. – С. 132-140.
23. Третьяков Ю.Д., Путляев В.И. Введение в химию твердофазных материалов. М.: Наука, 2006. – 400с., ISBN 5-211-06045-8.
24. Химия: справочные материалы: книга для учащихся / Ю. Д. Третьяков, Н. Н. Олейников, Я. А. Кеспер, И. В. Казимирчик. – М. : Просвещение, 1989. – 224 с. – ISBN: 5-09-002946-6.
25. Экология наноматериалов [Текст] : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 152200 "Наноинженерия" / А. Ю. Годымчук, Г. Г. Савельев, А. П. Зыкова; под ред. Л. Н. Патрикеева, А. А. Ревинной. - Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2017. – 272 с. : ил. – (Нанотехнологии). – Библиогр. в конце гл. – ISBN 978-5-9963-0523-1.
26. Biodegradable polymer materials for medical applications: from implants to organs / Gomzyak V., Демина В, Разуваева Е, Sedush N., Chvalun S. // Fine Chemical Technologies, 2017, V. 12, P. 5-20. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/321097770_Biodegradable_polymer_materials_for_medical_applications_from_implants_to_organisms.