Методические рекомендации к модулю “Наноматериалы и Космос”

Введение. Актуальность и образовательные задачи

Актуальность

Тема освоения Космического пространства человечеством в последние годы заиграла новыми красками. Снова человечество обратило внимание на практически безграничные в масштабе нашей Вселенной рубежи и строит новые планы по освоению Космоса человеком при участии хорошо оснащенных космонавтов и фантастической робототехники. Вполне естественно, что в этом вопросе все больше и больше значение приобретает разработка новых классов материалов для успеха космической миссии Человечества.

Если задуматься о жизненно необходимых вещах для межпланетного путешествия, то, в первую очередь, важно вспомнить о теплоизоляционных материалах, которые были бы способны сохранить тепло (энергию) на космическом корабле. Важной задачей для современной космической станции является возможность аккумулировать энергию Солнца – практически единственного освоенного человеком источника энергии в межзвездном пространстве. Актуальны вопросы быстрой передачи сигнала с борта на Землю или между космическими объектами. В перспективе, может стать актуальной задачей маскировки космических объектов.

О самых новых идеях нанотехнологов и материаловедов для космических программ можно узнать из образовательного модуля «Наноматериалы и Космос». В фокусе модуля фотонные кристаллы и сверхлегкие материалы, солнечные панели и нанокристаллические материалы для просветления оптики.

Основные образовательные задачи для учащихся:

На предметном материале модуля познакомиться и освоить базовые нормы исследовательской и проектной деятельности, необходимые для проведения в дальнейшем самостоятельных исследований, проведение инженерно-конструкторских и инженерно-технологических работ проектного характера.

Получить опыт решению прикладных задач исследовательского и проектного характера посредством обсуждения проблемных вопросов, совместных дискуссий, проведения экспериментов и посредством разработки элементов устройств.

Познакомиться с фундаментальными принципами, лежащими в основе создания солнечных элементов, технологиями формирования пленочных сэндвичевых структур, самостоятельно получить полупроводниковые пленки материалов в форме наностержней для фотоанода.

Познакомиться с современными методами полупроводниковых солнечных панелей, в том числе самостоятельно выполнить работы по качественному анализу состава коммерческого образца солнечного элемента.

Познакомиться с современными методами получения пористых веществ и материалов, в том числе провести синтез гелей и аэрогеля, осуществить оценку плотности и оптических свойств полученных материалов, сравнить содержание воды в полученных образцах гравиметрически. В группах провести локальное исследование, направленное на исследование влияния состава раствора на состав и пористость конечного продукта.

Познакомиться с разнообразием фотоннокристаллических систем. С применением зондового микроскопа провести оценку шероховатости поверхности пленки.

Разработать проект коммерциализации перспективного материала в аэрокосмической программе. Получить опыт подготовки и участия в кратких устных выступлениях по теме своей проектной задачи.

Тема 1. Солнечные панели и антиотражающие покрытия

Вводная информация (5 минут)

В рамках данного модуля будут рассмотрены лишь некоторые примеры научных направлений из сферы нанотехнологий, являющихся актуальными дл освоения космического пространства и иных стратегически важных направлений развития.

Учащимся предлагается в течение первого дня объединиться в рабочие группы (команды) по 4-5 человек для разработки инновационного проекта в данной тематике. Приветствуются оригинальные идеи. Если оригинальной идеи не возникло, группе предлагается сосредоточить внимание на технологиях создания солнечных панелей, теплоизоляционных, сорбционных материалах или материалах для фотоники, рассматриваемых далее в рамках учебного модуля.

Этап 1. Солнечные панели: для Космоса и для повседневной жизни

В настоящее время солнечные батареи являются одним из наиболее динамично развивающихся источников энергии. Еще большее значение их применение приобретает в космическом пространстве, где по разным причинам использование других источников затруднено. Большое значение при этом получают методики повышения эффективности устройств, для чего, в свою очередь, требуется модификация солнечных ячеек на наноуровне.

Шаг 1. (5 минут)

Учащимся предлагается самостоятельно изучить фотографии в лабораторном журнале и классифицировать типы солнечных панелей по месту их применения. Педагог помогает выстроить четкую классификацию. В итоге, зафиксированное на доске/флипчарте может выглядеть так:

1. Классификация по прозрачности: прозрачные (вид умных стекол) и непрозрачные.
2. Место монтажа: космическая станция, умный дом, открытая местность (пустыня/поле), водоем.
3. Производительность, степень конверсии (из фотографий не очевидна)
4. Себестоимость.

Этап 2. Основные представления о принципе работы солнечных ячеек

Шаг 1. (15 минут)

Для того, чтобы разобраться, каков принцип работы солнечной батарейки в вашем калькуляторе, нужно вспомнить немного теории.

Учащимся предлагается вспомнить или впервые изучить схему зонной структуры металлов, диэлектриков и полупроводников. Педагог предлагает самостоятельно сформулировать определения для этих трех типов материалов, используя понятие запрещенной зоны.

Педагог дает пояснения относительно причины перехода от дискретной модели к зонной, столь существенных различий в величинах ширины запрещенной зоны для металлов и диэлектриков.

Завершается этап обсуждением понятия p-n-перехода. Учащиеся зарисовывают в журнале его зонную схему.

Шаг 2. (5 минут)

Солнечные ячейки. Учащимся предлагается самостоятельно рассмотреть схему зонной структуры солнечного элемента, сравнить со схемой p-n-перехода и сообщить, какими дополнительными свойствами должны обладать материалы, чтобы получился не обычный диод, а солнечный элемент. Речь о прозрачности одного из компонентов и способности системы к генерации электронно-дырочной пары (см. схему в лаб.журнале учащегося).

Шаг 3. (5 минут)

Учащимся предлагается прочитать в лабораторных журналах текст о причинах снижения эффективности солнечных панелей на космических станциях. Основные идеи, в пересказе слушателей, фиксируются на доске/флипчарте. Далее зачитываются другие причины, приведенные далее в лабораторном журнале в виде списка.

Обсуждаются потери энергии при их использовании и методы их снижения. Список факторов, отрицательно влияющих на эффективность солнечных панелей, приведен в лабораторном журнале учащегося (этап 2, шаг 3).

Этап 3. Получение пленок n-проводящих ориентированных наностержней ZnO в качестве компонентов солнечных ячеек

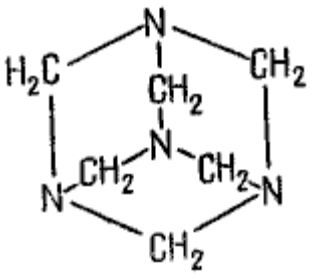
Шаг 1. (10 минут)

Вводится понятие антиотражающего покрытия. По материалам в лабораторном журнале слушатели знакомятся с возможной геометрией конусов, их расположением при максимальном замощении, эффективности отражения (величине коэффициента отражения) для различных соотношений высоты пирамиды к параметру ее основания.

(перерыв)

Шаг 2. (5 минут). Получение пленок n-проводящих ориентированных наностержней ZnO в качестве компонентов солнечных ячеек

Учащимся предлагается разделиться на несколько групп по 4-5 человек в каждой. Вниманию учеников предлагается методика синтеза наностержней ZnO (подробное описание в рабочей тетради), заключающаяся в приготовлении раствора нитрата цинка и уротропина. Каждый шаг синтеза сопровождается комментариями, затем демонстрируется формула уротропина и дается задание подумать о его роли в реакции. Концентрацию уротропина предлагается варьировать от группы к группе.



($C_6H_{12}N_4$)

Формула уротропина

Вариантом ответа на вопрос о роли уротропина в реакции может быть указание на его склонность к гидролизу с образованием аммиака и формальдегида, что, в свою очередь, способствует смещению равновесия «вправо» в реакции гидролиза нитрата цинка. Для учеников, которым неизвестно понятие гидролиза, следует написать уравнение гидролиза Zn^{2+}.

Учащиеся переносят схему синтеза в рабочую тетрадь, затем за небольшое время происходит обсуждение в группах заданного вопроса, каждая группа представляет свой вариант ответа.

Шаг 3. (20 минут)

Разделившимся по группам ученикам предлагается приготовить растворы нитрата цинка заданной концентрации (используя лабораторные весы, мерный цилиндр и шпатель), затем добавить заданный объем раствора уротропина и разбавить дистиллированной водой. Объем добавляемого уротропина каждой группе предлагается выбрать индивидуально (но так, чтобы итоговая концентрация составляла от 0,01 М до 0,025 М).

Ученики, следуя рекомендациям организатора и инструкциям выданной методической разработки, начинают проводить синтез пленки наностержней ZnO.

На дно стакана с раствором, находящегося на нагревательной плитке, помещается подложка, его температура, контролируемая с помощью термометра, доводится до 90°С.

В случае если группа не справляется с расчетом навески для раствора, ей оказывается помощь.

Примечание

Для получения пленок наностержней ZnO необходимо предварительно создать на поверхности пластинки зародыши из наночастиц ZnO. Чтобы это сделать, следует нанести на пластинку каплю 0,005М раствора дигидрата ацетата цинка в этаноле, через 10 секунд промыть этанолом и затем высушить пластинку. Эту процедуру следует повторить 3 – 5 раз, чтобы обеспечить полное покрытие стекла зародышами ZnO. При нагревании свыше 200°С ацетат цинка разлагается, образуя островки оксида цинка. Обратную сторону пластинки (ту, на которую ацетат цинка не наносился) необходимо отметить маркером. Все вышеперечисленные манипуляции с пластинками следует проводить до начала занятия. В ходе занятия следует выдать каждой группе из 4-5 человек по одной модифицированной пластинке.

Для проведения синтеза ученикам предлагается использовать по 10 мл дистиллированной воды (на 1 группу), для расчета количества уротропина и нитрата цинка можно воспользоваться следующими соотношениями:

m ($Zn(NO_3)_2$) = C*V*M = 0,025M*0,01 л*189 г/моль = 0,04725 г

m (уротропина) = C*V*M = C*0,01 л*140 г/моль =1,4 C г (концентрации в группах варьируются от 0,01 до 0,025М).

Методика получения и расчета навесок представлена в лабораторном журнале учащегося.

Этап 4. Характеристики наноструктрированной пленки ZnO

Шаг 1. (5 минут)

Подчеркивается, что пленки наностержней могут быть использованы в качестве антиотражающего покрытия.

Но для создания антиотражающего покрытия необходимо получить пленку с оптимальными геометрическими характеристиками. Из рисунка-графика в лабораторном журнале был сделан вывод, что антиотражающее покрытие будет максимально эффективно при максимальной длине наностуржней ZnO.

Ученикам предлагается попытаться сформулировать критерии, которым должна удовлетворять получаемая оксидная пленка: диапазон толщин, диапазон длин наностержней.

Учащиеся в группах обсуждают поставленный вопрос и выдвигают свои версии, продолжая наблюдать за происходящей реакцией и при необходимости изменяя настройки нагревательной плитки. Педагог записывает идеи.

Шаг 2 (10 минут)

Если речь о наностержнях, то оптический микроскоп может оказаться «бессилен» в изучении структуры пленки. Оптическая микроскопия покажет крупные дефекты поверхности (трещины, места отслаивания), однако ничесго не сообщит об индивидуальных размерах наноструктур.

Обратимся к зондовому микроскопу для получения изображения созданной поверхности.

Для сканирования предлагается применить вольфрамовый зонд. Полученное изображение будет передано слушателям для анализа в качестве домашнего задания. В лабораторном журнале имеется место для размещения полученного изображения.

Если учащиеся не знакомы с основами зондовой микроскопии, требуется дать необходимые разъяснения (**приложение 1**).

Шаг 3 (5 минут).

Учимся видеть и описывать материалы. Учащимся предлагается изучить микрофотографии других примеров образцов наноструктурированного цинка и описать микроструктуру образцов по фотографиям. Можно предложить рассказать о микрофотографиях наиболее активным ученикам. На микрофотографиях представлены наночастицы, нанотрубки и тетраподы ZnO. Учащиеся должны максимально самостоятельно сформулировать признаки каждого класса структур. Педагог записывает удачные комментарии на доске/флипчарте.

В рассказе об атомно-силовой микроскопии следует акцентировать внимание на преимуществах метода для изучения микроструктуры поверхности.

Шаг 4. (5 минут)

Ученикам предлагается выключить нагревательные плитки, слить растворы реагентов и вынуть пластинки из стаканов, сделав индивидуальную отметку на обратной стороне маркером. Анонсируется, что на следующем занятии пленки каждой группы будут исследованы с помощью рентенофлуоресцентного анализа и атомно-силовой микроскопии, также учащимся предлагается самостоятельно посмотреть литературу о современных фотоэлементах. Ученикам раздаются анкеты с вопросами для подведения итогов.

Ученики выполняют указания организатора и убирают свои рабочие места, затем отвечают на вопросы в анкете для подведения итогов.

Тема 2. Материалы для солнечных элементов

Этап 1. Светопоглощающие компоненты солнечных ячеек

Шаг 1. (15 минут)

Учащимся предлагается подумать, какие вещества могут использоваться в качестве светопоглощающих компонентов в солнечных ячейках. Ученики в группах ведут обсуждение заданного вопроса, затем отмечают в рабочих тетрадях ключевые моменты.

Наводящие вопросы педагога:

- Что является основным признаком светопоглощающего компонента?
- Важно ли, чтобы материал был проводником или диэлектриком?
- Должно ли быть вещество термически и химически стабильным? Фотостабильным?

Далее ученикам демонстрируется спектр солнечного излучения от длины волны, называются характеристики, которыми должны обладать светопоглощающее вещество (стабильность, значение запрещенной зоны) и рассказывается о применении Si, GaAs, CdTe, CdS, InP, исходя из следующей логики.

Ученикам следует объяснить, что для работы фотоэлемента ширина запрещенной зоны фотоактивного вещества должна быть меньше, чем энергия падающего солнечного излучения. Формула связи между энергией в эВ и длиной волны света в нм приведена в лабораторном журнале. Также следует привести таблицу с указанием величины запрещенной зоны у различных веществ, применяемых в фотовольтаике.

	Si	**GaAs**	**CdTe**	**CdS**	**InP**
E_g, эВ	**1,1**	**1,4**	**1,5**	**2,4**	**1,3**

В рабочей тетради учеников присутствует спектр интенсивности солнечного излучения (освещенность в зависимости от длины волны). Ученикам предлагается пересчитать энергии запрещенной зоны полупроводников и найти диапазоны поглощения солнечного спектра для этих веществ.

Шаг 2. (10 минут)

Преподаватель объясняет учащимся коэффициент связи между электрон-вольтами и длиной волны в нанометрах. Для закрепления материала предлагается обратная задача: определить, достаточна ли заданная преподавателем длина волны излучения для возбуждения электрона в том или ином веществе из списка (с указанием значения ширины запрещенной зоны).

Учащиеся индивидуально решают предложенную задачу, затем сверяют свои результаты.

Приложение

Формула связи между энергией и длиной волны

$$\mathbf{E}[\text{эВ}] = \mathbf{1,24/\lambda}[\text{мкм}]$$

Происхождение коэффициента в числителе:

$$\mathbf{E = h\nu}$$

$$\mathbf{E = hc/\lambda}$$

h = 6,626·10^{-34} Дж·с, с = 3·10^{8} м/с; поскольку энергия рассчитывается в электрон-вольтах, то правую часть необходимо разделить на значение элементарного заряда е = 1,6·10^{-19} Кл, также следует помножить правую часть 10^{6}, так как длина волны выражается в микрометрах.

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{hc} \times \mathbf{1000000}}{\boldsymbol{\lambda}\mathbf{e}}$$

Шаг 3. (5 минут)

П: И самые сложные вопросы об окраске этих полупроводниковых соединений:

- Какого цвета эти соединения?
- Какой цвет имеют солнечные панели и какой цвет воспринимает наш глаз в данном случае?

Шаг 4. (15 минут)

Анализ элементного состава коммерческого образца полупроводниковой солнечной панели.

Ученикам в рамках повторения пройденного ранее задается несколько наводящих вопросов о рентгенофлуоресцентном анализе (физическое явление, на котором он основан, простейшая схема). Для рисования простейшей схемы вызывается один человек из группы, который изображает ее с помощью остальных учеников и преподавателя.

Далее добровольцы расщепляют солнечную панель на крупные части, далее на мелкие частицы, истирают в агатовой ступке.

Преподаватель включает портативный рентгенофлуоресцентный спектрометр, с помощью которого проверяет элементный состав пленки ZnO, демонстрируя ученикам возможности прибора. Далее прибор используется для анализа состава нескольких коммерческих солнечных панелей, при этом из группы вызываются добровольцы, которые под присмотром преподавателя осуществляют манипуляции со спектрометром.

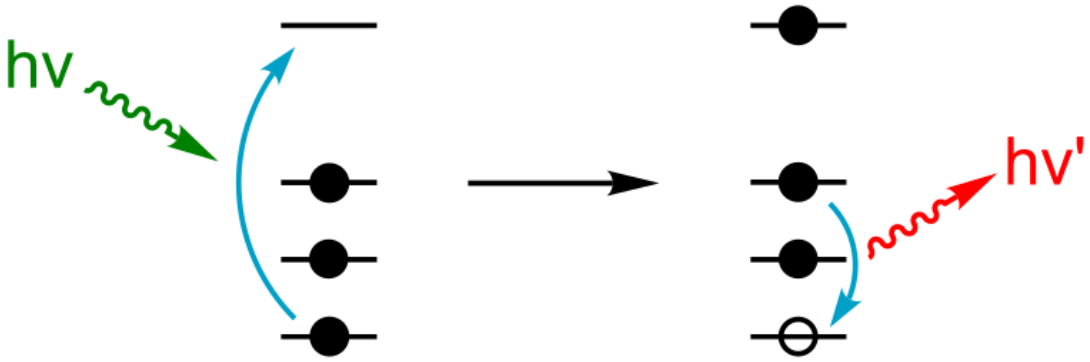


Схема процесса рентгеновской флуоресценции

(перерыв)

Этап 2. Анализ пленок ZnO с помощью атомно-силовой микроскопии

Шаг 1 (15 минут)

Ученикам показываются результаты атомно-силовой микроскопии образцов, полученных ими на предыдущем занятии. Данные результаты, указывающие на геометрические размеры наностержней, а также на сплошность и толщину пленки,

обсуждаются с учащимися. Им предлагается сделать вывод о влиянии концентрации уротропина на микроструктуру пленки, сравнив полученные данные с количествами уротропина, добавленного в реакционную смесь в разных группах.

Ученики, записав геометрические размеры наностержней в таблицу с концентрацией уротропина, самостоятельно пытаются сформулировать влияние уротропина на микроструктуру пленки.

Шаг 2. (5 минут)

Предоставив 5 минут на размышление, преподаватель указывает на увеличение длины нитей, обусловленное более высоким значением pH в более концентрированных растворах уротропина, что, в свою очередь, способствует гидролизу нитрата цинка и образованию оксида.

Ученики переносят в рабочую тетрадь схему гидролиза нитрата цинка и получения нанонитей ZnO.

Этап 3. Оценка эффективности технического решения для поверхности Земли

Шаг 1. (15 минут)

Преподаватель рассказывает ученикам о перспективах солнечной энергетики в глобальном масштабе, а также просит на основании предложенных данных и формул рассчитать удельную мощность солнечного излучения на широте г. Сочи в день летнего солнцестояния. Далее одной из групп предлагается выбрать ZnO как модельный продукт для разработки бизнес-плана.

Ученики максимально самостоятельно решают предложенную задачу в рабочей тетради. Одна из групп выбирает ZnO в качестве модельного продукта, получая от организатора список полезной литературы об этом материале(ссылки приведены в рабочей тетради).

Текст задания:

Координаты г. Сочи - 43° северной широты

Наклон земной орбиты – 23,5°

Расстояние от Земли до Солнца -149,6 млн км, радиус Земли – 6371 км

Солнечная постоянная Φ_0 (количество энергии, падающей на перпендикулярную площадку за 1 секунду на расстоянии 149,6 млн км от Солнца) – 1370 Вт/м^2

Для решения задачи о количестве энергии, падающей в день летнего солнцестояния в Сочи следует пояснить ученикам, что солнечные лучи падают не перпендикулярно поверхности Земли, а под некоторым углом, поэтому фактически задача сводится к нахождению угла θ между нормалью к поверхности и направлением падения лучей.

$$\mathbf{\Phi = \Phi_0\ n \cos(\theta)}$$

В качестве подсказки для учеников можно отметить, что радиус Земли очень мал по сравнению с расстоянием между Землей и Солнцем, поэтому углом центр Земли – Солнце – Сочи можно пренебречь. В данном приближении искомый угол θ получается равным 19,5°, а мощность излучения составляет 1291 Вт/м^2. Данное значение достижимо в ясную погоду в полдень, в действительности же из-за облачности и времени суток это число может быть меньше в десятки раз.

Шаг 2. (5 минут)

Учащимся предлагается самостоятельно найти информацию о точках поверхности Земли, где мощность солнечного излучения максимальна. С использованием найденных данных можно оценить, насколько мощность излучения у поверхности Земли различна для разных стран мира.

Примечание: В дальнейшем, эта информация может быть полезна той команде, которая выбрала антиотражающие покрытия в качестве темы своего инновационного проекта.

Шаг 3. (5 минут)

Рефлексия. Ответы на вопросы.

Тема 3. Аэрогели и их функциональные свойства

Краткая аннотация части

Школьники знакомятся с понятием аэрогелеля путем анализа лабораторных образцов материалов с использованием имеющегося оборудования, самостоятельно строят предположения о структуре изучаемого материала, высказывают свои предположения относительно перспектив применения аэрогелей для космической промышленности, в том числе для теплоизоляции, очистки воды, в роли суперконденсаторов. Вторая часть занятия посвящена первой стадии получения аэрогеля на основе оксида кремния.

Образовательные задачи исследовательского и проектного характера

Занятие знакомит с одним из классов современных перспективных материалов – аэрогелями, которые обладают рекордными сорбционными свойствами и теплоизоляционными характеристиками. В рамках занятия учащиеся знакомятся с образцами оксидных и металлических аэрогелей, синтезируют структурный предшественник аэрогеля.

Этап 1. Формирование представления об аэрогелях

Шаг 1. (15 минут)

Преподаватель раздает школьникам образцы аэрогелей (помещенные в закрытые пластиковые пробирки и предлагает проанализировать образцы визуально, ответить на вопрос, о свойствах этих материалов. Для подсказки, раздаются аналогичные пустые пробирки. При помощи лабораторных весов и имеющихся подручных средств предлагается оценить плотность материалов.

В форме диалога обсуждаются принципы работы лабораторных весов, далее выполняется взвешивание 1-2 образцов.

Весы будут стоять на столе у преподавателя. Взвешивать образцы будут демонстративно. Результат педагог фиксирует на доске или флипчарте.

П: Какие весы из представленных в вашей лаборатории потребуются для этого простого эксперимента? Какова масса испытуемого образца материала? Сколько «знаков после запятой» потребуются? Что такое точность взвешивания? С чем можем сравнить массу взвешиваемого образца? Почему нужно сравнивать удельные характеристики? Какая другая характеристика образца соответствует удельным свойствам материала?

Школьникам предлагается придумать способ оценки объема имеющихся образцов. Это необходимо, чтобы школьники смогли рассчитать плотность аэрогеля.

Результатом этого этапа является оцененная величина насыпной плотности образца.

Шаг 2. (5 минут)

Преподаватель предлагает подумать, каким может быть состав материалов, обладающих столь низкой плотностью?

Предлагается сравнить полученное значение плотности аэрогеля с плотностями жидких, твердых и газообразных веществ. Если учащиеся не могут предложить варианты, предлагается воспользоваться таблицей в лабораторном журнале и открытыми источниками и узнать, какие еще материалы имеют столь малые значения плотности. Все озвученные идеи преподаватель фиксирует на доске/флипчарте.

Учащимся предлагается выдвинуть гипотезы о возможной структуре аэрогеля - сверхлегкого материала.

Шаг 3. (15 минут)

Для закрепления материала преподаватель рассказывает о структуре и свойствах аэрогелей с использованием иллюстраций микроструктуры или демонстрирует обучающий **видеоролик №1**, обсуждается наличие теплоизоляционных свойств у материала.

Просмотр обучающего видео - **видеоролика №2** – подводит дискуссию к обсуждению микроскоруктуры аэрогеля, показанной в видео.

Далее обсуждает структуру аэрогеля с учащимися, апеллируя к содержанию видеоматериала.

Преподаватель рассказывает, что аэрогели были применены как адсорбенты, позволяющие улавливать частички космической пыли в космическом пространстве. Рассказ про **проект NASA**: использование блоков аэрогеля из диоксида кремния для исследования космоса (этот эксперимент был показан в конце видеоролика №2).

Далее учащиеся визуально знакомятся с образцами материалов и их микроструктурой по микрофотографиям с использованием презентации или принимают участие в интерактивной игре с использованием карточек. Презентация (карточки) содержат примеры аэрогелей из диоксида кремния, оксида алюминия, углеродных нанотрубок, графена, металлической меди, серебра и золота. В случае проведения игры, учащиеся изучают фотографии карточки в минигруппах и поочереди далее представляют «доставшийся» им материал, предлагая варианты применения каждой из разновидностей аэрогеля. В форме диалога ищется ответ на вопрос, в каких областях эти материалы могут находить применение. Педагог записывает разумные варианты на флипчарте. Предлагается подумать, какие материалы могут в будущем быть заменены конкретно этими аэрогелями?

Дискуссия по содержанию обучающих материалов.

Примечание.

Для лучшего усвоения материала информация о структуре аэрогелей частично содержится в лабораторном журнале. Наиболее заинтересованные школьники могут попробовать при помощи весов оценить численно плотность второго образца аэрогеля.

Этап 2. Знакомство с технологией получение геля оксида кремния

Шаг 1. (10 минут)

Учащимся предлагается попробовать получить гель из диоксида кремния, познакомившись первоначально с описанием технологии в лабораторном журнале. В качестве более сложного эксперимента для небольшой группы учащихся эксперимент может быть заменен на демонстрационный – синтез аэрогеля.

Синтез геля оксида кремния требует проведения работ под тягой или в хорошо вентилируемом помещении, в перчатках.

*Синтез аэрогеля проводится под тягой преподавателем. В синтезе используются летучие реагенты, метанол. Методика представлена в **приложении 2.**

Получение геля производится золь-гель методом из тетраметоксисилана. С использованием флипчарта преподаватель «на пальцах» поясняет физико-химические основы, лежащие в основе синтеза.

Учащиеся думают над тем, как происходит взаимодействие? И над тем, откуда в материале возьмутся поры?

(перерыв)

Шаг 2. (15 минут)

Далее - подготовка к проведению эксперимента.

Преподаватель обращается к учащимся с вопросом: Что может потребоваться для того, чтобы получить нужный продукт? Давайте, составим список необходимого оборудования. Если все подготовлено заранее, преподаватель тратит дополнительное время на обсуждение технологии получения геля.

Получение геля оксида кремния:

На данном занятии будет осуществлена первая стадия перехода золя в гель. Необходимо оставить гель для старения – минимум на сутки.

Учащимся предлагается разделиться на 5 групп по 4 человека для проведения первого этапа получения аэрогеля. В соответствии с составленным списком готовится рабочее место, проводится синтез.

Шаг 3. (10 минут)

Анализ продукта.

Как можно проанализировать структуру полученного продукта? Как мы можем понять, сильно ли структура золя отличается от аэрогеля?

Преподаватель предлагает определить плотность (золь накапывается в пластиковую/тефлоновую чашку для взвешивания и высушивается в сушильном шкафу, в конце занятия отделяется и взвешивается), изучить образец с помощью оптического микроскопа (образец наносится на тефлоновую бумагу для выпечки и высушивается при температуре 60°C на нагревательной плитке).

Необходимо подготовить образец для анализа методом сканирующей зондовой микроскопии. Для этого золь накапывается на пластинку слюды или хорошо очищенное покровное стекло, высушивается при температуре 40-60°C.

Примечание:

Процесс получения аэрогеля - многостадийный, поэтому каждый из учащихся сможет своими руками провести одну из стадий самостоятельно. В зависимости от последовательности действий качество продукта будет разным.

Также необходим конфокальный микроскоп, на котором можно увидеть частицы размером около нескольких микрон.

В случае его отсутствия – подойдет любой оптический микроскоп.

Остатки золя выливаются в тефлоновую форму и оставляются на несколько часов.

Этап 3. Характеристики полученных образцов

Шаг 1. (5 минут)

Преподаватель предлагает попробовать воспользоваться методом оптической микроскопии для сравнения микроструктуры образцов. Кратко

обсуждаются основные принципы работы оптического микроскопа. Группа выясняет, что оценить размер частиц с помощью оптической микроскопии проблематично. Это уровень «нано-мира».

Шаг 2. (15 минут)

Пока золь стареет, полученную на слюде или стекле тонкую пленку золя можно исследовать методом СЗМ. Для этого используется вольфрамовый зонд. Область сканирования 5х5 мкм, шаг – 100 нм.

Изображения сохраняются, передаются учащимся.

Шаг 3. (5 минут)

Кому-то из наиболее инициативных слушателей предлагается оценить насыпную плотность высушенного золя с помощью лабораторных весов (закрепить приобретенный навык). Результат фиксируется на флипчарте. В формате дискуссии обсуждаются причины большей плотности золя по сравнению с аэрогелем. Обсуждаются технологии, которые могут быть использованы для увеличения плотности получаемых образцов (называются пониженное давление, вспенивание и пр.).

Этап 4. Подведение итогов работы

Шаг 1. (5 минут)

Преподаватель предлагает группам сделать в журналах соответствующие записи о результатах работы и подготовить рабочие места к следующему занятию.

Шаг 2. (2 минуты)

Преподаватель задает домашнее задание.

Предполагается подумать, для каких целей может быть использован аэрогель в масштабах космической станции и ракетостроения?

Предлагается пройти тест из раздела «Домашнее задание» в лабораторном журнале.

Примечание:

Преподаватель предлагает одной из групп выбрать аэрогель на основе любого функционального материала для разработки технологии производства и бизнес-проекта. В качестве «подсказки» удобно предложить подумать о том, какой еще знакомый им материал можно было бы заменить аэрогелем.

Тема 4. Фотоннокристаллические системы

Краткая аннотация части

Фотоннокристаллические системы – основа квантовых компьютеров будущего. Скорость передачи оптического сигнала в 10^4 раз превышает скорость передачи информации по электрической цепи.

В рамках занятия учащиеся знакомятся с различной архитектурой фотоннокристаллических систем, методами формирования фотонных и фононных кристаллов. Школьники узнают, в каких ключевых направлениях развития космических и военных программ могут найти применение фотоннокристаллические системы, включая вопросы лазерной генерации, суперпризмы, тайны плаща-невидимки.

Учащимся предлагается осуществить синтез микросфер оксида кремния и подготовить образцы для сканирования методом СЗМ с целью определения их размеров.

Образовательные задачи исследовательского и проектного характера

Учащиеся знакомятся с понятием фотонного кристалла, изучая их архитектуру с помощью иллюстративного материала, и придумывают способы получения различных видов фотоннокристаллических материалов. Работа с учебными карточками, содержащими микрофотографии, развивает компетенции по анализу и представлению научных результатов.

С использованием наглядной модели учащиеся интуитивно знакомятся с понятием кристаллической решетки и различными типами упаковок двумерных фотонных кристаллов.

Опираясь на лабораторную методику, приведенную в рабочей тетради, школьники самостоятельно получают микросферы диоксида кремния с диаметром около 30 нм, подготавливают образцы для последующего анализа методом АСМ (неаудиторные часы).

По результатам двух занятий учащиеся могут сделать вывод о том, насколько важна микроструктура материалов в отношении их физико-химических свойств. Так с использованием близких по составу реагентов им удается получить силикагель, являющийся структурным предшественником аэрогеля, обладающий низкой степенью порядка, и микросферы диоксида кремния, способные сформировать упорядоченные фотоннокристаллические системы типа опала.

Этап 1. Знакомство с понятием фотонного кристалла

Шаг 1. (5 минут)

Занятие начинается с обсуждения домашнего задания – обсуждаются способы получения аэрогелей. Изготовление аэрогеля из диоксида кремния занимает достаточно длительное время, поэтому учащимся предлагается познакомиться с другим классом систем, которые могут быть получены из диоксида кремния, - фотонными кристаллами.

Фотоннокристаллические системы – основа квантовых компьютеров будущего. Скорость передачи оптического сигнала в 10^4 раз превышает скорость передачи информации по электрической цепи.

Что нам известно еще о фотонных кристаллах?

В среде ученых бытует мнение, что такая передача сигнала меньше подвержена внешнему тепловому воздействию и потерь не происходит.

«По мнению научного сотрудника лаборатории нанооптики и плазмоники МФТИ Андрея Вишневого, первые промышленные модели полностью оптических компьютеров будут созданы не раньше чем через тридцать лет. Однако уже к концу десятилетия, возможно, появятся вычислительные системы на основе гибридных технологий: логические элементы микропроцессоров останутся полупроводниковыми, но шины обмена данными получат оптическую основу.» (https://iz.ru/685378/mariia-nediuk/fiziki-priblizhaiutsia-k-sozdaniiu-opticheskogo-kompiutera)

Разговор про определения плавно перетекает в разговор про актуальное и необходимое применение данного материала.

Шаг 2. (10 минут)

По группам (или любым нескольким учащимся) раздаются карточки с микрофотографиями разных типов фотонных кристаллов под номерами №1, №2, …, №5. Предлагается подумать и кратко рассказать о материалах (предположить состав, описать микроструктуру, предложить использование). Далее заслушиваются комментарии школьников, при этом фотографии демонстрируются на экране.

У учащихся должен возникнуть вопрос о способах манипуляции отдельными наночастицами. Обсуждаются возможности методов, основанных на принципе зондовой микроскопии (**приложение 1**). Вводится понятие оптического пинцета (**приложение 3**).

Примечание:

Вместо учебных карточек возможно предложить посмотреть презентацию и обсуждать микроструктуру коллективно.

Этап 2. Симметрия фотонного кристалла

Шаг 1. (15 минут)

Приводятся примеры, какие вещества могут служить основой для получения фотонных кристаллов. Решетка простейшего фотонного кристалла может быть собрана с использованием 10 одинаковых карандашей с ограненной рубашкой (шестиугольное сечение).

В качестве другой модели приводится пример коллоидного (фононного) кристалла из микросфер. Преподаватель предлагает школьникам собрать кристаллы двух типов: ABCABC и ABABAB с использованием модельных стеклянных шариков или магнитных шариков конструктора NEOCUBE (лучше использовать 2 или более цветов шариков). Далее учащимся предлагается посмотреть на микрофотографии искусственных опалов (на экране и в рабочих тетрадях учащегося) и определить самостоятельно, к какому типу относится упаковка данных кристаллов.

Этап 3. Самоорганизация и история открытия фотонных кристаллов

Шаг 1. (5 минут)

Разбирается вопрос о формировании фотонных кристаллов в природе и о таком явлении как иризация. Приводятся примеры фотоннокристаллических систем в живой и неживой природе. Ученикам показываются синтезированные пленки фотонных кристаллов с запрещенной стоп-зоной (аналогом запрещенной зоны) в различной части спектра видимого света.

Шаг 2. (5 минут)

Рассказ о первооткрывателях фотонных кристаллов. Упоминаются Рэлей, Эли Яблонович, Джон Саджив, Штобер.

Шаг 3. (5 минут)

Далее школьникам предлагается познакомиться с простейшей методикой получения микросфер диоксида кремния, которые в дальнейшем могут быть применены для роста фотонного кристалла.

Перед перерывом составляется список необходимого оборудования и расходных материалов.

На флипчарте записываются уравнения реакций. Изображается схема полимеризационного процесса и формирования микросфер. Методика и

химические уравнения, описывающие процесс роста цепи, представлена в **приложении 4.**

(перерыв)

Этап 4. Получение микросфер диоксида кремния, фотоннокристаллической пленки и их анализ

Шаг 1. (20 минут)

Получение микросфер.

Педагог консультирует и дает методические указания участникам занятия по ходу получения микросфер.

Размер формирующихся по первому этапу методики микросфер составляет 30-50 нм. Возможно проведение доращивания микросфер до большего размера согласно методике, описанной в приложении 4. Доращивание осуществляется при комнатной температуре в пластиковых химических стаканах.

Шаг 2. (5 минут)

Преподаватель предлагает подготовить образцы для анализа путем накапывания растворов на предметные или покровные стекла и подумать, в чем отличие методики получения микросфер от методики получения силикагеля, осуществленного накануне. Параллельно со следующими этапами один из образцов анализируется методом СЗМ для оценки размера частиц и шероховатости. Полученное изображение передается учащимся для обработки.

Шаг 3. (10 минут)

Преподаватель предлагает подготовить подложки для роста фотонных кристаллов методом самосборки. Предметные стекла промываются хромпиком или азотной кислотой, избытком дистиллированной воды. Стекла крепятся скотчем вертикально в химическом стакане. Стаканы оставляются под работающей тягой на сутки или более.

Этап 5. Перспективы использования фотонных кристаллов

Шаг 1. (10 минут)

Приводятся примеры использования фотонных кристаллов с использованием схем устройств и указанием практической значимости решений:

- лазеры (беспороговые и низкопороговые),
- волноводы (очень компактные и с минимальными потерями),
- суперпризмы,
- дисплеи на основе фотонных кристаллов.

Поясняются вопросы лазерной генерации.

Обсуждение проблемы создания «плаща-невидимки». Также его применимости для космических целей. Демонстрация обучающего **видеоролика №3.**

Пояснение: Фотонные кристаллы в состоянии обеспечить сверхсветовую скорость распространяющихся волн. Такая скорость позволяет сохранять исходный фронт волны, и волны обходят по кривой замаскированные объекты. Все это делает фотоннокристаллические системы важной областью науки для оборонных и космических программ.

Примечание:

Преподаватель предлагает одной из групп выбрать фотоннокристаллические материалы любого состава для разработки технологии производства и бизнес-проекта.

Подведение итогов:

Ученикам выдается анкета, в которой предлагается ответить на вопросы о том, что на занятии было понятны и интересно, что осталось неясным.

Тема 5. Разработка технологии создания материалов

Краткая аннотация части

К этому занятию учащиеся готовят домашнее задание – проект технологической линии производства. Школьники должны самостоятельно придумать технологии производства выбранных ими материалов. Представление проектов технологических линий проходит в форме конференции. Учащиеся из других команд задают авторам проекта вопросы, касающиеся условий получения материалов и ожидаемых функциональных характеристик.

Преподаватель знакомит учащихся с принципами создания пленочных структур – PVD, CVD, ALD. Предлагается оценить шероховатость поверхности пленок, полученных различными способами по имеющимся в альбоме/рабочей тетради микрофотографиям АСМ.

Обсуждаются литографические методы формирования сложных поверхностей.

Образовательные задачи исследовательского и проектного характера

Школьники представляют разработанные ими в рамках домашнего задания схемы технологического производства.

Обсуждается структура устройств, которые могут быть созданы с использованием «новых» предложенных школьниками материалов.

В формате дискуссии обсуждаются возможности использования новых высокотехнологичных методов в технологии производства материалов, ставших объектами проекта школьников.

Этап 1. Презентация проектов, выполненных в рамках домашнего задания

Шаг 1. (30 минут)

Преподаватель выступает в роли фасилитатора, помогает группам, представляющим проекты, отвечать на вопросы коллег, задает дополнительные наводящие вопросы.

Примечание: Рабочая тетрадь содержит поля для записи идей проектов коллег.

Шаг 2. (5 минут)

Занятие завершается комментарием преподавателя о том, что каждый инновационный проект должен содержать: 1) инновационную идею. 2) оптимизированное технологическое решение. 3) взвешенную бизнес-модель.

Этап 2. Знакомство с технологическими процессами, лежащими в основе промышленного получения аэрогелей и пеноматериалов

Шаг 1. (5 минут)

С использованием иллюстративных и мультимедийных материалов преподаватель знакомит учащихся с альтернативными способами создания обсуждаемых функциональных материалов: промышленными сверхкритическими установками, применимых для получения аэрогелей.

Шаг 2. (5 минут)

Учащимся предлагается вернуться к полученному продукту синтеза - аэрогелю. Определить плотность полученного по методике образца. Результаты фиксируются в рабочей тетради.

(перерыв)

Этап 3. Технологии создания пленочных структур

Шаг 1. (15 минут)

В научно-популярной лекционной форме учащимся раскрывают основы промышленного получения полупроводниковых солнечных панелей. Обсуждаются технологии создания пленочных структур – термического напыления, магнетронного распыления, ALD. Показывается обучающие **видео №4.**

Шаг 2. (5 минут)

Что может использоваться в качестве идеальных субстратов?

Правильный ответ – идеальная атомарная плоскость. Такая плоскость может быть получена путем создания скола монокристаллических поверхностей.

Как можно создать такой скол? Идеи учащихся фиксируются на флипчарте. Обсуждаются условия придания материалам хрупких свойств. Идея создания условий для повышения хрупкости материалов представлена в телевизионном фильме «Салют-7».

Этап 4. Технологии литографии и нанолитографии

Шаг 1. (15 минут)

Знакомство с литографическими системами и микрофотографиями набора литографических структур с фотоннокристаллическими свойствами, архитектурой метаматериалов.

Преподаватель рассказывает о технологии литографии, классификации фоторезистов, отличиях нанолитографии от классической литографии.

При наличии изготовленного литографического образца, образец может быть передан учащимся для визуального осмотра.

*При наличии фоторезиста и нагревательной плитки возможно провести практическую работу по получению двумерного фононного кристалла. Учащимся можно задать вопросы: чем отличается фононный кристалл о фотонного, каков период решетки фононных кристаллов?

Этап 4. Подведение итогов работы

Шаг 1. (5 минут)

В формате дискуссии обсуждаются возможности использования новых высокотехнологичных методов в технологии производства материалов, ставших объектами проектов школьников. Обсуждается вопрос: помогло ли это занятие к подготовке защиты проектов, которое пройдет в рамках последнего занятия?

Тема 6. Представление проекта в области нанотехнологий

Краткая аннотация части

В рамках занятия учащиеся знакомятся с общими подходами по подходам научно-технологического образования проектов в области нанотехнологий, маркетинговой стратегии продвижения продукта, оценкам себестоимости продукта, рекламной стратегии, оценкам объема рынка.

Образовательные задачи исследовательского и проектного характера

Учащиеся представляют собственные проекты по интегрированию выбранных ими материалов в космические или оборонные программы, ракетостроение.

Учащиеся представляют собственные проекты по интегрированию выбранных ими материалов в космические или оборонные программы, ракетостроение.

Этап 1. Основы представления проекта

Шаг 1. (10 минут)

Преподаватель обозначает основные принципы построения доклада, предлагает вариант представления результатов, обозначает специфику, связанную с оценкой себестоимости продукции, объема рынка (**приложение 5**). Педагог акцентирует внимание на том, в чем специфика инновационных проектов в сфере космических технологий по сравнению со стандартными подходами B2C и B2B.

Шаг 2. (20 минут)

В рамках командной работы учащимися в формате «мозгового штурма» школьники разрабатывают проект и готовят презентации предлагаемого ими продукта. Для помощи им предоставляется темплат презентации с основными разделами доклада.

Преподаватель помогает организовать работу по подготовке презентации, выступая в роли эксперта-консультанта.

Шаг 3. (5 минут)

Педагог предлагает завершить подготовку презентаций инновационных проектов, задать вопросы и обозначить самые сложные этапы подготовки презентации.

Этап 2. Представление проектов

Шаг 1. (40 минут)

Преподаватель выступает в роли модератора. Каждой группе предоставляется по 5 минут на доклад и по 5 минут для ответов на вопросы оппонентов и аудитории.

Этап 3. Подведение итогов

Шаг 1. (5 минут)

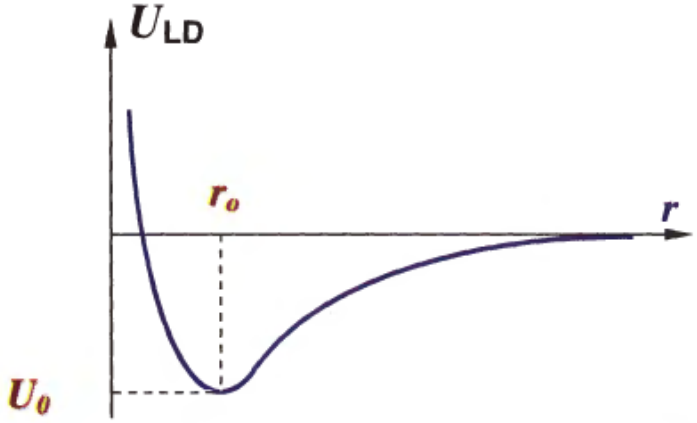
Преподаватель инициирует дискуссию о том, какие важные функциональные материалы для космических и оборонных технологий не были упомянуты в рамках модуля.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1.

Для объяснения принципа работы атомно-силовой микроскопии можно, используя изображение в рабочей тетради, указать на силы притяжения и отталкивания, которые приводят к изгибу консоли (кантилевера). Эти изгибы регистрируются с помощью лазерного луча, поступающего на фотодиод. Действующие на кантилевер силы притяжения и отталкивания есть силы электромагнитной природы, в первую очередь силы Ван-дер-Ваальса, а также упругие силы и силы адгезии. Притяжение и отталкивание между 2 частицами можно объяснить с помощью потенциала Леннарда-Джонса, которое можно распространить и на большее количество частиц.

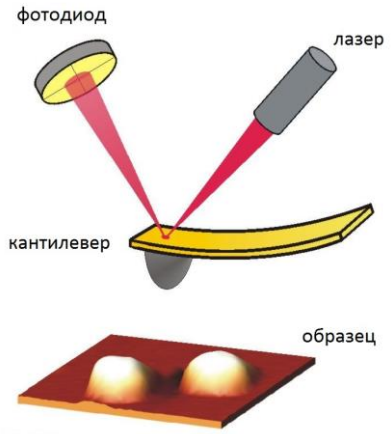
Потенциал Леннарда - Джонса



http://refleader.ru/files/1/bc698d2c6e0fdcd5e255c1177f6021b2.html_files/27.png

Между частицами существуют силы притяжения и отталкивания. На близких расстояниях между атомами преобладают силы отталкивания, на больших расстояниях атомы преимущественно притягиваются. Эту закономерность математически описывает модель Леннарда – Джонса:

$$U(r) = \frac{a_1}{r^{12}} - \frac{a_2}{r^6}$$

 Схема работы атомно-силового микроскопа	На отталкивании и притяжении атомов основана и атомно-силовая микроскопия. Силы притяжения и отталкивания приводят к изгибу кантилевера атомно – силового микроскопа, что регистрируется с помощью лазерного луча, отражающегося от кантилевера и направляющегося на детектор.

Приложение 2

Методика синтеза аэрогеля диоксида кремния

1. Разведите 5,4 мл концентрированного едкого аммиака в 1000 мл воды в стеклянной либо пластиковой бутылке.

Пометьте эту бутылку надписью "водный раствор аммиака". Раствор можно хранить при комнатной температуре в запечатанной бутылке для последующего использования.

2. Смешайте 10,2 г (10 мл) тетраметоксисилана с 7,82 г (10 мл) метанола в стеклянном химическом стакане. Перемешайте раствор.

Пометьте этот раствор как "алкоксидный раствор", или просто "раствор А".

3. Смешайте 5 г (5 мл) приготовленного ранее водного раствора едкого аммиака с 7,92 г (10 мл) метанола в еще одном чистом стеклянном стакане. Перемешайте раствор.

Обозначьте этот раствор как "каталитический раствор", или просто "раствор Б".

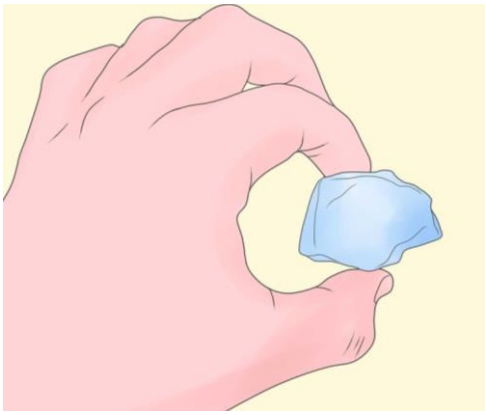
4. Осторожно перелейте каталитический (раствор Б) в алкоксидный раствор (раствор А) и размешайте их стеклянной палочкой до полного растворения.

Полученный раствор называют также "золем".

5. Перелейте золь в удобную полипропиленовую форму. Предварительно постелите на дно форм бумагу для выпечки на силиконовой основе. Подождите, пока золь не примет форму геля.

- Придется подождать от 15 минут до 1 часа.
- Можете залить также золь в мелкие цилиндрические пипетки. В этом случае после превращения раствора в гель вы сможете выдавить его из пипетки.

Примечание: Тетраметоксисилан в данном методе играет роль источника окиси кремния. Вода приводит к полимеризации тетраметоксисилана, а метанол обеспечивает смешивание воды и тетраметоксисилана, чтобы они образовали одну фазу и смогли прореагировать друг с другом. Едкий аммиак ускоряет протекающую реакцию.



6. После того, как гель сформировался, положите его в метанол и оставьте там как минимум на 24 часа.

7. В течение недели по меньшей мере четыре раза меняйте метанол на свежий, на этанол чистотой более 99,5%.

В результате гель практически полностью очистится от воды.

Приложение 3.

Оптический пинцет

Каждому знаком пинцет - нехитрый инструмент, которым удерживают и перемещают мелкие детали. Но как быть, если приходится иметь дело с частицами микронных размеров или, скажем, хромосомами в живой клетке, к которым нельзя прикасаться, иначе они разрушатся? Использовать обычный, даже сверхминиатюрный пинцет нельзя. А возможность захватить и переместить микрообъект - насущная задача современной микро- и нанотехнологии. Решение этой задачи пришло из лазерной техники последних лет.

Механическое устройство для управления микроскопическими объектами создать невозможно. Но достаточные для этого усилия способны создавать лазерные лучи. Сама идея лазерных методов манипулирования атомами восходит к работам российских физиков: в 1979 году в Институте спектроскопии АН СССР доктор физико-математических наук В. С. Летохов с сотрудниками осуществили первый удачный эксперимент по торможению светом пучка атомов натрия (см. "Наука и жизнь" № 11, 1980 г.; № 9, 1995 г.). Однако устройство, названное оптическим пинцетом, впервые продемонстрировали в 1986 году американские исследователи из знаменитого научного центра "Белл-лаб".

Принцип действия оптического пинцета основан на том, что световой поток обладает импульсом и при изменении его направления возникает сила, связанная с этим изменением.

Пользуясь механической аналогией, можно сказать, что при фокусировке лазерного пучка возникает изменение силы, которое действует на частицу так, что она двинется в сторону наибольшей интенсивности лазерного пучка.

Интенсивность лазерного пучка максимальна на его оси и плавно спадает к краям. Закон изменения интенсивности соответствует так называемому нормальному, или гауссовскому, распределению, которому подчиняются все природные процессы (см. "Наука и жизнь" № 2, 1995 г.). Поэтому частица удерживается на оси пучка, а при фокусировке пучка линзой она "втягивается" в точку фокуса и оказывается "пойманной" в трех измерениях. Чтобы создать силы, способные осуществить такую "трехмерную ловушку", требуется излучение мощностью порядка нескольких милливатт.

Перемещением фокуса можно передвигать частицы, выстраивая из них самые разнообразные конструкции. Современная технология рисует совершенно фантастическую картину: луч лазера движется, и под его воздействием в пространстве материализуется требуемый объект.

Оптический пинцет представляет собой удобный инструмент, имеющий, однако, ряд недостатков.

Во-первых, чем сильнее стянут пучок в фокус, тем быстрее он расходится после него. Это означает, что сила, удерживающая частицу, очень быстро падает по мере удаления от зоны захвата, и уже на расстоянии несколько десятков микрон от фокуса оказывается недостаточной, чтобы снова захватить частицу. Однопучковая ловушка реально полезна лишь для захвата одиночной частицы и только в области фокуса.

Во-вторых, лазерный пучок после встречи с объектом будет отличаться от исходного из-за дифракции, преломления, отражения и поглощения. Это также ограничивает расстояние, на котором он может действовать как оптический пинцет.

Существует и еще одно обстоятельство, связанное с расходимостью самого лазерного пучка. Чем сильнее он расходится, тем хуже его фокусирует оптическая

система, но получить идеально параллельный пучок принципиально невозможно из-за дифракции. И долгое время не было даже мысли о том, что можно как-то обойти это ограничение. Но в 1987 году американские физики Дж. Дарнин, Дж. Майсели и В. Эберли показали, что существует класс световых пучков, фактически свободных от дифракции. Их проекция на экран выглядит как яркое пятно, окруженное системой концентрических колец (такое распределение интенсивности описывает известная в математике функция Бесселя, и поэтому сами пучки называют бесселевыми).

Подробнее см.: https://www.nkj.ru/archive/articles/2965/ (Наука и жизнь, ОПТИЧЕСКИЙ ПИНЦЕТ)

Приложение 4.

Метод Штобера (синтез микросфер диоксида кремния)

На первом этапе синтезируют коллоидные частицы диоксида кремния из реакционной смеси, содержащей 100 мл 95%-го этилового спирта, 5 мл 25%-го водного раствора аммиака и 0,5 мл ТЭОС. Полученные этим методом наноразмерные шарики характеризуются средним диаметром 30–36 нм со стандартным отклонением 2–3 нм. Процесс проходит при 60°С в течение 40-60 минут. Процесс можно описать в общем виде уравнением:

$Si(OC_2H_5)_4 + 2H_2O = SiO_2 + 4C_2H_5OH$

Постадийно процесс можно представить так:

а) Реакция гидролиза алкоксида кремния:

$(RO)_3{\equiv}Si{-}(OR) + H_2O \rightarrow (RO)_3{\equiv}Si{-}(OH) + ROH$

$(RO)_3{\equiv}Si{-}(OH) + H_2O \rightarrow (RO)_2{=}Si{=}(OH)_2 + ROH$

$(RO)_2{=}Si{=}(OH)_2 + H_2O \rightarrow (RO){-}Si{\equiv}(OH)_3 + ROH$

$(RO){-}Si{\equiv}(OH)_3 + H_2O \rightarrow Si(OH)_4 + ROH$

б) Реакция конденсации воды:

$\equiv Si{-}(OH) + (HO){-}Si{\equiv} \rightarrow \equiv Si{-}O{-}Si{\equiv} + H_2O$,

в) Реакция конденсации спирта:

$\equiv Si{-}(OR) + (HO){-}Si{\equiv} \rightarrow \equiv Si{-}O{-}Si{\equiv} + ROH$,

где R - алкильная группа C_xH_{2x+1}.

Однако полученные частицы сложно назвать «микросферами», так как их размер порядка нано, но не микро. Для доращивания частиц готовят смесь, состоящую из 20 мл полученного на первом этапе раствора зародышей, 80 мл спирта и 6 мл раствора аммиака, что соответствует концентрации зародышей SiO_2 0,243 г/л.

Последующее многоступенчатое доращивание осуществляют путем добавления мелких порций ТЭОС при непрерывном перемешивании раствора и соблюдении следующих условий: комнатная температура, добавление ТЭОС через каждые 10 мин, удвоение количества введенного ТЭОС каждый час (соответственно, удвоение массовой концентрации синтезированных микрочастиц SiO_2 тоже каждый час и удвоение их диаметра каждые три часа), поддержание pH на уровне не менее 9, периодическое разбавление раствора новыми порциями спирта, испаряющегося в ходе синтеза. Агрегации удается избежать, если концентрация микрочастиц в процессе всего выращивания не превышает 5–6 г/л. Образование вторичных зародышей также не происходил благодаря малой величине порций ТЭОС и малому содержанию воды в растворе.

Приложение 5.

Бизнес-план должен отражать текущий статус проекта, а также его научно-технический и практический потенциал. Рекомендуется представлять проект по следующей схеме.

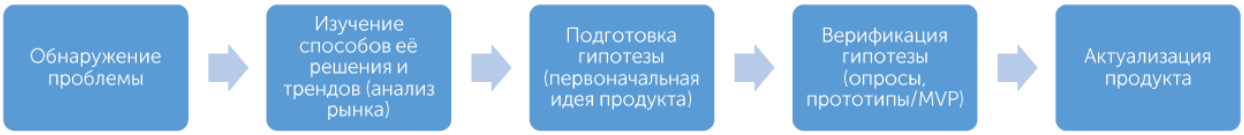
Титульный лист должен содержать информацию о названии проекта, команде, общему объему финансирования.

Список необходимых ресурсов для реализации проекта: требуемые инвестиции, потребность в помещениях, потребность проекта в нефинансовых ресурсах.

Источники финансирования проекта (если нет указываются потенциальные источники).

Срок реализации проекта. Поэтапный план реализации проекта на ближайшие 3-5 лет.

Описание проблемы конечного потребителя. Может быть представлена по следующему плану:



Расчетные показатели эффективности реализации проекта: срок окупаемости проекта; внутренняя норма доходности; чистая инвестиционная стоимость проекта; рентабельность расходов; точка безубыточноси проектов.

Анализ рисков проекта.