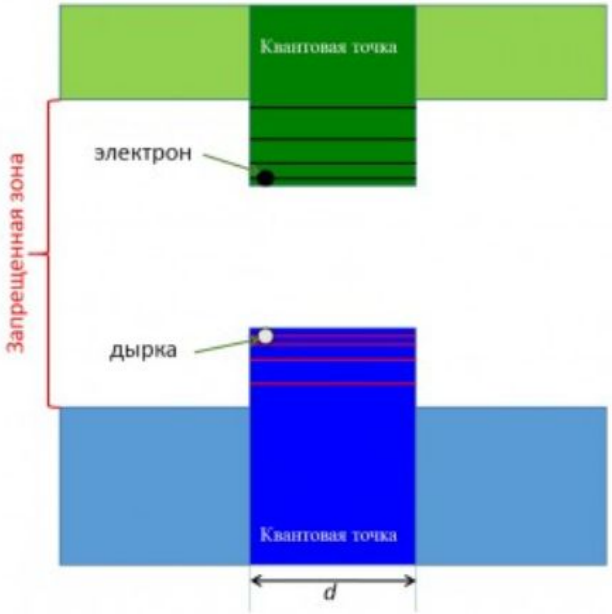
Наноматериалы

Оптические свойства

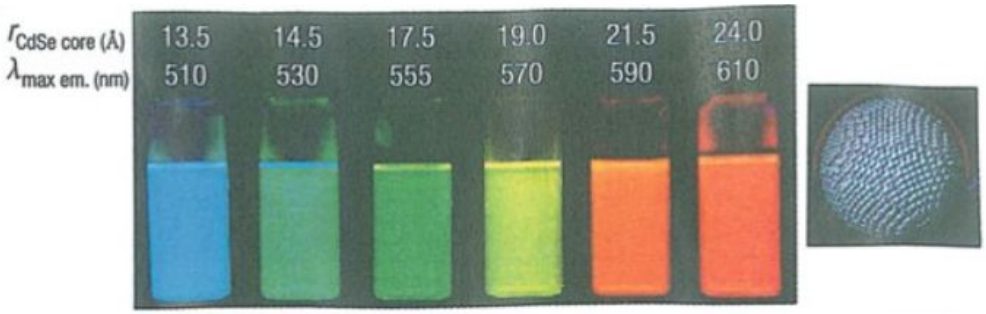
Уровни энергии в квантовой точке

Уровни энергии электрона и дырки обратно пропорциональны квадрату ширины квантовой точки! Выбирая различные размеры и форму квантовых точек, можно добиться того, что они будут излучать или поглощать свет заданной длины волны. Это позволяет, используя один и тот же материал, но разные размеры и форму, создавать источники света, излучающие в заданном спектральном диапазоне!

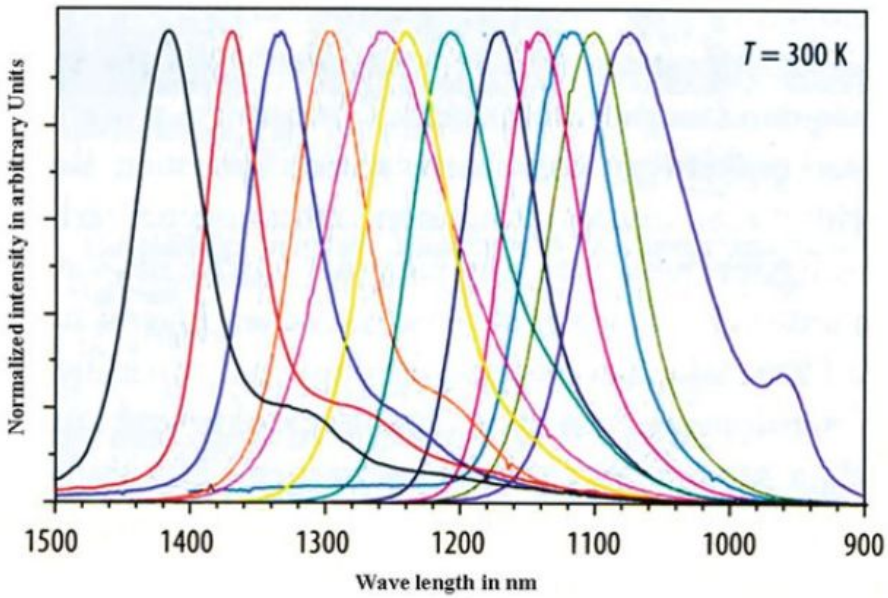
$$E_n^{electron} \approx \frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{2 m_e d^2} \qquad E_n^{hole} \approx \frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{2 m_h d^2}$$



Спектры излучения квантовых точек

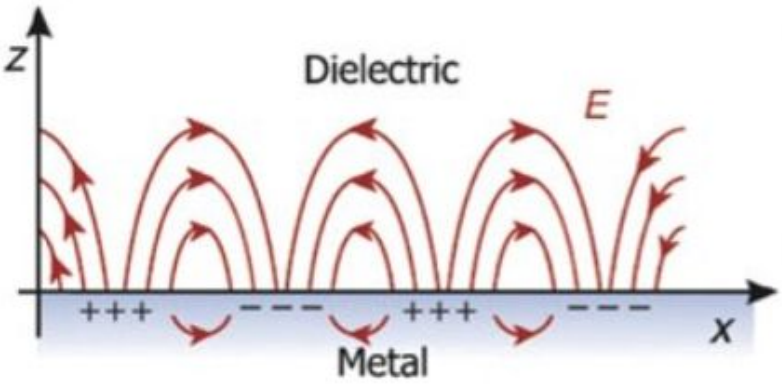


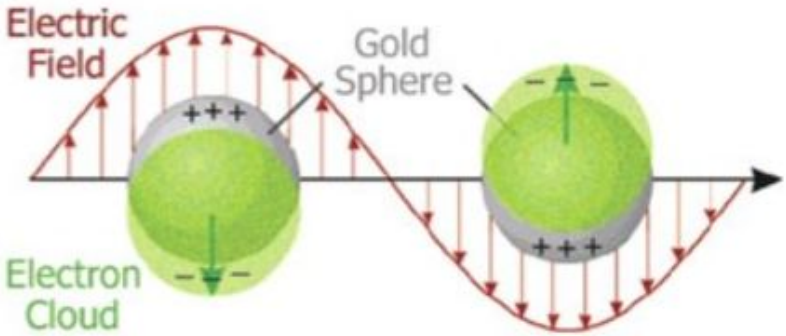
Зависимость флуоресценции квантовых точек «ядро-оболочка» CdSe/ZnS, облучаемых светом с l = 470 нм, от величины радиуса ядра.



Нормированные спектры испускания квантовых точек In(Ga)As , помещенных в матрицу из GaAs.

Спектральные свойства металлических частиц

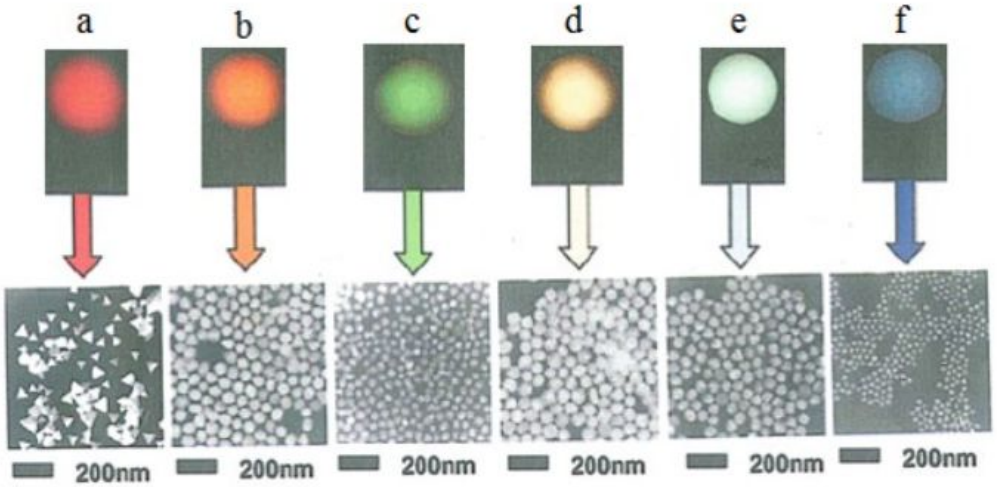




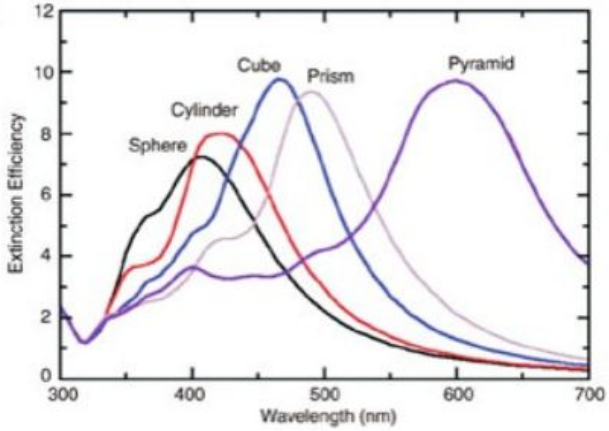
Колебания света в наноструктурах носят локализованный характер

цвет зависит от размера частиц

Зависимости спектров металлических наночастиц от их формы и размеров

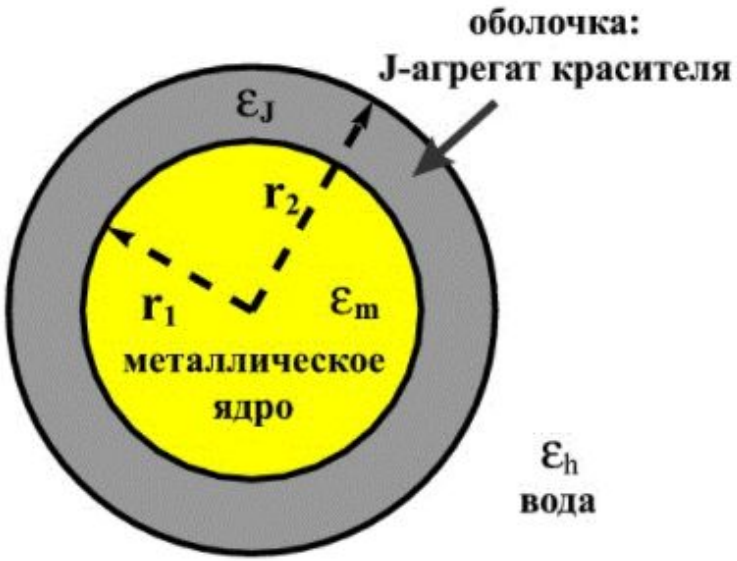


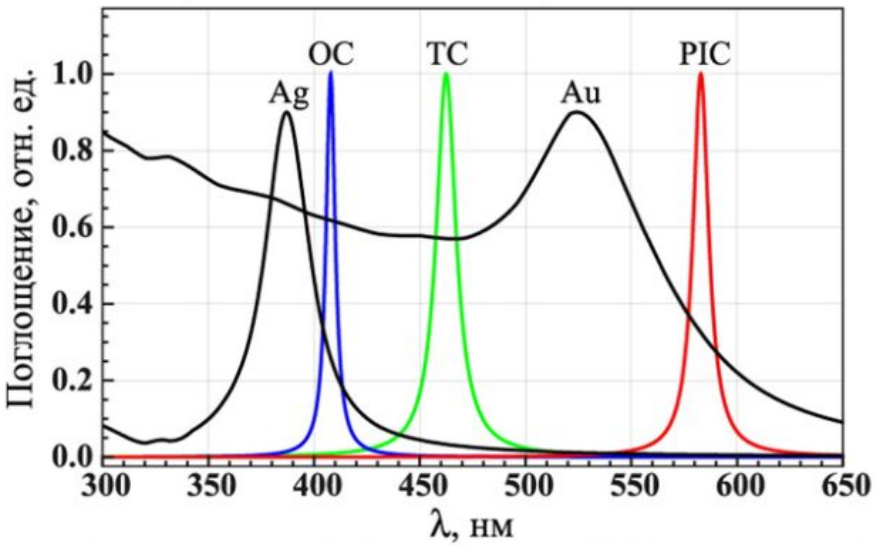
Максимумы в спектрах рассеяния для различных металлических наночастиц: a) серебряные нанопризмы; b) золотые шарики с размером 100 нм; c) золотые шарики с размером 50 нм; d) серебряные шарики с размером 100 нм; e) серебряные шарики с размером 80 нм; f) серебряные шарики с размером 40 нм.



Зависимость спектра экстинкции наночастиц серебра от формы частицы.

Гибридные наночастицы





λ_{OC} = 408 нм

λ_{TC} = 462 нм

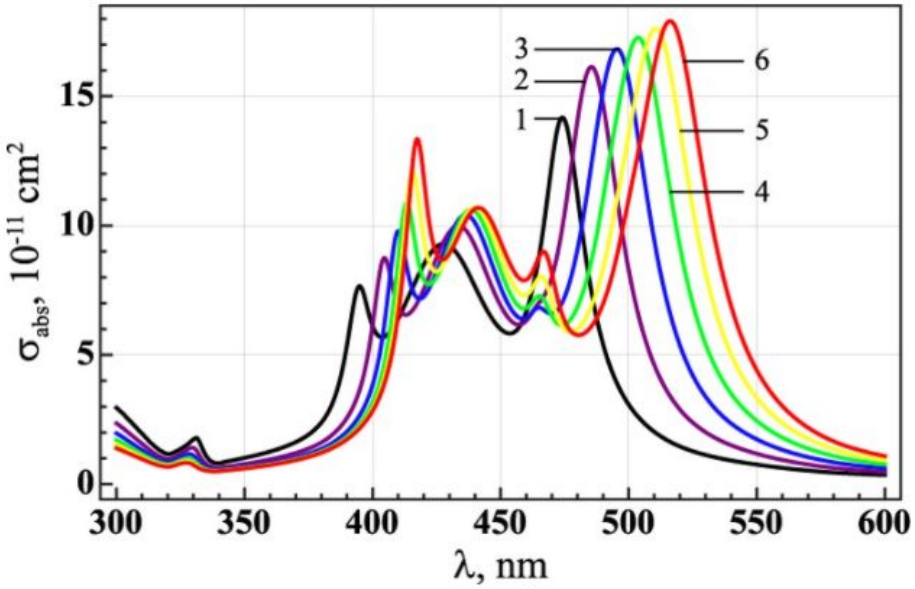
λ_{PIC} = 583 нм

λ_{Ag} = 387 нм

λ_{Au} = 524 нм

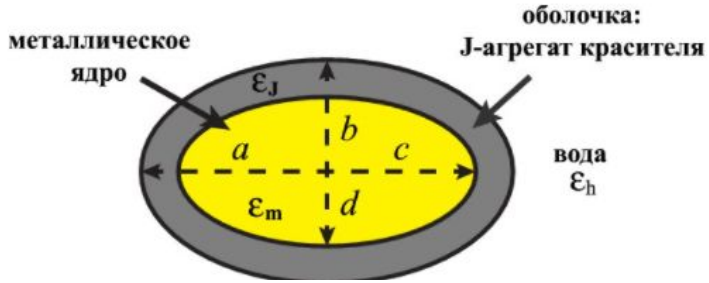
Зависимость характера спектров фотопоглощения гибридных наночастиц Ag/J-агрегат (*положений и интенсивностей пиков*) от толщины внешней оболочки красителя при фиксированном радиусе ядра

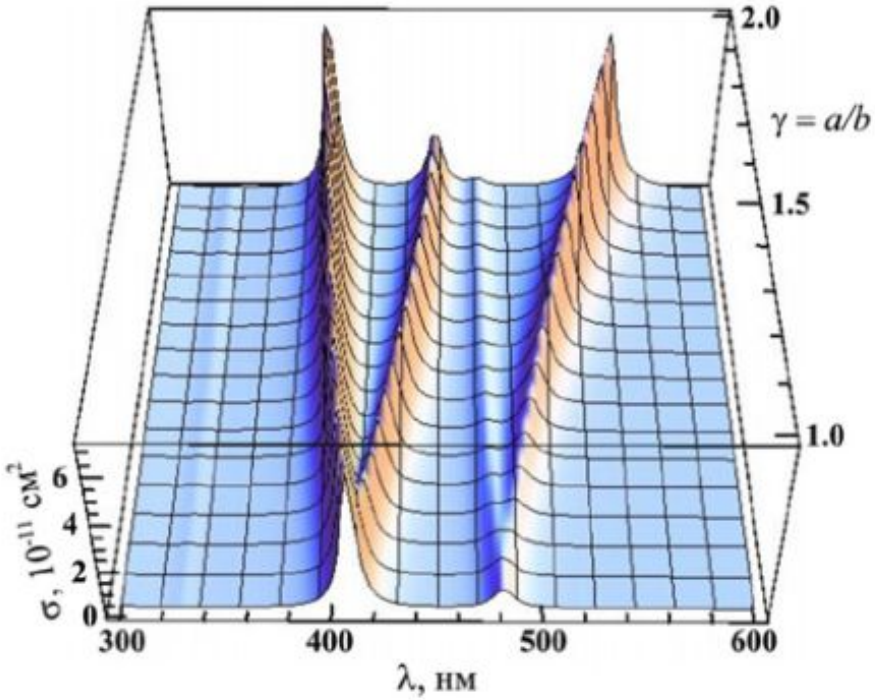
Толщины оболочки: ℓ=2 нм (1); ℓ= 4 нм (2); ℓ= 6 нм (3); ℓ= 8 нм (4); ℓ= 10 нм (5); ℓ=12 нм (6). Радиус ядра наночастицы не меняется: *r* = 30 нм



Зависимость оптических свойств гибридных наночастиц от их формы

Объект исследования: 2-х слойные сфероидальные наночастицы с металличесим ядром (Ag, Au), покрытые J-агрегатом цианинового красителя.





Ag/TC

a = 12 → 24 нм;
b = 12 нм;
γ = a/b =1 → 2

Параметры металлического ядра
c = 10 → 23 нм;
d = 10 нм

Толщина оболочки красителя
m_a = a – c = 2 → 1 нм
m_b = b – d = 2 нм

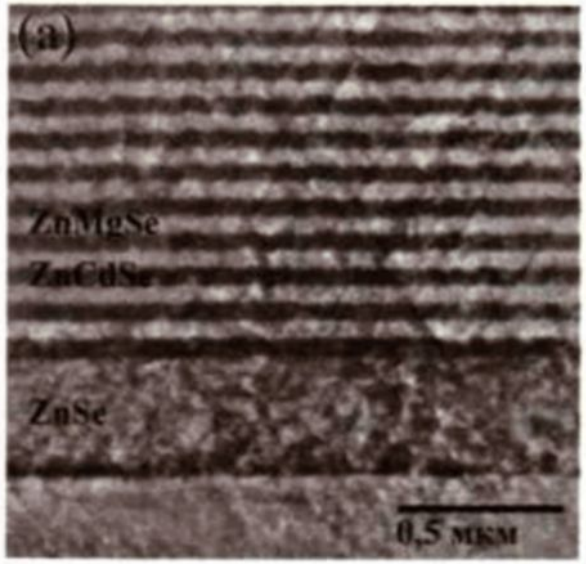
Спектральные свойства гибридных наночастиц

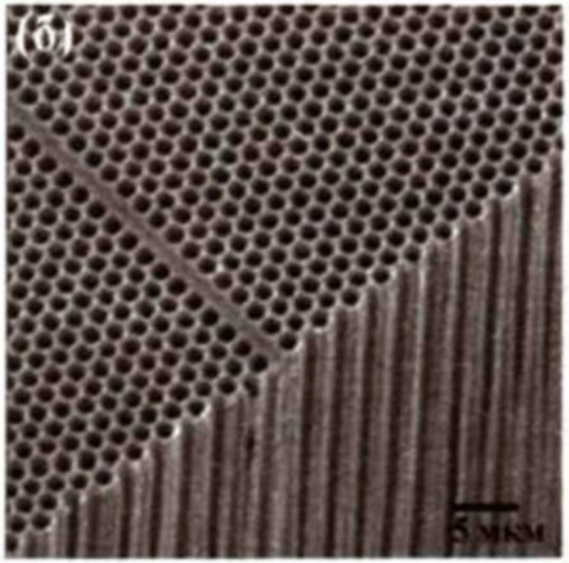
- Спектральные свойства гибридных частиц существенно отличаются от свойств компонентов, составляющих наночастицу
- Взаимодействие компонент наночастицы может приводить к смещению положения пиков в сечениях поглощения, возникновению новых пиков, а также изменению пиковых значений сечений поглощения
- Положения и количество пиков в сечениях поглощения зависят от формы наночастицы
- Для несферических частиц положения максимумов поглощения зависит от поляризации падающего излучения
- Выбирая различные геометрические параметры гибридной наночастицы, можно добиться смещения пиков поглощения в требуемую спектральную область, что открывает возможность управления спектральными свойствами гибридных наночастиц

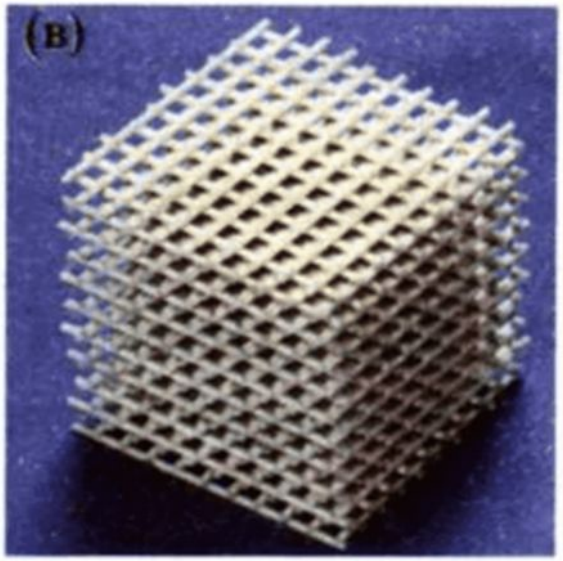
Выводы

- Оптические свойства наночастиц радикально отличаются от свойств объемного материала
- Практически для всех наночастиц спектральные характеристики существенно изменяются при изменении формы и размера частиц
- Варьируя геометрические параметры наночастиц, можно добиться требуемых оптических свойств
- При переходе к рассмотрению ансамблей наночастиц необходимо принимать во внимание взаимодействие между отдельными частицами
- Спектральные свойства гибридных наночастиц отличаются от свойств компонентов, из которых они состоят (целое не равно сумме частей!)

Фотонный кристалл — твердотельная структура с периодически изменяющейся диэлектрической проницаемостью либо неоднородностью, период которой сравним с длиной волны света







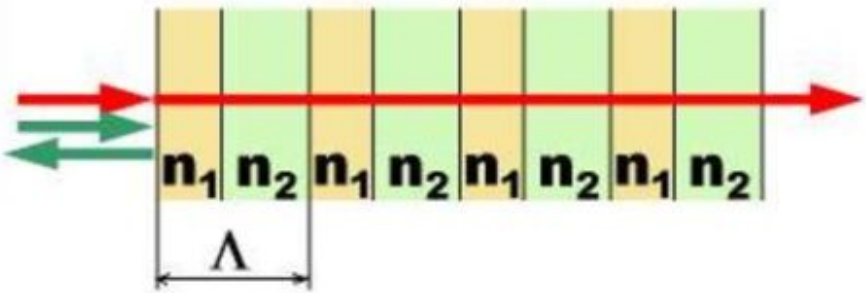
Примеры фотонных кристаллов различной размерности:
а – одномерный фотонный кристалл (поперечное сечение, постоянная решетки 0,15 мкм);
б - двумерный фотонный кристалл на основе макропористого кремния (постоянная решетки 1,5 мкм, высота пор 100 мкм);
в - трехмерный фотонный кристалл на основе синтетического опала (постоянная решетки 300 нм)

Фотонные кристаллы

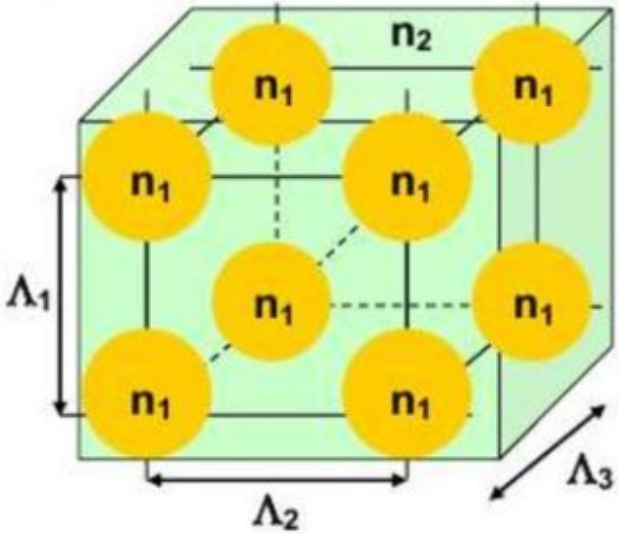
Фотонный кристалл - это материал, структура которого характеризуется периодическим изменением показателя преломления в пространственных направлениях .

Основное свойство фотонного кристалла – существование ***фотонной запрещенной зоны*** *– области частот фотонов, которые не могут распространяться внутри фотонного кристалла.*

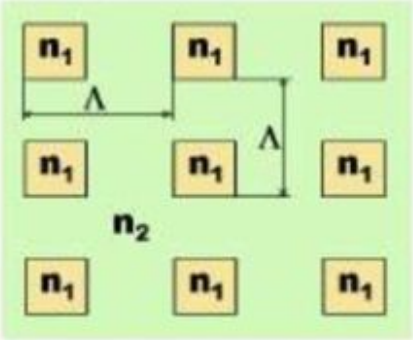
Одномерный фотонный кристалл

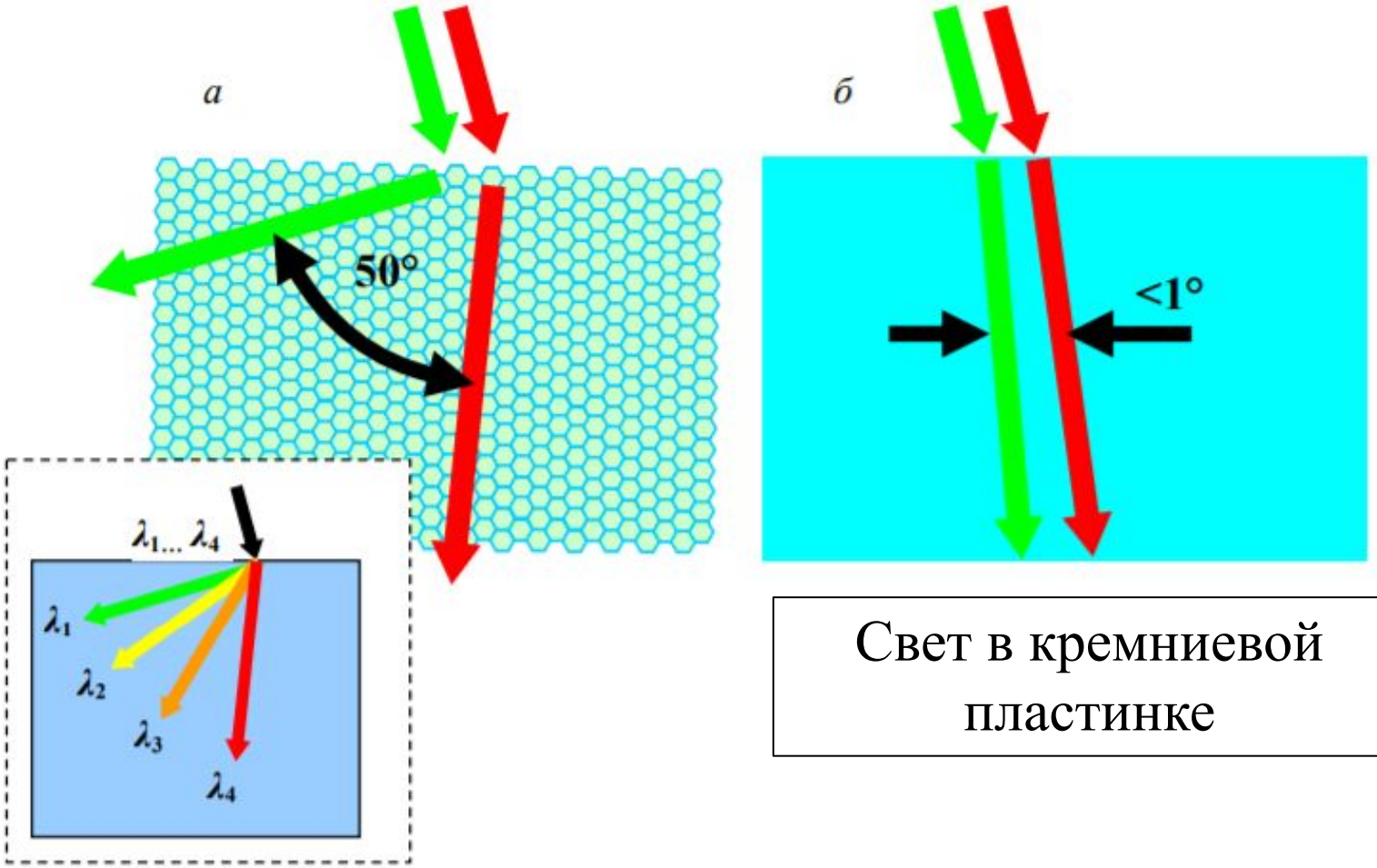


Трехмерный фотонный кристалл



Двумерный фотонный кристалл

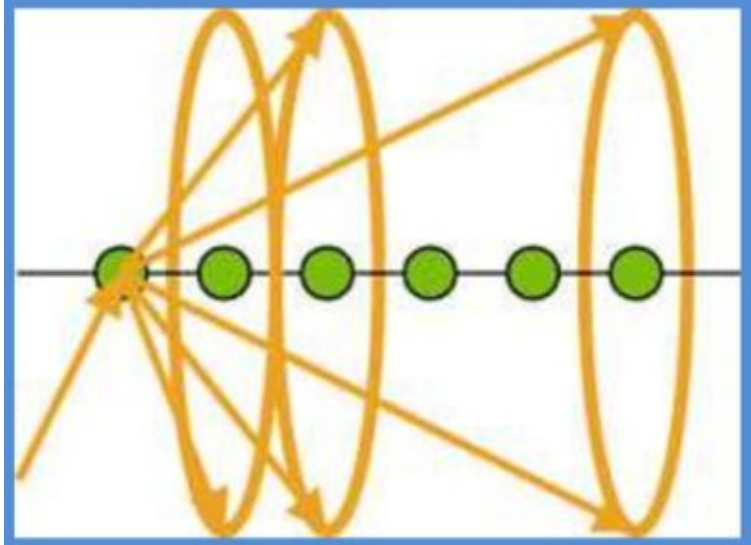




Свет в кремниевой пластинке

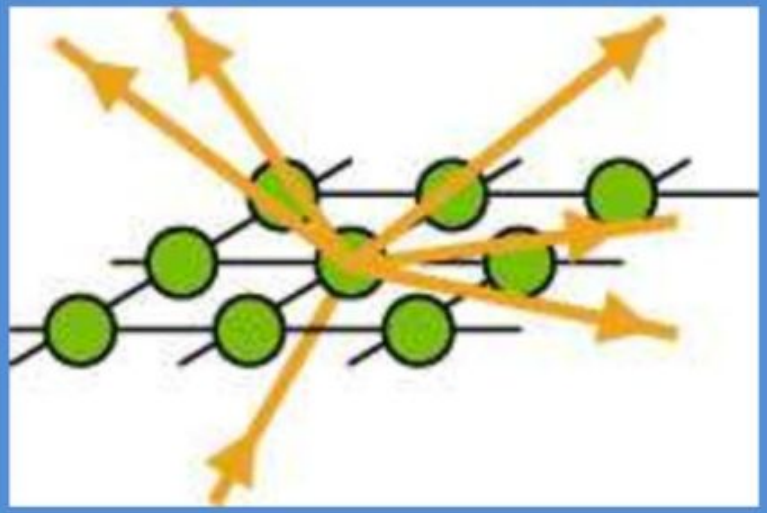
Свет в фотонном кристалле

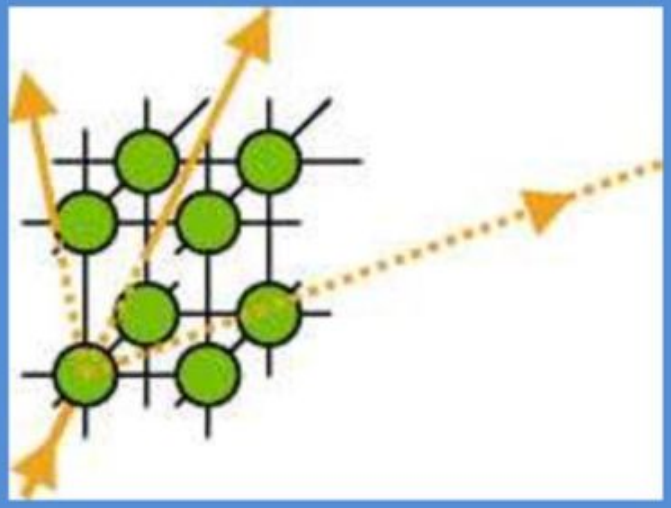
На рисунках схематично показано явление дифракции лучей света на периодических структурах различной размерности. При рассеянии фотонов на 1D- и 2D-структурах всегда находятся такие направления распространения дифрагировавших лучей, для которых условие максимума интерференции выполнено.



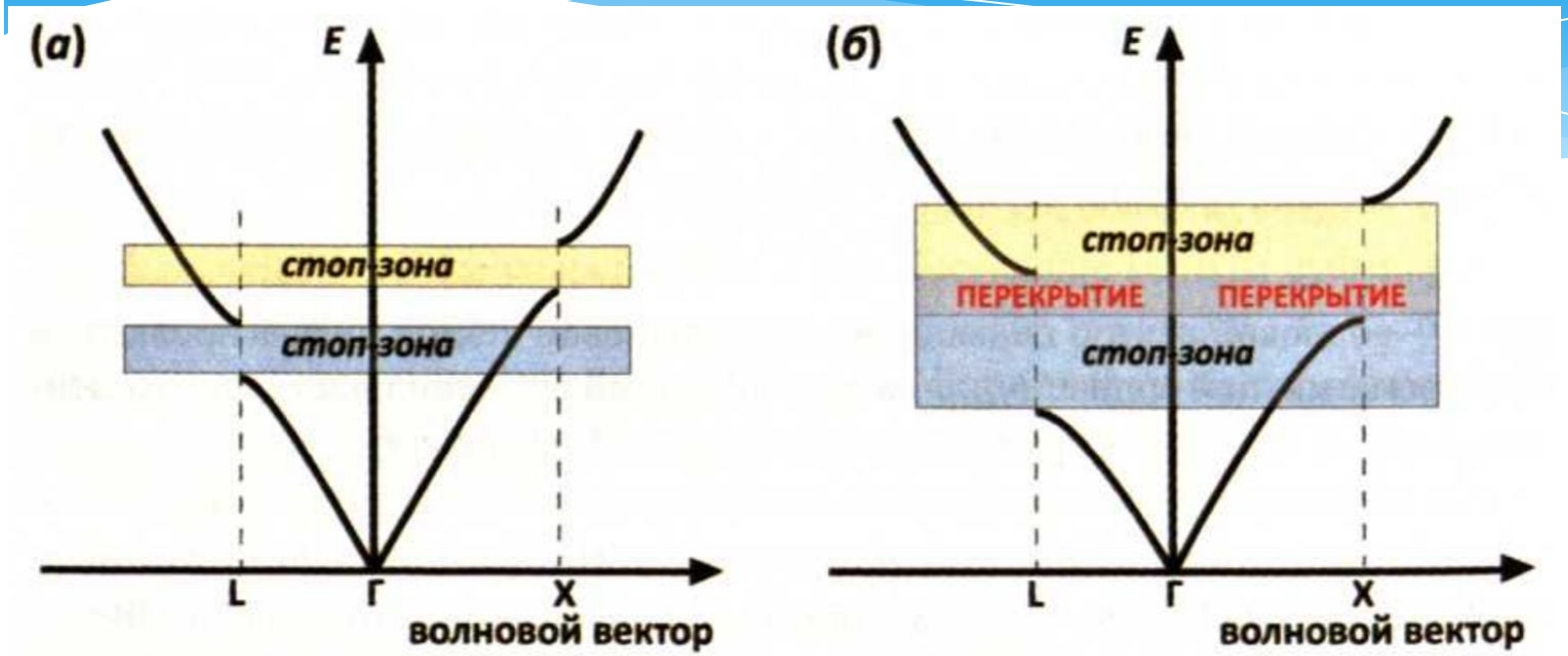
Для одномерного кристалла - нити, такие направления образуют конические поверхности, а в двумерном случае - совокупность отдельных, изолированных друг от друга лучей.

Трехмерный случай принципиально отличается от одномерного и двумерного тем, что условие максимума интерференции для данной длины волны света может оказаться невыполнимым ни для одного из направлений в пространстве. Распространение фотонов с такими длинами волн в трехмерном кристалле невозможно, а соответствующие им энергии образуют запрещенные фотонные зоны.

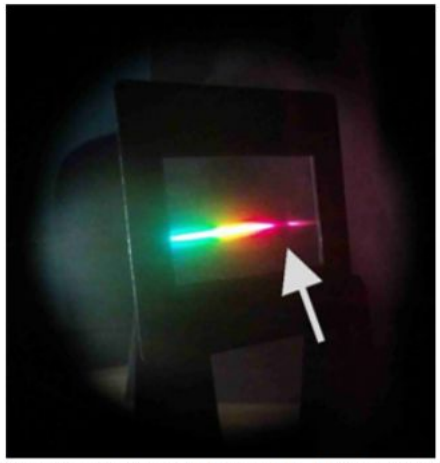




Формирование стоп-зон в фотонных кристаллах

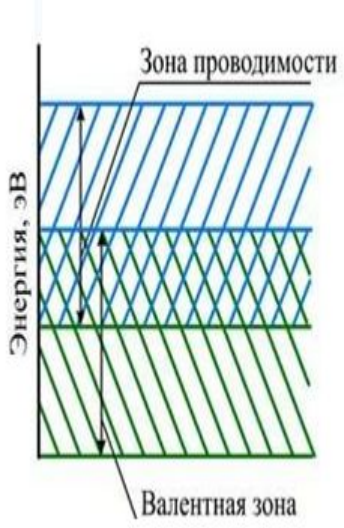


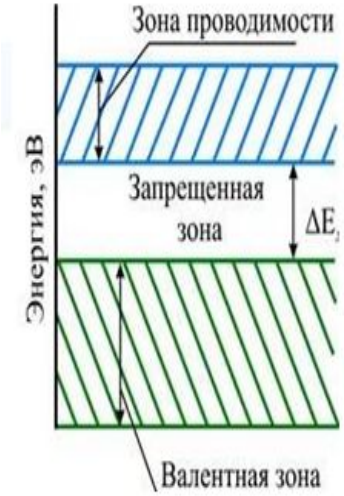
Положение стоп-зон для направлений Г-L и Г-X в ГЦК-решетке не перекрывается (а) при малом контрасте, перекрывается (б) при достаточном контрасте диэлектрической проницаемости (формирование полной запрещенной зоны)



Материалы

Проводники | Полупроводники | Диэлектрики



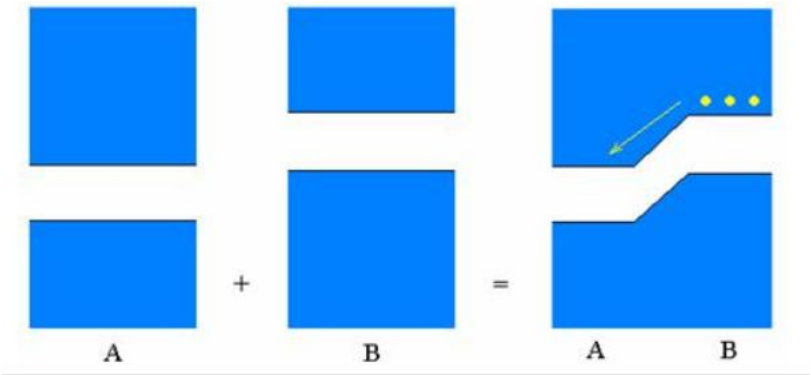


0,05-3 эВ

> 3 эВ

Фотонные проводники, полупроводники, диэлектрики

Компьютер на фотонных кристаллах



Фотонный p-n переход

Преимущества:

- Скорость света в 1000-10000 раз больше скорости электронов
- Нет расходов на сопротивление
- Нет нагрева материала

Недостатки:

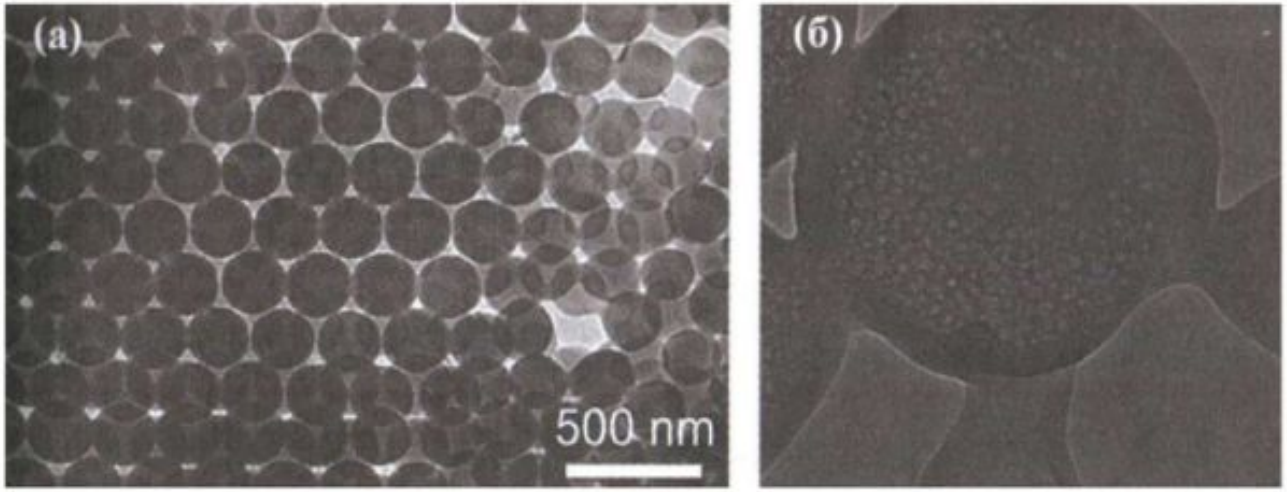
- Размер фотонов

Природные опалы

$SiO_2 \cdot xH_2O$

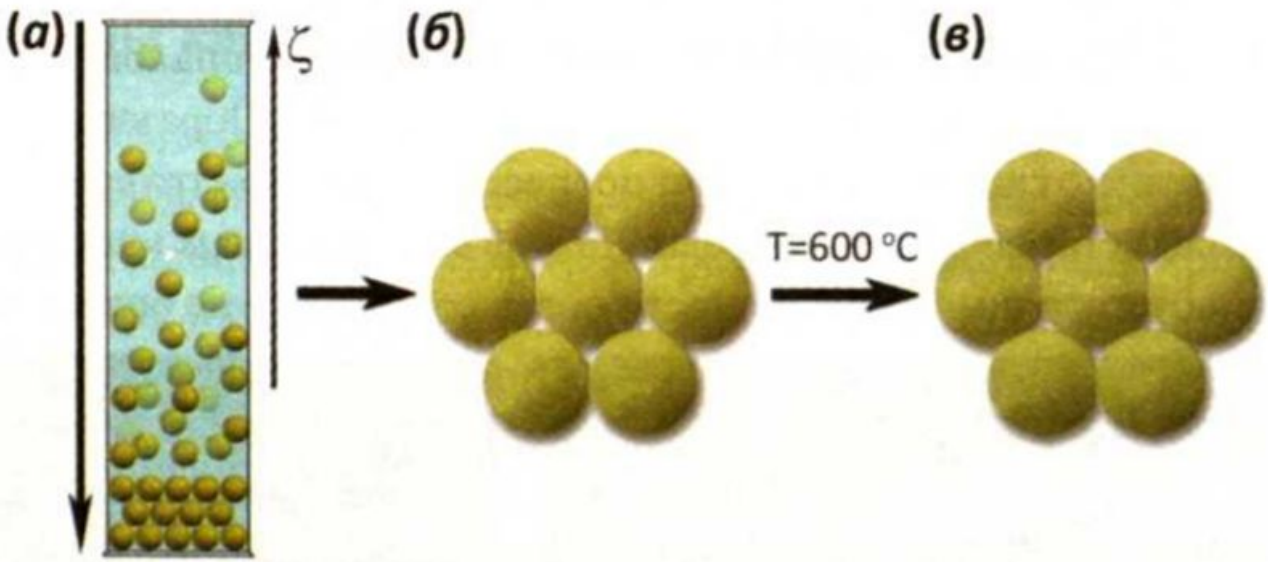
SiO_2 – 65-90%, H_2O 4-20%, Al_2O_3 до 9%, Fe_2O_3 до 3%, TiO_2 до 5%

Твердость 5,5-6 (Моос), показатель преломления 1,44-1,46



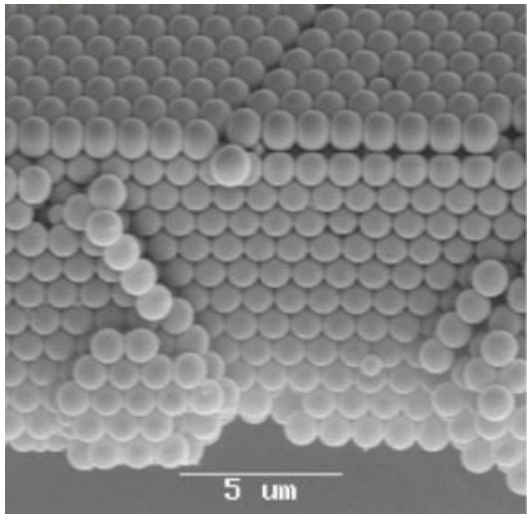
Микрофотографии природного опала: а) упаковка микросфер; б) внутренняя структура опаловых шаров

Синтетические опалы



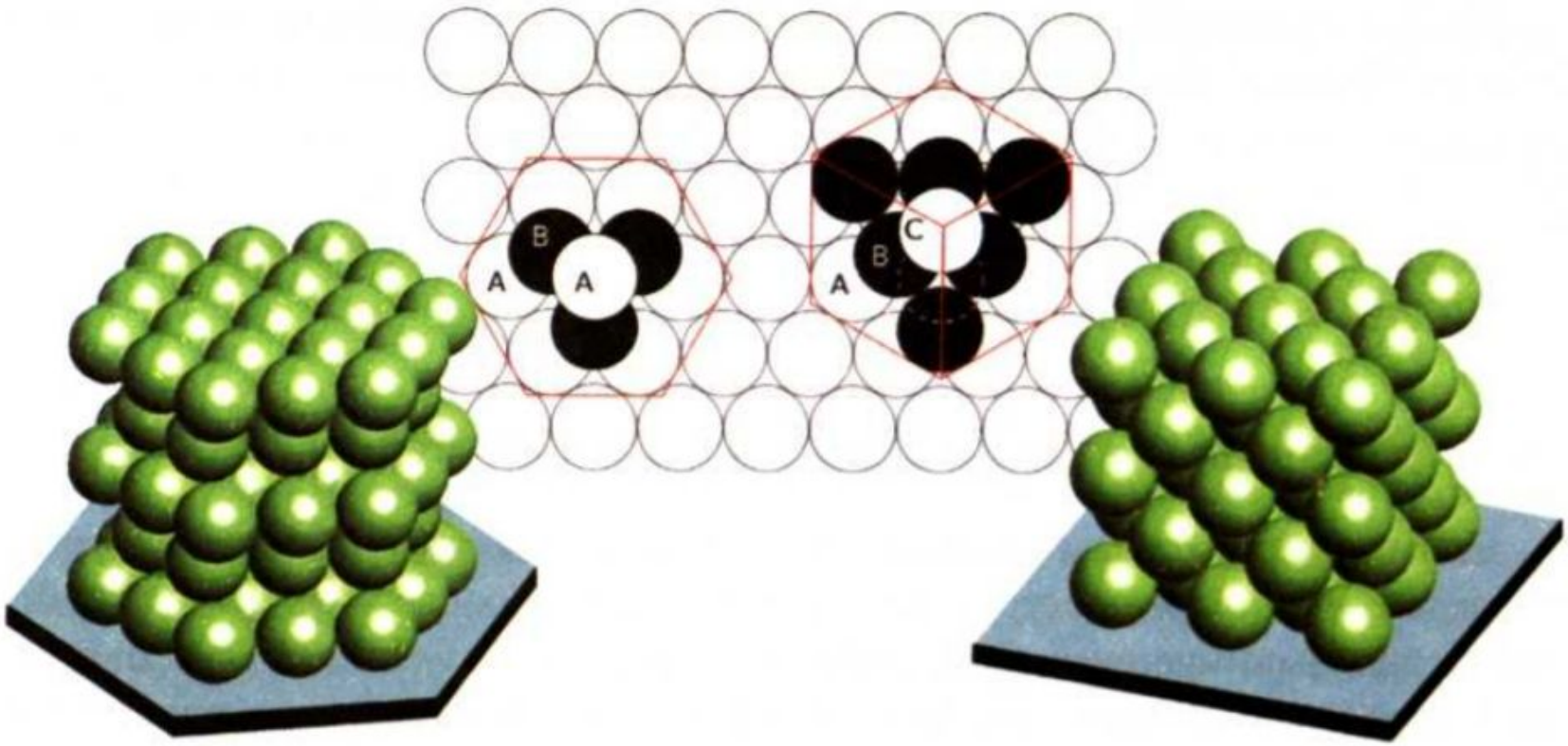
Стадии выращивания синтетических опалов: (а) – осаждение частиц из суспензии, (б) – высушивание, (в) – отжиг образца

Синтез сфер SiO_2 диаметром 200-1000 нм
Внутри сфера состоит из упакованных сфер диаметром 1-10 нм



Плотнейшая шаровая упаковка

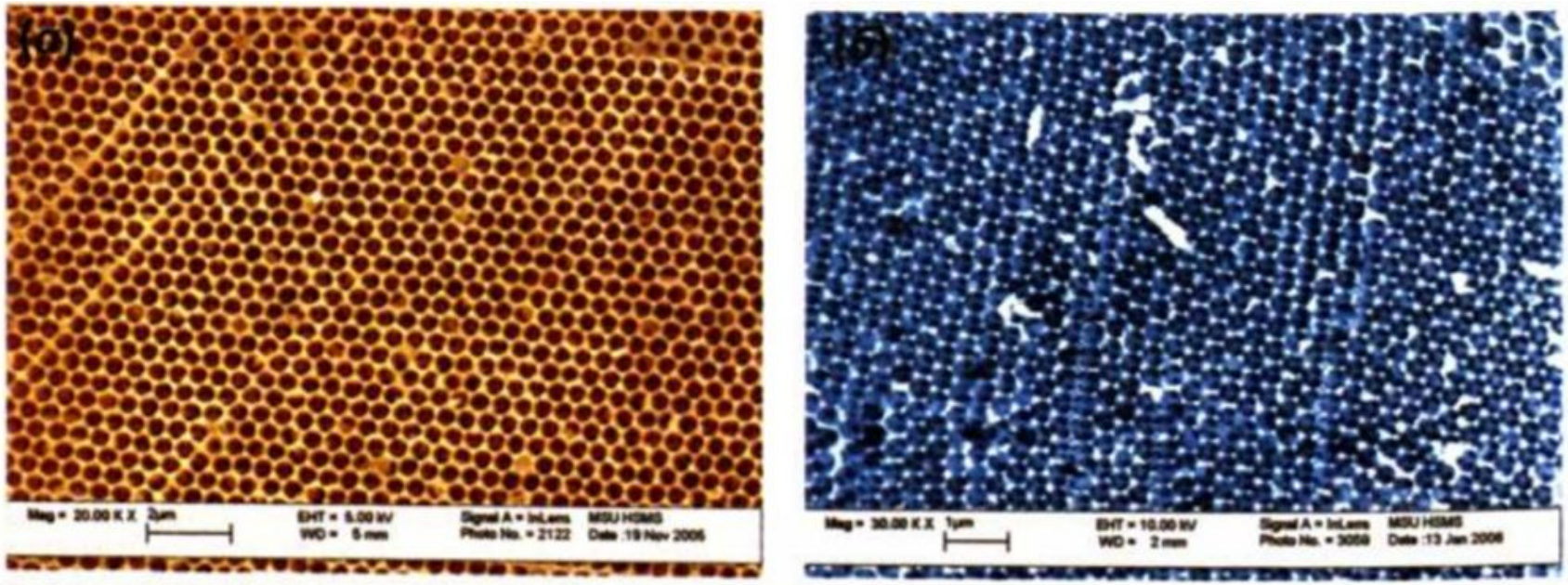
Синтетические опалы



Формирование плотноупакованной структуры сферических частиц: периодичность плотноупакованных слоев в гексагональной и кубической структурах, а также результирующие ГПУ (АВАВ...) и ГЦК (АВСАВС,,,) упаковки

Инвертированные опалы

Матрица SiO2 + вещества с высоким показателем преломления (Si, Ge,GaP, GaN,ZnO, ZrO2, WO3), заполняющие пустоты

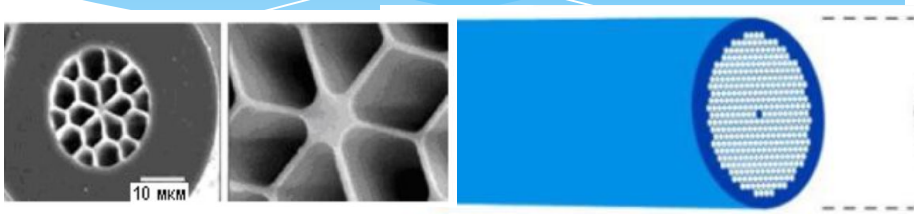


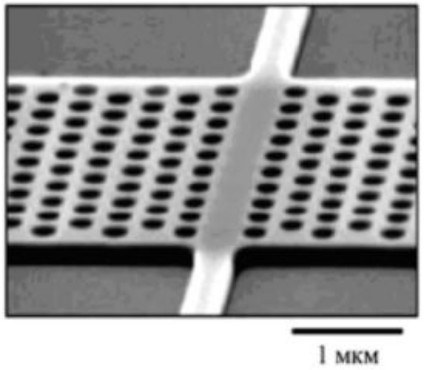
Микрофотографии инвертированных опалов SiO_2 и WO_3

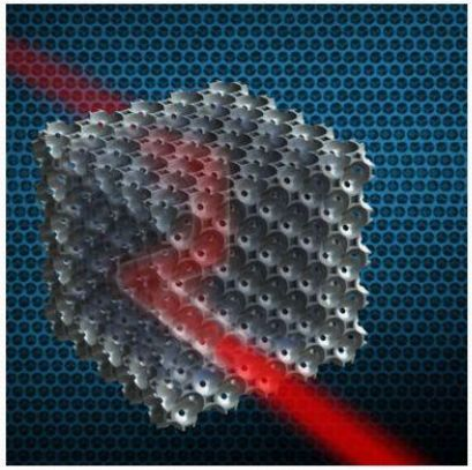
Фотонные волноводы

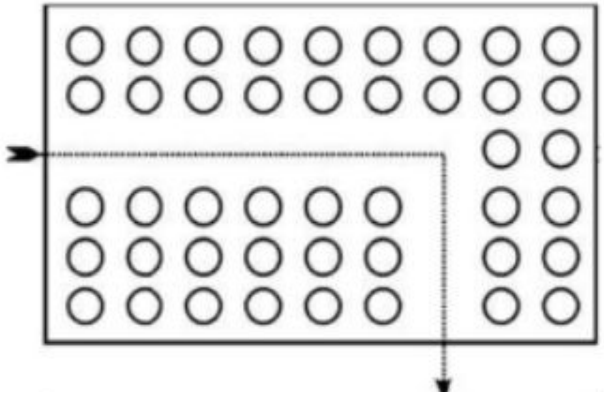
Преимущества:

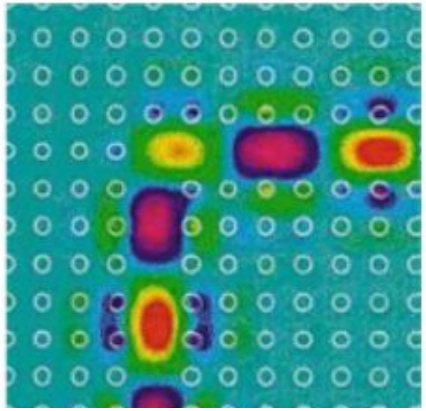
- Уменьшение габаритов
- Возможность менять спектральную характеристику
- Способность передавать большую оптическую мощность
- Возможность поворачивать световой поток



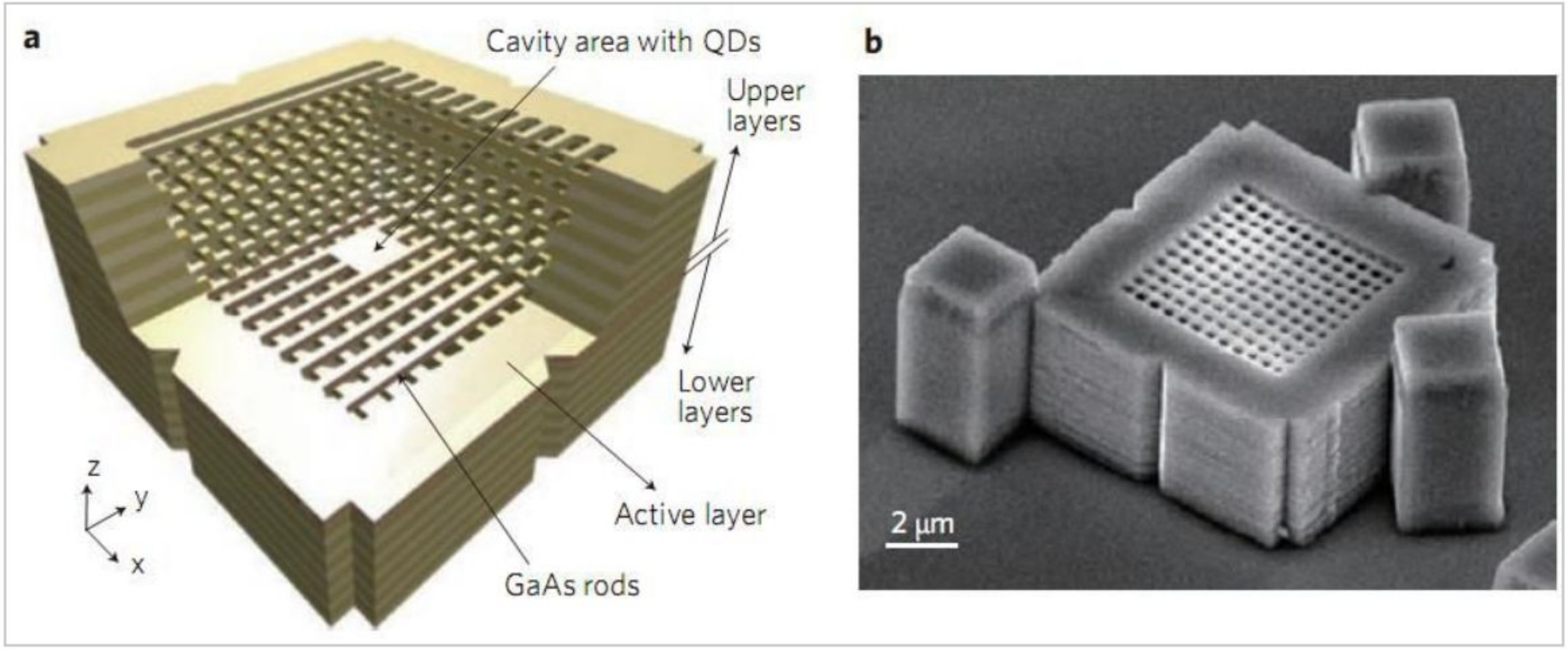








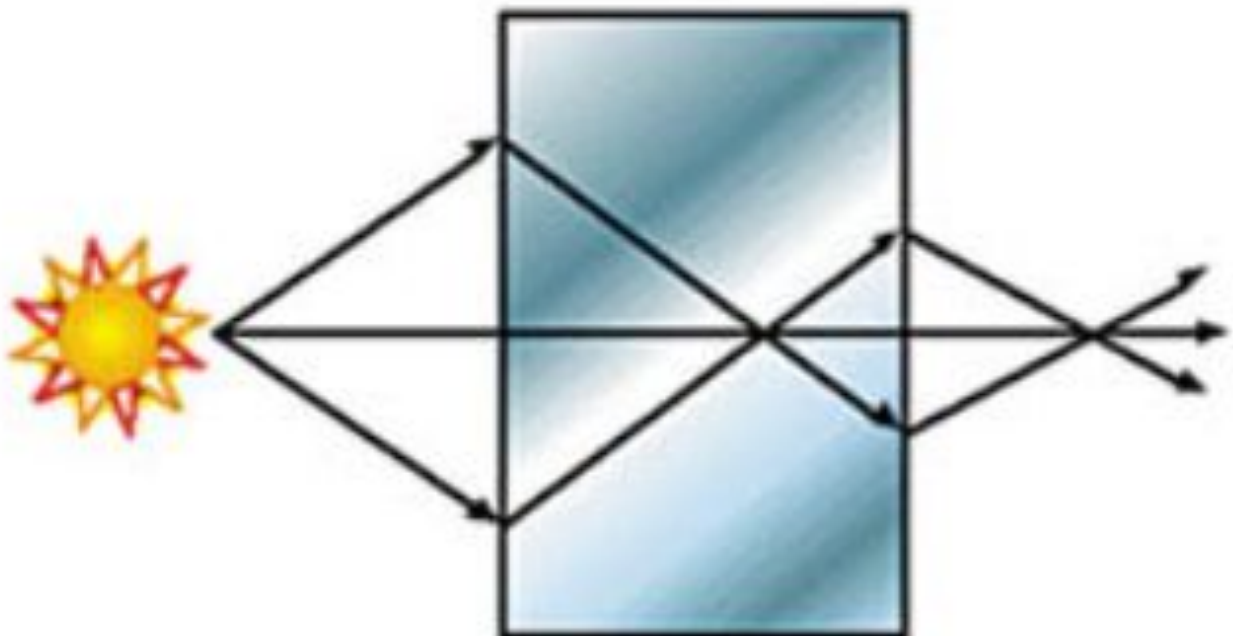
Лазеры с фотонными кристаллами



Излучатель - квантовая точка, матрица - фотонный кристалл

- Излучение мощнее в 1000 раз
- Лучше качество луча

Суперлинзы



Свет концентрируется в точку размером меньше длины волны

Применение фотонных кристаллов

Краска

Волноводы

Суперлинзы

Лазеры

Фотонные кристаллы

Суперпризмы

Дисплеи

Суперпро-водники

Компьютеры