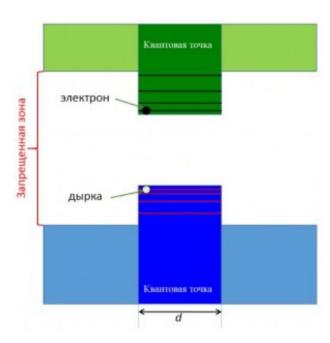
# Наноматериалы

Оптические свойства

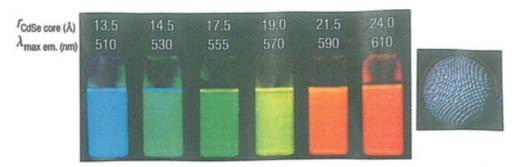
#### Уровни энергии в квантовой точке

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 <u>заданной длины</u> волны. Это позволяет, используя <u>один и тот же материал</u>, но разные размеры и форму, создавать источники света, излучающие в заданном спектральном диапазоне!

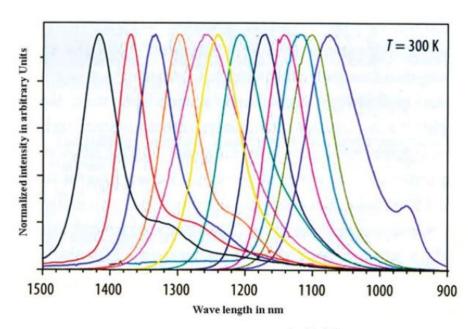
$$E_n^{electron} \approx \frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{2m_e d^2}$$
  $E_n^{hole} \approx \frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{2m_h d^2}$ 



#### Спектры излучения квантовых точек

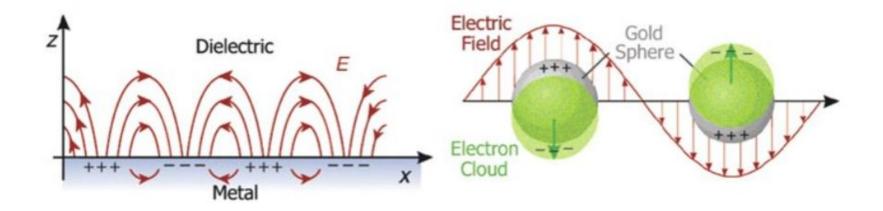


Зависимость флуоресценции квантовых точек «ядро-оболочка» CdSe/ZnS, облучаемых светом с I = 470 нм, от величины радиуса ядра.



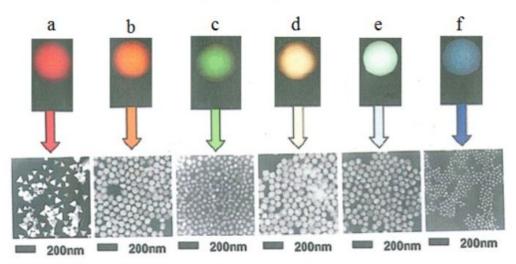
Нормированные спектры испускания квантовых точек In(Ga)As, помещенных в матрицу из GaAs.

## Спектральные свойства металлических частиц

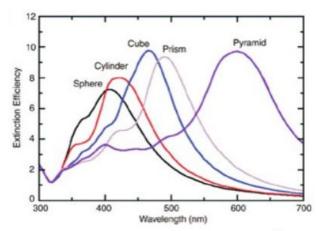


Колебания света в наноструктурах носят локализованный характер цвет зависит от размера частиц

# Зависимости спектров металлических наночастиц от их формы и размеров

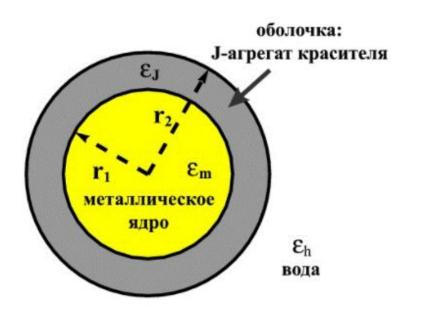


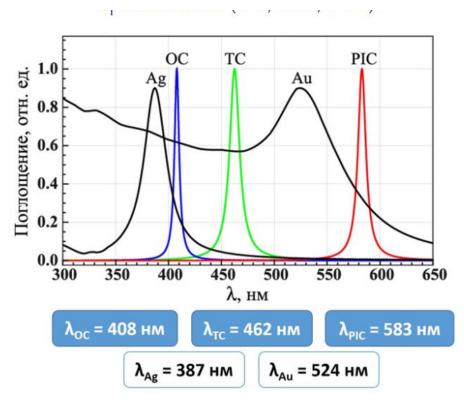
Максимумы в спектрах рассеяния для различных металлических наночастиц: а) серебряные нанопризмы; b) золотые шарики с размером 100 нм; c) золотые шарики с размером 50 нм; d) серебряные шарики с размером 100 нм; e) серебряные шарики с размером 40 нм.



Зависимость спектра экстинкции наночастиц серебра от формы частицы.

# Гибридные наночастицы

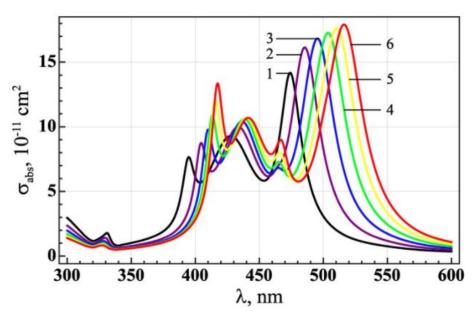




Зависимость характера спектров фотопоглощения гибридных наночастиц Ag/J-агрегат (положений и интенсивностей пиков) от толщины внешней оболочки красителя при фиксированном радиусе ядра

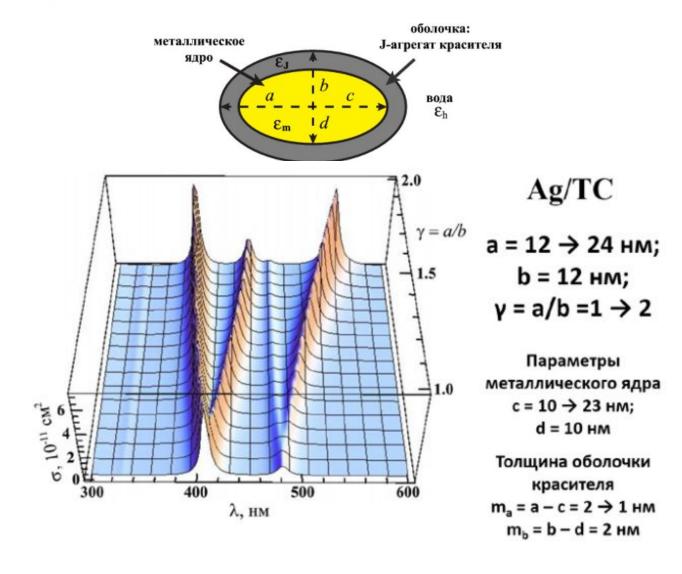
Толщины оболочки:  $\ell$ =2 нм (1);  $\ell$ = 4 нм (2);  $\ell$ = 6 нм (3);  $\ell$ = 8 нм (4);  $\ell$ = 10 нм (5);  $\ell$ =12 нм (6). Радиус ядра наночастицы не

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.



#### 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

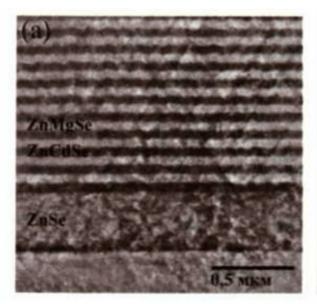
- Оптические свойства наночастиц радикально отличаются от свойств объемного материала
- Практически для всех наночастиц спектральные характеристики существенно изменяются при изменении формы и размера частиц
- Варьируя геометрические параметры наночастиц, можно добиться требуемых оптических свойств
- 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!)

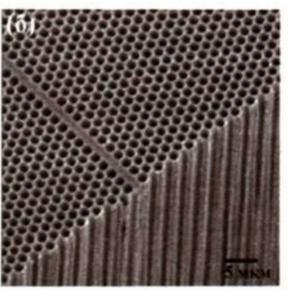
### Фотонный кристалл —

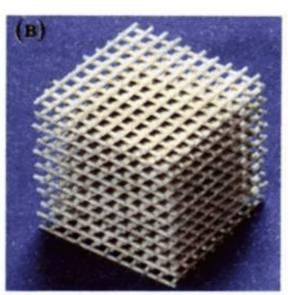
твердотельная структура с периодически изменяющейся диэлектрической проницаемостью либо неоднородностью, период которой сравним с длиной волны света











#### Примеры фотонных кристаллов различной размерности:

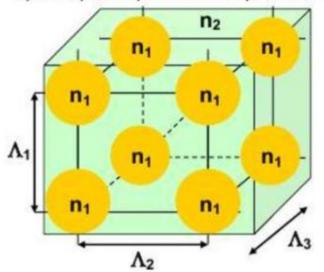
- а одномерный фотонный кристалл (поперечное сечение, постоянная решетки 0,15 мкм);
- б двумерный фотонный кристалл на основе макропористого кремния (постоянная решетки 1,5 мкм, высота пор 100 мкм);
- в трехмерный фотонный кристалл на основе синтетического опала (постоянная решетки 300 нм)

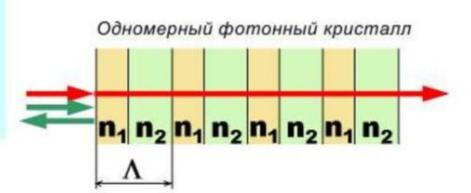
#### Фотонные кристаллы

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

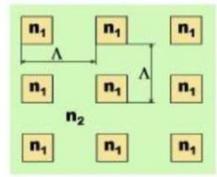
Основное свойство фотонного кристалла — существование фотонной запрещенной зоны области частот фотонов, которые не могут распространяться внутри фотонного кристалла.

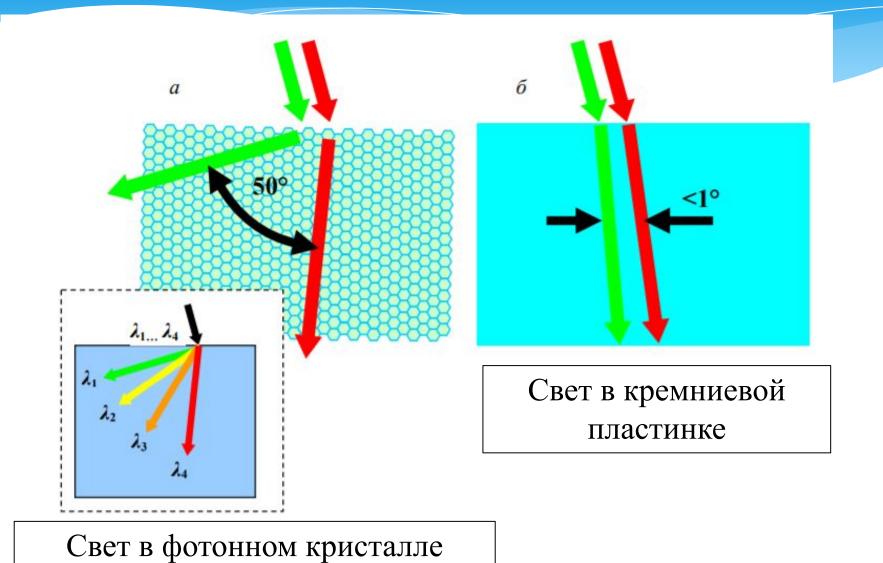
Трехмерный фотонный кристалл



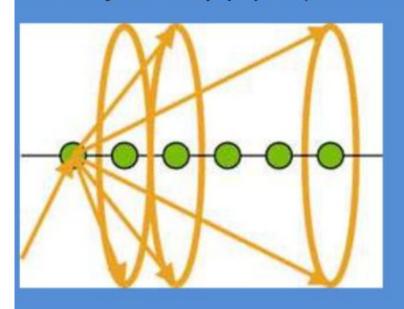


Двумерный фотонный кристалл



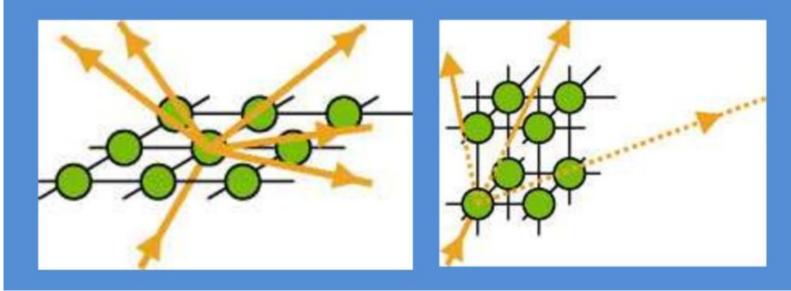


На рисунках схематично показано явление дифракции лучей света на периодических структурах различной размерности. При рассеянии фотонов на 1D- и 2D-структурах всегда находятся такие направления распространения дифрагировавших лучей, для которых условие максимума интерференции выполнено.

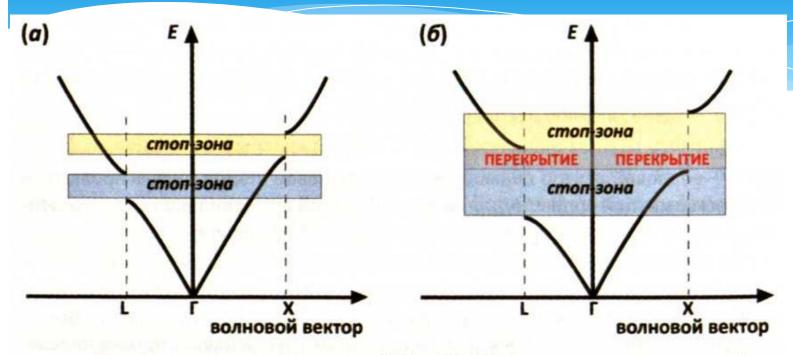


Для одномерного кристалла - нити, такие направления образуют конические поверхности, а в двумерном случае - совокупность отдельных, изолированных друг от друга лучей.

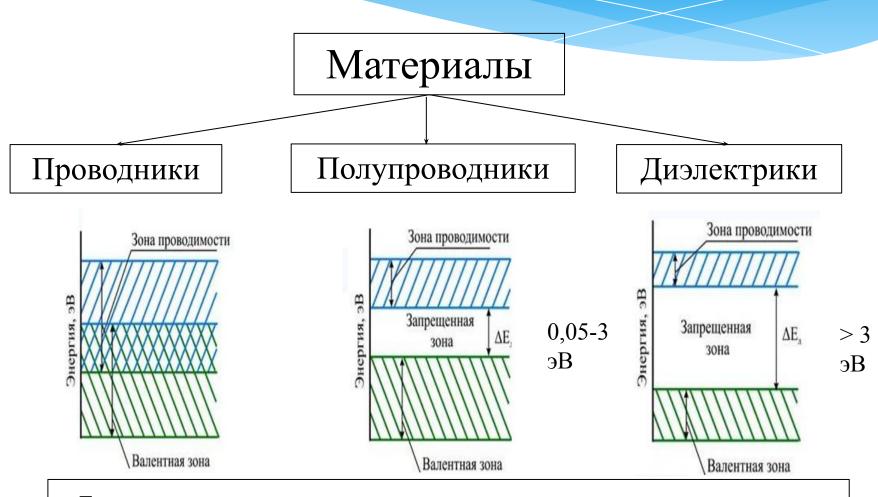
Трехмерный случай принципиально отличается от одномерного и двумерного тем, что условие максимума интерференции для данной длины волны света может оказаться невыполнимым ни для одного из направлений в пространстве. Распространение фотонов с такими длинами волн в трехмерном кристалле невозможно, а соответствующие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



### Формирование стоп-зон в фотонных кристаллах

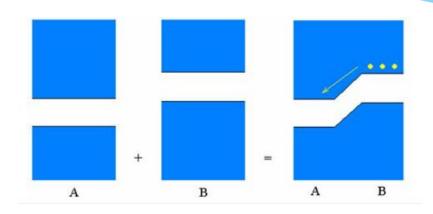


Положение стоп-зон для направлений Г-L и Г-X в ГЦК-решетке не перекрывается (а) при малом контрасте, перекрывается (б) при достаточном контрасте диэлектрической проницаемости (формирование полной запрещенной зоны)



Фотонные проводники, полупроводники, диэлектрики

# Компьютер на фотонных кристаллах



Фотонный р-п переход

## Преимущества:

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

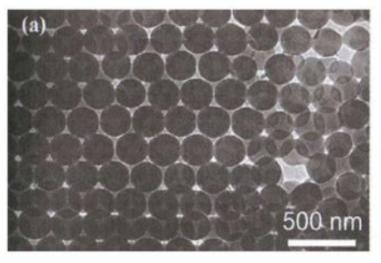
### Недостатки:

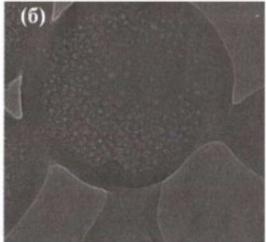
• Размер фотонов

## Природные опалы

#### SiO2·xH2O

SiO2 – 65-90%, H2O 4-20%, Al2O3 до 9%, Fe2O3 до 3%, TiO2 до 5% Твердость 5,5-6 (Mooc), показатель преломления 1,44-1,46

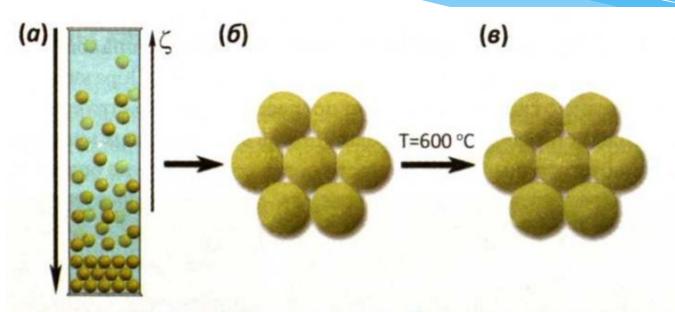




Микрофотографии природного опала: а) упаковка микросфер; б) внутренняя структура опаловых шаров



## Синтетические опалы



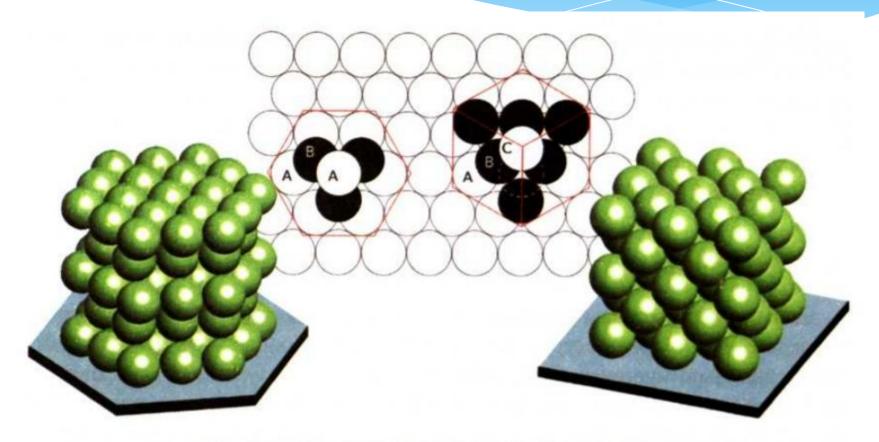
Стадии выращивания синтетических опалов: (а) - осаждение частиц из суспензии,

(б) – высушивание, (в) – отжиг образца

Синтез сфер SiO2 диаметром 200-1000 нм Внутри сфера состоит из упакованных сфер диаметром 1-10 нм

Плотнейшая шаровая упаковка

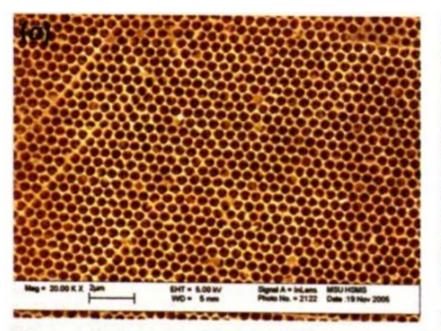
## Синтетические опалы

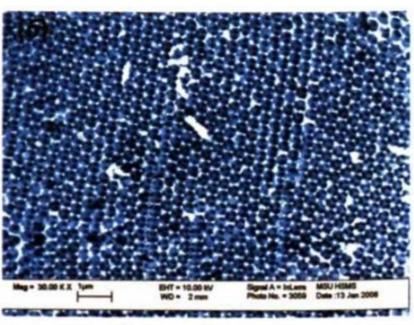


Формирование плотноупакованной структуры сферических частиц: периодичность плотноупакованных слоев в гексагональной и кубической структурах, а также результирующие ГПУ (ABAB...) и ГЦК (ABCABC,,,) упаковки

# Инвертированные опалы

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



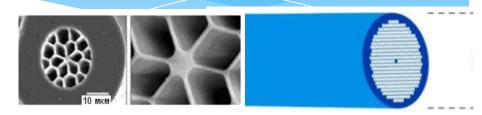


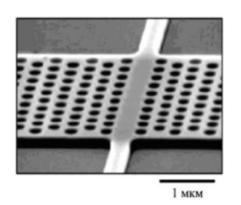
Микрофотографии инвертированных опалов SiO<sub>2</sub> и WO<sub>3</sub>

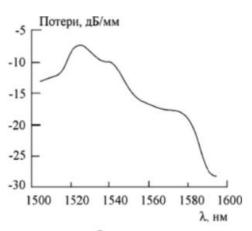
# Фотонные волноводы

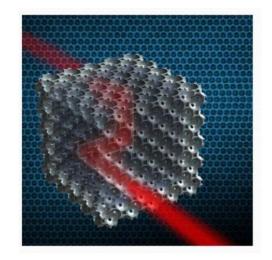
#### Преимущества:

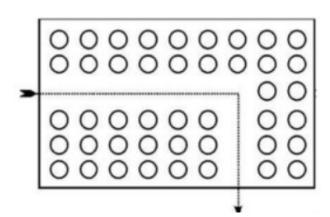
- Уменьшение габаритов
- Возможность менять спектральную характеристику
- Способность передавать большую оптическую мощность
- Возможность поворачивать световой поток

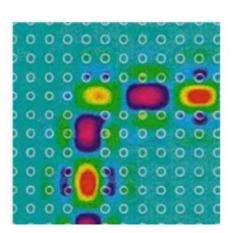




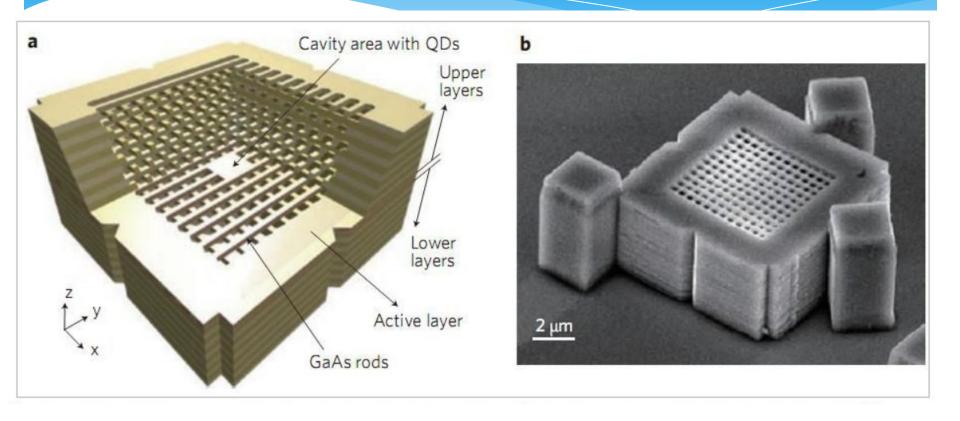








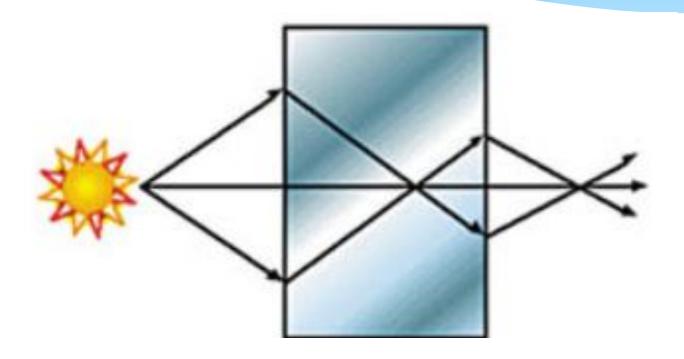
# Лазеры с фотонными кристаллами



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

Суперпроводники

Компьютеры