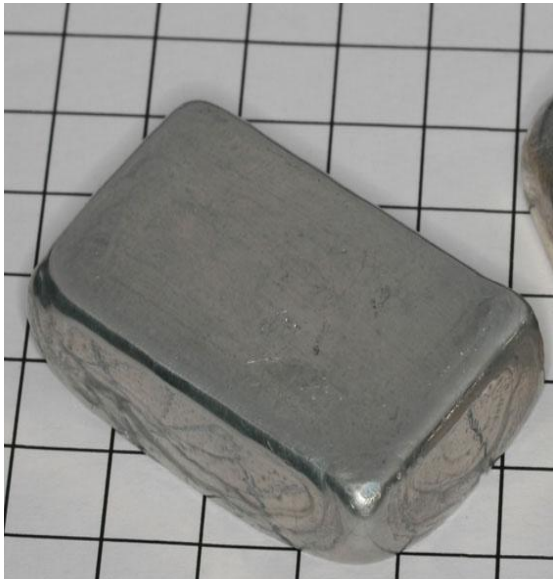


Необычные оптические НАНОматериалы

Моисеев Сергей Геннадьевич

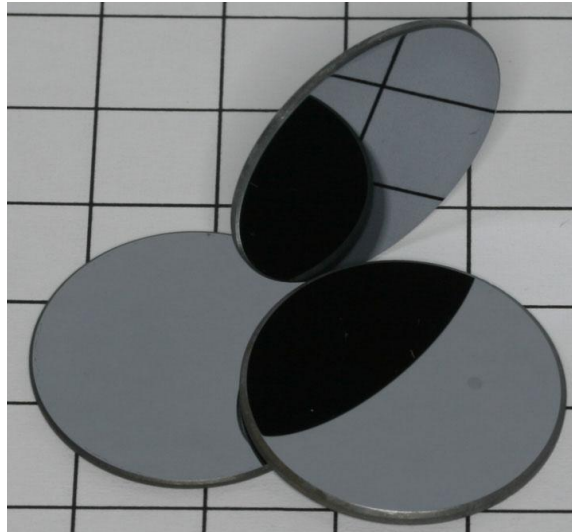
Природные материалы

Проводники



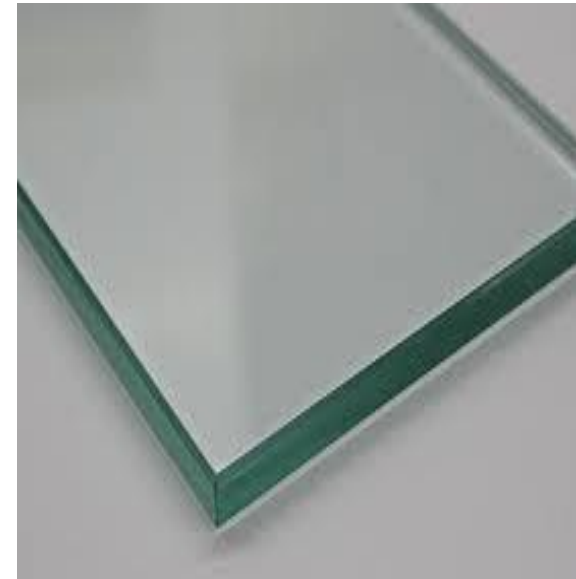
Al, Au, Ag, Fe, ...

**Полу-
проводники**



Ge, Si, ...

Диэлектрики



стекло, сапфир, ...

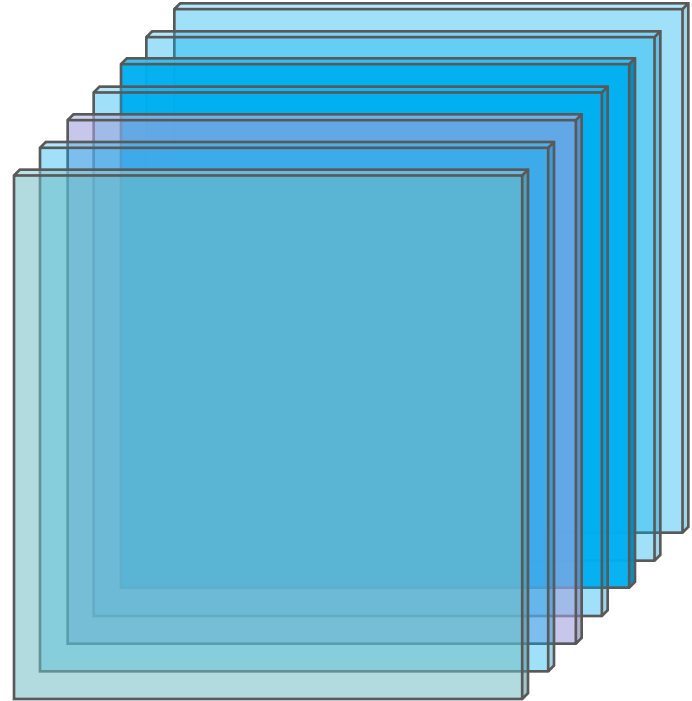
Металлический блеск Прозрачность

Природные материалы

Слоистая структура

Толщина слоев ~ 100 нм

Новые оптические свойства!



Природные материалы

Диэлектрические зеркала

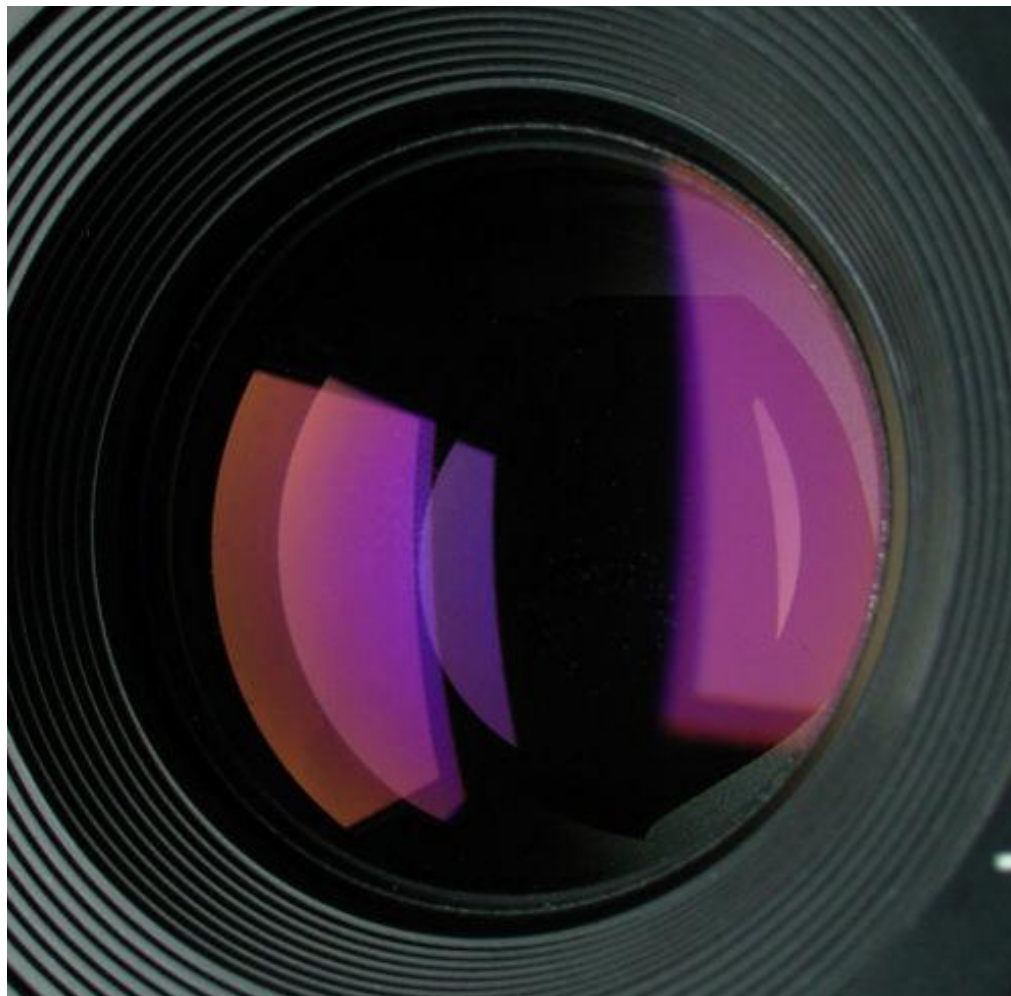
Отражательная
способность
близка к **100%**



Природные материалы

Просветляющие покрытия

Отражательная
способность
близка к **0%**



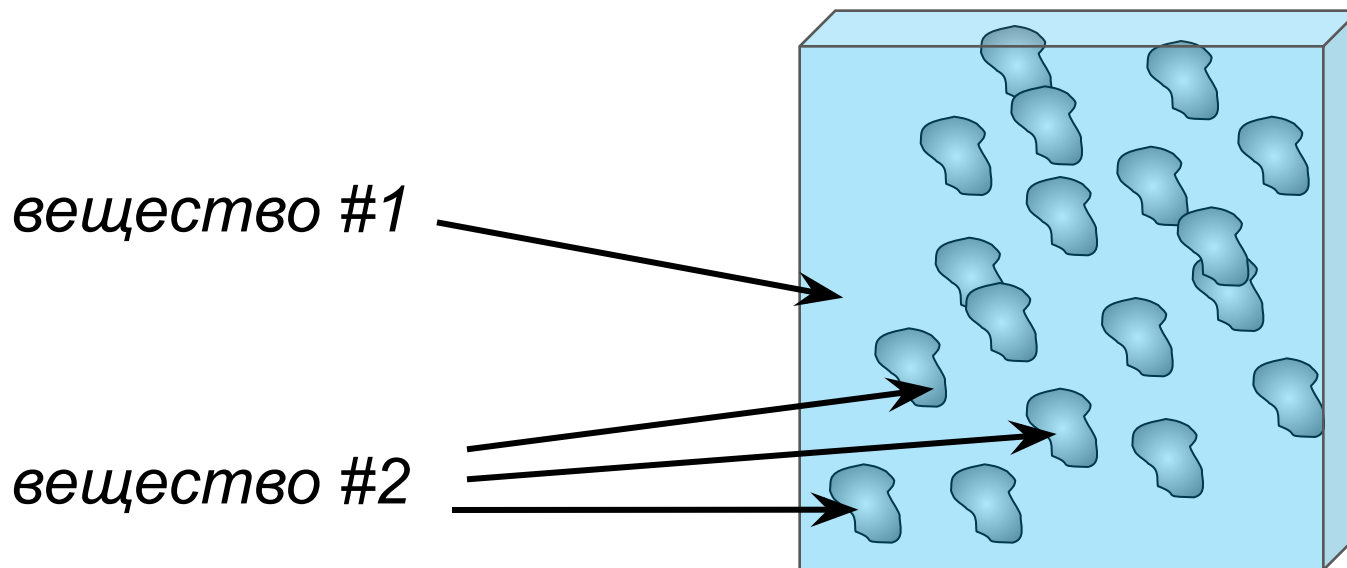
Природные материалы

Вещество	Показатель преломления
алмаз	$n = 2.4$
стекло	$n = 1.4 - 2.2$
вода, лед	$n = 1.3$
воздух	$n = 1$



НАНОматериалы

Метаматериалы – искусственно созданные материалы, обладающие свойствами, отличающимися от свойств природных материалов



Свойства метаматериалов не только не присущи используемым компонентам, но, в принципе, не могут быть найдены в природе.

Метаматериалы

Природные материалы

Вещество	Показатель преломления
алмаз	$n = 2.4$
стекло	$n = 1.4 - 2.2$
вода, лед	$n = 1.3$
воздух	$n = 1$

Метаматериалы

Показатель преломления	
сверхбольшой	$n \gg 1$
единичный	$n \approx 1$
малый	$0 < n < 1$
отрицательный	$n < 0$

Среды Веселаго



Пионерские исследования советского физика Виктора Георгиевича Веселаго в 1967-68 гг. (3 статьи в журнале «Успехи физических наук»)

1967 г. Июль

Том 92, вып. 3

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

**ЭЛЕКТРОДИНАМИКА ВЕЩЕСТВ С ОДНОВРЕМЕННО
ОТРИЦАТЕЛЬНЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ ϵ И μ**

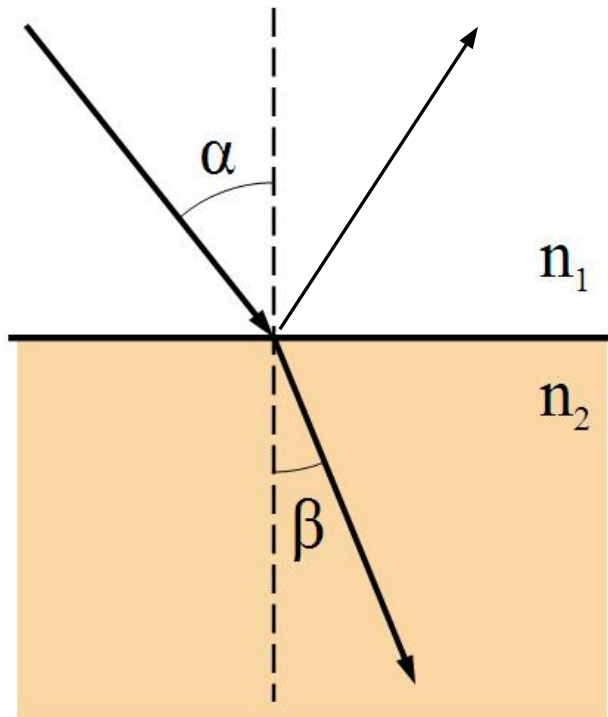
В. Г. Веселаго

Экспериментальное подтверждение через >30 лет!

Волна интереса к метаматериалам в 21 веке.

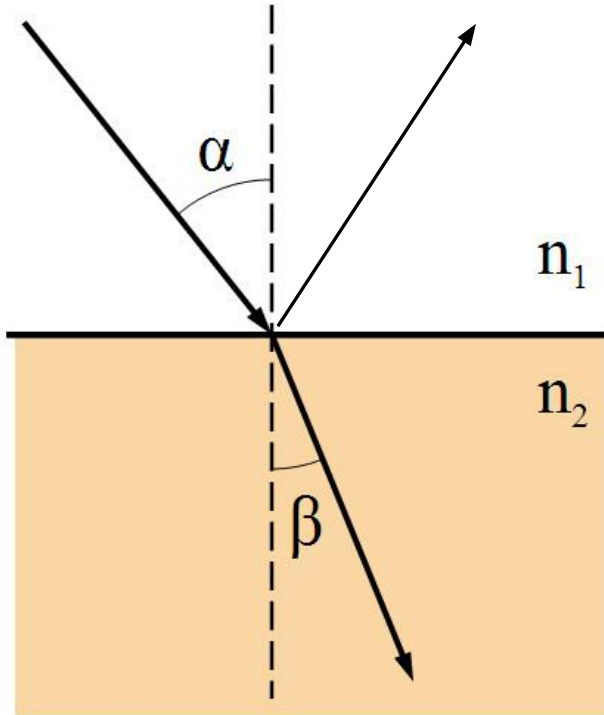
Среды Веселаго

случай $n_2 > 0$



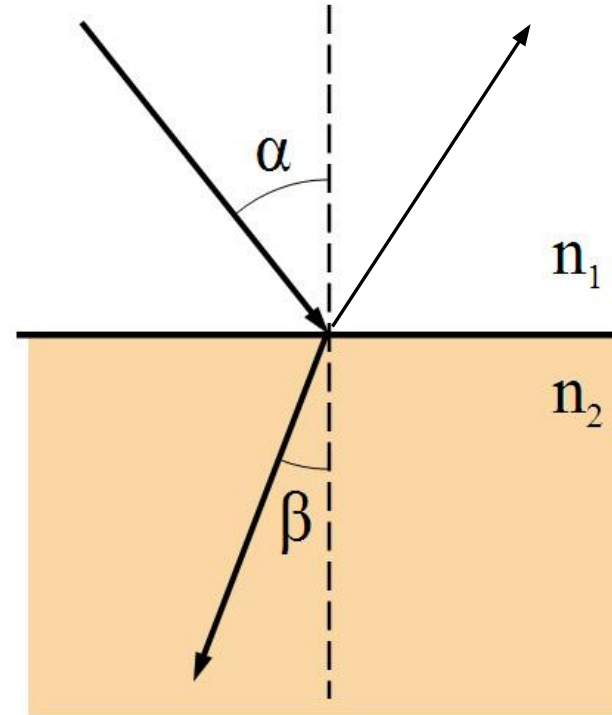
Среды Веселаго

случай $n_2 > 0$



случай $n_2 < 0$

свет преломляется в ином направлении («отрицательном»)



ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ
ПРЕЛОМЛЕНИЕ

Среды Веселаго

СТРАННОСТИ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ПРЕЛОМЛЕНИЯ

СРЕДА
С ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ
ПОКАЗАТЕЛЕМ
ПРЕЛОМЛЕНИЯ

Карандаш в воде кажется
изогнутым из-за более высо-
кого показателя преломле-
ния воды



Среды Веселаго

СТРАННОСТИ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ПРЕЛОМЛЕНИЯ

В среде с отрицательным показателем преломления свет (и все другие виды электромагнитного излучения) ведет себя не так, как в обычных материалах с положительным преломлением, причем во многих отношениях это поведение противоречит интуиции

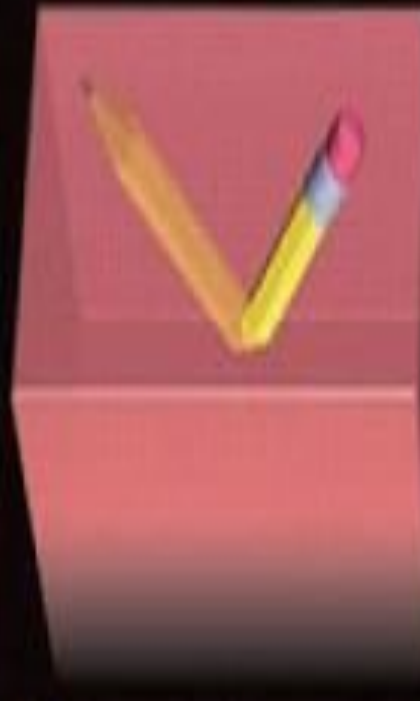
**СРЕДА
С ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ
ПОКАЗАТЕЛЕМ
ПРЕЛОМЛЕНИЯ**

Карандаш в воде кажется изогнутым из-за более высокого показателя преломления воды

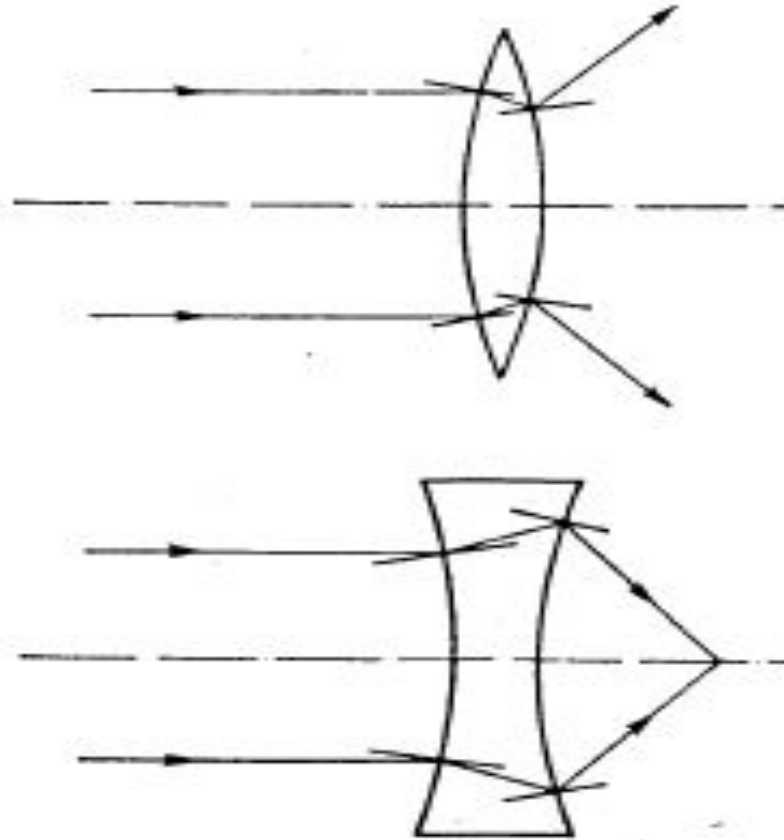


**СРЕДА
С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ
ПОКАЗАТЕЛЕМ
ПРЕЛОМЛЕНИЯ**

Карандаш, погруженный в среду с отрицательным преломлением, будет казаться изогнутым наружу



Среды Веселаго

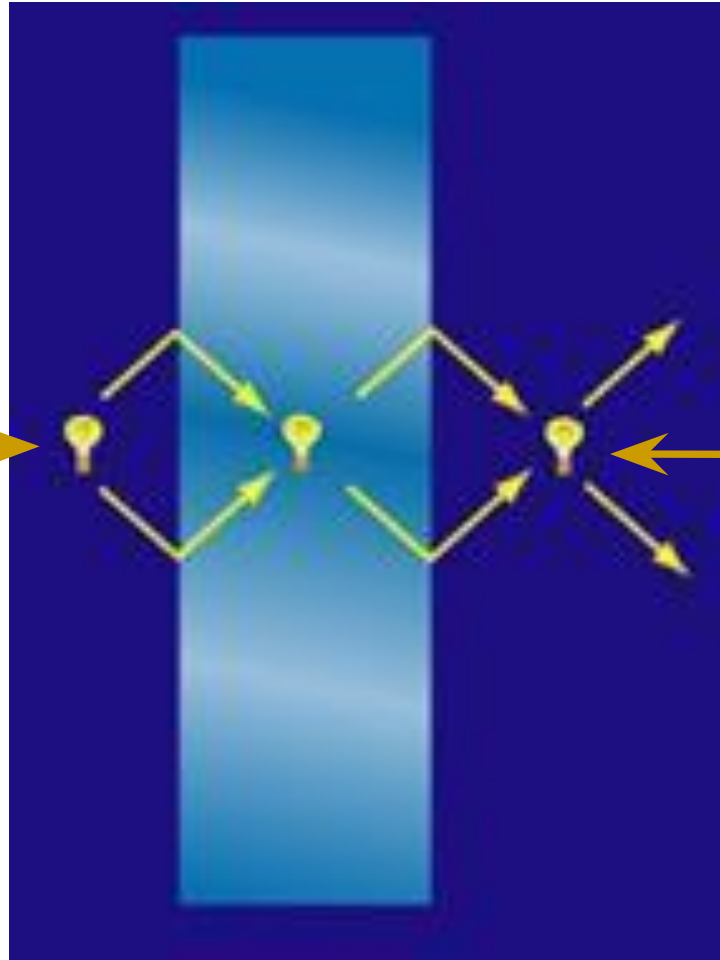


«Рассеивающая» и «собирающая» линзы

Среды Веселаго

«Линза
Веселаго»

Источник света →



← *Изображение*

Это устройство фокусирует в точку излучение точечного источника, но не фокусирует в точку параллельный пучок лучей.

Метаматериалы



Общий принцип «невидимости» - огибание светом препятствия

Метаматериалы

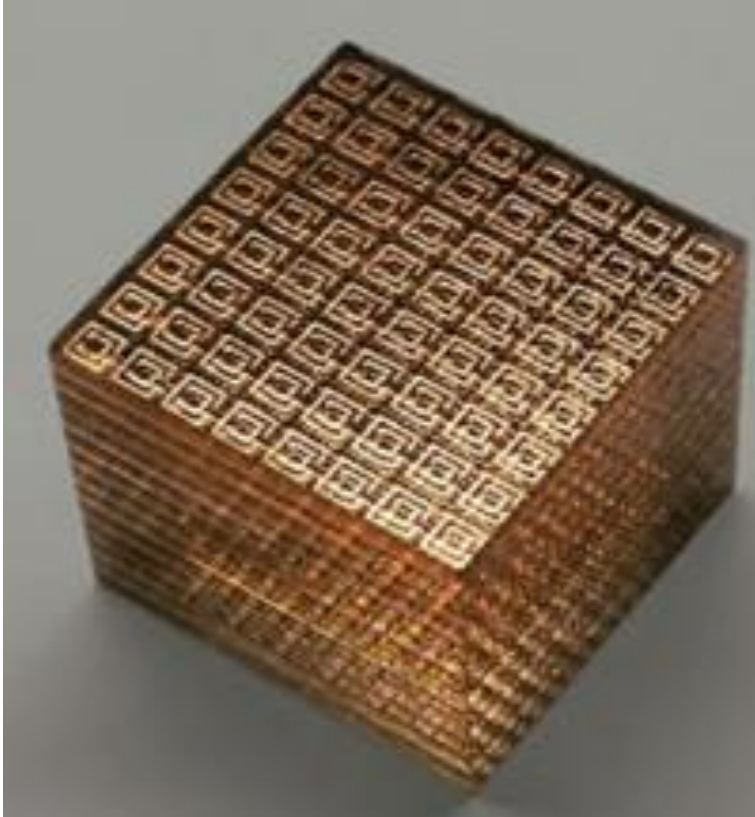


Метаматериалы

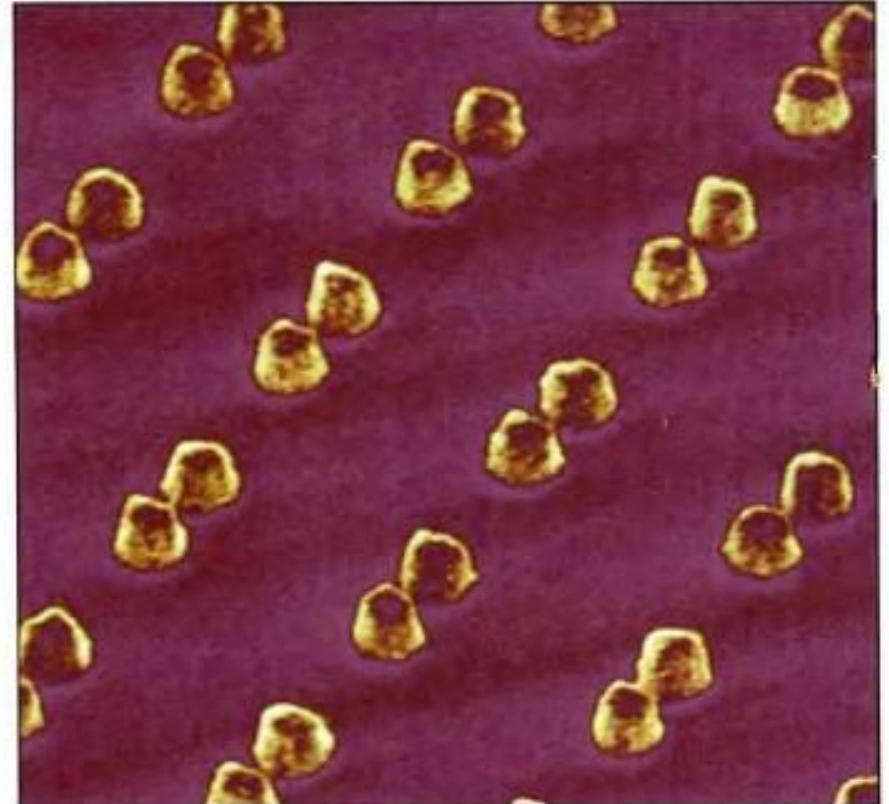


Фотография метаматериала с отрицательным показателем преломления

Метаматериалы

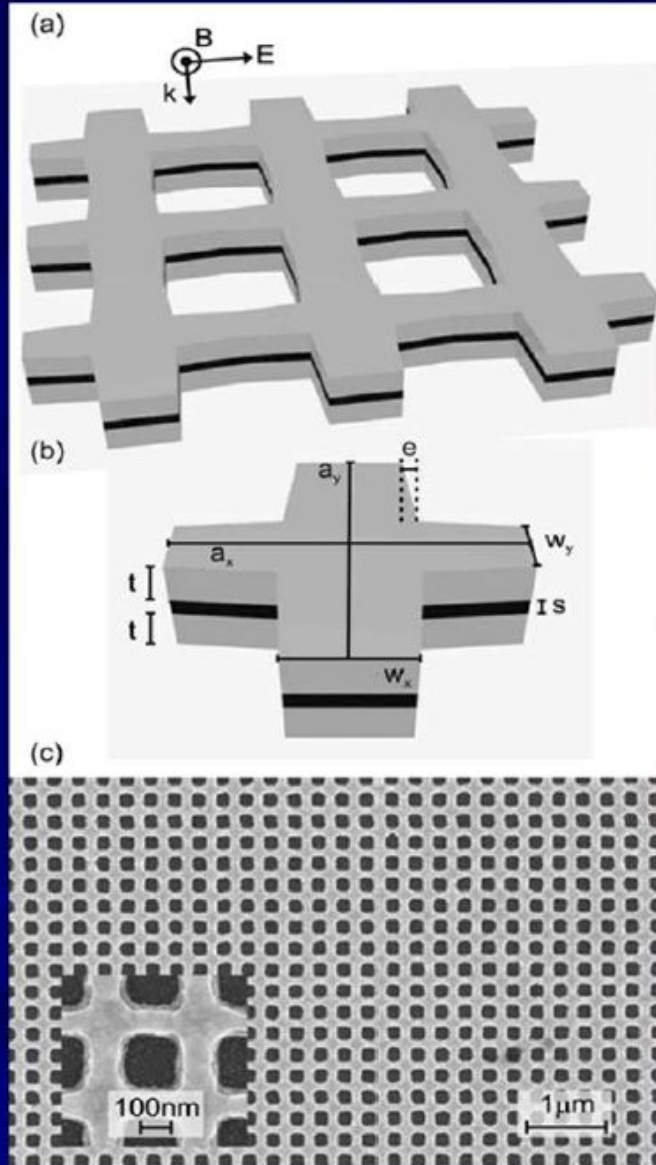


радиодиапазон



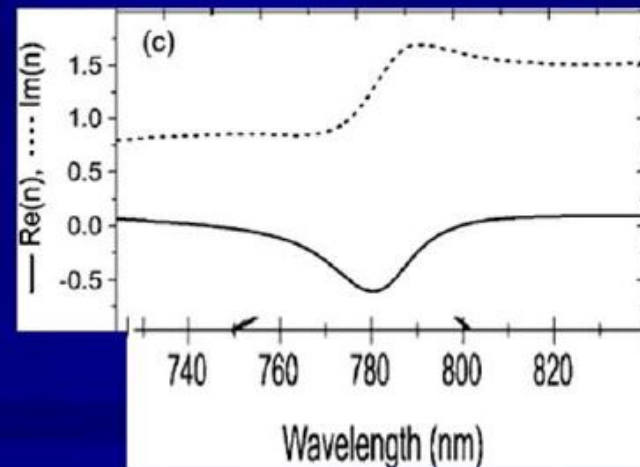
видимая область

Метаматериалы



Периодическая структура из трех слоев МДМ (Ag–MgF₂–Ag, $n=1.38$) толщиной на стекле с размерами: $a=300\text{nm}$, $W_x=102\text{nm}$, $W_y=68\text{nm}$, $e=8\text{nm}$, $t=40\text{nm}$

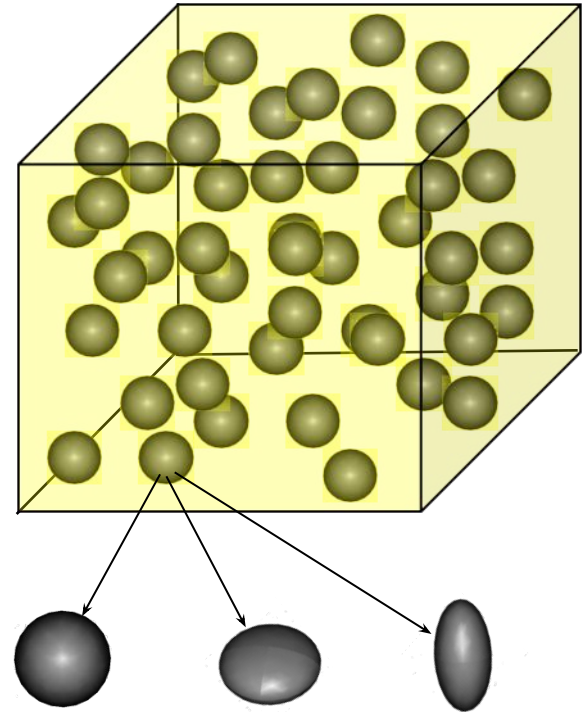
Реальная часть показателя преломления на длине волны 780nm (край видимого спектра) равна (-0.6)



Метаматериалы

Нанокompозитные материалы

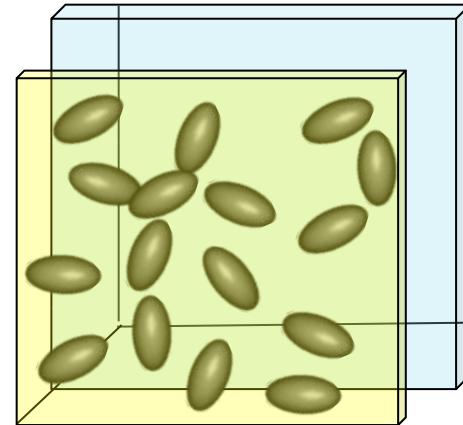
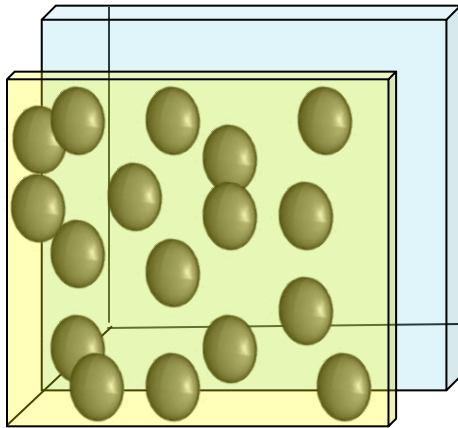
Наноразмерные металлические
частицы (Au, Ag, ...)
в прозрачной среде (стекло,
поликарбонат, ...)



Металлический блеск □ .. □ Прозрачность

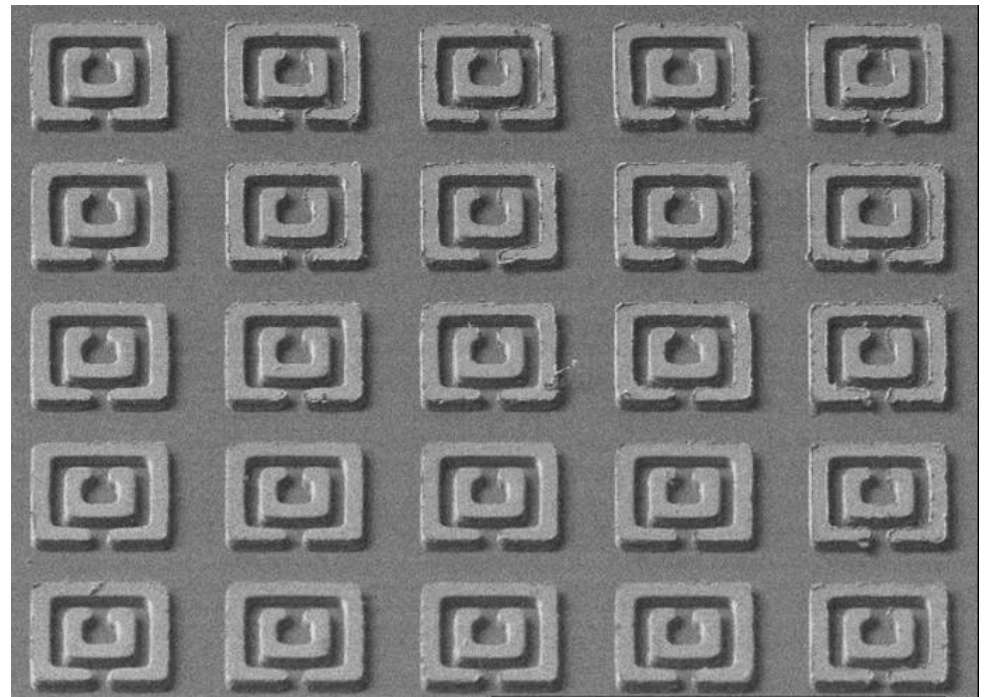
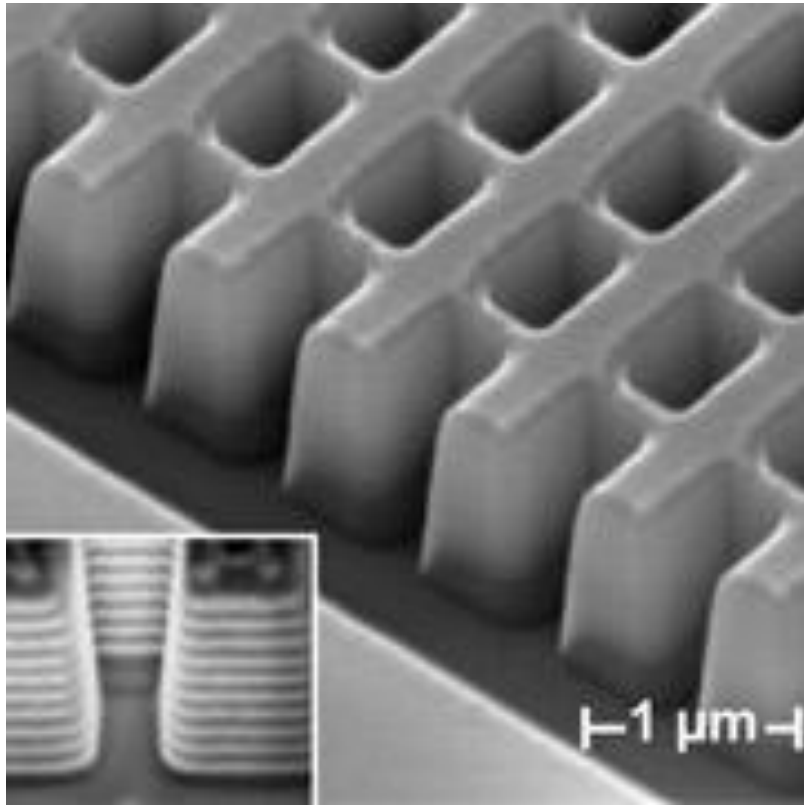
Метаматериалы

Наноккомпозитные материалы

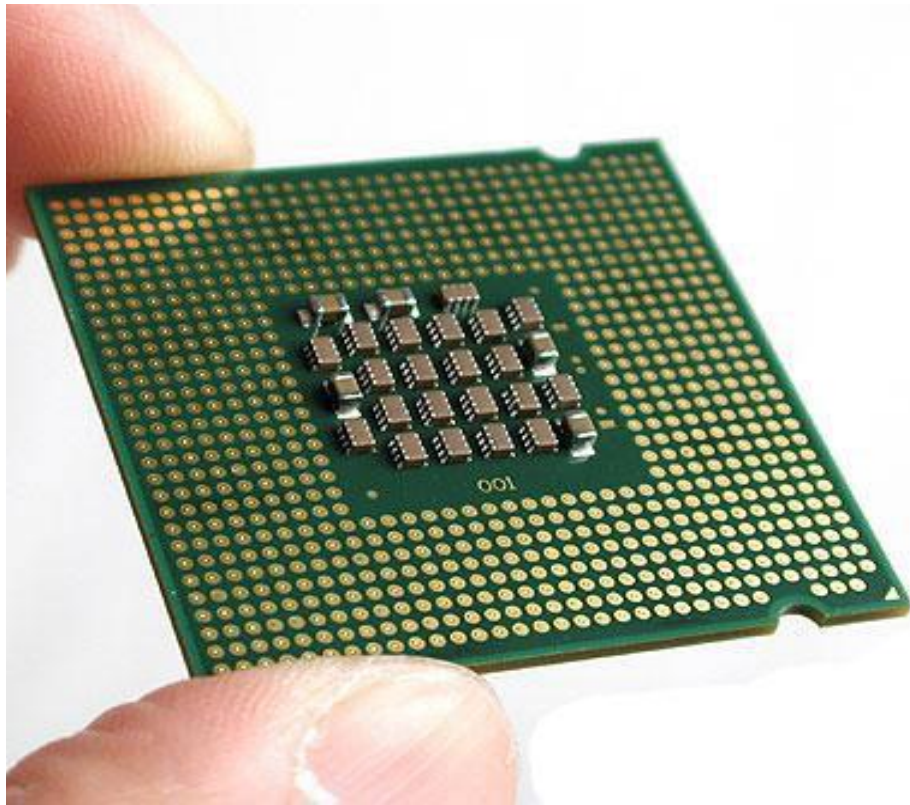


Спасибо за внимание

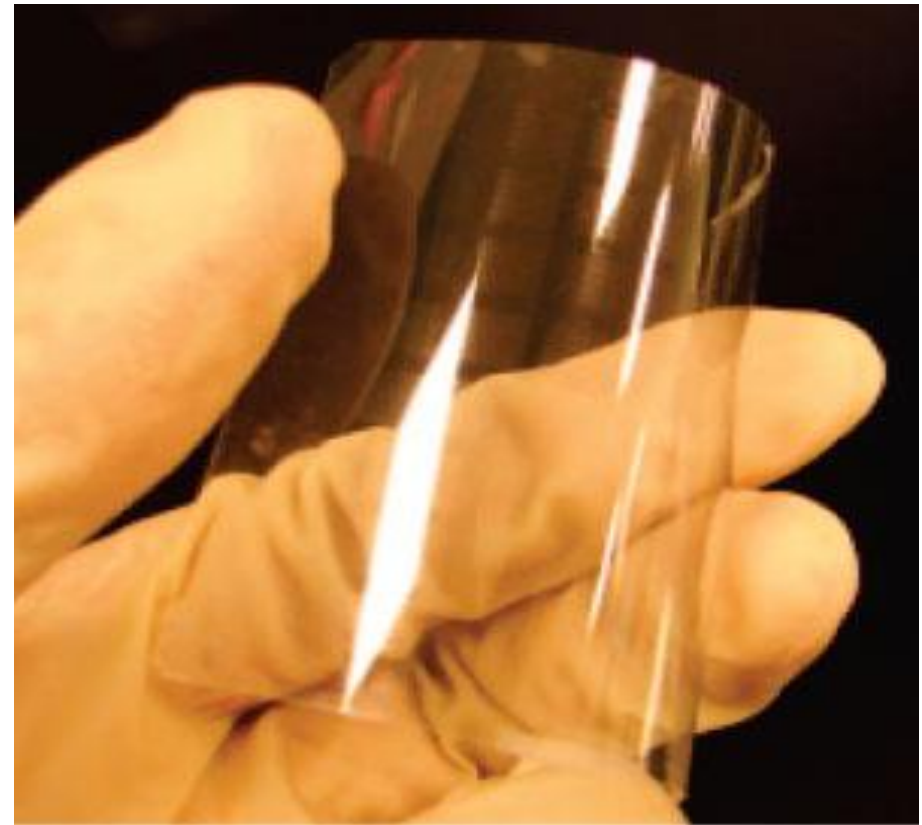
Метаматериалы



Современный процессор



Нанотрубочные
транзисторы на
гибкой полимерной
основе

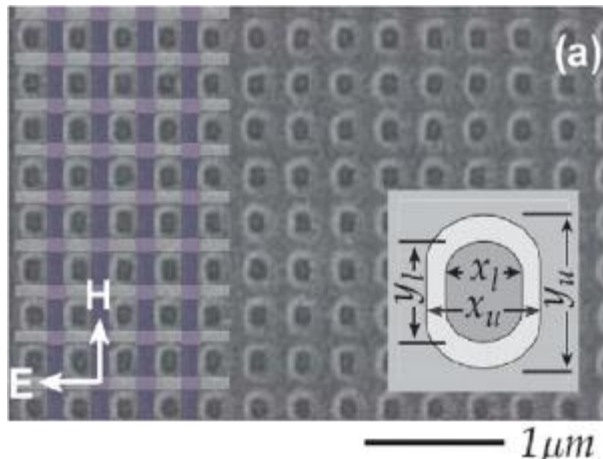




гибкий дисплей на основе проводящего полимера

Метаматериалы

ЛЕВОРУКИЕ СРЕДЫ



Оптически прозрачный материал, обладающий отрицательным показателем преломления в инфракрасной области непосредственно вблизи границы видимого света. Его сконструировали ученые из Университета Пердью (Purdue University), возглавляемые профессором Владимиром Шалаевым (Vladimir M. Shalaev) в 2007 г.

Метаматериал группы Шалаева представляет из себя сандвич из двух листов серебра, разделенных тонким слоем окиси алюминия. В нём прорезаны отверстия поперечником около 120 нанометров, лежащие на расстоянии 300 нанометров друг от друга. Эта дырчатая структура обладает показателем преломления $-1,1$ при длинах волн инфракрасного света, лежащих в промежутке 818-799 нм.

Однако подобные структуры довольно сильно поглощают свет и потому не годятся для изготовления оптических фокусирующих устройств типа так называемой суперлинзы Веселаго. Эту проблему еще предстоит решить. Однако Владимир Шалаев надеется, что с их помощью можно будет изготавливать так называемые гиперлинзы - оптические приборы, разрешающая способность которых не будет ограничена длиной световой волны (то, что в оптике называется дифракционным пределом).

Метаматериалы

Удивительные свойства наноматериалов

эффект невидимости

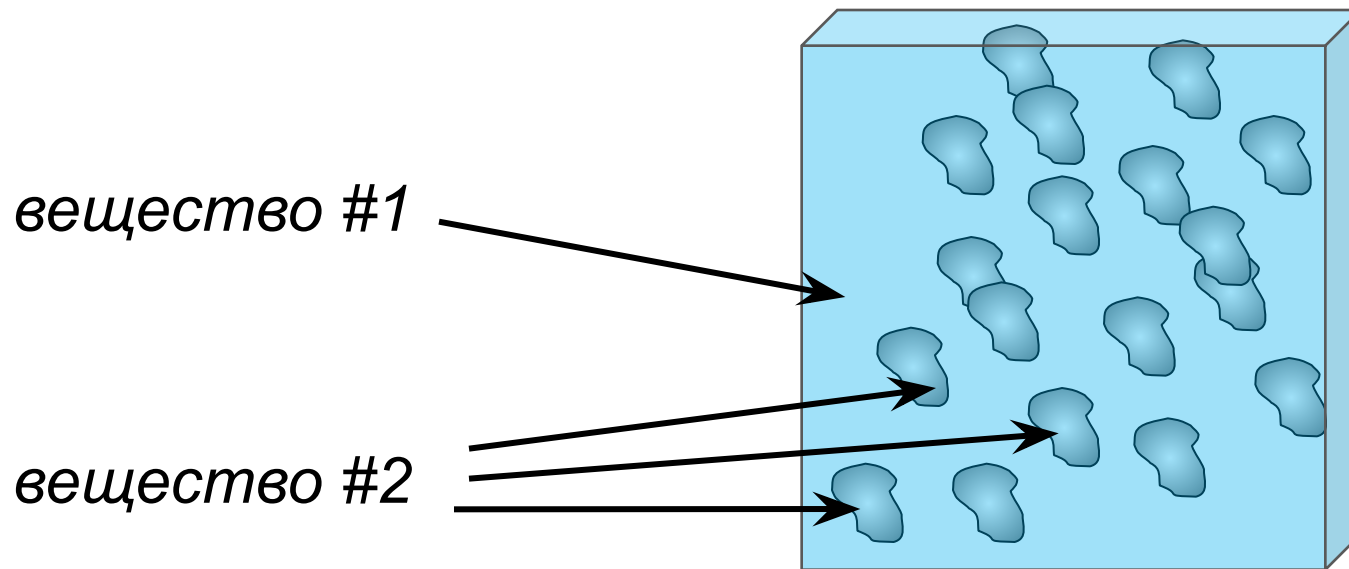


НАНОматериалы

Как они выглядят?

НАОматериалы

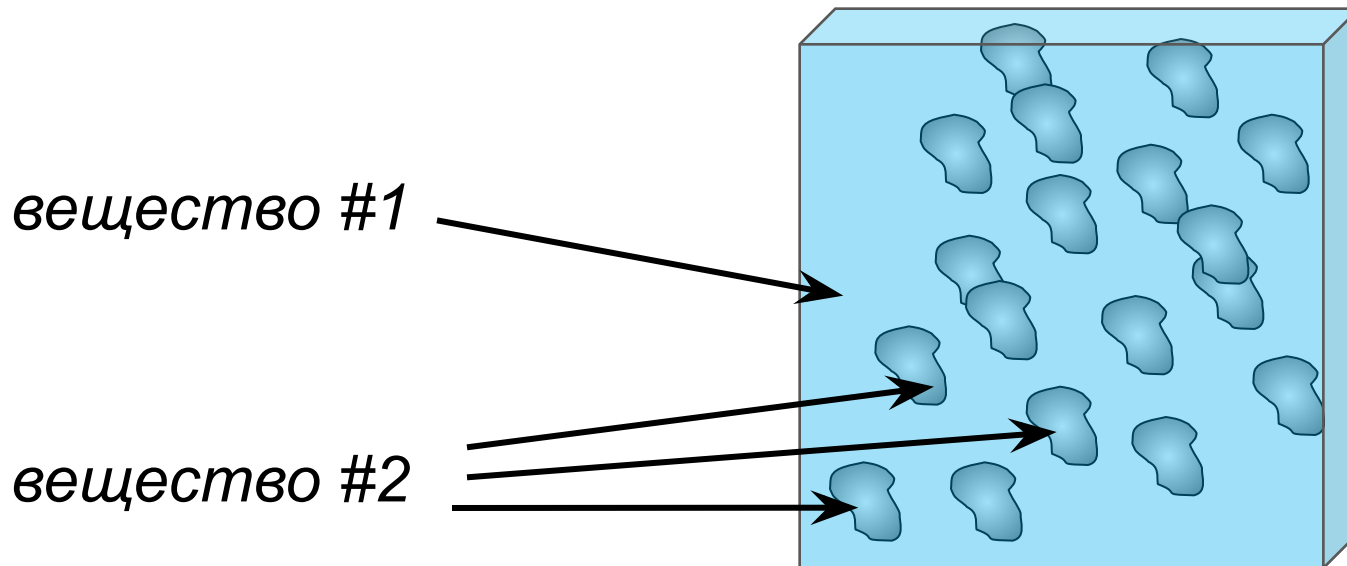
*Искусственные
наноструктурированные
материалы* = **Метаматериалы**



Метаматериалы выделены в отдельный класс материалов, так как их свойства зависят не от химического состава компонент, а от микроструктуры, упорядоченной особым образом.

НАНОматериалы

*Искусственные
наноструктурированные
материалы* = ***Метаматериалы***

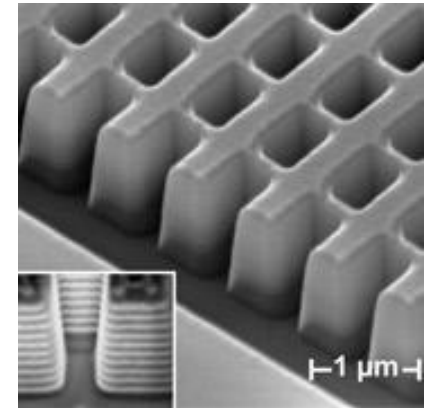


Метаматериалы — искусственно созданные материалы, обладающие свойствами, отличающимися от свойств природных материалов.

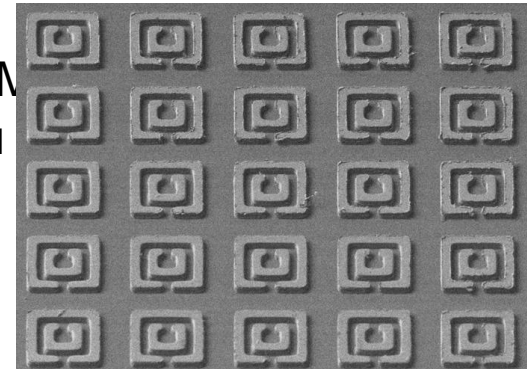
Свойства метаматериалов не только не присущи используемым компонентам, но, в принципе, не могут быть найдены в природе.

Метаматериалы

Метаматериалы (ММ) – искусственно созданные материалы, обладающие свойствами, отличающимися от свойств природных материалов. Свойства ММ не только не присущи используемым компонентам, но, в принципе, не могут быть найдены в природе.



ММ – структурированная композитная среда. Характерный размер внутренней структуры ММ меньше или порядка длины электромагнитной волны.



Метаматериалы выделены в отдельный класс материалов, так как их свойства зависят не от их химического состава, а от микроструктуры, упорядоченной особым образом.

Удивительные свойства наноматериалов

эффект невидимости



объект не будет виден, если...