



ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ И МЕТОДЫ ИХ СИНТЕЗА

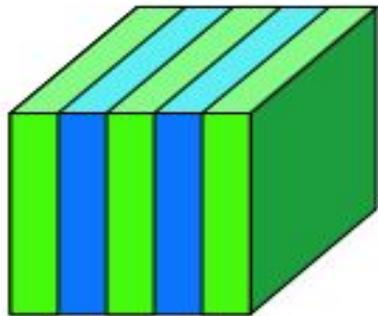
Подготовил:
Донченко Дмитрий

Понятие

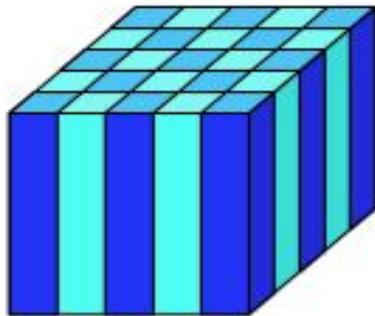


- Фотонные кристаллы (ФК) представляют собой структуры, характеризующиеся периодическим изменением диэлектрической проницаемости в пространстве. Оптические свойства ФК сильно отличаются от оптических свойств сплошных сред. Распространение излучения внутри фотонного кристалла благодаря периодичности среды становится похожим на движение электрона внутри обычного кристалла под действием периодического потенциала. В результате электромагнитные волны в фотонных кристаллах имеют зонный спектр и координатную зависимость, аналогичную блоховским волнам электронов в обычных кристаллах. При определенных условиях в зонной структуре ФК образуются щели, аналогично запрещенным электронным зонам в естественных кристаллах. В зависимости от конкретных свойств (материала элементов, их размера и периода решетки) в спектре ФК могут образовываться как полностью запрещенные по частоте зоны, для которых распространение излучения невозможно независимо от его поляризации и направления, так и частично запрещенные (стоп-зоны), в которых распространение возможно лишь в выделенных направлениях.

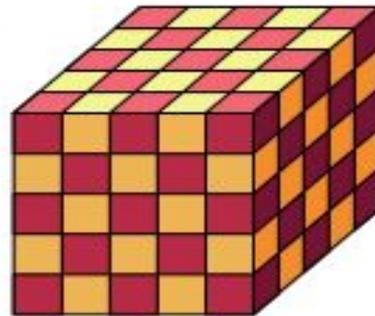
- Фотонные кристаллы интересны как с фундаментальной точки зрения, так и для многочисленных приложений. На основе фотонных кристаллов создаются и разрабатываются оптические фильтры, волноводы (в частности, в волоконно-оптических линиях связи), устройства, позволяющие осуществлять управление тепловым излучением, на основе фотонных кристаллов были предложены конструкции лазеров с пониженным порогом накачки.
- Помимо изменения спектров отражения, прохождения и поглощения металло-диэлектрические фотонные кристаллы обладают специфической плотностью фотонных состояний. Измененная плотность состояний может существенным образом влиять на время жизни возбужденного состояния атома или молекулы, помещенных внутрь фотонного кристалла, и, следовательно, менять характер люминесценции. Например, если частота перехода в молекуле-индикаторе, находящейся в фотонном кристалле, попадет в запрещенную зону, то люминесценция на этой частоте будет подавлена.
- ФК делятся на три типа: одномерные, двумерные и трехмерные.



периодичность
в одном
направлении



периодичность
в двух
направлениях



периодичность
в трех
направлениях

- С общей точки зрения фотонный кристалл является сверхрешеткой (crystal superlattice) - средой, в которой искусственно создано дополнительное поле с периодом, на порядки превышающим период основной решетки. Для фотонов такое поле получают периодическим изменением коэффициента преломления среды - в одном, двух или трех измерениях (1D-, 2D-, 3D-фотонные структуры соответственно). Если период оптической сверхрешетки сравним с длиной электромагнитной волны, то поведение фотонов кардинально отличается от их поведения в решетке обычного кристалла, узлы которого находятся друг от друга на расстоянии, много меньшем длины волны света. Поэтому такие решетки и получили особое название - фотонные кристаллы.
- Несмотря на то что идея фотонных зон и фотонных кристаллов утвердилась в оптике лишь за последние несколько лет, свойства структур со слоистым изменением коэффициента преломления давно известны физикам. Одним из первых практически важных применений таких структур стало изготовление диэлектрических покрытий с уникальными оптическими характеристиками, применяемых для создания высокоэффективных оптических спектральных фильтров и снижения нежелательного отражения от оптических элементов (такая оптика получила название **просветленной**) и диэлектрических зеркал с коэффициентом отражения, близким к 100%. В качестве другого хорошо известного примера 1D-фотонных структур можно упомянуть полупроводниковые лазеры с распределенной обратной связью, а также оптические волноводы с периодической продольной модуляцией физических параметров (профиля или коэффициента преломления).

Mag = 25.00 K X 1 μ m



EHT = 20.00 kV
WD = 11 mm

Signal A = SE2
Photo No. = 1950

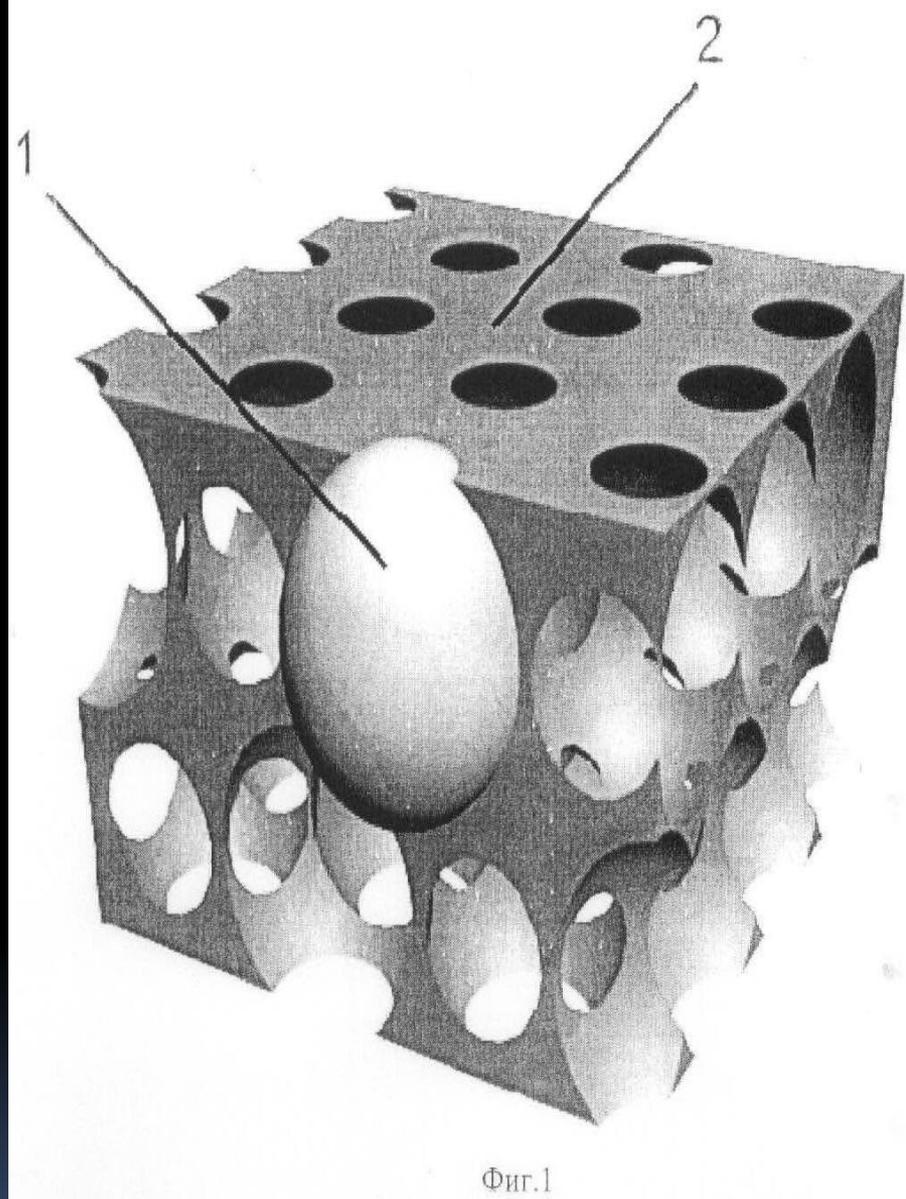
MSU HSMS
Date :11 Nov 2005

Методы производства

- Применение ФК на практике существенно ограничивается отсутствием универсальных и простых методов их изготовления. В наше время реализовано несколько подходов к созданию ФК. Ниже описаны два основных подхода.
- Первым из них является так называемый метод самоорганизации или самосборки. При самосборке фотонного кристалла используются коллоидные частицы (самыми распространенными являются монодисперсные кремниевые или полистироловые частицы), которые находятся в жидкости и по мере испарения жидкости осаждаются в объеме. По мере их "осаждения" друг на друга, они формируют трехмерный ФК и упорядочиваются, в зависимости от условий, в кубическую гранецентрированную или гексагональную кристаллическую решетку. Этот метод достаточно медленный, формирование ФК может занять несколько недель. Также к его недостаткам можно отнести плохо контролируемый процент появления дефектов в процессе осаждения.
- Одной из разновидностей метода самосборки является так называемый сотовый метод. Этот метод предусматривает фильтрацию жидкости, в которой находятся частицы, через малые поры, и позволяет формировать ФК со скоростью, определяемой скоростью течения жидкости через эти поры. По сравнению с обычным методом осаждения указанный способ является гораздо более быстрым, однако и процент появления дефектов при его использовании является более высоким.
- К достоинствам описанных методов можно отнести тот факт, что они позволяют формировать образцы ФК больших размеров (площадью до нескольких квадратных сантиметров).

Вторым наиболее популярным методом изготовления ФК является метод травления. Различные методы травления, как правило, применяются для изготовления двумерных ФК. Эти методы основаны на применении маски из фоторезиста (которая задает, например, массив полусфер), сформированной на поверхности диэлектрика или металла и задающей геометрию области травления. Эта маска может быть получена с помощью стандартного метода фотолитографии, за которым непосредственно следует химическое травление поверхности образца с фоторезистом. При этом, соответственно, в областях нахождения фоторезиста, происходит травление поверхности фоторезиста, а в областях без фоторезиста - травление диэлектрика или металла. Процесс продолжается до тех пор, пока не будет достигнута нужная глубина травления, после чего фоторезист смывается.

Недостатком указанного метода является использование процесса фотолитографии, наилучшее пространственное разрешение которой определяется критерием Рэлея. Поэтому этот метод подходит для создания ФК с запрещенной зоной, лежащей, как правило, в ближней инфракрасной области спектра. Чаще всего, для достижения нужного разрешения используется комбинация метода фотолитографии с литографией при помощи электронного пучка. Данный метод является дорогим, но высокоточным методом для изготовления квазидвумерных ФК. В этом методе фоторезист, который меняет свои свойства под действием пучка электронов, облучается в определенных местах для формирования пространственной маски. После облучения часть фоторезиста смывается, а оставшаяся часть используется как маска для травления в последующем технологическом цикле. Максимальное разрешение этого метода составляет порядка 10 нм.



Фиг.1