

Управление общего образования администрация города Ливны
МУНИЦИПАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ «СРЕДНЯЯ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ШКОЛА №1»

«Кристаллы и их применение»

*исследовательская работа по физике
XIV городские чтения имени братьев Белоцерковских*

*Выполнила ученица 10 «А» класса
Бахтина Анна
Руководитель: учитель физики Агеева
Галина Юрьевна*

*Город Ливны
2012 год*

Содержание:

Введение.....	3
1.1. Кристаллы. Общая характеристика.....	5
1.2. Кристаллическая структура.....	7
1.3. Геометрия и симметрия кристаллов.....	8
1.4. Изотропия, анизотропия и полиморфизм.....	11
1.5. Физические науки, изучающие кристаллы.....	12
2.1. Жидкие кристаллы.....	12
2.2. Группы ЖК.....	13
2.3. Применение ЖК.....	17
3.1. Дефекты кристаллов.....	17
4.1. Фотонные кристаллы. Общая характеристика.....	20
4.2. Классификация фотонных кристаллов.....	21
4.3. Методы теоретических исследований фотонных кристаллов, численные методы и программное обеспечение.....	22
4.4. Применение фотонных кристаллов.....	23
5.1. Выращивание кристаллов самостоятельно.....	24
Заключение.....	27
Литература.....	28
Приложения.....	30

Введение.

Мы живём в мире, в котором большая часть веществ находится в твёрдом состоянии. Мы пользуемся различными механизмами, инструментами, приборами. Мы живём в домах и квартирах. Имеем мебель, бытовые приборы, современнейшие средства связи: радио, телевидение, компьютеры и т.д. А ведь все это твёрдые тела. С физической точки зрения, человек - твёрдое тело. Так что же такое твёрдые тела?

В отличие от жидкостей, твёрдые тела сохраняют не только объём, но и форму, т.к. положение в пространстве частиц, составляющих тело, стабильно. Из-за значительных сил межмолекулярного взаимодействия частицы не могут удаляться друг от друга на значительные расстояния.

В природе часто встречаются твёрдые тела, имеющие форму правильных многогранников. Такие тела называли кристаллами. Изучение физических свойств кристаллов показало, что геометрически правильная форма - не главная их особенность.

Знаменитое изречение академика А. Е. Ферсмана «Почти весь мир кристалличен. В мире царит кристалл и его твёрдые прямолинейные законы» полностью согласуется с неугасающим научным интересом учёных всего мира и всех областей знания к данному объекту исследования. Так, в конце 60-х годов прошлого века начался серьёзный научный прорыв в области жидких кристаллов, породивший «индикаторную революцию» по замене стрелочных механизмов на средства визуального отображения информации. Позже в науку вошло понятие *биологический кристалл*, а в 80-х годах XX века - *фотонный кристалл*.

Что такое кристаллы? Какими свойствами они обладают? Что такое кристаллическая решётка? Как растут кристаллы? Как и где они применяются в настоящее время и каковы перспективы их применения в будущем? Вот эти вопросы заинтересовали нас, и мы попытались найти на них ответы сами, т.к. в учебнике этой теме отводится только один параграф и ответов на эти вопросы мы не нашли, или эти ответы были неполными и из них не было видно, почему именно благодаря кристаллам произошёл «серьёзный прорыв» в науке и технике.

Цель:

Ознакомиться с кристаллами и способами их выращивания.

Задачи:

-познакомиться с представлениями учёных о твёрдых кристаллах на протяжении нескольких столетий;

- изучить физические свойства кристаллов: изотропность, анизотропность, полиморфизм, симметрию.
- изучить современные технологии и отобрать наиболее перспективные направления;
- изучить строение и свойства жидких и фотонных кристаллов.
- вырастить самостоятельно кристалл

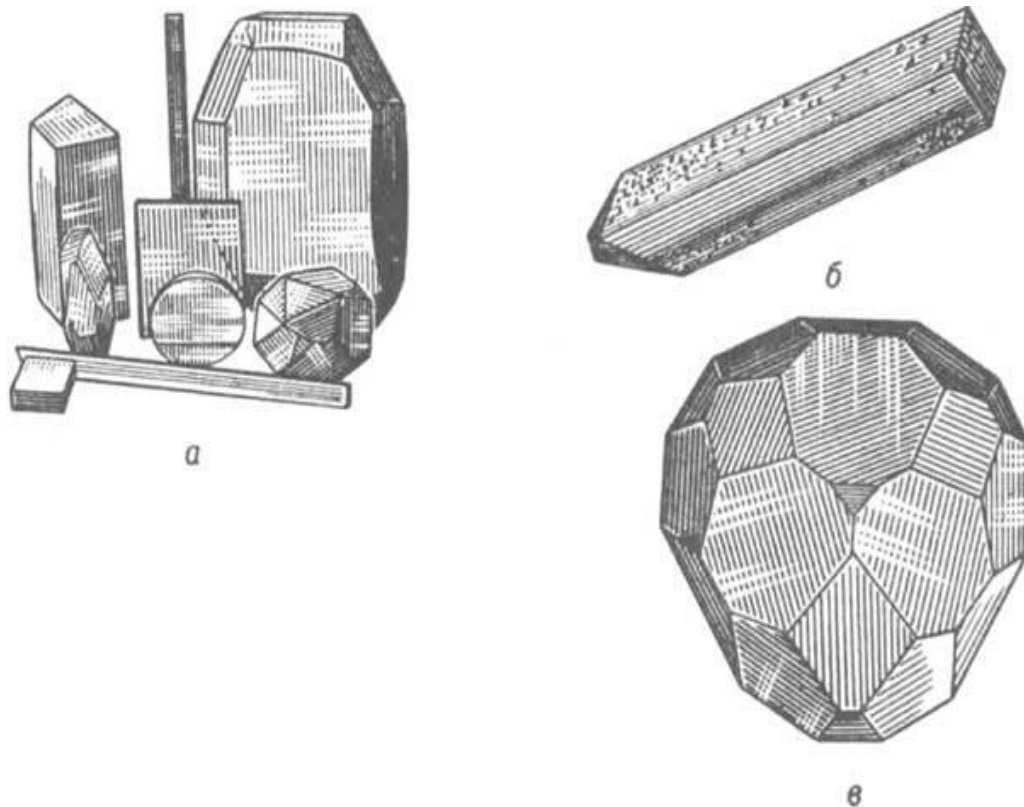
1.1. Кристаллы. Общая характеристика.

Кристаллы (от греч., первоначально — лёд, в дальнейшем — горный хрусталь, кристалл) — это твердые вещества, в которых атомы располагаются правильным образом относительно друг друга. Эту правильность их относительного взаимного расположения можно описать на основе понятий симметрии; элементы симметрии кристалла определяют симметрию его физических свойств. Обычно считается, что кристаллы имеют правильную форму с плоскими гранями и прямыми ребрами. Симметрия и правильность внешней формы кристаллических многогранников отличительная, но не обязательная их особенность. В заводских и лабораторных условиях часто выращивают кристаллы не многогранные, что, однако, не изменяет их свойств.

Из всех состояний вещества твёрдое тело имеет наименьшую свободную энергию, и поэтому является равновесным при умеренных и низких температурах. Частицы твердого тела объединяются друг с другом с помощью химических связей. Уравнение для энергии связи любого типа может быть представлено в виде двухчленного выражения, содержащего члены, отвечающие за энергию притяжения и энергию отталкивания. Суммарная энергия связи для кристалла имеет вид кривой, имеющей единственный минимум. Поэтому в каждом направлении частицы твердого тела располагаются в единственно возможных равновесных положениях, соответствующих минимуму энергии в данном направлении. Возникает строгая трехмерная периодичность положения частиц, образующих твердое тело. Эта периодичность объясняет огранку кристаллов и анизотропию их свойств.

Идеальный кристалл твердого тела можно получить путем бесконечного повторения в пространстве определенной группы атомов или молекул данного вещества. В наиболее простом случае такая структурная единица состоит из одного атома. В более сложных веществах такая структурная единица содержит десятки и сотни, а в кристаллах белков — тысячи атомов или молекул.

Кристаллическую структуру описывают с помощью периодически повторяющейся в пространстве элементарной ячейки, имеющей форму параллелепипеда, и базиса — набора координат атомов в пределах элементарной ячейки. Каждая из таких элементарных ячеек может быть отнесена к одной из сингоний (по форме элементарной ячейки) или кристаллических систем (в зависимости от набора элементов симметрии кристалла). В зависимости от набора элементарных трансляций кристаллические решетки подразделяются на четырнадцать решёток Браве.



Общая характеристика

В зависимости от пространственной симметрии, все кристаллические решётки подразделяются на семь кристаллических систем. По форме элементарной ячейки они могут быть разбиты на шесть сингоний. Все возможные сочетания имеющихся в кристаллической решётке поворотных осей симметрии и зеркальных плоскостей симметрии приводят к делению кристаллов на 32 класса симметрии, а с учётом винтовых осей симметрии и скользящих плоскостей симметрии на 230 пространственных групп.

Помимо основных трансляций, на которых строится элементарная ячейка, в кристаллической решётке могут присутствовать дополнительные трансляции, называемые решётками Браве. В трёхмерных решётках бывают гранецентрированная (F), объёмноцентрированная (I), базоцентрированная (A, B или C), примитивная (P) и ромбоэдрическая (R) решётки Браве. Примитивная система трансляций состоит из множества векторов (a, b, c) , во все остальные входят одна или несколько дополнительных трансляций. Так, в объёмноцентрированную систему трансляций Браве входит четыре вектора $(a, b, c, \frac{1}{2}(a+b+c))$, в гранецентрированную — шесть $(a, b, c, \frac{1}{2}(a+b), \frac{1}{2}(b+c), \frac{1}{2}(a+c))$. Базоцентрированные системы трансляций содержат по четыре вектора: A включает вектора $(a, b, c, \frac{1}{2}(b+c))$, B — вектора $(a, b, c, \frac{1}{2}(a+c))$, а C — $(a, b, c, \frac{1}{2}(a+b))$, центрируя одну из граней элементарного объёма. В системе трансляций Браве R дополнительные трансляции возникают только

при выборе гексагональной элементарной ячейки и в этом случае в систему трансляций R входят вектора $(a, b, c, 1/3(a+b+c), -1/3(a+b+c))$.

1.2. Кристаллическая структура.

Кристаллическая структура — такая совокупность атомов, в которой с каждой точкой кристаллической решётки связана определённая группа атомов, называемая мотивной единицей, причем все такие группы одинаковые по составу, строению и ориентации относительно решётки. Можно считать, что структура возникает в результате синтеза решётки и мотивной единицы, в результате размножения мотивной единицы группой трансляции.

В простейшем случае мотивная единица состоит из одного атома, например в кристаллах меди или железа. Возникающая на основе такой мотивной единицы структура геометрически весьма сходна с решёткой, но все же отличается тем, что составлена атомами, а не точками. Часто это обстоятельство не учитывают, и термины «кристаллическая решётка» и «кристаллическая структура» для таких кристаллов употребляются как синонимы, что нестрого. В тех случаях, когда мотивная единица более сложна по составу — состоит из двух или большего числа атомов, геометрического сходства решётки и структуры нет, и смещение этих понятий приводит к ошибкам. Так, например, структура магния или алмаза не совпадает геометрически с решёткой: в этих структурах мотивные единицы состоят из двух атомов.

Основными параметрами, характеризующими кристаллическую структуру, некоторые из которых взаимосвязаны, являются следующие: тип кристаллической решётки (сингония, решётка Браве); число формульных единиц, приходящихся на элементарную ячейку; пространственная группа; параметры элементарной ячейки (линейные размеры и углы); координаты атомов в ячейке; координационные числа всех атомов.

Кристаллические структуры, обладающие одинаковой пространственной группой и одинаковым размещением атомов по кристаллохимическим позициям (орбитам), объединяют в структурные типы.

Наиболее известны структурные типы меди, магния, α -железа, алмаза (простые вещества), хлорида натрия, сфалерита, вюрцита, хлорида цезия, флюорита (бинарные соединения), перовскита, шпинели (тройные соединения).

Кристаллическая решётка — вспомогательный геометрический образ, вводимый для анализа строения кристалла. Решётка имеет сходство с канвой или сеткой, что даёт основание называть точки решётки узлами. Решёткой является совокупность точек (атомов), которые возникают из отдельной произвольно выбранной точки кристалла под действием группы

трансляции. Это расположение замечательно тем, что относительно каждой точки все остальные расположены совершенно одинаково. Применение к решётке в целом любой из присущих ей трансляций приводит к её параллельному переносу и совмещению. Для удобства анализа обычно точки решётки совмещают с центрами каких-либо атомов из числа входящих в кристалл, либо с центрами молекул.

Следует разделить идеальный и реальный кристалл.

1. **Идеальный кристалл**-является, по сути, математическим объектом, имеющим полную, свойственную ему симметрию, идеализированно ровные гладкие грани.
2. **Реальный кристалл**-всегда содержит различные дефекты внутренней структуры решетки, искажения и неровности на гранях и имеет пониженную симметрию многогранника вследствие специфики условий роста, неоднородности питающей среды, повреждений и деформаций. Реальный кристалл не обязательно обладает кристаллографическими гранями и правильной формой, но у него сохраняется главное свойство — закономерное положение атомов в кристаллической решётке.

1.6. Геометрия и симметрия кристаллов.

Выросшие в равновесных условиях кристаллы имеют форму правильных многогранников той или иной симметрии. Два осн. закона геом. кристаллографии - Стенона (Стено) и Гаюи. Первый (закон постоянства углов) гласит: углы между соответствующими гранями кристаллов одного и того же в-ва постоянны, грани при росте кристаллов передвигаются параллельно самим себе. Закон рациональных параметров Гаюи утверждает, что если принять за оси координат три непараллельных ребра кристалла, то положение любой грани кристалла можно задать целыми числами. Одна из граней кристалла $p_1 p_2 p_3$ условно выбирается как единичная (рис. 2); отрезки $Op_1(a)$, $Op_2(b)$ и $Op_3(c)$, отсекаемые этой гранью на координатных ребрах, принимаются за единицы измерения вдоль осей координат. В общем случае оси координат не ортогональны и $a \neq b \neq c$. Отрезки, отсекаемые на осях координат любой гранью кристалла, относятся как целые числа p_1, p_2, p_3 , т.е. могут быть выражены как кратные нек-рых осевых единиц a, b, c . Эти геом. законы привели к выводу о существовании кристаллич. решетки, что подтвердилось после открытия дифракции рентгеновских лучей. Гониометрия - измерение межгранных углов кристаллов - являлась до нач. 20 в. осн. методом описания кристаллов, их идентификации, однако затем она практически потеряла свое значение благодаря появлению рентгеноструктурного анализа. (Рис. 2. Графич. изображение расположения граней в кристалле.)

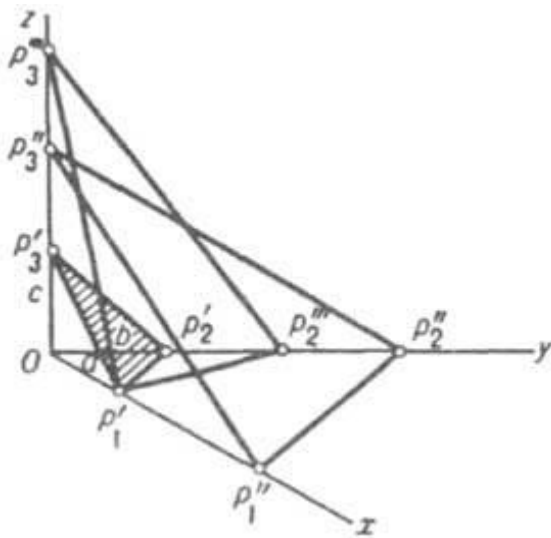


Рис. 2. Графич. Изображение расположения граней в кристалле.

Атомная структура кристаллов описывается как совокупность повторяющихся в пространстве одинаковых элементарных ячеек, имеющих форму параллелепипедов с ребрами a , b , c (периоды кристаллич. решетки). Расположение атомных плоскостей кристаллич. решетки (к-рым могут соответствовать и грани кристалла) характеризуется кристаллографич. индексами (или индексами Миллера). Они связаны с отсекаемыми соответствующей плоскостью на трех осях кристаллографич. системы координат отрезками, длины к-рых p_1 , p_2 и p_3 выражены в постоянных решетки a , b , c . Если величины, обратные p_1 , p_2 и p_3 , привести к общему знаменателю, а затем отбросить его, то полученные три целых числа $h=p_2p_3$, $k=p_1p_3$, $l=p_1p_2$ и есть индексы Миллера. Они записываются в круглых скобках (hkl) . Как правило, кристалл имеет грани с малыми значениями индексов, напр. (100) , (110) , (311) . Равенство нулю одного или двух индексов означает, что плоскости параллельны одной из кристаллографич. осей (осей координат). Если грань пересекает отрицат. направление оси, то над индексом ставится знак минус, напр. $(\bar{1}21)$. Периоды ячеек a , b , c и углы между ребрами a , b , c измеряют рентгенографически.

При нек-рых геом. преобразованиях g_i кристалл способен совмещаться с самим собой, оставаясь инвариантным (неизменным). На рис. 3, а изображен кристалл кварца. Внеш. его форма такова, что поворотом на 120° вокруг оси 3 он м. б. совмещен сам с собой (совместимое равенство). Кристалл Na_2SiO_3 (рис. 3) преобразуется сам в себя отражением в плоскости симметрии σ (зеркальное равенство). Преобразования (операции) симметрии любого кристалла g_i - повороты, отражения, параллельные переносы или комбинации этих преобразований - составляют мат. группы $G(g_0, g_1, \dots, g_{n-1})$. Число n операций, образующих группу G , наз. порядком группы. Группы преобразований кристаллов обозначают $G3m$, где m - число измерений, в к-ром объект периодичен, верх. индекс 3 означает три измерения пространства,

в. к-рых эти группы определены. Кристаллич. многогранник макроскопически неперIODичен, группы симметрии таких многогранников (точечные группы) обозначают G_{30} . Микроструктура кристаллов на атомном уровне - трехмерно-периодическая, т.е.

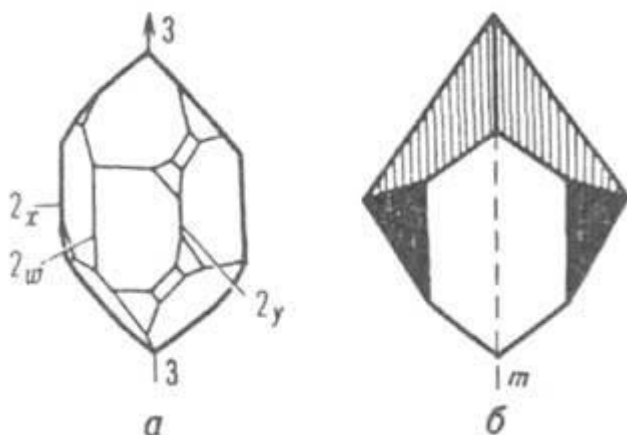


Рис. 3. Примеры кристаллов разной симметрии: а кристалл кварца (3 - ось симметрии 3-го порядка; $2x$, $2y$, $2w$ - оси 2-го порядка); б - кристалл водного Na_2SiO , (m - плоскость симметрии).

описывается как кристаллич. решетка, соответствующие группы симметрии G_{33} . После преобразования симметрии части объекта, находившиеся в одном месте, совпадают с частями, находящимися в др. месте. Это означает, что симметричный объект состоит из равных - совместно и (или) зеркально - частей. Симметрия кристаллов проявляется не только в их структуре и св-вах в реальном трехмерном пространстве, но также и при описании энергетич. спектра электронов кристалла, при анализе дифракции рентгеновских лучей и электронов в кристаллах в обратном пространстве и т.п. Пример кристалла, к-рому присущи неск. операций симметрии, - кристалл кварца; он совмещается сам с собой при поворотах вокруг оси 3 на 120° (операция g_1), на 240° (операция g_2), а также при поворотах на 180° вокруг осей $2x$, $2y$, $2w$ (операции g_3 , g_4 , g_5). Каждой операции симметрии м. б. сопоставлен элемент симметрии - прямая, плоскость или точка, относительно к-рой производится данная операция. Напр., оси 3, $2x$, $2y$, $2w$ - оси симметрии, плоскость m - плоскость зеркальной симметрии и т.п. Последоват. проведение двух операций симметрии также является операцией симметрии. Всегда существует операция идентичности (отождествление) $g_0=1$, ничего не изменяющая в кристалле, геометрически соответствующая неподвижности объекта или повороту его на 360° вокруг любой оси. Точечные группы симметрии. Операции точечной симметрии кристалла- повороты вокруг оси симметрии порядка N на угол, равный $360^\circ/N$ (рис. 4, а), отражение в плоскости симметрии t (зеркальное отражение; рис. 4,б), инверсия I (симметрия относительно точки; рис. 4, в) инверсионные повороты N (комбинация поворота на угол $360^\circ/N$ с

одновременной инверсией; рис. 4, г). Геометрически возможные сочетания этих операций определяют ту или иную точечную группу симметрии. При преобразованиях точечной симметрии по крайней мере одна точка объекта остается неподвижной. В ней пересекаются

1.8. Изотропия, анизотропия и полиморфизм.

Изотропными телами называются такие, в которых по трем (и по всем другим) взаимно перпендикулярным направлениям упругость одинакова; вместе с тем одинаковы и другие свойства, как-то теплопроводность, электропроводность, скорость распространения света. Аморфные тела суть И. Класс анизотропных тел составляют такие, в которых строение по различным направлениям неодинаково; таковы кристаллы всех систем, кроме правильной. Впрочем, кристаллы даже правильной системы отличаются от аморфных тел.

Многим кристаллам присуще **свойство анизотропии**, то есть зависимость их свойств от направления, тогда как в изотропных веществах (большинстве газов, жидкостей, аморфных твёрдых телах) или псевдоизотропных (поликристаллы) телах свойства от направлений не зависят. Процесс неупругого деформирования кристаллов всегда осуществляется по вполне определённым системам скольжения, то есть лишь по некоторым кристаллографическим плоскостям и лишь в некотором кристаллографическом направлении. В силу неоднородного и неодинакового развития деформации в различных участках кристаллической среды между этими участками возникает интенсивное взаимодействие через эволюцию полей микронапряжений.

В то же время существуют кристаллы, в которых анизотропия отсутствует.

В физике мартенситной неупругости накоплен богатый экспериментальный материал, особенно по вопросам эффектов памяти формы и пластичности превращения. Экспериментально доказано важнейшее положение кристаллофизики о преимущественном развитии неупругих деформаций почти исключительно посредством мартенситных реакций. Но принципы построения физической теории мартенситной неупругости неясны. Аналогичная ситуация имеет место в случае деформации кристаллов механическим двойникованием.

Значительные успехи достигнуты в изучении дислокационной пластичности металлов. Здесь не только понятны основные структурно-физические механизмы реализации процессов неупругой деформации, но и созданы эффективные способы расчёта явлений.

Полиморфизм (в языках программирования) — возможность объектов с одинаковой спецификацией иметь различную реализацию.

Язык программирования поддерживает полиморфизм, если классы с одинаковой спецификацией могут иметь различную реализацию — например, реализация класса может быть изменена в процессе наследования.

Кратко смысл полиморфизма можно выразить фразой: «Один интерфейс, множество реализаций».

Полиморфизм — один из четырёх важнейших механизмов объектно-ориентированного программирования (наряду с абстракцией, инкапсуляцией и наследованием).

Полиморфизм позволяет писать более абстрактные программы и повысить коэффициент повторного использования кода. Общие свойства объектов объединяются в систему, которую могут называть по-разному — интерфейс, класс. Общность имеет внешнее и внутреннее выражение:

-внешняя общность проявляется как одинаковый набор методов с одинаковыми именами и сигнатурами (именем методов и типами аргументов и их количеством);

-внутренняя общность — одинаковая функциональность методов. Её можно описать интуитивно или выразить в виде строгих законов, правил, которым должны подчиняться методы. Возможность приписывать разную функциональность одному методу (функции, операции) называется перегрузкой метода (перегрузкой функций, перегрузкой операций).

1.5. Физические науки, изучающие кристаллы.

-кристаллография изучает идеальные кристаллы с позиций законов симметрии и сопоставляет их с кристаллами реальными.

-структурная кристаллография занимается определением внутренней структуры кристаллов и классификацией кристаллических решеток.

-кристаллооптика изучает оптические свойства кристаллов.

-кристаллохимия изучает закономерности образования кристаллов из различных веществ и в разных средах.

Вообще свойства реальных кристаллов — огромная научная отрасль, достаточно сказать, что все полупроводниковые свойства некоторых кристаллов (на основе которых создаётся точная электроника и, в частности, компьютеры) возникают именно за счет дефектов.

2.1. Жидкие кристаллы.

Жидкие кристаллы (сокращённо ЖК) — это фазовое состояние, в которое переходят некоторые вещества при определенных условиях (температура, давление, концентрация в растворе). Жидкие кристаллы обладают одновременно свойствами как жидкостей (текучесть), так и кристаллов (анизотропия). По структуре ЖК представляют собой вязкие жидкости, состоящие из молекул вытянутой или дискообразной формы, определённым образом упорядоченных во всем объёме этой жидкости. Наиболее

характерным свойством ЖК является их способность изменять ориентацию молекул под воздействием электрических полей, что открывает широкие возможности для применения их в промышленности. По типу ЖК обычно разделяют на две большие группы: нематики и смектики. В свою очередь нематики подразделяются на собственно нематические и холестерические жидкие кристаллы.

Жидкие кристаллы открыл в 1888 г. австрийский ботаник Ф. Рейнитцер. Он обратил внимание, что у кристаллов холестерилбензоата и холестерилацетата было две точки плавления и, соответственно, два разных жидких состояния — мутное и прозрачное. Однако, учёные не обратили особого внимания на необычные свойства этих жидкостей. Долгое время физики и химики в принципе не признавали жидких кристаллов, потому что их существование разрушало теорию о трёх состояниях вещества: твёрдом, жидком и газообразном. Учёные относили жидкие кристаллы то к коллоидным растворам, то к эмульсиям. Научное доказательство было предоставлено профессором университета Карлсруэ Отто Леманном (нем. Otto Lehmann) после многолетних исследований, но даже после появления в 1904 году написанной им книги «Жидкие кристаллы», открытию не нашлось применения.

В 1963 г. американец Дж. Фергюсон (англ. James Fergason) использовал важнейшее свойство жидких кристаллов — изменять цвет под воздействием температуры — для обнаружения невидимых простым глазом тепловых полей. После того как ему выдали патент на изобретение (U.S. Patent 3 114 836), интерес к жидким кристаллам резко возрос.

В 1965 г. в США собралась Первая международная конференция, посвящённая жидким кристаллам. В 1968 г. американские учёные создали принципиально новые индикаторы для систем отображения информации. Принцип их действия основан на том, что молекулы жидких кристаллов, поворачиваясь в электрическом поле, по-разному отражают и пропускают свет. Под воздействием напряжения, которое подавали на проводники, впаянные в экран, на нём возникало изображение, состоящее из микроскопических точек. И всё же только после 1973 г., когда группа английских химиков под руководством Джорджа Грея (англ. George William Gray) получила жидкие кристаллы из относительно дешёвого и доступного сырья, эти вещества получили широкое распространение в разнообразных устройствах.

2.2. Группы жидких кристаллов.

По своим общим свойствам ЖК можно разделить на две большие группы:

1. Термотропные ЖК, образующиеся в результате нагревания твердого вещества и существующие в определенном интервале температур и давлений.

2. Лиотропные ЖК, которые представляют собой двух или более компонентные системы, образующиеся в смесях стержневидных молекул данного вещества и воды (или других полярных растворителей). Эти стержневидные молекулы имеют на одном конце полярную группу, а большая часть стержня представляет собой гибкую гидрофобную углеводородную цепь. Такие вещества называются амфифилами (амфи — по-гречески означает с двух концов, филос — любящий, благорасположенный). Примером амфифилов могут служить фосфолипиды.

Амфифильные молекулы, как правило, плохо растворяются в воде, склонны образовывать агрегаты таким образом, что их полярные группы на границе раздела фаз направлены к жидкой фазе. При низких температурах смешивание жидкого амфифила с водой приводит к расслоению системы на две фазы. Одним из вариантов амфифилов со сложной структурой может служить система мыло-вода. Здесь имеется алифатический анион $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_n-2-\text{CO}_2^-$ (где $n \sim 12-20$) и положительный ион Na^+ , K^+ , NH_4^+ и др. Полярная группа CO_2^- стремится к тесному контакту с молекулами воды, тогда как неполярная группа (амфифильная цепь) избегает контакта с водой. Это явление типично для амфифилов.

Термотропные ЖК подразделяются на три больших класса:

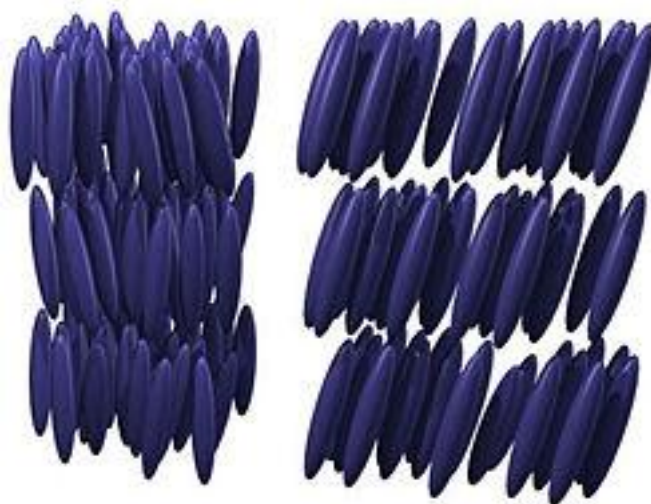
Схематическое изображение нематического жидкого кристалла.



Нематические жидкие кристаллы. В этих кристаллах отсутствует дальний порядок в расположении центров тяжести молекул, у них нет

слоистой структуры, их молекулы скользят непрерывно в направлении своих длинных осей, вращаясь вокруг них, но при этом сохраняют ориентационный порядок: длинные оси направлены вдоль одного преимущественного направления. Они ведут себя подобно обычным жидкостям. Нематические фазы встречаются только в таких веществах, у молекул которых нет различия между правой и левой формами, их молекулы тождественны своему зеркальному изображению (ахиральны). Примером вещества, образующего нематический ЖК, может служить N-(пара-метоксибензилиден)-пара-бутиланилин.

Схематическое изображение жидкого кристалла в смектической фазе.



Смектические жидкие кристаллы имеют слоистую структуру, слои могут перемещаться друг относительно друга. Толщина смектического слоя определяется длиной молекул (преимущественно, длиной парафинового «хвоста»), однако вязкость смектиков значительно выше чем у нематиков и плотность по нормали к поверхности слоя может сильно меняться. Типичным является терефтал-бис(пара-бутиланилин):

Холестерические жидкие кристаллы — образуются, в основном, соединениями холестерина и других стероидов. Это нематические ЖК, но их длинные оси повернуты друг относительно друга так, что они образуют спирали, очень чувствительные к изменению температуры вследствие чрезвычайно малой энергии образования этой структуры (порядка 0,01 Дж/моль). В качестве типичного холестерика можно назвать амил-пара-(4-цианобензилиденамино)-циннамат

Холестерики ярко окрашены и малейшее изменение температуры (до тысячных долей градуса) приводит к изменению шага спирали и, соответственно, изменению окраски ЖК.

Во всех приведенных типах ЖК характерным является ориентация дипольных молекул в определенном направлении, которое определяется единичным вектором — называемым «директором».

В недавнее время открыты так называемые колончатые фазы, которые образуются только дискообразными молекулами, расположенными слоями друг на друге в виде многослойных колонн, с параллельными оптическими осями. Часто их называют «жидкими нитями», вдоль которых молекулы обладают трансляционными степенями свободы. Этот класс соединений был предсказан академиком Л. Д. Ландау, а открыт лишь в 1977 Чандрасекаром. Схематично характер упорядоченности жидких кристаллов названных типов представлен на рисунке.

У ЖК необычные оптические свойства. Нематики и смектики — оптически одноосные кристаллы. Холестерики вследствие периодического строения сильно отражают свет в видимой области спектра. Поскольку в нематиках и холестериках носителями свойств является жидкая фаза, то она легко деформируется под влиянием внешнего воздействия, а так как шаг спирали в холестериках очень чувствителен к температуре, то, следовательно, и отражение света резко меняется с температурой, приводя к изменению цвета вещества.

Эти явления широко используются в различных приложениях, например, для нахождения горячих точек в микроцепях, локализации переломов и опухолей у человека, визуализации изображения в инфракрасных лучах и др.

Характеристики многих электрооптических устройств, работающих на лиотропных ЖК, определяются анизотропией их электропроводности, которая, в свою очередь, связана с анизотропией электронной поляризуемости. Для некоторых веществ вследствие анизотропии свойств ЖК удельная электропроводность изменяет свой знак. Например, для н-октилбензойной кислоты она проходит через нуль при температуре 146 °С, и связывают это со структурными особенностями мезофазы и с поляризуемостью молекул. Ориентация молекул нематической фазы, как правило, совпадает с направлением наибольшей проводимости.

Все формы жизни так или иначе связаны с деятельностью живой клетки, многие структурные звенья которой похожи на структуру жидких кристаллов. Обладая замечательными диэлектрическими свойствами, ЖК образуют внутриклеточные гетерогенные поверхности, они регулируют взаимоотношения между клеткой и внешней средой, а также между отдельными клетками и тканями, сообщают необходимую инертность составным частям клетки, защищая ее от ферментативного влияния. Таким образом, установление закономерностей поведения ЖК открывает новые перспективы в развитии молекулярной биологии.

2.3. Применение жидких кристаллов.

Одно из важных направлений использования жидких кристаллов — термография. Подбирая состав жидкокристаллического вещества, создают индикаторы для разных диапазонов температуры и для различных конструкций. Например, жидкие кристаллы в виде плёнки наносят на транзисторы, интегральные схемы и печатные платы электронных схем. Неисправные элементы — сильно нагретые или холодные, неработающие — сразу заметны по ярким цветовым пятнам. Новые возможности получили врачи: жидкокристаллический индикатор на коже больного быстро диагностирует скрытое воспаление и даже опухоль.

С помощью жидких кристаллов обнаруживают пары вредных химических соединений и опасные для здоровья человека гамма- и ультрафиолетовое излучения. На основе жидких кристаллов созданы измерители давления, детекторы ультразвука. Но самая многообещающая область применения жидкокристаллических веществ — информационная техника. От первых индикаторов, знакомых всем по электронным часам, до цветных телевизоров с жидкокристаллическим экраном размером с почтовую открытку прошло лишь несколько лет. Такие телевизоры дают изображение весьма высокого качества, потребляя меньшее количество энергии.

3.1. Эффекты кристаллов.

Дефектами кристалла называют всякое нарушение трансляционной симметрии кристалла — идеальной периодичности кристаллической решётки. Различают несколько разновидностей дефектов по размерности. А именно, бывают нульмерные (точечные), одномерные (линейные), двумерные (плоские) и трёхмерные (объёмные) дефекты.

К нульмерным (или точечным дефектам) кристалла относят все дефекты, которые связаны со смещением или заменой небольшой группы атомов (собственные точечные дефекты), а также с примесями. Они возникают при нагреве, легировании, в процессе роста кристалла и в результате радиационного облучения. Могут вноситься также в результате имплантации. Наиболее изучены, включая движение, взаимодействие, аннигиляцию, испарение.

1. Вакансия — свободный, незанятый атомом, узел кристаллической решетки.

2. Собственный межузельный атом — атом основного элемента, находящийся в межузельном положении элементарной ячейки.

3. Примесный атом замещения — замена атома одного типа, атомом другого типа в узле кристаллической решетки. В позициях замещения могут находиться атомы, которые по своим размерам и электронным свойствам

относительно слабо отличаются от атомов основы. **4.Примесный атом внедрения** — атом примеси располагается в междоузлии кристаллической решетки. В металлах примесями внедрения обычно являются водород, углерод, азот и кислород. В полупроводниках — это примеси, создающие глубокие энергетические уровни в запрещенной зоне, например, медь и золото в кремнии.

В кристаллах часто наблюдаются также комплексы, состоящие из нескольких точечных дефектов, например: пара Френкеля (вакансия + собственный междоузельный атом), дивакансия (вакансия + вакансия), А-центр (вакансия + атом кислорода в кремнии и германии) и др.

Точечные дефекты повышают энергию кристалла, так как на образование каждого дефекта была затрачена определенная энергия. Упругая деформация обуславливает очень малую долю энергии образования вакансии, так как смещения ионов не превышают 1 % и соответствующая им энергия деформации составляет десятые доли эВ. При образовании междоузельного атома смещения соседних ионов могут достигать 20 % от межатомного расстояния, а соответствующая им энергия упругой деформации решетки — нескольких эВ. Основная доля образования точечного дефекта связана с нарушением периодичности атомной структуры и сил связи между атомами. Точечный дефект в металле взаимодействует со всем электронным газом. Удаление положительного иона из узла равносильно внесению точечного отрицательного заряда; от этого заряда отталкиваются электроны проводимости, что вызывает повышение их энергии. Теоретические расчеты показывают, что энергия образования вакансии в ГЦК решетке меди составляет около 1 эВ, а междоузельного атома — от 2.5 до 3.5 эВ.

Несмотря на увеличение энергии кристалла при образовании собственных точечных дефектов, они могут находиться в термодинамическом равновесии в решетке, так как их образование приводит к росту энтропии. При повышенных температурах рост энтропийного члена TS свободной энергии $F = U - TS$ из-за образования точечных дефектов компенсирует рост полной энергии кристалла U , и свободная энергия оказывается минимальной.

Атомы, совершающие колебательное движение, непрерывно обмениваются энергией. Из-за хаотичности теплового движения энергия неравномерно распределена между разными атомами. В какой-то момент атом может получить от соседей такой избыток энергии, что он займет соседнее положение в решетке. Так осуществляется миграция (перемещение) точечных дефектов в объеме кристаллов.

Если один из атомов, окружающих вакансию, переместится в вакантный узел, то вакансия соответственно переместится на его место. Последовательные элементарные акты перемещения определенной вакансии осуществляются разными атомами. На рисунке показано, что в слое плотноупакованных шаров (атомов) для перемещения одного из шаров в вакантное место он должен раздвинуть шары 1 и 2. Следовательно, для

перехода из положения в узле, где энергия атома минимальна, в соседний вакантный узел, где энергия также минимальна, атом должен пройти через состояние с повышенной потенциальной энергией, преодолеть энергетический барьер. Для этого и необходимо атому получить от соседей избыток энергии, который он теряет, «протискиваясь» в новое положение. Высота энергетического барьера E_m называется энергией активации миграции вакансии.

Основным источником и стоком точечных дефектов являются линейные и поверхностные дефекты — см. ниже. В крупных совершенных монокристаллах возможен распад пересыщенного твердого раствора собственных точечных дефектов с образованием т. н. микродефектов.

Простейший комплекс точечных дефектов — бивакансия (дивакансия): две вакансии, расположенные в соседних узлах решетки. Большую роль в металлах и полупроводниках играют комплексы, состоящие из двух и более примесных атомов, а также из примесных атомов и собственных точечных дефектов. В частности, такие комплексы могут существенно влиять на прочностные, электрические и оптические свойства **твердых тел.**

Одномерные (линейные) дефекты представляют собой дефекты кристалла, размер которых по одному направлению много больше параметра решетки, а по двум другим — соизмерим с ним. К линейным дефектам относят дислокации и дисклинации. Общее определение: дислокация — граница области незавершенного сдвига в кристалле. Дислокации характеризуются вектором сдвига (вектором Бюргерса) и углом φ между ним и линией дислокации. При $\varphi=0$ дислокация называется винтовой; при $\varphi=90^\circ$ — краевой; при других углах — смешанной и тогда может быть разложена на винтовую и краевую компоненты. Дислокации возникают в процессе роста кристалла; при его пластической деформации и во многих других случаях. Их распределение и поведение при внешних воздействиях определяют важнейшие механические свойства, в частности такие как прочность, пластичность и др. Дисклинация — граница области незавершенного поворота в кристалле. Характеризуется вектором поворота.

Двухмерный дефект:

Основной дефект-представитель этого класса — поверхность кристалла. Другие случаи — границы зёрен материала, в том числе малоугловые границы (представляют собой ассоциации дислокаций), плоскости двойникования, поверхности раздела фаз и др.

Трёхмерные дефекты.

Объёмные дефекты. К ним относятся скопления вакансий, образующие поры и каналы; частицы, оседающие на различных дефектах (декорирующие), например пузырьки газов, пузырьки маточного раствора; скопления примесей в виде секторов (песочных часов) и зон роста. Как правило, это поры или включения примесных фаз. Представляют собой конгломерат из многих дефектов. Происхождение — нарушение режимов роста кристалла, распад пересыщенного твердого раствора, загрязнение

образцов. В некоторых случаях (например, при дисперсионном твердении) объемные дефекты специально вводят в материал, для модификации его физических свойств.

Методы избавления от дефектов.

Основной метод, который помогает избавляться от дефектов в кристалле — метод зонной плавки. Этот метод хорошо применим для кремния. Плавят малую часть кристалла, чтобы впоследствии перекристаллизовать расплав. Используют также просто отжиг. Дефекты при повышенной температуре обладают высоким коэффициентом диффузии. Вакансии могут выходить на поверхность, и поэтому говорят об испарении дефектов.

Полезные дефекты.

При пластической деформации металлов (например, ковке, прокатке), генерируются многочисленные дислокации, по-разному ориентированные в пространстве, что затрудняет разрушение кристалла по сетке дислокаций. Таким образом увеличивается прочность металла, но в то же время снижается пластичность.

В искусственно выращенных рубинах, сапфирах для лазеров добавляют примеси (Cr, Fe, Ti) элементов — окрашивающие центры, которые участвуют в генерации когерентного света.

4.1 Фотонный кристалл. Общая характеристика.

Фотонный кристалл — это материал, структура которого характеризуется периодическим изменением показателя преломления в пространственных направлениях. В другой работе встречается расширенное определение фотонных кристаллов — «фотонными кристаллами принято называть среды, у которых диэлектрическая проницаемость периодически меняется в пространстве с периодом, допускающим брэгговскую дифракцию света». В третьей работе встречается определение фотонных кристаллов в иной форме — «уже более 10 лет на слуху „структуры с фотонной запрещённой зоной“, которые получили краткое название фотонные кристаллы (photonic crystals)».

Общая информация.

Фотонные кристаллы, благодаря периодическому изменению коэффициента преломления, позволяют получить разрешённые и запрещённые зоны для энергий фотонов, аналогично полупроводниковым материалам, в которых наблюдаются разрешённые и запрещённые зоны для энергий носителей заряда. Практически, это значит что если на фотонный кристалл падает фотон, обладающий энергией (длиной волны, частотой), которая соответствует запрещённой зоне данного фотонного кристалла, то он не может распространяться в фотонном кристалле и отражается обратно. И

наоборот, это значит что если на фотонный кристалл падает фотон, обладающий энергией (длиной волны, частотой), которая соответствует разрешённой зоне данного фотонного кристалла, то он может распространяться в фотонном кристалле. Другими словами, фотонный кристалл выполняет функцию оптического фильтра, и именно его свойствами обусловлены яркие и красочные цвета опала в кольце. В природе фотонные кристаллы также встречаются: на крыльях африканских бабочек-парусников (*Prinsepis nireus*), перламутровое покрытие раковин моллюсков, таких, как галиотисы, усики морской мыши и щетинки многощетинкового червя.

4.2. Классификация фотонных кристаллов.

Фотонные кристаллы по характеру изменения коэффициента преломления можно разделить на три основных класса:

1. одномерные, в которых коэффициент преломления периодически изменяется в одном пространственном направлении как показано на Рис. 2. На этом рисунке символом Λ обозначен период изменения коэффициента преломления, n_1 и n_2 — показатели преломления двух материалов (но в общем случае может присутствовать любое число материалов). Такие фотонные кристаллы состоят из параллельных друг другу слоев различных материалов с разными коэффициентами преломления и могут проявлять свои свойства в одном пространственном направлении, перпендикулярном слоям.

2. двумерные, в которых коэффициент преломления периодически изменяется в двух пространственных направлениях. Фотонный кристалл создан прямоугольными областями с коэффициентом преломления n_1 , которые находятся в среде с коэффициентом преломления n_2 . При этом, области с коэффициентом преломления n_1 упорядочены в двумерной кубической решетке. Такие фотонные кристаллы могут проявлять свои свойства в двух пространственных направлениях, и форма областей с коэффициентом преломления n_1 не ограничивается прямоугольниками, как на рисунке, а может быть любой (окружности, эллипсы, произвольная и т. д.). Кристаллическая решётка, в которой упорядочены эти области, также может быть другой, а не только кубической, как на приведённом рисунке.

3. трёхмерные, в которых коэффициент преломления периодически изменяется в трёх пространственных направлениях. Такие фотонные кристаллы могут проявлять свои свойства в трёх пространственных направлениях, и можно их представить как массив объёмных областей (сфер, кубов и т. д.), упорядоченных в трёхмерной кристаллической решётке.

Как и электрические среды в зависимости от ширины запрещённых и разрешённых зон, фотонные кристаллы можно разделить на проводники —

способные проводить свет на большие расстояния с малыми потерями, диэлектрики — практически идеальные зеркала, полупроводники — вещества способные, например, выборочно отражать фотоны определённой длины волны и сверхпроводники, в которых благодаря коллективным явлениям фотоны способны распространяться практически на неограниченные расстояния.

Также различают резонансные и нерезонансные фотонные кристаллы. Резонансные фотонные кристаллы отличаются от нерезонансных тем, что в них используются материалы, у которых диэлектрическая проницаемость (или коэффициент преломления) как функция частоты имеет полюс на некоторой резонансной частоте.

Любая неоднородность в фотонном кристалле называется дефектом фотонного кристалла. В таких областях часто сосредотачивается электромагнитное поле, что используется в микрорезонаторах и волноводах, построенных на основе фотонных кристаллов.

4.3. Методы теоретического исследования фотонных кристаллов, численные методы и программное обеспечение.

Фотонные кристаллы позволяют проводить манипуляции с электромагнитными волнами оптического диапазона, причём характеристические размеры фотонных кристаллов часто близки к величине длины волны. Поэтому к ним не применимы методы лучевой теории, а используется волновая теория и решение уравнений Максвелла. Уравнения Максвелла могут быть решены аналитически и численно, но именно численные методы решения используются для исследования свойств фотонных кристаллов наиболее часто по причине их доступности и лёгкой подстройки под решаемые задачи.

Уместно также упомянуть, что используется два основных подхода к рассмотрению свойств фотонных кристаллов — методы для временной области (которые позволяют получить решение задачи в зависимости от временной переменной), и методы для частотной области (которые предоставляют решение задачи в виде функции от частоты).

Методы для временной области удобны в отношении динамических задач, которые предусматривают временную зависимость электромагнитного поля от времени. Они также могут быть использованы для расчёта зонных структур фотонных кристаллов, однако практически сложно бывает выявить положение зон в выходных данных таких методов. Кроме того, при расчёте зонных диаграмм фотонных кристаллов используется преобразование Фурье, частотное разрешение которого, зависит от общего времени расчёта метода. То есть для получения большего разрешения в зонной диаграмме нужно потратить больше времени на выполнение расчётов. Есть ещё и другая проблема — временной шаг таких методов должен быть пропорционален размеру пространственной сетки метода. Требование увеличения частотного

разрешения зонных диаграмм требует уменьшения временного шага, а следовательно и размера пространственной сетки, увеличения числа итераций, требуемой оперативной памяти компьютера и времени расчёт

Такие методы реализованы в известных коммерческих пакетах моделирования Comsol Multiphysics (используется метод конечных элементов для решения уравнений Максвелла), RSOFTE Fullwave (использует метод конечных разностей), самостоятельно разработанные исследователями программные коды для методов конечных элементов и разностей и др.

Методы для частотной области удобны прежде всего тем, что решение уравнений Максвелла происходит сразу для стационарной системы и непосредственно из решения определяются частоты оптических мод системы, это позволяет быстрее рассчитывать зонные диаграммы фотонных кристаллов, чем с использованием методов для временной области. К их достоинствам можно отнести число итераций, которое практически не зависит от разрешения пространственной сетки метода и то, что ошибка метода численно спадает экспоненциально с числом проведённых итераций. Недостатками метода являются необходимость расчёта собственных частот оптических мод системы в низкочастотной области для того, чтобы рассчитать частоты в более высокочастотной области, и естественно, невозможность описания динамики развития оптических колебаний в системе. Данные методы реализованы в бесплатном пакете программ MPB и коммерческом пакете. Оба упомянутых программных пакета не могут рассчитывать зонные диаграммы фотонных кристаллов, в которых один или несколько материалов имеют комплексные значения коэффициента преломления. Для исследования таких фотонных кристаллов используется комбинация двух пакетов компании RSOFTE — BandSolve и FullWAVE, либо используется метод возмущения.

Безусловно, теоретические исследования фотонных кристаллов не ограничиваются только расчётом зонных диаграмм, а также требуют и знаний о стационарных процессах при распространении электромагнитных волн через фотонные кристаллы. Примером может служить задача исследования спектра пропускания фотонных кристаллов. Для таких задач можно использовать оба упомянутых выше подхода исходя из удобства и их доступности, а также методы матрицы переноса излучения, программа для расчёта спектров пропускания и отражения фотонных кристаллов использующая данный метод, программный пакет pdetool который входит в состав пакета Matlab и упомянутый уже выше пакет Comsol Multiphysics.

4.4. Применение.

С фотонными кристаллами связывают будущее современной электроники. В данный момент идёт интенсивное изучение свойств фотонных кристаллов, разработка теоретических методов их исследования, разработка и исследование различных устройств с фотонными кристаллами,

практическая реализация теоретически предсказанных эффектов в фотонных кристаллах, и предполагается, что:

1. Лазеры с фотонными кристаллами позволят получить малосигнальную лазерную генерацию, так называемые низкопороговые и беспороговые лазеры;
2. Волноводы, основанные на фотонных кристаллах, могут быть очень компактны и обладать малыми потерями;
3. С помощью фотонных кристаллов можно будет создавать среды с отрицательным показателем преломления, что даст возможность фокусировать свет в точку размерами меньше длины волны («суперлинзы»);
4. Фотонные кристаллы обладают существенными дисперсионными свойствами (их свойства зависят от длины волны проходящего через них излучения), это даст возможность создать суперпризмы;
5. Новый класс дисплеев, в которых манипуляция цветом пикселей осуществляется при помощи фотонных кристаллов, частично или полностью заменит существующие дисплеи;
6. Благодаря упорядоченному характеру явления удержания фотонов в фотонном кристалле, на основе этих сред возможно построение оптических запоминающих устройств и логических устройств;
7. Фотонные сверхпроводники проявляют свои сверхпроводящие свойства при определённых температурах и могут быть использованы в качестве полностью оптических датчиков температуры; способны работать с большими частотами и совмещаются с фотонными изоляторами и полупроводниками.

5.1. Выращивание кристаллов самостоятельно.

Выращивание кристаллов - процесс очень интересный, но бывает достаточно длительным. Полезно знать, какие процессы управляют его ростом; почему разные вещества образуют кристаллы различной формы, а некоторые их вовсе не образуют; что надо сделать, чтобы они получились большими и красивыми.

Если кристаллизация идёт очень медленно, получается один большой кристалл (или монокристалл, например, при выращивании искусственных камней), если быстро — то множество мелких (или поликристалл, например металлы).

Выращивание кристаллов в домашних условиях производят разными способами. Например, охлаждая насыщенный раствор. С понижением температуры растворимость веществ уменьшается (в основном, это касается безводной соли), и они, как говорят, выпадают в осадок. Сначала в растворе и на стенках сосуда появляются крошечные кристаллы-зародыши. Когда охлаждение медленное, а в растворе нет твёрдых примесей (скажем, пыли),

зародышей образуется немного, и постепенно они превращаются в красивые кристаллики правильной формы. При быстром охлаждении возникает много мелких кристалликов, почти никакой из них не имеет правильную форму, ведь их растёт множество и они мешают друг другу.

Выращивание кристаллов можно осуществить и другим способом - постепенным удалением воды из насыщенного раствора. И в этом случае, чем медленнее удаляется вода, тем лучше получается результат. Оставьте открытым сосуд с раствором при комнатной температуре на длительный срок, накрыв его листом бумаги, — вода при этом будет испаряться медленно, и пыль в раствор попадать не будет. Растущий кристаллик можно либо подвесить в насыщенном растворе на тонкой прочной нитке, либо положить на дно сосуда. В последнем случае кристаллик периодически надо поворачивать на другой бок. По мере испарения воды в сосуд следует подливать свежий раствор. Даже если наш исходный кристаллик имел неправильную форму, он рано или поздно сам выправит все свои дефекты и примет форму, свойственную данному веществу, например, превратится в октаэдр, если используете соль хромокалиевых квасцов, ромб - если используете медный купорос.

Выращивание кристаллов - процесс занимательный, но требующий бережного и осторожного отношения к своей работе. Теоретически размер кристалла, который можно вырастить в домашних условиях таким способом, неограничен. Известны случаи, когда энтузиасты получали кристаллы такой величины, что поднять их могли только с помощью товарищей.

Но, к сожалению есть некоторые особенности их хранения (конечно каждая соль и вещество имеют свои особенности). Например, если кристаллик квасцов оставить открытым в сухом воздухе, он, постепенно теряя содержащуюся в нём воду, превратится в невзрачный серый порошок. Чтобы предохранить его от разрушения, можно покрыть бесцветным лаком. Медный купорос и поваренная соль - более стойки и Вы смело можете с ними работать.

Выращивать кристаллы можно из разных веществ: например из сахара, даже каменные - искусственное выращивание камней, с соблюдением строгих правил по температуре, давлению, влажности и других факторов (искусственные рубины, аметисты, кварц, цитрины, морионы).

В домашних условиях, конечно, всего этого у нас не получится, поэтому поступим другим образом. Будем выращивать кристаллы соли. У всех у нас есть дома обычная пищевая соль (как, наверное, знаете, что её химическое название хлорид натрия NaCl). Подойдёт и любая другая соль (соль - с химической точки зрения), например, можно получить красивые синие кристаллы из медного купороса или любого другого купороса (например, железного). Можно использовать квасцы (двойные соли металлов серной кислоты), тиосульфата натрия (раньше использовался для изготовления фотографий). Для всех этих солей (да и вообще для соли) не требуется особых каких-то условий: сделали раствор, опустили туда "зародыш" и растёт он себе, каждый день, прибавляя в росте.

Да, не следует раскрашивать раствор, где растёт Ваш кристалл, например красками или чем-нибудь подобным, - это лишь испортит сам раствор, а кристалл всё же не покрасит! Лучший способ получить цветные кристаллы - это подобрать нужную по цвету соль! Но будьте внимательными: например кристаллы жёлтой кровной соли имеют красно-оранжевый цвет - а раствор получается жёлтым.

Итак, процесс **выращивание кристаллов в домашних условиях** разделим на основные этапы:

Этап 1: Растворить соль, из которой будет расти кристалл, в подогретой воде (подогреть нужно для того, чтобы соль растворилось немного больше, чем может раствориться при комнатной температуре). Растворять соль до тех пор, пока будете уверены, что соль уже больше не растворяется (раствор насыщен!)

Этап 2: Насыщенный раствор перелить в другую ёмкость, где можно производить выращивание кристаллов (с учётом того, что он будет увеличиваться). На этом этапе следите, чтобы раствор не особо остывал.

Этап 3: Привяжите на нитку кристаллик соли, нитку привяжите, например, к спичке и положите спичку на края стакана (ёмкости), где налит насыщенный раствор. Кристаллик опустите в насыщенный раствор.

Этап 4: Перенесите ёмкость с насыщенным раствором и кристалликом в место, где нет сквозняков, вибрации и сильного света (выращивание кристаллов требует соблюдение этих условий).

Этап 5: Накройте чем-нибудь сверху ёмкость с кристалликом (например, бумагой) от попадания пыли и мусора. Оставьте раствор на пару дней.

Важно помнить!

1. Кристаллик нельзя, (при росте) без особой причины, вынимать из раствора
2. Не допускать попадание мусора в насыщенный раствор
3. Периодически (раз в неделю) менять или обновлять насыщенный раствор

Заключение.

Повествование о живом и не умирающем не может быть завершено, его можно лишь оборвать. Именно это я и вынуждена сделать, рассказав о «живом жидком кристалле» лишь малую часть из того, что о нём известно.

Я попыталась рассказать о том, что такое кристаллы, каковы их свойства, возможные применения.

Жидкие кристаллы, ещё далеко, далеко не распознаны. Нет пока теории, которая бы смогла учить и объяснять все макроскопические свойства. Ещё не все аналоги твердых кристаллических эффектов в жидких кристаллах обнаружены. А за фотонными кристаллами стоит будущее современной электроники.

Биологи только нащупывают подходы к изучению жидкокристаллического состояния биологических объектов. Словом «белых пятен» на кристаллической копии пока больше, чем исследованных. Эти «белые пятна» ждут своих первооткрывателей.

В развитии каждой отрасли науки, если периоды открытий, забвений, взлета не является исключением наука о кристаллах. И если период забвения закончился, то взлёта кристаллы, видимо, не достигли. Если вначале взлёта присутствовали элементы восторга, бума, то теперь пришло время оглянуться и поразмыслить.

Нашему поколению есть над чем работать в области изучения кристаллов.

Литература

1. Ф. Ф. Греков, Г. Б. Рябенко, Ю. П. Смирнов: «Структурная кристаллография», издательство ЛГПИ, Ленинград 1988.
2. Ландау, Л. Д., Лифшиц, Е. М. Статистическая физика. Часть 1 — Издание 3-е, дополненное. — М.: Наука, 1976. — 584 с. — («Теоретическая физика», том V). — Глава XIII
3. Н. Ашкрофт, Н. Мермин Физика твёрдого тела. Том I.
4. Ф. Ф. Греков, Г. Б. Рябенко, Ю. П. Смирнов Структурная кристаллография — Л.:издательство ЛГПИ, 1988.
5. химия: Справ. изд./ В. Шретер, К.-Х. Лаутеншлегер, Х. Бибрак и др.: Пер. с нем. — М.: Химия, 1989.
6. Курс общей физики, книга 3, И. В. Савельев: Астрель, 2001, ISBN 5-17-004585-9
7. Кристаллы / М. П. Шаскольская, 208 с ил. 20 см, 2-е изд., испр. М. Наука 1985
8. Лихачёв В. А., Малинин В. Г. Структурно-аналитическая теория прочности.- СПб: Наука, 471 с.
9. Границы зерен и свойства металлов. Кайбышев О. А., Валиев Р. З. М.:Металлургия, 1987. 214 с.
10. Штремель М. А. Прочность сплавов. Ч. I. Дефекты решетки. М., 1982.
11. Н. Ашкрофт, Н. Мермин Физика твердого тела: В двух томах / М.И Каганов — М.: Мир, 1979. — 399 с.
12. Ч. Киттель Введение в физику твердого тела — М.: Наука, 1978.
13. В.И. Зиненко Основы физики твердого тела — М.: Издательство Физико-математической литературы, 2001. — 336 с. — ISBN 5-94052-040-5.
14. Я.С. Уманский, Ю.А. Скаков, А.Н. Иванов, Л.Н. Расторгуев Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия — М.: Metallurgia, 1982. — 632 с. — 13000 экз.
15. М.П. Шаскольская Кристаллография: Учебное пособие для вузов — М.: Высшая школа, 1984. — 376 с. — 16000 экз.
16. С.С.Горелик, М.Я.Дашевский Материаловедение полупроводников и диэлектриков: Учебник для вузов. — М.: МИСиС, 2003. — 480 с.
17. J.D. Joannopoulos, R.D. Meade, and J.N. Winn, Photonic Crystals: Molding the Flow of Light, Princeton Univ. Press, 1995.
18. P.N. Prasad, Nanophotonics, John Wiley and Sons, 2004.
- 19.J.-M. Lourtioz, H. Benisty, V. Berger, J.-M. Gerard, D. Maestre, A. Tchelnokov, Photonic Crystals. Towards Nanoscale Photonic Devices, Springer, 2005.
20. В.И. Белотелов, А.К. Звездин, Фотонные кристаллы и другие метаматериалы. Библиотечка квант. Вып. 94. 2006 г.
21. Дронова Н. Д., Кузьмина И. Е. Характеристика и оценка алмазного сырья — М.: МГГУ, 2004. — 74 с.

22. Епифанов В. И., Песина А. Я., Зыков Л. В. Технология обработки алмазов в бриллианты — Учебное пособие для сред. ПТУ. — М.: Высшая школа, 1987.
23. Орлов Ю.Л. Минералогия алмаза — М.: Наука, 1984.
24. Большая энциклопедия школьника. Оксфорд / Пер. с англ. У.В. Сапциной, А.И. Кима, Т.В. Сафроновой и др.- М.: ЗАО РОСМЭН-ПРЕСС, 2007.- 664с.
25. Кристаллы, рост, структура, свойства. К пятидесятилетию Института кристаллографии РАН. – М.: Наука, 1993. - 272 с.
26. Станцо В.В. Обыкновенное вещество. – М.: Химия, 1981. - 192 с.
27. Ферсман А. Е. Занимательная минералогия.- Л.: Детская литература, 1975. – 238 с.
28. Шаскольская М. П. Кристаллы.- М.: Наука, 1978. - 205 с.

Приложения:
Этапы выращивания кристаллов из поваренной соли.





Этапы выращивания кристаллов из медного купороса.



