

Лекции по курсу
Конструкционные и биоматериалы
(Диэлектрические материалы)

Составитель доцент каф. КИРС

к.т.н.

Ковалева Татьяна Юрьевна

Диэлектрические материалы

- **Определение, классификация**
- **Электропроводность диэлектриков**
- **Поляризация диэлектриков**
- **Виды поляризации**
- **Диэлектрические потери**
- **Пробой диэлектриков**
- **Виды пробоя**

Определение, классификация диэлектрических материалов

- Диэлектрическими принято называть материалы, имеющие низкую плотность подвижных носителей заряда (ионов и электронов).
- Удельное электрическое сопротивление диэлектриков в 10^{12} - 10^{25} раз выше, чем у проводниковых материалов.
- Диэлектрическими являются материалы с ковалентной, поляризационной или ионной связью между атомами.
- Диэлектрики с ионной связью существуют только в твердом состоянии.
- Энергия возбуждения электронов на уровни проводимости превосходит 5 электрон-вольт.
- **Классификация**
- По агрегатному состоянию диэлектрики бывают твердыми, жидкими и газообразными.
- По происхождению диэлектрики могут быть естественными и искусственными, органическими и неорганическими.
- По электрической структуре все диэлектрики можно разделить на неполярные и полярные.
- У неполярных диэлектриков в отсутствие внешнего поля собственный дипольный момент структурных единиц (атомов, молекул, элементарных кристаллических ячеек) равен нулю

Определение, классификация диэлектрических материалов

- Диэлектрическими принято называть материалы, имеющие низкую плотность подвижных носителей заряда (ионов и электронов).
- Удельное электрическое сопротивление диэлектриков в 10^{12} - 10^{25} раз выше, чем у проводниковых материалов.
- Диэлектрическими являются материалы с ковалентной, поляризационной или ионной связью между атомами.
- Диэлектрики с ионной связью существуют только в твердом состоянии.
- Энергия возбуждения электронов на уровни проводимости превосходит 5 электрон-вольт.

Классификация

- По агрегатному состоянию диэлектрики бывают твердыми, жидкими и газообразными.
- По происхождению диэлектрики могут быть естественными и искусственными, органическими и неорганическими.
- По электрической структуре все диэлектрики можно разделить на неполярные и полярные.
- У неполярных диэлектриков в отсутствие внешнего поля собственный дипольный момент структурных единиц (атомов, молекул, элементарных кристаллических ячеек) равен нулю

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ДИЭЛЕКТРИКОВ

- **Электропроводность диэлектриков**
 - Кол-во свободных зарядов в диэлектриках мало и поэтому проводимость их тоже мала (10^{-8} , 10^{-18}) сим/см.
 - В принципе проводимость в диэлектрике может возникать по 2-м причинам.
1. Вследствие смещения зарядов – токи смещения. Эти токи кратковременны и длительность их зависит от вида поляризации. Токи смещения при различных видах замедленной поляризации носят название абсорбционных токов.

Плотность абсорбционного тока

$$J_{об} = \frac{dD}{dt}$$

2. Вследствие перемещения ионов примесей

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ДИЭЛЕКТРИКОВ

продолжение

- Электропроводность диэлектриков определяется в основном перемещением ионов.
- На концентрацию ионов оказывают влияние:
 1. состав материала,
 2. температура, облучение материала частицами высоких энергий.
- Концентрация подвижных носителей заряда в полярных материалах, как правило, выше, чем в неполярных.
- Это связано с тем, что ионы примесей электрически взаимодействуют с дипольными моментами полярных молекул, поэтому очистка полярных материалов от примесей затруднена.

Влияние температуры на электропроводность диэлектриков

- При повышении температуры энергия системы повышается на величину kT и вероятность выхода иона из потенциальной ямы возрастает. Поэтому электропроводность диэлектриков при повышении температуры растет в соответствии с выражением:
- $$g = g_0 \exp(E_a/kT) \quad (1)$$
- где: g - удельная электропроводность диэлектрика, g_0 - константа, E_a - энергия активации выхода иона из потенциальной ямы, kT - тепловая энергия системы. Зависимость электропроводности от температуры показана на рис. 1

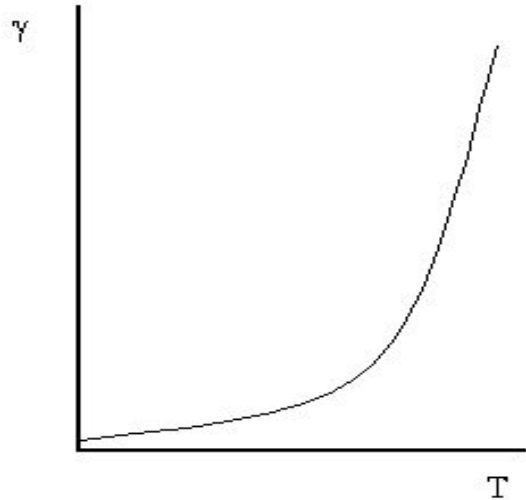
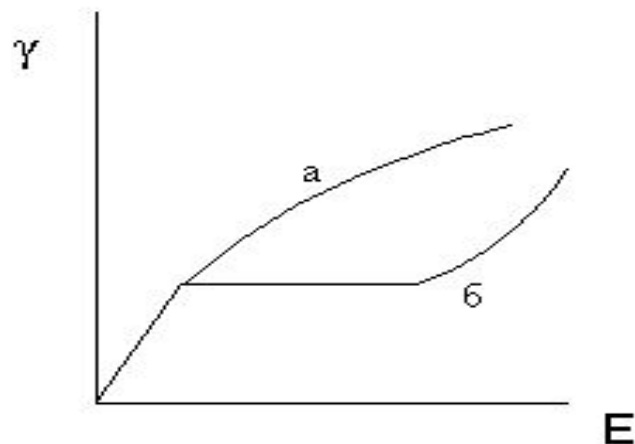


Рис. 1. Зависимость электропроводности от температуры.

Влияние напряженности поля на электропроводность диэлектриков (продолжение)

- При сравнительно **небольших значениях напряженности** поля электропроводность диэлектриков **следует закону Ома**.
- Однако при **повышении напряженности** поля электропроводность **перестает следовать закону Ома**.
- При дальнейшем повышении напряженности поля возможны два случая: в первом электропроводность быстро нарастает с ростом напряженности поля (рис. 2 а), а во втором - вначале наступает насыщение электропроводности, и лишь затем в сильных полях наблюдается ее резкий рост (рис. 2 б).

Рис.2. Зависимость электропроводности от напряженности поля для загрязненных диэлектриков и чистых диэлектриков с ионной связью (а) и не ионных кристаллов высокой чистоты (б).



Влияние напряженности поля на электропроводность (продолжение)

- Эти два случая возможны для следующих типов диэлектриков:
 1. **Первый случай** наблюдается в **загрязненных диэлектриках и чистых диэлектриках с ионной связью**, в которых при увеличении напряженности поля происходит увеличение заряженных частиц.
 2. **Второй случай** типичен для **не ионных диэлектриков высокой чистоты**, в которых число заряженных частиц ограничено, что и вызывает насыщение электропроводности.
 3. **В очень сильных полях** происходит размножение ионов в результате перехода к **пробою диэлектриков**.

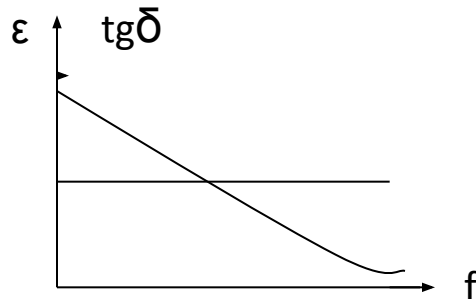
ПОЛЯРИЗАЦИЯ ДИЭЛЕКТРИКОВ

- Поляризация возникает под действием электрического поля
- **Поляризация – смещение упруго связанных зарядов под действием электрического поля на расстояние не превышающее размера частиц**
- По электрической структуре все диэлектрики можно разделить на полярные и неполярные.
- **У полярных диэлектриков структурные единицы вещества имеет собственный дипольный момент.**
- **У неполярных диэлектриков в отсутствии внешнего поля дипольного момента нет.**
- При помещении диэлектрика в электрическое поле диполи в полярных диэлектриках поворачиваются по полю.
- В неполярных диэлектриках внешнее электрическое поле приводит к смещению зарядов внутри электрически нейтральных молекул, что также приводит к появлению электрических диполей (индуцированные диполи).
- Величина дипольных моментов (m), наводимых внешним полем, пропорциональна напряженности внешнего поля: $m = aE$, где a коэффициент пропорциональности, называемый поляризуемостью.
- Диэлектрическую проницаемость можно определить как отношение вектора электрического смещения D к напряженности E внешнего поля, вызвавшего это смещение: $\epsilon = D/E$

Виды поляризации

- Поскольку вектор электрического смещения является суперпозицией напряженности электрического смещения и поляризации:
- $D=E+P$
- то диэлектрическую проницаемость можно выразить как:
- $\varepsilon = 1+ P/E$
- По механизму смещения заряженных частиц различают электронную, ионную и дипольную поляризацию. По характеру смещения заряженных частиц поляризация может быть упругой (безгистерезисной) и релаксационной (гистерезисной).

Упругая поляризация



Упругая поляризация не связана с тепловым движением молекул. К ней относятся следующие виды поляризации:

- а) поляризация упругого электронного смещения;**
- б) поляризация ионного упругого смещения;**

Поляризация упругого электронного смещения

Этот вид поляризации связан со смещением электронных оболочек атомов относительно ядер и имеет место во всех без исключения диэлектриках, за исключением абсолютного вакуума, за исключением абсолютного вакуума. .

Упругая электронная поляризация

У неполярных диэлектриков с ковалентной связью между атомами поляризация упругого электронного смещения является основным видом поляризации (полиэтилен, трансформаторное масло, парафин, водород), рис.2

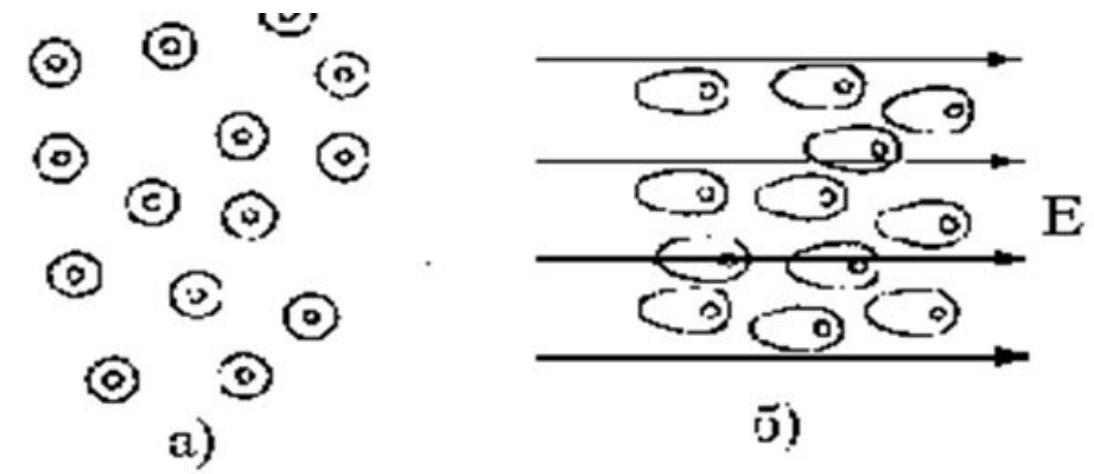


Рис. 2. Деформация симметричных электронных оболочек атомов и образование диполей при наличии электрического поля. а) симметричные электронные оболочки атомов при отсутствии электрического поля; б) деформированные электронные оболочки атомов при наличии внешнего поля напряженностью E .

Упругая электронная поляризация продолжение

- **Дипольный момент**, возникающий в атомах вследствие упругого электронного смещения, **увеличивается** при увеличении радиусов электронных оболочек атомов и количества электронов на них.
- **Диэлектрическая проницаемость** (ϵ) неполярных диэлектриков **мала**, так как общий эффект поляризации при упругой деформации электронных оболочек в электрическом поле невелик..
- У парафина $\epsilon=1,8 - 2,2$; у алмаза $\epsilon = 2,4$; у кремния $\epsilon - 12,5$; у германия $\epsilon - 16,0$.
- Однако в качестве диэлектрических материалов алмаз, кремний, германий не используются.
- Используются различные углеводороды, и типичные **значения диэлектрической проницаемости** ϵ для диэлектриков с неполярными молекулами составляют **1,8 – 2,6**.
- **При возрастании температуры** объем диэлектрика возрастает, и **диэлектрическая проницаемость**,
- в соответствии с выражением
$$\bar{P} = \frac{\sum \bar{m}}{V}$$
уменьшается, где \bar{P} - суммарный дипольный момент в единице объема тела V , который является численной характеристикой поляризации.

Упругая электронная поляризация продолжение Зависимость диэлектрической проницаемости от температуры

- Особенно заметно уменьшение ϵ при плавлении и испарении диэлектриков, когда их объем существенно возрастает.

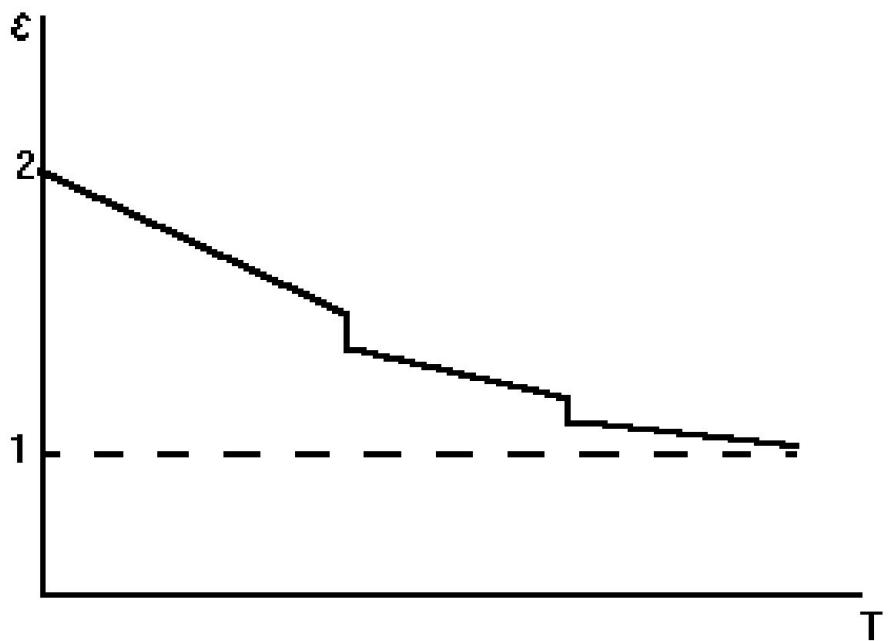


Рис. 3. Зависимость диэлектрической проницаемости от температуры для неполярных диэлектриков.

Упругая электронная поляризация продолжение

Зависимость диэлектрической проницаемости от частоты

- В неполярных диэлектриках диэлектрическая проницаемость практически не зависит от частоты внешнего поля. Это связано с тем, что частота вращения электронов на орбитах велика $\sim 10^{15} - 10^{16}$ Гц.
- Поляризация существует до ультрафиолетового частотного диапазона.

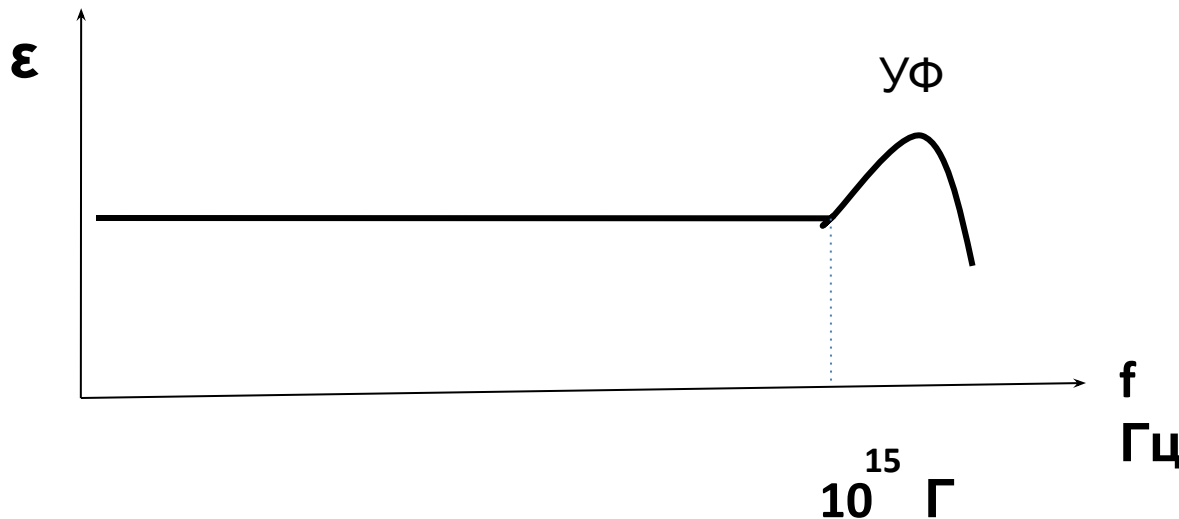


Рис.3 Зависимость диэлектрической проницаемости от частоты

Поляризация упругого ионного смещения.

- Этот вид поляризации вызван **упругим смещением ионов** из равновесных положений под действием внешнего электрического поля.
- Он **характерен для ионных кристаллов** (мрамор, поваренная соль, слюда, кварц и др.).
- Важно отметить, что в таких материалах, наряду с поляризацией упругого ионного смещения, присутствует и поляризация упругого электронного смещения.
- Типичная величина диэлектрической проницаемости составляет 5-150. Так у поваренной соли (NaCl) $\epsilon=6$, у корунда (Al_2O_3) $\epsilon=9$, у рутила (TiO_2) $\epsilon=110$, у титаната кальция (CaTiO_3) $\epsilon=150$.
- Из приведенных данных следует, что величина поляризации возрастает с увеличением радиусов ионов и с увеличением их зарядов.

Поляризация упругого ионного смещения. (продолжение)

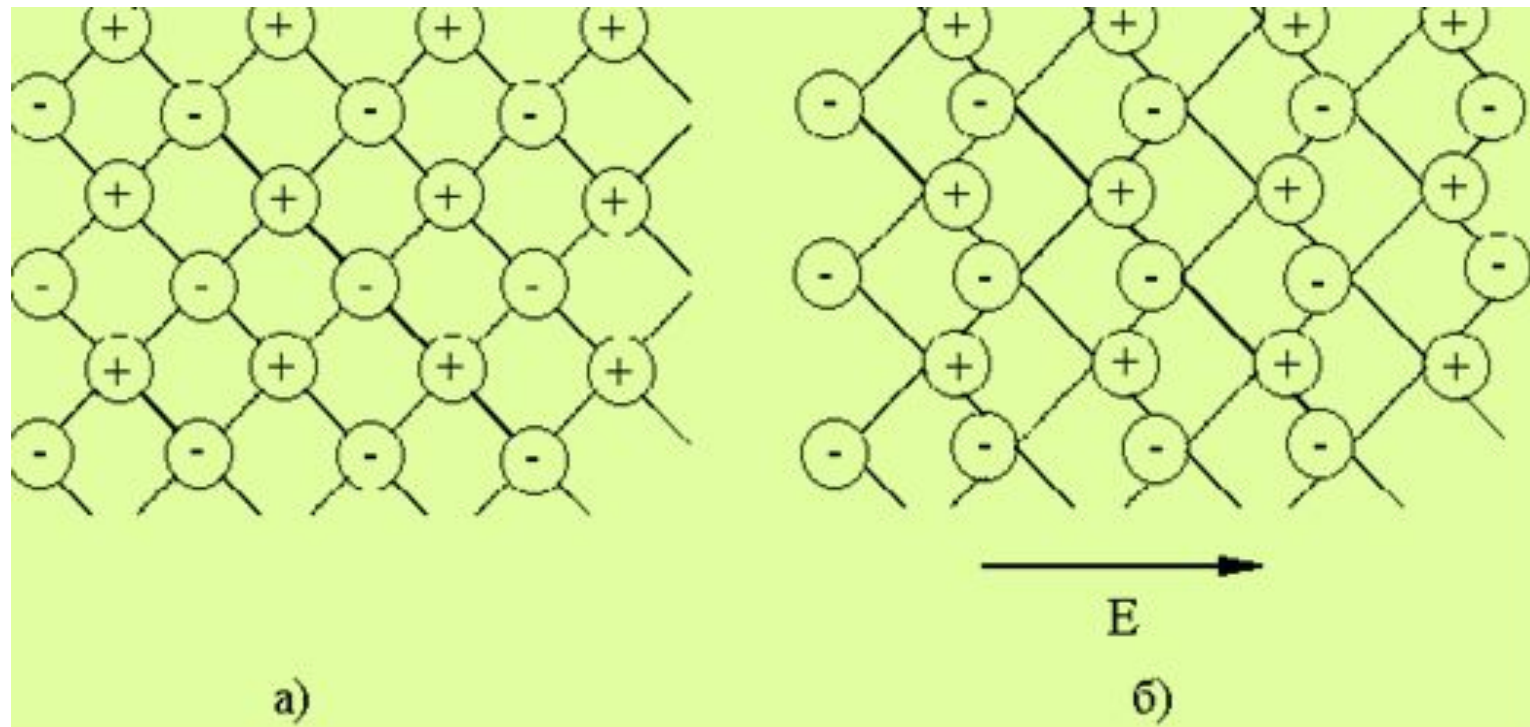


Рис4. Смещение ионов и упругая ионная поляризация при наличии электрического поля.

а) электрическое поле отсутствует, б) электрическое поле присутствует.

Поляризация упругого ионного смещения. продолжение

- Повышение температуры увеличивает межатомные расстояния, вследствие чего связь между отдельными ионами ослабляется, и облегчается взаимное смещение ионов под действием внешнего электрического поля.
- Поэтому при повышении температуры диэлектрическая проницаемость ионных кристаллов возрастает (рис. 5).
- Время установления этого механизма поляризации сравнимо с периодом оптических колебаний ионов в кристаллической решетке и составляет 10^{-12} - 10^{-13} с.
- Поэтому до частот 10^{12} - 10^{13} Гц диэлектрическая проницаемость веществ с ионной связью не зависит от частоты внешнего поля , аналогично электронной поляризации.
- **Ионная упругая поляризация** существует до **ИК** частотного диапазона.

Поляризация упругого ионного смещения.

Продолжение

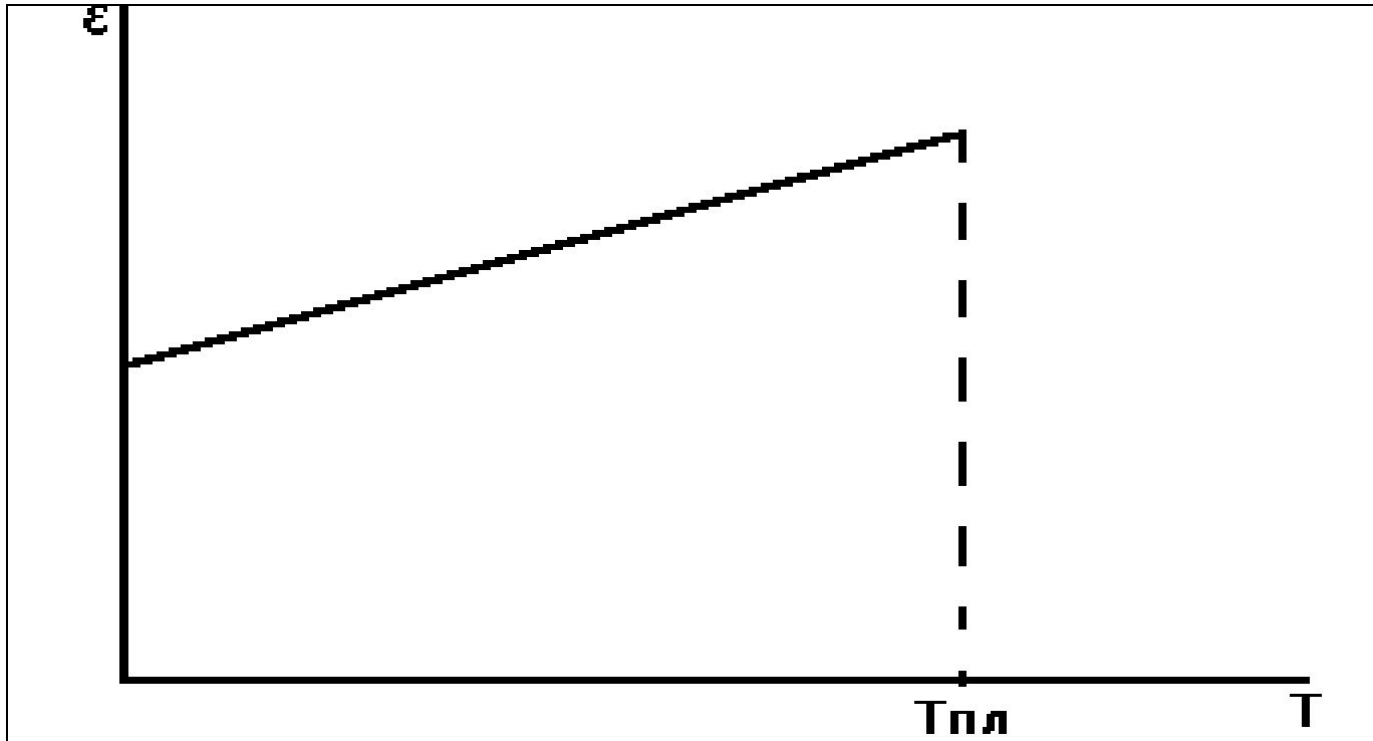


Рис. 5 Зависимость диэлектрической проницаемости от температуры для ионных кристаллов.

Виды поляризации релаксационного типа.

- В ряде диэлектриков электроны ионы и дипольные молекулы могут скачком переходить из одного положения в другое.
- Эти переходы осуществляются частицами благодаря получению ими энергии при тепловых колебаниях.
- Электрическое поле снижает энергетический барьер для перехода по полю и повышает энергетический барьер для перехода против поля.
- В итоге, диэлектрик поляризуется, причем для поляризации требуется время.
- Эти виды поляризации являются релаксационными.
- Основные виды релаксационной поляризации:
 1. **дипольно-релаксационная,**
 2. **ионно-релаксационная**
 3. **электронно-релаксационная поляризация.**

Дипольно-релаксационная поляризация продолжение

- Поляризация этого вида наблюдается во многих твердых и жидких диэлектриках с полярными группами: компаунды, бакелит, аминопласты и др.
- **При дипольно-релаксационной поляризации** происходит **смещение полярных молекул** или смещение радикалов, входящих в состав крупных молекул.
- Дипольно-релаксационная поляризация сопровождается необратимыми потерями энергии при нахождении диэлектриков в переменном электрическом поле.
- Диэлектрическая проницаемость полярных веществ сильно зависит от их температуры и частоты внешнего электрического поля.
- При низких температурах, когда подвижность молекул и радикалов, входящих в состав молекул, мала, поворот диполей на большие углы невозможен, и в материале наблюдается поляризация электронного упругого смещения и дипольно-упругая поляризация.

Дипольно-релаксационная поляризация

- Так как ориентация диполей по направлению поля осуществляется в процессе теплового движения, то наступление состояния поляризации требует времени. При увеличении частоты электрического поля время действия поля на диполи за половину периода уменьшается, а следовательно, уменьшается величина поляризации и снижается величина диэлектрической проницаемости. .

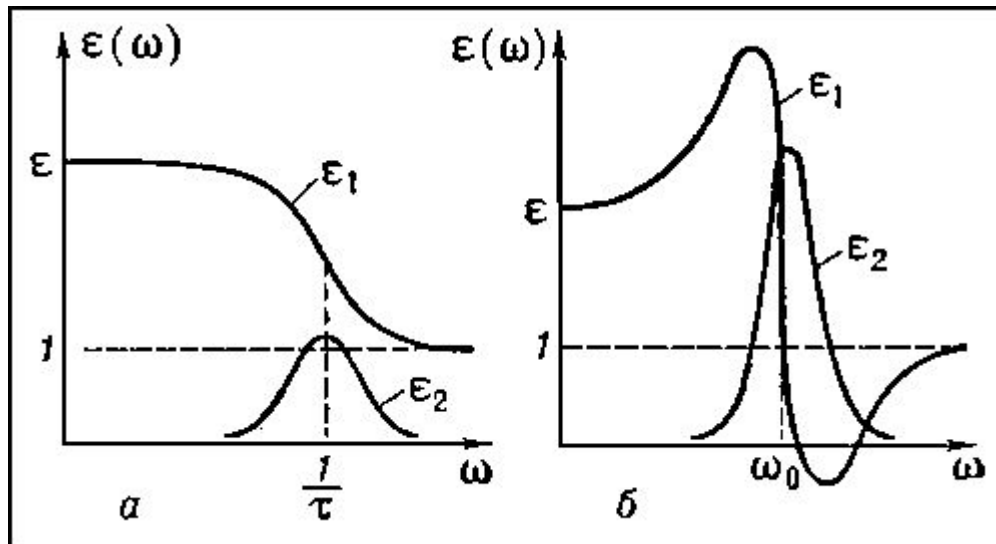
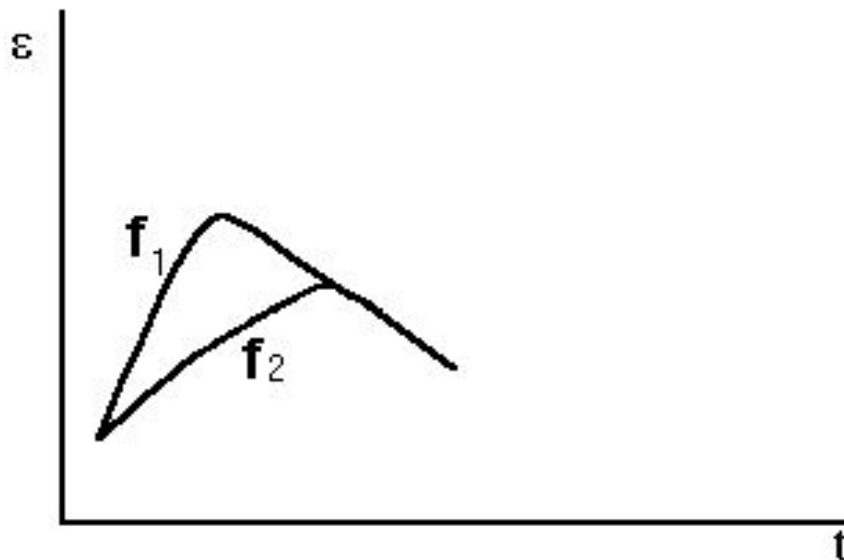


Рис.9 Зависимость вещественной ϵ' и мнимой, ϵ'' составляющих диэлектрической проницаемости от частоты внешнего поля

Зависимость диэлектрической проницаемости от температуры и от частоты электрического поля ($f_1 > f_2$).

- С возрастанием температуры подвижность диполей увеличивается, и облегчается их ориентация под действием внешнего поля. Следовательно, диэлектрическая проницаемость растет. Однако при дальнейшем росте температуры кинетическая энергия теплового движения диполей возрастает настолько, что броуновское движение диполей разрушает ориентацию, задаваемую внешним полем. Поэтому диэлектрическая проницаемость снижается (см. рис. 31). Таким



действ с дипольно-
ет характерную форму

Релаксационные виды поляризаций

- **Ионно-релаксационная поляризация.** Релаксационная поляризация также может быть связанной с перебросом из одного равновесного положения в другое слабосвязанных ионов или полярных групп. Типичными примерами являются переброс щелочных ионов (Na^+ , K^+) из одного положения в другое в стеклах и переброс гидроксильных групп (OH^-) в целлюлозе. В этом случае говорят о ионно-релаксационной поляризации.
- **Электронно-релаксационная поляризация.** В диэлектриках с кристаллической структурой, вместо части ионов в узлах кристаллической решетки могут находиться электроны и дырки (дополнительно ионизированные ионы). При приложении электрического поля эти дефекты кристаллической решетки также могут перебрасываться из одного положения в другое. В этом случае говорят об электронно-релаксационной поляризации. Зависимости диэлектрической поляризации от температуры и частоты внешнего поля качественно такие же, как и для дипольно-релаксационной поляризации.

Особенности поляризации в активных диэлектриках

- **Под активными диэлектриками** принято понимать диэлектрики, поляризация которых происходит не только под действием внешнего поля, но и под действием других факторов:
 - - механических усилий,
 - - температуры,
 - - воздействия света
 - - проникающей радиации и др.
- Такие диэлектрики могут быть использованы в качестве активных элементов датчиков внешних воздействий.
- Существуют три основные группы таких диэлектриков: сегнетоэлектрики, пьезоэлектрики и электреты.
- **Сегнетоэлектрики.** В сегнетоэлектриках в определенном диапазоне температур наблюдается спонтанная или самопроизвольная поляризация. Название эта группа диэлектриков получила по предложению И.В. Курчатова от сегнетовой соли (двойная калиево-натриевая соль винно-каменной кислоты $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{r}4\text{H}_2\text{O}$), в кристаллах которой впервые была обнаружена спонтанная поляризация.

Особенности поляризации в активных диэлектриках

продолжение

- Наш соотечественник Б. М. Вул открыл новый сегнетоэлектрик - титанат бария BaTiO_3
- Установлено, что сегнетоэлектрическими свойствами обладают титанаты других металлов, ряд цирконатов, танталатов и ниобатов (SrTiO_3 , PbZrO_3 , NaTaO_3 , KNbO_3), а также твердые растворы на основе этих соединений.
- Рассмотрим природу спонтанной поляризации в таких материалах на примере титаната бария. Элементарную ячейку кристаллической решетки этого материала можно представить следующим образом. В вершинах куба находятся ионы бария, по центрам граней куба находятся ионы кислорода, а в центре куба находится ион титана (рис.1)
- Поскольку между атомами титана, кислорода и бария осуществляется ионная связь ,кристаллическая решетка данного соединения упакована неплотно.
-

Особенности поляризации в активных диэлектриках

продолжение

- Следовательно, ион титана может смещаться относительно центра элементарной ячейки. При смещении иона титана к какому либо иону (или группе ионов) кислорода, кулоновские силы удерживают ион титана в этом положении, и элементарная ячейка становится поляризованной..

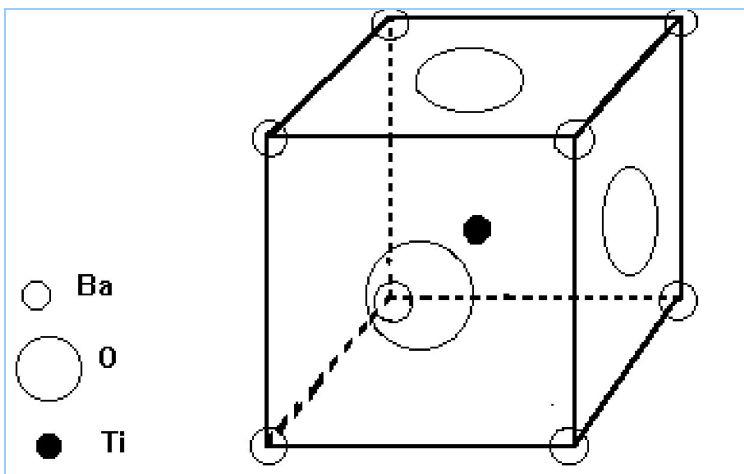


Рис1. Схема элементарной ячейки кристаллической решетки титаната бария.

Поляризация одной элементарной ячейки приводит к появлению диполя, электрическое поле которого поляризует соседние элементарные ячейки. Т. О. , кристалл поляризуется самопроизвольно (спонтанно).

Повышение температуры приводит к активизации колебаний иона титана, и при равенстве энергии теплового движения этого иона с энергией электростатического взаимодействия с ионами кислорода элементарные ячейки кристалла деполяризуются.

Особенности поляризации в активных диэлектриках

Продолжение лекции

- В итоге кристалл переходит из сегнетоэлектрического в параэлектрическое состояние. Температуру перехода принято называть температурой Кюри.
- Важно отметить, что при температурах, меньших температуры Кюри, в отсутствие внешнего поля достаточно большие кристаллы сегнетоэлектриков не обладают электрическим моментом.
- Это обусловлено тем, что в случае, когда все дипольные моменты элементарных ячеек кристалла ориентированы одинаково, вокруг кристалла появляется электрическое поле.
- Потенциальная энергия такого кристалла резко возрастает.
- Для снижения потенциальной энергии кристалл разбивается на области (домены), в пределах которых дипольные моменты элементарных ячеек параллельны, но суммарные электрические моменты соседних доменов антипараллельны или перпендикулярны.
- Таким образом, суммарный электрический момент кристалла равен нулю.

Особенности поляризации в активных диэлектриках

Продолжение лекции

- При помещении сегнетоэлектрика в электрическое поле суммарные моменты диполей ориентируются по полю и поляризация сегнетоэлектрика возрастает (рис. 2)

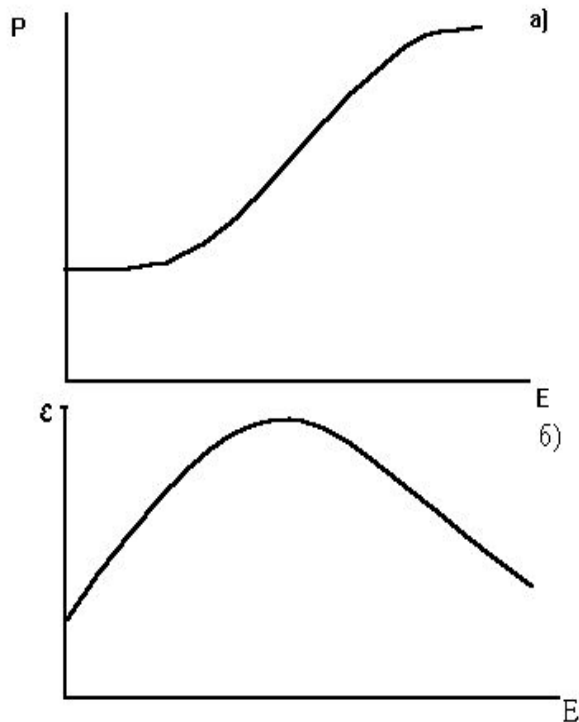


Рис. 2 Зависимости поляризации (P) и диэлектрической проницаемости (ϵ) от напряженности электрического поля (E)

Рост поляризации приводит к росту отношения P/E , а следовательно, к росту ϵ . Однако с ростом напряженности поля прирост поляризации снижается, падает отношение P/E , и поэтому зависимость ϵ от напряженности поля имеет куполообразный вид. Максимальные значения диэлектрической проницаемости сегнетоэлектриков достигают сотен тысяч единиц, и габариты конденсаторов из таких материалов могут быть весьма малыми

Особенности поляризации в активных диэлектриках

Продолжение лекции

- Существенное влияние на диэлектрическую проницаемость оказывает температура. При повышении температуры кинетическая энергия ангармонических колебаний ионов возрастает, и электростатическая связь между ионами ослабевает. Внешнему полю легче перебросить ионы из одного положения в другое, соответственно, поляризация и диэлектрическая проницаемость возрастают. Максимум диэлектрической проницаемости наблюдается при температуре Кюри.
- Легирование сегнетоэлектриков приводит к изменению энергии связи между ионами и дает возможность изменять температуру Кюри и величину диэлектрической проницаемости.

Пьезоэлектрики

- Пьезоэлектриками называют диэлектрики, в которых под действием механических напряжений появляется поляризация, а под действием электрического поля пьезоэлектрики упруго деформируются. Таким образом, пьезоэлектрики являются электромеханическими преобразователями, преобразующими механическую энергию в электрическую и обратно.
- Пьезоэлектрический эффект наблюдается в кристаллах, не имеющих центра симметрии, у которых при деформации ячейки происходит появление электрического момента. Заряды q , возникающие на поверхности пластин из пьезокристаллов пропорциональны приложенным силам.

- $q_{ik} = d_{ik} F_i$,

1

- где: F_i - сила, действующая вдоль i -кристаллографической оси;
- d_{ik} - пьезоэлектрический модуль - величина заряда, возникающего под действием единичной силы по направлению i на поверхности, перпендикулярной направлению k .

Пьезоэлектрики

- При приложении разности потенциалов в пьезоэлектрике возникает деформация, которая, в первом приближении, равна напряженности поля

- $\varepsilon = D/l_0 = l_{ik}E_i$,

2

- где: l_{ik} - пьезоэлектрическая постоянная.
- Пьезоэлектрическими свойствами обладают многие кристаллы, лишенные центра симметрии: кварц, турмалин, сегнетова соль и др. Часто используется пьезокерамика.
- Пьезоэлектрики нашли широкое применение для изготовления резонаторов, преобразователей колебаний и др.

Электреты и термоэлектреты

- **Электретами** называют диэлектрики, у которых постоянный электрический момент или избыточный заряд сохраняются длительное время.
- **Электреты** могут служить источниками электрического поля в окружающем пространстве, аналогично постоянным магнитам, являющимися источниками магнитного поля. Эта аналогия в свойствах постоянных магнитов и электретов отражена в их названии (по-английски постоянный магнит - magnet). В зависимости от способов получения различают **термоэлектреты, фотоэлектреты, электроэлектреты, трибоэлектреты, радиоэлектреты**.
- Впервые **термоэлектрет** был получен японским физиком Эгутси в 1921 году. В ванночку между двумя электродами заливалась смесь полярных диэлектриков карнаубского и пчелиного восков с добавлением канифоли, которая застывала при приложении напряжения между электродами. После застывания диэлектрика он являлся источником постоянного электрического поля.

Электреты и термоэлектреты

- При сравнительно слабых внешних полях ($E < 10$ кВ/мм) в **термоэлектретах** происходят в основном процессы поляризации. При этом стороны электрета, обращенные к электродам, имеют заряд противоположный по знаку заряду электрода.
- Такие электреты называют **гетероэлектретами**.
- При электризации в сильных полях ($E > 10$ кВ/мм), помимо поляризации, происходит эмиссия зарядов с поверхности электрода в диэлектрик.
- В этом случае поверхности диэлектрика, прилегающие к электродам, приобретают заряд одинаковый по знаку с зарядом электрода. Такие электреты называют **гомоэлектретами**.

Термоэлектреты

- Хорошие термоэлектреты получают из диэлектриков с длинными полярными молекулами - полиамидов и поливинилацетатов.
- Для получения электретов также используют неорганические материалы: слюду, серу, сегнетоэлектрики.
- При получении электретов из неорганических сегнетоэлектриков не обязательно доводить их до плавления, достаточно нагреть их до температуры Кюри.

Фотоэлектреты, радиоэлектреты и трибоэлектреты

- Впервые **фотоэлектрет** был получен в 1937 году болгарским ученым Г. Наждаковым. Он нанес на металлический лист-нижний электродом, слой серы. Через верхний сетчатый электрод сера освещалась. За счет внутреннего фотоэффекта в сере образовывались электроны и дырки, которые разносились действующим внешним полем к электродам. После снятия внешнего поля вокруг пленки серы появлялась ЭДС. Фотоэлектреты широко используются в ксерографии и моментальной фотографии.
- При облучении диэлектриков γ -квантами и потоками быстрых электронов они также электризуются. Такие диэлектрики принято называть **радиоэлектретами**. Как правило, радиоэлектреты готовят на основе неорганических стекол.
- **Трибоэлектреты**. Трибоэлектретами принято называть материалы, электризующиеся при трении. Типичные представители - янтарь, эбонит, плексиглас. При трении происходит разрушение межатомных связей и перенос заряда с одной поверхности на другую.

Композиционные материалы (КМ)

- **Композиционные материалы или композиты**
- являются искусственно созданные человеком матричные материалы, состоящие из двух или более компонентов, один из которых является матрицей, другой арматурой, гетерофазные
- по строению, однородные в макромасштабе, обладающие аддитивным комплексом физико - механических свойств, обусловленным сохранением индивидуальности каждого образующего композит компонента.
- **Порошковые материалы** это металлические материалы преимущественно , получаемые методами приготовления порошка, формообразования и последующего спекания с целью придания требуемых физико- механических свойств
- Существуют комбинированные конструкции. Здесь армирующие элементы в составе изделия неоднородны в макромасштабе.

продолжение

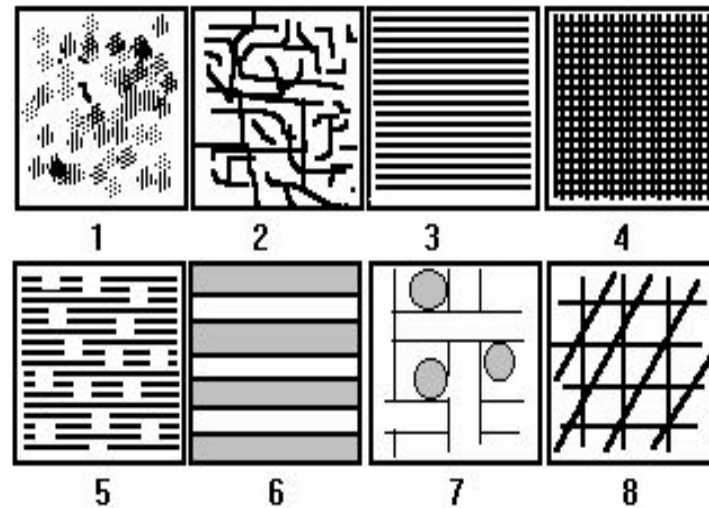
- Создание деталей из КМ пример воплощения триединства материала, конструкции и технологии,
- в процессах проектирования и изготовления предусматривается и обеспечение основных свойств материала изделия.
- Компонентами композитов являются специальные полуфабрикаты листы, порошки, гранулы, фольги, волокна, жгуты, сетки, ткани.
- Компонентами композитов являются специальные полуфабрикаты листы, порошки, гранулы, фольги, волокна, жгуты, сетки, ткани.

Продолжение

- Стадиями изготовления КМ и ПМ являются:
 - производство исходных компонентов;
 - приготовление смесей по заданной рецептуре;
 - формование изделий;
 - тепловая обработка формовок для придания требуемых физико-механических свойств.
- Для композиционных материалов на основе пластмасс и порошковых беспористых материалов свойственно объединение во времени двух последних стадий.
- Производство исходных компонентов включает - технологии получения волокон, порошков, фольг, сеток и тканей.
- Приготовление смесей осуществляют методами механического, физико- химического и ряда других способов для получения однородной по свойствам и составу смеси.

Волокнистые, слоистые и дисперсно - упрочненные КОМПОЗИТЫ.

- Композиционные материалы различают по типу армирования и направлениям армирующей фазы.
- Существуют хаотично армированные, однонаправленные, транс армированные, ортогонально армированные и т.п.
- В общем случае композиты обладают или не обладают анизотропией свойств.



1 хаотичные частицы,
2 хаотичные волокна,

3 непрерывные однонаправленные волокна, 4 сетки (ткани) [транстропные КМ], 5 дискретные волокна, 6 фольги [транстропные КМ], 7 ортогональные непрерывные волокна, 8 двумерные волокна [транстропные КМ]

Рис.1

(Продолжение) **По виду матриц классифицирует КМ на следующие основные классы:**

- - матричные металлические композиционные материалы (МКМ), где упрочняющей фазой являются дискретные мельчайшие равномерно распределенные в матрице частицы (металлические порошковые композиционные материалы),
- - композиты на полимерной основе, где матрицей служат разнообразные пластические массы, а армирующей фазой, сетки, волокна, системы нитей или жгутов из стекла, углеродных волокон,
- - эвтектические композиционные материалы сплавы быстрой и или направленной кристаллизации,
- - псевдосплавы и твердые сплавы,
- - материалы ПКМ, получаемые мембранными методами,
- - материалы КМ (Углерод-Углеродные КМ), получаемые методами карбонизации и пиролитических процессов.