

Министерство образования и науки Российской Федерации
Автономное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт неразрушающего контроля

Дисциплина «Материалы электронной техники»

ДИЭЛЕКТРИКИ

Гормаков А.Н., доц. каф. ТПС
ИНК НИ ТПУ, 2017 г.

Диэлектрические материалы

основные свойства:

очень слабая электропроводность и

способность к электрической поляризации

(существование электрического поля в объёме материала).

ΔW более 3 эВ

$\rho_v \sim 10^5 \div 10^{17} \text{ Ом}\cdot\text{м}$

Пассивные

(электроизоляционные)

- применяются для создания электрической изоляции

Активные

- изменяют свои параметры под действием внешних факторов

Классификация диэлектриков

По агрегатному состоянию:

твердые (кристаллические, аморфные),

жидкие, газообразные,

а также твердеющие материалы: лаки, компаунды.

По химической природе:

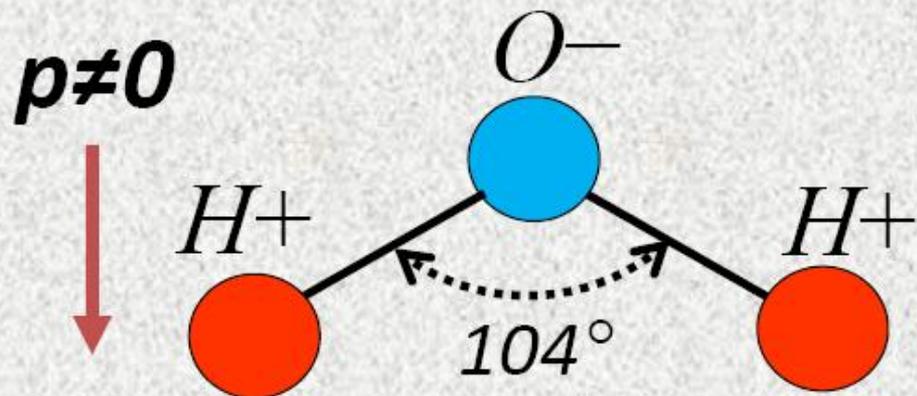
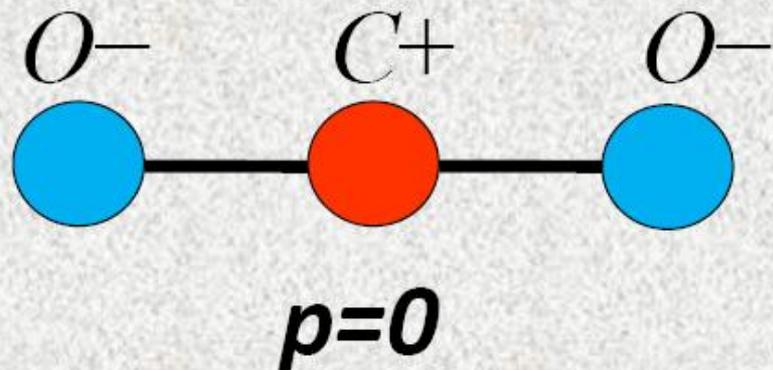
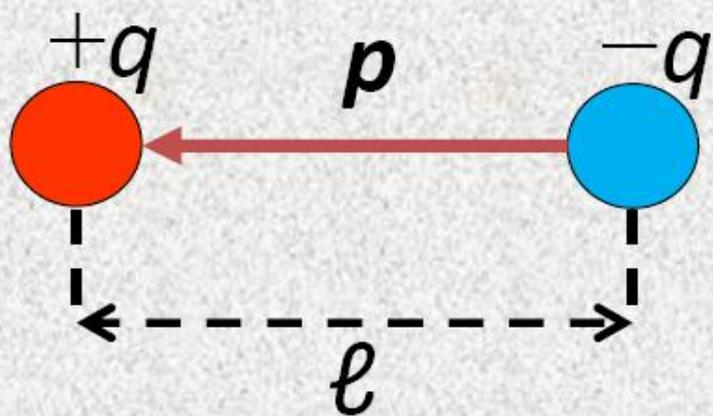
Органические – молекулы содержат атомы углерода.

Неорганические – молекулы не содержат атомов углерода (кроме таких соединений, как оксиды углерода, сероуглерод, угольная кислота и ее соли).

Элементоорганические – молекулы содержат атомы элементов не характерных для органических веществ: *Si, Mg, Al* и др.

Полярность диэлектриков

$$p = q \cdot \ell$$



Основные характеристики,
описывающие поведение
диэлектриков в электрических полях

1. Электропроводность γ (ρ)

2. Поляризация ϵ

3. Диэлектрические потери $tg\delta$

4. Электрическая прочность $E_{пр}$

Диэлектрики в электрическом поле

Вещество, внесенное в электрическое поле, может существенно изменить его. Это связано с тем, что вещество состоит из заряженных частиц. В отсутствие внешнего поля частицы распределяются внутри вещества так, что создаваемое ими электрическое поле в среднем по объемам, включающим большое число атомов или молекул, равно нулю.

При наличии внешнего поля происходит перераспределение заряженных частиц, и в веществе возникает собственное электрическое поле.

Полное электрическое поле складывается в соответствии с принципом суперпозиции из внешнего поля и внутреннего поля создаваемого заряженными частицами вещества.

Вещество многообразно по своим электрическим свойствам. Наиболее широкие классы вещества составляют *проводники* и *диэлектрики*.

Основная особенность проводников – наличие **свободных** зарядов (электронов), которые участвуют в тепловом движении и могут перемещаться по всему объему проводника.

Типичные проводники – металлы.

В отличие от проводников, в диэлектриках (изоляторах) нет свободных электрических зарядов. Они состоят из нейтральных атомов или молекул. Заряженные частицы в нейтральном атоме связаны друг с другом и не могут перемещаться под действием электрического поля по всему объему диэлектрика.

При внесении диэлектрика во внешнее электрическое поле \vec{E}_0 в нем возникает некоторое перераспределение зарядов, входящих в состав атомов или молекул.

В результате такого перераспределения на поверхности диэлектрического образца появляются избыточные нескомпенсированные **связанные** заряды.

Все заряженные частицы, образующие макроскопические связанные заряды, по-прежнему **входят** в состав своих атомов.

Связанные заряды создают электрическое поле \vec{E}' , которое внутри диэлектрика направлено противоположно вектору напряженности внешнего поля \vec{E}_0 .

Этот процесс называется *поляризацией диэлектрика*.

В результате полное электрическое поле

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}'$$

внутри диэлектрика оказывается по модулю меньше внешнего поля

* Физическая величина, равная отношению модуля напряженности внешнего электрического поля в вакууме к модулю напряженности полного поля в однородном диэлектрике, называется *диэлектрической проницаемостью* вещества.

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E'}$$

Существует несколько механизмов поляризации диэлектриков. Основными из них являются **ориентационная** и **электронная** поляризации.

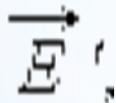
Эти механизмы проявляются главным образом при поляризации газообразных и жидких диэлектриков.

Ориентационная или дипольная поляризация возникает в случае **полярных диэлектриков**, состоящих из молекул, у которых центры распределения положительных и отрицательных зарядов не совпадают. Такие молекулы представляют собой микроскопические электрические диполи — нейтральную совокупность двух зарядов, равных по модулю и противоположных по знаку, расположенных на некотором расстоянии друг от друга. Дипольным моментом обладает, например, молекула воды, а также молекулы ряда других диэлектриков (H_2S , NO_2 и т. д.).

При отсутствии внешнего электрического поля оси молекулярных диполей из-за теплового движения ориентированы хаотично, так что на поверхности диэлектрика и в любом элементе объема электрический заряд в среднем равен нулю.

* При внесении диэлектрика во внешнее поле возникает частичная ориентация молекулярных диполей. В результате на поверхности диэлектрика появляются нескомпенсированные макроскопические связанные заряды, создающие поле направленное навстречу внешнему полю (рис. 3).

*



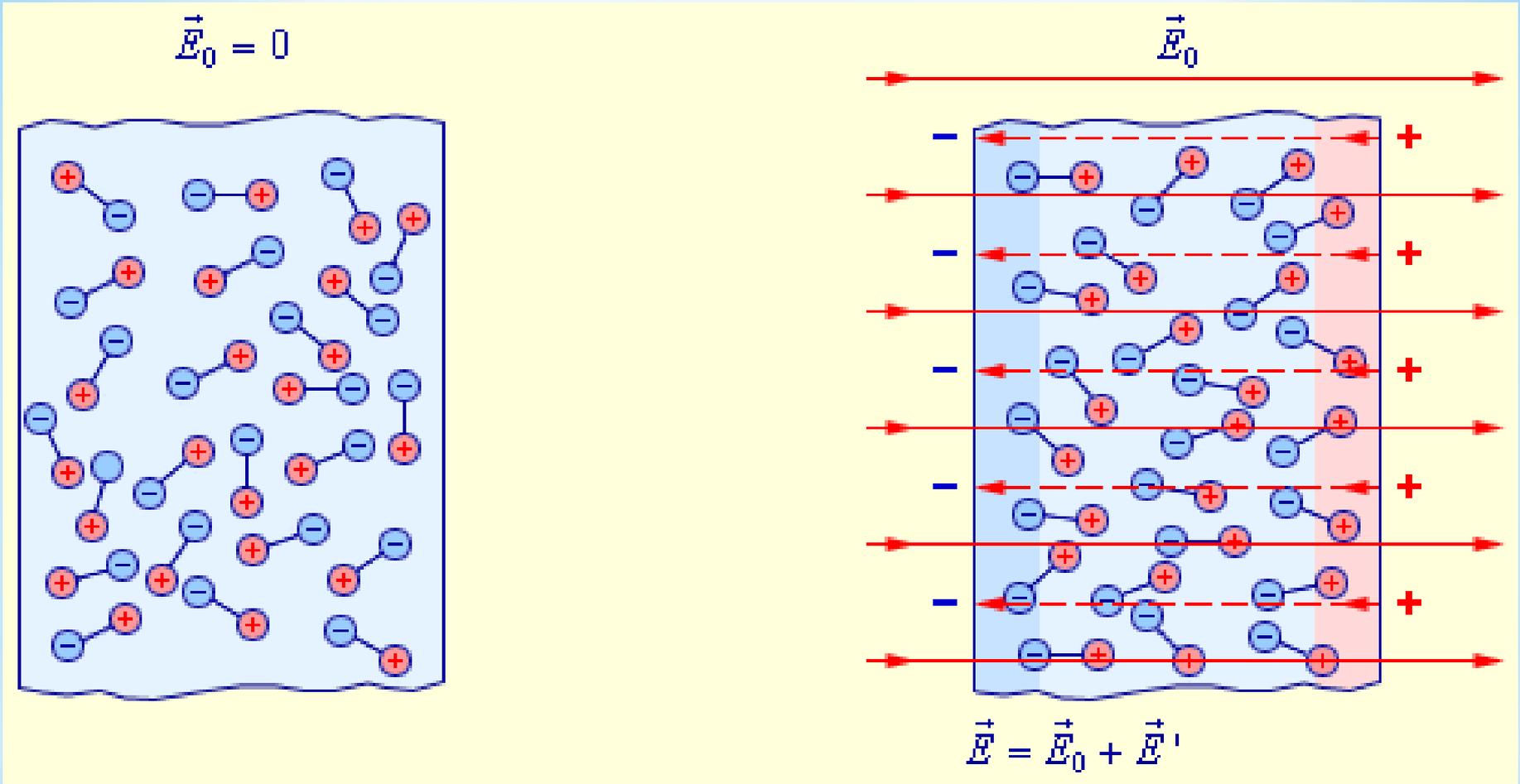


Рис. 3. Ориентационный механизм поляризации полярного диэлектрика

Поляризация полярных диэлектриков сильно зависит от температуры, так как тепловое движение молекул играет роль дезориентирующего фактора.

Электронный или упругий механизм проявляется при поляризации неполярных диэлектриков, молекулы которых не обладают в отсутствие внешнего поля дипольным моментом.

Под действием электрического поля молекулы неполярных диэлектриков деформируются – положительные заряды смещаются в направлении вектора \vec{E} а отрицательные – в противоположном направлении. В результате каждая молекула превращается в электрический диполь, ось которого направлена вдоль внешнего поля. На поверхности диэлектрика появляются нескомпенсированные связанные заряды, создающие свое поле направленное навстречу внешнему полю. Так происходит поляризация неполярного диэлектрика (рис. 4).

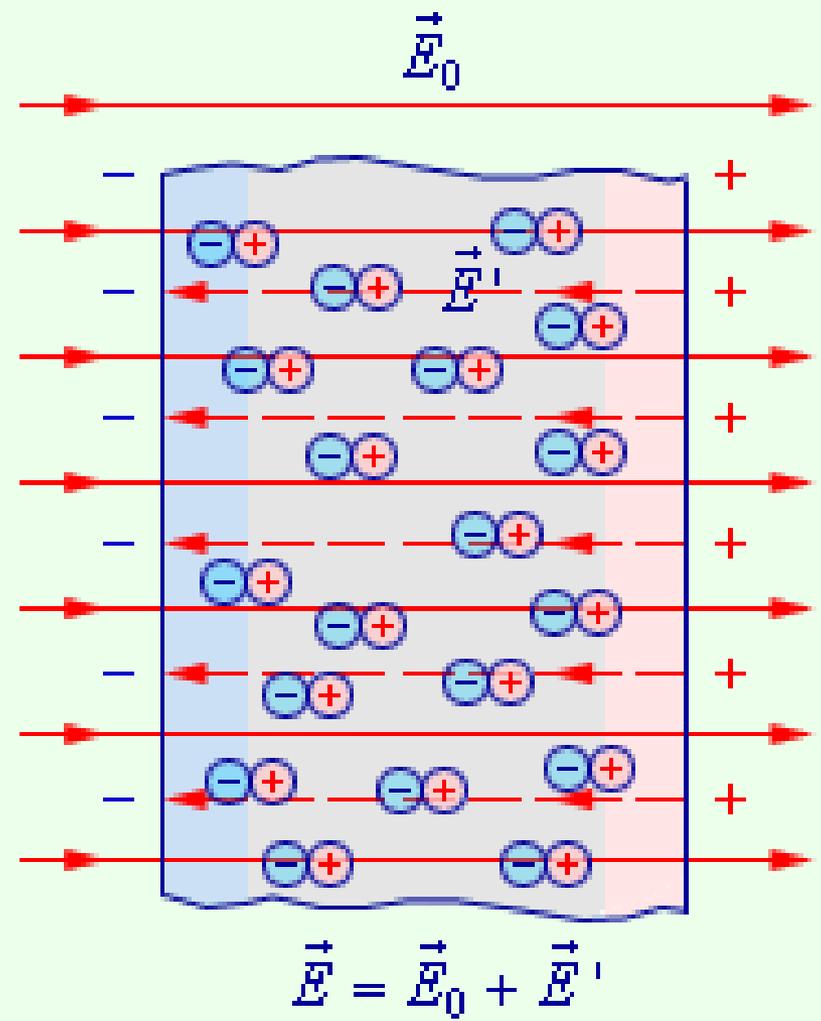
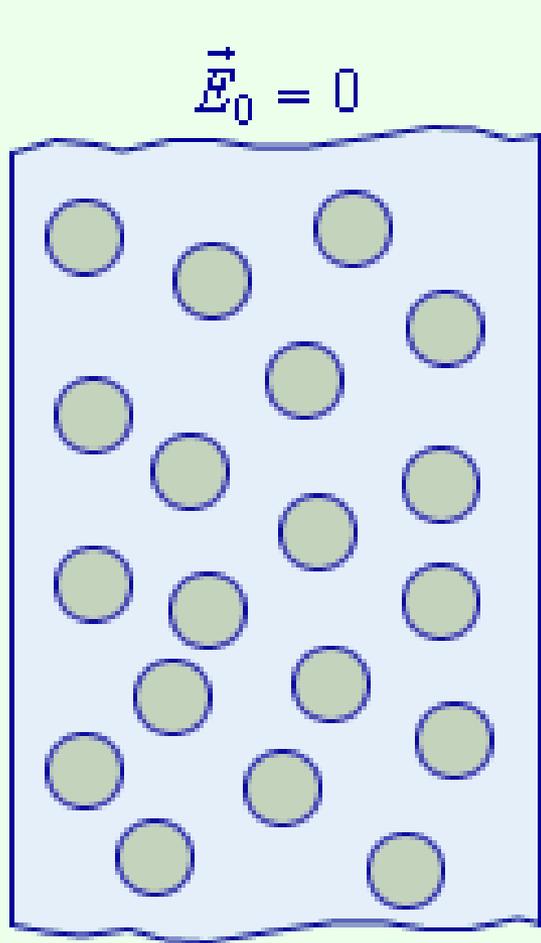


Рис. 4. Поляризация неполярного диэлектрика

Деформация неполярных молекул под действием внешнего электрического поля не зависит от их теплового движения, поэтому поляризация неполярного диэлектрика не зависит от температуры.

Примером неполярной молекулы может служить молекула метана CH_4 . У этой молекулы четырехкратно ионизированный ион углерода C^{4-} располагается в центре правильной пирамиды, в вершинах которой находятся ионы водорода H^+ .

При наложении внешнего электрического поля ион углерода смещается из центра пирамиды, и у молекулы возникает дипольный момент, пропорциональный внешнему полю.

Электрическое поле \vec{E}' связанных зарядов, возникающее при поляризации полярных и неполярных диэлектриков, изменяется по модулю прямо пропорционально модулю внешнего поля \vec{E}_0

В очень сильных электрических полях эта закономерность может нарушаться, и тогда проявляются различные *нелинейные эффекты*. В случае полярных диэлектриков в сильных полях может наблюдаться *эффект насыщения*, когда все молекулярные диполи выстраиваются вдоль силовых линий.

В случае неполярных диэлектриков сильное внешнее поле, сравнимое по модулю с внутриатомным полем, может существенно деформировать атомы или молекулы вещества и изменить их электрические свойства.

Однако, эти явления практически никогда не наблюдаются, так как для этого нужны поля с напряженностью порядка 10^{10} – 10^{12} В/м.

Между тем, гораздо раньше наступает электрический пробой диэлектрика.

У многих неполярных молекул при поляризации деформируются электронные оболочки, поэтому этот механизм получил название *электронной поляризации*.

Этот механизм является универсальным, поскольку деформация электронных оболочек под действием внешнего поля происходит в атомах, молекулах и ионах любого диэлектрика.

В случае твердых кристаллических диэлектриков наблюдается так называемая *ионная поляризация*, при которой ионы разных знаков, составляющие кристаллическую решетку, при наложении внешнего поля смещаются в противоположных направлениях, вследствие чего на гранях кристалла появляются связанные (нескомпенсированные) заряды.

Примером такого механизма может служить поляризация кристалла NaCl, в котором ионы Na^+ и Cl^- составляют две подрешетки, вложенные друг в друга.

В отсутствие внешнего поля каждая *элементарная ячейка* кристалла NaCl электронейтральна и не обладает дипольным моментом.

Во внешнем электрическом поле обе подрешетки смещаются в противоположных направлениях, т. е. кристалл поляризуется.

При поляризации *неоднородного диэлектрика* связанные заряды могут возникать не только на поверхностях, но и в объеме диэлектрика. В этом случае \vec{E}' электрическое поле связанных зарядов и полное поле \vec{E} могут иметь сложную структуру, зависящую от геометрии диэлектрика. Утверждение о том, что электрическое поле в диэлектрике в ϵ раз меньше по модулю по сравнению с внешним полем \vec{E}_0 , в котором создано внешнее поле.

строго справедливо только в случае *однородного диэлектрика*, заполняющего все пространство, в котором создано внешнее поле

В частности:

Если в однородном диэлектрике с диэлектрической проницаемостью ϵ находится точечный заряд Q , то напряженность поля создаваемого этим зарядом в некоторой точке, и потенциал φ в ϵ раз меньше, чем в вакууме:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{\epsilon r^3} \vec{r}, \quad \varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{\epsilon r}.$$