

# Диэлектрические свойства полимеров

Агаева Д.П.

Студентка группы МП-23

# Диэлектрические свойства полимеров



## Полимеры могут быть:

- проводниками ( $\rho = 10^3 - 10^{-3} \text{ Ом}\cdot\text{см}$ )
- полупроводниками ( $\rho = 10^3 - 10^8 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ )
- диэлектриками ( $\rho > 10^3 - 10^8 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ ).

- Количественной характеристикой ослабления воздействия внешнего поля служит **диэлектрическая проницаемость**, показывающая, во сколько раз сила взаимодействия двух зарядов в диэлектрике меньше, чем в вакууме.
- Вследствие поляризации в диэлектрике возникают **диэлектрические потери**, т.е. превращение электрической энергии в тепловую.
- При некотором высоком напряжении внешнего электрического поля диэлектрик теряет свои электроизоляционные свойства. Это напряжение получило название **напряжения пробоя**, а отношение напряжения пробоя к толщине диэлектрика — **электрической прочности**.

# Диэлектрические свойства полимеров

---



От чего зависят диэлектрические свойства?

Диэлектрические свойства в значительной степени определяются

□ наличием, характером и концентрацией полярных групп в макромолекулах.

Наличие у макромолекул галогенных, гидроксидных, карбоксидных и других полярных групп ухудшает диэлектрические свойства полимеров.

Хорошие диэлектриками:

- фторопластполи-этилен, полиизобутилен, полистирол.
- Молекулярной массой
- Физическим состоянием полимера
- Наличие воды в полимере

Полярные полимеры имеют более высокую электрическую прочность по сравнению с неполярными



Полимер	$E_p$ , кВ/мм	$\rho_v$ , Ом·см	$\epsilon'$ ( $10^3$ Гц)
Полиэтилен		$10^{17} - 10^{18}$	—
Полистирол		$10^{15}$	2,56
Политетрафторэтилен	—	$10^{17}$	2,10
Поливинилхлорид		$10^{11} - 10^{16}$	3,00 - 3,30
Полиметилметакрилат		—	2,84
Целлюлоза*	120 - 320	$10^{14}$	6,00
Полиизопрен	—	$3 \cdot 10^{16}$	—
Полиамиды	—	$10^{11} - 10^{15}$	—
Эпоксидные смолы, отвержденные	—	$10^{16}$	—
Поликарбонаты	—	$10^{15} - 10^{16}$	—
Полиимиды	—	$10^{15} - 10^{16}$	—
Полифениленоксид	—	$10^{17}$	—
Поли-2,5-дихлорстирол	—	$10^{17}$	—

# Диэлектрические свойства полимеров



## Применение полимерных диэлектриков

- **Полимерные диэлектрики** широко применяются в электротехнике и радиотехнике как материалы различных электротехнических изделий, защитных покрытий кабелей, проводов, изоляционных эмалей и лаков.
- Некоторые полимеры обладают **полупроводниковыми свойствами**. Обычно это полимеры с системой сопряженных двойных связей. Полупроводниковые свойства таких полимеров обусловлены наличием делокализованных  $\pi$ -электронов сопряженных двойных связей. К органическим полупроводникам относятся вещества, электрическая проводимость которых лежит в пределах  $10^{-10}$ — $10^{-4}$  Ом·см<sup>-1</sup>. Электрическая проводимость полупроводников возрастает с увеличением температуры и при воздействии света.
  - полиацетилен, поливинилены, полинитрилы, полиакрилонитрил

## Параметрами, характеризующими поведение полимерного диэлектрика в переменном электрическом поле



- диэлектрическая проницаемость
- тангенс угла диэлектрических потерь.

Чтобы получить более полную информацию о поведении полимерного диэлектрика в переменных электрических полях, исследуют зависимости диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь. Получив такие зависимости, можно охарактеризовать молекулярную подвижность в полимере, определить концентрацию и величину диполей в полимере, найти функцию распределения диполей по временам релаксации.

# 1. Диэлектрическая проницаемость

---



Диэлектрическая проницаемость  $\epsilon'$  характеризует увеличение емкости конденсатора  $C$  при внесении в него диэлектрика по сравнению с емкостью того же конденсатора, у которого в качестве диэлектрика вакуум ( $C_0$ ):

$$\epsilon' = C/C_0$$

Диэлектрическая проницаемость  $\epsilon'$  – относительная диэлектрическая проницаемость (относительно диэлектрической проницаемости вакуума). Абсолютной диэлектрической проницаемостью (в системе СИ) является величина  $\epsilon_0 \epsilon'$ , где  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная ( $8,854 \cdot 10^{-12}$  Ф/м), иногда называемая диэлектрической проницаемостью вакуума.

Диэлектрическая проницаемость диэлектриков является одним из основных параметров при разработке электрических конденсаторов. Использование материалов с высокой диэлектрической проницаемостью позволяют существенно снизить физические размеры конденсаторов. Параметр диэлектрической проницаемости учитывается при разработке печатных плат. Значение диэлектрической проницаемости вещества между слоями в сочетании с его толщиной влияет на величину естественной статической ёмкости слоев питания, а также существенно влияет на волновое сопротивление проводников на плате.

## 2. Диэлектрические потери



Диэлектрические потери характеризуют потери энергии при прохождении электрического тока через конденсатор с диэлектриком.

Таким образом, диэлектрические потери пропорциональны тангенсу угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$ , который равен

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_a}{I_p}$$

Тангенс угла диэлектрических потерь рассчитывают по формуле:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}$$

Для всех полимеров установлено два типа диэлектрических потерь. Первый тип диэлектрических потерь, называемых дипольно-сегментальными, связан с ориентационными поворотами полярных звеньев макромолекулы в условиях, когда возможно сегментальное движение, т.е. в высокоэластичеком состоянии (выше  $T_{ст}$  полимера). Второй тип - дипольно-групповые потери — обусловлены ориентацией самих полярных групп. Этот вид потерь может проявляться и ниже  $T_{ст}$  полимера, т. е. в стеклообразном состоянии.



# Влияние строения и полярности на диэлектрические потери



Чем сильнее внутри- и межмолекулярные взаимодействия, тем менее подвижны звенья, тем выше температура, при которой наблюдается максимум  $\text{tg}$ , и тем больше время релаксации.

С увеличением длины алкильного радикала  $\text{tg}$  дипольно-сегментальных потерь смещается в сторону более низких температур.

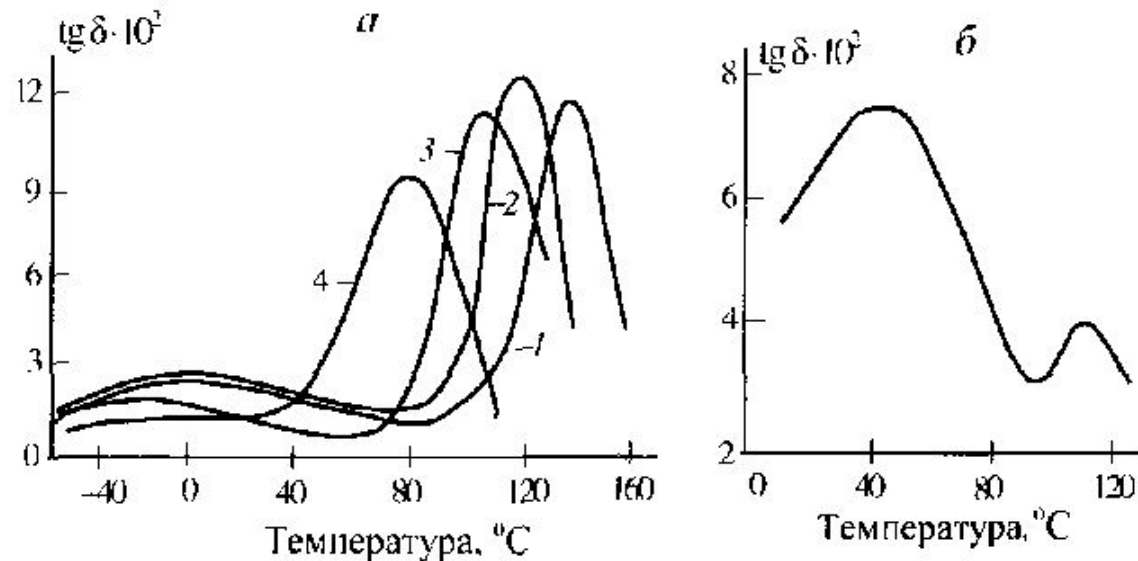


Рис. Зависимость  $\text{tg} \delta$  от температуры для некоторых ацетатов поливинилового спирта (а) и ПММА (б)

# Влияние стереорегулярности на диэлектрические потери



Наличие в макромолекуле участков синдиотактического или изотактического строения, их протяженность и количественное соотношение существенно влияют на подвижность сегментов и групп, а следовательно, и на диэлектрические характеристики полимера.

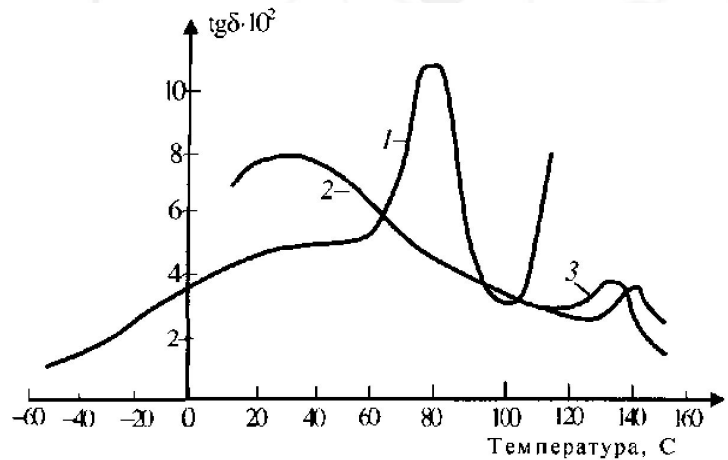


Рис. Зависимость  $\text{tg}\delta$  стереорегулярных образцов ПММА при 20 Гц

- 1 – изотактический;
- 2 – синдиотактический;
- 3 – атактический.

# Влияние кристаллизации на диэлектрические потери

---



Существенное значение имеют не только степени кристалличности полимера, но и размер, дефектность, тип кристаллических образований. При увеличении степени кристалличности полимера снижается электропроводность, возрастает пробивная напряженность. Если степень кристалличности полимера высока, дипольно-сегментальных потерь, связанных с движением сегментов макромолекул в аморфных частях, может и не быть (например, в полиэтилене). Возможно появление релаксационной области дипольных потерь, обусловленных движением цепей внутри кристаллических образований, например внутри ламелей.

# Влияние пластификаторов на диэлектрические потери

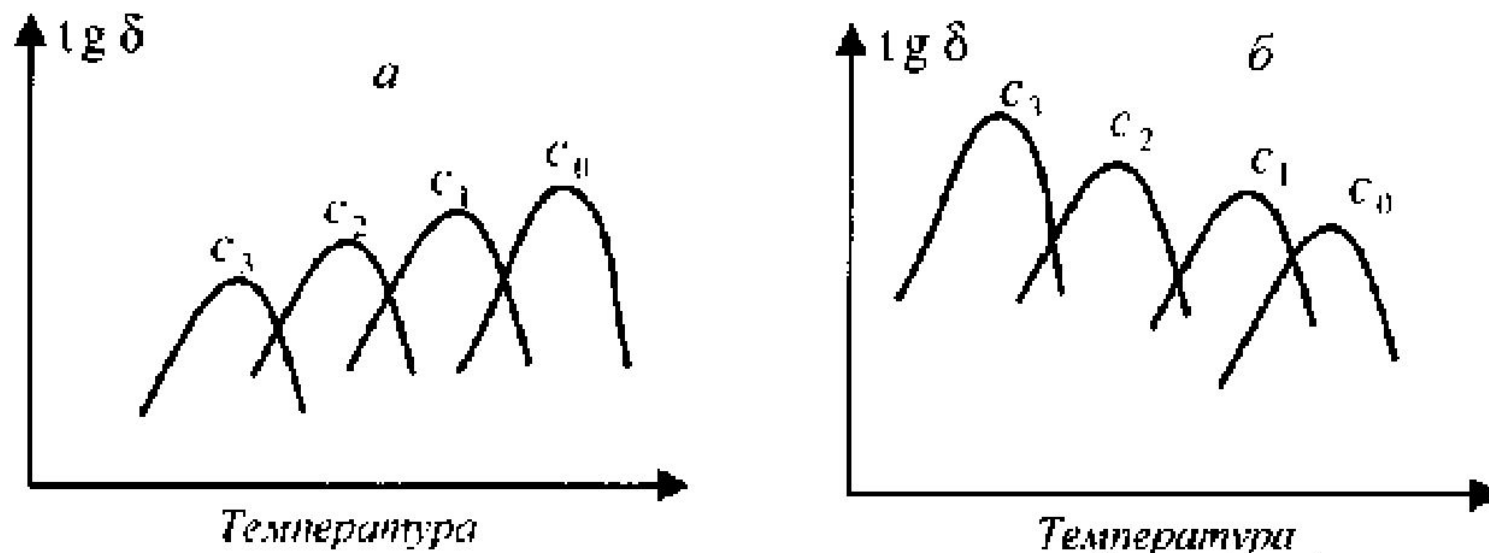
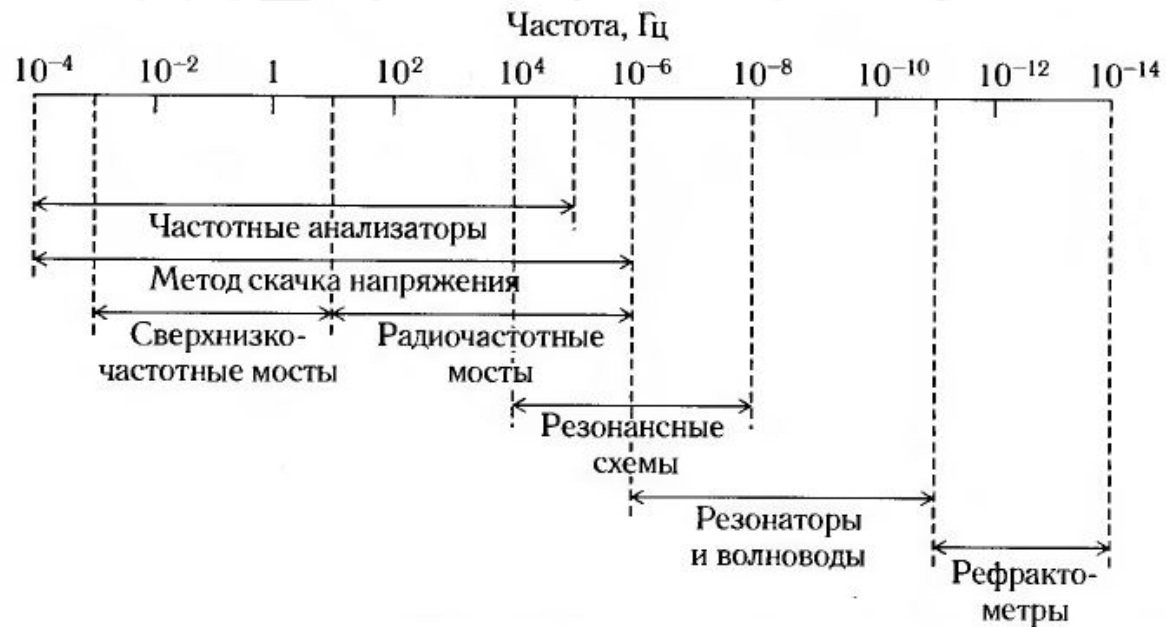


Рис. 16.10. Влияние неполярного (а) и полярного (б) пластификаторов на  $\lg \delta$  дипольно-сегментальных потерь при внутримолекулярной пластификации ( $C_3 > C_2 > C_1 > C_0$ ).

# Методы измерения



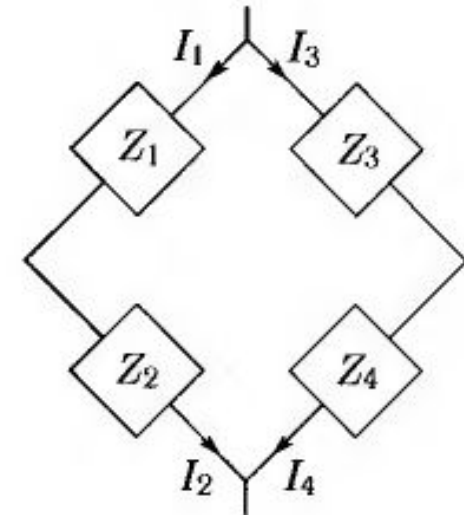
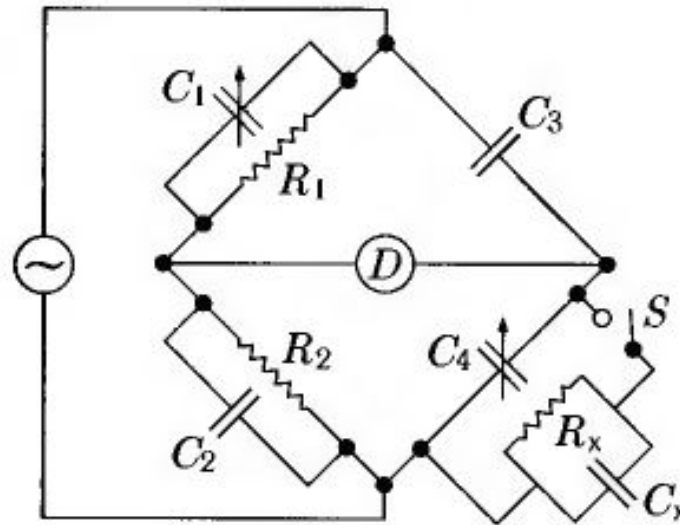
Диэлектрическая проницаемость и потери полимеров зачастую исследованы в диапазоне от  $10^{-4}$  Гц до оптических частот. В зависимости от частоты применяют различные методы исследования.



# Мостовые методы

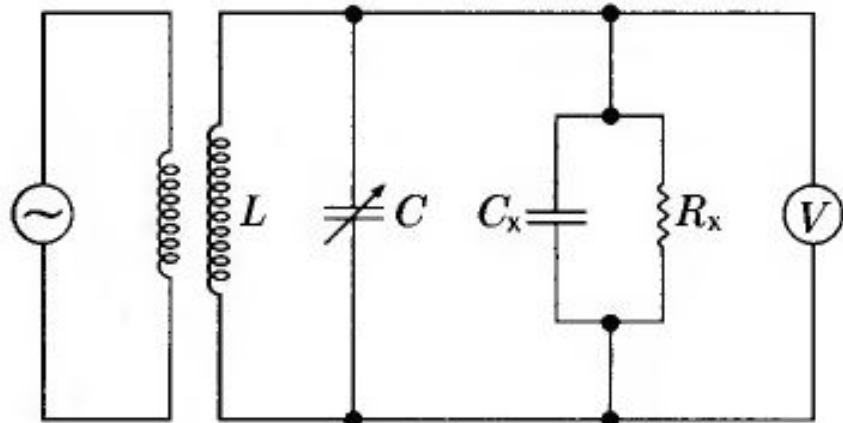


Для измерения эквивалентных емкости и сопротивления образца наиболее широко применяется схема типа моста Уитстона, в которой неизвестные величины сравниваются с эталонными компонентами. Одной из таких схем является универсальный мост Шеринга, позволяющий с высокой точностью измерять свойства диэлектриков в диапазоне частот от 10 до  $10^5$  Гц (область звуковых частот). Схема такого моста показана на рис





В диапазоне радиочастот наиболее чувствительный метод исследования материалов с низкими или средними потерями состоит в том, чтобы сделать его частью резонансного контура. Метод Hartshorn и Ward (1936), схема которого приведена на рис





По мере того как частота электромагнитного поля увеличивается до  $10^9$  Гц, длина волны становится сравнимой с размерами образца. Поле внутри образца изменяется от точки к точке, и диэлектрический отклик необходимо анализировать с помощью уравнений Максвелла для электромагнитного поля. Для целей измерения удобно локализовать волну в коаксиальном волноводе, представляющем собой центральный проводник, заключенный в полую проводящую трубку или, при очень высоких частотах, простой волновод прямоугольного или круглого сечения. Диапазон длин волн, в котором может использоваться этот метод, от 1 до 300 мм, обычно называют СВЧ-(сверхвысокочастотным) диапазоном.



# Заключение

---



Таким образом, диэлектрическая проницаемость и диэлектрические потери являются важными характеристиками полимерных материалов, определяющими область применения полимера. Существуют различные методы для определения диэлектрических свойств полимеров. В зависимости от диапазона частоты измерения применяют разные методы: мостовые, резонансные, волновые. Исследование свойств новых материалов следует начинать с низких частот с помощью мостовых методов, которые позволяют производить измерения  $\epsilon$  и  $\text{tg}\delta$  с любым наперед заданным шагом по частоте и обнаруживать наличие максимумов или минимумов на кривых  $\epsilon$  и  $\text{tg}\delta$ , если таковые имеются.



**Спасибо за внимание**