

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

ИЗУЧЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Методические указания
к лабораторной работе

САМАРА
Издательство СГАУ
2006

Составитель *А.В. Архипов*

УДК 537.226.(075)

Изучение поляризации диэлектриков: метод. указания к лабораторной работе / сост. *А.В. Архипов*. -Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2006. -12с.

Дано понятие поляризации, виды и способы определения поляризации. Приведены примеры диэлектриков разных классов, температурная зависимость диэлектрической проницаемости.

Рекомендуются для специальности 210201 при выполнении лабораторных работ по курсу "Материаловедение и материалы электронных средств". Подготовлены на кафедре КиПРЭС.

Печатаются по решению Редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета

Рецензент Г. П. Ш о и н

Цель работы: ознакомление с основными видами поляризации материалов, используемых в конденсаторах.

Задания:

1. Для образцов конденсаторов экспериментально определить зависимость диэлектрической проницаемости от температуры на фиксированной радиочастоте.

2. На основе существующих моделей поляризации диэлектриков определить вид поляризации, дать теоретическую интерпретацию.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Классификация диэлектриков

Как показывает опыт, емкость вакуумного конденсатора C_0 возрастает в ϵ раз при заполнении объема между обкладками электродов диэлектриком:

$$C = \epsilon C_0. \quad (1)$$

Величина ϵ получила название *диэлектрической проницаемости*.

Внесение диэлектрика приводит к ослаблению начального электрического поля в ϵ раз, что является следствием реакции молекул, образующих диэлектрик, на внешнее электрическое поле E_0 . Действительно, при внесении диэлектрика в электрическое поле происходит нарушение симметрии молекул из-за смещения зарядов, образующих диэлектрик (рис. 1).

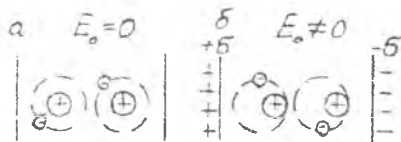


Рис. 1. Поляризация молекул (атомов) диэлектриков класса А:
а-в отсутствие поля; б-в электрическом поле

Необходимо различать два класса диэлектриков:

А - диэлектрики, молекулы которых построены из электрических зарядов столь симметрично, что в отсутствие электрического поля молекулярный дипольный момент $\bar{P} = 0$;

Б - диэлектрики, молекулы которых в отсутствие внешнего электрического поля обладают некоторыми дипольными моментами $\bar{P} \neq 0$.

К классу А относятся газы, ряд жидких и твердых диэлектриков, таких как парафин, полистирол, фторопласт, алмаз. Диэлектрики этого класса называются *неполярными* и, как правило, обладают малой величиной ϵ .

К классу Б относятся подавляющее большинство органических диэлектриков и ряд неорганических жидкостей, например вода. Диэлектрики этого класса получили название *полярные*, они обладают достаточно высокими значениями ϵ .

В основу определения количественной меры поляризации диэлектрика положен вектор дипольного момента молекул (атомов) вещества

$$\bar{P} = q\bar{l} , \quad (2)$$

где q - заряд атома; \bar{l} - вектор, направленный от отрицательного заряда молекулы к положительному и численно равный расстоянию между зарядами.

Между вектором дипольного момента \bar{P} и диэлектрической проницаемостью ϵ существует однозначная зависимость

$$\epsilon = 1 + 4\pi N\bar{P} / \bar{E} . \quad (3)$$

Диэлектрики класса А

Во внешнем электрическом поле поляризация молекул диэлектрика класса А происходит за счет нарушения сферической симметрии в расположении зарядов, образующих молекулу. Дипольный момент, приобретаемый молекулой, пропорционален напряженности электрического поля:

$$\bar{P} = \alpha \bar{E} , \quad (4)$$

где α - поляризуемость молекулы.

Схематически процесс образования диполей представлен на рис. 1.

Очевидно, что величина смещения \bar{l} будет обратно пропорциональна жесткости упругой связи k между зарядами молекулы и прямо пропорциональна силе электростатического растягивания зарядов во внешнем поле $q\bar{E}$. Таким образом, можно заключить, что

$$\bar{l} = q\bar{E} / k, \quad (5)$$

а дипольный момент и поляризуемость единичной молекулы имеют вид:

$$\bar{P} = \bar{l}q = q^2\bar{E} / k, \quad (6)$$

$$\alpha_A = q^2 / k. \quad (7)$$

Выражения (3), (6), (7) позволяют получить аналитическое выражение для диэлектрической проницаемости:

$$\varepsilon_A = 1 + 4\pi Nq^2 / k. \quad (8)$$

В выражении (8) параметрами, зависящими от температуры, являются N и k . Однако их температурные изменения проявляются весьма незначительно вплоть до очень высоких температур (например, у твердых диэлектриков - до температуры плавления). Поэтому диэлектрическая проницаемость диэлектриков класса А практически не зависит от температуры окружающей среды.

Диэлектрики класса Б

Молекулы диэлектриков класса Б обладают дипольным моментом $\bar{P} \neq 0$ даже в отсутствие внешнего электрического поля, что обусловлено асимметричным строением молекул. В отсутствие внешнего электрического поля все молекулярные диполи \bar{P}_0 ориентированы хаотично. Поляризация проявляется в том, что электростатические силы стремятся повернуть начальные молекулярные диполи \bar{P}_0 в направлении поля. Пропорциональность поляризации напряженности электрического поля вытекает

из того обстоятельства, что хаотическое тепловое движение молекул (в частности, их колебания, собственные вращения и взаимные столкновения) приводит к нарушению порядка в ориентации диполей, т. е. к деполяризации диэлектрика. Таким образом, фактическая величина поляризации определяется соотношением между упорядочивающим воздействием электрического поля и противоположным воздействием теплового движения молекул. В этой связи очевидно, что величина поляризации диэлектриков класса Б будет монотонно уменьшаться с ростом температуры.

Статистически средняя величина \bar{P}_x диэлектриков класса Б может быть определена из выражения

$$\bar{P}_x = \frac{\bar{P}_0^2}{3kt} \bar{E}, \quad (9)$$

и следовательно, $\alpha_B = \bar{P}_0^2 / 3kt$. С учетом выражений (3) и (9) диэлектрическая проницаемость может быть представлена в виде

$$\epsilon_B = 1 + 4\pi N \left(\frac{\bar{P}_0^2}{3kt} \right). \quad (10)$$

Согласно выражению (10) диэлектрическая проницаемость полярных диэлектриков должна уменьшаться по гиперболическому закону с увеличением температуры.

Представляется очевидным, что если в диэлектрике имеют место оба механизма поляризации (А и Б), то зависимость диэлектрической проницаемости от параметров молекулярной структуры диэлектрика определяется выражением:

$$\epsilon = 1 + 4\pi N (\alpha_A + \alpha_B), \quad (11)$$

а графическое представление зависимости $\epsilon = f(T)$ выглядит, как показано на рис. 2, кривая а.

Рассмотренные аналитические зависимости находятся в хорошем количественном соответствии с экспериментальными данными для диэлектриков, выполненных на основе газов, полярных и разбавленных полярных жидкостей.

Для полярных, жидких, твердых диэлектриков наблюдается только качественное соответствие, а количественные оценки значительно расходятся с экспериментальными данными. Причина

расхождения заключается в том, что во всех рассмотренных выражениях в качестве напряженности электрического поля, воздействующего на элементарный молекулярный диполь, принималось усредненное макроскопическое поле в диэлектрике. Однако, ввиду чрезвычайно сильного взаимного электрического влияния соседних диполей, микроскопическое (локальное) электрическое поле, непосредственно воздействующее на молекулярный диполь, может значительно отличаться от макроскопического.

Следует также учитывать тот факт, что часто рост температуры приводит к изменению фазового состояния вещества диэлектрика (для большинства органических диэлектриков, например, в температурном интервале 60... 110 °С наблюдается переход из твердого состояния в высокоэластичное), что сопровождается резким уменьшением межмолекулярных связей, и ход зависимости $\epsilon=f(T)$ приобретает следующий вид, рис. 2, кривая б.

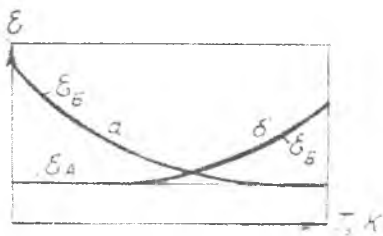


Рис. 2. Температурная зависимость диэлектрической проницаемости

Виды поляризации диэлектриков

При смещении электронов относительно положительно заряженного ядра возникает поляризация, которую называют электронной. В полярных диэлектриках, обладающих ионной или дипольной структурой, под действием электрического поля возникает ионная, или дипольная поляризация. Величина ϵ у таких диэлектриков не превышает 100. Однако у некоторых диэлектриков при определенных температурах величина ϵ может иметь значение 10^5 . Это результат влияния спонтанной поляризации, которая существует у сегнетоэлектриков. Существуют также

объемная поляризация, связанная с накоплением в локальных зонах диэлектрика свободных зарядов проводимости, и остаточная поляризация у аморфных диэлектриков.

УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 3.

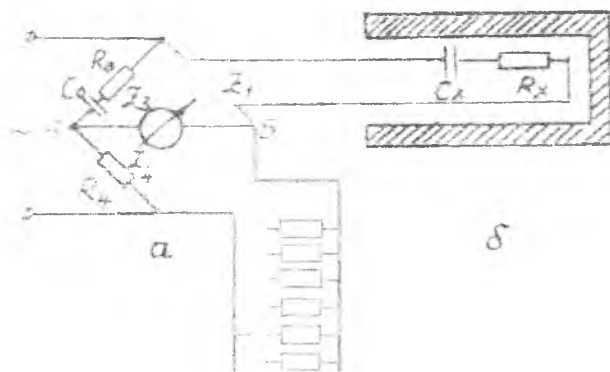


Рис. 3. Принципиальная схема установки для определения температурной зависимости диэлектрической проницаемости на низких частотах: *a*-измеритель емкости; *б*-термостат с образцом диэлектрика

Она состоит из термостата, в котором размещаются экспериментальные образцы диэлектриков и измерительного моста. Первое плечо моста образуется исследуемым конденсатором, который можно представить эквивалентной последовательной схемой замещения: C_x, R_x . Третье плечо состоит из образцового конденсатора C_0 и магазина сопротивлений R_0 . Второе и четвертое плечи моста образованы магазинами сопротивлений R_2 и R_4 . В одну диагональ моста включен источник питания, в другую индикатор нуля (микроамперметр). Если для полных сопротивлений всех плеч моста выполняется условие

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3, \quad (12)$$

то разность потенциалов между точками А и Б равна нулю и отклонение стрелки индикатора нуля будет минимальным. Согласно выражению (12), зная величины Z_2, Z_3, Z_4 , можно определить величину Z_1 , а следовательно, и емкость конденсатора.

Для уравнивания моста изменением емкости C_0 добиваются минимального показания индикатора нуля. Далее, оставляя неизменным C_0 , изменяют величину R_0 с целью дальнейшего уменьшения показания индикатора нуля. Затем, не изменяя положения R_0 , снова производят подстройку C_0 . Операции последовательной подстройки C_0 и R_0 производятся 3-4 раза. Все промышленные измерительные мосты прокалиброваны таким образом, что непосредственно свидетельствует о величине емкости образца.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получить у преподавателя экспериментальные образцы.
2. Ознакомиться с экспериментальной установкой.
3. Измерить емкость образцов при различных температурах. Результаты измерения внести в табл. 1. форма которой выбирается произвольной.
4. Вычислить значение ε при различных температурах по формуле

$$C_x = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot S/d, \quad (13)$$

где $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

S - площадь образца, м²;

d - толщина образца, м;

C_x - емкость образца, Ф.

Полученные значения ε внести в табл. 1.

5. Построить график зависимости $\varepsilon = f(T)$.

6. Для нескольких конкретных температур методом графического дифференцирования определить температурный коэффициент изменения ε по формуле

$$TK_{\varepsilon T} = \frac{1}{\varepsilon T} \cdot \frac{\Delta \varepsilon}{\Delta T}, \text{ град}^{-1}. \quad (14)$$

7. По полученным графикам $\varepsilon=f(T)$ определить вид поляризации диэлектриков.
8. Сформулировать основные выводы по работе.

ВОПРОСЫ К КОЛЛОКВИУМУ

1. Что представляет собой явление поляризации?
2. Как отличить поляризацию диэлектриков классов А и Б?
3. Как установить, что диэлектрик конденсатора - сегнетоэлектрик?
4. Дайте определение ε .
5. Какова сущность метода исследования поляризации диэлектриков?

Библиографический список

1. *Пасынков В.В.* Материалы электронной техники. М.: Высш. шк., 1986. 306 с.
2. *Казарновский Д.М.* и др. Испытания электроизоляционных материалов. М.: Энергия, 1972. 186 с.

Учебное издание

ИЗУЧЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ ДИЭЛЕКТРИКОВ

*Методические указания
к лабораторной работе*

Составитель *Архипов Алексей Владимирович*

Редактор Л. Я. Чегодаева
Компьютерная верстка О. А. Ананьев

Подписано в печать 13.11.2006 г. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл.печ.л. 0,70. Усл.кр.-отг. 0,82. Уч. – изд.л. 0,75.
Тираж 150 экз. Заказ 134 Арт. С-61/2006.

Самарский государственный аэрокосмический
университет. 443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во Самарского государственного аэрокосмического
университета. 443086 Самара, Московское шоссе, 34.