

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИ-
КИ» (ТУСУР)**

Кафедра конструирования узлов и деталей
радиоэлектронной аппаратуры

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ТВЕРДЫХ
ДИЭЛЕКТРИКОВ**

Методические указания к лабораторной работе
по дисциплинам «Материаловедение и технология материалов»,
«Материалы и компоненты электронных средств»,
«Радиоматериалы и радиокомпоненты»

Разработчик:
доцент кафедры КУДР
М.М. Славникова

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение	3
2. Общие сведения	3
2.1.Механизм ионной проводимости твердых диэлектриков	3
2.2.Температурная зависимость электрической проводимости	6
2.3.Саморазряд конденсатора	8
3. Описание установки	9
4. Порядок работы	10
5. Задание	11
6. Вопросы для самопроверки	12
7. Рекомендуемая литература	12
Приложение Индивидуальные задания	13

1 ВВЕДЕНИЕ

Цель работы - экспериментальное исследование зависимости электрической проводимости твердых диэлектриков от температуры и расчет некоторых характеристик диэлектриков и конденсаторов.

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Электрическая проводимость твердых диэлектриков как величине, количественно характеризуют электропроводность, зависит от их химического состава, структуры и условий, в которых проводятся измерения (температуры, напряженности электрического поля и др.). Электропроводность диэлектриков может быть обусловлена перемещением ионов и электронов. В некоторых диэлектриках, например, в двуокиси титана (TiO_2), преобладает электронный тип проводимости. Но у большинства используемых твердых диэлектриков в слабых электрических полях проводимость обусловлена движением ионов. Участие электронов в электропроводности этих диэлектриков наблюдается только в сильных электрических полях.

Удельная электрическая проводимость γ диэлектрика

$$\gamma = q \cdot n \cdot \mu \quad (2.1)$$

где q - заряд иона;

n - концентрация ионов, участвующих в электропроводности, в единице объема диэлектрика;

μ - дрейфовая подвижность этих ионов.

Концентрация n и подвижность μ ионов зависят от температуры. Следовательно, удельная электрическая проводимость γ диэлектрика является функцией температуры.

2.1. Механизм ионной проводимости твердых диэлектриков

В твердом теле ион взаимодействует с окружающими его заряженными частицами. Энергия этого взаимодействия W зависит от положения иона (от его координаты X) относительно окружающих частиц от зарядов ионов, т.е. от химического состава и структуры вещества (рис. 2.1). Каждый ион стремится занять положение, которому соответствует минимум потенциальной энергии.

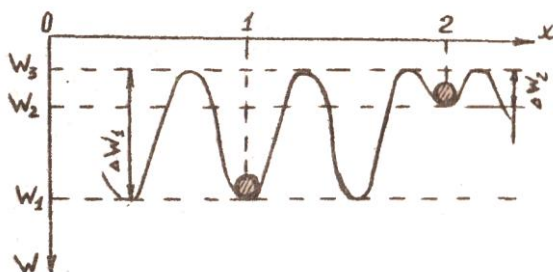


Рис. 2.1. Зависимость потенциальной энергии иона твердого диэлектрика от координаты в электрическом поле окружающих заряженных частиц

Положение 1 на рис. 2.1 соответствует иону, который находится в узле кристаллической решетки. Потенциальная энергия его минимальна и равна W_1 . Для выхода из потенциальной ямы ион должен преодолеть потенциальный барьер высотой $W_3 - W_1 = \Delta W_1$. Энергия ΔW_1 называется энергией активации собственных ионов диэлектрика.

В реальных диэлектриках практически всегда имеются ионы примеси. Они сравнительно слабо закреплены (положение 2 на рис. 2.1)

Для их выхода из потенциальной ямы необходима энергия активации ΔW_2 значительно меньшая, чем ΔW_1 (см. рис. 2.1).

Аналогично ведут себя ионы основного вещества, располагающиеся вблизи дефектов кристаллической решетки и в междоузлиях.

Движение ионов в твердом теле рассматривают как их тепловое освобождение из потенциальной ямы и переход в другую потенциальную яму. В отсутствие внешнего электрического поля переходы ионов за счет тепловой энергии по всем направлениям равновероятны. Так, например, для перехода иона из положения 1 в направлениях $+x$ и $-x$ нужно преодолеть барьер одной и той же высоты ΔW_1 , а для переходе примесного иона – барьер ΔW_2 . Хаотичное движение ионов не приводит к появлению электрического тока.

При воздействии на диэлектрик внешнего электрического поля, каждый ион обладает потенциальной энергией в этом поле, равной $\gamma \cdot q$, где q – заряд иона, а γ – потенциал электрического поля в точке расположения иона. Если поле в диэлектрике равномерное, то потенциал изменяется с координатой по линейному закону и зависимость от координаты имеет вид, представленный на рис. 2.2

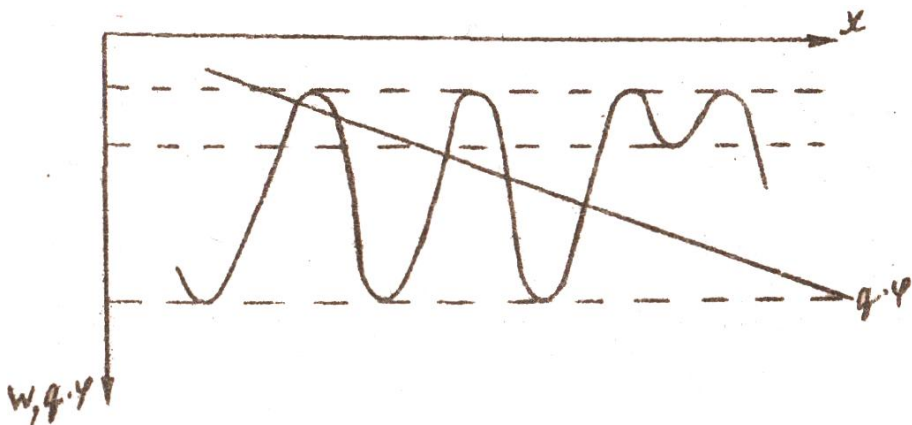
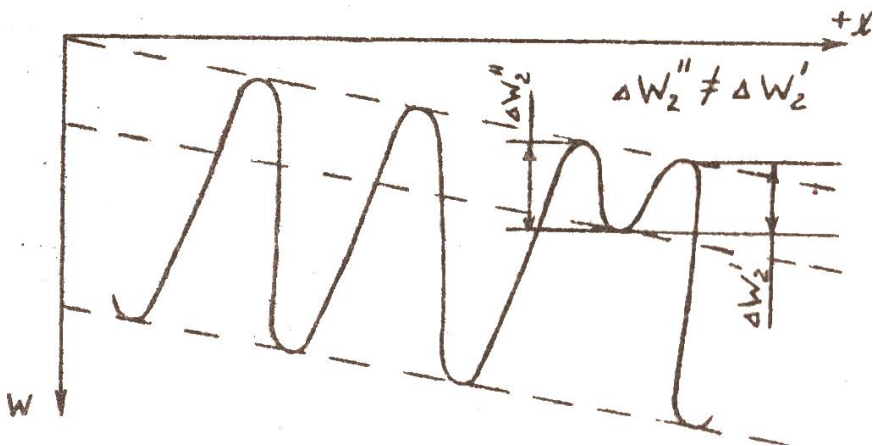


Рис. 2.2. Зависимость потенциальной энергии иона от координаты во внешнем поле $\gamma \cdot q$ и в электрическом поле окружающих заряженных частиц W_1

Просуммировав обе составляющие потенциальной энергии кона, получим для потенциальной энергии иона график, представленный на рис. 2.3

Высота потенциальных барьеров при перемещении ионов в направлениях $+x$ и $-x$ теперь не одинаковая $\Delta W_2'' \neq \Delta W_2'$. Следовательно, возрастает вероятность перемещения положительных ионов в направлении вектора напряженности электрического поля E , а отрицательных ионов - в противоположном направлении, и в диэлектрике появляется электрический ток.



2.3. Зависимость потенциальной энергии иона от координаты в твердом теле при воздействии равномерного электрического поля

2.2. Температурная зависимость электрической проводимости

С повышением температуры растет вероятность освобождения иона из потенциальной ямы и его перемещения в твердом диэлектрике. Вследствие этого, с повышением температуры увеличивается электропроводность диэлектриков.

Если в электрической проводимости принимают участие ионы одного вида, то математически зависимость удельной электрической проводимости диэлектрика от температуры описывается выражением

$$\gamma = A \cdot e^{-\frac{\Delta W}{kT}} \quad (2.2)$$

где A - коэффициент, не зависящий от температуры;

ΔW - энергия активации ионов;

k - постоянная Большана;

T - абсолютная температура.

График зависимости удельной электрической проводимости от температуры представлен на рис. 2.4. Практически удобнее пользоваться графиком, построенном в полулогарифмической системе координат (рис. 2-5).

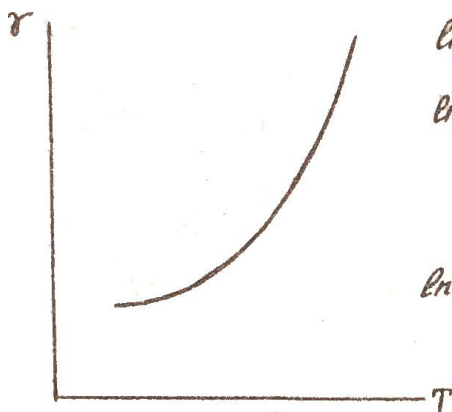


Рис. 2.4. Зависимость электрической проводимости от температуры

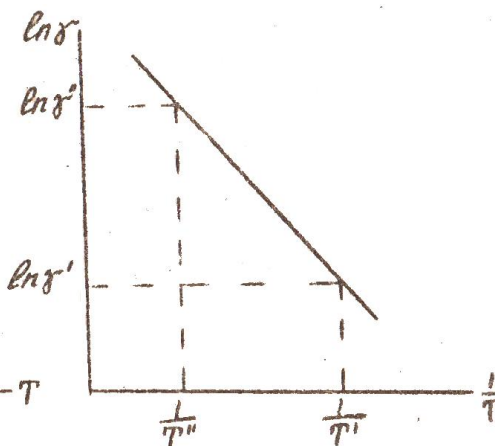


Рис. 2.5. Зависимость электрической проводимости от температуры в полулогарифмической системе координат

Прологарифмируем формулу 2.2

$$\ln \gamma = \ln A - \frac{\Delta W}{k} \cdot \frac{1}{T}$$

В системе координат $\ln \gamma = f(1/T)$ график представляет собой прямую линию (см.рис. 2.5). Тангенс угла наклона прямой относительно оси X равен $\Delta W/k$. Следовательно, с помощью этого графика нетрудно рассчитать энергию активации ионов, участвующих в электропроводности:

$$\Delta W = k \cdot \frac{\ln \gamma'' - \ln \gamma'}{\frac{1}{T'} - \frac{1}{T''}}$$

где $k = 8,6 \cdot 10^{-5}$ эВ/град - постоянная Больцмана;

ΔW - энергия активации ионов, эВ;

γ' и γ'' - удельная электрическая проводимость при температурах T и T'' соответственно;

T и T'' - абсолютная температура.

Если в исследуемом интервале температур в электропроводности участвуют ионы двух видов, то зависимость удельной электрической проводимости от температуры математически описывается формулой вида:

$$\gamma = A_1 \cdot e^{-\frac{\Delta W_1}{kT}} + A_2 \cdot e^{-\frac{\Delta W_2}{kT}}$$

где A_1 , и A_2 - коэффициенты, относящиеся к ионам первого и второго вида соответственно;

ΔW_1 и ΔW_2 - энергии активации этих ионов. ,

Если $\Delta W_1 \neq \Delta W_2$ то в системе координат $\ln \gamma = f(1/T)$

график представляет собой ломаную линию. С его помощью можно рассчитать энергию активации ионов первого и второго вида.

2.3. Саморазряд конденсаторе

В ряде радиотехнических устройств используется явление изменения заряда конденсатора во времени в результате саморазряда.

Если конденсатор зарядить при постоянном напряжении до напряжения U_0 , а затем отключить от источника и оставить с разомкнутыми электродами, то заряд конденсатора со временем будет уменьшаться за счет электропроводности диэлектрика. Напряжение $U(t)$ обкладках конденсатора будет со временем изменяться по закону:

$$U(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

где τ - постоянная времени саморазряда конденсатора, с.

За отрезок времени $t = \tau$ напряжение на конденсаторе с разомкнутыми электродами уменьшается в 6 раз.

Можно показать, что τ не зависит от геометрических размеров и формы конденсатора, а определяется исключительно свойствами диэлектрика.

$$\tau = R \cdot C = \rho \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon$$

где R - объемное сопротивление ИЗОЛЯЦИИ конденсатора, Ом;

C - емкость конденсатора, Ф;

ρ - удельное объемное сопротивление диэлектрика, Ом·м;

$\epsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12}$ Ф·м⁻¹ - электрическая постоянная;

ϵ - диэлектрическая проницаемость.

3. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

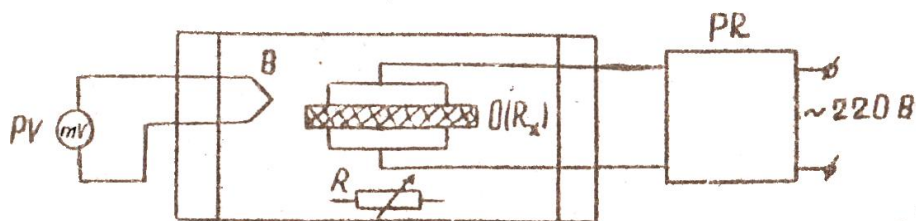


Рис. 3.1.Схема установки

Образец O помещается в муфельную печь. Скорость нагрева образца регулируется реостатом R . Температура образца измеряется с помощью термопары B и милливольтметра PV , а сопротивление - тераомметром PR (рис. 3.1).

Принцип работы тераомметра заключается в следующем (рис.3.2). Измеряемое сопротивление R_x присоединяется к известному калиброванному сопротивлению $R_э$. Эти последовательно соединенные сопротивления R_x и $R_э$ подключены к специальному стабилизированному источнику постоянного напряжения G ($U = 105$ В) и образует делитель напряжения. Падение напряжения U_b на сопротивлении $R_э$ измеряется при помощи усилителя постоянного тока A с большим входным сопротивлением изоляции $R_{из}$ ($R_{из} \gg R_э$) и стрелочного прибора P .

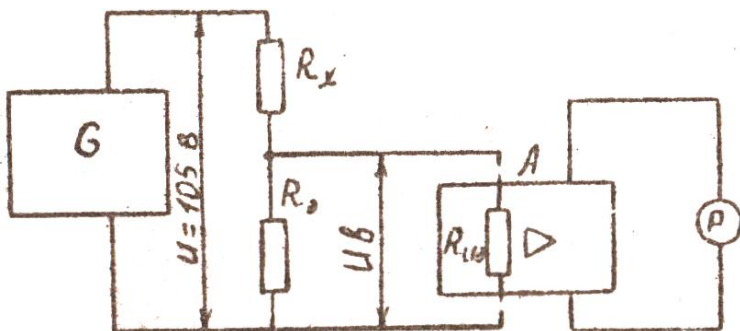


Рис. 3.2. Схема установки

Падение напряжения можно рассчитать по формуле:

$$U_B = \frac{U}{R_x + R_2} \cdot R_2$$

Отсюда

$$R_x = \frac{U \cdot R_2}{U_B} - R_2$$

Напряжение U и сопротивление R_2 постоянны, следовательно, R_x обратно пропорционально U_B и шкалу микроамперметра P можно проградуировать в величинах сопротивления.

Для расширения пределов измерения в тераомметре имеется набор из 9 сопротивлений R_2 подключенных к многопозиционному переключателю.

4. ПОРЯДОК РАБОТЫ

4.1. Включить тераомметр в сеть и дать прогреться в течение 30 минут.

4.2. Откалибровать тераомметр. Поставить переключатель в положение "КΩ" • (Положение КАЛ служит для калибровки на пределы тОм x I и тОм x 10, которые при выполнении лабораторной работы не используются).

При расчете энергии активации рекомендуется для уменьшения погрешности использовать значения $\ln \gamma$ наиболее удаленные по температурной шкале друг от друга, но лежащие на одном отрезке прямой.

5.5. Выполнить индивидуальное задание по указанию преподавателя. Записи, связанные с его выполнением, представить в отчете после выводов (см. приложение).

6. ВОПРОСУ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

6.1. Чем обусловлена электропроводность твёрдых диэлектриков? Объясните механизм электропроводности.

6.2. Какова температурная зависимость электропроводности твердых диэлектриков?

6.3. Что такое энергия активации?

6.4 В каком соотношении находятся энергия активации собственных и примесных ионов?

6.5. Докажите, что при низких температурах проводимость примесная, а не собственная.

6.6. физический смысл явления саморазряда конденсатора?

6.7. Расскажите принцип действия тереомметра.

7. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

7.1. Петров К.С. Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника: Учебное пособие для вузов. - СПб.: Питер, 2006.- 521 с.

7.2. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники: Учебник.;4-е изд., стер. СПб.: Издательство «Лань», 2004.- 368 с.

7.3. Электрорадиоматериалы /Под ред. Б.М. Тареева. -М.; Высшая школа, 1978.- 336 с.