

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

ДИЭЛЕКТРИКИ В ИЗМЕРИТЕЛЬНО- ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

Утверждено
редакционно-издательским
советом института
в качестве
методических указаний
к лабораторным работам
1, 4, 14, 15

Составитель канд. техн. наук, доцент В. Н. Буров

УДК 621.315.6

Диэлектрики в измерительно-преобразовательной технике:
Метод. указ. к лаб. работам /Куйбышев. авиац. ин-т; Сост.
В. Н. Буров. Куйбышев, 1989. 28 с.

Данные указания составлены по курсу «Материалы электронной техники» и «Материалы конструкций и технология деталей РЭА».

Работа 1 предусматривает изучение одного из основных явлений в диэлектриках при воздействии на них внешней среды поляризации. Работа 4 посвящена изучению свойств сегнетоэлектриков в температурных полях. В работе 14 исследуются свойства стекловолоконистых материалов, используемых в качестве измерительных преобразователей и линий связи. В работе 15 проводится анализ свойств диэлектрических материалов, которые в будущем могли бы успешно использоваться в качестве электродов аккумуляторов.

Предназначены для студентов специальности 23.03 дневной и вечерней форм обучения.

ВВЕДЕНИЕ

Нередко понятие *диэлектрический материал* или *диэлектрик* означает материал, который практически не содержит свободных носителей заряда, а потому не способен проводить электрический ток, т. е. диэлектрик понимают как изоляционный материал. Действительно, существует большое разнообразие электроизоляционных материалов, ширина запрещенной зоны которых больше 3 эВ, а удельное электрическое сопротивление при комнатной температуре больше 10^{12} Ом·м. Из таких электроизоляционных материалов изготавливают электрическую изоляцию изделий электронной техники, изоляторы. Очень часто такие материалы используются как конструкционные материалы. Однако в последние десятилетия развитие диэлектриков настолько шагнуло вперед, что они стали способны выполнять ряд новых функций и конкурировать с полупроводниками, магнитными материалами и проводниками, даже обладающими сверхпроводимостью. Большинство новых возможностей применения основано на особых свойствах нелинейных диэлектриков, среди которых весьма важными являются сегнетоэлектрики. Они делают возможным создание диэлектрических усилителей, умножителей частоты, запоминающих устройств, датчиков, преобразователей энергии, линий связи и т. д. Эти диэлектрики относятся к основным функциональным материалам микро- и оптоэлектроники, и их «золотой век» еще впереди.

Лабораторная работа I

ИЗУЧЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Цель работы: познакомиться 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 его 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. I).

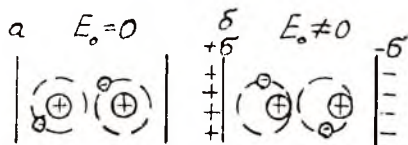


Рис. I. Поляризация молекул (атомов) диэлектриков класса А: а — в отсутствие поля; б — в электрическом поле

Необходимо различать два класса диэлектриков:

А — диэлектрики, молеку-

лы которых построены из электрических зарядов — столь симметрично, что в отсутствие электрического поля молекулярный дипольный момент $\vec{p} = 0$;

Б — диэлектрики, молекулы которых в отсутствие внешнего электрического поля обладают некоторыми дипольными моментами $\vec{p} \neq 0$.

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 относится подавляющее большинство органических диэлектриков и ряд неорганических жидкостей (например, вода). Диэлектрики этого класса получили название полярных, они обладают достаточно высокими значениями ϵ .

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

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

где q — заряд атома; l — вектор, направленный от отрицательного заряда молекулы к положительному и численно равный расстоянию между зарядами.

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

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

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:

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

где α — поляризуемость молекулы. Схематически процесс образования диполей представлен на рис 1.

Очевидно, что величина смещения l будет обратно пропорциональна жесткости упругой связи k между зарядами молекулы и прямо пропорциональна силе электростатического растягивания зарядов во внешнем поле qE . Таким образом, можно заключить, что

$$l = qE/k, \quad (5)$$

а дипольный момент и поляризуемость единичной молекулы имеют вид

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

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

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

$$\epsilon_A = 1 + 4\pi N q^2/k. \quad (8)$$

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 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

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

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

$$\epsilon_B = 1 + 4\pi N(\bar{P}_0^2/3kT). \quad (10)$$

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 $\epsilon = \varphi(T)$ 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, неполярных и разбавленных полярных жидкостей.

Для полярных жидких и 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 $60 \dots 110^\circ \text{C}$ наблюдается переход из твердого состояния в высокоэластичное), что сопровождается резким уменьшением межмолекулярных связей, и ход зависимости $\epsilon = \varphi(T)$ приобретает следующий вид (см. рис. 2, кривая б).

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 возникают ионная или дипольная поляризация. Величина ϵ у таких диэлектриков не превышает 100. Однако у некоторых диэлектриков при определенных температурах величина ϵ может быть значительно больше 100 и даже достигать значений 10^5 . Это результат влияния спонтанной поляризации, которая существует у сегнетоэлектриков. Существует также объемная поляризация, связанная

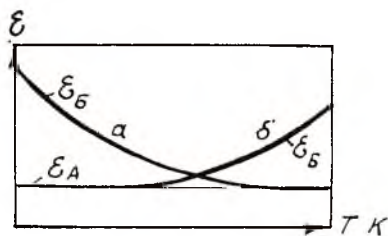


Рис. 2. Температурная зависимость диэлектрической проницаемости

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Указания по выполнению работы

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 3. Она состоит из термостата, в котором размещаются экспериментальные образцы диэлектриков, и измерительного моста. Первое плечо моста образуется неследуемым конденсатором, который

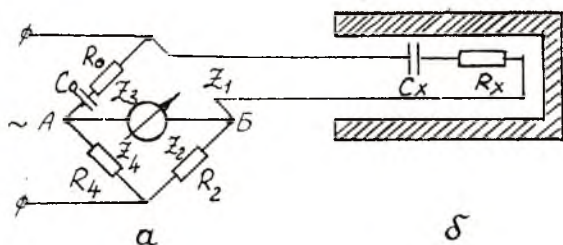


Рис. 3. Принципиальная схема установки для определения температурной зависимости диэлектрической проницаемости на низких частотах: *а*—измеритель емкости; *б*—термостат с образцом диэлектрика

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 минимально. 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 поло-

жения 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 свидетельствуют 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

$$C_x = \epsilon_0 \epsilon \cdot S/d, \quad (14)$$

где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ 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 $\epsilon = \varphi(T)$.
6. Для нескольких конкретных температур методом графического дифференцирования определить температурный коэффициент изменения ϵ по формуле

$$TK \epsilon_T = 1/\epsilon_T \cdot \Delta\epsilon/\Delta T \text{ град}^{-1}. \quad (15)$$

7. По полученным графикам $\epsilon = \varphi(T)$ 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

- Пасынков В. В. Материалы электронной техники. М.: Высшая школа, 1986. 306 с.
Казарновский Д. М. и др. Испытания электроизоляционных материалов. М.: Энергия, 1972. 186 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ

Цель работы: исследование гистерезисных явлений и температурной зависимости диэлектрической проницаемости сегнетоэлектриков.

Задания:

1. Для образцов сегнетоэлектриков экспериментально определить зависимость диэлектрической проницаемости: от температуры; от напряженности электрического поля.
2. Определить температуру Кюри сегнетоэлектрика.
3. Определить температурную зависимость температурного коэффициента диэлектрической проницаемости.
4. Определить тангенс угла диэлектрических потерь сегнетоэлектрика.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Строение сегнетоэлектриков

Сегнетоэлектрики представляют собой монокристаллы или поликристаллические вещества, в которых спонтанная поляризация при температурах ниже температуры фазового перехода T_c — точки Кюри может изменяться под действием внешнего электрического поля. К характерным особенностям таких материалов при температуре $T < T_c$ относятся: наличие доменной структуры, диэлектрического гистерезиса и остаточной поляризованности после снятия поля, наличие изменений относительной диэлектрической проницаемости ϵ и тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta$ под воздействием температуры, переменного и постоянного

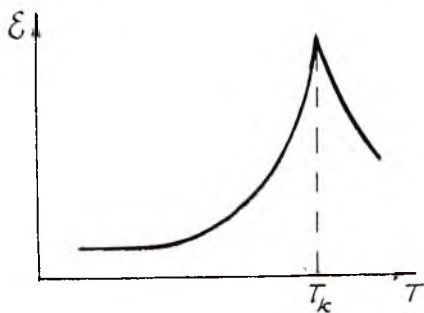


Рис. 1. Зависимость относительной диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрика от температуры

электрических полей, появление в поляризованном материале пьезоэлектрических свойств.

При $T > T_c$ доменная структура и диэлектрический гистерезис постепенно исчезают; под воздействием переменного и постоянного поля изменений ϵ и $\text{tg } \delta$ не обнаруживается, пьезоэлектрические свойства не проявляются. При $T = T_c$ ϵ достигает аномально высоких

значений ($10^5 \dots 10^6$) (рис. 1). Выше температуры точки Кюри ϵ и $\operatorname{tg} \delta$ имеют значения меньше, чем при $T < T_k$.

Эти свойства можно объяснить, исходя из доменной структуры сегнетоэлектрика. Действительно, ниже T_k тепловая энергия молекул мала, а следовательно жесткость молекулярных связей достаточно велика, и вполне естественно, что вероятность переориентации диполей сообразно внешнему электрическому полю достаточно мала. При температурах выше точки Кюри тепловая энергия молекул, образующих домен, настолько велика, что внешнее электрическое поле не в состоянии обеспечить высокий уровень организации диполей. В диапазоне температур, достаточно близко примыкающих к точке Кюри, обеспечивается оптимальное соотношение между уровнем энергии связи молекул, образующих домен, и интенсивностью воздействия внешнего электрического поля, что приводит к максимальной переориентации доменов.

Существенная зависимость поляризации сегнетоэлектрика от внешнего электрического поля находит свое отражение и в необычной форме зависимости вектора поляризации \vec{P} от напряженности электрического поля \vec{E} . При достаточно слабых электрических полях поляризация линейно зависит от электрического поля. В этом случае преобладают обратимые процессы поляризации. При некоторой напряженности все домены ориентированы в направлении внешнего электрического поля. Это состояние называется *насыщенным*. Если произвести уменьшение напряженности внешнего поля, то поляризация кристалла будет изменяться не по начальной, а по другой кривой. Таким образом, при внешнем поле, равном нулю, кристалл останется поляризованным. Величина его поляризации называется *остаточной поляризацией*. Очевидно, что площадь кривой гистерезиса является характеристикой диэлектрических потерь материала в переменном электрическом поле.

Свойства сегнетоэлектриков

Свойства сегнетоэлектриков определяются следующими основными характеристиками:

относительная диэлектрическая проницаемость ϵ_a в слабом электрическом поле;

тангенс угла потерь $\operatorname{tg} \delta$ в электрическом поле;

максимальная относительная диэлектрическая проницаемость ϵ_{\max} ;

удельное объемное сопротивление ρ_v ;

электрическая прочность $E_{\text{пр}}$;

температура Кюри T_k ;

характеристики, определяющие механические свойства сегнетоэлектриков;

нелинейность возбуждения $N_{\text{возб}} = \epsilon_{\max} / \epsilon_a$;

нелинейность управления $N_{\text{упр}} = \epsilon_r / \epsilon_{r \text{ min}}$, где ϵ_r — реверсив-

ная диэлектрическая проницаемость при напряженности постоянного электрического поля $E = 0$; $\epsilon_{r \min}$ — минимальное значение ϵ_r , соответствующее наибольшей напряженности смещающего поля (область насыщения). Значения ϵ_r и $N_{\text{ур}}$ зависят от величины переменного поля $E \sim$.

Сегнетоэлектрические материалы можно разделить на 3 группы: конденсаторная, терморезистивная и пьезоэлектрическая керамика.

Нелинейная сегнетокерамика обладает наиболее высокой нелинейностью возбуждения и нелинейностью управления. Среди этих материалов видное место занимает титанат бария BaTiO_3 , а также двойные системы титанат — стannат бария $\text{Ba}(\text{Ti}, \text{Sn})\text{O}_3$ и тройные системы титанат — цирконат — стannат свинца $\text{Pb}(\text{Ti}, \text{Zn}, \text{Sn})\text{O}_3$ с добавками. Вторая группа используется для керамики ВК-2, В-5, используемой для изготовления преобразователей частоты, в усилителях, стабилизаторах. Третья группа — для ВК-6, обладающей высокой прямоугольностью негли гистерезиса. Сегнетоэлектрики третьей группы могут быть использованы для ячеек памяти ЭВМ и бесконтактных переключателей.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Указания по выполнению работы

Схема экспериментальной установки для исследования температурной зависимости диэлектрической проницаемости представлена на рис. 2. Установка состоит из жидкостного термостата в стеклянной колбе и электрических цепей: питания нагревателя термостата; измерителя температуры; измерителя емкости образца.

Цепь нагревателя содержит тумблер включения В2, сигнальную лампу Л2 и нагревательный элемент R3. Время разогрева термостата до максимальной температуры (130°C) составляет 20... 25 мин.

Цепь измерителя температуры состоит из выпрямителя В, измерительного диода Д и микроамперметра П1. Принцип определения температуры основан на измерении температурной зависимости обратного тока диода Д, размещенного в термостате в непосредственной близости от образца сегнетоэлектрика. Температура определяется с помощью калибровочной кривой.

Цель измерения диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрика состоит из делителя напряжения ($R1, R2$), исследуемого сегнетоэлектрика С и микроамперметра П2. Калибровочная кривая перевода показаний прибора П2 приводится на стенде.

Схема экспериментальной установки для исследования гистерезисных явлений диэлектрической проницаемости приведена на рис. 3.

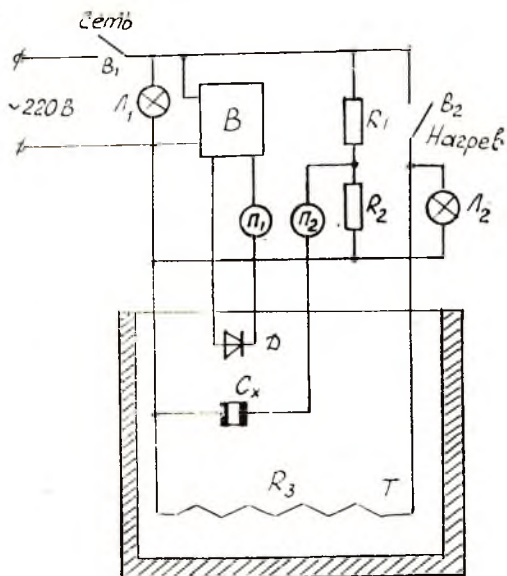


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: В—выпрямитель; П₁—измеритель температуры; П₂—измеритель емкости образца; С_x—образец; Д—диод-датчик температуры; R₃—нагреватель термостата Т

Измерительное устройство представляет собой мостовую схему, образованную из элементов R₁, R₂, C₁, C_x. Питание схемы осуществляется от звукового генератора Г, контроль за напряжением питания производится с помощью вольтметра V. Емкость C₁ является образцовым конденсатором, причем ее номинал удовлетворяет условию C₁ ≫ C₂ и C₁ ≫ C_x (где C₂—образцовая емкость, используемая для калибровки измерительного моста). Цифры 1, 2, 3 и 4 обозначены соответственно системы электродов

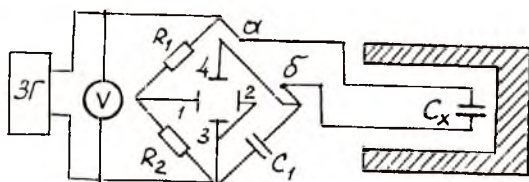


Рис. 3. Схема установки для исследования гистерезисных явлений в сегнетоэлектриках: а—измерительная схема, б—термостат с образцом

горизонтального и вертикального отклонения луча электронно-лучевой трубки. На пластины 1—2 горизонтального отклонения луча напряжение, пропорциональное выходному напряжению генератора, подается с резистора R_2 . На пластины вертикального отклонения луча напряжение, пропорциональное заряду на конденсаторе C_A , подается с конденсатора C_1 , поскольку C_1 и C_A соединены последовательно.

Порядок выполнения работы

А. Снять температурную зависимость диэлектрической проницаемости.

1. Ознакомиться с экспериментальной установкой, представленной на рис. 2.

2. Включить тумблеры «Сеть», «Нагреватель» и разогреть термостат до максимальной температуры (130°C).

ВНИМАНИЕ! Во избежание окисления масла-теплоносителя не допускать перегрев термостата выше 140°C , что соответствует показанию микроамперметра П1 — 260 мкА.

3. По достижении максимальной температуры термостата выключить нагреватель. Произвести совместные измерения температуры термостата и емкости образца сегнетоэлектрика (показания приборов П1 и П2). Результаты измерений внести в табл. 1, форму которой выбрать произвольной.

4. С помощью калибровочных кривых определить температуру и величину емкости образца, результаты измерения внести в табл. 1.

5. Для полученных значений емкости произвести расчет диэлектрической проницаемости по формуле

$$C_x = \epsilon_0 \epsilon \frac{S}{d}, \quad (1)$$

где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$, Ф · м⁻¹,

S — площадь образца, м²,

d — толщина образца (геометрические параметры образца указаны на стенде).

6. Построить график температурной зависимости диэлектрической проницаемости.

7. Для ряда конкретных температур, соответствующих участкам плавного и быстрого изменения диэлектрической проницаемости, методом графического дифференцирования определить $TK\epsilon$ (град⁻¹) по формуле

$$TK\epsilon = 1/\epsilon_{T1} \cdot \Delta\epsilon/\Delta T. \quad (2)$$

8. Сформулировать основные выводы.

Б. Провести исследование гистерезисных явлений диэлектрической проницаемости.

1. Ознакомиться с экспериментальной установкой, представленной на рис. 3.

2. Подключить к гнездам установки звуковой генератор, об разцовую емкость C_2 и осциллограф.

3. Включить установку и приборы в сеть.

4. Определить масштаб горизонтальной развертки электронно-лучевой трубки по формуле

$$M_E = \sqrt{2} U/x, \quad (3)$$

где M_E — масштаб горизонтальной развертки, $\text{В} \cdot \text{мм}^{-1}$;

U — показание вольтметра, В;

x — отклонение луча, мм;

В дальнейшем положение тумблера осциллографа «усил. х» не изменять

5. Определить масштаб вертикальной развертки электронно-лучевой трубки по формуле

$$M_Q = \sqrt{2} U_0 C_1/y, \quad (4)$$

где M_Q — масштаб вертикальной развертки, $\text{мм}^{-1} \cdot \text{К}$;

C_1, C_2 — номиналы образцовых емкостей Ф (указаны на стенде);

y — отклонение луча, мм;

U_0 — вычисляется по формуле

$$U_0 = \frac{U}{\frac{C_1}{C_2} + 1}. \quad (5)$$

В дальнейшем положение тумблера осциллографа «усил. у» не изменять.

6. Выключить установку из сети, заменить емкость C_2 исследуемой емкостью C_x и включить установку в сеть.

7. Варьируя выходное напряжение генератора, определить отклонение луча x_i, y_i и площадь кривой гистерезиса S_r . Результаты внести в табл. 2.

8. По полученным экспериментальным результатам определить напряжение и заряд на конденсаторе C_x по формуле

$$\begin{cases} U_x = M_E x; \\ Q_x = M_Q y. \end{cases} \quad (6)$$

9. Определить значение емкостей и диэлектрических проницаемостей исследуемого сегнетоэлектрика и напряженность внешнего поля по формулам

$$C_x = Q_x/U_x, \quad (7)$$

$$\epsilon_x = d C_x/S \epsilon_0, \quad (8)$$

где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} \cdot \text{м}^{-1}$;

d — толщина образца, м;

S — площадь образца, м^2 .

(Геометрические параметры образца указаны на стенде).

$$E_x = U_x/d. \quad (9)$$

Таблица 2

$U_{\text{ген}},$ В	$x,$ мм	$y,$ мм	$S_1,$ мм ²	$U_x,$ В	$Q,$ к	$C_x,$ Ф	$E_x,$ В · м ⁻¹	ϵ	$\text{tg } \delta$

10. Определить тангенс угла диэлектрических потерь по формуле

$$\text{tg } \delta = S_T/2\pi xy. \quad (10)$$

Результаты расчетов внести в табл. 2.

11. Построить графики зависимостей $\epsilon = \varphi(E_x)$.

ВОПРОСЫ К КОЛЛОКВИУМУ

1. Какими основными характеристиками обладают сегнетоэлектрики?

2. Каким образом в сегнетоэлектрике протекает процесс поляризации?

3. Каков вид зависимости $\epsilon = \varphi(T)$ сегнетоэлектриков?

4. Что такое температура Кюри?

5. Объяснить принцип действия экспериментальной установки.

6. Где используются сегнетоэлектрики и почему?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Нона Ф., Шираис Д. Сегнетоэлектрические кристаллы. М.: Мир, 1965. 213 с.

Пасыков В. В. Материалы электронной техники. М.: Высшая школа, 1986. 306 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ СВЕТОВОДОВ

Цель работы: изучение влияния внешних факторов на материалы световодов, используемых в качестве волоконно-оптических преобразователей информации (ВОПИ).

Задания:

1. По экспериментальным результатам построить зависимости $I = \varphi_1(l)$, $I = \varphi_2(h)$, $I = \varphi_3(T)$, $I = \varphi_4(U_{ген})$, $I = \varphi_5(I_{ген})$ для исследуемых световодов.

2. Определить фактор, наиболее сильно действующий на световод, используемый в качестве преобразователя перемещений.

3. На основе анализа полученных результатов определить область применения световодов, требования к материалам.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Стекла для изготовления волокна

Силикатные стекла по составу, а в связи с этим и по электрическим свойствам ($\text{tg } \delta$, ρ_v), можно подразделить на три группы.

1. *Бесщелочные стекла* (отсутствуют окислы натрия и калия). В эту группу входит чисто кварцевое стекло (плавленый кварц). Стекла этой группы обладают высокой нагревостойкостью, высокими электрическими свойствами, но из них трудно изготавливать изделия особенно сложной конфигурации и с малыми допусками по размерам.

2. *Щелочные стекла без тяжелых окислов или с незначительным их содержанием.* Эта группа состоит из двух подгрупп: а) натриевые стекла; б) калиевые и калиево-натриевые стекла. В эту группу входит большинство обычных стекол. Они отличаются пониженной нагревостойкостью, легко обрабатываются при нагреве, но имеют пониженные электрические свойства.

3. *Щелочные стекла с высоким содержанием тяжелых окислов* (силикатно-свинцовые, бариевые). Эти стекла, обладая удовлетворительной обрабатываемостью, имеют повышенные электрические свойства, приближающиеся при нормальной температуре к электрическим свойствам стекол первой группы.

Для производства стекловолокна используют обычные щелочные алюмосиликатные (вторая группа), бесщелочные (первая группа), а также малощелочные алюмоборосиликатные стекла. Стекловолокно из бесщелочных или малощелочных алюмоборосиликатных стекол по сравнению со стекловолокном из щелочных стекол обладает большей (на 20—25 %) механической прочностью

на растяжение, большей химической стойкостью и лучшими электрическими характеристиками. Из стекловолокна изготавливают не только нагревостойкую изоляцию проводников и ткани, но также стеклянную вату, жгуты и изделия волокнистой оптики — световоды.

Световоды

Световоды представляют собой жгуты, состоящие из стеклянных волокон, имеющих сердцевину и оболочку из стекла с различным коэффициентом преломления. Световоды изготавливаются, как правило, из чистого оптического стекла марок ТК, БФ, Ф, ГФ, СТК, СТФ и в оболочке из стекла марок ЛК, Л и имеют диаметр 0,3...20 мм. В качестве оптических стекол используют стекла третьей группы: флинтты (содержащие PbO) и кроны (содержащие BaO). Они отличаются незначительной проводимостью и малым тангенсом угла потерь.

Световодные жгуты бывают гибкие и жесткие, с регулярной укладкой и переплетением, постоянного по длине и переменного сечения. Излучение, падающее на входной торец прозрачного световода, распространяется по нему благодаря полным внутренним отражениям и выходит из противоположного торца. Для уменьшения потерь света при внутренних отражениях световоды изготавливают из световедущей жилы с высоким показателем преломления n_1 , окруженной изоляционной оболочкой с меньшим показателем преломления n_2 . В таких световодах потери света на поверхности раздела жилы и оболочки малы даже для лучей, претерпевающих тысячи отражений.

Законы геометрической оптики справедливы для световодов и волокон, диаметр D_c которых превышает 5...6 мкм. Дифракция света сказывается на характеристиках более тонких волокон, и они работают как волноводы оптического диапазона, при этом часть энергии может уходить через боковую поверхность волокна. Основным путем повышения пропускания световодов — исключительная чистота шихтных материалов и стерильность производства. В зависимости от марок и качества стекла световоды выдерживают длительную облученность солнечным светом от 5 до 15 МВт·м⁻², а многие марки стекол не разрушаются и при значительно больших облученностях. Световоды в холодном состоянии в пределах упругости могут быть изогнуты с радиусом кривизны от 200—300 их диаметров. В горячем состоянии световоды можно изгибать по радиусу, равному 20—50 их диаметрам.

Диаметр световедущих жил выбирают в соответствии с требуемой разрешающей способностью, которая может быть до 100 мкм. Общее число световедущих жил доходит до 100 000. Технология изготовления таких световодов обеспечивает *высокую параллель-*

ность жил. Эти световоды не только передают свет, но и изображение с одного торца на противоположный. Многожильные световоды могут иметь заданную форму сечения.

Области использования волоконных световодов

Чрезвычайно велико многообразие волоконных деталей, зависящее от их назначения: тончайшие иглы для светового микроскопа элементов ядра жилой клетки, гибкие жгуты для медицинских и технических эндоскопов, жесткие световоды для контактной люминесцентной микроскопии, фронтальные вакуумно-плотные стекла для электронно-лучевых приборов, фокусные линзы, повышающие светосилу и исправляющие кривизну и дисперсию изображения линзовых и зеркальных объективов, всевозможные преобразователи сканирования для скоростной фотографии, телеметрии и фототелеграфии, телевидения, преобразователи кода со сложным переплетением волокон и логические элементы вычислительных машин, лазеры, оптико-акустические элементы, выделяющие заданный спектр звуковых частот—сенстры.

Для создания всех этих световодных деталей применяются разнообразные стекла, к которым помимо чисто оптических предъявляются новые, необычные требования по коэффициенту расширения, температурному ходу вязкости, совместности, химической инертности.

Особенности использования световодов в качестве аналогового измерительного преобразователя

Обобщенные схемы двух типов аналоговых волоконно-оптических преобразователей информации (ВОПИ) приведены на рис. 1 и 2. В преобразователях с обобщенной схемой (см. рис. 1) ис-

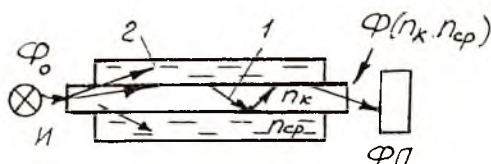


Рис. 1. Обобщенная схема аналогового ВОПИ с одним световодом: 1—световод; 2—контролируемый объект

пользуется явление полного внутреннего отражения в единичном световодном канале, с одной стороны которого установлен источник света И, с другой — фотоприемник ФП. При этом контролируемый параметр объекта вызывает изменение показателя преломления среды 2, окружающей информационный световод 1, что приводит к изменению угла полного внутреннего отражения на

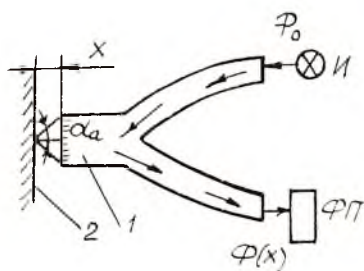


Рис. 2. Обобщенная схема аналогового ВОПИ с разветвленным световодом; 1—световод, 2—контролируемый объект

границе раздела световод—исследуемая среда и изменению коэффициента светопропускания измерительного световодного канала.

Светопропускание канала уменьшается с возрастанием показателя преломления n_{cp} , так как одновременно уменьшается и апертурный критический угол $\alpha_{кр}$, что приводит к просачиванию информационного потока Φ_0 источника света $И$ в исследуемую среду 2.

Чувствительность преобразователей этой группы определяется выражением

$$\gamma = - \frac{d\Phi(n_k, n_{cp})}{dn_{cp}} = \frac{2\pi \Phi_0 n_{cp}}{\sqrt{1 - n_k^2 + n_{cp}^2}}$$

а относительная чувствительность выражением

$$\frac{\gamma}{\Phi_0} = \frac{n_{cp}}{\sqrt{1 - n_k^2 + n_{cp}^2} (1 - \sqrt{1 - n_k^2 + n_{cp}^2})}$$

При этом относительная чувствительность имеет конечные значения только для n_{cp} , удовлетворяющих условию $\sqrt{n_k^2 - 1} \leq n_{cp} \leq n_k$. Зависимость γ/Φ_0 от n_{cp} для различных n_k показана на рис. 3.

Преобразователи этой группы применяются для контроля и измерения температуры пожаро- и взрывоопасных объектов, состава и концентрации веществ, уровня жидкости в химическом аппарате или технологическом трубопроводе.

К аналоговым преобразователям относятся также преобразователи, выполненные по схеме рис. 2. В преобразователях этой группы управление коэффициентом светопропускания из одного волоконного пучка в другой производится путем изменения зазора x между торцом 1 общего пучка и отражательной поверхностью 2, связанной с контролируемым объектом.

Зависимости функции светопропускания от величины зазора x приведены на рис. 4 и определяются апертурным углом выходных торцов волокон α_n , геометрическими размерами приемного и передающего торцов, их взаимным расположением и коэффициентом отражения поверхности ρ_0 . В общем виде для таких ВОПИ $\Phi(x) = \varphi(\Phi_0, \rho_0, d_n, \alpha_n)$.

Чувствительность и диапазон перемещений изменяются в боль-

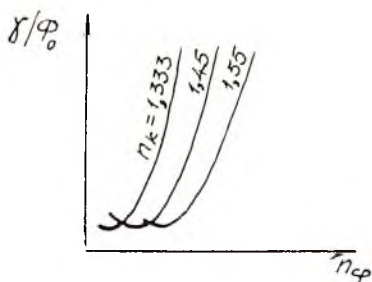


Рис. 3. Кривые зависимости относительной чувствительности γ/Φ_0 аналогового ВОПИ (см. схему рис. 7) от показателя преломления n_{cp} для различных значений n_k

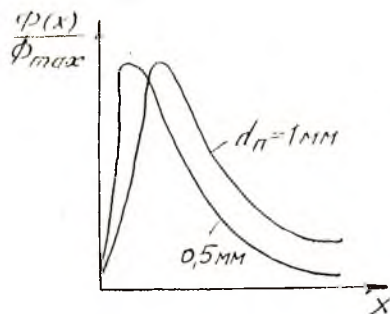


Рис. 4. Кривые зависимости функции светопропускания аналогового ВОПИ (см. схему рис. 8) от величины зазора x для различных значений диаметра пучка d_n и апертурного угла $\alpha_n = 30^\circ$

ных пределах при изменении апертурных углов и геометрических размеров приемопередающих торцов пучков волокон. При этом линейный диапазон преобразователя находится в пределах диаметра пучка d_n .

Основными потерями света в оптических цепях ВОПИ являются потери, обусловленные вводом и выводом потока излучения, качеством входных торцов волоконных пучков. Существенным недостатком аналоговых ВОПИ является зависимость показателя преломления световодов и окружающей среды от многих факторов.

В данной лабораторной работе следует экспериментально установить это влияние.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Указания по выполнению работы

А. Исследование потерь на стыках световодов

Вначале проводится исследование потерь, возникающих на стыках световодов. Схема экспериментальной установки изображена на рис. 5. Исследуются световоды, имеющие близкие по значению поперечные размеры и профили, показатели преломления. Проверяется возможность соединения их стыковкой торцов. Снимается характеристика $I = \Phi_1(l)$, где $I = \kappa\Phi_0$, l — расстояние между торцами. Анализируя снятую характеристику, определить причины возникающих потерь: смещение осей световодов, угловое рассогласование, величина l , качество обработки торцов; разли-

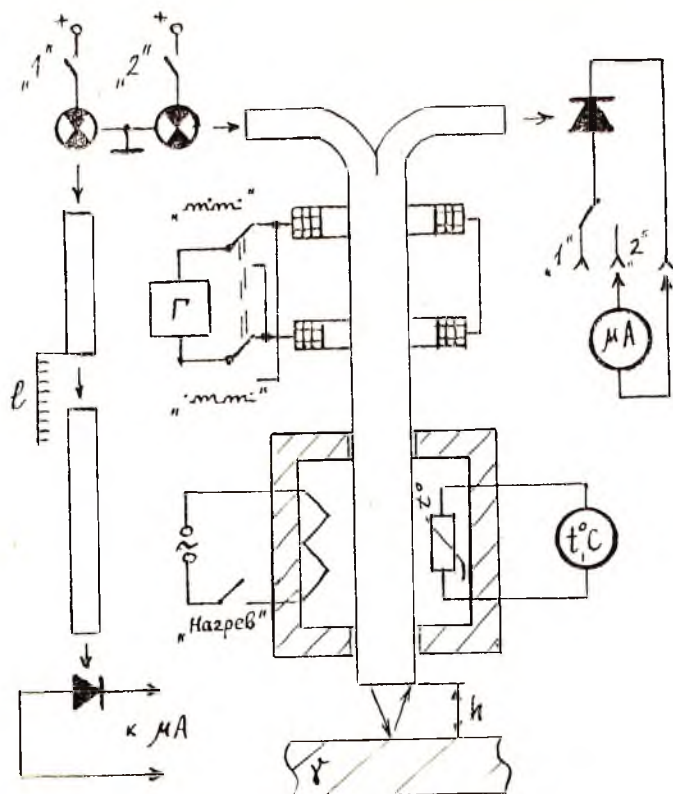


Рис. 5 Схема экспериментальной установки

чис апертур световодов, различные диаметры сердечников, неконцентричность и эллиптичность последних, френселевское отражение.

Б. Исследование зависимости функции светопропускания ВОПИ от величины зазора до контролируемого объекта

Проводится исследование ВОПИ, схема которого изображена на рис. 2. Величина задаваемых перемещений h контролируемого образца измеряется механическим индикатором. Снимается характеристика $I = \varphi_2(h)$. Световод имеет достаточно большую длину и уложен в специальном отсеке стенда, откуда может быть вынут и подергнут исследованию на изгиб. При включении тумблера «Нагрев» создается локальный нагрев световода, температура ко-

того регистрируется вторым измерительным прибором « $t^{\circ}\text{C}$ ». Определяется влияние температуры на зависимость $I = \varphi_2(h)$. Строится характеристика $I = \varphi_3(T)$ при $h = \text{const}$. Соединив клеммы генератора ГЗ-33 с клеммами на передней панели стенда и включив тумблер «Индуктивн.», обеспечить возможность исследования электромагнитных полей на световод, создаваемых двумя катушками индуктивности, соединенными последовательно встречно или последовательно согласно, охватывающими световод. Снимаются зависимости $I = \varphi_4(U_{\text{ген}})$ и $I = \varphi_5(f_{\text{ген}})$, где $U_{\text{ген}}$ и $f_{\text{ген}}$ — напряжение и частота генератора.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с экспериментальным стендом, закрепить под механическим индикатором на стойке полученные у преподавателя образцы материалов. Подсоединить к стенду выход генератора ГЗ-33.

2. Включить стенд и генератор в сеть. Поставить тумблеры включения в положение «Сеть».

3. Снять зависимость $I = \varphi_1(l)$.

3.1. Нажать кнопку «Сброс».

3.2. Нажать кнопку «Световоды 1».

3.3. Вращением красной ручки в левой части стенда привести световоды в соприкосновение торцами ($l = 0$).

3.4. Снять показания с левого индикатора I (μA).

3.5. Изменяя расстояние l через 2 мм, снять зависимость $I = \varphi_1(l)$. Результаты занести в табл. 1, форму которой выбрать произвольно.

4. Снять зависимость $I = \varphi_2(h)$.

4.1. Нажать кнопку «Сброс».

4.2. Нажать кнопку «Световоды 2».

4.3. Вращением регулировочного винта стойки привести в соприкосновение торца световода, расположенного рядом с механическим индикатором, с поверхностью контролируемого образца материала.

4.4. Установить на механическом индикаторе вращением его циферблата нулевое показание ($h = 0$). Снять показание с левого индикатора I (μA).

4.5. Изменяя расстояние h регулировочным винтом стойки, снять зависимость $I = \varphi_2(h)$. Результаты занести в табл. 2, форму которой выбрать произвольно.

5. Снять зависимость $I = \varphi_3(T)$.

5.1. Включить на стенде тумблер «Нагрев».

5.2. Не отпуская тумблер «Нагрев», на выбранном зазоре h снять показания I (μA) и T (t°) через равные интервалы температур с двух приборов. Результаты занести в табл. 3, форму которой выбрать произвольно.

5.3. Повторить п. 5.2. для двух других значений h . 21

6. Снять зависимость $I = \varphi_2(U_{\text{ген}})$.
 - 6.1. Установить на стенде тумблер «Индуктивность» в левое положение.
 - 6.2. Установить на генераторе ручкой «Частота» $f = 1000$ Гц.
 - 6.3. Вращением ручки «Выход» на генераторе последовательно установить не менее 5 значений $U_{\text{ген}}$.
 - 6.4. Снять показания с индикатора на стенде I (μA) и с индикатора на генераторе $U_{\text{ген}}$. Результаты занести в табл. 4, форму которой выбрать произвольно.
 - 6.5. Повторить п.п. 6.3.—6.4., установив тумблер «Индуктивность» в правое положение.
7. Снять зависимость $I = \varphi_2(f_{\text{ген}})$.
 - 7.1. Повторить п. 6.1.
 - 7.2. Установить на генераторе ручкой «Выход» 10 В.
 - 7.3. Вращением ручки «Частота» на генераторе последовательно установить не менее 5 значений частот в диапазоне 20—200 000 Гц.
 - 7.4. Снять показания с индикатора на стенде I (μA) и с индикатора частоты f на генераторе. Результаты занести в табл. 5, форму которой выбрать произвольно.
 - 7.5. Повторить пп. 7.3—7.4, установив на стенде тумблер «Индуктивность» в крайнее правое положение.
8. По желанию студентов исследования могут быть продолжены. Для этого на стенде предусмотрены органы управления, обеспечивающие наклон световода к поверхности контролируемого образца материала или приближение к его краю. Имеется специальный отсек под прозрачной крышкой, откуда может быть извлечен световод для изучения влияния изгиба. Эти исследования предлагается спланировать и осуществить самостоятельно.
9. Построить по экспериментальным данным полученные зависимости.
10. Ответьте на вопросы задания, сформулируйте выводы.

ВОПРОСЫ К КОЛЛОКВИУМУ

1. Какие материалы используются для изготовления световодов и почему?
2. Какие факторы влияют на ВОПИ?
3. Где используются световоды?
4. Каковы принципы построения аналоговых ВОПИ?
5. Каковы требования к материалам световодов ВОПИ?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Унгер Х. Г. Плечарные и волоконные оптические волноводы. М.: Мир, 1980. 656 с.
- Андрушко Л. М. и др. Волоконно-оптические линии связи. М.: Радио и связь, 1984.

«СИНТЕЗ» МАТЕРИАЛА ЭЛЕКТРОДА АККУМУЛЯТОРА ИЗ ДИЭЛЕКТРИКА

Цель — ознакомиться с новыми замечательными свойствами диэлектриков, попытаться сформулировать основные требования к вновь создаваемому материалу электронной техники, пути их достижения и тем самым получить навыки «синтеза» материала (кавычки указывают на умозрительный характер процесса).

Задание

С помощью справочников и учебной литературы по материалам электронной техники ответьте на поставленные в разд. «Теоретические сведения» вопросы.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Попробуйте быстро, не задумываясь, назвать вещество — *проводник электрического тока* и вещество — *диэлектрик*. В большинстве случаев вы вспомните в первом случае — *металл*, в другом — *пластмассу*. Так и должно быть. Еще в школе нам стало известно, что металлы проводят электрический ток, а полимеры — надежная для него преграда. Однако сегодня эту истину нужно пересмотреть. Конечно, представить себе фотозлемент, транзистор или, скажем, интегральную микросхему из чистой пластмассы гораздо труднее, чем пластмассовую шестеренку, но факт: сегодня уже синтезированы полимеры, которые в зависимости от химических добавок могут обладать проводимостью и даже полупроводниковыми свойствами.

Зачем синтезировать новые материалы, обладающие хорошей проводимостью? Да еще из пластмасс. Ведь известен целый ряд металлов. Однако давайте вспомним: какой основной недостаток металлов при взаимодействии с внешней средой?

Итак, подумайте. Вспомнили?

Пластмассы, как известно, этому явлению не подвержены. Что еще следует учитывать, берясь за синтез нового материала? Ваши предложения на этот счет. Ведь чтобы получить полимер на основе, скажем, ацетилена, нужна специальная герметичная установка, катализатор, который боится и влаги, и воздуха, тогда как для синтеза, например, полипиррола достаточно подобия гальванической ванны, т. е. электрохимической ячейки — стеклянного сосуда с двумя электродами и источника тока.

Итак, рационально ли браться за синтез ацетилена или полипиррола?

Для синтеза следует выбрать материал электрода. Этот мате-

риал не должен растворяться при электролизе, чтобы его молекулы не исказили результата исследования, и обладали в высокой степени стойкостью к тому явлению, которое вы отметили как негативное для всех металлов. Итак, это один из широко известных металлов. Назовите, какой металл следует выбрать в качестве электрода?

Синтез полипиррола действительно оказался прост. На металлическом электроде появлялась полимерная пленка, которая обладала во много раз лучшей стойкостью к воздействию внешней среды, чем металлы. Но при исследованиях полипиррола установлено, что этот материал способен запасать электроэнергию, т. е. работать как аккумуляторный металл.

Вспомните, какие металлы хорошо работают в аккумуляторах? Пожалуй, можно назвать не больше четырех, поэтому свойства полипиррола нас должны привлечь еще больше.

Если подсчитать, то получится, что удельная емкость аккумулятора с пластмассовыми электродами (напомним, удельная емкость равна отношению емкости аккумулятора к его весу) выше, чем у наиболее распространенного сегодня аккумулятора, не пользующего широко известный металл. Какой металл широко используется в серийных аккумуляторах?

Но это не все. Какие выгоды сулит аккумулятор с пластмассовыми электродами? Для этого надо вспомнить, где используются аккумуляторы, сколько их примерно выпускается и срок службы.

Важным достоинством нового аккумулятора является то, что он сможет работать не с кислотным электролитом, как обычный аккумулятор, а с соевым — попросту в морской воде. А в чем преимущества солевого электролита?

Но помимо преимуществ у аккумулятора с пластмассовыми электродами отмечены и недостатки.

Эластичный и прочный в электролите, на воздухе полипиррол становится хрупким и начинает осыпаться с поверхности электрода — подложки, на которой его синтезировали. Вторично использовать его нельзя — ведь стоит обнажить хотя точечной поверхности электрода, чтобы электрический ток пошел в обход полимера.

Обнаруженный недостаток устранили парадоксальным на первый взгляд способом: поверх пленки из полипиррола нанесли пленку из поливинилхлорида. К какому классу материалов относится поливинилхлорид? Почему аккумулятор работает с пленкой поливинилхлорида? Перечислите основные свойства поливинилхлорида.

Обнаружено, что количество циклов заряда-разряда для полипиррола практически неограничено. Что это дает?

Но проблем хватает. Замечено, например, что в новых электродах постепенно происходит саморазряд. В чем причина этого явления на Ваш взгляд? Ваши предложения по устранению этого недостатка. Справиться с этими недостатками — значит сделать большой шаг к созданию аккумуляторов будущего.

ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

1. Кратко опишите работу типового аккумулятора.
2. На бланке отчета выделите две вертикальные колонки. В левую колонку перенесите все вопросы, поставленные в разд. «Теоретические сведения». В правой колонке против каждого вопроса укажите ответы. Ответов может быть несколько.
3. Сформулируйте общие выводы по работе, пользуясь ключевыми словами: диэлектрик, металл, не более пяти лет, более пяти лет, простота, дефицитность, вес, коррозия, электронная техника, графит, платина, железо, никель, свинец, кадмий.

ВОПРОСЫ К КОЛЛОКВИУМУ

1. Какие металлы могут быть использованы в аккумуляторах?
2. Почему срок службы аккумуляторов не превышает 3—5 лет?
3. По каким характеристикам полимеры лучше металлов?
4. Какие критерии материала следует считать важнейшими при его массовом использовании?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Васильев Н. П. Лабораторные работы по электроматериаловедению. М.: Высшая школа, 1982. 93 с.

Никитин М. В. Справочник молодого электрика по электротехническим материалам и изделиям. М.: Высшая школа, 1977. 120 с.

Томашов Н. Д. и др. Лабораторные работы по коррозии и защите металлов. М.: Металлургия, 1971, 280 с.

*ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ЦИКЛУ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ,
СОСТАВЛЕННЫХ ПО КУРСАМ
«МАТЕРИАЛЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ»
И «МАТЕРИАЛЫ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ДЕТАЛЕЙ РЭА»*

Подготовка к работе

Выполнению лабораторной работы предшествует предварительное самостоятельное ознакомление студентов с теорией и методикой проведения работы. Подготовка к работе осуществляется во внеаудиторное время с привлечением методических указаний к лабораторной работе и рекомендованной литературы. Подготовленность к занятию определяется перед выполнением каждой работы. К началу очередного занятия студентам необходимо на специальном бланке отчета по лабораторной работе или на листе двойного тетрадного формата заготовить протокол отчета, в котором указать:

- фамилия и инициалы;
- номер группы и потока;
- дата оформления отчета;
- наименование работы;
- цель работы;
- схема экспериментальной установки;
- расчетные формулы с указанием размерностей используемых величин и численные значения необходимых констант;
- формы таблиц, необходимых для занесения экспериментальных и расчетных данных.

Проведение работы

К выполнению лабораторной работы допускаются студенты, получившие положительную оценку на теоретическом коллоквиуме.

Экспериментальная часть выполняется каждым студентом индивидуально, согласно составленному графику. Допущенные к выполнению работы студенты знакомятся с экспериментальным стендом и измерительной аппаратурой. Включение стендов в электрическую сеть производится с разрешения преподавателя. Эксперимент проводится в строгом соответствии с методическими указаниями при соблюдении правил техники безопасности.

Результаты экспериментов заносятся в черновой экземпляр протокольных записей и отмечаются преподавателем.

Порядок оформления отчета

В отчете должны быть представлены расчетные и обобщенные табличные и графические материалы, схема экспериментальной установки. В конце отчета необходимо сформулировать основные выводы, руководствуясь заданием к работе и полученными результатами.

В отчете должны быть представлены расчетные и обобщенные табличные и графические материалы, схема экспериментальной установки. В конце отчета необходимо сформулировать основные выводы, руководствуясь заданием к работе и полученными результатами.

При построении графиков следует обратить особое внимание на выбор рационального, с точки зрения наилучшего отражения исследуемой физической закономерности, масштаба, на правильную аппроксимацию экспериментальных результатов и четкое указание единиц измерения, их размерностей. Отчет является основным документом по выполненной работе, поэтому должен быть оформлен лаконично и аккуратно, в соответствии с Руководящим нормативным документом РД КуАИ 144—1—87 (см. «Руководящий нормативный документ РД КуАИ 144-1-87. Требования к оформлению учебных текстовых документов», Методические указания; Куйбышев, авиац. ин-т. Куйбышев, 1987. 31 с.). Отчет составляется каждым студентом и представляется преподавателю на текущем или следующем занятии.

Отчет по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе проводится на первом или втором лабораторном занятии по окончании выполнения работы студентом. Каждый отчет индивидуально отчитывается перед преподавателем за каждую лабораторную работу по карточкам программированного контроля через компьютер. Его знания оцениваются по двухбалльной системе. Необходимо дать правильную физическую интерпретацию полученным результатам, сформулировать на их основе выводы и рекомендации по практическому использованию материала, объяснить основные моменты методики эксперимента.

Оценка на лабораторному практикуму выводится с учетом оценок по каждой лабораторной работе.

Основные правила техники безопасности

1. При проведении лабораторных работ запрещается:
вскрывать и налаживать измерительную аппаратуру;
ходить по лаборатории и находиться у соседних стенов;
перемещать измерительные приборы с одного рабочего места на другое;
прикасаться к наружным и внутренним частям корпуса термостата;
прикасаться к открытым контактам схемы при поданном на схему напряжении;
прикасаться к электропроводящей части щупа измерительных приборов.
2. Первичное включение лабораторного стенда производится в присутствии преподавателя.

3. По окончании работы стенды и приборы необходимо выключать из электрической сети.

4. При возникновении электрической или тепловой травмы необходимо немедленно сообщить преподавателю.

ВНИМАНИЕ! Перед началом лабораторных занятий студент обязан ознакомиться с действующей в настоящее время инструкцией по технике безопасности и расписаться в специальном журнале, который находится у преподавателя.

Составитель *Буров Виктор Николаевич*

ДИЭЛЕКТРИКИ В ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

Редактор Е. Д. Антонова
Техн. редактор Н. М. Каленюк
Корректор Н. С. Куприянова

Сдано в набор 11.12.89 г. Подписано в печать 12.01.90 г.
Формат 60×84 1/16. Бумага оберточная белая.
Гарнитура литературная. Печать высокая.
Усл. п. л. 1,63. Уч.-изд. л. 1,6. Т. 500 экз.
Заказ 1125. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С. П. Королёва.
443086, Куйбышев, Московское шоссе, 34.