

ные металлические сечения (т.е. $\omega l_c/v_c$ и $\omega l_l/v_l$) являются достаточно малой величиной, можно использовать приближение $\tan\theta = \theta$. Учитывая вышеизложенное и используя выражение для скорости звука в керамике $v_c = \sqrt{Y_c^E/\rho_c}$ и стали $v_1 = v_2 = \sqrt{Y_1/\rho_1}$, уравнение (1) запишется:

$$L_1 = l_c \frac{A_1 Y_1}{A_c Y_c^E}, \quad (2)$$

где Y_1 и Y_c^E – модули Юнга в стали и керамике PZT соответственно.

Скорость звука в стальном стержне составляет 500 000 см/с, тогда длина волны для частоты ультразвуковых колебаний 35,0 кГц будет равна:

$$\lambda = \frac{v_1}{f} = \frac{500\,000}{35\,000} = 14,30 \text{ см.}$$

Следовательно, полуволновой резонатор должен быть длиной $l_0 = 71,5 \text{ мм}$.

Для того, чтобы проектируемый пьезокерамический преобразователь работал на резонансной частоте 35,0 кГц, необходимо к двум пьезокерамическим кольцам PZT с двух сторон присоединить металлические наконечники заданной длины. Для определения длины наконечников примем: толщину l_c кольца PZT4 равной 4 мм.; модули Юнга $Y = 20,4 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$ для стали и $Y^E = 6,3 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$ для PZT4. С учетом, что площадь поперечного сечения керамического кольца равна площади поперечного сечения стального наконечника и принимая длины наконечников эквивалентными, получим:

$$L = 4 \cdot \frac{1 \cdot 20,4 \cdot 10^{10}}{1 \cdot 6,3 \cdot 10^{10}} = 12,95 \text{ мм.}$$

Смещение этой длины по стальному стержню от первоначального стержня составляет $2l_1 = l_0 - L = 71,5 - 12,95 = 58,55 \text{ мм}$. Таким образом, необходимо, чтобы металлические наконечники преобразователя имели общую длину, равную 58,55 мм. Тогда расчетная длина преобразователя с резонансной частотой колебаний 35,0 кГц равна:

$$l_1 + l_2 + 2l_c = 58,55 + 2 \cdot 4 = 66,55 \text{ мм.}$$

Длину преобразователя необходимо брать больше расчетной так, чтобы его резонансная частота была немного ниже, чем 35,0 кГц. Резонанс достигается экспериментально, может постепенно достигаться подрезанием обеих поверхностей металлических наконечников, пока его резонансная частота не будет в пределах одного или двух процентов рабочей частоты.

Список использованных источников

1. Панов, А. П. Ультразвуковая очистка прецизионных деталей / А. П. Панов. – Москва : – Машиностроение, 1984. – 88 с.
2. А.с. № 450599 (СССР).
3. Morgan Matroc Limited, Transducer Products Division, Technical Publication TP-235, The design of piezoelectric sandwich transducers. Стр.132-133.

УДК 537.322

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

Студ. Ижохина Е.Д., студ. Дегтерева О.С., доц. Жидкевич В.И.

УО «Витебский государственный университет им. П.М. Машерова»

Студ. Петрова-Буркина О.А., доц. Рубаник В.В., доц. Рубаник В.В. мл.

УО «Витебский государственный технологический университет»

Термоэлектрические явления имеют большое значение для выяснения механизма целого ряда процессов, протекающих в полупроводниках и металлах. К классическим термоэлектрическим явлениям на границе раздела между различными металлами относятся

эффекты Пельтье, Зеебека, Томсона. Несмотря на то, что они хорошо изучены, им по-прежнему уделяется большое внимание, потому что они находят широкое практическое применение в различных областях техники.

Эффект Зеебека состоит в том, что в электрической цепи, составленной из разных проводников, возникает термоэдс, если места контактов поддерживаются при разных температурах [1]. Если цепь замкнута, то в ней течет электрический ток, причем изменение знака у разности температур спаев сопровождается изменением направления термотока. С помощью явления Зеебека, помимо температуры, можно определять физические величины, измерение которых может быть сведено к измерению температур: силы переменного тока, потока лучистой энергии, давления газа и т. д. Для увеличения чувствительности термоэлементы соединяют последовательно в термобатареи. При этом все четные спаи поддерживаются при одной температуре, а все нечетные – при другой. ЭДС такой батареи равна сумме термоэдс отдельных элементов.

Эффект Пельтье заключается в том, что при пропускании тока через термопару, ее спай поглощает или выделяет тепло в зависимости от направления тока [1]. Явление применяется для поддержания требуемой температуры воздуха в замкнутом объеме. В термоэлектрических холодильниках, обычно небольшого объема, во внутреннем пространстве размещаются охлаждающиеся спаи, а снаружи – нагревающиеся. Использование явления Пельтье для отопления предполагает размещение нагревающихся спаев в помещении, а охлаждающихся – снаружи здания. Необходимо только, чтобы наружный воздух был теплее находящегося в нем спаев, а воздух в помещении холоднее спаев нагревающихся. Тогда непрерывное охлаждение горячей стороны батареи будет непрерывно компенсироваться притоком энергии, отбираемой холодной стороной батареи от окружающего воздуха.

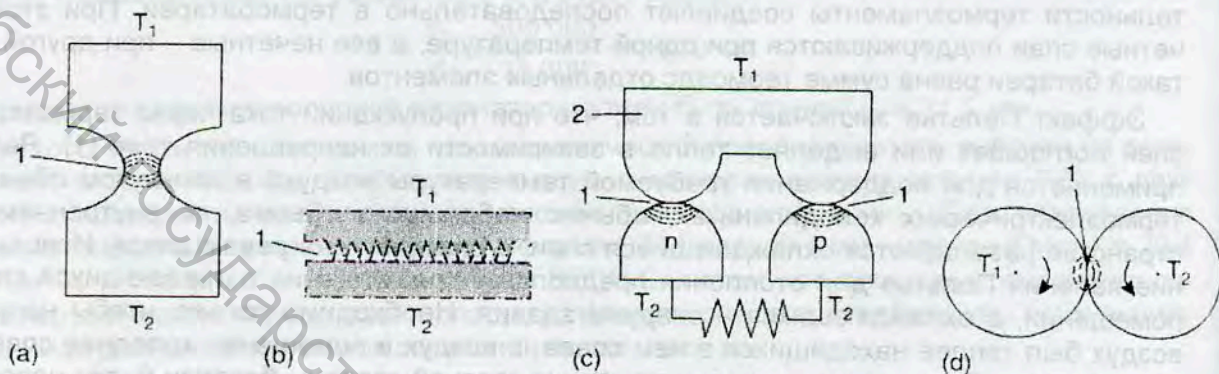
Эффект Томсона заключается в том, что в однородном неравномерно нагретом проводнике с постоянным током наряду с Джоулевым теплом выделяется или поглощается дополнительное тепло в зависимости от направления тока [1]. Эффект Томсона самостоятельного использования в технике не имеет ввиду малости соответствующих потоков тепла, однако его следует учитывать при расчетах термоэлектрических устройств, в особенности прецизионных термодатчиков.

Наряду с классическими термоэлектрическими явлениями возможны и термоэлектрические явления в однородных металлических образцах. К таким, например, относится эффект Бенедикса [2]; возникновение устойчивой во времени электродвижущей силы при локальном нагреве неоднородно деформированного металла [3]; возникновение ЭДС при нестационарном нагревании однородного металлического участка разомкнутой электрической цепи, вызванной движением границы раздела фаз в материале, названной термокинетической [4].

Первые исследования термоэлектрических характеристик однородных металлических проводников были представлены С. Бенедиксом в 1919 году [2]. Эффект Бенедикса заключается в том, что в замкнутой цепи, состоящей из одного однородного материала, в случае асимметричного распределения температуры вдоль проводника возникает термоэдс. Было установлено, что при наличии резкого перепада температур термоэдс пропорциональна третьей степени градиента температуры. Это явление получило название «однородного термоэлектрического эффекта третьей степени», или первый эффект Бенедикса. Появление этой ЭДС связывают с возникновением неравновесной концентрации носителей заряда в областях резкого перепада температур, т. е. носители тока диффундируют из области с высокой температурой в область с более низкой. При этом эффект Бенедикса возникает, если градиент температуры достаточно велик, так что происходит заметное изменение концентрации носителей на расстояниях меньше, чем их длина диффузии. ЭДС Бенедикса мала по сравнению с обычной термоэдс (100 мкВ) и быстро растет с увеличением градиента температуры.

Широкого практического применения в настоящее время эффект Бенедикса не получил, однако большие градиенты температур меняют все свойства материала. Нагревание носителей под влиянием больших градиентов температуры приводит к множеству новых

эффектов переноса: три механизма несоответствия электронной и фононной температур; тепловые аналоги эффектов Джоуля и Пельтье; аномальные и обратные термоэлектрические эффекты; число анизотропных эффектов и т. д. При больших градиентах температур роль термоэлектрической добротности выполняет новый параметр, который является функцией градиента температуры. Ряд патентов описывают структуру устройства термопары с использованием большого градиента температуры (рисунок). В некоторых из них градиент температуры достигнут до $4,2 \times 10^8$ К/см, а использование таких устройств позволяет получить значения КПД, близкого к КПД цикла Карно [5].



Рисунок— Модели термоэлементов с большим градиентом температуры:

- 1 — область большого градиента температур; а — элемент с поперечным сужением; б — элемент с областями давления; с — термопара с соединительной пластиной; 2 — градиент температуры в областях контакта; d — вращающиеся диски с различными температурами

При нестационарном нагревании однородного металлического участка разомкнутой электрической цепи в ней может индуцироваться ЭДС, названная термокинетической, а при замыкании цепи — протекать электрический ток. При изменении направления перемещения на противоположное полярность ЭДС изменяется, и наблюдаются гистерезисные явления [4]. Данное явление было обнаружено в однородных вольфрамовой пленке, железной проволоке, а также наблюдается в сплавах с эффектом памяти формы [3]. Основными условиями возникновения термокинетической ЭДС являются:

1. Наличие зависящей от температуры контактной разности потенциалов между фазами с объемно-центрированной кубической (ОЦК) и гранецентрированной кубической (ГЦК) кристаллическими решетками ненагретых и нагретого участков проволоки, соответственно.
2. Наличие перепада температуры между передней и задней по движению границами ГЦК-фазы. Перепад вызван двумя причинами. Во-первых, из-за инерционности процесса рекристаллизации область существования ГЦК-фазы не полностью совпадает с нагретой областью, а несколько отстает от нее в процессе движения. В результате этого запаздывания температура на передней границе ГЦК-железа всегда выше, чем на задней. Во-вторых, тепловые эффекты, сопровождающие процесс фазового перехода на границах, взаимно противоположны: превращение ОЦК→ГЦК на передней границе — эндотермическое, а превращение ГЦК→ОЦК на задней границе — экзотермическое.
3. Наличие переноса ЭДС, индуцированной транспортированием некомпенсированных элементарных электрических зарядов e , распределенных в нагретом участке.

В однородном проводнике также наблюдается явление устойчивой во времени ЭДС и при локальном нагреве неоднородно деформированного металла [3]. Причем знак и величина ЭДС зависят от расположения нагреваемого участка по отношению к месту деформации. Природа этого явления окончательно не изучена.

Список использованных источников

1. Сивухин, С. Д. Общий курс физики : в 5 т. / С. Д. Сивухин. – 4-е изд. – Москва : Наука, 1977. – Т.3: Электричество. – 656 с.
2. Benedicks, C. Tetziger Stand grundlegenden Keuntrisse der Thermoelektrizität / C. Benedicks // Erg. Exact. Naturwiss. – 1929. – Bd. 8. – P. 26-67.
3. Шушкевич, В. Л. Термоэлектронные явления в TiNi / В. Л. Шушкевич, В.В. Рубаник, В.В. Рубаник мл. // Актуальные проблемы прочности : сборник материалов XLIII международной конференции, Витебск, 27 сент. – 1 окт. 2004 г.: в 2 ч. – Витебск, 2004. – Ч.1. – С. 345-346.
4. Фурмаков, Е. Ф. Электрический ток, вызванный движением поверхности раздела фаз в металле / Е.Ф. Фурмаков // Фундаментальные проблемы естествознания. – Санкт-Петербург, 1999. – Т. 1, вып. 21. – С. 377-378.
5. Anatychuk, L.I. Thermoelectric Phenomena under Large Temperature Gradients / L.I. Anatychuk, L.P. Bulat // Thermoelectrics Handbook: Macro to Nano-Structured Materials / D.M. Rowe; editor by D.M. Rowe. – CRC Press: New York, London, Tokyo, 2005. – Chapter 3. – С. 3-1–3-11.

УДК 577.352

**МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕМБРАННОГО ПОТЕНЦИАЛА
КЛЕТКИ В ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ
«ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА»**

Студ. Булах А.В., доц. Маркова Л.В.

УО «Витебский государственный университет им. П.М.Машерова»

Студ. Шилин К.А.

УО «Витебский государственный медицинский университет»

Программа «Электрогенез в клетках» создана для лабораторного практикума по курсу «Физиология человека и животных» в УО «ВГУ им. П.М. Машерова» и используется студентами биологического факультета для детального изучения генерации мембранного потенциала.

С помощью данной программы можно оценивать влияние каждого параметра рассматриваемой модели (концентрация ионов, проницаемость мембраны, работа $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATФазы}$) на генерацию потенциала).

Изучение механизма возникновения клеточных потенциалов стало возможным, прежде всего, благодаря применению методов клеточной электрофизиологии, в развитии которых важную роль сыграли, во-первых, разработка техники микроэлектродных отведений, во-вторых, создание специальных усилителей биопотенциалов, в-третьих, выбор удачных объектов исследования, начиная с аксона кальмара и кончая разнообразными модельными мембранами. Использование результатов электрофизиологических опытов в сочетании с физическим и математическим моделированием транспортных процессов лежит в основе современных теорий электрогенеза в клетках.

Первая рассматриваемая модель описывается уравнением Нернста–Планка и может быть применена к изучению диффузионного потенциала, формирующегося в системе электролитов типа «1:1», диссоциирующего на катион и анион. Тогда диффузионный потенциал является разностью потенциалов, возникающей в системе, находящейся в стационарном состоянии, между растворами электролитов с концентрациями C_1 и C_2 . При отсутствии электрического тока должно выполняться следующее соотношение для потоков катионов и анионов в единицу времени:

$$J_+ = J_-$$

где J_+ , J_- – плотности потоков катионов и анионов.