РАБОТА 2.01
ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕТАЛЛА

Задача

1. Измерить электрическое сопротивление металлического образца в диапазоне температур от комнатной до 100°С.
2. По результатам п.1 вычислить температурный коэффициент сопротивления металла.
3. Для одной из температур вычислить удельное сопротивление металлического образца.

Введение

Электрический ток есть направленное движение заряженных частиц - свободных носителей заряда. Без внешнего электрического поля эти носители совершают беспорядочное тепловое движение. Средний модуль скорости теплового движения электронов при комнатных температурах порядка 10^5 м/с. Внешнее электрическое поле действует на носитель заряда силой

$$\vec{F} = \vec{E} \cdot q, \tag{1}$$

где $\vec{E}$ - напряженность поля, q - заряд носителя. Таким образом, внешнее поле создает направленное движение носителей заряда - электрический ток с плотностью тока

$$\vec{j} = n \cdot q \cdot \vec{u} \ . \tag{2}$$

Здесь n - концентрация носителей заряда; $\vec{u} = (\vec{v})$ - направленная (дрейфовая) скорость носителей. Если ток практически создается одним типом носителей (например, электронами), формула (2) дает полную плотность тока в испытуемом образце.

В кристаллах (и еще в ряде сред) носители заряда претерпевают частые столкновения с другими частицами. Это ведет к двум важным следствиям: дрейфовая скорость носителей много меньше средней скорости их теплового движения (u << v) и пропорциональна силе $\vec{F}$, а следовательно и напряженности поля

$$\vec{u} = \mu \cdot \vec{E} \ . \tag{3}$$

Величину μ называют подвижностью носителей заряда. Пропорциональной напряженности поля оказывается и плотность тока: из (2) и (3) следует

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E}, \tag{4}$$

где

$$\sigma = q \cdot n \cdot \mu \tag{5}$$

есть параметр конкретного материала - его удельная проводимость. Обратную величину ρ = 1/σ называют удельным сопротивлением. Соотношение (4) представляет собой дифференциальную (векторную) форму закона Ома.

Зависимость проводимости от температуры существенно различна для металлов и полупроводников. В металлах [3, с. 193-196] практически все валентные электроны свободны - не связаны с каким либо конкретным атомом. Поэтому температура не может заметно изменить концентрации свободных носителей n; изменение проводимости определяется температурной зависимостью подвижности электронов; $\sigma_м \sim \mu$.

Подвижность тем больше, чем реже столкновения носителей со всякого рода дефектами кристаллической решетки. Таковыми являются атомы примеси, отклонения от идеального регулярного расположения атомов в узлах решетки за счет, например, тепловых колебаний и пр. Увеличение с ростом температуры интенсивности тепловых колебаний атомов и беспорядочной скорости электронов увеличивает частоту столкновений между ними. Это ведет к уменьшению подвижности носителей заряда.

Для не слишком больших интервалов температуры (и не слишком низких температур) удельное сопротивление металлов удовлетворительно описывается линейной зависимостью

$$\rho_м = \rho_o (1 + \alpha \cdot t) \ . \tag{7}$$

Здесь ρ_o - удельное сопротивление при температуре 0°С; α - температурный коэффициент сопротивления. Естественно, так же зависит от температуры и сопротивление любого однородного металлического образца, если весь он имеет эту температуру

$$R_м = R_o (1 + \alpha \cdot t) \quad . \tag{7}$$

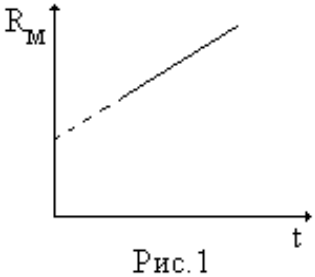

Рис.1

Такая зависимость показана на рис. 1. По опытным данным из формулы (7) легко найти температурный коэффициент сопротивления металла

$$\alpha = \frac{1}{R_o} \cdot \frac{\Delta R}{\Delta t}. \qquad (8)$$

R_o - определяют прямым косвенным измерением или экстраполяцией (продлением) линейной зависимости $R = R(t)$ к температуре $t=0^oC$.

В этой работе образцами служат медная и платиновая проволоки. Сопротивление таких образцов описываются формулой

$$R = \rho \frac{\ell}{S}, \qquad (9)$$

где ℓ - длина образца, S - площадь его поперечного сечения. Измерив R, можно вычислить для каждого из исследуемых материалов удельное сопротивление ρ при любой из использованных температур.

Установка

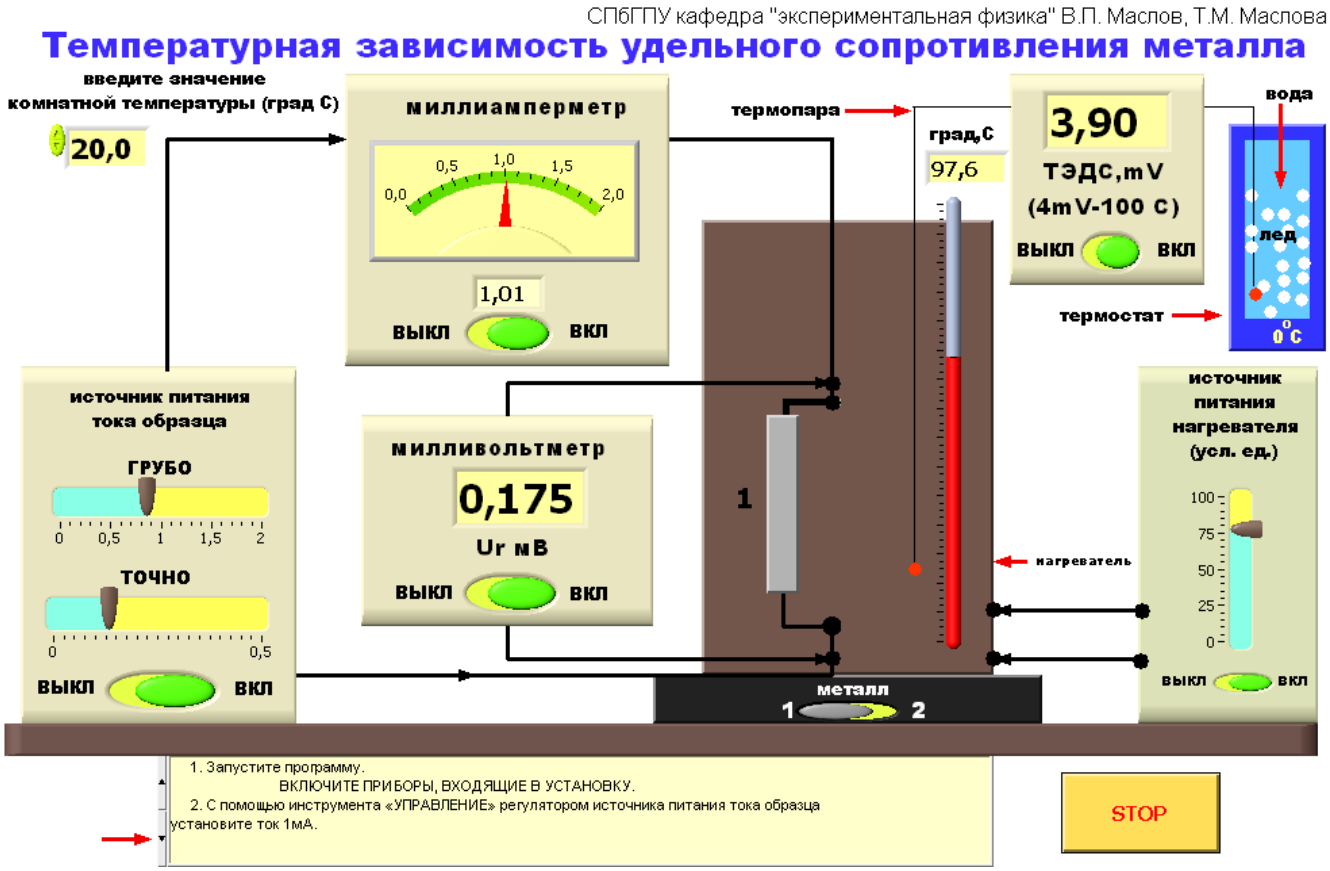

Рис.2

Установка для измерения температурной зависимости удельного сопротивления металла в статическом режиме показана на рис.2

В работе исследуют металлическую проволоку диаметром d и длиной h. Для измерения температуры используется термопара (медь-константан). Образец (металл) и измерители температуры (термопара и термометр) помещены в нагреватель. «Холодный» конец термопары находится в термостате при 0^oC. Регулирование мощности нагревателя осуществляется источником питания нагревателя. Падение напряжения на образце измеряется милливольтметром. Ток через образец задается источником питания и контролируется миллиамперметром. Металл выбирается переключателем «металл 1-2».

Измерения и обработка результатов

1. Используя инструмент «УПРАВЛЕНИЕ» введите значение комнатной температуры, выберите тип металла «1» или «2» и запустите программу.
2. С помощью инструмента «УПРАВЛЕНИЕ» регулятором источника питания установите ток через образец (рекомендуемое значение 1 ma).

3. Изменяйте мощность нагревателя, регулируя напряжение на источнике питания нагревателя. Результаты измерений заносите в таблицу 1.

Таблица 1

Номер измерения	U_R mB	$R_м$ Ом	t, ^oC	T,K
1				
...				
20				

4. Проведите необходимые вычисления и заполните все графы таблицы 1.
5. Постройте график зависимости $R_м = R_м(t)$.
6. Графической экстраполяцией зависимости $R_м = R_м(t)$ к $t = 0^oC$ найдите R_o.
7. Методом парных точек вычислите температурный коэффициент сопротивления металла по формуле $\alpha = \frac{1}{R_o} \cdot \frac{\Delta R}{\Delta t}$ и погрешность его измерения. Промежуточные вычисления записывайте в таблицу 2.

Таблица 2

Пары точек i j	$R_{м\,i} - R_{м\,j}$ Ом	$t_i - t_j$ град	$\alpha_{i\,j}$ град$^{-1}$	$\alpha_{i\,j} - \langle\alpha\rangle$ град$^{-1}$	$(\alpha_{i\,j} - \langle\alpha\rangle)^2$ град$^{-2}$
...					
			$\langle\alpha\rangle =$		

8. По результатам измерений вычислите удельное сопротивление металла.

Литература

1. Электричество и магнетизм (методические указания к лабораторным работам). СПбГТУ, 1997
2. Обработка экспериментальных результатов (методические указания к лабораторным работам). СПбГТУ, 1998.
3. Савельев И.В. Курс общей физии. Т.2, М., Наука,1982