

## Тема 2.1 «Электропроводность проводниковых материалов»

Электрическим свойством проводниковых материалов является 1 электропроводность – способность материала проводить электрический ток. К основным электрическим параметрам относят: удельное электрическое сопротивление, удельную электрическую проводимость, температурный коэффициент удельного сопротивления и коэффициент теплопроводности.

2 Удельное электрическое сопротивление для образцов правильной формы:

$$\rho = R \frac{S}{l}, \quad (2.1)$$

где  $R$  – сопротивление образца, Ом;  $S$  – площадь поперечного сечения образца, м<sup>2</sup>;  $l$  – длина образца, м.

С точки зрения электронной теории твердого тела:

$$\rho = \frac{1}{ne\mu}, \quad (2.2)$$

где  $n$  – концентрация электронов, м<sup>-3</sup>;  $e$  – заряд электрона, Кл;  $\mu$  – подвижность электронов, м<sup>2</sup>/В·с.

Величину  $\rho$  измеряют в Ом·м, однако для практических целей 1 Ом·м слишком большое значение, поэтому этот параметр чаще всего выражают в более мелких единицах, например в микроомах на метр. Диапазон значений  $\rho$  металлических проводников (при нормальной температуре) от 0,016 для серебра до 10 мкОм·м для некоторых сплавов.

Значения  $\rho$  металлов в нормальных условиях отличаются друг от друга примерно в 100 раз.

**3 Сопротивление проводников  $R_s$**  на высоких частотах существенно больше их сопротивления на постоянном токе вследствие того, что высокочастотное поле проникает в проводник на небольшую глубину. Чем выше частота поля, тем на меньшую глубину оно проникает в проводник. Это явление получило название *поверхностного эффекта*. За глубину проникновения тока в проводник на данной частоте условно принимают глубину, на которой плотность тока уменьшается в 2,7 раза по сравнению с ее значением на поверхности проводника.

**4 Величину, обратную удельному электрическому сопротивлению  $\rho$ , называют удельной электрической проводимостью (См/м):**

$$\gamma = \frac{1}{\rho}, \quad (2.3)$$

**5 Удельное электрическое сопротивление металлов зависит от температуры.** Эта зависимость определяется *температурным коэффициентом удельного электрического сопротивления* ( $K^{-1}$ ), который при данной температуре вычисляют по формуле:

$$TK\rho = \frac{1}{\rho_0} \frac{\Delta\rho}{\Delta T}, \quad (2.4)$$

где  $\Delta\rho$  - элементарное приращение сопротивления проводника, соответствующее элементарному приращению температуры  $\Delta T$ .

Кривая изменения удельного сопротивления металлического проводника в зависимости от температуры представлена на рисунке 2.1

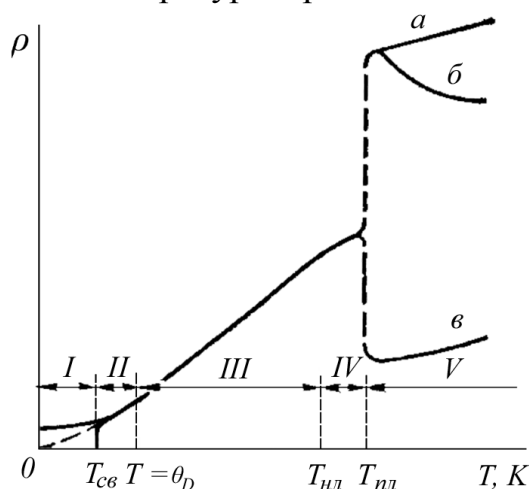


Рисунок 2.1 – Зависимость удельного сопротивления металлического проводника от температуры в широком диапазоне температур:  
*а, б, в* – варианты изменения удельного сопротивления у различных расплавленных металлов

В узкой области *I*, составляющей несколько градусов Кельвина, у ряда металлов может наступить состояние сверхпроводимости и на рисунке виден скачок удельного сопротивления при температуре  $T_{св}$ . У чистых металлов совершенной структуры при стремлении температуры к 0 К удельное сопротивление также стремится к 0 (пунктирная кривая), а длина свободного пробега устремляется в бесконечность. Даже при обычных температурах длина свободного пробега электронов в металлах в сотни раз превышает расстояние между атомами.

Средняя длина свободного пробега электронов при 0°С для ряда металлов ( $\bar{l} \cdot 10^{10}$ , м)

Li	Cu
110	420
Na	Ag
350	570
K	Au
370	410
Ni	Fe
113	220

В пределах переходной области *II* наблюдается быстрый рост удельного сопротивления  $\rho \sim T^n$ , где  $n$  может быть до 5 и постепенно убывает с ростом температуры  $\sim$  до 1 при  $T = \theta_D$  ( $\theta_D$  – температура Дебая определяет максимальную частоту тепловых колебаний).

Линейный участок (область *III*) в температурной зависимости  $\rho(T)$  у большинства металлов простирается до температур, близких к точке плавления. Исключение из этого правила составляют ферромагнитные металлы, в которых имеет место дополнительное рассеяние электронов на нарушениях спинового порядка. Вблизи точки плавления, т.е. области *IV*, начало которой отмечено на рисунок 1 температурой  $T_{пл}$ , и в обычных металлах может наблюдаться некоторое отступление от линейной зависимости.

При переходе из твердого состояния в жидкое у большинства металлов наблюдается увеличение удельного сопротивления приблизительно 1,5 – 2 раза, хотя имеются и необычные случаи: у веществ со сложной кристаллической структурой, подобных висмуту и галлию, плавление сопровождается уменьшением  $\rho$ .

Эксперимент выявляет следующую закономерность: если плавление металла сопровождается увеличением объема, то удельное сопротивление скачкообразно возрастает; у металлов с противоположным изменением объема происходит понижение  $\rho$ .

#### **Контрольные вопросы:**

- 1 Что такое электропроводность?
- 2 Назовите основные электрические параметры.
- 3 Что называют удельным сопротивлением проводника?
- 4 Какие факторы влияют на удельное сопротивление проводника?