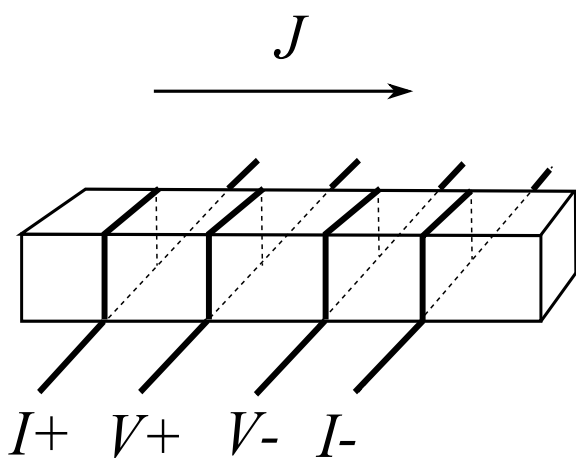


VARIACIÓN CON LA TEMPERATURA DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA DE VARIOS TIPOS DE MATERIALES

Introducción

Esta práctica vamos a medir experimentalmente la resistencia eléctrica en función de la temperatura de tres materiales típicos que se comportan de manera muy diferente en el rango de temperaturas de 77 K (punto de ebullición del nitrógeno) y la temperatura ambiente. El primero es un metal: Cobre, el segundo un semiconductor : InSb y el tercero un superconductor de alta temperatura crítica: $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$. Se trata de medir la resistencia e interpretar los resultados a la luz de la teoría expuesta en los capítulos correspondientes de textos de Física del Estado Sólido.



Dispositivo experimental

Ver figura. Se dispone de una barra de unos 2 cm de largo apoyada sobre 4 electrodos metálicos, que son los contactos eléctricos entre el material y el sistema electrónico de medida. Los contactos entre el material y los electrodos se realizan con pintura de plata, que es una emulsión que deja un depósito de plata metálica y buena conductora cuando se evapora el disolvente. Además se rodea completamente la barra con pintura para que la sección de la barra rodeada se equipotencial. La corriente se entra y sale por los contactos exteriores y los contactos interiores, por los que no circula corriente, sirven para medir la diferencia de potencial, con lo que dividiendo se obtendrá la resistencia entre los dos contactos interiores. Este montaje de **medida por 4 puntos** se emplea para no tener que tener en cuenta la resistencia de los cables de medida, que en este caso no es despreciable.

La corriente se entra y sale por los contactos exteriores y los contactos interiores, por los que no circula corriente, sirven para medir la diferencia de potencial, con lo que dividiendo se obtendrá la resistencia entre los dos contactos interiores. Este montaje de **medida por 4 puntos** se emplea para no tener que tener en cuenta la resistencia de los cables de medida, que en este caso no es despreciable.

Todo está en montado sobre una placa y lleva adosado también un termopar que sirve para medir la temperatura, suponiendo que el otro extremo está a 20° C. Hay una caja electrónica que se encarga de aplicar la corriente y medir el voltaje en los electrodos y en el termopar. La caja electrónica está controlada por ordenador mediante un programa de control y adquisición de datos realizado en el entorno LABVIEW. Dicho programa se encarga de alimentar los terminales de intensidad, medir el voltaje entre los de voltaje y el voltaje en el termopar, cada cierto tiempo (del orden de 1 s), calcular la resistencia y determinar la temperatura a partir del voltaje del termopar y representar gráficamente la resistencia y la temperatura. El manejo del programa es muy intuitivo y no hay más que seguir las indicaciones que aparecen en la pantalla del ordenador.

El procedimiento de medida es sumergir la placa en nitrógeno líquido ($T = 77 \text{ K}$), el nitrógeno comenzará a evaporarse rápidamente mientras esté en contacto con la placa, mucho más caliente. Cuando el nitrógeno deje de evaporarse demasiado ostensiblemente es que se ha alcanzado la temperatura de 77 K. Ahora hay que poner el programa en marcha y extraer la

placa del nitrógeno. Conforme la temperatura va subiendo, hasta unos 280 K, el programa va midiendo, representando y guardando en fichero los datos obtenidos que son tres columnas: tiempo, temperatura y resistencia. Para medir enfriando se pone en marcha el programa cuando la barra está a temperatura ambiente, se pone en contacto térmico con el nitrógeno líquido y se mide temperatura y resistencia mientras se va enfriando. En ambos casos la palca se rodea de un aislante térmico para evitar que se caliente o enfríe demasiado rápidamente.

Medidas: Distancia entre contactos internos: 0.25 cm. Anchura, cobre: 0.07 mm, altura: 0.08 mm

Resultados.

La práctica consiste en realizar las mediciones, interpretar los resultados, hacer los ajustes necesarios, obtener los parámetros característicos de cada material y compararlos con datos de literatura (libros o internet). Es por tanto trabajo del alumno, pero se dan algunas indicaciones orientativas.

La densidad de corriente es la densidad de carga por la velocidad media de los portadores de la misma: $J = ne\langle v \rangle$, por lo que la conductividad es $\sigma = J/E = ne\langle v \rangle/E = ne\mu$, donde $\mu = \langle v \rangle/E$ se llama movilidad y n es el número de portadores por metro cúbico con carga $+e$ o $-e$ según sean electrones o huecos. Así pues la conductividad depende de dos factores: el número de portadores y su movilidad.

En los **metales** los portadores son electrones y su número no varía (*¿cuántos son para el cobre?*). Lo que decide la conductividad es su movilidad. La velocidad media se debe a que los portadores son acelerados por el campo eléctrico hasta que chocan con una impureza, un defecto de la red cristalina o un fonón, donde pierden toda o parte de su energía cinética y vuelta a ser acelerados hasta un nuevo choque. La velocidad media depende pues del tiempo entre colisiones. La resistividad es esencialmente la suma de un efecto de los choques con impurezas o defectos, cuyo número no depende de la temperatura (hasta temperaturas mucho más altas de las de esta práctica) y de los choques con fonones, cuyo número, en el rango de temperaturas de esta práctica es proporcional a T (*explicar por qué*). Así pues la resistividad depende no sólo de la composición química del material sino también de las impurezas y de los defectos de la red. Sin embargo la derivada respecto de T de la resistividad no debe depender más que del número de fonones, que a su vez no depende de impurezas ni defectos y coincidirá mucho mejor que la propia resistividad con los datos de la literatura.

Para un **semiconductor** hay unos portadores (huecos o electrones) que se deben a la existencia de impurezas (dopado) que aportan electrones o huecos y otros que se deben a la creación de pares electrón-hueco por ocupación térmica de la banda de conducción. Así pues a muy bajas temperaturas las impurezas no están ionizadas de modo que al aumentar la temperatura aumenta el número de portadores conforme se ionizan y la resistencia disminuye con la temperatura. A temperaturas intermedias todas las impurezas están ionizadas pero la ocupación térmica de la banda de conducción por electrones de la de valencia es despreciable. El material se comporta parecido a los metales, pero con mayor resistividad ya que tanto el

número de portadores como su movilidad es bastante menor que en los metales (hasta aquí es el rango extrínseco). A temperaturas más altas (de modo que $E_g/k_B T$ sea del orden de o menor que la unidad, siendo E_g el gap de energía) la cantidad de pares electrón- hueco va siendo cada vez mayor y eso contrarresta con mucho la disminución de la movilidad, hasta que el número de portadores aportados por las impurezas es despreciable frente al de pares creados. En este rango el semiconductor se comporta casi como si no estuviera dopado (rango intrínseco). El cambio de un régimen a otro es gradual, pero bastante acusado. El parámetro más importante y fácil de determinar con datos de resistividad es la energía del gap.

Finalmente en un **superconductor** a bajas temperaturas los portadores son pares de Cooper que no son dispersados y por tanto el material tiene resistencia nula. Sin embargo, según se va calentando, a cierta temperatura crítica T_c el material pasa de estado superconductor a estado normal y se comporta similarmente a un metal. El pase de un comportamiento a otro es una transición de fase de segundo orden de modo que la resistividad cambia repentinamente de cero a un valor no nulo. El parámetro más fácil de determinar es la temperatura crítica.