

PROPIEDADES ELÉCTRICAS Y TÉRMICAS DE LOS MATERIALES

Introducción:

En muchas aplicaciones, el comportamiento eléctrico es más crítico que el comportamiento mecánico.

-Alambre conductor de corriente para largas distancias, requiere alta conductividad, perdiendo poca energía por calentamiento del alambre.

-En aislantes cerámicos se debe impedir la formación de arcos eléctricos entre terminales conductores.

- Semiconductores de alta eficiencia, en la fabricación de celdas solares.

- Materiales dieléctricos usados como capacitores, para almacenar energía eléctrica.

-Los transductores acústicos y de presión, gobernados por su estructura.

En la selección de estos materiales, se debe entender el control de la conductividad eléctrica y la influencia que produce en ella, la estructura del material, su procesamiento y el medioambiente.

PROPIEDADES ELÉCTRICAS Y TÉRMICAS DE LOS MATERIALES

Conceptos básicos:

-Ley de Ohm

$$V = IR \quad (1)$$

$$R = \rho \frac{l}{A} = \frac{l}{\sigma A} \quad (2)$$

Una segunda forma de esta ley:

$$V = IR = \frac{Il}{\sigma A} \quad \text{o bien} \quad \frac{I}{A} = \sigma \frac{V}{l}$$

En donde:

V es el voltaje expresado en volts (V), I es la corriente en amperes (A), R es la resistencia en Ohms (Ω), l es la longitud del conductor, A es el área transversal (m^2), ρ es la resistividad eléctrica (Ωm) y σ es la conductividad eléctrica ($\Omega^{-1}m^{-1}$)

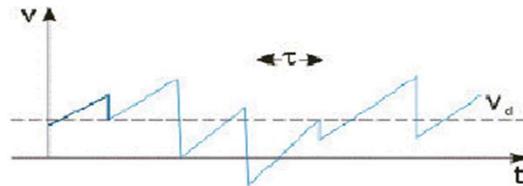
PROPIEDADES ELÉCTRICAS Y TÉRMICAS DE LOS MATERIALES

Propiedades eléctricas

La conductividad de los materiales se define como: $\sigma = \mu q n$

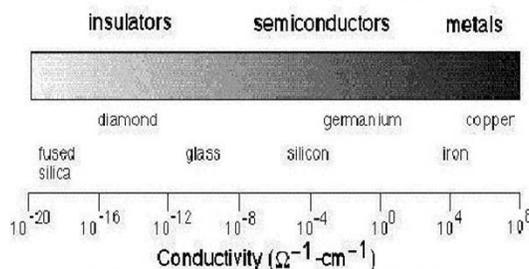
Donde n es el número de portadores de carga, q es la carga de cada portador ($1,6 \times 10^{-19}$ C) y v es la velocidad promedio de desplazamiento (cm / s) a la cual se mueven los portadores. En metales, semiconductores y aislantes, son los electrones y los iones, en los compuestos iónicos.

La movilidad depende del enlace atómico, de las imperfecciones de la red, de la microestructura y las velocidades de difusión (compuestos iónicos).



PROPIEDADES ELÉCTRICAS Y TÉRMICAS DE LOS MATERIALES

Electrical Conductivity



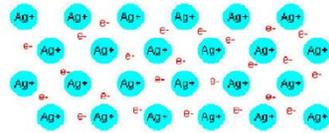
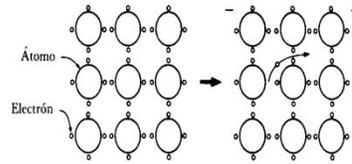
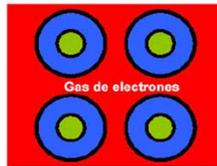
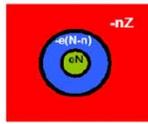
© 1995 by the Division of Chemical Education, Inc., American Chemical Society. Reproduced with permission from Solid-State Resources.

Metales	$\approx 10^7 \Omega^{-1} \text{m}^{-1}$
Semiconductores	$10^{-6} - 10^4 \Omega^{-1} \text{m}^{-1}$
Aislantes	$10^{-10} - 10^{-20} \Omega^{-1} \text{m}^{-1}$

CONDUCTIVIDADES ELÉCTRICAS ($\Omega^{-1} \text{m}^{-1}$)

Plata	$6,8 \times 10^7$
Cobre	$6,0 \times 10^7$
Oro	$4,3 \times 10^7$
Aluminio	$3,8 \times 10^7$
Hierro	$1,0 \times 10^7$
Latón (70% Cu-30% Zn)	$1,6 \times 10^7$
Acero al carbono	$0,6-0,9 \times 10^7$
Acero inoxidable	$0,2 \times 10^7$

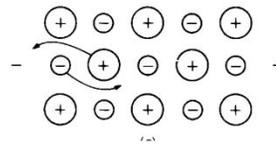
PROPIEDADES ELÉCTRICAS Y TÉRMICAS DE LOS MATERIALES



Semiconductores y aislantes: Los enlaces covalentes deben romperse, para que el electrón se pueda desplazar.

Hipótesis modelo de Drude:

- Los e- están libres, no sienten potenciales dentro del cristal (=metal).
- Los e- son independientes (interacciones e-e son despreciables).
- La población de niveles electrónicos descrita por distribución de Maxwell-Boltzmann.
- Los e- están confinados al metal.



Compuestos iónicos: Los iones completos deben difundirse, para el transporte de cargas.

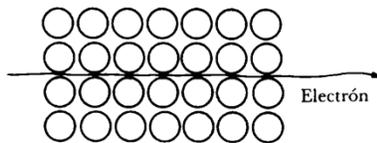
PROPIEDADES ELÉCTRICAS Y TÉRMICAS DE LOS MATERIALES

Control de la conductividad en los metales

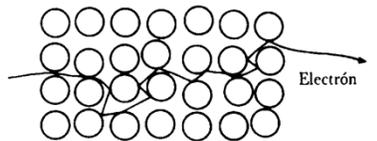
Efecto de la temperatura: Cuando se eleva la temperatura de un metal, la energía térmica provoca la vibración de los átomos, aumentando la resistividad.

ρ_r es la resistividad a 25 °C, ΔT es la diferencia entre la temperatura de interés y la temperatura ambiente y α es el coeficiente térmico de resistividad.

$$\rho = \rho_r (1 + \alpha \Delta T)$$



Cristal perfecto



Cristal calentado a alta temperatura

TABLA 14-2 Coeficiente térmico de resistividad para algunos metales

Metal	Resistividad a la temperatura ambiente ($\times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$)	Coefficiente térmico de resistividad ($\Omega \cdot \text{cm}/^{\circ}\text{C}$)
Be	4.0	0.0250
Mg	4.45	0.0165
Ca	3.91	0.0042
Al	2.65	0.0043
Cr	12.90	0.0030
Fe	9.71	0.0065
Co	6.24	0.0060
Ni	6.84	0.0069
Cu	1.67	0.0068
Ag	1.59	0.0041
Au	2.35	0.0040

Propiedades Eléctricas: Conductividad. Aislantes

Características requeridas:

- Elevada resistividad eléctrica ($\rho \geq 10^{12} \Omega \text{cm}$) y resist. dieléctrica ($DS \geq 5.0$ kV/mm)
- Constante dieléctrica pequeña ($k' \leq 30$)
- Libre de impurezas, estabilidad química
- Elevada conductividad térmica (disipación del calor)
- Resistencia mecánica
- Protección ambiental (resistente a cambios de humedad y temperatura)

Clasificación:

- **Vidrios** (silicatos, boratos, fosfatos, germanatos) Tg ($^{\circ}\text{C}$), α (K^{-1}) importantes
 - **Porcelanas** ($\geq 10\%$ glass)
 - Triaxial 40-60wt% Kaolinita + 20-35wt% feldespato + 20-30wt% SiO_2
 - No-feldespáticas: esteatitas, forsteritas, cordieritas, espinelas, mullitas
 - **Cerámicas densas**: óxidos: (Al_2O_3 , BeO, ZrO_2 ...) no óxidos (AlN, BN,...)
- Cuando se requieren elevadas propiedades dieléctricas hay que minimizar la cantidad de fase vítrea

TALLER PROPIEDADES ELÉCTRICAS

Se desea diseñar una aleación de cobre y aluminio puro comercial, que tenga una conductividad eléctrica de $4,2 \times 10^7 (\Omega \text{m})^{-1}$. Qué % de Aluminio y de Cobre debe tener esta aleación?. Dibuje un gráfico que represente el comportamiento de la conductividad (σ) v/s % de Cobre y Aluminio.-

Datos:

$$\sigma_{\text{Cobre}} = 5,8 \times 10^7 (\Omega \text{m})^{-1}$$

$$\sigma_{\text{Aluminio}} = 3,4 \times 10^7 (\Omega \text{m})^{-1}$$

$$\sigma_{\text{Aleación}} = f(\text{cobre}) \times \sigma(\text{cobre}) + f(\text{aluminio}) \times \sigma(\text{aluminio})$$

PROPIEDADES ELÉCTRICAS Y TÉRMICAS DE LOS MATERIALES

PROPIEDADES TÉRMICAS

La vibración atómica dentro del material (fonones) influyen en las propiedades térmicas: Capacidad térmica, conductividad térmica y la dilatación térmica.

Definiciones:

Capacidad Térmica Molar: Energía requerida para hacer variar en un grado la temperatura de un mol del material.

$$C_p = 3R = 6 \text{ cal/molK}$$

No es una constante!!!

Calor específico (C): Es la energía necesaria para hacer variar en un grado la temperatura de la unidad de masa del material.

$$c = \frac{C_p}{\text{Masa Molar}}$$

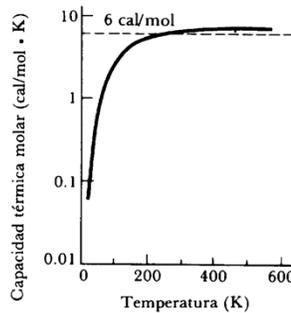


TABLA 15-7 Calor específico (o caloridad) de algunos materiales a 27°C

Material	Calor específico (cal/g · K)
Al	0.215
Cu	0.092
Fe	0.106
Pb	0.038
Mg	0.243
Ni	0.106
Ti	0.125
W	0.032
Agua	1.0
N	0.249
Polímeros	0.20-0.35
Diamante	0.124

Metales

PROPIEDADES ELÉCTRICAS Y TÉRMICAS DE LOS MATERIALES

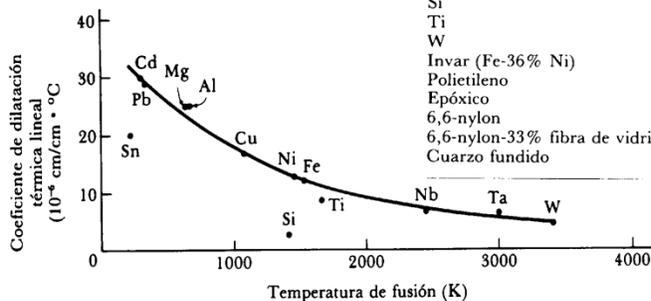
Dilatación térmica: El cambio de las dimensiones del material, ΔL por unidad de longitud, está dado por el coeficiente de dilatación térmica lineal α , en donde:

$$\alpha = \Delta L / (L \Delta T)$$

ΔT es el incremento de temperatura (Kelvin) y L es la longitud inicial del material.

TABLA 15-8 Coeficiente de dilatación térmica lineal a temperatura ambiente para algunos materiales

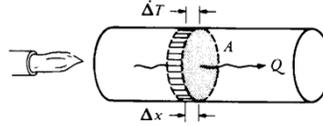
Material	Coeficiente de dilatación lineal ($\times 10^{-6} \text{ cm/cm} \cdot ^\circ\text{C}$)
Al	25
Cu	16.6
Fe	12
Pb	29
Mg	25
Ni	13
Si	3
Ti	8.5
W	4.5
Invar (Fe-36% Ni)	1.54
Polietileno	100
Epóxico	55
6,6-nylon	80
6,6-nylon-33% fibra de vidrio	20
Cuarzo fundido	0.55



PROPIEDADES ELÉCTRICAS Y TÉRMICAS DE LOS MATERIALES

Conductividad Térmica K , es una medida de la intensidad a la que el calor se transmite a través del material.

$$\frac{Q}{A} = K \frac{\Delta T}{\Delta x}$$



Q = calor transmitido a través de una sección A por segundo, cuando existe un gradiente de temperatura $\Delta T/\Delta x$

Conductividad Térmica en los metales: Las contribuciones electrónicas son importantes y los defectos de la red.

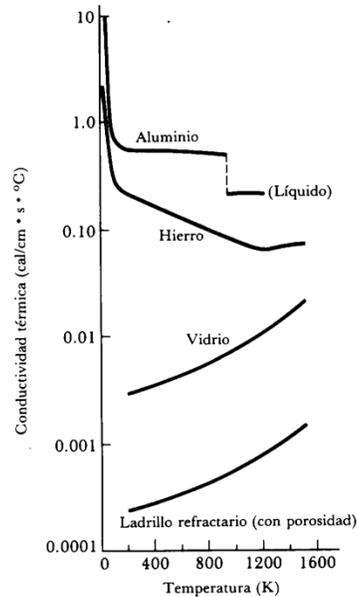
Conductividad Térmica en las cerámicas y aislantes: Las vibraciones de la red (fonones) son responsables de la transferencia de calor.

Conductividad Térmica en los Semiconductores: Se conduce el calor tanto por los electrones como por los fonones.

PROPIEDADES ELÉCTRICAS Y TÉRMICAS DE LOS MATERIALES

TABLA 15-9 La conductividad térmica de algunos materiales a 27°C

Material	Conductividad térmica (cal/cm · s · K)	Material	Conductividad térmica (cal/cm · s · K)
Al	0.57	Hierro gris	0.19
Cu	0.96	Aleación de aluminio 3003	0.67
Fe	0.19	Latón amarillo	0.53
Mg	0.24	Cu-30% Ni	0.12
Pb	0.084	Ar	0.000043
Si	0.36	Carbono (grafito)	0.80
Ti	0.052	Carbono (diamante)	5.54
W	0.41	Vidrio de carbonato de calcio	0.0023
Zn	0.28	Sílice vítrea	0.0032
Zr	0.054	Vidrio Vycor	0.0030
Acero 1020	0.24	Arcilla refractaria	0.00064
Ferrita	0.18	Carburo de silicio	0.21
Cementita	0.12	6,6-nylon	0.29
Acero inoxidable 304	0.072	Poliétileno	0.45



Efecto de la temperatura sobre la conductividad térmica de algunos materiales.

TALLER PROPIEDADES TÉRMICAS

1: Se diseña un vidrio de carbonato de calcio para ventana, de 0,5 cm de espesor, 120 cm de alto y 90 cm de ancho, separa una habitación que está a 18°C, del exterior que se encuentra a una temperatura de 45°C. Calcular la cantidad de calor que entra a la habitación a través de la ventana, cada día.

Datos: $Q = A K \Delta T / \Delta x$

$K_{\text{vidrio}} = 0,0023 \text{ cal/cm seg K}$

2: En el diseño se contempla disminuir la cantidad de calor. Para tal efecto se introduce un 40% en volumen de porosidad al vidrio de carbonato de calcio. Si se supone la conductividad térmica (K) de la porosidad igual a cero, ¿Cuánto calor se evita por día en el problema 1?

$K = K_{\text{vidrio}} f v_{\text{vidrio}} + K_{\text{poro}} f v_{\text{poro}}$ ($f v = \text{fracción en volumen}$).