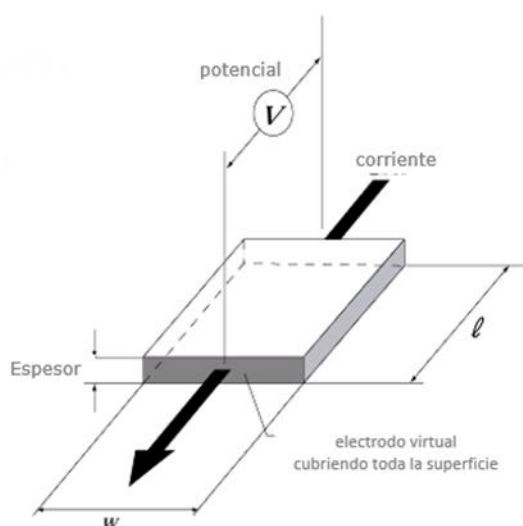


Método de medición de la Resistividad Superficial

1. Descripción general

La resistencia (eléctrica) se utiliza generalmente como medida de la conductividad (facilidad para pasar la electricidad) de una sustancia (material). El valor de esta resistencia por unidad de volumen (1 cm x 1 cm x 1 cm) es la resistividad del volumen (unidad: $\Omega \cdot \text{cm}$). Este valor es un valor absoluto específico del **material**. Se determina midiendo la diferencia de potencial V (V) entre electrodos separados por L .

Figura 3.1. Definición de resistividad de volumen (ρ_v , $\Omega \cdot \text{cm}$)



Resistencia

$$R [\Omega] = V [V] / I [A]$$

Resistividad superficial

$$\rho_s [\Omega/\square] = R [\Omega] \times RCF_s$$

Resistividad volumétrica

$$\rho_v [\Omega \cdot \text{cm}] = R [\Omega] \times RCF_v \times t [\text{cm}]$$

$$t [\text{cm}] = \rho_s \times t [\text{cm}]$$

2. Método de cuatro terminales y método de dos terminales

Sin embargo, cuando realmente se determina la resistividad del volumen de una muestra, se utiliza el método de cuatro terminales como se muestra en la [Figura 3.2.1 Configuración de electrodos del método de cuatro terminales y del método de dos terminales]. Esto se debe a que se produce una caída de voltaje llamada resistencia de contacto debido a fenómenos interfaciales donde se aplica una corriente constante (entre el electrodo actual y la superficie de la muestra), por lo que esto se hace para eliminar esto y encontrar la resistividad volumétrica real de la muestra. Este es el método utilizado. En otras palabras, en el método de cuatro terminales, al separar el terminal de aplicación de corriente y el terminal de medición de voltaje, se elimina la influencia de la resistencia de contacto y es posible una medición altamente precisa.

Factor de corrección de resistividad superficial
 $RCF(s) = 2\pi / \ln(d_2/d_1)$

Factor de corrección de resistividad volumétrica

$$RCF(v) = \pi d_1^2 / 4$$

$\dagger$: Espesor de la muestra

Nittoseiko Analytech

En este momento, la impedancia de entrada del voltímetro debe mantenerse alta para evitar que la corriente fluya hacia el terminal de medición de voltaje. Los resultados de medir realmente la resistencia de la misma muestra (película de revestimiento conductora a base de cobre) utilizando el método de cuatro sondas y el método de dos sondas se muestran en la **Figura 3.2.2 Comparación de valores de resistencia utilizando el método de cuatro sondas. y el método de dos sondas** que se muestra a continuación. Este estado también se muestra en un circuito equivalente [**Figura 3.2.3 Circuito equivalente del método de cuatro terminales y del método de dos terminales**]. En el método de dos terminales, se puede ver que la resistencia es alta debido a la influencia de la resistencia de contacto. Esta resistencia de contacto es difícil de medir cuantitativamente porque depende del estado de la superficie de la muestra.

Figura 3.2.1 Configuraciones de electrodos para el método de cuatro sondas y el método de dos sondas

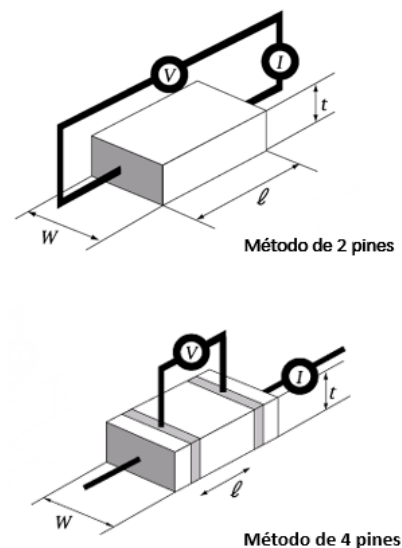


Figura 3.2.2 Comparación de valores de resistencia utilizando el método de cuatro terminales y el método de dos terminales

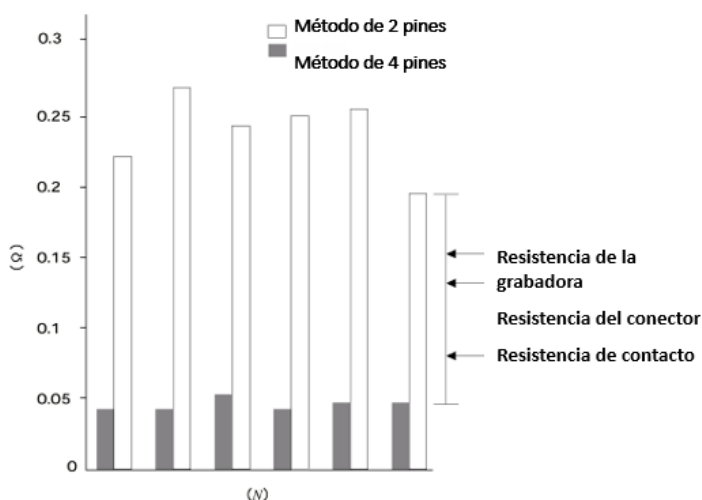
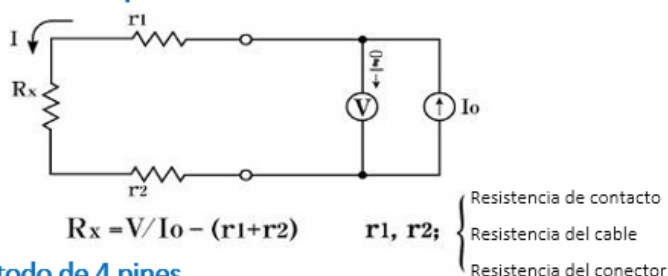
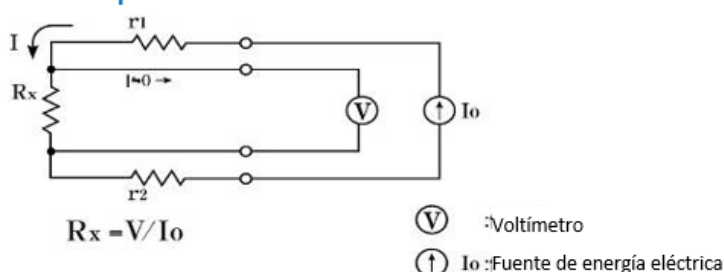


Figura 3.2.3 Circuito equivalente del método de cuatro terminales y del método de dos terminales

Método de 2 pines



Método de 4 pines



3. Método de cuatro sondas y método de cuatro terminales

En el método de sonda de cuatro puntos, se colocan cuatro electrodos en forma de aguja [**Figura 3.3.2 Sonda de cuatro puntos**] sobre la muestra en línea recta, como se muestra en [**Figura 3.3.1 Medición utilizando la sonda de cuatro puntos**], se pasa una corriente constante entre las dos sondas externas (A y D) y se mide la diferencia de potencial generada entre las dos sondas internas (B y C) para encontrar la resistencia.

A continuación, calcule la resistividad del volumen multiplicando la resistencia obtenida (R , unidad: Ω) por el espesor de la muestra t (cm) y el factor de corrección RCF (factor de corrección de resistividad). De esta forma, el método de las cuatro sondas y el método de las cuatro sondas comparten el mismo sistema de medición, y sólo se diferencian en la parte del electrodo que entra en contacto con la muestra.

Las mediciones se pueden realizar simplemente presionando esta sonda del método de cuatro sondas (electrodo de cuatro sondas) sobre la muestra y, en comparación con el método anterior de cuatro sondas, no es necesario formar electrodos en la muestra, lo que aumenta drásticamente la eficiencia del trabajo. ha comenzado a cambiar. [**Tabla 3.3 Comparación del método de cuatro sondas y el método de cuatro sondas**] En la [**Figura 3.3.3 Campo eléctrico producido por la sonda de cuatro sondas**] se muestra una imagen del **campo eléctrico producido por el método de cuatro sondas**.

Figura 3.3.1 Medición utilizando el método de sonda de cuatro puntos

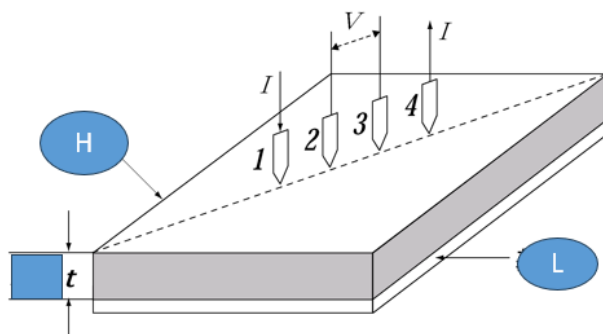


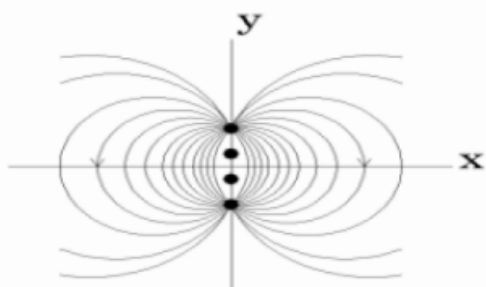
Figura 3.3.2 Sonda de cuatro puntos



Tabla 3.3 Comparación del método de cuatro sondas y el método de cuatro sondas

Artículo	Método de sonda de cuatro puntos	Método de cuatro terminales
Procesamiento de muestras	Nada en particular	Procesado en forma de varilla.
Colocación del electrodo	Simplemente presione la sonda	Hacer electrodos con pasta, etc.
Dispositivo de medición	Serie Loresta	Multímetro digital
Conversión a resistividad	Compatible con círculos y rectángulos, resistividad con un solo toque	Sólo es posible para formas de varilla. Se requiere el cálculo después de la medición.
Solicitud	Evaluación de la distribución de resistividad y el espesor de la película.	---
Evaluación integral	Medición fácil y precisa	Toma tiempo prepararse

Figura 3.3.3 Campo eléctrico debido a una sonda de cuatro puntos



4. Coeficiente de corrección de resistividad

El factor de corrección de resistividad RCF (factor de corrección de resistividad) cambia según la forma y las dimensiones de la muestra y la posición a medir.

En las mediciones que utilizan el método de sonda de cuatro puntos, el tamaño de la muestra y la posición de medición son arbitrarios, por lo que la energía del campo eléctrico distribuida dentro de la muestra cambia según el tamaño de la muestra y la posición de medición. Cuando el tamaño de la muestra es pequeño o la posición de medición está en el borde de la muestra, el pico de energía del campo eléctrico se vuelve alto, lo que resulta en un valor de resistencia alto. (Ver [**Figura 3.4.1 Distribución de energía del campo eléctrico en la muestra**]) Esto se debe a que la energía del campo eléctrico no puede salir de la muestra. Se utiliza un coeficiente de corrección de resistividad para calcular la resistividad del volumen y la resistividad de la superficie correctas en anticipación del cambio en el pico de energía del campo eléctrico.

Aquí, explicaremos brevemente cómo calcular el coeficiente de corrección de resistividad. **El potencial $\phi(r)$ en cualquier punto dentro de la muestra se puede encontrar resolviendo la ecuación de Poisson ([Fórmula 3.4.1]) en las condiciones especificadas.**

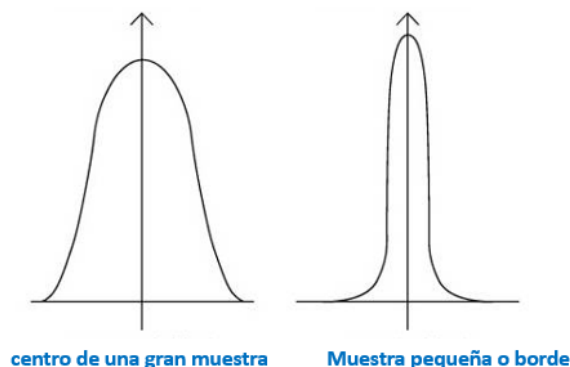
$$\nabla^2 \phi(r) = \frac{2 \rho_v}{\epsilon_0} \left[\delta(r - r_D) - \delta(r - r_A) \right] \quad [\text{Fórmula 3.4.1}]$$

El coeficiente de corrección RCF se puede encontrar a partir de esta solución y se muestra en la [Ecuación 3.4.2].

[Lorestar GP] tiene incorporado este software de cálculo del coeficiente de corrección y es posible calcular el coeficiente de corrección simplemente ingresando la forma de la muestra (rectangular, circular), el tamaño y la posición de medición.

Figura 3.4.1 Distribución de energía del campo eléctrico de la muestra.

Distribución de energía del campo eléctrico



$$R C F^{-1} = \frac{y_B - y_c}{a} + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{2}{a \sinh(b \gamma_m)} \times$$

$$+ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{a \sinh(b \gamma_n)} \times$$

$$+ \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{a \sinh(b \gamma_m) \sinh(b \gamma_n)} \times$$

$$\left[\cos(\gamma_m x_B) \cosh\left[\gamma_m \left(y_B + \frac{b}{2}\right)\right] - \cos(\gamma_m x_c) \cosh\left[\gamma_m \left(y_c + \frac{b}{2}\right)\right] \times \right.$$

$$\cos(\gamma_m x_A) \cosh\left[\gamma_m \left(y_A - \frac{b}{2}\right)\right] - \left. \left(\cos(\gamma_m x_B) \cosh\left[\gamma_m \left(y_B - \frac{b}{2}\right)\right] - \cos(\gamma_m x_c) \cosh\left[\gamma_m \left(y_c - \frac{b}{2}\right)\right] \times \right. \right.$$

$$\left. \left. \cos(\gamma_m x_D) \cosh\left[\gamma_m \left(y_D + \frac{b}{2}\right)\right] \right) \right]$$

$$\left[\cosh\left[\gamma_n \left(y_B + \frac{b}{2}\right)\right] - \cosh\left[\gamma_n \left(y_c + \frac{b}{2}\right)\right] \right] \times$$

$$\cosh\left[\gamma_n \left(y_A - \frac{b}{2}\right)\right] - \left(\cosh\left[\gamma_n \left(y_B - \frac{b}{2}\right)\right] - \cosh\left[\gamma_n \left(y_c - \frac{b}{2}\right)\right] \right) \times$$

$$\cosh\left[\gamma_n \left(y_D + \frac{b}{2}\right)\right] \left]$$

$$\left[\cos(\gamma_n x_B) \cosh\left[\gamma_n \left(y_B + \frac{b}{2}\right)\right] - \cos(\gamma_n x_c) \cosh\left[\gamma_n \left(y_c + \frac{b}{2}\right)\right] \times \right.$$

$$\cos(\gamma_n x_A) \cosh\left[\gamma_n \left(y_A - \frac{b}{2}\right)\right] - \left(\cosh(\gamma_n x_B) \cosh\left[\gamma_n \left(y_B - \frac{b}{2}\right)\right] - \right.$$

$$\left. \cos(\gamma_n x_c) \cosh\left[\gamma_n \left(y_c - \frac{b}{2}\right)\right] \right) \times \cos(\gamma_n x_D) \cosh\left[\gamma_n \left(y_D + \frac{b}{2}\right)\right] \left]$$

[Fórmula 3.4.2]

(xA, yA): Coordenadas x, y de la sonda de corriente A (cm)

(xB, yB): Coordenadas x, y de la sonda de tensión B (cm)

(xC, yC): x, y de la sonda de tensión C Coordenadas (cm)

(xD, yD): coordenadas x, y de la sonda actual D (cm)

$$r = \frac{m \pi}{a} (m \text{ は整数}), \quad \theta = \frac{n \pi}{t} (n \text{ は整数}) \text{ 及び } \rho = (r^2 + \theta^2)^{\frac{1}{2}}$$

式中の和 $\sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty}$ 及び $\sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty}$ の計算は、項が10-15以下になった時点で打ち切る。

5. Resistividad Volúmica y Resistividad de Superficie

Utilizando este coeficiente de corrección de resistividad, la resistividad del volumen y la resistividad de la superficie se pueden calcular usando la [Fórmula 3.5.1] y la [Fórmula 3.5.2].

Resistividad del volumen

$$\rho_v = \frac{V}{I} \times RCF \times t = \rho_s \times t \quad \text{[Fórmula 3.5.1]}$$

Resistividad superficial

$$\rho_s = \frac{V}{I} \times RCF \quad \text{[Fórmula 3.5.2]}$$

(Aquí, t es el espesor de la muestra (cm))

La resistividad volúmica (unidad: $\Omega \text{ cm}$) es la resistencia por unidad de volumen y se expresa de manera diferente según el campo, como la resistividad del volumen en el campo de los materiales, la resistencia específica en el campo de la electrónica y la resistividad en el campo de la física. Cantidad física específica (enumerada en *Science Chronology*) y se utiliza como medida absoluta de la conductividad eléctrica de muchos materiales.

Por otro lado, la resistividad superficial (unidad: $\Omega/\square$, $\Omega/\text{sq.}$, pronunciada ohm por cuadrado) es la resistencia por unidad de área, y también se llama resistencia laminar o simplemente resistencia superficial, y se utiliza para recubrimientos, películas delgadas., etc. Se debe prestar especial atención a la resistencia superficial, ya que puede confundirse con la resistencia antes de la conversión usando la [Fórmula 3.5.2].

Nittoseiko Analytech

La medición de la resistividad mediante el método de la sonda de cuatro puntos se ha utilizado durante mucho tiempo para medir obleas de silicio y se ha determinado un valor de 4,532 para una muestra infinitamente grande (e infinitamente delgada). Determinamos coeficientes de corrección para tamaños arbitrarios y posiciones de medición para muestras rectangulares y circulares, y los verificamos experimentalmente.

Desde diciembre de 1994, este método de sonda de cuatro puntos se ha convertido en un estándar JIS (JIS K7194). [Lorestar GP] convierte y muestra la resistividad del volumen, la resistividad de la superficie y la conductividad para muestras rectangulares y circulares, junto con el coeficiente de corrección de resistividad descrito anteriormente.

6. JIS K7194

[JIS K7194] estipula que las dimensiones estándar de la muestra son 80 x 50 mm, $t = 20$ mm o menos. Esta muestra se mide en 1, 5 o 9 puntos utilizando una sonda (sonda ASP accesoria estándar) dispuesta a intervalos iguales en línea recta con un paso de sonda de 5 mm. Las posiciones de medición se especifican como se muestra en [Figura 3.6 Posiciones de medición JIS K7194] y la medición de 5 puntos se considera la medición estándar.

Los datos del coeficiente de corrección están integrados en [Lorestar GP].

- (1) En el caso de medición de 1 punto únicamente ①
- (2) En el caso de medición de 5 puntos ①, ②, ③, ④ y ⑤
- (3) En el caso de medición de 9 puntos ⑥, ⑦, ⑧ para los 5 puntos en (2) 9 puntos incluyendo ⑨

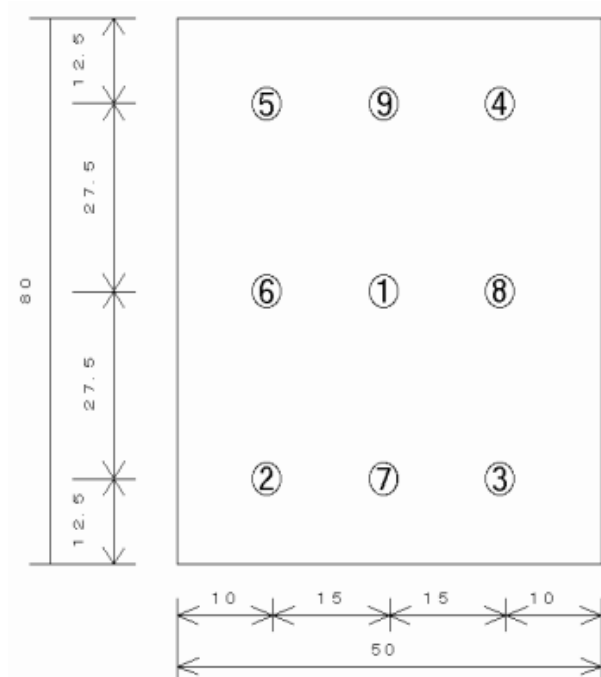


Figura 3.6. Posición de medición JIS K7194
(unidad: mm)

Referencias

- 1) JIS K7194 "Método de prueba de resistividad utilizando el método de cuatro sondas para plásticos conductores"
- 2) M. Yamashita, S. Yamaguchi y H. Enjoji., JJAP27(1988)869
- 3) M. Yamashita, S. Yamaguchi, T. Nishii, H. Kurihara y H. Enjoji., JJAP28(1989)949
- 4) M. Yamashita y M. Agu., JJAP23(1984)1499
- 5) M. Yamashita., JJAP26(1987)1550