

Resistividad eléctrica y propiedades eléctricas en el estado fundamental de las aleaciones estaño-bismuto

Electrical resistivity and electrical properties in the fundamental state of the Tin-Bismuto alloys

César Aguirre Céspedes¹ y Emilio Medrano Atencio^{2*}

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

RESUMEN

Se prepararon diecinueve muestras de aleaciones de Estaño (Sn) – Bismuto (Bi) en concentraciones de 0 a 100% en peso de bismuto y dimensiones rectangulares de 3 mm x 3 mm x 50 mm, por fusión en un crisol de acero. La resistividad eléctrica de las muestras se midió por el método de cuatro puntas a temperatura ambiente. En el trabajo se presenta la preparación de muestras, los resultados, y la interpretación en el marco de la Teoría de la Conductividad Eléctrica.

PALABRAS CLAVE: Aleación, fase, resistividad eléctrica.

ABSTRACT

Were prepared nineteen samples of Sn-Bi alloys of concentrations of 0% to 100% by weight bismuth and rectangular dimensions of 3 mm x 3 mm x 50 mm by melting a steel crucible. Electrical resistivity of the samples was measured by four-point method at room temperature. In the work the details of sample preparation, results, and interpretation within the framework of the Theory of Electrical Conductivity are presented

KEYWORDS: Alloy, phase, electrical resistivity.

Recibido: 27/2/15

Aceptado: 8/5/15

* 1) Licenciado en Ciencias Físicas y magíster en Física, con mención en Geofísica, por la UNMSM. Estudios de Doctorado en Ciencias de la Tierra en la Universidad de Granada, España <caguirrec@unmsm.edu.pe>. 2) Físico. Magíster en Física con mención en Física del Estado Sólido <emedranoa@unmsm.edu.pe>.

Introducción

Este trabajo ha sido realizado en el Laboratorio de Cristales Reales y Aleaciones Metálicas (LABGRAM) de la Facultad de Ciencias Físicas. Las aleaciones metálicas son muy importantes por sus múltiples aplicaciones. La aleación de Sn-Bi es conocida como aleación de bajo punto de fusión, esto hace que sea útil en una gama de aplicaciones, tales como: soldaduras, recubrimientos, protección contra incendios, tapones de seguridad de calderas, fusibles (Evans 1971; Olmedo 1968).

La resistividad eléctrica en aleaciones metálicas se mide por diferentes métodos, uno de ellos es el método de cuatro puntas, ASMT (1978). Su valor permite conocer el comportamiento de los electrones de valencia de un metal. En aleaciones metálicas la resistividad a temperatura ambiente aumenta con la adición de dos o más elementos de mayor resistividad. En el presente trabajo, la resistividad del Sn es menor que del Bi. Por lo que esperamos demostrar que la resistividad del estaño se incrementa con la adición de bismuto a diferentes concentraciones.

Las aleaciones de Sn-Bi pertenecen al tipo de aleación con solubilidad parcial que forman eutéctica. De acuerdo con su diagrama de fase (Fig. 1) tiene las siguientes estructuras: a. Solución sólida α , es solución sólida de Bi en Sn. b. Solución sólida β , es solución sólida de Sn en Bi. c. Entre 21 y 57% en peso de Bi, es solución sólida Sn (Bi) $\alpha +$ eutéctica ($\alpha + \beta$). d. Entre 57%Bi y 43%Sn en peso, la eutéctica ($\alpha + \beta$) y e. Entre 57 y 100% en peso de Bi, solución sólida Bi (Sn) $\beta +$ eutéctica($\alpha + \beta$), Hansen (1958).

El análisis por espectroscopia de emisión y absorción atómica, permite determinar cualitativa y cuantitativamente los elementos adicionales que tienen las muestras de Sn (98.42%) y Bi (99.998%) puro. Los resultados en porcentaje en peso de los elementos en mayor abundancia para Sn son: Mg

(0.099); Pb (1.47), Al (0.0015) y Mn (0.0015). En Bi: Al (0.0125); Mg (0.0010) y Mn (0.0010) [IGEMET.1991]. Este análisis es importante para poder justificar los resultados. Debido al pequeño valor de las concentraciones de los elementos adicionales, asumimos que las muestras son casi puras. El efecto de las impurezas se verá reflejado en imperfecciones de las aleaciones.

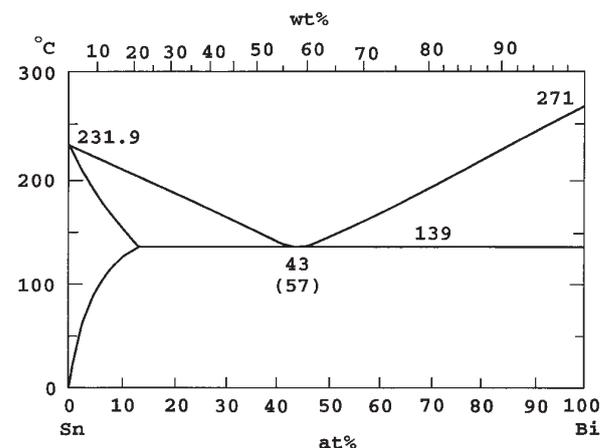


Figura 1. Diagrama de fase de la aleación Sn-Bi. Yamashita, Tada, Shiokawa (2000).

Metodología

Parte experimental

Horno eléctrico, para obtener aleaciones

Construimos un horno eléctrico que trabaja entre 300 a 350 °C. La rapidez de enfriamiento es de 0.1 °C/s, con una potencia 225 W, e intensidad de corriente de 1.5 A. Se usó materiales de bajo costo como porcelana para mayólicas, alambre de micrón de 0.45 mm de sección transversal y 500W de potencia, láminas de asbesto (eternit) y una termocupla para controlar la temperatura (Fig. 2).

El crisol

El crisol para fundir los elementos puros fue fabricado de acero inoxidable, consta de dos cuerpos, una tapa y otro que tiene el molde

sujetados mediante tornillos. Fue fácil colocar las muestras y quitar la aleación sin daños. Las dimensiones del molde fueron de 3mm x 3mm x 50 mm (Fig. 3).

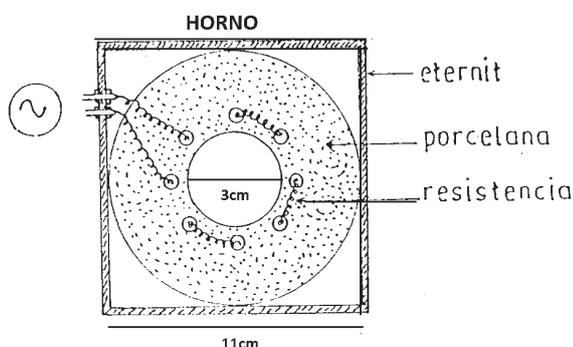


Figura 2. Horno eléctrico.

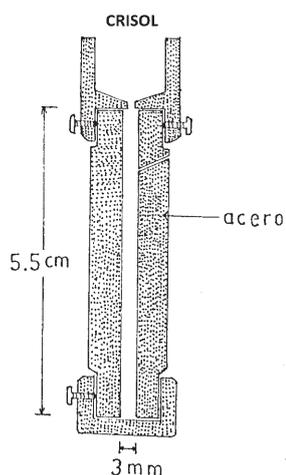


Figura 3. Crisol de acero.

Obtención de las aleaciones

Calculamos la densidad de la aleación (D) mediante

$$D = \frac{D_A \cdot D_B}{\% B \cdot D_A + \% A \cdot D_B} \dots 1$$

Donde D_A , D_B , es densidad de Bi y Sn puro respectivamente; % A, %B, es porcentaje en peso de Bi y Sn. Los porcentajes se determinan de acuerdo al diagrama de fase, por ejemplo la eutéctica necesita 57% Bi y 43 % Sn.

La masa total de la aleación se calcula como $M=DV$, donde V es el volumen de la aleación. Una vez pesado los elementos puros en porcentaje, se trituran hasta obtener granos no muy pequeños y se coloca en el crisol. Se enciende el horno y en 25 minutos llega a 335°C. Se fundieron los elementos y se esperó el instante de colada, fue necesario la ayuda de un alambre de acero delgado para impulsar la aleación en fase líquida al molde. Se apagó el horno y se dejó enfriar con el crisol dentro del horno, hasta que la termocupla registre la temperatura ambiente.

Desbaste y pulido

Luego de quitar la aleación del crisol se pasó al desbaste con lijas de diferentes tamaños de grano sujetado a un porta muestra. Finalmente se llevó al pulidor eléctrico donde se pule con polvos de tamaño de grano muy fino. El resultado fue la aleación con una superficie altamente reflectante, libre de imperfecciones y dimensiones medibles (Fig.4).

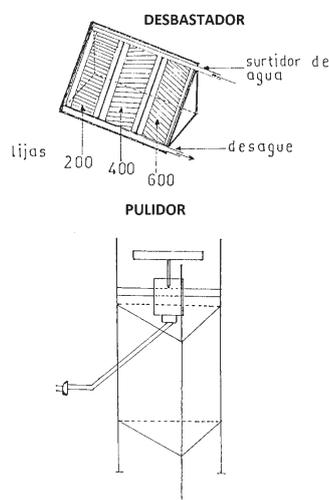


Figura 4. Máquinas para desbaste y pulido.

Ataque químico

La estructura metalográfica de la aleación, solo pudo ser observada en un microscopio metalográfico después de un ataque químico

con un reactivo adecuado sobre la superficie pulida de la aleación. El reactivo se prepara con 15% de agua destilada más 85% de ácido clorhídrico (HCl) concentrado. Luego para el revelado se sumergió la muestra al reactivo con la cara pulida hacia arriba durante 2 minutos. Se saca y lava con abundante agua sin tocar la superficie de interés.

Microfotografía

Usamos un microscopio metalográfico de x100 de aumento para observar la cara preparada con los procesos anteriores. Enfocamos la región de interés y capturamos la imagen mediante una película para fotografías. Finalmente la imagen fue revelada.

Medición de la resistividad eléctrica

Usamos el método de cuatro puntas. De las ecuaciones elementales de la ley de Ohm (2) y resistividad eléctrica (3), se obtiene la relación (4) para la resistividad eléctrica (ρ).

$$R = \frac{V}{I} \dots\dots 2$$

$$R = \rho \frac{L}{S} \dots\dots 3$$

$$\rho = \frac{VS}{IL} \dots\dots 4$$

Donde R, es la resistencia eléctrica, V el voltaje, I la intensidad de la corriente, L y S longitud y sección transversal de la muestra, respectivamente. Para medir el voltaje y la intensidad de corriente se usó el arreglo mostrado en la figura 5. Es necesario como mínimo un voltímetro que registre entre micro voltios. El material de las cuatro puntas, clavos con cabeza de plata de 1.5 cm de longitud y 3 mm de diámetro y que termine en punta, separado la misma distancia y sujetos mediante resortes para mantener el contacto permanente durante la medida.

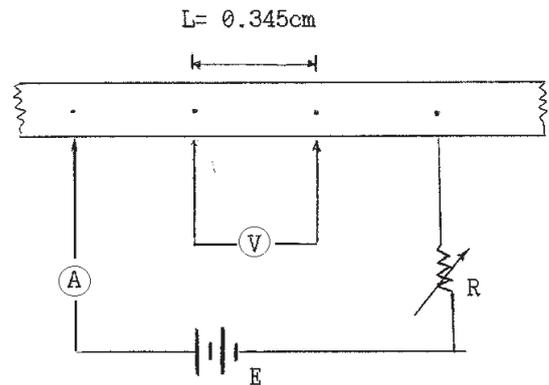


Figura 5. Método de cuatro puntas. V, voltímetro (microvoltios). A, amperímetro (mA). E, fuente de corriente continua de 2.5 V. R, resistencia variable entre 5 y 40 (ohms). L, longitud de la separación entre las cuatro puntas.

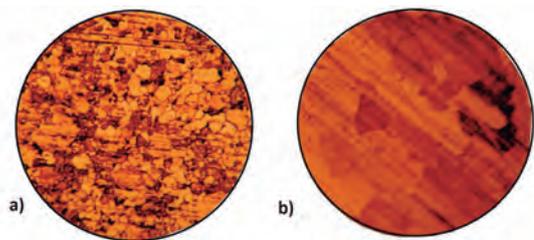


Figura 6. Elementos puros (aumento 100x). a) Sn y b) Bi

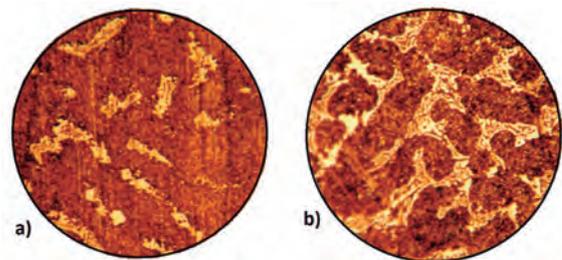


Figura 7. a) Solución sólida α (10Bi-90Sn). b) Hipoeutéctica (30Bi-70Sn). Aumento 100x.

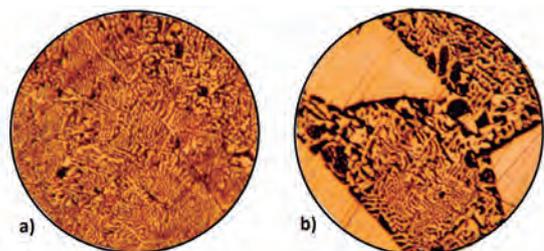


Figura 8. a) Eutéctica (57Bi-43Sn). b) Hiper eutéctica (80Bi-20Sn). Aumento 100x.

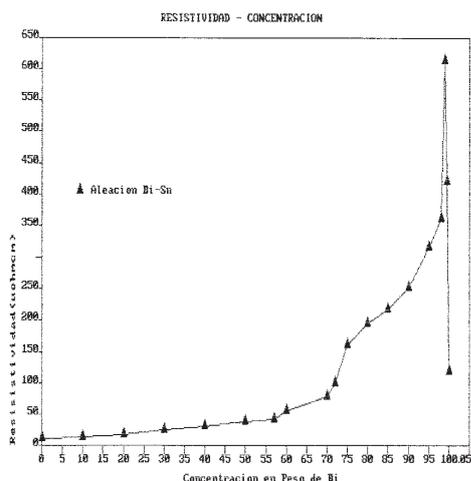


Figura 9. Resistividad de los elementos puros Sn y Bi, y diecisiete aleaciones, medido por el método de cuatro puntas.

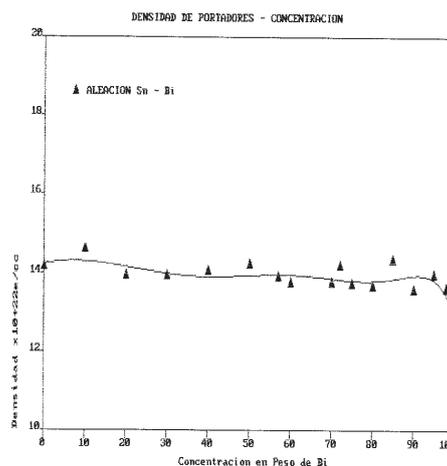


Figura 11. Densidad de Portadores de las aleaciones Sn-Bi, en función de la concentración en peso de Bi.

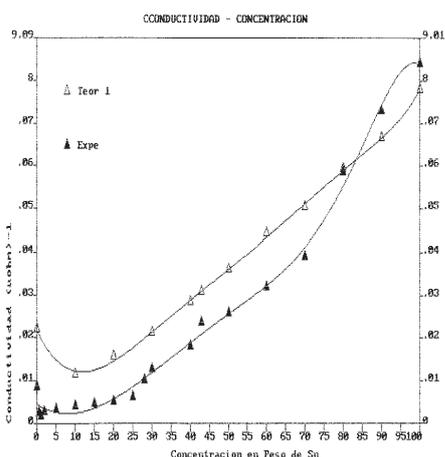


Figura 10. Conductividad eléctrica experimental y teórico de las aleaciones Sn-Bi, en función de la concentración en peso de Sn.

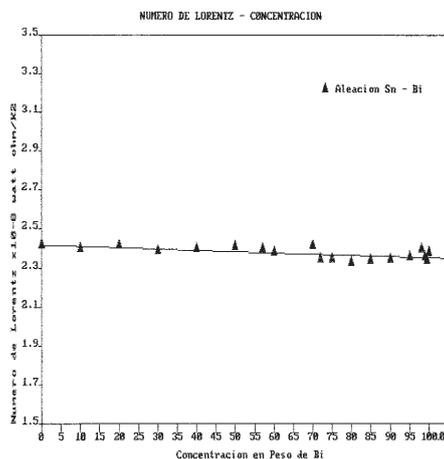


Figura 12. Numero de Lorentz de las aleaciones Sn-Bi, en función de la concentración en peso de Bi.

Resultados

Se han obtenido dos series de diecinueve muestras, se han controlado sus estructuras por análisis metalográfico los cuales concuerdan con lo indicado por el diagrama de fase. Mostramos en las figuras 6, 7 y 8 las microestructuras de los elementos puros Sn y Bi; solución solididad Bi en Sn; aleación hipoeutectoide; eutectoide e hipereutectoide.

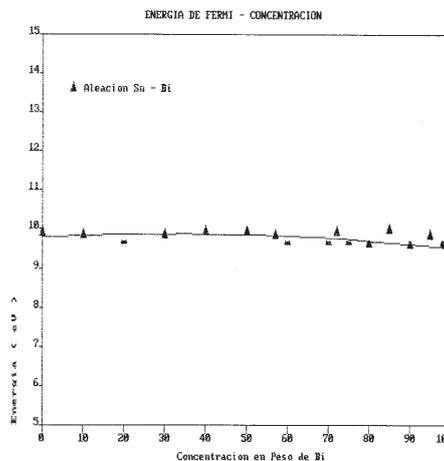


Figura 13. Energía de Fermi de las aleaciones Sn-Bi, en función de la concentración en peso de Bi.

La figura 9 muestra el resultado de mediciones de la resistividad eléctrica para los elementos puros de Sn y Bi y diecisiete aleaciones de Sn-Bi usando el método de cuatro puntas a temperatura ambiente.

La conductividad eléctrica es la inversa de la resistividad eléctrica. Medido la resistividad eléctrica, calculamos la conductividad y comparamos con valores obtenidos por Landauer (1952), figura 10 valor teórico.

Entre los cálculos de las propiedades eléctricas en el estado fundamental podemos presentar el de la Densidad de Portadores, el número de Lorentz y la Energía de Fermi, figuras 11 y 12.

Discusión

De la figura 9 concluimos que la resistividad del Sn a temperatura ambiente se incrementa con el aumento de la concentración de Bi. Debido a que los iones de Bi al introducirse en la estructura cristalina del Sn deforman a esta última, causando cambios en el potencial de la red cristalina resultante, que a su vez interactúan con los portadores dificultando su movilidad, hasta un 57% de Bi.

Para concentraciones de Bi mayores a 57% hasta 100%, el incremento rápido y disminución brusca de la resistividad se debe a que el potencial de la red aumenta considerablemente alcanzando un valor máximo y luego decrece bruscamente, y a un efecto anómalo de la dispersión de electrones de conductividad por las impurezas de Sn en las aleaciones. Esto requiere de un análisis más detallado, involucrando otras técnicas y modelos teóricos, los cuales en nuestro medio no están implementados.

De las propiedades eléctricas calculadas como Densidad de Portadores, y Número de Lorentz, podemos concluir que la serie de aleaciones obtenidas tiene propiedades metálicas, ya que los valores están de acuerdo a

lo mostrado por Ashcroft y Mermin (1975). La energía de Fermi obtenido para el Sn y Bi está 3% menos a lo mostrado por Somerfiel Ashcroft y Mermin (1975), esto es debido a las impurezas que contienen las muestras. En promedio tiene un valor de 9.73 eV, valor que se encuentra entre los valores de los elementos puros, lo cual indica que el estado fundamental es el nivel más alto ocupado por un electrón con la más alta energía, igual al indicado por cada una de las aleaciones.

Conclusiones

El presente trabajo aporta las siguientes conclusiones:

1. Se ha construido un horno para la obtención de aleaciones de hasta 800 °C de punto de fusión.
2. Se construyó un sensor de cuatro puntas que permite realizar medidas de resistividad eléctrica a temperatura ambiente.
3. Se construyó infraestructura necesaria para la preparación de muestras destinadas a la caracterización microscópica y toma de microfotografía.
4. Es posible obtener aleaciones binarias por fusión, con amplio rango de concentraciones.
5. La resistividad eléctrica de las aleaciones Sn-Bi medidas usando nuestro equipo creado presenta la misma tendencia que los valores medidos por Landauer.

Referencias bibliográficas

- ASHCROFT, Niel y MERMIN, David (1975). *Solid State Physic*. Estados Unidos: Editorial International Edition.
- ASMT, AN AMERICAN NATIONAL STANDARD (1978). *Standard Test Methods for Resistivity of semiconductor materials*. Designation: F43; pp. 238-246.

- EVANS, C.J. (1971). Aleaciones de bajo punto de fusión conteniendo estaño. *Estaño y sus aplicaciones* Vol. 1, N° 87; pp. 3-7.
- HANSEN, Phil Max (1958). *Metallurgy and engineering, series constitution of binary alloys*. Edit. Mc. Graw Hill Book Company.
- IGEMET (1991). *Análisis de muestras de elementos puros*. Lima: Igemet.
- LANDAUER ROLF (1952). The electrical resistance of binary metallic mixtures. *Journal of Applied Physical* Vol. 23, N°7; pp. 779-784.
- OLMEDO, A.M. (1968). Una aleación de estaño como alternativa al oro para contactos eléctricos. *El estaño y sus aplicaciones*. Vol. 2, N° 77; pp. 1-5.
- YAMASHITA Mitsuo, TADA Shinji, SHIOKAWA Kunio (2000). *Containing bismuth, silver, nickel and tin*. US 6365097 B1. Patente Fuji Electric Co.