

# CRECIMIENTO DE MONOCRISTALES METÁLICOS

Munive M.<sup>(1)</sup>, [mmunive@ipen.gob.pe](mailto:mmunive@ipen.gob.pe); Cotos R.<sup>(2)</sup>

(1) Departamento de Física – IPEN

(2) Universidad de Bielorrusia

## RESUMEN

Cristales de bismuto y plomo son usados como filtros más eficientes de la radiación gamma que su forma amorfa. Para lograr cristales con estos materiales se construyó un horno de crecimiento de cristales tipo Bridgman y se logró acrecentar pequeños cristales de Bi y Pb de pocos centímetros cúbicos de volumen, realizando sobre las muestras obtenidas, pruebas que avalen su ordenamiento cristalino, tal como la dispersión de Laue.

## 1. FUNDAMENTO

### Monocristales metálicos

En realidad, los cristales naturales, aun pertenecientes a un mismo sistema cristalino, exteriorizan conformaciones geométricas diferentes, los cristales crecen en ciertas direcciones dependiendo de las condiciones donde se desarrolló, pero los procesos de cristalización las velocidades de crecimiento de las caras no son las mismas en todas las direcciones, lograr manejar tal dirección de crecimiento y ordenar un crecimiento nos llevaría a lograr monocristales. La nucleación y el crecimiento de los monocristales involucran procesos termodinámicos durante la transición de fase, los cuales deben de ser manipulados adecuadamente para lograr un monocristal con una óptima estructura.

Se acrecentan cristales a partir de la fase líquida pasando el metal fundido a través de un gradiente de temperatura para iniciar la solidificación en un punto la cual procede al fundido.

### Método de Bridgman

Tal método debe su eficacia en el crecimiento de monocristales de todo tamaño, basada en el cambio de temperatura paulatina desde el punto de fusión del material a una temperatura mucho menor, tal proceso realizara una cristalización lenta y homogénea en el material. El material a cristalizar estará contenido en un crisol que posee una forma especial que permita el

crecimiento de cristales gérmenes, siendo fundido en el horno y mantenido a esta temperatura por un tiempo, luego mediante un sistema móvil se retira el crisol del horno a una zona de menor temperatura en forma lenta para que se logre la germinación de cristales base, mediante un gradiente de temperatura formado entre las dos regiones contenidas en el horno [1] Figura 1.

### Uso de Monocristales como filtro de Radiación trato de la Sección eficaz de neutrones para cristales

La sección eficaz total de atenuación de neutrones para sólidos cristalinos es una suma de varios contribuyentes.

$$\sigma = \sigma_{abs} + \sigma_{ids} + \sigma_{Bragg}$$

La primera componente es la sección eficaz de absorción ( $\sigma_{abs}$ ) que es proporcional a la longitud de onda de los neutrones incidentes; contempla también a la sección de difusión o dispersión inelástica ( $\sigma_{ids}$ ) relacionada a la sección eficaz de dispersión por fonones y que se evalúa en función de la temperatura de Debye ( $\theta_B$ ) [2], y por ultimo la dispersión de Bragg también conocida como dispersión parásita ( $\sigma_{Bragg}$ ).

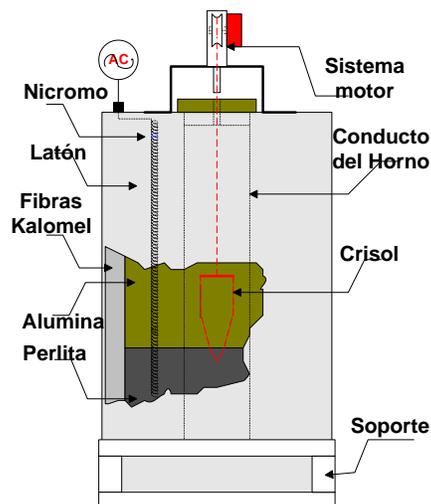


Figura 1. Estructura del horno de crecimiento de cristales metálicos tipo de Bridgman.

## 2. PROCESO EXPERIMENTAL

### Construcción de un horno de crecimiento de cristales

Como se mencionó anteriormente, el horno de crecimiento según el método de Bridgman debe de albergar regiones de alta temperatura o zona de fundido, y regiones de baja temperatura, logrando un gradiente de temperatura apropiada en el empalme de dichas regiones, la zona caliente es de un material de alúmina y el foco calorífico es una resistencia de nicromo calentada por diferentes valores de potencial eléctrico, la zona fría esta formada por material de perlita, cuya característica principal es su alta resistencia al shock térmico y excelente aislante térmico. Estas dos regiones están aisladas del exterior térmicamente, mediante una fibra cerámica y un armazón de latón.

En cuanto al crisol, este es de material de vidrio pirex, esto para evitar reacciones químicas del fundente con el propio crisol, la forma del crisol es fundamental para obtención del monocristal. El sistema motor encargado del desplazamiento del crisol de la zona caliente a la zona fría, con velocidades muy pequeña del orden  $1 \text{ cmh}^{-1}$ .

Se realizaron pruebas de fundido que reflejan la fiabilidad del horno, trabajando con metales de bajo punto de fusión, así también se puso a prueba el sistema de control de temperatura mediante termopares [3].

**Tabla 1.** Resultados de pruebas de fundido para diversos metales, realizados en el horno de crecimiento.

Muestra (Punto de Fusión °C)	Termopar de Cu- Constantan (°C) <sup>1</sup>	Termopar de Fe-Constantan I (μA) <sup>2</sup>
Estaño (232)	250 ± 25	70 ± 1.8
Bismuto (272)	250 ± 25	80 ± 2.0
Plomo (327)	300 ± 25	100 ± 2.5
Zinc (420)	425 ± 25	110 ± 2.8

<sup>1</sup> Lectura registrada en galvanómetro con escala adaptada en grados Celsius, Thernolyne.

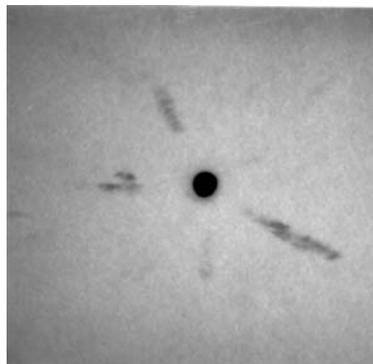
<sup>2</sup> Lectura registrada por galvanómetro normal.

### Obtención de monocristales metálicos

Pruebas de crecimiento de monocristales o cuasicristales de materiales comúnmente usados como filtros de radiación gamma, tales como plomo y bismuto, usando como instrumento principal el horno de crecimiento Bridgman.

Los resultados en muestras pequeñas menores a  $2 \text{ cm}^3$  de bismuto y plomo destacan la gran versatilidad para acrecentar monocristales, para ello se debe de poner a inspección las muestras

obtenidas la primera de las cuales es una inspección visual por medio de un microscopio óptico, la difracción por el método de Laue y otra prueba sería la inspección por reflexión de rayos X (pendiente).



**Figura 2.** Registro de dispersión de Laue de un cristal de bismuto acrecentado en el horno construido en nuestro laboratorio.

## 3. COMENTARIOS

- Las pruebas de crecimiento de cristales usando como muestra bismuto reflejan la facilidad de acrecentar cuasicristales de este material, las pruebas en plomo son algo más complicadas debido a la impureza del material y que dificulta la fundición del mismo, generando gran cantidad de escoria en el fundente.
- El monitoreo de temperatura en el interior del horno y el sistema móvil del crisol, son los aspectos a mejorar en el proceso.
- La dispersión por Laue detalla que la muestra posee cierto ordenamiento cristalino. Siendo reflejado por las manchas de la Figura 2 que para un cristal el registro serian puntos, lo que lleva a pensar que aun no se lleva a un ordenamiento adecuado, para el bismuto se debe de lograr un ordenamiento romboide y que genera por medio de dispersión de Laue, marcas ubicadas en las misma direcciones que las que se muestra en la Figura 2.

## 4. REFERENCIAS

- [1] A. Seybolt; J. Burke. Técnicas de Metalurgia Experimental, Editora Limusa 1969.
- [2] K. Friend. Cross Sections of Materials used as Neutron Monochromators and Filters, Instituto Max Von Laue-Paul Langevin, France 1982.
- [3] R. Cotos; M. Munive. Horno para Crecimiento de monocristales. Informe de Practicas Pre Profesionales IPEN Departamento de Física, Lima 2000.