

MÓDULO: OBTENCIÓN Y APLICACIÓN TECNOLÓGICA DE UN SEMICONDUCTOR

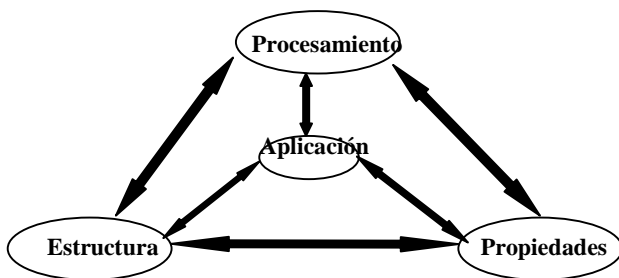
Prof. Héctor Espinosa

Introducción General:

En forma más que resumida puede considerarse a la Ciencia y Tecnología de Materiales (CTM) como aquella que se refiere a la preparación, desarrollo, caracterización y aplicación de materiales.

La preparación de materiales implica su síntesis, su purificación y los muy variados métodos por los cuales se llega al material definitivo. La caracterización de materiales va desde los métodos que verifican la síntesis y purificación del material hasta aquellos que verifican su estructura y propiedades. Finalmente, todo material será útil para una o más aplicaciones, para lo cual deberá construirse con él, el dispositivo adecuado, y verificarse que es apropiado para su aplicación.

Generalmente estos aspectos básicos de la CTM (procesamiento, estructura, propiedades y aplicación) se resumen y relacionan utilizando un modelo para representar el ciclo completo de un material:

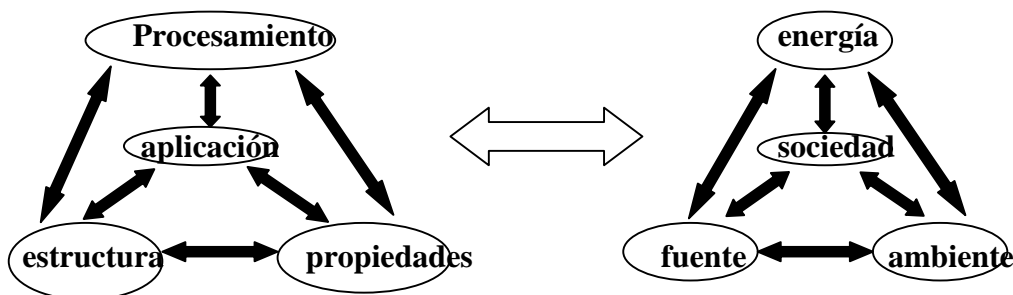


Este ciclo de un material puede comenzar indistintamente por cualquiera de estos aspectos de la CTM; puede ser una aplicación específica la que impulse la investigación y desarrollo de un nuevo material, así como una modificación en la estructura de un material ya existente, puede generar nuevas propiedades y derivar en nuevas aplicaciones.

Sin embargo, el desarrollo y utilización de los materiales a lo largo de la historia ha repercutido en el desarrollo de nuestras sociedades, en nuestro ambiente y por lo tanto en nuestra calidad de vida.

Cuando se consideran estos aspectos, surgen otros factores que se relacionan directamente con la CTM y que no pueden dejarse de lado. Estos factores tienen que ver con los recursos materiales y energéticos en la producción de los materiales, y con el impacto social y ambiental que representa su utilización.

Por lo tanto un estudio más completo del ciclo de un material se convierte en:



En el siguiente módulo del *curso S.O.L. II*, se pretende que el estudiante se familiarice con las principales etapas del ciclo completo de un material y con los contenidos fisico-químicos asociados a éste, aplicado en particular para la **obtención y aplicación de monocristales de un semiconductor compuesto**.

PRIMERA PARTE: SÍNTESIS Y PURIFICACIÓN DE HgI₂

- **OBJETIVO:**

Realizar la síntesis y purificación de un semiconductor compuesto, como forma de presentar al estudiante una visión general sobre la preparación de materiales.

1- INTRODUCCIÓN:

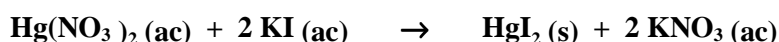
En esta primera etapa del trabajo se pretende sintetizar la sustancia HgI₂, la cual posteriormente será procesada para convertirla en nuestro material definitivo con el que se construirá un dispositivo electrónico.

El HgI₂ pertenece a una clase de materiales denominados *semiconductores compuestos*. El término *semiconductor* hace referencia a la propiedad eléctrica que presentan algunos materiales en donde la intensidad de corriente que circula a través de ellos, cuando son sometidos a una diferencia de potencial eléctrico, aumenta en forma apreciable cuando son irradiados con fotones de energía adecuada o se les aumenta la temperatura.

El término *compuesto* se refiere a que en su composición se encuentra más de un elemento químico (en este caso: Mercurio y Yodo). Generalmente se denominan de esta manera para diferenciarlos de los semiconductores simples como el Silicio o el Germanio.

Como en toda obtención de un material artificial, primero debe sintetizarse por medio de reacciones químicas a partir de sustancias que contengan los elementos químicos necesarios. Una vez sintetizado, se procesará para obtener el material en la forma definitiva en que será aplicado.

La síntesis de HgI₂ (s) se representa por medio de la ecuación química:



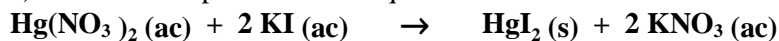
- Condiciones de reacción: sistema abierto, reacción de precipitación

Durante la manipulación de todas estas sustancias se deberá tener cuidado ya que contienen mercurio, el cual al igual que otros metales pesados como el plomo, es altamente tóxico por ingestión o inhalación. Por lo tanto, se deberá usar guantes en todas las manipulaciones y máscara cuando se manipulen los sólidos secos.

2- PROCEDIMIENTO:

2.1- Obtención del HgI₂ (s)

a) Determinar a partir de la estequiometría de la reacción:



la masa necesaria de cada uno de los reactivos para obtener 5,0 g de HgI₂ (s)

Medir ambas masas en la balanza con la mayor precisión posible.

b) En dos matraces Erlenmeyer colocar 50 mL de agua en cada uno. Luego disolver la masa de Hg(NO₃)₂ (s) en un matraz y la masa de KI (s) en el otro.

c) Mezclar las dos soluciones.

Se observará la formación de un precipitado de color rojo el cual corresponde al HgI₂ (s)

d) Filtrar la solución de manera de separar el HgI₂ (s) y lavarlo con agua destilada en el mismo filtro. Nota: previamente, medir la masa del filtro seco utilizado

e) Colocar el filtro conteniendo el HgI₂ (s) en una caja petri y luego en horno hasta que se seque completamente.

f) Medir la masa de HgI₂ (s) obtenido experimentalmente y determinar el porcentaje de rendimiento del proceso de síntesis

SEGUNDA PARTE: OBTENCIÓN Y CRECIMIENTO DE CRISTALES DE HgI₂

• OBJETIVO:

Obtener monocristales de HgI₂ por el método de crecimiento en solución por evaporación de solvente.

1- INTRODUCCIÓN:

Los cristales son el estado termodinámicamente más estable del estado sólido de la materia. Éstos se caracterizan por presentar un ordenamiento periódico y de largo alcance de las entidades de las cuales está formada la sustancia sólida (ya sean moléculas, átomos o iones).

Al proceso por el cual se obtienen cristales de una determinada sustancia se denomina cristalización e involucra múltiples factores como ser las propiedades físico-químicas de la especie a cristalizar, temperatura, presión, etc. A su vez, la cristalización se utiliza con distintas finalidades:

1) como método de fraccionamiento (permite separar sustancias de una solución); 2) para la purificación de sustancias (al realizarse recristalizaciones); 3) como método para obtener cristales con aplicaciones tecnológicas (un ejemplo son los cristales de silicio).

En general la formación de cristales se puede dividir en dos etapas que son la **nucleación** (formación de los primeros cristales estables en el medio de crecimiento) y el **crecimiento de los núcleos** hasta dar origen a los cristales definitivos. El control adecuado de cada una de estas etapas permite obtener cristales con determinadas características (tamaño de los cristales, número y tipos de defectos en la estructura cristalina, etc.) que lo harán apto o no para una cierta aplicación. Por ejemplo, el tiempo en que se realiza cada una de estas etapas y la estabilidad de las condiciones, afectan generalmente el tamaño y calidad de los cristales.

Existen diversos métodos para obtener y crecer cristales, los cuales se pueden clasificar de acuerdo al estado físico a partir del cual se inicia la cristalización. Bajo este criterio los principales métodos son:

- a) cristalización a partir del fundido
- b) cristalización a partir del vapor
- c) cristalización a partir de una solución

A su vez, dentro de cada uno de estos métodos generales de obtención y crecimiento de cristales, se han desarrollado diversas técnicas. Por ejemplo, dentro del método de crecimiento en solución, se pueden destacar técnicas como ser: por evaporación del solvente, por enfriamiento de solución, por difusión de solvente, por difusión de reactivos, etc.

Las propiedades físico-químicas de la sustancia de la cual se quiere obtener cristales y la aplicación de éstos, condicionan cuál o cuáles métodos y técnicas serán más adecuados.

En el caso particular de este trabajo, **se obtendrán monocristales de HgI₂ por el método de crecimiento en solución y dentro de este, por evaporación del solvente.**

2- PROCEDIMIENTO:

Obtención de cristales de HgI₂ en solución alcohólica por evaporación del solvente

- a) Colocar el HgI₂ sintetizado en un matraz Erlenmeyer limpio y seco.
- b) Colocar el matraz conteniendo el HgI₂ sobre el agitador magnético, agregar un poco de alcohol etílico y encender el agitador.
- c) Agregar poco a poco alcohol hasta que se visualice una disolución total del sólido.
- d) Filtrar y colocar la solución formada en un vaso de bohemia adecuado.
- e) Tapar con un film plástico el vaso de bohemia y realizarle perforaciones de manera que se pueda evaporar el solvente pero evitar que se contamine la solución.
- f) Colocar el vaso de bohemia en un lugar libre de vibraciones y no mover hasta observar la formación de cristales que tengan el tamaño de al menos 2 mm en su dimensión mayor. Es importante retirar los cristales antes de que se evapore todo el solvente, ya que de contrario, se incorporarían las impurezas nuevamente.

Si se deseara cristales con mayor pureza, el proceso de cristalización se podría realizar las veces que fuese necesario.



TERCERA PARTE: PROPIEDADES Y APLICACIONES DE UN SEMICONDUCTOR

• OBJETIVO:

Construir un dispositivo electrónico a partir de los cristales obtenidos anteriormente, de manera de chequear algunas propiedades eléctricas y aplicaciones de los semiconductores.

1- INTRODUCCIÓN:

De las propiedades físicas que presentan los semiconductores, las eléctricas son las más relevantes de estos materiales que han revolucionado la tecnología electrónica. Los materiales semiconductores tienen una enorme aplicación, por ejemplo en la construcción de todo tipo de detectores de radiación, transistores, integrados electrónicos, en dispositivos para obtención de imágenes digitales, fotoceldas, sensores, etc.

Básicamente los materiales se pueden clasificar de acuerdo a su resistividad eléctrica en tres grandes grupos que son los aislantes, los semiconductores y los conductores. Mientras los aislantes presentan resistividades muy altas (en el orden $10^{14} - 10^{22} \Omega \cdot \text{cm}$) y por lo tanto su capacidad de conducir corriente es prácticamente nula, los conductores (como los metales) se caracterizan por resistividades pequeñas ($10^{-6} - 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$).

Los semiconductores presentan resistividades intermedias entre aislantes y conductores que les confiere propiedades de mucho interés en un gran número de aplicaciones tecnológicas, como ser la fotoconductividad (disminución de la resistencia eléctrica bajo la influencia de radiación electromagnética) y la disminución de la resistencia eléctrica al aumentar la temperatura (aspecto que los diferencia con los conductores metálicos).

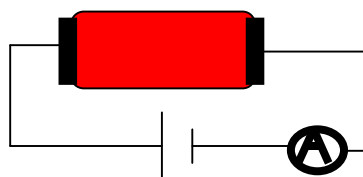
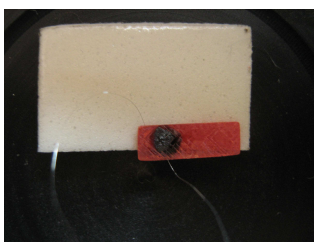
Desde sus primeras aplicaciones en la construcción de celdas fotoeléctricas (1920-1930) y transistores (1948), mucho es lo que se ha progresado en el conocimiento de sus propiedades (ya no sólo eléctricas sino magnéticas, ópticas, térmicas), crecimiento de sus cristales, control de impurezas (dopamiento) y aplicaciones de estos materiales.

En esta última parte del trabajo **se construirá un dispositivo electrónico a partir de los cristales de HgI_2 obtenidos anteriormente, de manera de chequear algunas propiedades y aplicaciones de los semiconductores.**

2- PROCEDIMIENTO:

2.1- Armado de un dispositivo electrónico para chequear propiedades eléctricas.

- a) Utilizando el microproyector o una lupa binocular, seleccionar un cristal de HgI_2 con el menor número de imperfecciones posible.
- b) Sobre un vidrio (de los que se utilizan como cubre objetos para microscopios) depositar una pequeña gota de adhesivo instantáneo, y sobre esta, depositar el cristal. Esperar hasta que haya fijado el cristal al vidrio.
- c) Utilizando "Aquadag" (solución de grafito amoniacal, conductora de corriente eléctrica) unir en cada extremo del cristal, un alambre fino de cobre. Dejar secar la unión realizada y luego depositar sobre cada alambre, una gota de adhesivo instantáneo para evitar que se despeguen al ser manipulados posteriormente.
- d) El dispositivo se conectará a un circuito eléctrico como se indica a continuación:



2.2- Chequeo de propiedades eléctricas del semiconductor HgI_2

Propiedad fotovoltaica y aplicación como fotocélula

Una vez armado el circuito como se indicó en la figura anterior a un multímetro (tester), medir la diferencia de potencial eléctrico (en milivoltios) frente a diferentes intensidades de luz aplicada sobre el cristal del semiconductor.

Propiedad Fotoconductor y aplicación como sensor de radiación

Aplicar en el dispositivo una diferencia de potencial eléctrico constante (dentro del rango donde la intensidad de corriente se haya mantenido más estable) y registrar dicha intensidad.

Utilizando distintas fuentes emisoras de radiación, determinar cuál o cuáles radiaciones pueden ser detectadas por el HgI_2 . Para esto, acercar al cristal de HgI_2 una fuente de radiación por vez y registrar el aumento en la intensidad de corriente.

2.3- Caracterización del semiconductor: determinación de su resistividad

- a) Aplicar una diferencia de potencial eléctrico de 2,0 voltios y medir (cuando se estabilice la lectura) la intensidad de corriente que circula a través del cristal.
- b) Aumentar la diferencia de potencial eléctrico aplicado en el cristal a 4,0 voltios y nuevamente medir la intensidad de corriente. Repetir este paso (aumentando 2 voltios por vez) hasta llegar aproximadamente a los 30,0 voltios.
- c) Graficar intensidad en función del potencial aplicado (curva I-V) y a partir de esta curva, calcular la resistencia del cristal y la resistividad del HgI_2 .