

UNA NUEVA ALTERNATIVA: LOS SEMICONDUCTORES AMORFOS

Los materiales semiconductores amorfos han adquirido gran importancia tecnológica debido a que sus propiedades físicas y su fácil preparación en forma de película delgada posibilitan la elaboración de componentes electrónicos de gran área, tales como pantallas, celdas fotovoltaicas, fotosensores, rodillos fotocopiadores y otros.

Debido a sus propiedades electroópticas, el silicio amorfo hidrogenado (a - Si: H) es el material más adecuado para dichas aplicaciones. El presente artículo expone sus propiedades y métodos de producción

Pedro Prieto*

costoso que el de silicio amorfo, sin embargo, para muchos dispositivos poseer esta característica es una exigencia fundamental. Otras aplicaciones, por ejemplo diseños de gran área como una pantalla o una celda fotovoltaica, permiten en cierto rango el empleo de semiconductores amorfos depositados sobre un soporte en forma de película o lámina de plástico adecuada. Hoy es posible encontrar en el mercado relojes, calculadoras y otros equipos electrónicos operados con baterías solares fabricadas a partir de silicio amorfo hidrogenado.

PROPIEDADES DEL SILICIO AMORFO HIDROGENADO

La mayoría de las propiedades físicas de los materiales cristalinos puede explicarse mediante la teoría de las bandas de energía que poseen los electrones de los átomos del material. La figura 2 muestra los valores permitidos de energía para un metal y un semiconductor: la parte superior es conocida como la banda de conducción y la inferior como banda de valencia. En el metal (fig. 2A) la última banda está ocupada sólo parcialmente y los electrones situados en ella pueden desplazarse fácilmente por el sólido. En un semiconductor (fig. 2B), la banda de valencia está totalmente ocupada y separada de la de conducción por una brecha de energía, de tal ma-

Los materiales semiconductores son aquellos que conducen la electricidad menos fácilmente que los metales, pero mejor que los aislantes que no permiten en su interior el movimiento de portadores de carga. Los materiales semiconductores más estudiados son el germanio y el silicio.

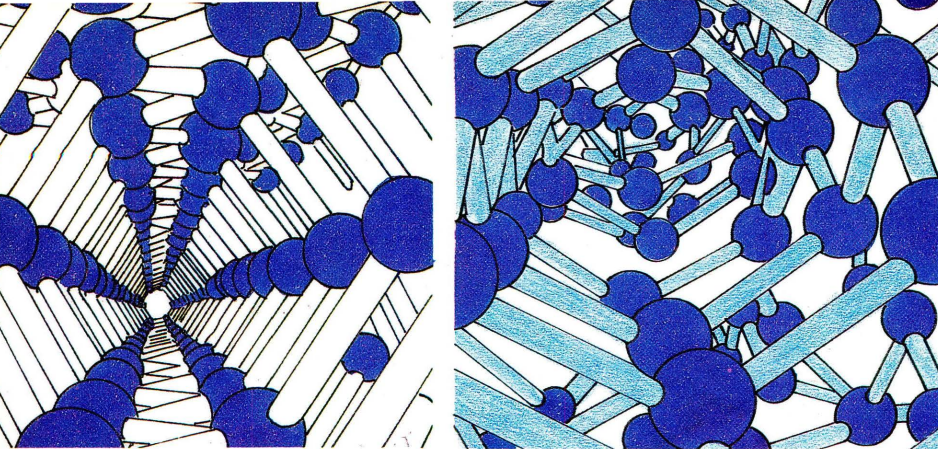
Ser semiconductor no es por sí mismo una propiedad útil o interesante, pero la adición de pequeñas cantidades de otros elementos hacen que su conductividad eléctrica varíe considerablemente y que sea controlada por estímulos externos tales como temperatura, campo eléctrico, radiación solar, etc. Esta característica ha hecho que los semiconductores sean el pilar fundamental en dispositivos electrónicos tales como diodos, transistores, celdas solares, detectores de radiación, etc.

más usados por la tecnología moderna aquellos que presentan estructura cristalina, es decir, sus átomos constituyentes están arreglados en forma ordenada y periódica, tal como se observa en la figura 1. Los semiconductores amorfos, por el contrario, no presentan una estructura regular y el arreglo periódico se pierde muy rápidamente, como se ve claramente al comparar las dos partes de la figura mencionada. Hasta hace unos años los semiconductores amorfos hidrogenados no presentaban buenas propiedades optoelectrónicas debido a una gran cantidad de defectos propios de la estructura amorfa; sin embargo, el descubrimiento hecho por Sper y Le Comber en 1975 mostró que la adición de hidrógeno mejora considerablemente dichas propiedades, lo que permitió utilizarlos en la fábrica de dispositivos optoelectrónicos.

Existen diversos tipos de materiales semiconductores, siendo los

El proceso de fabricación de silicio monocristalino es mucho más

* Grupo de Películas Delgadas. Universidad del Valle



Estructura del C-Si y del a-Si

nera que sólo es posible la conducción si los electrones del borde superior de la banda de valencia pueden alcanzar el borde inferior de la banda de conducción, lo cual es factible por la acción de un estímulo como la temperatura o la luz.

En materiales amorfos el esquema de bandas planteado para los sistemas cristalinos no cambia radicalmente, ya que éstas dependen fundamentalmente del enlace químico. Pero debido al desorden, los materiales amorfos tienen una cierta cantidad de defectos, tales como enlaces sueltos, que provocan un aumento de la densidad de estados en la brecha de energía y los bordes de las bandas no están bien definidos. El descubrimiento de Spear y Le Comber acerca del papel del hidrógeno en la disminución de la densidad de estados en la brecha de energía explica a nivel teórico y experimental el gran auge del a-Si:H. La baja densidad de estados del a-Si:H es la clave para variar la conductividad eléctrica mediante la adición de impurezas tales como fósforo y boro.

Otra propiedad importante que posee es su alto coeficiente de absorción de la luz, cuando se compara con la del silicio cristalino, lo que permite la fabricación de celdas solares ultrafinas.

MÉTODOS DE PREPARACION DE SILICIO AMORFO HIDROGENADO

Los semiconductores amorfos pueden prepararse por medio de los métodos convencionales de elaboración de películas delgadas:

evaporación en alto vacío, pulverizado catódica, etc.; sin embargo éstos tienen la desventaja de que el material resultante posee una alta densidad de efectos provenientes principalmente de los enlaces no saturados.

El método más utilizado para la producción de películas de a-Si:H es el llamado *descarga luminiscente* (glow discharge), esquematizado en la figura 3.

La fabricación del material se efectúa a partir de la descomposición del gas silano en una descarga eléctrica a alta frecuencia. En uno de los electrodos se coloca el sustrato que puede ser vidrio, acero inoxidable o cerámica, mantenido a una temperatura entre 200 y 300 grados centígrados. Variando la potencia de la descarga (2W/cm²) y la presión de silano (0.5 mbar) se controla la velocidad de crecimiento de la película.

Una de las ventajas de este método es que es posible "dopar" el material con la adición de fós-

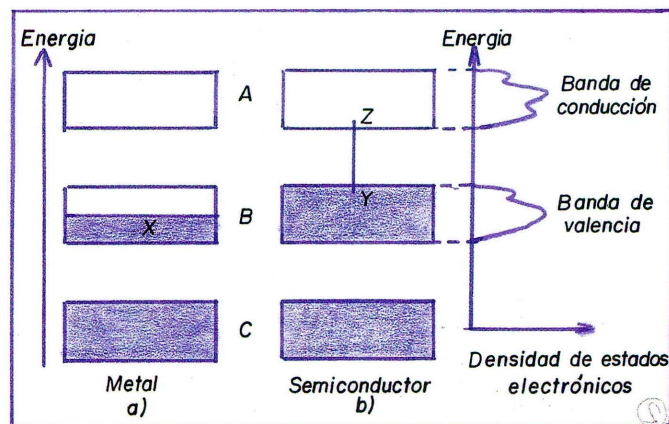
foro o boro. Para lograrlo basta con añadir fosfina o diborano al gas silano que entra en la cámara del reactor, todo esto con el fin de mejorar la conductividad del material. Adicionalmente es factible la preparación de una gran variedad de materiales con brecha de energía controlable utilizando simplemente mezclas gaseosas, con lo cual se abre un nuevo campo de aplicabilidad para los semiconductores amorfos dada la facilidad con la que se varían las propiedades eléctricas y ópticas de estas aleaciones amorfas.

APLICACIONES DE LOS SEMICONDUCTORES AMORFOS

El elevado coeficiente de absorción óptica del a-Si:H condujo a los laboratorios de la RCA-USA a desarrollar en 1974 la primera celda de transformación de energía solar en energía eléctrica. Inicialmente la eficiencia de esta conversión fue de 2% en el prototipo de la RCA. Posteriormente, el Japón inició su programa de investigación que condujo a la obtención a nivel de laboratorio y producción industrial de las celdas actuales que poseen una eficiencia del 12%. En este país se producen hoy en día más de cinco millones de calculadoras por mes, todas equipadas con baterías hechas a base de semiconductores amorfos, los cuales además de ser baratos, son altamente eficientes para este trabajo.

Durante los últimos años su aplicabilidad ha venido en aumen-

Bandas de energía electrónica en un sólido: a- en un metal, b- en un semiconductor cristalino. A la derecha se esquematiza la densidad de estados.

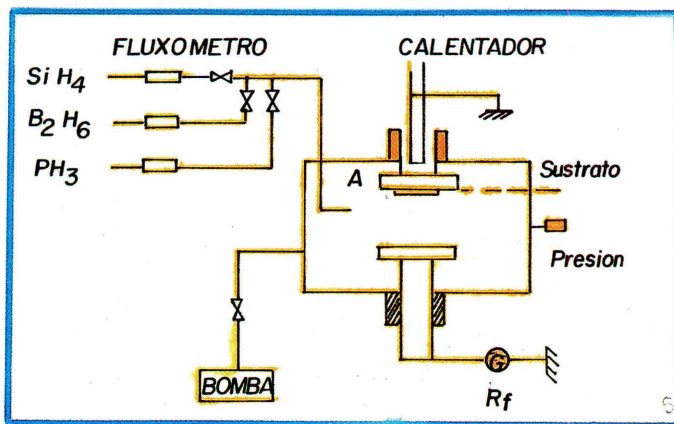


to. Hoy se fabrican transistores de películas delgadas, rodillos para fotocopiadoras, transistores para pantallas de computación de cristal líquido y sólido, para el caso de televisores a color.

LA INVESTIGACION EN LA UNIVERSIDAD DEL VALLE

El grupo de Películas Delgadas del Departamento de Física ha venido desarrollando durante los últimos cuatro años el proyecto *Diseño y construcción de un sistema de glow discharge para la producción de celdas solares de silicio amorfo*. Ya se ha logrado producir capas de a-Si:H que muestran alta fotoconductividad y buena estabilidad; asimismo se han caracterizado por métodos ópticos, eléctricos y estructurales por microscopía electrónica y resonancia paramagnética, obteniéndose resultados favorables.

Esquema de un equipo de G.D. para deposición y dopaje de a-Si:H.



Mantener una investigación permanente en la producción de películas delgadas semiconductoras en Colombia, que sea capaz de estar al día con los adelantos que en este campo se hacen a nivel internacional, es de gran importancia para el país, no sólo por los aspectos científicos sino porque

también permite adquirir experiencia para fortalecer nuestra capacidad de negociación tecnológica. En este sentido se está estudiando la posibilidad de emprender a nivel andino un programa de investigación y desarrollo para la fabricación de películas delgadas semiconductoras. □

LA CARRERA DE LOS SUPERCONDUCTORES A NUEVAS TEMPERATURAS

Con los descubrimientos realizados recientemente en el campo de los superconductores se avecina una gran revolución tecnológica, quizás tan importante como el invento del transistor.

Ver un tren a velocidades 6 veces mayores que las que actualmente conocemos, suspendido a 15 centímetros del aire; motores de las más alta potencia, del tamaño de una máquina de escribir; redes que transmiten energía sin pérdida alguna; sitios para almacenamiento energético como cualquier bodega más; carros con motores muy livianos y pequeños; mini-mini computadores y muchas

cosas más, podrá ser una realidad gracias al empleo de los llamados nuevos materiales superconductores.

¿QUE ES LA SUPERCONDUCTIVIDAD?

Aunque por nuestra experiencia cotidiana estamos relativamente familiarizados con la conducción y uso de la corriente eléctrica, así como con sus aplicaciones comunes, muy pocos sabemos qué es la

superconductividad y cuáles sus usos.

Los metales más utilizados para conducir la corriente eléctrica son el cobre, el aluminio y aleaciones de éstos que a pesar de llamarse "buenos conductores" presentan siempre resistencia al paso de la corriente. Los que ofrecen la máxima resistencia, es decir, los que prácticamente no permiten el flujo de la corriente eléctrica se llaman *aislantes* y son materiales como el caucho, el vidrio y los plásticos, esenciales también en la tecnología eléctrica pues gracias a ellos podemos acercarnos y manipular los conductores sin que la corriente pase por nuestro cuerpo, que es un conductor relativamente bueno, y sin que se produzcan corto circuitos normalmente indeseables.