

# NANOHILOS

Universidad Politécnica Salesiana

**Abstract**—En el presente se muestra una investigación de la definición, el proceso de crecimiento, aplicaciones y diferencias de los diferentes nanohilos, mas importantes inventados hasta el momento. Se consiguió averiguar las diferentes características de los nanohilos ya sea de silicio o de zinc los cuales abarcan el mayor interés de los científicos. Se muestra como cada tipo de nanohilo tiene cualquier variedad de investigaciones por lo importante que es el desarrollo de estos, se muestra de manera teórica como se podrían crear nanohilos ya sean de Si o ZnO. Se muestra algunas aplicaciones de los nanohilos, estos son teóricos o están en pruebas pero que en un futuro serán realidad.

**Index Terms**—silicio, zinc, nanohilos, SI, ZnO, científicos.

## I. INTRODUCCION

Las estructuras semiconductoras unidimensionales, como son los nanohilos (de 10 a 150 nm de diámetro), resultan de gran interés en sistemas nanoelectrónicos y nanofotónicos debido a que pueden realizar funciones como dispositivos y también como interconexiones. Los nanohilos resultan especialmente atractivos porque los procesos de obtención son compatibles con las tecnologías de fabricación utilizadas en microelectrónica. Se han utilizado nanohilos de Si en la realización de transistores de efecto de campo (FET), puertas lógicas y sensores. Los nanohilos de ZnO, de especial interés en electrónica de alta velocidad y sensores de infrarrojo, ofrecen además la ventaja de requerir una temperatura de crecimiento que puede considerarse baja, inferior a 400 °C, facilitando así su integración con otros dispositivos convencionales. [18]

## II. DEFINICION

Un nanohilo es un alambre con un diámetro pequeño que corresponde al orden de los nanómetros (10<sup>-9</sup> metros). Son estructuras que tienen un tamaño lateral restringidos a diez o menos nanómetros de una longitud libre. Existen muchos tipos diferentes de nanohilos, incluyendo hilos metálicos, semiconductores y aisladores. [1]

La relación entre longitud y el ancho es casi infinita, hasta de varias micras. Por eso se las describe como materiales unidimensionales. Los nanohilos tienen varias propiedades no usuales que no se han visto en materiales tridimensionales. Esto se debe a que los electrones tienen un confinamiento cuántico y ocupan niveles de energía que son diferentes de los niveles de energía o bandas encontradas en materiales masivos. Las características de este confinamiento cuántico se manifiestan en valores discretos de determinadas propiedades físicas, que aparecen de una restricción de la mecánica cuántica en el número de electrones que logran viajar a través del hilo en la escala manométrica. [3]

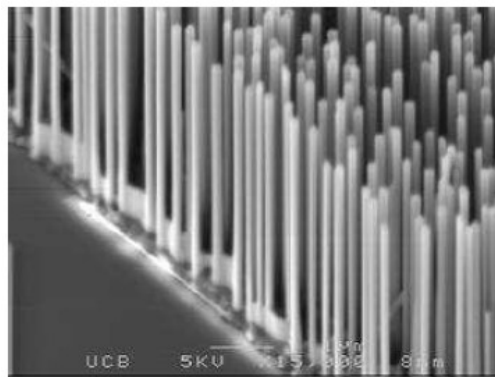


Figure 1. Nanohilos

## III. TIPOS DE NANOHILOS

Existen muchos tipos de nanohilos los cuales dependen del elemento con que se los produzca que puede variar desde el níquel al oro, platino, silicio, etc. [4] Los cuales pueden ser:

- Hilos metálicos semiconductores
- Hilos aisladores

### A. Hilos metálicos semiconductores

Son considerados como uno de los elementos básicos para desarrollar aplicaciones de nanotecnología. Es importante que tengan una alta relación superficie-volumen donde ciertas propiedades pueden cambiar. [1]. Introduciendo en los nanohilos zonas de dopaje selectivo con átomos donadores, podemos conseguir la creación de uniones PN de semiconductores dopados para que circulen por ellos cargas negativas, semiconductores dopados para que circulen cargas positivas, o se puede crear diodos a nanoescala.[2]

#### B. Hilos aisladores

Los nanohilos aisladores son hilos creados de materiales aislantes es decir de polímeros o plásticos los cuales cumplen la función de un aislador común sino que en tamaño de él orden de los nanos. [7]

### IV. APLICACIONES DE LOS NANOHILOS

Las aplicaciones de estos materiales es muy extenso, hay aplicaciones que hoy en día siguen siendo de estudio teórico y simulaciones. Estos materiales ya han sido evaluados satisfactoriamente como transistores, diodos LED, celdas solares. Como los nanohilos cambian sus propiedades eléctricas al variar el contacto superficial por lo cual se pueden dar varios usos muy importantes. [2]

#### A. NANOSENSORES DE GLUCOSA INTEGRABLES EN CHIPS DE SILICIO Y PÁNCREAS ARTIFICIALES

El nuevo nanosensor utiliza un conjunto de nanohilos de silicio recubiertos del enzima glucosa-oxidasas que generan un efecto tipo transistor de efecto de campo (FET) biológico (BioFET). La glucosa-oxidasas en cada nanohilo de unos 50-100 nanómetros de ancho y unos 6 micrómetros de largo permite oxidar la glucosa en sangre mediante una reacción en dos pasos. En el primer paso, una molécula de glucosa-oxidasas contiene dos moléculas de una forma oxidada del dinucleótido de flavina y adenina (FAD) que se reduce rápidamente con oxígeno produciendo peróxido de hidrógeno y restaurando la forma no oxidada de dicho enzima. En el segundo paso, el polihidroxiácido gluconolactona espontáneamente se hidroliza a ácido glucónico generando un protón (ión de hidrógeno) que cambia localmente el pH de la solución. Los nanosensores son sensibles a dicho cambio de pH, que altera el potencial superficial de los nanohilos y genera un campo eléctrico que modula la conductancia del BioFET. Este efecto es fácilmente amplificado con tecnología estándar de silicio. El nuevo nanosensor es biocompatible gracias a la tecnología utilizada. El nuevo avance permitirá una incorporación más rápida en el mercado de este tipo de bio-nanosensores de glucosa lo que hará más soportable la convivencia con la diabetes. [8]



Figure 2. Nanohilos

#### B. NANOHILOS DE SILICIO

1) **BATERÍAS DE IÓN-LÍTIO CON NANOHILOS DE SILICIO:** Se ha encontrado la forma de utilizar nanohilos de silicio para reinventar las baterías de ión-litio con un resultado que es escandalosamente superior. La capacidad eléctrica de almacenamiento de una batería de ión-litio se ve limitada por la cantidad de litio que se puede acumular en el ánodo de la batería. [11]

El silicio es un material que puede ser utilizado como ánodo en estas baterías, porque se caracterizan por un bajo potencial de descarga y tiene la capacidad de carga teórica más elevada lo que puede ser que sea diez veces mejor que los ánodos de grafito existente y mejor aún que el de algunos nitruros u óxidos. La falla en la utilización del silicio es que resulta un cambio de volumen del material en las fases de inserción y extracción de litio, por lo cual conduce a una pérdida del contacto eléctrico en el colector de corriente. [11]

Los nanohilos de silicio no presentan este inconveniente. El litio se almacena en un pequeño bosque de nanohilos. Estos nanohilos se forman directamente sobre un electrodo de acero por el método clásico de crecimiento vapor-liquidosolido (VLS) y crecen perpendicularmente a la superficie para constituir una especie de bosque. Esta geometría es favorable ya que los nanohilos pueden crecer en diámetro y alargarse sin romperse, pueden evacuar fácilmente la dificultad con la incorporación del litio, cada nanohilo se conecta directamente al colector, de modo que todos los nanohilos contribuyen al transporte de carga, como si se tratara de un conductor común es la ventaja de los nanohilos. [12]

2) **OBTENCIÓN DE NANOHILOS DE SILICIO:** El método más utilizado en estudios previos para la obtención de nanohilos es el denominado Vapor-Líquido-Sólido (VLS). Este proceso se inicia a partir de nanopartículas metálicas, generalmente de Au, que actúan como catalizadores para el crecimiento al tomar las especies procedentes de la descomposición de los gases precursores y segregar las especies en exceso de la composición de equilibrio hacia la intercala entre la nanopartícula y el sustrato. En el presente trabajo los nanohilos se han crecido mediante el método VLS utilizando la técnica de depósito químico en fase de vapor a baja presión (LPCVD), con disilano ( $\text{Si}_2\text{H}_6$ ) y germano ( $\text{GeH}_4$ ) como gases precursores de Si y Ge.[15]

La densidad de nanohilos crecidos con presión parcial de disilano constante de 10 mTorr disminuye con el aumento de temperatura, de  $3 \cdot 10^9$  (a 360 °C) hasta  $10^8 \text{cm}^{-2}$  (a 500 °C). La tasa de crecimiento, calculada como el cociente entre la densidad de nanohilos y la densidad de nanopartículas de diámetros iguales a los de los nanohilos, obtenida a partir de la distribución, es superior al en todos los casos. [14] Al aumentar la temperatura, los nanohilos crecen a partir de nanopartículas de Au cada vez más grandes. El diámetro de los nanohilos y su dispersión en función de la presión parcial de disilano. En el intervalo de presiones parciales de 2 a 20 mTorr, a temperatura constante de 500 °C, el diámetro de los nanohilos aumenta. A presiones a partir de 20 mTorr crecen nanohilos cuyo diámetro es superior al diámetro máximo de nanopartícula existente en la matriz inicial. En este caso, el silicio se ha depositado sobre las paredes laterales de los nanohilos provocando el crecimiento radial de los mismos, que toman el aspecto de tubos los cuales dispersos. [16]

### *C. NANOHILOS DE ZNO*

Los nanohilos de óxido de zinc sensibilizados con telururo de cadmio, forman una heterojuntura semiconductor que se puede preparar de manera simple para obtener celdas fotovoltaicas de tercera generación. Las muestras preparadas con NH son de bajo costo y de mejor performance en comparación con las laminares. El ZnO es un semiconductor directo tipo n, transparente cuya energía del band gap se encuentra usualmente entre 3.2 y 3.4 eV a temperatura ambiente. [17]

Estos nanohilos pueden funcionar como medio activo y como microcavidad láser emitiendo en el rango ultravioleta y a temperatura ambiente. ¿Por qué se buscó reducir el tamaño del material? Se sabía que el ZnO era capaz de emitir luz en el rango ultravioleta (intervalo de energías prohibidas = 3.3eV). Sin embargo, al ser esta zanja de energías prohibidas tan ancha, se necesitaba una elevada concentración de portadores para alcanzar suficiente ganancia óptica. Podríamos recurrir a la recombinación excitónica, que es un proceso radiativo más eficaz, con un umbral de emisión estimulada mucho menor. La energía del excitón debe ser mucho mayor que la térmica a temperatura ambiente. En el caso del ZnO la energía de enlace del excitón es de 60 meV. Pues bien, al utilizar el material semiconductor con tamaño nanométrico, aumenta la densidad de estados en los bordes de banda y también la recombinación radiativa, debido a los efectos de confinamiento cuántico. [20]

1) **OBTENCIÓN DE NANOHILOS DE ZNO:** el crecimiento de estos nanohilos se realiza sobre sustratos de zafiro o silicio mediante un proceso en fase vapor a través de un crecimiento epitaxial catalizado por películas delgadas de oro (aunque también existen otros métodos). Puede conseguirse que estos nanohilos crezcan orientados verticalmente en las zonas cubiertas por oro. El tamaño depende del tiempo de crecimiento y oscila entre 20-150 nm de diámetro y de 2-10  $\mu\text{m}$  de largo. Tienen la sección trasversal hexagonal y al estar bien facetados tanto lateralmente como en las caras superior e inferior favorecen su uso como cavidad resonante. [20]

El crecimiento de nanohilos fue realizado mediante el sistema de transporte de vapor de LAFISO, diseñado e instalado usando un horno exclusivo para este proyecto. Consiste de un tubo de cuarzo de 1 3/8 " de diámetro y 1 m de largo colocado dentro de un horno tubular de 0,6 m de longitud. Uno de los lados del tubo de cuarzo se conecta (manteniéndose una conexión sellada) a través de una válvula de vacío, a una bomba rotatoria, mientras que su otro lado se conecta a una línea de Argón de alta pureza (99,999%) construida con un tubo de acero inoxidable de 1/4 " de diámetro. Dentro del tubo de cuarzo se coloca un crisol de alúmina que contiene polvos de ZnO y de grafito en una posición que corresponde al centro del horno. En paralelo al eje del tubo se colocaron pares de piezas de Si (100) y  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  sustrato,

de cara hacia arriba a dos distancias diferentes a lo largo del flujo del tubo (16 y 19 cm del centro del horno), lo que dio lugar a dos temperaturas de sustrato diferentes debido al gradiente de temperatura a lo largo del horno. [20]

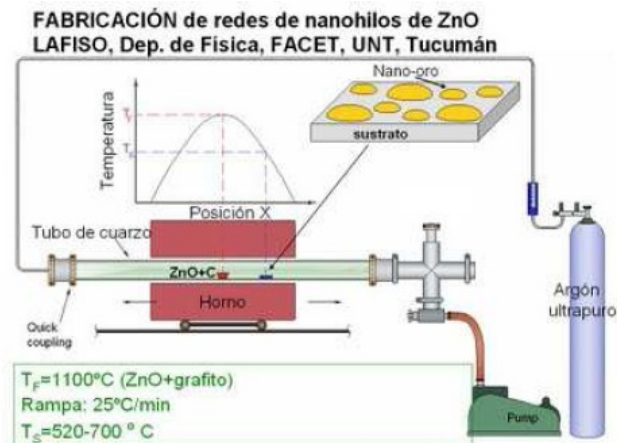


Figure 5. Fabricación de redes de nanohilos de ZnO

2) DISPOSITIVO HÍBRIDO SOLAR-PIEZOELÉCTRICO CON NANOHILOS DE ZNO: Los nanogeneradores suelen utilizar nanohilos piezoeléctricos, estructuras de óxido de zinc (ZnO) del tamaño de un capilar que en respuesta a tensiones mecánicas adquieren una polarización eléctrica, apareciendo una diferencia de potencial y cargas eléctricas en su superficie. El primero de estos dispositivos lo hizo Zhong Lin Wang, director del Center for Nanostructure Characterization, del Georgia Tech, del que también es profesor, quien espera que los nanogeneradores consigan algún día suprimir la necesidad de usar baterías gracias a sensores implantados médicamente, e incluso generar la suficiente como para alimentar dispositivos electrónicos personales. Comparados con las células solares, los nanogeneradores son todavía relativamente ineficientes colectores de energía, dice Wang, pero “a veces la energía solar no está disponible”. Por eso colabora con Xudong Wang, profesor de ingeniería y materiales en la Universidad de Wisconsin-Madison, para conseguir un nuevo dispositivo híbrido. Combina dos tecnologías previamente desarrolladas; ambas utilizan nanohilos de óxido de zinc en un sustrato de silicio. La capa superior consiste en una delgada película que es la célula solar en la que se encuentran incrustados los nanohilos de ZnO. La superficie de los nanohilos estimula la absorción de luz según un diseño basado en un trabajo de Peidong Yang, profesor de química de la Universidad de California, Berkeley. La capa inferior contiene el nanogenerador de Wang. En la base del silicio existe un polímero rugoso también cubierto con nanohilos de ZnO dispuestos como una dentadura. Cuando el dispositivo se expone a vibraciones, el rozamiento de esos dientes produce un potencial eléctrico. La célula solar y el nanogenerador están conectados eléctricamente mediante el mismo sustrato de silicio que actúa como ánodo de la célula solar y cátodo del nanogenerador. Aunque es posible conectar células solares y nanogeneradores, integrarlos en un dispositivo ahorra espacio y es energéticamente más eficiente. El prototipo puede producir 0,6 voltios de energía solar y 10 milivoltios de piezoeléctrica, y aunque solo tiene un nanogenerador, Wang piensa incrementar la producción de energía mediante dispositivos de múltiples capas de nanogeneradores. [21]

## V. CONCLUSIONES.

Se ha realizado una investigación exhaustiva para poder obtener toda la información necesaria para y por ende lograr hablar del tema de una manera óptima. Se realizó una búsqueda por todas las páginas web que hablan del tema, se escogió solo lo necesario para lograr realizar un resumen sin perder ningún dato importante, se procedió a buscar algunos datos en libros que tratan sobre el tema.

En el campo de la nanotecnología se nota la importancia de los nanohilos, ya que sus aplicaciones son muy necesarias, para mejorar en mucho nuestra tecnología actual lo que nos permitirá seguir avanzando. Hay una gran necesidad por el avance con esta tecnología por lo cual ya existen varios países y empresas que están creando nanohilos, ya sea por investigación, industria, medicina lo cual dice que próximamente tendremos muchos cambios e innovaciones en los diferentes cambios.

## VI. BIBLIOGRAFÍA.

Páginas Web

## REFERENCES

- [1] <http://blogs.creamoselfuturo.com/nano-tecnologia/2013/05/21/nanohilossemiconductores/>
- [2] Robert L. Boylestad, Louis Nashelsky. *Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*. 10ed. Person Educacion, Mexico 2009
- [3] <http://www.investigacionyciencia.es/investigacion-y-ciencia/numeros/2009/9/nanohilos-semiconductores-1145>
- [4] [http://jornadasaugm2013.unne.edu.ar/CD/2/LODONO\\_UBA\\_2.pdf](http://jornadasaugm2013.unne.edu.ar/CD/2/LODONO_UBA_2.pdf)
- [5] <http://www.monografias.com/trabajos90/nanotecnologia-nanomateriales-y-sus-aplicaciones/nanotecnologia-nanomateriales-y-sus-aplicaciones.shtml>
- [6] <http://www.investigacionyciencia.es/investigacion-y-ciencia/numeros/2009/9/nanohilos-semiconductores-1145>
- [7] [http://nanotecnologiaycomputadoras.blogspot.com/2010\\_08\\_01\\_archive.html](http://nanotecnologiaycomputadoras.blogspot.com/2010_08_01_archive.html)
- [8] <http://francis.naukas.com/2008/02/21/diabeticos-con-suerte-dentro-delo-que-cabe-o-nanosensores-de-glucosa-integrables-en-chips-de-silicio-y-pancreas-artificiales/>
- [9] [http://www.herrera.unt.edu.ar/nano/Investigacion\\_Nanociencia\\_Nanotecnologia\\_Argentina\\_Tucuan\\_UNT.html/](http://www.herrera.unt.edu.ar/nano/Investigacion_Nanociencia_Nanotecnologia_Argentina_Tucuan_UNT.html/)
- [10] [http://www.lagaceta.com.ar/nota/332278/Informaci%C3%B3n\\_General/Estudian\\_nanohilos\\_paa\\_detectar\\_c%C3%A9lulas\\_cancer%C3%ADgenas.html](http://www.lagaceta.com.ar/nota/332278/Informaci%C3%B3n_General/Estudian_nanohilos_paa_detectar_c%C3%A9lulas_cancer%C3%ADgenas.html)
- [11] <http://blogs.creamoselfuturo.com/nano-tecnologia/2009/04/20/bateriasde-ion-litio-con-nanohilos-de-silicio-i/>
- [12] [http://www.bibliodar.mppeu.gob.ve/?q=doc\\_categoria/Nanohilos%20de%20silicio](http://www.bibliodar.mppeu.gob.ve/?q=doc_categoria/Nanohilos%20de%20silicio)
- [13] <http://patentados.com/patente/procedimiento-de-obtencion-denahilos-de-silicio/>
- [17] <http://www.unizar.es/icma/divulgacion/otros.html>
- [18] [http://jornadasaugm2013.unne.edu.ar/CD/18/FERRER\\_UDELAR\\_18.pdf](http://jornadasaugm2013.unne.edu.ar/CD/18/FERRER_UDELAR_18.pdf)
- [19] [http://www.herrera.unt.edu.ar/nano/Investigacion\\_Nanociencia\\_Nanotecnologia\\_Argentina\\_Tucuman\\_UNT.html](http://www.herrera.unt.edu.ar/nano/Investigacion_Nanociencia_Nanotecnologia_Argentina_Tucuman_UNT.html)
- [20] <http://blogs.creamoselfuturo.com/nano-tecnologia/2008/04/21/nanohilosde-zno/>
- [21] <http://www.ison21.es/2009/04/12/dispositivo-hibrido-solarpiezoelectrico/>

## Libros

### REFERENCES

- [14] Schmid, H., Björk, M. T., Knoch, J., Riel, H., Riess, W. "Patterned epitaxial vapour-liquid-solid growth of silicon nanowires on Si(111) using silane", *Journal of Applied Physics* 103, 2008.
- [15] Dailey, J. W., Taraci, J., Clement, T. "Vapor-liquid-solid growth of germanium nanostructures on silicon". *J. Appl. Phys.* Vol.96, 2004.
- [16] Sharma, V., Kamenev, B. V., Tsybeskov, L. "Optical Propierties of Ge Nanowires Grown on Silicon (100)