

Internet Electronic Journal Nanociencia et Moletrónica

Diciembre 2003, Vol. 1; N°2, págs. 112-119

NANOMÁQUINAS Y NANOROBOTS

R. Durán

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Facultad de Ciencias de la Electrónica. Depto. de Posgrado.
Apartado Postal #1505, 72000 Puebla, Pue., México
e-mail: rduran@ece.buap.mx
e-mail: azehe@siu.buap.mx

recibido: Octubre16, 2003

revisado: Noviembre20, 2003

publicado: Diciembre 16, 2003

Citation of the article:

R. Durán, "Nanomáquinas y Nanorobots", Internet Electrón. J. Nanocs. Moletrón. 2003, 1(2), 112-119:
<http://www.revista-nanociencia.ece.buap.mx>

NANOMÁQUINAS Y NANOROBOTS

R. Durán

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Facultad de Ciencias de la Electrónica. Depto. de Posgrado.
Apartado Postal #1505, 72000 Puebla, Pue., México
e-mail: rduran@ece.buap.mx

recibido: Octubre 16, 2003

revisado: Noviembre 20, 2003

publicado: Diciembre 16, 2003

Internet Electron. J. Nanocs. Moletrón. 2003, 1(2), pags. 112-119

Resumen

El desarrollo de la microelectrónica, desde la invención del transistor y del circuito integrado, ha supuesto el límite máximo de la miniaturización en electrónica y a través de esto una transformación trascendental de la sociedad moderna, habiéndose integrado en prácticamente todos los aspectos de la vida de la humanidad.

El eje motriz del devenir de la microelectrónica es la miniaturización (Ley de Moore), que permite alcanzar las densidades de integración de los actuales microprocesadores y memorias. Por ello hoy en día las dimensiones críticas en los circuitos integrados están alcanzando la región de los 100 nm. La predicción finaliza con dimensiones por debajo de los 50 nm, a las que se espera llegar hacia el año 2010. En este rango de dimensiones aparecen límites, tanto fundamentales (el funcionamiento de los dispositivos pasa a ser regido por fenómenos cuánticos), como tecnológicos (la gestión de disipación térmica es un problema creciente al aumentar la densidad de integración) o económicos (el precio de las instalaciones de fabricación de circuitos integrados que se precisan para conseguir estas dimensiones puede llegar a exceder la estimación de ventas). En paralelo con esta tendencia, durante los últimos años se está llevando a cabo una extensa actividad de investigación en el campo de la nanotecnología, cuyo objetivo es el desarrollo de la tecnología para fabricar, caracterizar y utilizar estructuras con dimensiones que van desde la escala atómica hasta los 100 nm. El desarrollo de la nanotecnología conlleva la creación de un nuevo cuerpo de conocimientos, que se concreta en la disponibilidad de nuevas herramientas, nanoestructuras y métodos, que permiten realizar nuevos dispositivos nanoelectrónicos, como por ejemplo nanomáquinas y nanorobots, tanto por miniaturización de las técnicas de fabricación clásica (aproximación *top-down*), como a partir de la utilización de bloques básicos (moléculas o átomos, aproximación *bottom-up*).

Palabras clave: Nanotecnología, nanomáquinas, nanorobots.

1. Introducción

El acelerado desarrollo tecnológico del que hemos sido testigos las últimas décadas, ha llevado a la humanidad a adaptarse rápidamente a nuevos conceptos e innovaciones. Dentro de una sociedad hambrienta de crecimiento, ha sido posible evolucionar desde gigantescas y costosas máquinas de cómputo a ordenadores portátiles, teléfonos móviles, revolucionarios sistemas médicos y un amplio espectro de herramientas electrónicas hoy en día fácilmente adquiribles, producto del desarrollo de dispositivos semiconductores cada vez más pequeños, rápidos y con mayor capacidad de almacenamiento como las memorias digitales.

La evolución de la tecnología de los circuitos integrados que permite desarrollar sistemas cada vez más complejos, está recogida en la denominada Ley de Moore [1], pronosticada por Gordon Moore y que puede ser enunciada de la siguiente manera: La capacidad de las memorias digitales de estado sólido aumenta a un ritmo de un factor de 2 cada 1.5 años. Lo anterior nos da una idea del máximo número de transistores por unidad de superficie que se puede integrar en un circuito; siguiendo la ley de Moore, los circuitos integrados (CI) llegarán a tener densidades de 10^{12} bits/cm² aproximadamente para el año 2019. Comparando con el cerebro humano que contiene aproximadamente 10^{12} sinaps/cm³ y haciendo la analogía entre una sinapsis y un bit, el sistema biológico y los circuitos integrados llegarán a tener densidades iguales dentro de 15 años, contando a partir del año 2004 [2].

Sin embargo, el aumento de la velocidad de respuesta y el número de transistores por chip han generado nuevos problemas para los diseñadores, quienes se han empeñado durante las últimas décadas en buscar soluciones que corrijan los efectos colaterales no deseados que surgen con la miniaturización [2].

Actualmente los fabricantes, producen los chips de una oblea de silicio cortada de un lingote de cristal. La fabricación de estructuras muy complejas se basa en procesos de múltiple deposición, modelado y grabado, sin embargo, cuanto más pequeña es la estructura (nano dimensiones), los fabricantes deben pagar costos muy altos debido a que el proceso requiere alta fidelidad. Una máquina de modelado de precisión cuesta varios millones de dólares y la evolución en los procesos de miniaturización sugieren que este tipo de herramientas será cada vez más costoso, sin contar con que una fábrica puede necesitar 50 de estas máquinas [3].

Según los expertos, las fábricas no podrán soportar los elevados costos que el avance tecnológico requiere, además de enfrentar las limitaciones propias de la tecnología del silicio (a escalas tan pequeñas, los dispositivos empiezan a mostrar comportamientos diferentes) [2].

Una posible alternativa a estos procesos de miniaturización es construir los dispositivos con tecnología *bottom up*. Se trata de utilizar las propiedades conocidas de las piezas básicas de la materia, es decir, átomos y moléculas, y su capacidad de autoorganización, para formar superestructuras complejas que realicen dentro de un circuito electrónico las mismas funciones que hoy en día realizan elementos basados en el silicio, es decir, en lugar del *scaling down* de dispositivos semiconductores se busca el *scaling up* de dispositivos moleculares. El desarrollo de esta electrónica molecular es uno de los desafíos más importantes de la ciencia del siglo XXI [4].

2. Nanotecnología

Uno de los aspectos más fascinantes de las discusiones sobre este nuevo campo es la necesidad de interconexión entre prácticamente todas las ramas de la ciencia y la tecnología. En primer lugar, la química juega un papel fundamental en el diseño y la síntesis de moléculas y materiales moleculares con propiedades específicas. Los fenómenos de transporte de corriente eléctrica, que se suelen asociar a la física, tienen ahora lugar entre moléculas y electrodos metálicos. Aunque todavía no se entienden muy bien cuáles son las propiedades básicas de los contactos eléctricos moleculares, ya se ha demostrado la posibilidad de construir interruptores y pequeñísimos dispositivos de memoria basados en la electrónica molecular (figura 1) [4].

En diciembre de 1959, el Premio Nobel de Física, Richard Feynman, en una conferencia dada ante la Sociedad Americana de Física, planteaba la siguiente pregunta: "¿Qué pasaría si pudiéramos al final arreglar los átomos de la manera que quisiéramos?" [5].

Feynman había descubierto que las leyes de la Mecánica Cuántica no excluían de ninguna manera la posibilidad de construir máquinas del tamaño de moléculas.

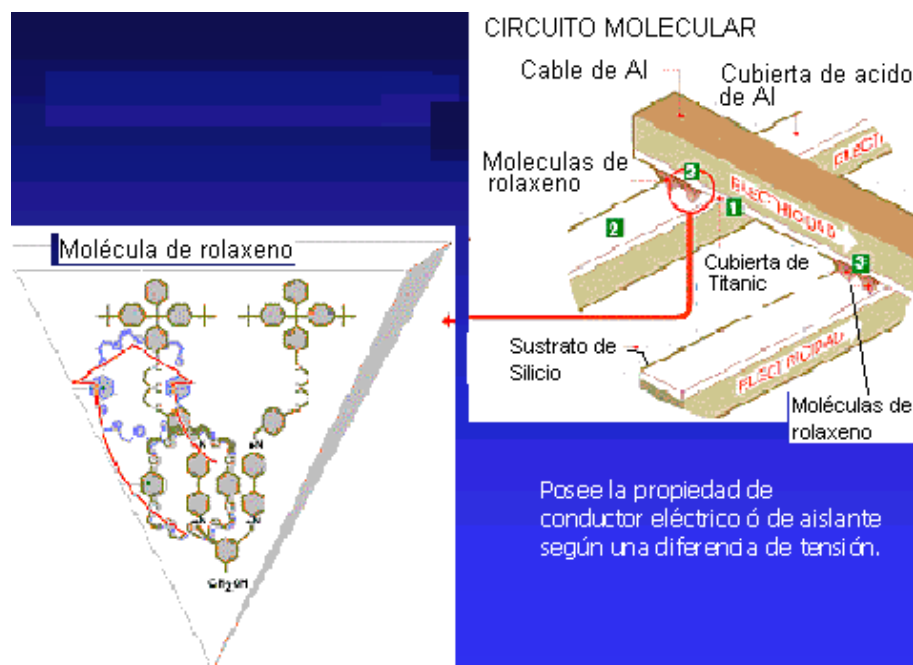


Figura 1. Circuito molecular.

En 1990, dos años después de la muerte de Richard Feynman, científicos de los laboratorios de la IBM escribieron el logotipo de su compañía con 35 átomos de xenón, arrastrándolos por una superficie de níquel [6]. La Física Cuántica nos permitirá tener la capacidad de fabricar máquinas del tamaño de moléculas, inaugurando una nueva clase de máquinas con propiedades sin precedentes llamadas nanotecnologías.

3. Nanomáquinas y Nanorobots

En cierta manera, y en calidad de ejemplo, las moléculas de las que están hechos los fármacos son una especie de aparatos minúsculos parecidos a los que fabrican los ingenieros moleculares, pero son infinitamente más simples. La diferencia es que los fármacos trabajan al azar, sin que nadie ni nada los dirija. Viajan a través de los fluidos corporales y esperan a encontrarse una molécula diana, con la que encajan como una llave en una cerradura, y a la que se unen para provocar una reacción específica [7].

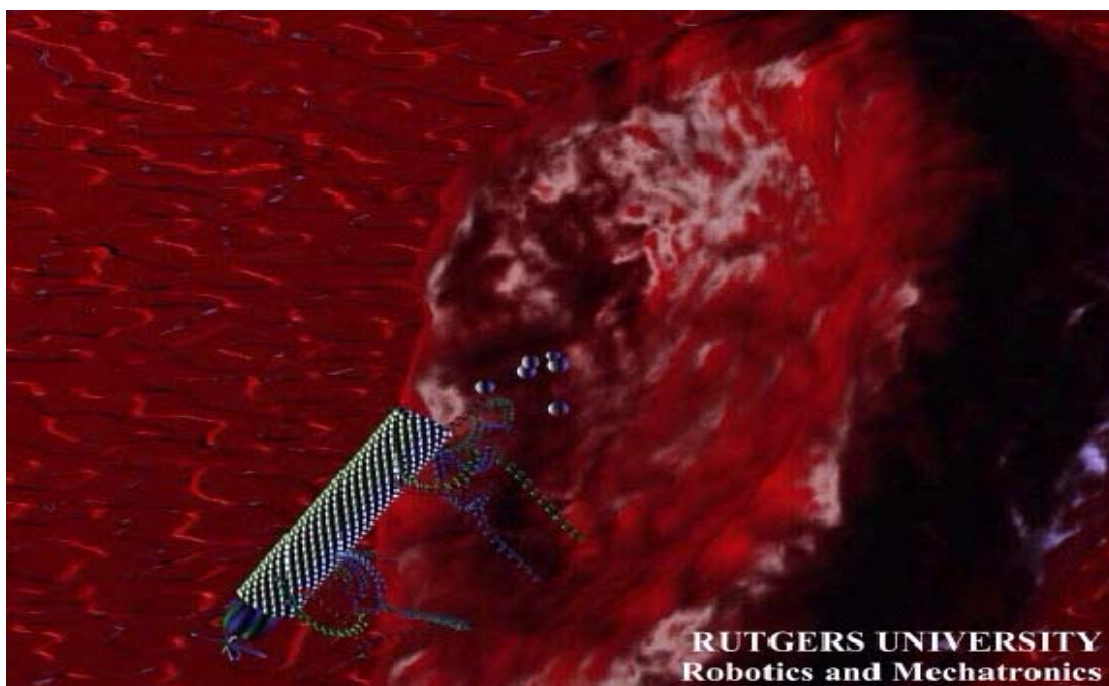
La nanotecnología, en cambio, ofrece posibilidades muy distintas. Las máquinas moleculares estarán dirigidas por nanoordenadores. Combinarán sensores, programas, y herramientas moleculares para crear sistemas capaces de examinar y reparar las células.

Serán por ejemplo, como minúsculos médicos robots que entrarán al torrente sanguíneo y rastrearán el organismo en busca de alteraciones (figura 2). Tendrán tamaños comparables a la bacterias y a los virus [4].

Puede que muchas de estas minúsculas máquinas estén hechas de ADN y que no tengan nada que ver con la idea que todo el mundo tiene de los robots. Todavía no hay ningún nanorobot en funcionamiento, aunque sí muchos diseños teóricos propuestos y otros en vía de fabricación [8].



(a)



(b)

Figura 2. (a) Un nanorobot patrullando el torrente sanguíneo encuentra una célula dañada; (b) El nanorobot la repara o destruye si es necesario.

Lo extraordinario de la nanotecnología es la capacidad que tendrán estas máquinas moleculares para tomar moléculas de su entorno para reproducirse (figura 3), creando un número ilimitado de robots moleculares, que con un tamaño aproximado de un micrometro, manipularán átomos individuales, creando fábricas a nivel atómico.

Al igual que los virus y bacterias, estas micromáquinas tendrán la propiedad de producir duplicados de sí mismos (autoensamble), por lo que se multiplicarán como seres vivos y modificarán el entorno que las rodea [6].

Algunos de los usos que tendrán estas micromáquinas serán:

- Destruir microbios infecciosos.
- Matar las células de tumores una a una.
- Patrullar por nuestro flujo sanguíneo y eliminar la placa de nuestras arterias.
- Limpiar el entorno devorando residuos peligrosos.
- Construir otros tipos de máquinas, desde cohetes propulsores hasta microchips.
- Reparar células dañadas e invertir el proceso de envejecimiento.
- Construir supercomputadores del tamaño de moléculas.

Sin embargo, ya se tienen ciertos avances en nanotecnología



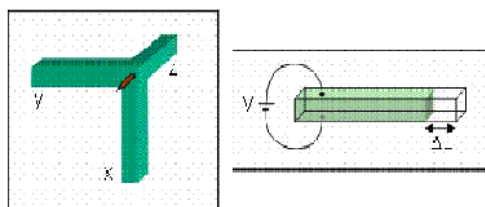
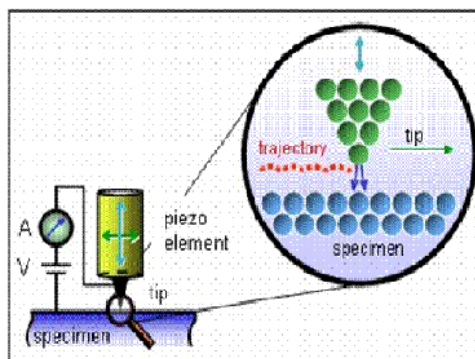
Figura 3. Diseño artístico de lo que podrían ser los nanorobots.

4. Herramientas Nanotecnológicas

Los instrumentos que han permitido el desarrollo de la nanotecnología, son los llamados microscopios de proximidad, en especial el microscopio de tunelamiento por barrido y el microscopio de fuerza atómica (figura 4) [9], cuya punta es capaz de tomar átomos, moverlos y depositarlos de la misma forma en que se haría a nivel macroscópico con otros instrumentos, con una precisión de 10 nanómetros (figura 5). Con estos microscopios es posible estudiar las estructuras de átomos y moléculas depositadas en superficies planas, el proceso de difusión de estos objetos a escala atómica y la manipulación de los mismos mediante la punta del microscopio.

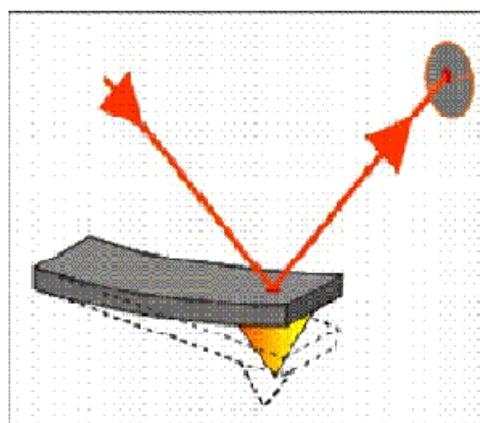
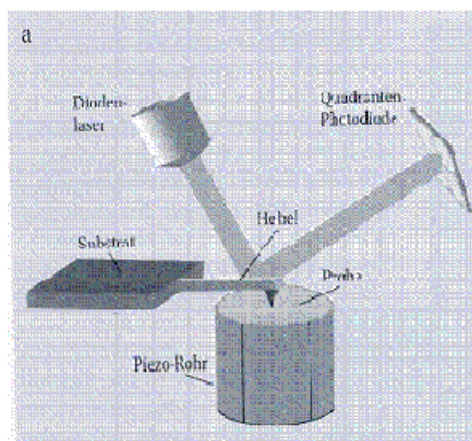
EL MICROSCOPIO DE TUNELAMIENTO POR BARRIDO (Scanning Tunneling Microscope – STM)

Puede determinar la posición de átomos individuales en la superficie de un material conductor. Una punta conductiva muy fina se mantiene en una distancia de 10...20 Å° arriba de la superficie utilizando un transductor piezoeléctrico. Un voltaje entre muestra y punta genera un campo eléctrico y causa el traslape entre las nubes de electrones → corrimiento de tunelamiento.



(a)

EL MICROSCOPIO DE FUERZA ATÓMICA (AFM)



La palanca (Hebel) del AFM es de 50...100 μm de largo (ataque químico a un sustrato). Su espesor es de 500nm a 1 μm. La piezocerámica permite el posicionamiento de la muestra (Probe). El movimiento de la palanca debido a una interacción Van der Waals entre los átomos de la superficie y un átomo de la punta en la palanca se mide por la reflexión de la luz de un Laser (diodo) detectado en un fotodiodo.

(b)

Figura 4. (a) Microscopio de tunelamiento por barrido; (b) Microscopio de fuerza atómica [9].

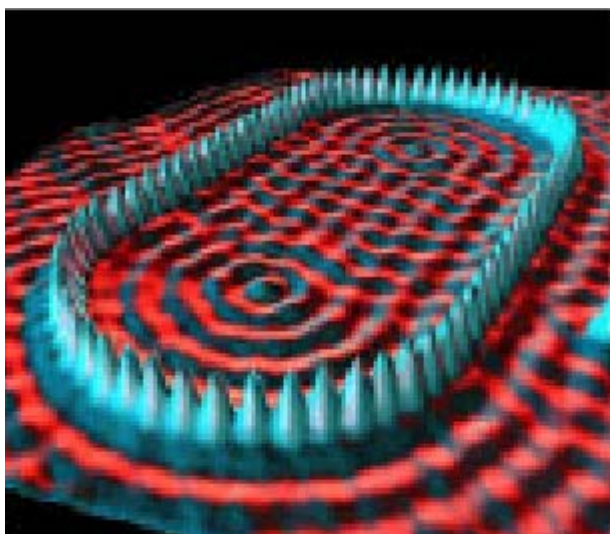


Figura 5. Imagen de un “corral cuántico” en forma de estadio, obtenida con el microscopio de tunelamiento por barrido, al posicionar átomos de hierro sobre una superficie de cobre [9].

La construcción de dispositivos nanotecnológicos se ha abordado bajo dos tendencias. La primera forma, llamada nanotecnología de *top down*, consiste en ir reduciendo en forma progresiva las dimensiones de los objetos. El segundo enfoque, de *bottom up*, consiste en ir ensamblando el objeto átomo a átomo o molécula a molécula.

5. Conclusiones

Las nanotecnologías, en su acepción más general, -técnicas de manipulación o control a escala nanométrica e incluso molecular o atómica-, ya han arrojado algunos resultados prácticos. Sin embargo, las previsiones apuntan a que estarán presentes en todos los campos de las ciencias y supondrán, según los expertos, una revolución sólo comparable a la que ha supuesto la microelectrónica.

En todos los países situados a la cabeza del desarrollo tecnológico, cobran cada día más relevancia las investigaciones en estos campos, entendiéndose como un proceso de revolución tecnológica posterior al vertiginoso cambio que ha supuesto la microelectrónica.

Referencias bibliográficas

- [1]. G. Moore. VLSI: some fundamental challenges. IEEE spectrum, Vol. 16, p. 30, (1979).
- [2]. J. G. Bedoya. Nuevos retos del futuro tecnológico: La nanoelectrónica y el autoensamble. (Barcelona: Ediciones de la UPC, 2000).
- [3]. A. Rubio et al. *Diseño de Circuitos y sistemas Integrados*. (Barcelona: Ediciones de la UPC, 2000).
- [4]. J. J. Saenz. *¿Ordenadores moleculares?*. Depto. de física, Universidad autónoma de Madrid, (El país, Nov. 2002).
- [5]. R. Feynman. *There's plenty of room at the bottom*. (Engineering and science, Dic. 1959).
- [6]. V. W. Chaves. Nanotecnología, la revolución industrial del nuevo siglo. (Intstituto Tecnológico de Costa Rica, 2001).
- [7]. K. E. Drexler. Molecular Engineering: an Approach to the Development of General Capabilities for Molecular Manipulation, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., Vol. 78, No. 9, (1981).
- [8]. www.campus-virtual.ece.buap.mx (2003)