

Scanning Tunneling Microscopy (STM)

LSAP del Centro de Astrobiología (CAB, CSIC-INTA), Ctra. de Ajalvir, km 4, 28850 Torrejón de Ardoz, Madrid, España

¿Qué es el Scanning Tunneling Microscopy?

La microscopía de barrido túnel (scanning tunneling microscopy, STM) constituye una herramienta única para obtener imágenes de una superficie sólida con *resolución atómica*.

Fundamento

Una sonda (punta metálica) se desplaza tan cerca de la superficie que entre sonda y superficie circula una corriente por efecto túnel, corriente que se registra y representa en función de la posición de la sonda.

El efecto túnel

Es un efecto puramente cuántico, por el cual los electrones de un conductor presentan una probabilidad no nula de atravesar una barrera de potencial (en este caso el vacío), clásicamente impenetrable y alcanzar un segundo conductor. En primera aproximación, la corriente túnel vale

$$I_T \propto \frac{U}{d} e^{-Kd\sqrt{\phi}}$$

Donde U es el voltaje aplicado entre los dos electrodos (punta y muestra), ϕ es la función de trabajo promedio (con $\Phi \geq eU$), y K es una constante con un valor de 1.025 Å^{-1} ($eV^{1/2}$) para el vacío. En general, d es del orden de Å , U es del orden de $1V$, y I_T es del orden de 1nA .

Principales características de la corriente túnel:

- Decae exponencialmente con la distancia entre los conductores, con una constante de decaimiento del orden de una decena de Å .
- Depende exponencialmente con la función de trabajo de la superficie.

Ambas características confieren a STM la potencialidad de convertirse en una *microscopía con resolución atómica*.

Montaje experimental

Se debe controlar simultáneamente d y la posición lateral de la sonda con una precisión muy elevada

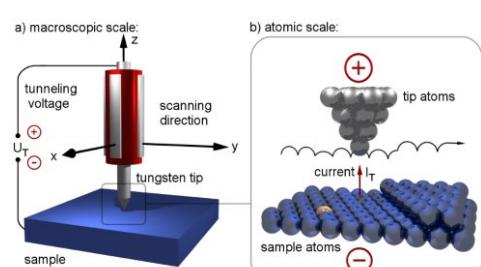
- $0.05 \pm 0.1 \text{ Å}$ para d .
- $1 \pm 2 \text{ Å}$ para la posición lateral.

Partes del microscopio

Mecanismo de aproximación gruesa, con el que se aproxima la sonda hasta alcanzar el régimen túnel. Dispositivos basados en el empleo de cristales piezoelectrónicos, o incluso en dispositivos mecánicos de alta precisión.

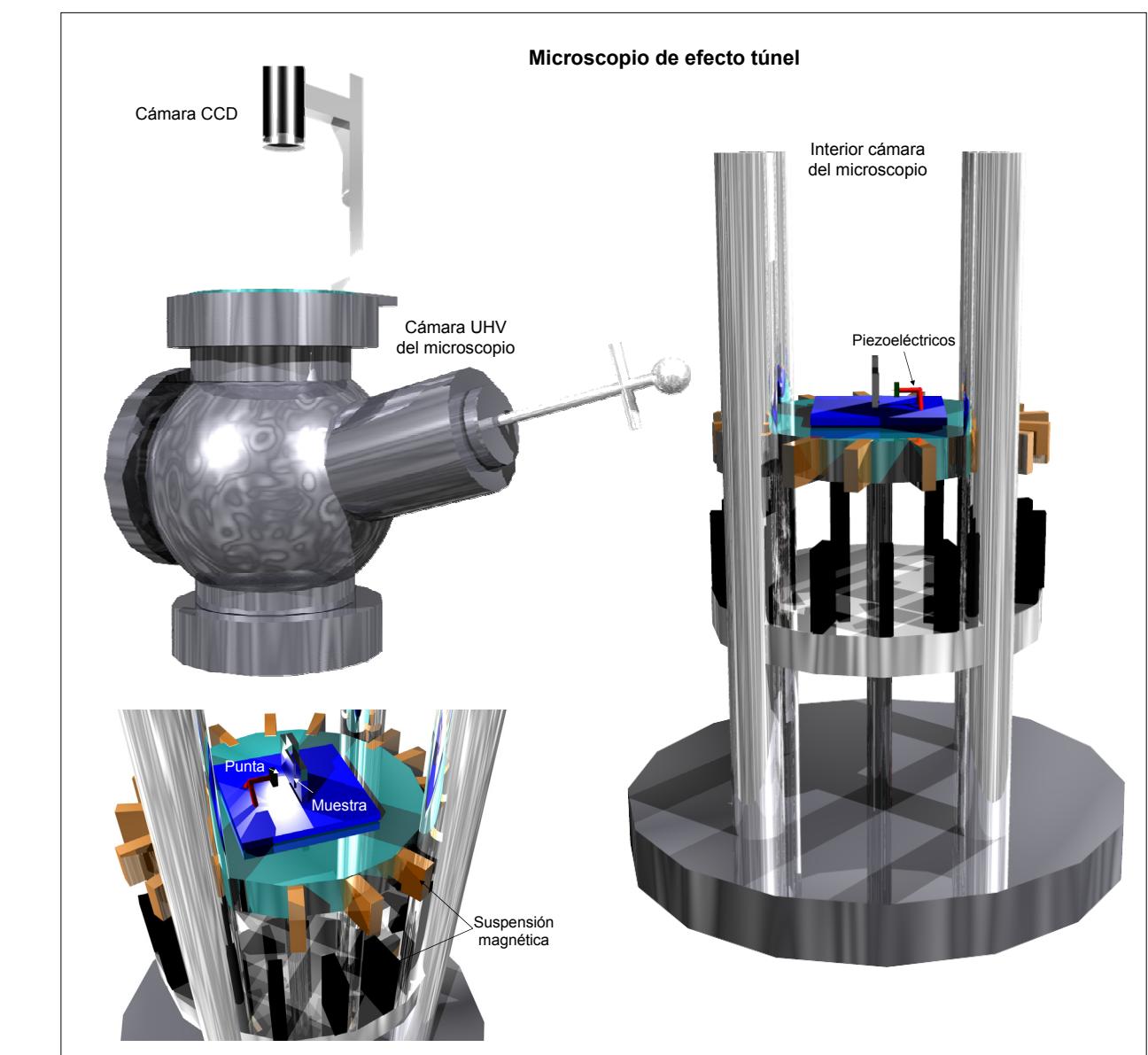
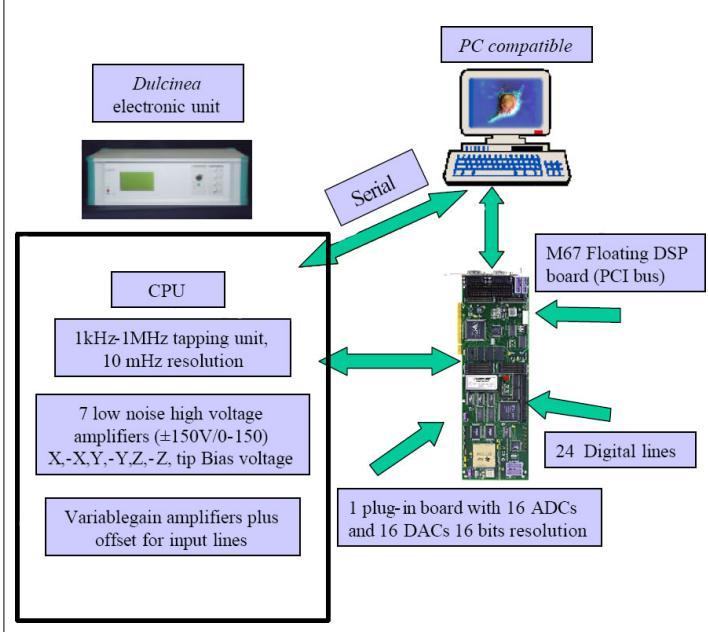
Mecanismo de control en régimen túnel. Se trata de uno o varios cristales piezoelectrónicos que permiten controlar la distancia d , y a la vez barrer sobre la superficie. Simultáneamente al barrido, se registra la corriente túnel I_T que atraviesa el electrodo.

El diseño debe tener en cuenta que se deben minimizar las vibraciones y los desplazamientos debidos a inhomogeneidades en la temperatura.



Toma de datos con Dulcinea

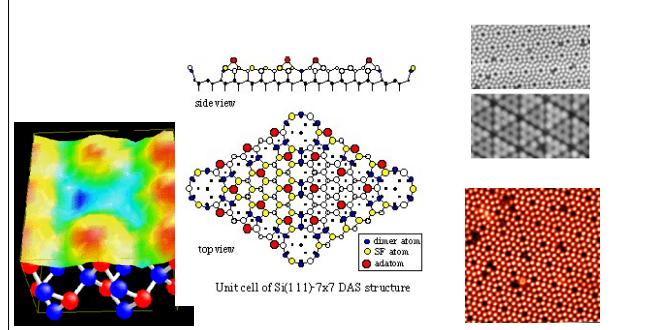
Representación digital de los átomos en una superficie, mediante el Software y Hardware de control Dulcinea



La superficie de Si (111) 7x7

Una imagen topográfica de STM revela las tres características básicas de esta reconstrucción: presencia de adatamos (que aparecen como protusiones brillantes); presencia de orificios en las esquinas que separan las celdas unidad 7x7 (corner holes); una mitad de la celda unidad aparenta estar a una altura distinta que la otra mitad (stacking fault).

La disposición de los escalones en la superficie también ha sido revelada por STM, con las siguientes características: los corner holes se colocan a lo largo de los escalones; la terraza inferior termina en el escalón a lo largo de las diagonales cortas de la celda 7x7 (en cada terraza hay un número entero de celdas 7x7); la reconstrucción 7x7 debe estar basada en fuerzas de corto alcance (se extiende en un escalón hasta las menores distancias).



Sonda

La resolución atómica puede alcanzarse debido a que la mayor parte de la corriente túnel atraviesa la sonda a través del último átomo, debido a la dependencia exponencial con la distancia. Las sondas son generalmente puntas de W o Pt-Ir, preparadas por procedimientos mecánicos (corte) o ataque electroquímico o por aplicación de altos campos en vacío. Una sonda no es generalmente muy estable (vida limitada), y se desconocen los mecanismos detallados que determinan este comportamiento, o la mejor resolución de unas frente a otras.

¿Existe una correlación entre la forma y la calidad de la imagen?

