

## Microscopios de barrido de sonda (SPM) a bajas temperaturas (LT) y ultra alto vacío (UHV-LT)

El laboratorio que alberga los microscopios de sonda próxima (SPM) que trabajan a bajas temperaturas y ultra alto vacío está específicamente diseñado para microscopía de superficies y técnicas espectroscópicas. Pretenden cubrir una amplia variedad de temas en este campo, desde la química molecular al magnetismo atómico.

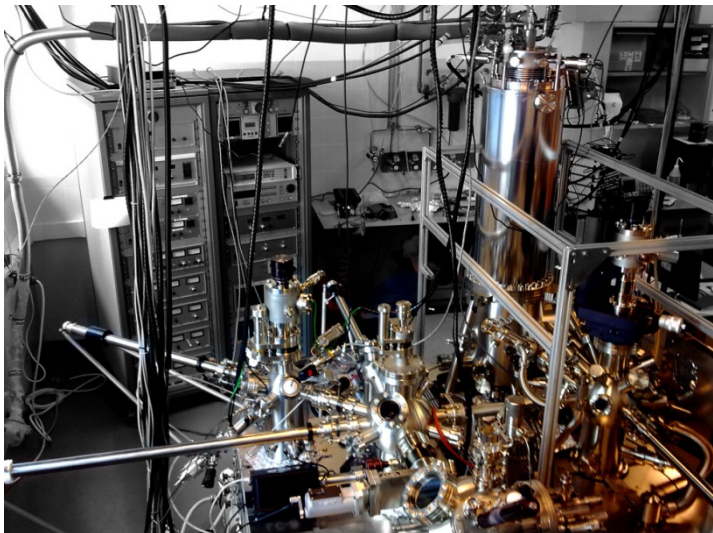
El laboratorio dispone de tres sistemas que están equipados con diferentes técnicas de preparación de muestras en condiciones de ultra alto vacío, así como con una amplia variedad de técnicas de crecimiento epitaxial. Las microscopías de sonda basadas tanto en fuerzas (AFM) como en el efecto túnel (STM) pueden combinarse, permitiendo investigar materiales con diferentes propiedades. El rango de temperaturas accesibles en estos instrumentos abarca desde los 0,5 K a los 1.300 K.

El laboratorio está integrado por tres instrumentos SPM-UHV que albergan cuatro cabezas SPM, cada una de las cuales posee características complementarias para abarcar así un amplio rango de fenomenologías:

1. **Joule-Thompson STM con campo magnético axial y AFM/STM de temperatura variable** (internamente apodados microscopios *Moncayo* y *Arán*).
2. **STM de baja temperatura** (microscopio *Ordesa*).
3. **STM/AFM de baja temperatura** (microscopio *Ainsa*).

### 1. *STM de ultra alto vacío con campo magnético axial y temperature variable*

Microscopios *Moncayo* y *Aran*



Este microscopio está específicamente orientado a la investigación del magnetismo a escala atómica y a la espectroscopia de alta resolución (0,1 meV) de átomos y moléculas, así como al estudio de dinámica de átomos y moléculas en función de la temperatura.

Para ello, el equipo incluye en realidad dos microscopios SPM integrados en condiciones de UHV en un sistema multicámara. Uno de ellos –microscopio Moncayo- tiene una temperatura base de 1,1 K (pudiendo alcanzar incluso los 0,5 K usando He<sup>3</sup> en lugar de He<sup>4</sup> en la etapa Joule-Thompson), un campo axial de 3 Tesla y permite medidas ininterrumpidas durante 100 horas. El otro – microscopio Arán- es un microscopio de una temperatura variable (en el rango de 100 a 1.300 K), y permite realizar experimentos de un modo rápido y flexible. Además, dispone de dos cámaras independientes que permiten la preparación de muestras *in situ* y el crecimiento epitaxial de películas orgánicas e inorgánicas sobre el sustrato base.

### *¿Qué tipo de información puede obtenerse con este instrumento?*

---

- Obtención de espectros de energía de la densidad de estados y de la estructura cuántica de niveles en la escala atómica.
- Propiedades electrónicas y estructurales de superficies con resolución atómica.
- Estructura de espín y curvas de imanación de objetos nanométricos cubriendo el rango de entre 100 nm hasta resolución sub-molecular y sub-atómica.
- Ingeniería de estructuras funcionales por manipulación atómica (construidas átomo a átomo).
- Monitorización en tiempo real de la actividad catalítica en función de la temperatura y los gases reactantes.
- Caracterización Físico-Química de procesos de auto-ensamblaje sobre superficies.

### *Requerimientos de las muestras*

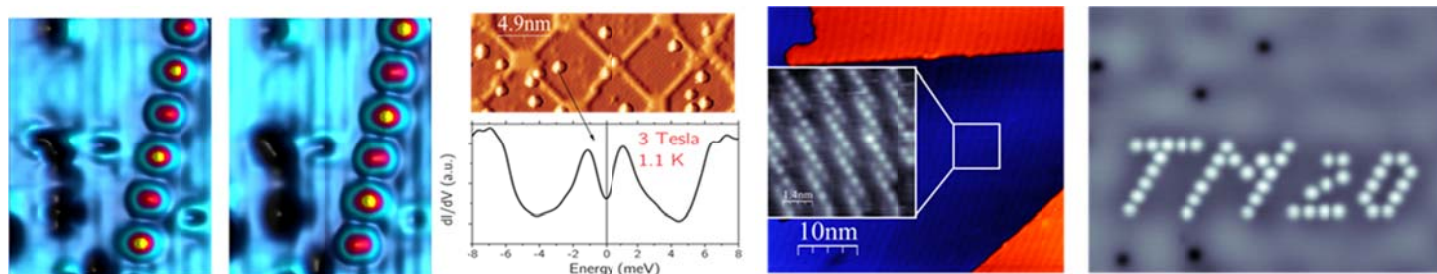
---

- Es preferible realizar el crecimiento *in-situ*.
- Superficies metálicas, semiconductoras o con recubrimientos aislantes muy delgados (típicamente menor de ~ 3 monocapas).
- Rugosidad superficial < 1 nm.
- Tamaño máximo del sustrato o muestra: 3 mm de grosor y 10 mm de anchura.

## Especificaciones técnicas

STM de baja temperatura <b>(Moncayo)</b>	Criostato Joule Thomson (1 K - 10 K); UHV-STM; campos B axiales de 3 T. Epitaxia <i>in situ</i> tanto de metales como de compuestos orgánicos. Proveedor: SPECS GmbH.
STM de temperatura variable AFM de temperatura variable <b>(Arán)</b>	Aarhus de temperatura variable (100 K -1.300 K) STM; AFM en modo no contacto. SPECS GmbH.
Preparación de muestras	Espectroscopia LEED/Auger; 9 cámaras para Epitaxia de haces moleculares (5 de ellas con una opción de recarga rápida), 1 celda de efusión, 3 pistolas <i>sputter</i> , 4 calentadores de haz de electrones, 2 crisoles resistivos dispuestos <i>in situ</i> y transportables para la deposición de materiales orgánicos.

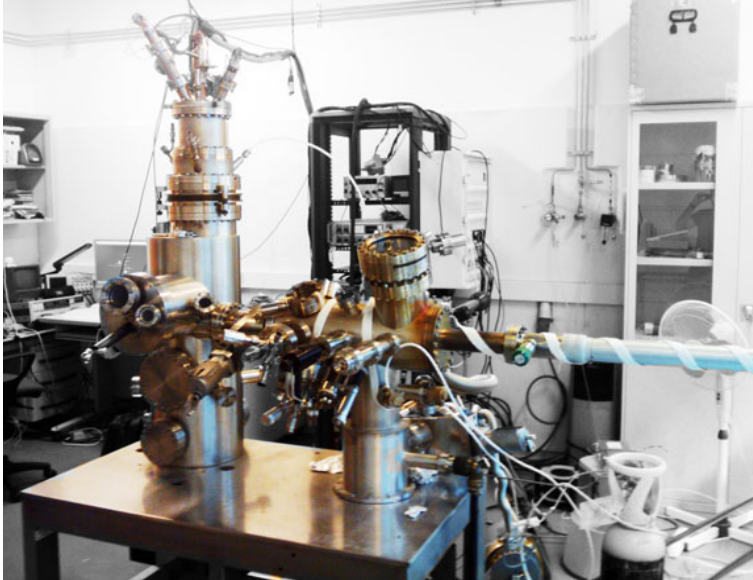
## Imágenes



De izqda. a dcha. Información binaria codificada en átomos de Co individuales con espín up/down representados por colores amarillo/rojo. La misma cadena con el contraste magnético invertido. Ejemplo de resolución en energía de un espectro cuántico de niveles (átomos de Co sobre una monocapa de  $\text{Cu}_2\text{N}$ ). Superficie de  $\text{Ni}_3\text{C}_4$  sobre Ni (111) estabilizada por una presión parcial de propeno de  $10^{-6}$  mbar a 500 °C. Ejemplo de manipulación atómica para construir el logo de “Tercer Milenio 20” usando 44 átomos.

## 2. STM de baja temperatura de ultra alto vacío UHV

Microscopio Ordesa



Este equipo está orientado a investigar los procesos de epitaxial molecular de tierras raras (metal sobre metal). En particular, está dedicado al crecimiento de películas finas magnéticas y nanoestructuras.

El microscopio trabaja a una temperatura base de 4 K y ha sido optimizado para la deposición de tierras raras sobre sustratos de tungsteno.

### ¿Qué tipo de información puede obtenerse con este instrumento?

- Espectros de energía de la densidad de estados en la escala atómica.
- Propiedades electrónicas y estructurales de superficies con resolución atómica.
- Manipulación atómica.

### Requerimientos de las muestras

- Es preferible realizar el crecimiento *in-situ*.
- Superficies metálicas, semiconductoras o con recubrimientos aislantes muy delgados (típicamente menor de  $\sim 3$  monocapas).
- Rugosidad superficial  $< 1$  nm.
- Tamaño máximo del sustrato o muestra: 3 mm de grosor y 10 mm de anchura.

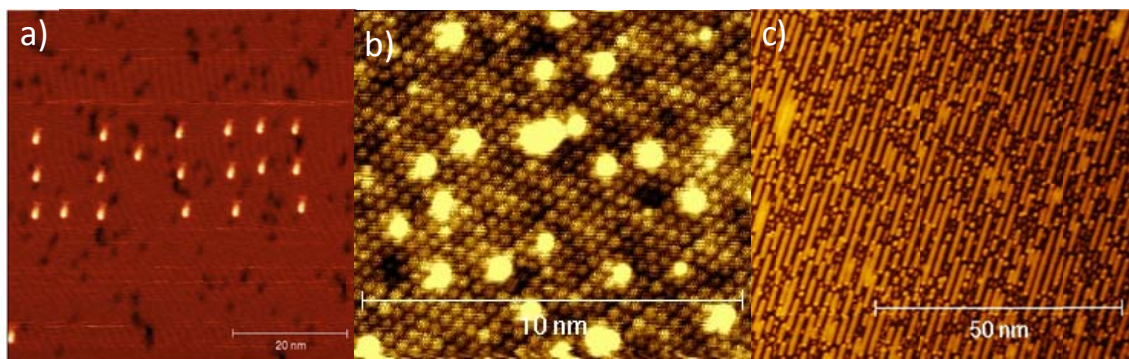
## *Especificaciones técnicas*

---

STM de baja temperatura ( <i>Ordesa</i> )	STM de UHV a bajas temperaturas (5 K). Proveedor: Omicron GmbH.
Preparación de muestras	Epitaxia metálica, caracterización por LEED/Auger.

## *Imágenes*

---



- (a) Manipulación atómica: adátomos de Tm sobre W(110)
- (b) Monocapa cuasi-hexagonal de Tm en W(110), con algunos adátomos de Tm sobre ella.
- (c) Nanohilos de Tm de anchura monoatómica, sobre una monocapa de Tm en W(110).

### 3. STM/AFM de baja temperatura en ultra alto vacío

#### Microscopio Ainsa



Se trata de un instrumento de última generación en AFM de no contacto en ultra alto vacío. El equipo funciona a una temperatura base de 4,5 K, donde el uso de un sensor qPlus permite adquirir simultáneamente la señal túnel y de fuerzas en el rango del pico-Newton. La medida simultánea de fuerzas y conductancia es especialmente interesante en el campo de la física molecular en superficie. La microscopía de fuerzas es particularmente adecuada para trabajar sobre superficies aislantes. Este instrumento se ha equipado con varios métodos de deposición de materiales orgánicos e inorgánicos. Las líneas de investigación desarrolladas en este equipo están orientadas al estudio de interacciones moleculares, estudio de sistemas

autoensamblados, magnetismo, propiedades electrónicas y estructurales de películas híbridas compuesto orgánico-metal.

#### *¿Qué tipo de información puede obtenerse con este instrumento?*

---

- Obtención de espectros de energía de la densidad de estados en la escala atómica.
- Propiedades electrónicas y estructurales de superficies con resolución atómica.
- Ingeniería de estructuras funcionales por manipulación atómica (construidas átomo a átomo).
- Caracterización estructural de complejos macromoleculares con resolución atómica.
- Obtención de mapas de la carga electrónica (potencial superficial) hasta la escala sub-molecular.
- Específicamente diseñado para la preparación y caracterización de redes organometálicas.

#### *Requerimientos de las muestras*

---

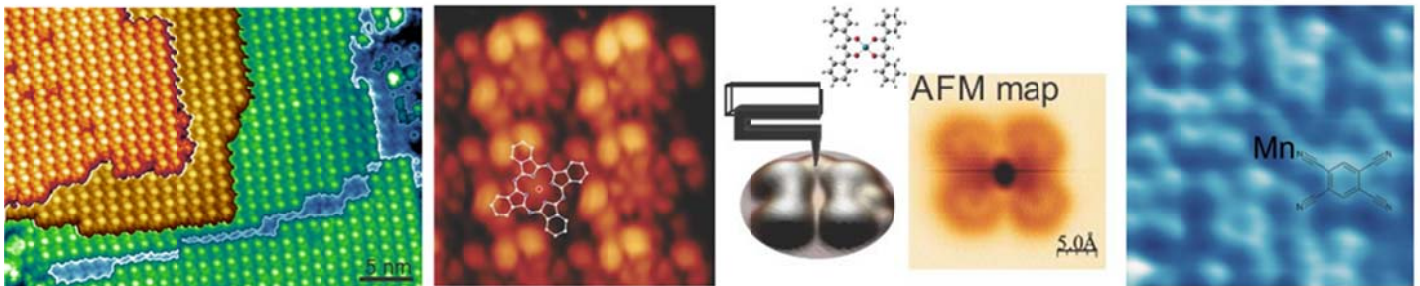
- Es preferible reproducir el crecimiento *in-situ*.

- Superficies metálicas o aislantes.
- Rugosidad superficial < 1 nm.
- Tamaño máximo del sustrato o muestra: 3 mm de grosor y 10 mm de anchura.

### *Especificaciones técnicas*

STM/AFM de baja temperatura  (Ainsa)	Sistema STM de UHV a baja temperatura (4,5 K) equipado con una cabeza <i>tuning fork</i> para el registro simultáneo de imágenes STM y AFM de alta resolución. Proveedor: Omicron GmbH.
Preparación de muestras	Una cámara de recarga rápida para crecimiento epitaxial por haces moleculares, una celda Knudsen y un crisol de recarga rápida para la sublimación de compuestos orgánicos, cámara criogénica para la preparación de muestras.

### *Imágenes*



De izqda. a dcha. Topografía STM de una película de FePc de 3 monocapas de grosor unidas por enlaces  $\pi$ . Ampliación de una de las capas. Topografía STM y mapa de fuerzas de un complejo de Rutenio. Mapa de fuerzas con resolución atómica de una red coordinada de Mn-Tetracianobenceno.

