

Field Probe Techiques

Un campo eléctrico local elevado en la superficie de un material puede originar procesos de ionización de gases en contacto con la sup. o de átomos del material en sí mismo. **FEM** (Field Emission Microscopy)-**FIM** (Field Ion Microscopy)
FEM: (E.Muller; 1936): Permitió (por primera vez) observar una superficie a escala atómica (cambios rápidos en la superficie).

Consiste de un emisor (punta muy fina) y una pantalla fluorescente. Aplicando un potencial negativo elevado al emisor, se genera un campo eléctrico fuerte. Se emiten **electrones** de la sup. del emisor hacia la pantalla. La diferencia de contraste aparece debido a la dif.de densidad de corriente de electrones (debido a la diferencia de funciones trabajo y del campo eléctrico en la superficie del emisor.
(Se trabaja en UHV).

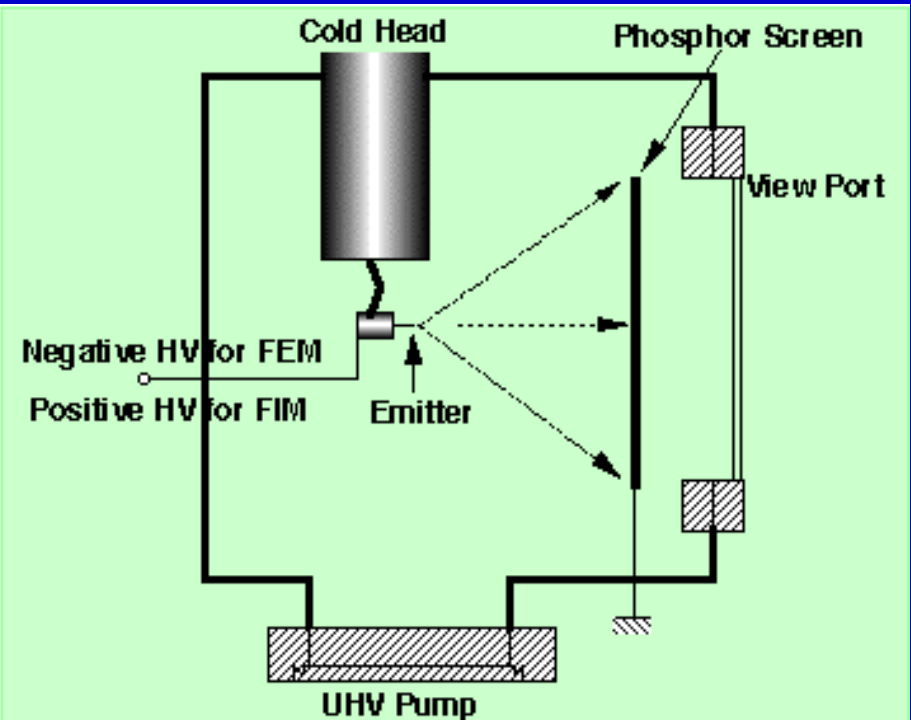
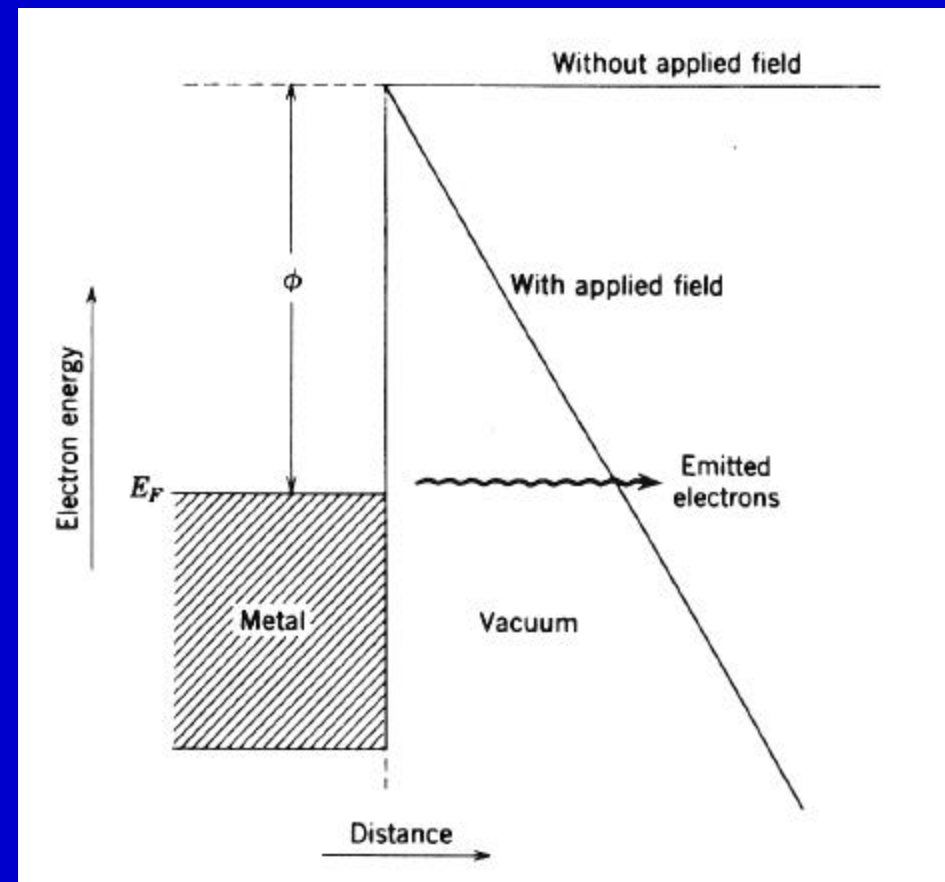


Fig. 1 Schematic drawing of field emission microscope (FEM) and field ion microscope (FIM).

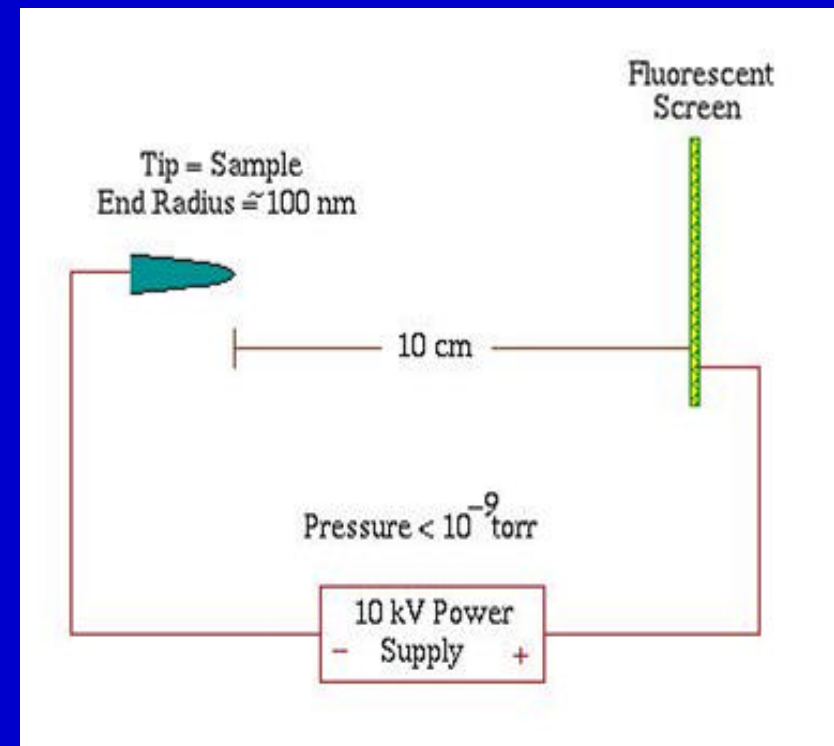
Campo eléctrico = 3-6 V/nm; el elevado campo eléctrico deforma la barrera de energía potencial (la energía de un electrón libre disminuye rápidamente), permitiendo el pasaje de electrones por **efecto túnel** (desde un estado ocupado por debajo de la energía de Fermi del metal hacia el vacío). Para un campo suficientemente alto, los electrones sólo tienen que atravesar por efecto túnel unos pocos angstroms para emerger del otro lado de la barrera.

(FEM es diferente de la emisión termoiónica o la fotoemisión, en las que los electrones son excitados por encima de la barrera; se debe superar f = función trabajo).



Aplicando $V = 10 \text{ kV}$ (entre punta y pantalla fluorescente) con $r = 10^{-3} \text{ cm}$ se obtienen campos de 100 V/nm . Los átomos individuales actúan como centros emisores. Las diferentes caras cristalinas emiten diferentes intensidades, dependiendo del empaquetamiento y de la función trabajo. La magnificación está dada por $b/a \sim 10^6$ (cociente de radios de curvatura). Se obtienen resoluciones de $3\text{-}5 \text{ nm}$.

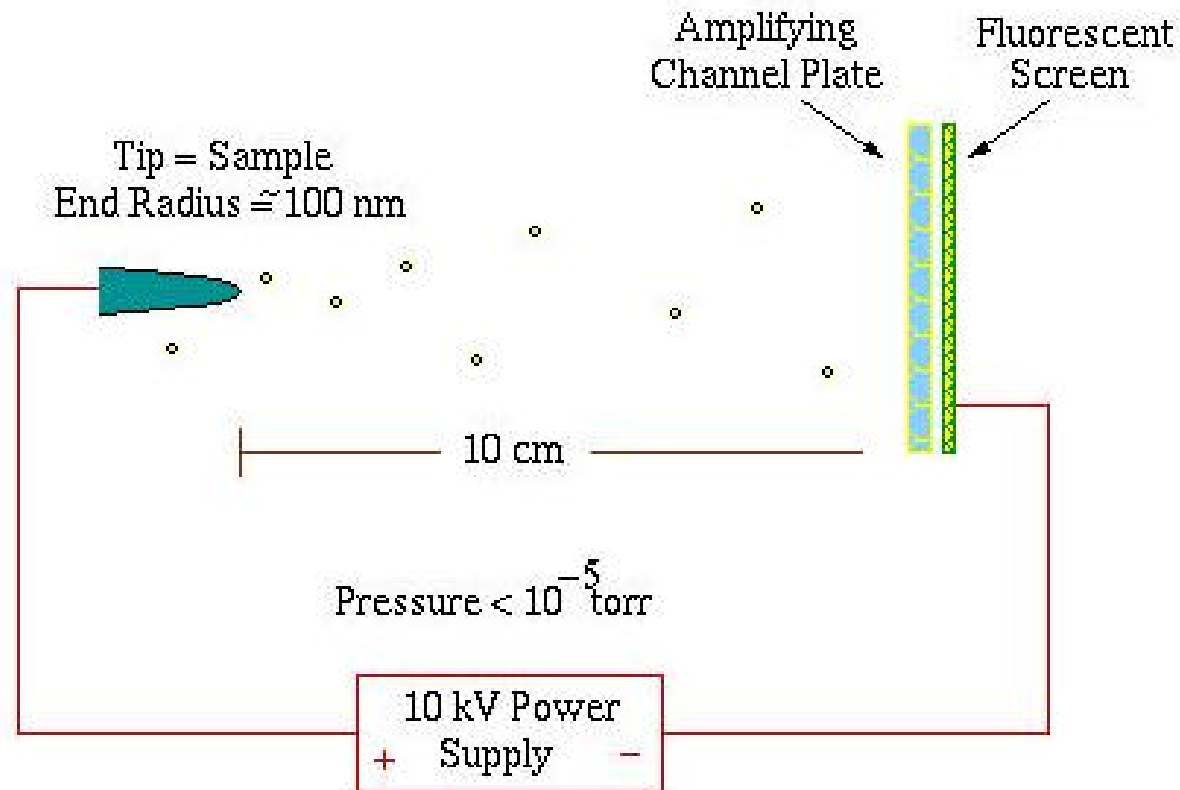
El análisis de la distribución de energía de los electrones emitidos en función del campo eléctrico, se puede determinar la densidad de funciones de estado de las bandas por debajo del nivel de Fermi (emisión desde estados superficiales ocupados).



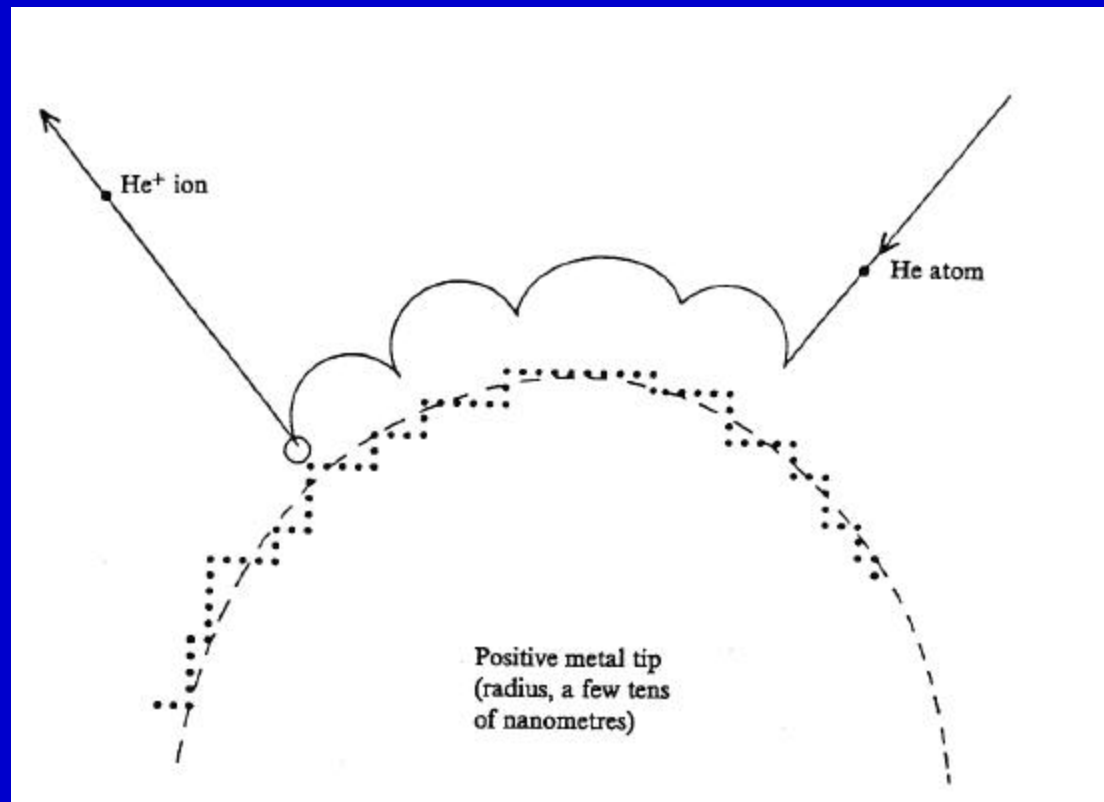
$$I = A V^2 \exp(-B f^{3/2}/V)$$

La corriente de emisión depende exponencialmente de $1/V$; permite la evaluación de la función trabajo (de un átomo particular) y su modificación por la presencia de un adsorbato.

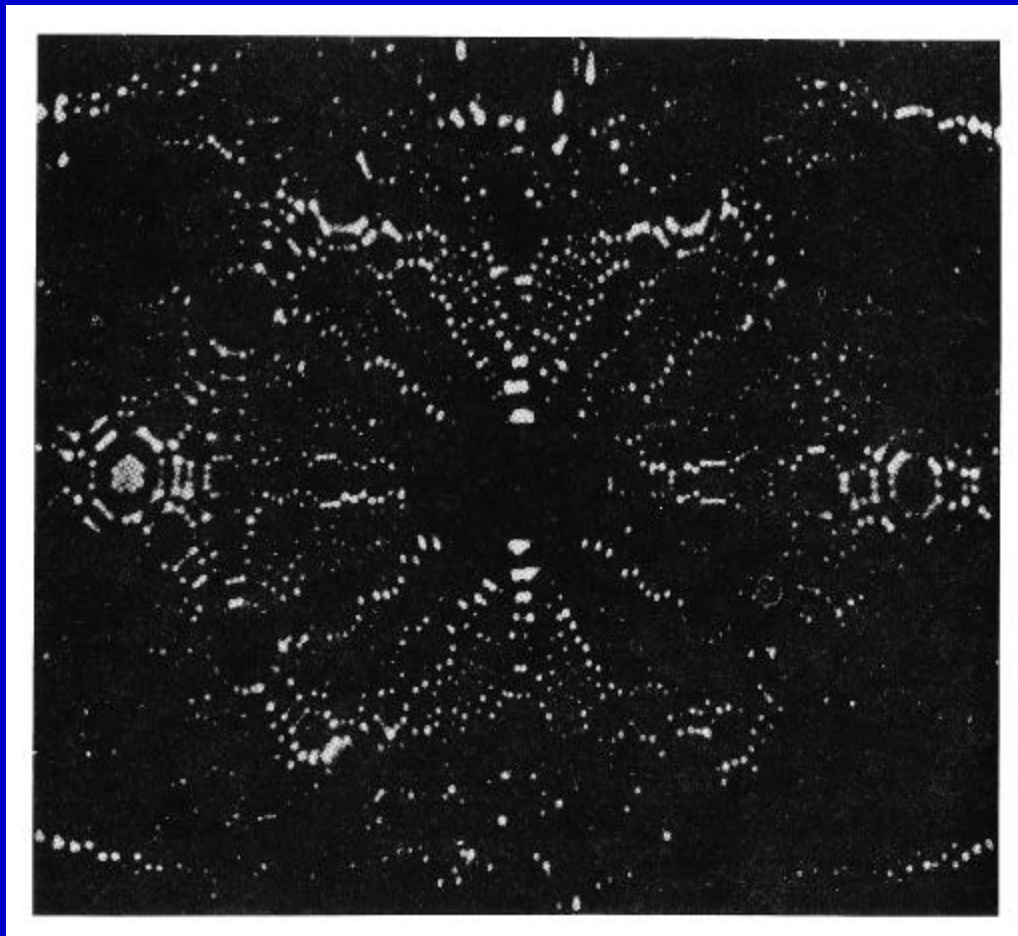
FIM: Funciona esencialmente de manera inversa que en FEM (emisión de campo). Se aplica un potencial alto y **positivo** a la punta metálica, que está en un ambiente que contiene un gas inerte (He). El campo eléctrico cerca de la punta es suficientemente alto para ionizar los átomos gaseosos. Ahora el túnel (del electrón arrancado el átomo) es hacia la punta y los iones positivos se aceleran hacia la pantalla fluorescente. Los iones siguen las líneas de fuerza desde la punta hacia la pantalla, produciendo una imagen atómica de la punta (resolución $\sim 0,4$ nm).



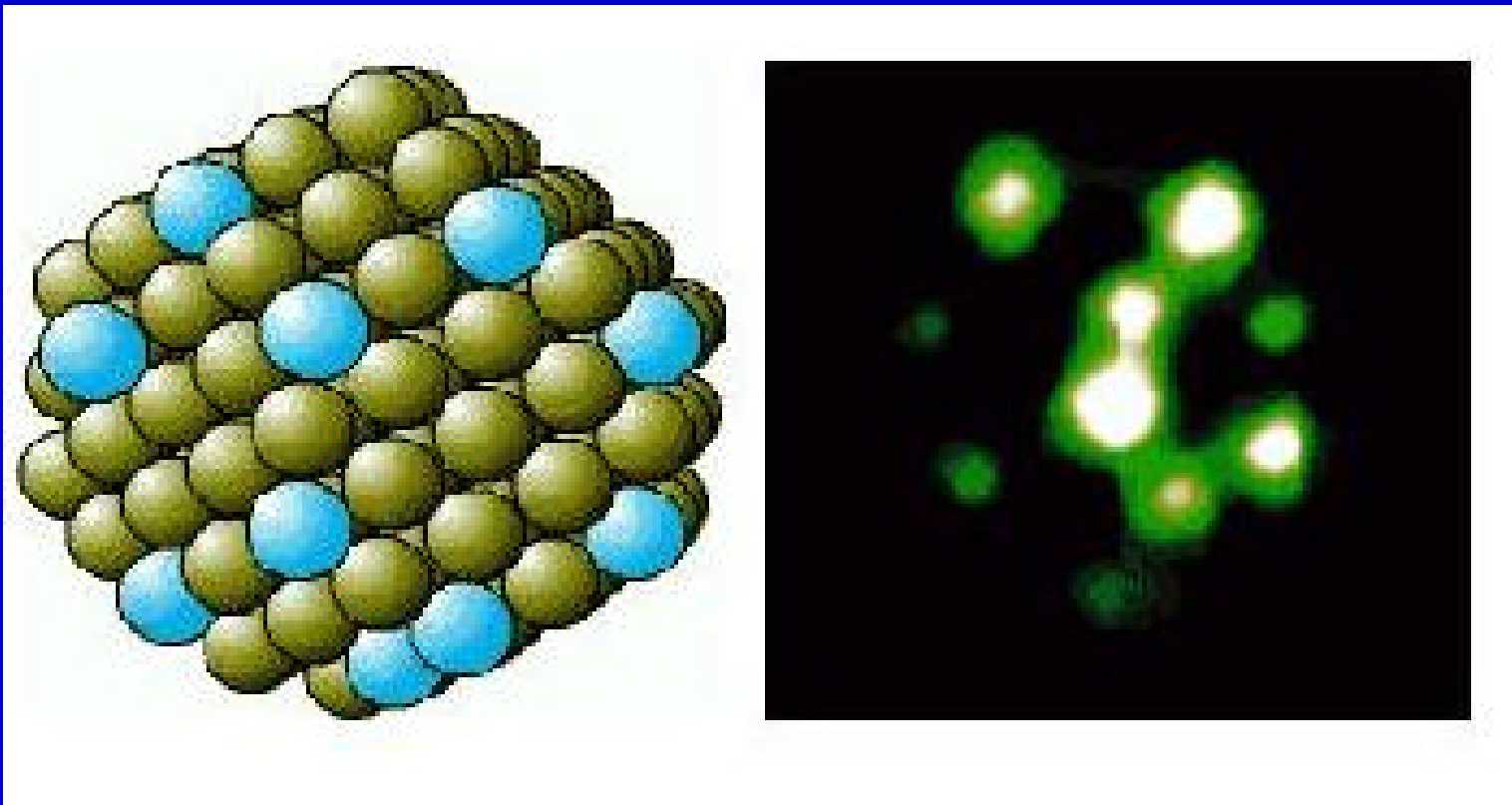
Los átomos de He ionizados inciden en la pantalla en diferentes posiciones dependiendo del punto en el que se han ionizado en el “tip”, originando una imagen del tip. La ionización ocurre en los puntos de campo más alto, por ejemplo sobre filas atómicas sobre la superficie del tip.



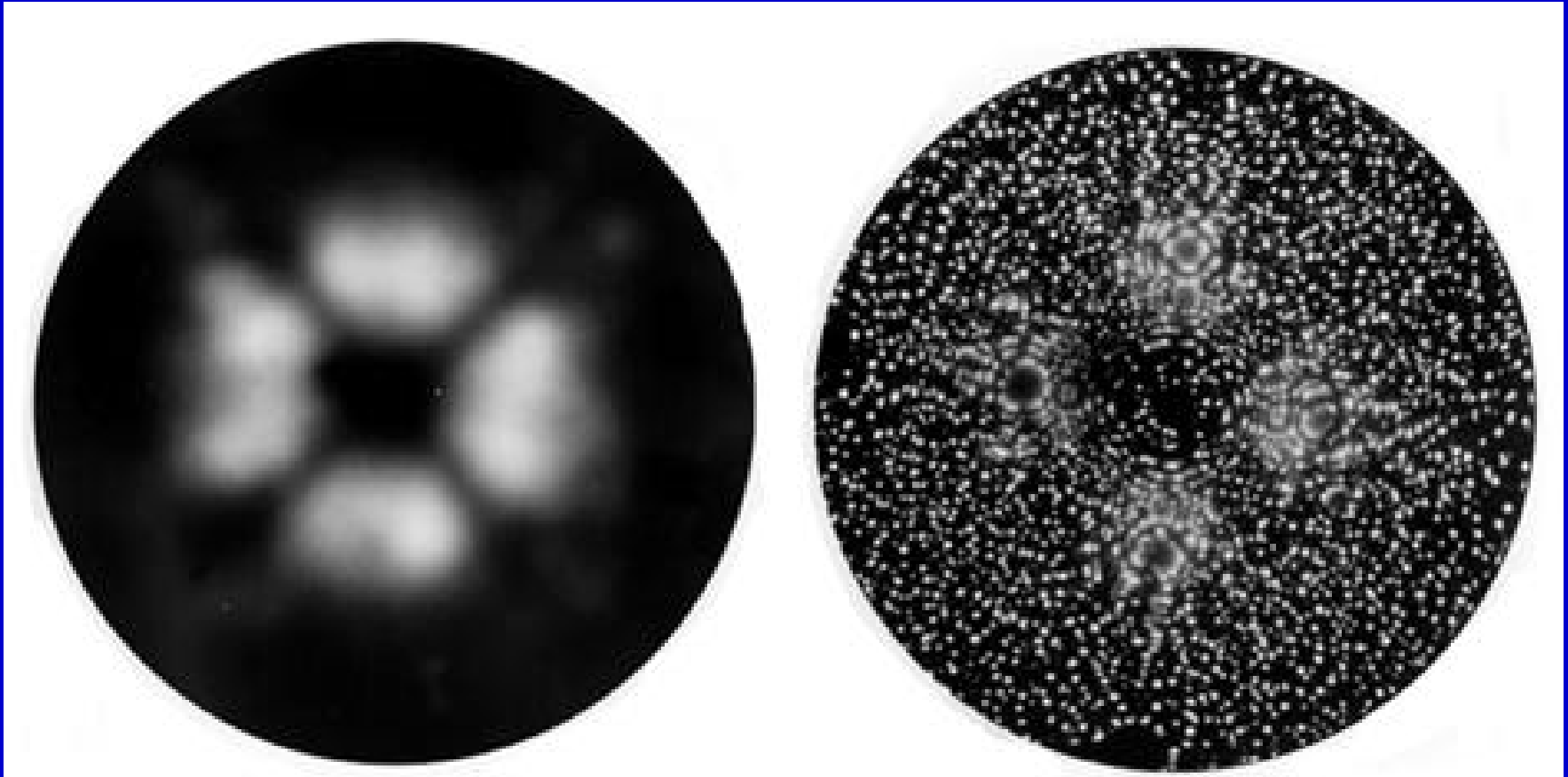
FIM puede ser operado a temperaturas criogénicas ($<50\text{K}$) se obtiene resolución atómica. Figura: Field Ion emission de una sup. limpia de W (los puntos representan átomos individuales de W; los patrones se deben a los diferentes planos cristalográficos)



Estructura de “clusters” de Au de tamaño nanométrico (2-15 nm) depositado en la punta de un “tip” (el campo eléctrico se mayor en el cluster, de modo que la imagen FIM muestra los átomos del cluster).



Imágenes FEM y FIM de una superficie limpia de Ni



FIM: Imágenes atómicas de superficies (se obtiene información estructural).

APFIM (Atom Probe Fiel Ion Microscopy): Modificación que provee una cuantificación e identificación de masa en un espectrómetro de masa de tiempo de vuelo (TOF, time of flight) en una región extremadamente confinada (el tiempo necesario para alcanzar el espectrómetro de masa depende de la masa de la partícula).

Se realiza una perforación en la pantalla. Los iones emitidos por la superficie, pasan a un espectrómetro de masa de TOF (las especies son eyectadas de la superficie por un pulso de alto voltaje o por un pulso láser).

Es extremadamente sensible (se necesitan 1-2 átomos para análisis).

Usos: Identificación de átomos de impurezas individuales (metalografía, como intersticiales o especies segregadas en límites de grano y dislocaciones, productos de corrosión, especies adsorbidas sobre una superficie, etc.).

Table 10.4-1. Survey of field probe techniques

Fundamental process	Mechanism of signal generation	Technique	Application
Field ionization	Imaging of surface ionized noble gas atoms	FIM	Imaging with atomic resolution
	Desorption of specimen atoms	atom probe analysis	Quantitative nanoanalysis of monolayers
Electron tunneling	Measurement of tunneling current	STM	Imaging with atomic resolution at surfaces, single atom spectroscopy
Interatomic force interaction	Measurement of forces	AFM	Surface imaging with atomic resolution (also insulators!)