

Application Note AN-FET-001

# Estudios de caracterización y rendimiento de transistores de efecto de campo (FET) utilizando $\mu$ Stat-i 400

En los últimos años, los transistores de efecto de campo (FET) se han utilizado muy comúnmente como una plataforma de detección para múltiples aplicaciones electroquímicas y biológicas.

Estos aparatos son prometedores transductores bioelectrónicos que permiten tanto el funcionamiento a bajo potencial como las medidas potenciométricas estables. En la actualidad, los FET se consideran una alternativa atractiva al uso de sistemas de detección

electroquímica convencionales en la comunidad científica.

Esta Application Note ofrece una guía detallada sobre el funcionamiento de los aparatos bipotencióstáticos DropSens de Metrohm para la caracterización de los FET y su uso como transductores. Se utiliza un solo dispositivo  $\mu$ Stat-i 400, un bipotenciómetro y galvanostato pequeño y portátil, para demostrar los siguientes experimentos.

Cuando los transistores de efecto de campo (FET) se functionalizan correctamente con elementos de biorreconocimiento apropiados, como anticuerpos o enzimas, se demuestra que ofrecen una plataforma única para la transducción de eventos bioquímicos en tiempo real, específica y sin etiquetas. Por ejemplo, los FET correctamente functionalizados pueden detectar la presencia de gases, iones y virus, e incluso

monitorear el crecimiento celular en tiempo real. Estos biosensores basados en FET funcionan con un campo eléctrico que modula los portadores de carga a través de un material semiconductor. Dichos biosensores pueden convertir directamente interacciones biológicas específicas en señales eléctricas sin necesidad de una etiqueta electroactiva.

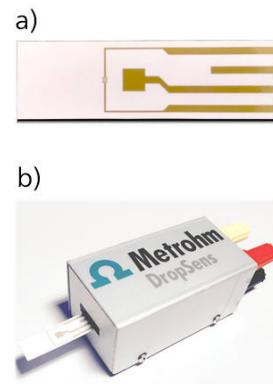
## INSTRUMENTACIÓN Y SOFTWARE

El Metrohm DropSens µStat-i 400 se utilizó con el propósito de mostrar cómo conectar accesorios y realizar experimentos con FET. Este instrumento es un bipotenciómetro y galvanómetro portátil que puede funcionar de forma inalámbrica o conectarse a una computadora mediante un cable USB. El instrumento

Metrohm DropSens también ofrece el AUFET30 (**Figura 1a**), un transductor electroquímico de oro fijado a un sustrato de plástico. Esta plataforma está diseñada en un arreglo coplanar que integra todos los electrodos (canal y compuerta de fuente de drenaje) en una sola pieza para facilitar la fabricación de FET. Esta configuración asegura siempre que se mantenga la misma distancia de separación entre los electrodos y proporciona una fácil modificación del canal con el material semiconductor. El canal de fuente de drenaje es un sistema interdigitado de seis bandas en cada electrodo. El ancho del espacio de las bandas es de 30  $\mu\text{m}$ , mientras que la longitud de las bandas es de 270  $\mu\text{m}$ . El electrodo de puerta es un electrodo cuadrado (9  $\text{mm}^2$ ) y se coloca a 2 mm del canal de drenaje-fuente.

El conector dedicado BIDSCFET (**Figura 1b**) fue diseñado para que AUFET30 se conecte fácilmente a cualquier instrumento. Aquí, AUFET30 se muestra en la ranura ubicada en la parte frontal de este conector, mientras que en la parte trasera hay cuatro conectores banana hembra que combinan con los colores de los conectores banana macho de los cables provistos para una configuración intuitiva.

está controlado por el software DropView 8400, un software intuitivo dedicado y fácil de usar que permite a los usuarios realizar mediciones electroquímicas y ver la señal gráfica obtenida en tiempo real.



**Figura 1.** a) Plataforma AUFET30 para la fabricación de FETs. (b) Conector BIDSCFET.

## INSTRUMENTACIÓN Y SOFTWARE

### conexión FET

Se incluye un conector de cable I-BICABSTAT con el bipotenciómetro/galvanómetro  $\mu$ Stat-i 400. Este cable tiene 5 conectores banana macho etiquetados como se describe en **Figura 2**.

Para realizar experimentos con FET, se describen diferentes arreglos de conexión dependiendo de la aplicación experimental deseada.

**Red** – (WE1)

**Red** – (S)

**Yellow** – (XWE2)

**Black** – (A)

**Blue** – (R)

**Green** – ( $\equiv$ )

---

**Figura 2.** Etiquetas para los 5 conectores banana diferentes

### Conexión para caracterización FET

Durante la caracterización FET, la corriente de fuente de drenaje ( $I_{SD}$ ) se evalúa comúnmente mediante el barrido del voltaje entre drenaje y fuente ( $V_{SD}$ ) en diferentes pasos de voltaje de fuente de puerta ( $V_{SG}$ ). Por lo tanto, la disposición de las conexiones es la siguiente:

- El conector banana XWE2 (amarillo) está conectado al **portón** electrodo.
- Los conectores tipo banana R (azul) y A (negro) están conectados al **fuente** electrodo.

- Los conectores banana WE1 (rojo) y S (rojo) se conectan al **drenar** electrodo.

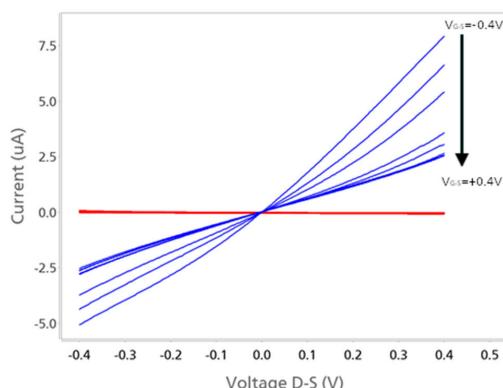
Una vez realizadas las conexiones, seleccione el LSV+AD técnica en el software DropView 8400. Los parámetros del experimento se pueden configurar en las ventanas de parámetros del software.

- **Inicio:** valor inicial para  $V_{SD}$
- **Fin:** Valor final para  $V_{SD}$
- **E2:** Voltaje de puerta  $V_{SG}$

## INSTRUMENTACIÓN Y SOFTWARE

Para llevar a cabo la caracterización, varios *LSV+AD* los experimentos se realizan mientras se varía  $V_{SG}$ . Durante el experimento, el área de visualización de gráficos traza dos curvas simultáneamente: una azul correspondiente a  $I_{SD}$  contra  $V_{SD}$  y uno rojo correspondiente a  $I_{GRAMO}$  contra  $V_{SD}$ . Después de realizar los diferentes experimentos *LSV+AD*, el área de visualización de gráficos muestra un gráfico similar al de **figura 3**.

Las líneas azules muestran la relación lineal entre  $I_{SD}$  y  $V_{SD}$  obtenido a diferentes  $V_{SG}$  desde -0,40 V hasta +0,40 V. La dependencia lineal del dispositivo evaluado confirma que el contacto óhmico se mantiene entre los electrodos de oro del canal de fuente de drenaje y la película semiconductor subyacente.



**Figura 3.** Gráfico de  $ID-S$  (azul) e  $IG-S$  (rojo) versus  $VD-S$  obtenido en diferentes  $VG-S$  con el software DropView 8400.

### Conexión para curvas de transferencia IV: barrido de tensión puerta-fuente aplicando tensión fija en canal drenaje-fuente

Para obtener las curvas de transferencia típicas, la corriente drenaje-fuente ( $I_{SD}$ ) se registra a un voltaje fijo mientras que  $V_{SG}$  es barrido. Después de la caracterización (**figura 3**), una gran variación en  $I_{SD}$  se pueden observar valores dependiendo de la  $V_{SG}$  aplicada en una  $V_{SD}$  de +0,40 V. Por eso, esta  $V_{SD}$  se ha seleccionado un valor (+0,40 V) para realizar el siguiente experimento de curvas de transferencia. El procedimiento de operación es muy similar a la descripción anterior, pero las conexiones deben realizarse como se describe a continuación.

El procedimiento de operación es muy similar a la descripción anterior, pero las conexiones deben realizarse como se describe a continuación.

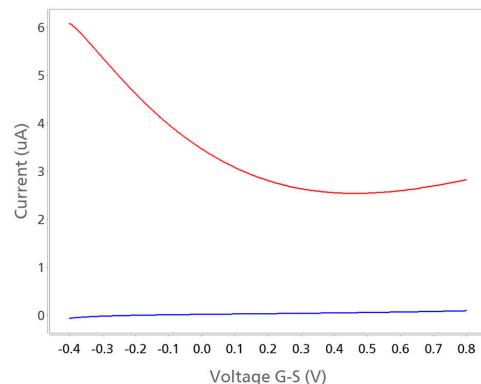
- Los conectores banana WE1 (rojo) y S (rojo) se conectan al **portón** electrodo.

- Los conectores tipo banana R (azul) y A (negro) están conectados al **fuente** electrodo.
- El conector banana XWE2 (amarillo) está conectado al **drenar** electrodo.

Una vez realizadas las conexiones, seleccione el *LSV+AD* técnica en el software DropView 8400. Los parámetros del experimento se pueden configurar en las ventanas de parámetros del software.

- **Inicio:** valor inicial para  $V_{SG}$
- **Fin:** valor final para  $V_{SG}$
- **E2:** tensión drenaje-fuente

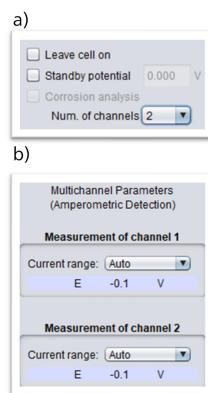
Después de comenzar el experimento, el área de visualización de gráficos muestra dos curvas simultáneamente: una roja correspondiente a la curva de transferencia IV ( $I_{SD}$  contra  $V_{SG}$ ), y uno azul relacionado con la corriente de fuga ( $I_{SG}$  contra  $V_{SG}$ ) (Figura 4).



**Figure 4.** Gráfico de la curva de transferencia IV ( $ID-S$ , línea roja) y corriente de fuga ( $IG-S$ , línea azul) frente a  $VG-S$  obtenida con el software DropView 8400.

### Conexión para medidas continuas

Para algunas aplicaciones es necesario realizar medidas en modo continuo, ya que una vez seleccionados los parámetros óptimos se aplica un voltaje fijo entre puerta y fuente, y otro voltaje fijo también se aplica al drenaje. En este caso, la configuración operativa es la misma que la utilizada para las curvas de transferencia. Sin embargo, en esta situación se emplea una técnica diferente. *Detección amperométrica* se selecciona en el software DropView 8400. En las ventanas de parámetros del software, seleccione «2» como el número de canales (Figura 5a). Posteriormente, haga clic en la pestaña de parámetros multicanal dentro de la ventana de parámetros (Figura 5b), luego configure el voltaje de fuente de puerta en el canal 1 y el voltaje de fuente de drenaje en el canal 2. Después de comenzar el experimento, el área de visualización de gráficos mostrará dos curvas, una roja y una azul relacionadas con  $I_{SD}$  contra el tiempo y  $yo_{SG}$  contra tiempo, respectivamente.



**Figure 5.** a) Sección de la ventana de parámetros en DropView 8400 donde se debe seleccionar el número de canales. (b) La pestaña de parámetros Multicanal dentro de la ventana de parámetros donde E del canal 1 corresponde a  $VG-S$  y E del canal 2 corresponde a  $VD-S$ .

### CONCLUSIÓN

Los bipotencióstatos Metrohm DropSens permiten a los usuarios mostrar simultáneamente las corrientes de fuente de compuerta y fuente de drenaje en una figura única, lo que significa que la curva de

transferencia IV y la corriente de fuga se pueden obtener para cada experimento. El mismo protocolo escrito en esta nota de aplicación se puede seguir con el  $\mu$ Stat 400.

Además, AUFET30 es un transductor electroquímico para el fácil desarrollo de FET. Junto con el conector dedicado BIDSCFET, facilita la adaptación a cualquier bipotenciómetro para realizar mediciones confiables

con mayor sensibilidad que las configuraciones convencionales de celdas electroquímicas de tres electrodos.

## CONTACT

Metrohm Hispania  
Calle Aguacate 15  
28044 Madrid

[mh@metrohm.es](mailto:mh@metrohm.es)

## CONFIGURACIÓN



### Instrumento de análisis de impedancia-bipotenciómetro-galvanostato (EIS) µStat-i 400

µStat-i 400 es un instrumento de análisis de impedancia-bipotenciómetro-galvanostato (EIS) portátil que se puede aplicar para medidas voltámerométricas, amperométricas, potenciométricas y EIS, y que se puede utilizar con configuraciones de uno o dos electrodos de trabajo. Alimentado con baterías de iones de litio, puede conectarse fácilmente a un ordenador mediante USB y Bluetooth®.



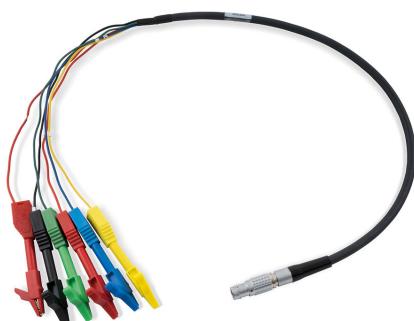
### Transistores de oro de efecto campo flexibles con puerta coplanar

Estos dispositivos flexibles desechables para transistor de efecto campo (FET) están hechos de oro sobre un substrato de plástico. Estos electrodos son útiles para obtener fases de detección.



#### Connector for Field-effect transistor Electrodes

Boxed connector that acts as an interface between ref. AUFET30 electrodes and any kind of potentiostat



**Conector de cable Stat para Stat-i 400 y electrodos serigrafiados dobles**

**Conector de cable  $\mu$ Stat para  $\mu$ Stat-i 400 y electrodos serigrafiados dobles**