

## Application Note AN-FET-001

# Caratterizzazione e studi sulle prestazioni di transistor ad effetto di campo (FET) utilizzando $\mu$ Stat-i 400

Negli ultimi anni, i transistor a effetto di campo (FET) sono stati sempre più utilizzati come piattaforma di rilevamento per una moltitudine di applicazioni elettrochimiche e biologiche.

Questi dispositivi sono trasduttori bioelettronici promettenti, che consentono sia il funzionamento a basso potenziale sia misure potenziometriche stabili. Oggigiorno, nella comunità scientifica, i FET sono considerati un'alternativa allettante ai sistemi di

rilevamento elettrochimici convenzionali.

In questa Application Note si forniscono istruzioni dettagliate su come utilizzare i dispositivi con bipotenziostato DropSens Metrohm per la caratterizzazione dei FET e il loro utilizzo come trasduttori. Un singolo dispositivo  $\mu$ Stat-i 400, un piccolo e portatile bipotenziostato e galvanostato, viene utilizzato per dimostrare i seguenti esperimenti.

## INTRODUZIONE

Quando i transistor a effetto di campo (FET) sono adeguatamente funzionalizzati con elementi di bioriconoscimento appropriati come anticorpi o enzimi, è dimostrato che offrono una piattaforma unica per la trasduzione in tempo reale, specifica e senza etichetta di eventi biochimici. Ad esempio, i FET adeguatamente funzionalizzati possono rilevare la presenza di gas, ioni e virus e persino monitorare la

## STRUMENTI E SOFTWARE

Metrohm DropSens  $\mu$ Stat-i 400 è stato utilizzato allo scopo di mostrare come collegare gli accessori ed eseguire esperimenti con i FET. Questo strumento è un bipotenziometro e galvanostato portatile che può funzionare in modalità wireless o essere collegato a

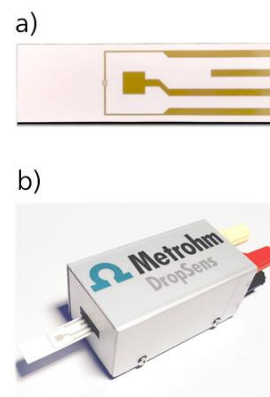
Metrohm DropSens offre anche AUFET30 (Figura 1a), un trasduttore elettrochimico d'oro fissato su un substrato di plastica. Questa piattaforma è progettata in una disposizione complanare che integra tutti gli elettrodi (canale di drenaggio-sorgente e gate) in un unico pezzo per la facile fabbricazione di FET. Questa configurazione garantisce sempre la stessa distanza di separazione tra gli elettrodi e fornisce una facile modifica del canale con il materiale semiconduttore. Il canale drain-source è un sistema interdigitato di sei bande in ciascun elettrodo. La larghezza dello spazio tra le bande è di 30  $\mu\text{m}$ , mentre la lunghezza delle bande è di 270  $\mu\text{m}$ . L'elettrodo di gate è un elettrodo quadrato (9  $\text{mm}^2$ ) ed è posizionato a 2 mm dal canale drain-source.

Il connettore dedicato BIDSCET (Figura 1b) è stato progettato per AUFET30 per connettersi facilmente a qualsiasi strumento. Qui, AUFET30 è mostrato nello slot situato sul lato anteriore di questo connettore, mentre nella parte posteriore sono presenti quattro connettori a banana femmina che corrispondono ai colori dei connettori a banana maschio dei cavi forniti per un'installazione intuitiva.

crescita cellulare in tempo reale.

Questi biosensori basati su FET funzionano con un campo elettrico che modula i portatori di carica attraverso un materiale semiconduttore. Tali biosensori possono convertire direttamente specifiche interazioni biologiche direttamente in segnali elettrici senza la necessità di un'etichetta elettroattiva.

un computer tramite cavo USB. Lo strumento è controllato dal software DropView 8400, un software intuitivo dedicato e di facile utilizzo che consente agli utenti di eseguire misurazioni elettrochimiche e visualizzare il segnale grafico ottenuto in tempo reale.



**Figure 1.** a) Piattaforma AUFET30 per la fabbricazione di FET. (b) connettore BIDSCET.

## Collegamento FET

Un connettore per cavo I-BICABSTAT è incluso con il bipotenziometro / galvanostato  $\mu$ Stat-i 400. Questo cavo ha 5 connettori a banana maschio etichettati come descritto in **figura 2**.

Per eseguire esperimenti con FET, vengono descritte diverse disposizioni di connessione a seconda dell'applicazione sperimentale desiderata.

Red – (WE1)

Red – (S)

Yellow – (XWE2)

Black – (A)

Blue – (R)

Green – ( $\equiv$ )

**Figure 2.** Etichette per i 5 diversi connettori a banana

## Collegamento per la caratterizzazione FET

Durante la caratterizzazione FET, la corrente drain-source ( $I_{ds}$ ) è comunemente valutata mediante la tensione drain-source ( $V_{ds}$ ) a diversi gradini della tensione gate-source ( $V_{GS}$ ). Pertanto, la disposizione dei collegamenti è la seguente:

- Il connettore a banana XWE2 (giallo) è collegato all'elettrodo di **gate**.
- I connettori a banana R (blu) e A (nero) sono collegati all'elettrodo **sorgente**.

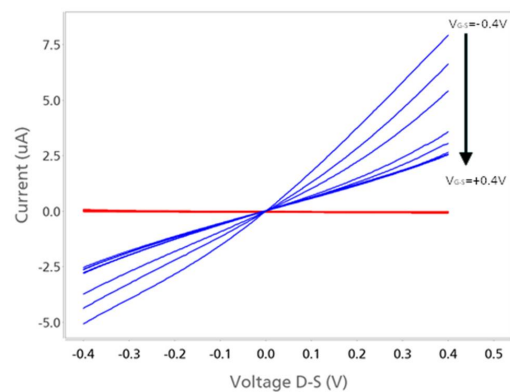
Per effettuare la caratterizzazione, diversi *LSV+AD* gli esperimenti vengono eseguiti variando  $V_{GS}$ . Durante l'esperimento l'area di visualizzazione grafica traccia due curve contemporaneamente: una blu corrispondente a  $I_{ds}$  contro  $V_{ds}$  e una rossa corrispondente a  $I_G$  contro  $V_{ds}$ . Dopo aver eseguito i diversi esperimenti *LSV+AD*, l'area di visualizzazione grafica mostra una trama simile a quella in **Figura 3**.

Le linee blu mostrano la relazione lineare tra  $I_{ds}$  e  $V_{ds}$  ottenuto a diverso  $V_{GS}$  da -0,40 V a +0,40 V. La dipendenza lineare per il dispositivo valutato conferma che il contatto ohmico è mantenuto tra gli elettrodi d'oro del canale drain-source e il film semiconduttore sottostante.

- I connettori a banana WE1 (rosso) e S (rosso) sono collegati all'elettrodo di **drenaggio**.

Una volta effettuati i collegamenti, seleziona la tecnica *LSV+AD* nel software DropView 8400. I parametri dell'esperimento possono essere impostati nelle finestre dei parametri del software.

- **Inizio:** valore iniziale per  $V_{ds}$
- **Fine:** Valore finale per  $V_{ds}$
- **E2:** Tensione di gate  $V_{GS}$



**Figure 3.** Grafico di  $I_{D-S}$  (blu) e  $I_{G-S}$  (rosso) rispetto a  $V_{D-S}$  ottenuto in diversi  $V_{G-S}$  con il software DropView 8400.

## Collegamento per curve di trasferimento IV: sweep gate-source applicando una tensione fissa nel canale drain-source

Per ottenere le tipiche curve di trasferimento, la corrente drain-source ( $I_{ds}$ ) è registrata a tensione fissa mentre  $V_{GS}$  è spazzato. Dopo la caratterizzazione (Figura 3), una grande variazione nei valori  $I_{ds}$  possono essere osservati a seconda del  $V$  applicato  $V_{GS}$  ad un  $V_{ds}$  di +0,40 V. Per questo motivo, questo  $V_{ds}$  valore (+0,40 V) è stato selezionato per eseguire il seguente esperimento sulle curve di trasferimento. La procedura operativa è molto simile alla descrizione precedente, ma i collegamenti devono essere effettuati come di seguito descritto.

La procedura operativa è molto simile alla descrizione precedente, ma i collegamenti devono essere effettuati come di seguito descritto.

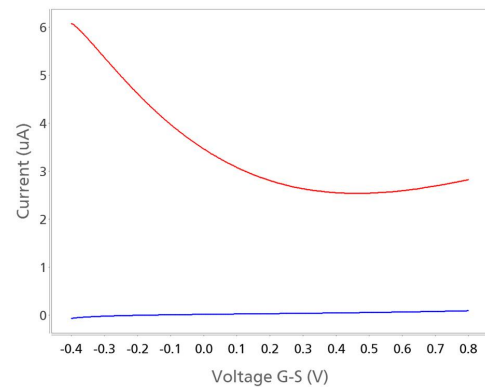
- I connettori a banana WE1 (rosso) e S (rosso) sono collegati a **cancello** elettrodo.

Dopo aver avviato l'esperimento, l'area di visualizzazione grafica mostra due curve contemporaneamente: una rossa corrispondente alla curva di trasferimento denominata IV ( $I_{ds}$  contro  $V_{GS}$ ), e uno blu relativo alla corrente di dispersione ( $I_{GS}$  contro  $V_{GS}$ ) (Figura 4).

- I connettori a banana R (blu) e A (nero) sono collegati a **fonte** elettrodo.
- Il connettore a banana XWE2 (giallo) è collegato al **drenare** elettrodo.

Una volta effettuati i collegamenti, selezionare il *LSV+AD* tecnica nel software DropView 8400. I parametri dell'esperimento possono essere impostati nelle finestre dei parametri del software.

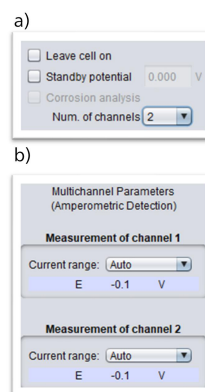
- **Inizio:** valore iniziale per  $V_{GS}$
- **Fine:** valore finale per  $V_{GS}$
- **E2:** tensione drain-source



**Figure 4.** Grafico della curva di trasferimento IV ( $I_{D-S}$ , linea rossa) e corrente di dispersione ( $I_{G-S}$ , linea blu) rispetto a  $V_{G-S}$  ottenuto con il software DropView 8400.

## Collegamento per misure continue

Per alcune applicazioni è necessario eseguire misure in modalità continua, perché una volta selezionati i parametri ottimali viene applicata una tensione fissa tra gate e source e un'altra tensione fissa viene applicata anche al drain. In questo caso il setup operativo è lo stesso utilizzato per le curve di trasferimento. Tuttavia, in questa situazione viene utilizzata una tecnica diversa. *Rilevamento amperometrico* è selezionato nel software DropView 8400. Nelle finestre parametri del software, selezionare «2» come numero di canali (Figura 5a). Successivamente, fare clic sulla scheda del parametro Multicanale all'interno della finestra dei parametri (Figura 5b), quindi impostare la tensione gate-source nel canale 1 e la tensione drain-source nel canale 2. Dopo aver avviato l'esperimento, l'area di visualizzazione grafica mostrerà due curve, una rossa e una blu relative a  $I_{ds}$  contro tempo ed  $i_{o_{GS}}$  contro tempo, rispettivamente.



**Figure 5.** a) Sezione della finestra dei parametri in DropView 8400 in cui è necessario selezionare il numero di canali. (b) La scheda del parametro Multicanale all'interno della finestra dei parametri dove E del canale 1 corrisponde a VG-S ed E del canale 2 corrisponde a VD-S.

## CONCLUSION

I bipotenziostrati Metrohm DropSens consentono agli utenti di visualizzare simultaneamente le correnti gate-source e drain-source in un'unica figura, il che significa che la curva di trasferimento IV e la corrente di dispersione possono essere ottenute per ogni esperimento. Lo stesso protocollo scritto in questa nota applicativa può essere seguito con  $\mu$ Stat 400.

Inoltre, AUFET30 è un trasduttore elettrochimico per il facile sviluppo di FET. Insieme al connettore dedicato BIDSCFET, facilita l'adattamento a qualsiasi bipotenziostrato per eseguire misurazioni affidabili con una sensibilità maggiore rispetto alle configurazioni convenzionali di celle elettrochimiche a tre elettrodi.

## CONTACT

Metrohm Italiana Srl  
Via G. Di Vittorio, 5  
21040 Origgio (VA)

info@metrohm.it

## CONFIGURAZIONE



### Bipotenziostato/Galvanostato/Analizzatore di impedenza (EIS) Stat-i 400

$\mu$ Stat-i 400 è un bipotenziostato/galvanostato/analizzatore di impedenza (EIS) portatile utilizzabile per l'esecuzione di misure voltammetriche, amperometriche, potenziometriche ed EIS in una configurazione a uno o due elettrodi di lavoro. Alimentato con una batteria agli ioni di litio, può essere facilmente collegato a un PC via USB e Bluetooth®.



### Transistor a effetto di campo in oro flessibili con gate planare

I dispositivi flessibili monouso per i transistor a effetto di campo (FET, Field-Effect Transistor) sono realizzati in oro su substrato di plastica. Questi elettrodi sono utili per ottenere le fasi di rilevamento.