

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 bipotenziosiato DropSens Metrohm per la caratterizzazione dei FET e il loro utilizzo come trasduttori. Un singolo dispositivo  $\mu$ Stat-i 400, un piccolo e portatile bipotenziosiato e galvanostato, viene utilizzato per dimostrare i seguenti esperimenti.

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

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 elettrorattiva.

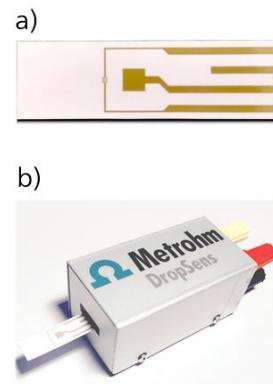
## STRUMENTI E SOFTWARE

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

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 m, mentre la lunghezza delle bande è di 270 m. L'elettrodo di gate è un elettrodo quadrato (9 mm<sup>2</sup>) 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.



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

## STRUMENTI E SOFTWARE

### Collegamento FET

Un connettore per cavo I-BICABSTAT è incluso con il bipotenzimetro / 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**.

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

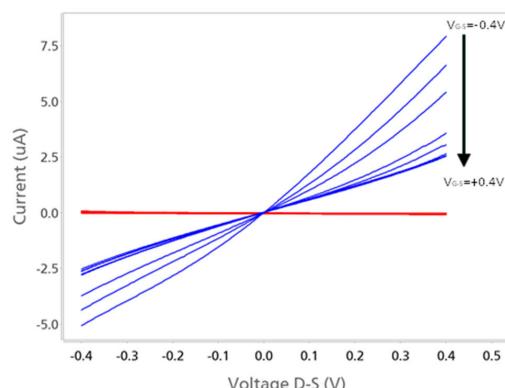
Una volta effettuati i collegamenti, seleziona la tecnica *LSV+AD* nel software DropView 8400. I parametri dell'esperimento possono essere impostati nelle finestre dei parametri del software.

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

## STRUMENTI E SOFTWARE

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 uno rosso 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.



**Figure 3.** Grafico di  $ID-S$  (blu) e  $IG-S$  (rosso) rispetto a  $VD-S$  ottenuto in diversi  $VG-S$  con il software DropView 8400.

## STRUMENTI E SOFTWARE

### 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.

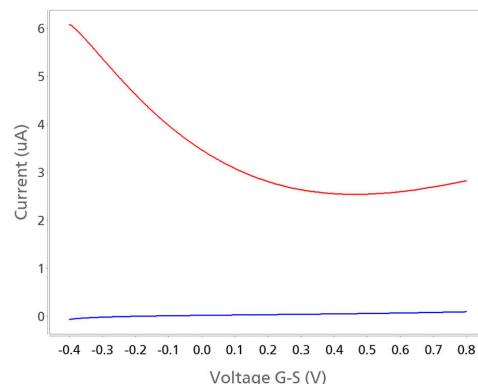
- I connettori a banana WE1 (rosso) e S (rosso) sono collegati a **cancello** elettrodo.

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.

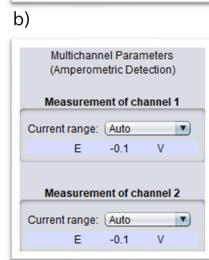
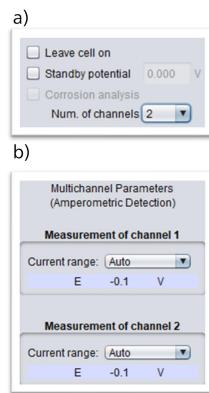
- **Inizio**: valore iniziale per  $V_{GS}$
- **Fine**: valore finale per  $V_{GS}$
- **E2**: tensione drain-source



**Figure 4.** Grafico della curva di trasferimento IV ( $I_{ds}$ , linea rossa) e corrente di dispersione ( $I_{GS}$ , linea blu) rispetto a  $V_{GS}$  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.



**Figura 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 bipotenziosi Metrohm DropSens consentono agli utenti di visualizzare simultaneamente le correnti gate-source e drainsource 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 bipotenziosi 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



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

μ Stat-i 400 è un bipotenzistato/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 complanare

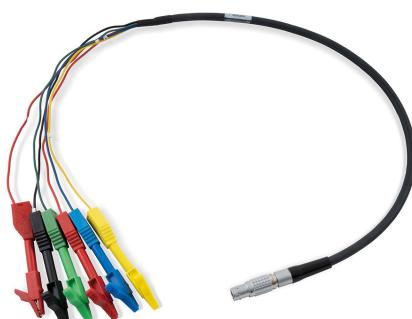
I dispositivi flessibili monouso per i transistor a effetto di campo (FET, Field-Effect Transistor) sono realizzati in oro su substrato di plastica. Questi elettrodi

sono utili per ottenere le fasi di rilevamento.



Connector for Field-effect transistor Electrodes

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



Connettore cavo Stat per Stat-i 400s ed elettrodi a membrana doppi

Connettore cavo Stat per Stat-i 400s ed elettrodi a membrana doppi