Transistor a effetto di campo

Da Wikipedia, l'enciclopedia libera.

In elettronica il **transistor a effetto di campo**, abbreviato **FET**, dall'inglese *field-effect transistor*, è un tipo di transistor largamente usato nel campo dell'elettronica digitale e diffuso, in maniera minore, nell'elettronica analogica.

Si tratta di un substrato di materiale semiconduttore drogato, solitamente in silicio, al quale sono applicati quattro terminali: il *gate*, il *source*, il *drain* ed il *bulk*; quest'ultimo, se presente, è generalmente connesso al source e se non presente è connesso al terminale esterno del gate. Il principio di funzionamento del transistor ad effetto di campo si fonda sulla possibilità di controllare la conduttività elettrica del dispositivo, e quindi la corrente elettrica che lo attraversa, mediante la formazione di un campo elettrico al suo interno. Il processo di conduzione coinvolge solo i portatori di carica maggioritari, pertanto questo tipo di transistore è detto *unipolare*.

La diversificazione dei metodi e dei materiali usati nella realizzazione del dispositivo ha portato alla distinzione di tre principali famiglie di FET: JFET, MESFET e MOSFET. Il JFET, abbreviazione di *Junction FET*, è dotato di una giunzione p-n come elettrodo rettificante; il MESFET, abbreviazione di *Metal Semiconductor FET*, una giunzione Schottky raddrizzante metallo-semiconduttore ed il MOSFET, abbreviazione di *Metal Oxide Semiconductor FET*, genera il campo elettrico grazie ad una struttura metallica esterna, separata dalla giunzione da uno strato di dielettrico.

Transistor di potenza a effetto di campo a canale N

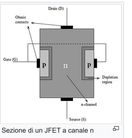
Il transistor a effetto di campo è stato inventato da Julius Edgar Lilienfeld nel 1925, ma i primi dispositivi costruiti, i JFET, risalgono 1952, quando fu tecnologicamente possibile realizzarli. Il Fet più diffuso è il MOSFET, realizzato da Dawon Kahng e Martin Atalla nel 1959 presso i Bell Laboratories.[1] Insieme al transistor a giunzione bipolare, il FET è il transistor più diffuso in elettronica: a differenza del BJT esso presenta il vantaggio di avere il terminale gate di controllo isolato, nel quale non passa alcuna corrente

Indice [nascondi]

1 Struttura
- 1.1 Distribuzione delle cariche all'interno del semiconduttore
  - 1.1.1 Regione di accumulazione
  - 1.1.2 Regione di svuotamento
  - 1.1.3 Regione di Inversione
2 Funzionamento
- 2.1 Regione di interdizione
- 2.2 Regione lineare
- 2.3 Regione di saturazione
3 Simbolo circuitale
4 Tipologie
5 Note
6 Bibliografia
7 Voci correlate
8 Altri progetti
9 Collegamenti esterni

Struttura [modifica | modifica wikitesto]

Il transistor ad effetto di campo viene realizzato affiancando il terminale di *gate* da due regioni di silicio drogate in maniera opposta al *bulk*, che costituiscono i terminali di *drain* e *source*. Tali diffusioni costituiscono una giunzione p-n, un contatto tra i blocchi di tipo N e di tipo N ed è priva di portatori liberi. Ai due lati della giunzione vi è una differenza di potenziale costante, chiamata tensione di built-in, che deve mantenere una polarizzazione inversa per il funzionamento del dispositivo.



Sezione di un JFET a canale n

La regione di substrato compresa tra i due terminali *drain* e *source* è detta **regione di canale**, ed è caratterizzata da una *lunghezza di canale* L e da una *larghezza di canale* W, misurate rispettivamente lungo la direzione parallela e perpendicolare rispetto al verso della corrente che percorre il canale. Tale regione fornisce un percorso conduttivo tra i due terminali ed è separata dal *gate* da un sottile strato solitamente composto da biossido di silicio.

Distribuzione delle cariche all'interno del semiconduttore [modifica | modifica wikitesto]

A seconda della tensione applicata ai capi del FET si verificano tre diverse configurazioni di carica all'interno del dispositivo, riportate di seguito nel caso di un substrato con drogaggio di tipo *p*:

Regione di accumulazione [modifica | modifica wikitesto]

La regione di accumulazione si verifica quando all'elettrodo di *gate* viene imposta una tensione negativa rispetto al bulk, generalmente posto a massa. In questa configurazione le lacune del substrato si accumulano in un piccolo strato in prossimità del terminale di *gate*: questa è la condizione di accumulazione.

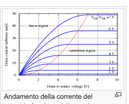
Regione di svuotamento [modifica | modifica wikitesto]

La regione di svuotamento si verifica quando all'elettrodo di *gate* viene imposta una tensione positiva rispetto al *bulk*. In questa configurazione le lacune del substrato si allontanano dalla *gate*, lasciando una regione di svuotamento in prossimità di esso.

Regione di Inversione [modifica | modifica wikitesto]

La regione di inversione si verifica quando all'elettrodo di *gate* viene imposta una tensione positiva superiore ad una certa tensione, detta tensione di soglia. In questa configurazione gli elettroni presenti nel substrato vengono attratti dal *gate*, e se la tensione supera la tensione di soglia la concentrazione di elettroni in prossimità del terminale di *gate* è maggiore di quella delle lacune: si forma così uno strato di inversione nel quale il silicio è diventato drogato di tipo *n*.

Lo strato di inversione è molto sottile e l'elevata concentrazione di elettroni è spiegata dal processo di generazione elettrone-lacune nella regione di svuotamento.



Andamento della corrente del *pozzo* in funzione della tensione tra *pozzo* e *sorgente* per vari valori di $V_{GS} - V_{th}$ in un MOSFET. La linea di contorno tra le regioni lineare e di saturazione è rappresentata dal ramo di parabola.

Funzionamento [modifica | modifica wikitesto]

In un transistor FET l'effetto transistor si ottiene tramite il campo elettrico indotto dalla tensione applicata tra il terminale di *gate* e l'estremità opposta del semiconduttore, detto *bulk*, che è generalmente posto al potenziale di *source*. Tale differenza di potenziale crea un canale di conduzione nel silicio attraverso il quale i portatori di carica si spostano dal *source* al *drain* nel caso di un FET a canale N, dal *drain* al *source* nel caso di un FET a canale P. L'applicazione di una tensione al *gate* permette quindi di controllare il passaggio di cariche tra il *source* e il *drain*, e quindi la corrente elettrica che attraversa il dispositivo.

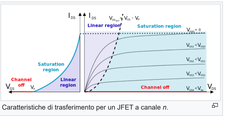
Per un transistor FET a canale *n* la regione di substrato che collega *drain* e *source* , la regione di canale, può essere o ricca di lacune, o vuota, o ricca di elettroni a seconda che sia rispettivamente di accumulazione, di svuotamento o di inversione. Quando si applica una tensione superiore alla tensione di soglia V_{th} tra i terminali di *gate* e *source*, ottenendo la regione di inversione, vi è un passaggio di cariche attraverso il canale controllato dalla tensione al terminale di *gate*. Se la tensione è invece inferiore alla tensione di soglia vi è il passaggio di una piccola corrente, detta corrente di sottosoglia.

Per un transistor FET a canale p, le distribuzioni di carica sono contrarie, per cui il substrato ha un drogaggio di tipo *n* e i terminali di *gate* e *source* di tipo *p*.

A seconda della tensione applicata tra *gate* e *bulk* si individuano tre regioni di lavoro del dispositivo:

Regione di interdizione [modifica | modifica wikitesto]

La regione di interdizione, anche detta di *cut-off*, si verifica quando $V_{GS} < V_{th}$, dove V_{GS} è la tensione tra *gate* e *source*, considerando il terminale di *source* cortocircuitato con l'elettrodo del *bulk*. In questo caso non si verifica la formazione del canale: il transistor è spento e non vi è passaggio di carica tra *gate* e *source*.



Caratteristiche di trasferimento per un JFET a canale *n*.

Regione lineare [modifica | modifica wikitesto]

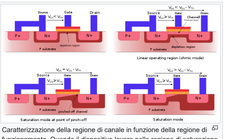
La regione lineare, anche detta *regione ohmica*[2][3] o *di triodo*, si verifica quando $V_{GS} > V_{th}$ e $V_{DS} < (V_{GS} - V_{th})$.

In questo caso il transistor è acceso, e si è creato il canale che permette il passaggio di corrente tra i terminali *drain* e *source* controllato dalla tensione V_{GS}. Avendo il canale una componente resistiva, il MOSFET lavora come un resistore

Regione di saturazione [modifica | modifica wikitesto]

La regione di saturazione, anche detta regione attiva,[4][5] si verifica quando $V_{GS} > V_{th}$ e $V_{DS} > (V_{GS} - V_{th})$. All'aumentare della tensione V_{DS} tra *drain* e *source*, la differenza di potenziale $V_{GD} = V_{GS} - V_{DS}$ tra il *gate* e la regione del canale vicina al *drain* diminuisce, ed il canale viene progressivamente strozzato in prossimità di esso. Tale fenomeno è detto *pinch-off*, e la strozzatura si verifica nel punto di ascissa L', pari alla lunghezza del canale, in cui il potenziale è pari a $V'_{GS} = V_{th}$.[6] La carica di inversione, dunque, diminuisce all'avvicinarsi al terminale di *drain*, e questo implica che una volta raggiunto il completo strozzamento il valore della corrente I_D che percorre il canale non dipende dalla variazione di V_{DS}, dal momento che la tensione ai capi del canale ohmico rimane costante. Le cariche attraversano quindi la regione svuotata $L - L'$ sostenute dal campo elettrico, sicché la corrente dipende solamente dalla tensione V_{GS}, ed il transistore funziona come amplificatore.[6] Quando il transistor lavora in regione di saturazione la corrente dipende quadraticamente dalla tensione tra *gate* e *source*:[7]

$$I_{Dsat} \simeq K(V_{GS} - V_{th})^2$$

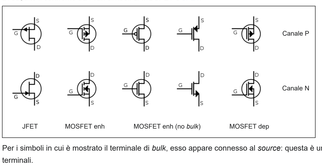


Caratterizzazione della regione di canale in funzione della regione di funzionamento. Quando il dispositivo lavora nella regione di saturazione il canale è strozzato in prossimità del *pozzo*, e la corrente dipende solamente dalla tensione tra la *porta* e la *sorgente*.

Simbolo circuitale [modifica | modifica wikitesto]

I simboli circuitali dei FET sono molteplici, tutti caratterizzati dall'avere i tre terminali, *gate*, *source* e *drain* con un eventuale *body* aggiuntivo per indicare il substrato disponibile come piedino in rari transistor MOSFET degli anni 1960[senza fonte], identificati da una linea: quella del *gate* è perpendicolare alle altre due. La connessione del bulk è mostrata da una freccia che punta da P a N, cioè nel caso di un FET a canale *p*, punta dal *bulk* al canale. Il contrario accade per il FET a canale *n*. Nel caso il terminale di *bulk* non sia mostrato, per il MOSFET si usa il simbolo invertente (un pallino in prossimità del *gate*) per identificare i pMOS; in alternativa una freccia sul *source* indica l'output per il nMOS o l'input per il pMOS.

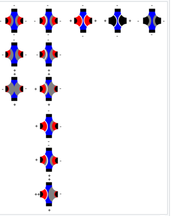
Di seguito il confronto tra i vari simboli di MOSFET e JFET:



Per i simboli in cui è mostrato il terminale di *bulk*, esso appare connesso al *source*: questa è una configurazione tipica, ma non è l'unica possibile. In generale il MOSFET è un dispositivo a quattro terminali.

Tipologie [modifica | modifica wikitesto]

I transistor a effetto di campo si possono distinguere in varie tipologie a seconda della differente struttura e composizione: per ogni tipologia vi sono vari modelli, differenziati dal modo in cui viene isolato il terminale di *gate* dal canale. Le principali tipologie sono elencate di seguito:



Rappresentazione dei tipi di JFET, MOSFET in polisilicio, DGMOSFET, metal-gate MOSFET, MESFET: in alto vi è il *source*, in basso il *drain*, a sinistra il *gate*, a destra il *bulk*. Sono indicati in grigio la regione priva di portatori di carica, in rosso la regione ricca di lacune, in blu la regione ricca di elettroni, in bianco l'isolante ed in nero il metallo.

- **DEPFET**, FET composto da *substrato* completamente svuotato, è usato come sensore, amplificatore e nodo di memoria.
- **DGMOSFET**, mosfet con due terminali di *gate*.
- **DNAFET**, particolare tipo di FET basato sulla struttura del DNA, usato come biosensore.
- **FREDFET**, acronimo di *Fast Reverse or Fast Recovery Epitaxial Diode* FET.
- **HEMT**, acronimo di *High Electron Mobility Transistor*, anche detto HFET (*heterostructure* FET).
- **IGBT**, acronimo di *Insulated-Gate Bipolar Transistor*, dispositivo per il controllo della potenza del segnale.
- **ISFET**, usato per la misura della concentrazione di ioni in una soluzione.
- **JFET**, acronimo di *Junction Field-Effect Transistor*, caratterizzato dall'avere tre strati di semiconduttore con drogaggio alternato.
- **MESFET**, acronimo di *Metal–Semiconductor Field-Effect Transistor*, dispositivo che sostituisce alla giunzione p-n la barriera di Schottky.
- **MODFET**, acronimo di *Modulation-Doped Field Effect Transistor*, una una struttura a buca di potenziale.
- **MOSFET**, acronimo di *Metal–Oxide–Semiconductor Field-Effect Transistor*, utilizza un isolante tra *gate* e *substrato*.
- **NOMFET**, acronimo di *Nanoparticle Organic Memory FET*.
- **OFET**, acronimo di *Organic FET*, usa un semiconduttore organico.
- **BIOFET**, i cambiamenti del potenziale di gate sono indotti da un materiale sensibile e dall'interazione con le biomolecole cui fa riferimento il biosensore. Quando la biomolecola si lega al materiale sensibile si verifica un cambiamento della distribuzione di carica elettrica che risulta rilevabile tipicamente con un cambiamento di conduttanza del canale. Un esempio di applicazione sono i COVID-FET[8], biotransistor FET per rilevare la presenza di SARS-Cov2 sfruttando il legame con le proteine Spike.

Note [modifica | modifica wikitesto]

1. ^ *Computer History - 1960 - Metal Oxide Semiconductor (MOS) Transistor Demonstrated*, su *computerhistory.org*. URL consultato il 4 dicembre 2010.
2. ^ C Galup-Montoro & Schneider MC, *MOSFET modeling for circuit analysis and design*, London/Singapore, World Scientific, 2007, p. 83, ISBN 981-256-810-7.
3. ^ Norbert R Malik, *Electronic circuits: analysis, simulation, and design*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1995, pp. 315–316, ISBN 0-02-374910-5.
4. ^ PR Gray, PJ Hurst, SH Lewis & RG Meyer, *§1.5.2 p. 45*, ISBN 0-471-32168-0.
5. ^ A. S. Sedra and K.C. Smith, *Microelectronic circuits*, Fifth Edition, New York, Oxford, 2004, p. 552, ISBN 0-19-514251-9.
6. ^ a b Spirito, Pag. 61.
7. ^ Spirito, Pag. 62.
8. ^ Alessandro Mastrofini, *Biosensori per rivelare il virus SARS-CoV2 con transistor FET*, su *Biomed CuE | Close-up Engineering*, 21 luglio 2021. URL consultato il 28 agosto 2021.

Bibliografia [modifica | modifica wikitesto]

- Paolo Spirito, *Elettronica digitale*, Milano, McGraw-Hill Libri Italia sr., 2006, ISBN 978-88-386-6323-9.

Voci correlate [modifica | modifica wikitesto]

- Transistor 3D
- Giunzione p-n
- Semiconduttore
- Transistor a giunzione bipolare
- MOSFET
- JFET
- CMUT
- IGBT
- Effetto Early
- Transistor Schottky
- Package (elettronica)

Altri progetti [modifica | modifica wikitesto]

- Wikimedia Commons contiene immagini o altri file su **transistor a effetto di campo**

Collegamenti esterni [modifica | modifica wikitesto]

- (EN) *Transistor a effetto di campo* | *Transistor a effetto di campo (altra versione)*, su *Enciclopedia Britannica*, Encyclopædia Britannica, Inc.

v · d · m	Componenti elettronici ed elettrici [nascondi]
Dispositivo a semiconduttore	Circuito integrato · CMOS · Diodo (a valanga · DIAC · PIN · Schottky · Varicap · LED · Triac · Zener) · Dispositivo multiporta · **FET** · Fotorivelatore (SCR) · JFET · Memristore · MOSFET (di potenza) · Transistor (Tristore · Transistor a giunzione bipolare (BJT) · Transistor Darlington · Transistor bipolare a gate isolato · Transistore unigiunzione
Regolatore di tensione	Convertitore boost · Convertitore buck · Convertitore buck-boost · Convertitore Ćuk · Convertitore SEPIC · Pompa di carica · Regolatore lineare
Tubo a vuoto	Fotomoltiplicatore · Foto tubo · Gyrotron · Klystron · Magnetron · Maser · Nuvistor · Tetrode · Travelling wave tube · Tubo Williams
Tubo a raggi catodici (CRT)	Iconoscopio · Monoscopio · Occhio magico · Tubo da ripresa
Tubo a gas pieno	Lampada a fluorescenza a catodo freddo (CCFL) · Crossatron · Dekatron · G-M · Ignitron · Krytron · Lampada al neon · Nixie · Raddrizzatore al mercurio · Thyratron · Trigatron
Dispositivo passivo	Connettori (Spina elettrica · Connettori RF) · Cavo elettrico · Filo · Fusibile elettrico · Interruttore · Potenziometro · Resistore · Termistore · Trasformatore · Varistore
Reattanza	Condensatore · Induttore · Interruttore a mercurio · Oscillatore al cristallo · Relè

Controllo di autorità	LCCN (EN) sh85048099 · GND (DE) 4131472-4 · NDL (EN, JA) 01150221

Portale Elettrotecnica | Portale Fisica

Categoria: Transistor ad effetto di campo | [altre]

Questa pagina è stata modificata per l'ultima volta il 28 ago 2021 alle 12:46.

Il testo è disponibile secondo la licenza Creative Commons Attribuzione-Condividi allo stesso modo; possono applicarsi condizioni ulteriori. Vedi le condizioni d'uso per i dettagli.

Informativa sulla privacy Informazioni su Wikipedia Avvertenze Versione mobile Sviluppatori Statistiche Dichiarazione sui cookie