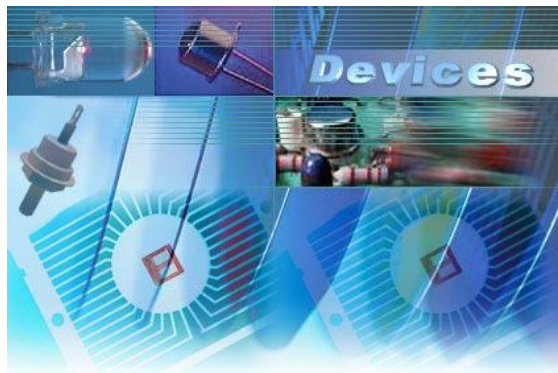




MOS транзистори

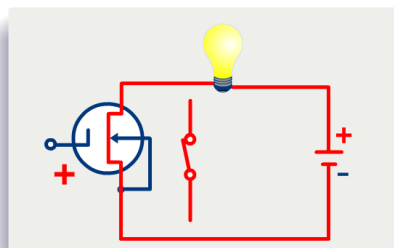
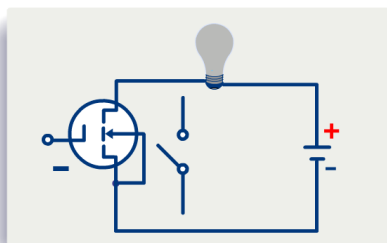


Полупроводникови
елементи

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

1

Какво е MOSFET?

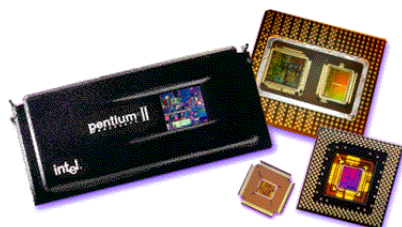


MOSFET е съкращение от **Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor** (метал – окис – полупроводник транзистор с полеви ефект). Той представлява електронна версия на ключ. MOS ключове се използват широко в компютри, микропроцесори, памети, периферни схеми и други.

Предимства: високо входно съпротивление, ниска консумация на мощност, по-добра температурна стабилност, слаба чувствителност към радиация₂

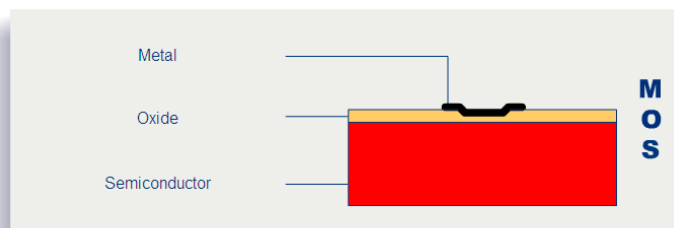
© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

Приложения



Използват се в силовата електроника, аудио техниката, медицинската електроника. Те са основни компоненти на съвременните интегрални схеми, които намират приложение в безжичките комуникации, компютърна, автомобилна, авиационна/космическа индустрии, домакински уреди и др.

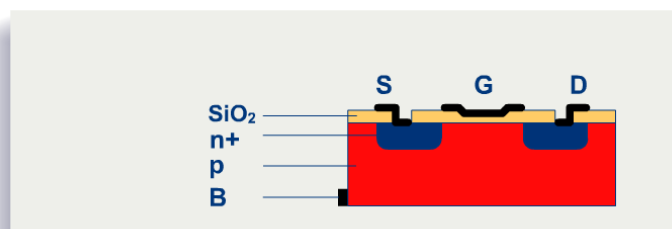
MOS структура



MOS структурата се състои от **метал**, разположен върху **окис**, който е създаден върху пластина от **полупроводник** (силиций).

MOSFET се среща и като **IGFET** (Insulated-Gate FET) – транзистор с изолиран управляващ електрод, поради факта, че гейтът е изолиран от подложката посредством SiO_2 (изолатор).

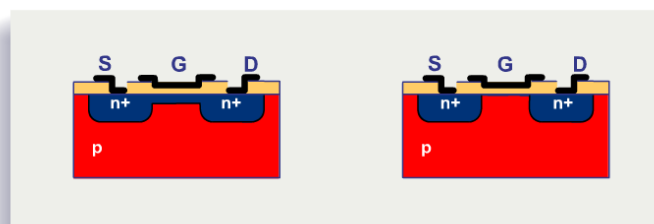
Изводи на MOS транзистора



MOS транзисторът има четири извода – сорс (**source** – S), гейт (**gate** – G), дрейн (**drain** – D) и подложка (**body** - B).

Големината на тока между сорса и дрейна зависи от напреженията, които са приложени на тези изводи. MOS транзисторът **се управлява по напрежение**.

Типове MOS транзистори

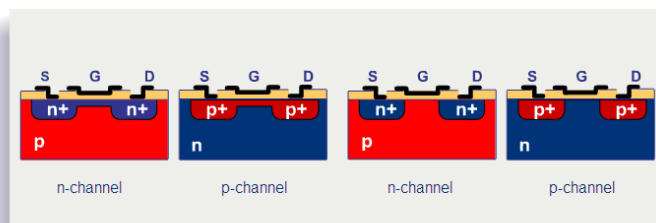


MOSFET с вграден канал

MOSFET с индуциран канал

Според начина на създаване на канала се различават два типа MOS транзистори. При транзисторите **с вграден канал** проводимият канал под гейта се формира по технологичен начин. В MOS транзисторите с **индуциран канал**, проводящ канал се създава **при прилагане на напрежение** с определена полярност между гейта и подложката.

MOS транзистор с N- и P-канал



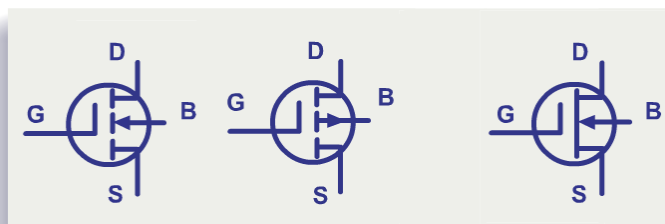
MOSFET с вграден канал

MOSFET с индуциран канал

Според проводимостта на канала двата типа MOS транзистори се срещат с **n-канал** или с **p-канал**.

MOS транзисторът е **униполярен** елемент. Действието му се определя **само от един тип токоносители (основни)** – електрони или дупки, но никога от двата едновременно.

Условни графични означения



N-канал

P-канал

N-канал

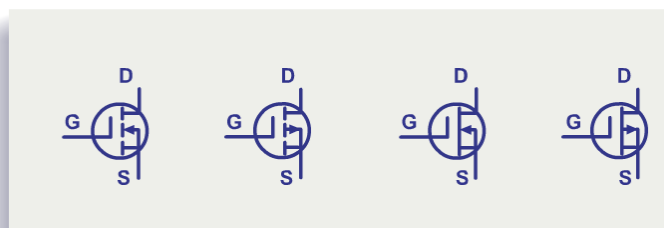
MOSFET с индуциран канал

MOSFET с вграден канал

Символите за MOS транзистори с индуциран канал имат прекъсната линия между сорса и дрейна (липсва технологично създаден канал), докато за транзисторите с вграден канал линията е непрекъсната.

За n-каналните транзистори стрелката към p-подложката сочи **навътре**, докато за p-каналните MOSFET стрелката е **навън**.

Символи за дискретни MOSFET



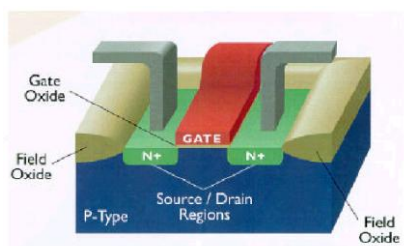
MOSFET с индуциран канал

MOSFET с вграден канал

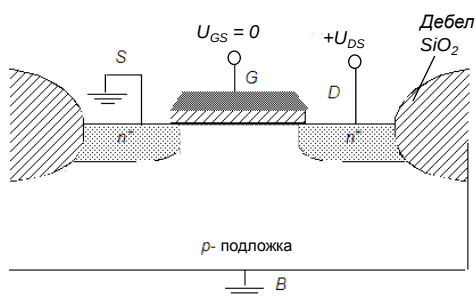
В някои приложения (в интегралните схеми) на подложката се подава напрежение, с което допълнително се контролира токът през канала.

В повечето приложения (за дискретни елементи) подложката се свързва към сорса и транзисторът фактически става с три извода.

Принцип на действие



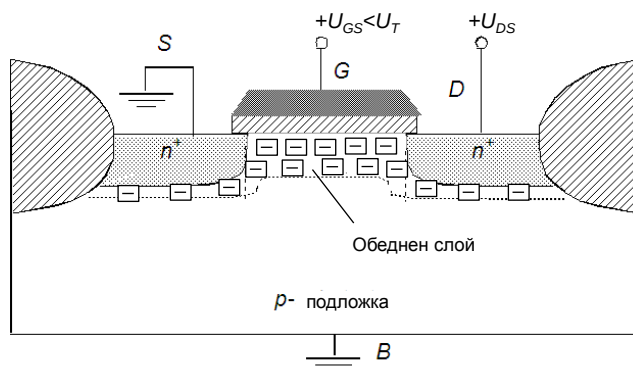
MOS транзистор с
N-индуциран канал



Принципът на действие на MOS транзисторите се основава на **полевия ефект** – възможността за промяна на проводимостта на канала между сорса и дрейна чрез напрежение, приложено на гейта.

Когато на гейта не е подадено напрежение ($U_{GS} = 0$), във веригата дрейн-сорс не протича ток, защото тя е прекъсната поради липса на проводящ канал.

Формиране на обеднен слой

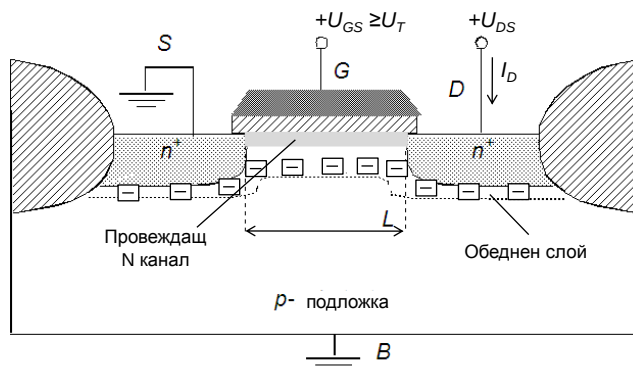


При подаване на положително напрежение на гейта ($U_{GS} > 0$) дупките от подложката се отблъскват във вътрешността ѝ. На повърхността се образува **обеднен слой**, който съдържа предимно некомпенсираните заряди на отрицателните акцепторни йони. Ток не тече.

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

11

Прагово напрежение



При увеличаване на положителното напрежение U_{GS} към повърхността се привличат електрони, които създават слой с **инверсна** проводимост. Напрежението U_{GS} , при което се създава инверсен слой в подложката и протича минимален дрейнов ток се нарича **прагово напрежение** U_T .

Ако $U_{GS} > U_T$ каналът **се обогатява** с токоносители и токът I_D нараства.

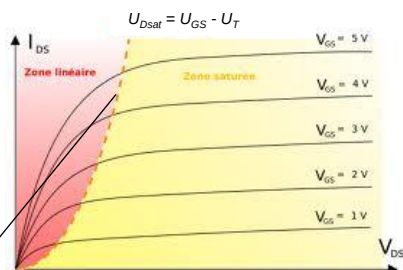
© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

Изходни VA характеристики

MOS транзисторите с индуциран канал работят **само в режим на обогатяване**.

На фиг. е показано семейството изходни статични характеристики $I_D = f(U_{DS})$ при $U_{GS} = \text{const}$ за MOS транзистор с N- индуциран канал.

В тях се различават две области – **линейна** (омична, триодна) и област на **насищане** (пентодна).



Парабола на насищане

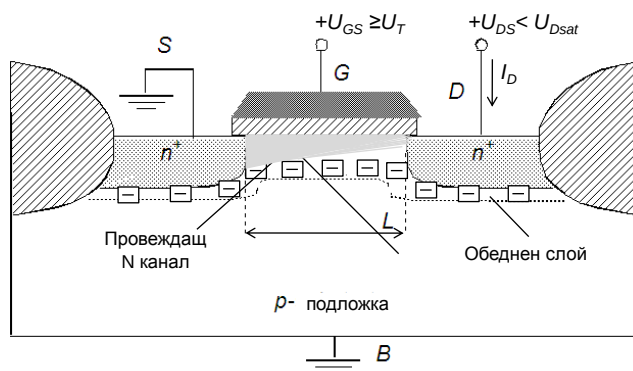
$$I_D = f(U_{DS}), U_{GS} = \text{const}$$

В линейната област с увеличаване напрежението на дрейна U_{DS} токът I_D нараства линейно. Протичането на дрейновия ток предизвиква пад на напрежението върху омичното съпротивление на канала.

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

13

Вътрешен пад в канала

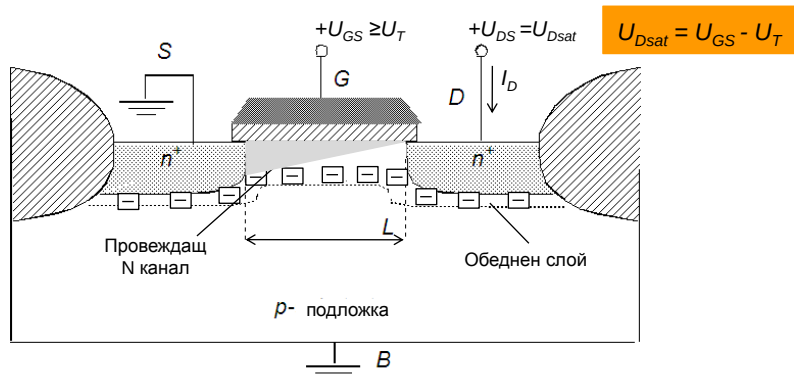


Омичното съпротивление на канала нараства с увеличаване на дължината на канала от S към D, като нараства и падът върху него. Напрежението, което индуцира канала, е разлика между постоянното U_{GS} и вътрешния пад в канала и съответно намалява от S към D. Това довежда до изменение на сечението на канала.

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

14

Напрежение на насищане U_{Dsat}

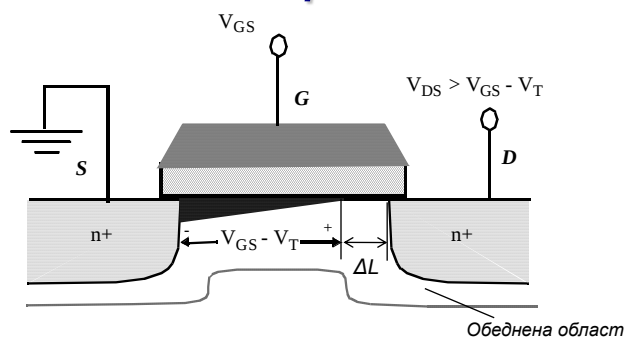


При достигане на напрежението на насищане U_{Dsat} каналът в областта до дрейна се "прищипва", защото индуциращото го напрежение в тази точка става равно на праговото. По-нататъшното увеличаване на U_{DS} води до насищане на тока I_D . Това е областта на насищане (пентодна).

15

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

Режим на насищане



Ако $U_{DS} > U_{Dsat}$ каналът се скъсява, като напрежението върху него остава постоянно и равно на U_{Dsat} , което определя постоянния ток I_{Dsat} . Разликата $\Delta U_D = U_{DS} - U_{Dsat}$ пада върху обеднената област с дължина ΔL . Протичането на ток се дължи на екстракцията на електроните от канала и дрейфовото им движение през обеднената област до дрейна.

16

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

Уравнения на дрейновия ток

Линеен режим $U_{DS} < U_{Dsat}$ $U_{Dsat} = U_{GS} - U_T$

$$I_D = \frac{\mu_{eff} C_0 W}{L} [(U_{GS} - U_T)U_{DS} - \frac{1}{2}U_{DS}^2]$$

$$k = \frac{\mu_{eff} C_0 W}{L}, \frac{mA}{V^2} \quad \text{Специфична стръмност}$$

$$I_D = k[(U_{GS} - U_T)U_{DS} - \frac{1}{2}U_{DS}^2]$$

Режим на насищане $U_{DS} \geq U_{Dsat}$

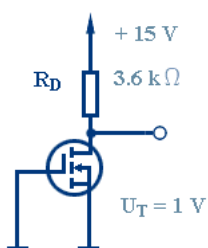
$$I_D = \frac{1}{2}kU_{Dsat}^2$$

$$I_D = \frac{k}{2}(U_{GS} - U_T)^2$$

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

17

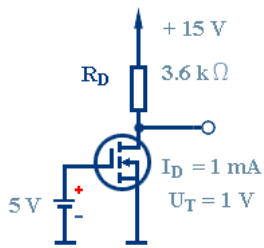
Примери



Режим на работа?

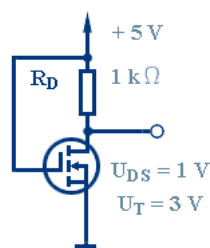
$$I_D = ?$$

$$U_{DS} = ?$$



Режим на работа ?

$$U_{DS} = ?$$



Режим на работа?

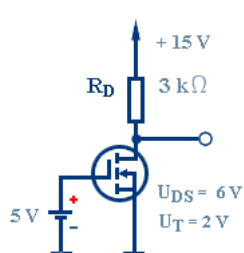
$$I_D = ?$$

$$k = ?$$

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

18

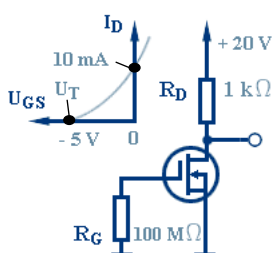
Примери



Режим на работа?

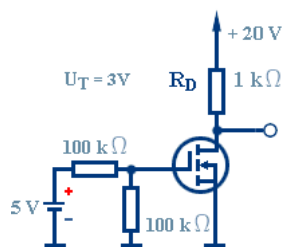
$$I_D = ?$$

$$k = ?$$



Режим на работа ?

$$U_{DS} = ?$$

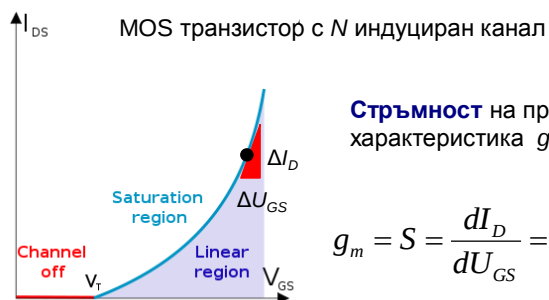


Режим на работа?

$$I_D = ?$$

$$U_{DS} = ?$$

Предавателна характеристика



Стърмност на предавателната характеристика g_m , (S)

$$g_m = S = \frac{dI_D}{dU_{GS}} = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}}, U_{DS} = \text{const}$$

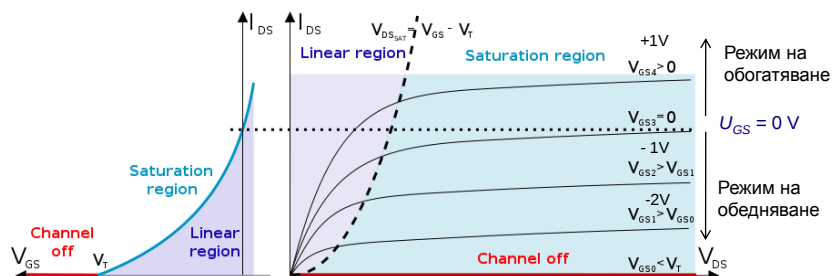
$$I_D = f(U_{GS}), U_{DS} = \text{const}$$

$$g_m = kU_{DS} \quad \text{линеен режим}$$

$$g_m = k(U_{GS} - U_T) \quad \text{насищане}$$

MOS транзистор с вграден канал

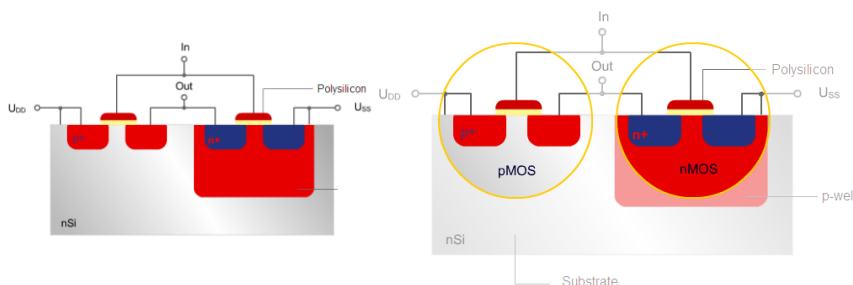
MOS транзистор с N вграден канал



При $U_{GS} = 0\text{ V}$ протича ток. При $U_{GS} > 0$ се привличат електрони, каналът се обогатява с токоносителите и I_D расте (режим на обогатяване). При $U_{GS} < 0$ намалява концентрацията на електрони в канала и I_D намалява (режим на обедняване). При определена стойност на напрежението U_{GS} наречено **прагово напрежение** или **напрежение на запущване** каналът се запущва.

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

CMOS структура

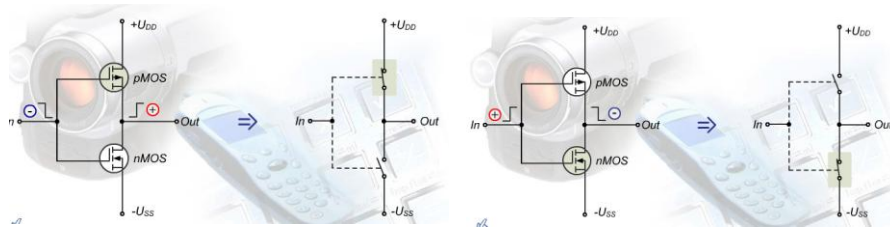


CMOS (Complementary MOS) структурата се състои от два MOS транзистора – един с N -канал и един с P -канал, в обща подложка. Гейтовете и дрейновете на двата транзистора са свързани заедно, формирайки съответно вход и изход.

N -каналният транзистор е разположен в P -джоб, който играе роля на подложка за този транзистор.

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

CMOS ключ



CMOS е съвременна технология за производство на интегралните схеми. Основно нейно предимство е **ниската консумация** (нано ватове). Това я прави популярна в космическата електроника, микропроцесорите, памети, устройства, работещи с батерийно захранване като калкулатори, цифрови фотоапарати, камери, мобилни телефони и др.

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева