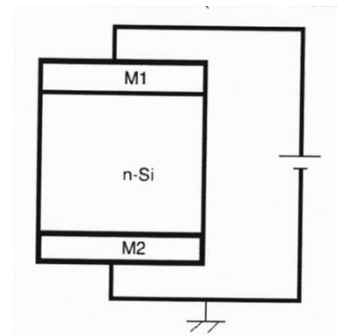


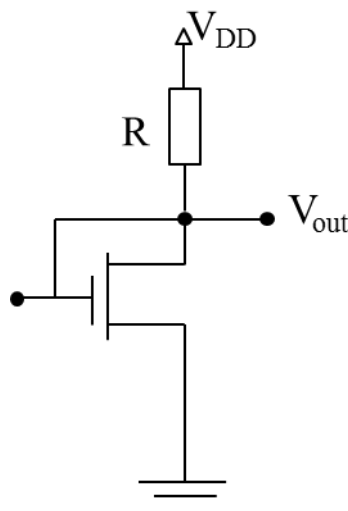
### Esercizi aggiuntivi A.A. 2019-2020

- È data una giunzione brusca pn in silicio, supposta infinitamente estesa, con drogaggi  $N_A = 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ,  $N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ,  $n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$  e  $A = 1 \text{ mm}^2$ . È noto che il rapporto fra la densità di corrente di diffusione e di generazione, con una polarizzazione applicata di  $V = -5 \text{ V}$ , è pari a 0.8, mentre il rapporto fra la densità di corrente di diffusione e quella di ricombinazione, con una polarizzazione applicata di  $V = 0.5 \text{ V}$ , è pari a 870.
  - Si determini il rapporto fra tempo di ricombinazione e tempo di generazione  $\tau_r / \tau_g$ .
  - Sapendo inoltre che il tempo di diffusione delle lacune è pari a 50 ns determinare la corrente che fluisce nel dispositivo quando è applicata una tensione pari a  $V=0.5 \text{ V}$ .

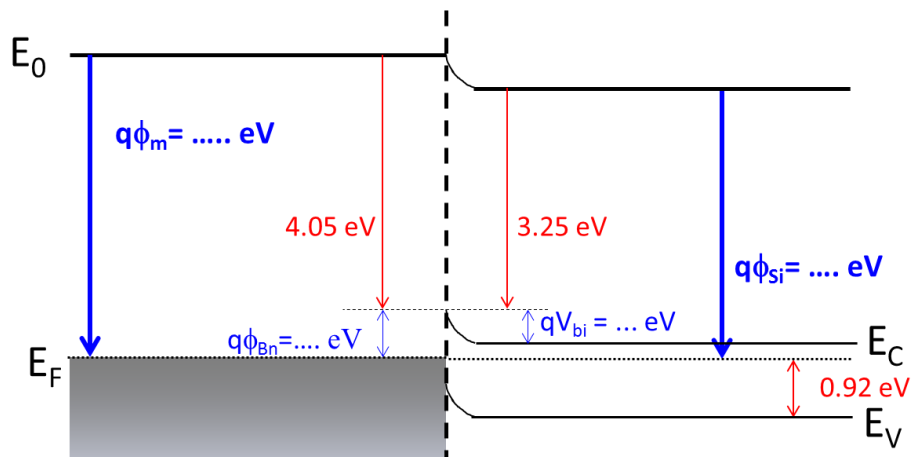
- Si supponga di dover misurare una caratteristica corrente-tensione su una struttura a due terminali avente silicio come semiconduttore ( $q\chi = 4.05 \text{ eV}$ ,  $N_D = 2 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ). M1 ed M2 sono due metalli.
  - Disegnare per punti (valutando quantitativamente i parametri) la caratteristica corrente-tensione nel caso in cui  $M1 = M2$  con una funzione lavoro di 5 eV.
  - Ridisegnare la caratteristica fissando la funzione lavoro di M1 a 5 eV e facendo variare quella di M2 tra i seguenti valori: 4.75, 4.5 e 4.25 eV.



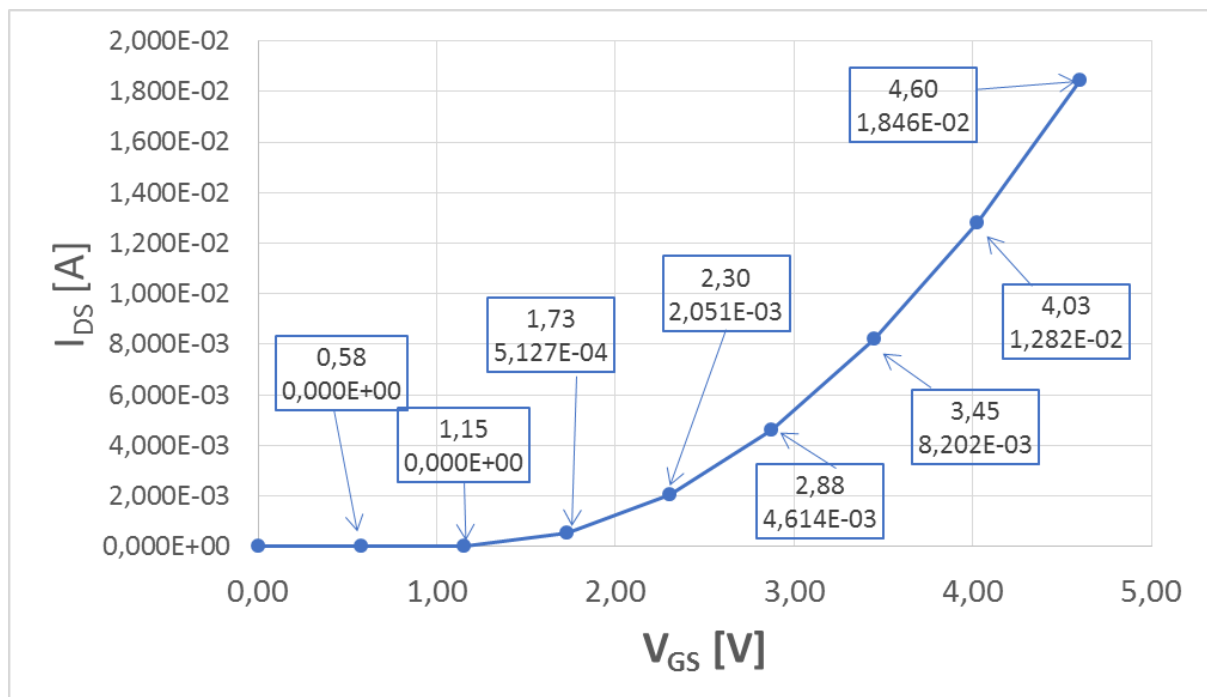
- Sia dato un dispositivo MOSFET ideale a canale n inserito nel seguente circuito di misura.
  - Dati i valori di  $V_{DD} = +5 \text{ V}$ , della Resistenza  $R = 100 \text{ Ohm}$ , del drogaggio di substrato  $N_A = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ , della Capacità per unità di area dell'ossido  $C_{ox} = 145 \text{ nF/cm}^2$ , e di  $Z/L=50$ , si calcoli la tensione di uscita  $V_{out}$ .
  - Dopo 1000 ore di funzionamento del transistor, si misura in uscita un valore di tensione che differisce dal valore iniziale di +0.5 Volt. Calcolare la carica nell'ossido al termine della misura (supposta concentrata all'interfaccia ossido/semiconduttore).



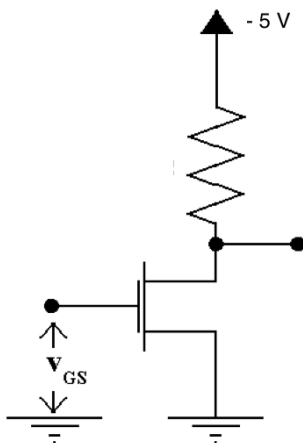
4. Si consideri il seguente diagramma a bande all'equilibrio, relativo a un contatto metallo-Silicio n:



- Completare il diagramma con i valori mancanti (riportare in modo chiaro tutti i passaggi), e specificare il tipo di contatto (ohmico o raddrizzante);
  - Ridisegnare il diagramma a bande all'equilibrio, specificando tutti i valori necessari, per una funzione lavoro del metallo inferiore a quella calcolata al punto precedente di 0.85 eV; il contatto è ohmico o raddrizzante?
  - Supponendo di connettere in serie i dispositivi di cui i punti precedenti, e di applicare alla serie una tensione pari a 1 V (con morsetto positivo al metallo del dispositivo al punto 1), calcolare la densità di corrente che scorre nel circuito.
5. Di un MOSFET a canale n, avente gate in oro (funzione lavoro pari a 5 eV) e ossido di gate ideale ( $\epsilon_r = 3.5$ ), è fornita la seguente transcaratteristica, calcolata in saturazione per  $V_{DS} = 4$  V.



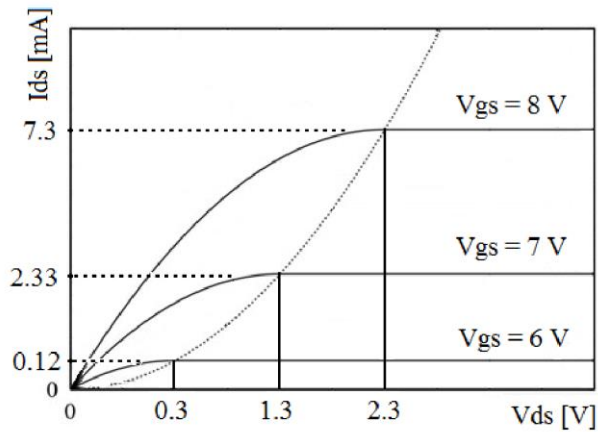
- a. Sapendo che è valida l'approssimazione di banda piatta, determinare il valore dello spessore dell'ossido di gate e del fattore di forma del transistor;
  - b. Si supponga ora di incorporare al centro dell'ossido una densità di carica  $Q$ . Determinarne il valore affinché, per il valore di  $V_{DS}$  al punto precedente, il dispositivo sia in regime lineare per tutti i valori di  $V_{GS}$  riportati nel grafico.
  - c. Determinare, se esiste, un valore di tensione  $V_{BS}$  applicata al bulk in grado di riportare il dispositivo nelle condizioni del punto 1. (NOTA: non tenere eventualmente conto dell'ordine di grandezza di  $V_{BS}$ , discutere solo il suo senso fisico).
6. Si consideri il circuito illustrato in figura, nel quale il transistor è un P – MOSFET ( $N_D = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ,  $Z/L = 10^3$ ,  $V_{th} = 0.5 \text{ V}$ ) con gate di alluminio. Il dielettrico di gate è diossido di silicio  $\text{SiO}_2$  ( $\epsilon_r = 3.9$ , spessore  $d = 1.0 \text{ }\mu\text{m}$ ).



Sapendo che nell'ossido è presente della carica (all'interfaccia ossido-semiconduttore) e che la tensione di gate è pari a  $-3.35 \text{ V}$  e che la resistenza è  $0,2 \text{ k}\Omega$ , determinare:

- 1) quale carica è presente dentro l'ossido (segno e densità)
- 2) determinare il valore della tensione di drain;
- 3) dire quale tensione occorre applicare al gate per mantenere uguale la corrente nel caso in cui si rimuova la carica dall'ossido (considerare costante anche  $V_{DS}$ ).

7. Si consideri un transistor MOSFET ideale ( $V_{FB}=0$ ) a canale n, di cui si conoscano i seguenti dati:  $N_A = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  e di cui si sia misurata la seguente caratteristica corrente-tensione. Si supponga di realizzare un transistor con dimensioni geometriche scalate (tutte) di un fattore 10 rispetto al precedente. Disegnare la caratteristica corrente-tensione corrispondente agli stessi valori di  $V_g$ .



8. Dato un MOSFET a canale n con il gate in polysilicio si conosce il drogaggio del substrato ( $10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ) e lo spessore dell'ossido  $d=50\text{nm}$ . Si sa inoltre che non vi è carica nell'ossido. Determinare la tensione di soglia del dispositivo. Sapendo che applicando una tensione di gate  $V_g=5\text{V}$  si ottiene, in zona lineare,  $g_d=7.94 \cdot 10^{-3} \text{ S}$ , determinare il valore della corrente di saturazione  $I_{dsat1}$  e il valore della polarizzazione di body (bulk) necessaria per ottenere, nelle stesse condizioni di polarizzazione di gate, un valore della corrente di saturazione  $I_{dsat2}$  tale che  $I_{dsat1}/I_{dsat2} = 11$ .