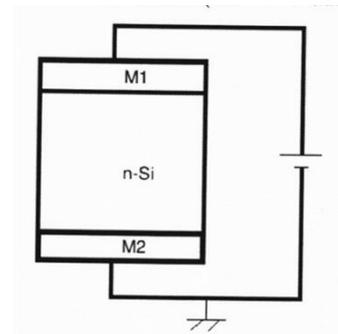


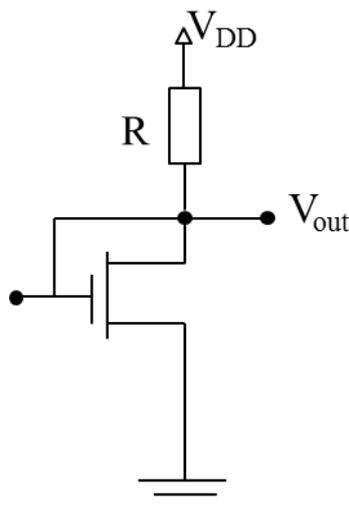
Esercizi aggiuntivi A.A. 2019-2020

- 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 τ_r / τ_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 $V=0.5 \text{ V}$.

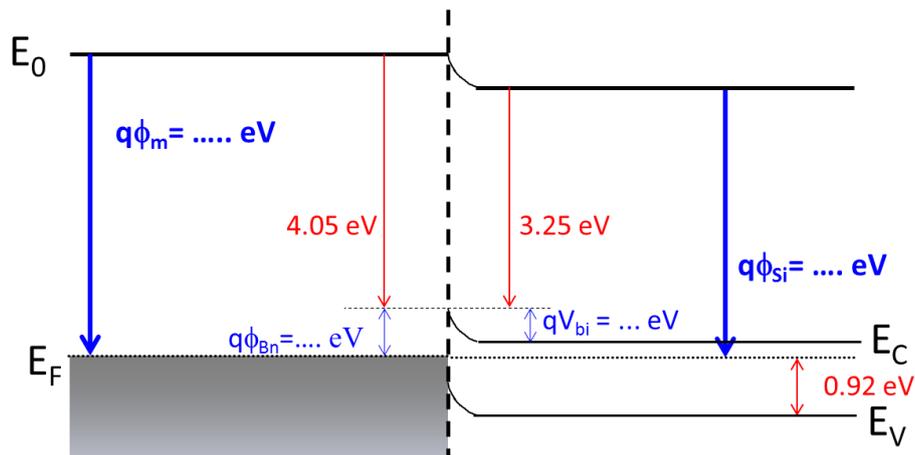
- Si supponga di dover misurare una caratteristica corrente-tensione su una struttura a due terminali avente silicio come semiconduttore ($q\chi = 4.05 \text{ eV}$, $N_D = 2 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$). M1 ed M2 sono due metalli.
 - Disegnare per punti (valutando quantitativamente i parametri) la 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.



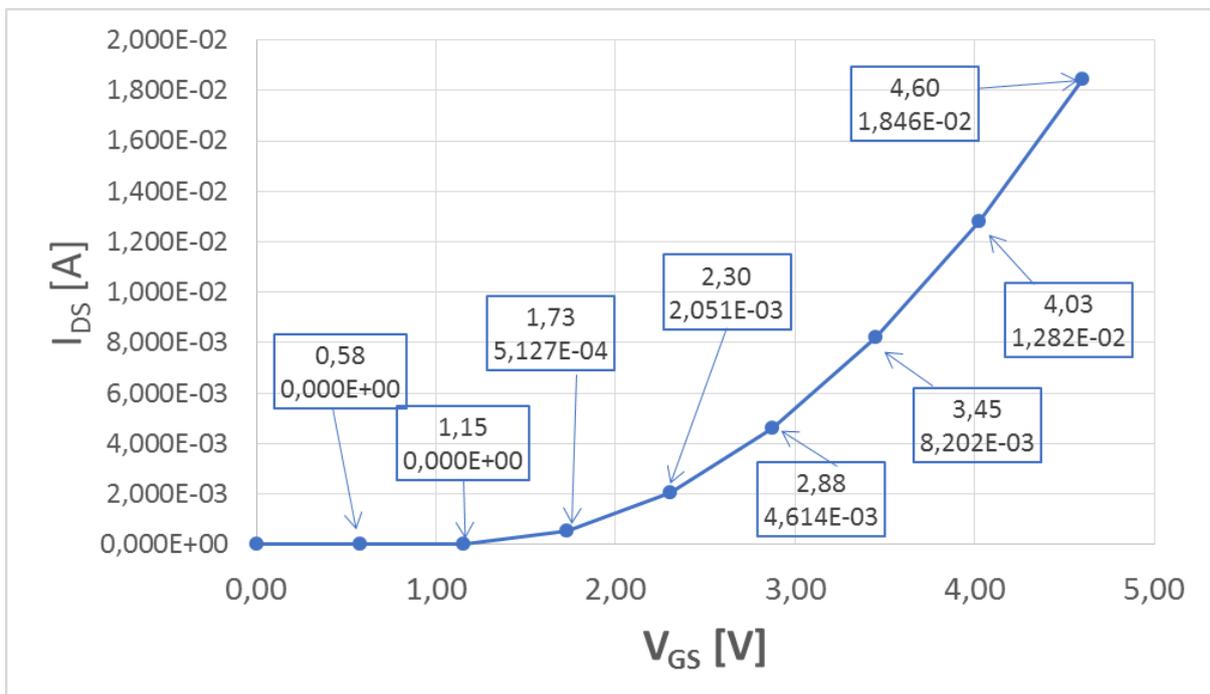
- Sia dato un dispositivo MOSFET ideale a canale n inserito nel seguente circuito di misura.
 - Dati i valori di $V_{DD} = +5 \text{ V}$, della Resistenza $R = 100 \text{ Ohm}$, del drogaggio di substrato $N_A = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, della Capacità per unità di area dell'ossido $C_{ox} = 145 \text{ nF/cm}^2$, 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).



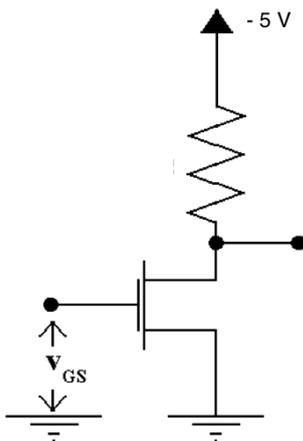
4. Si consideri il seguente diagramma a bande all'equilibrio, relativo a un contatto metallo-Silicio n:



- 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.



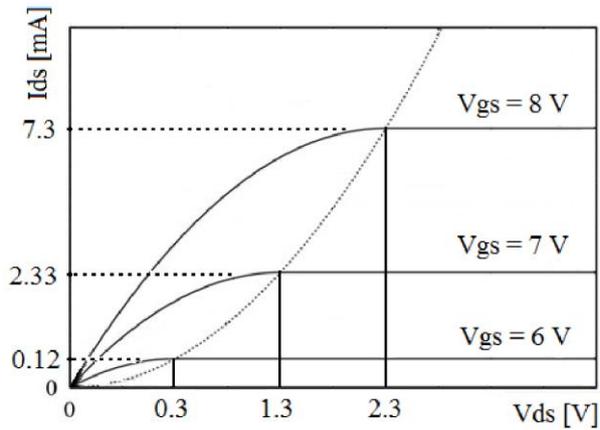
- a. Sapendo che è valida l'approssimazione di banda piatta, determinare il valore dello spessore dell'ossido di gate e del fattore di forma del transistor;
 - b. Si supponga ora di incorporare al centro dell'ossido una densità di carica Q . Determinarne il valore affinché, per il valore di V_{DS} al 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 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 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} 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 $I_{dsat1}/I_{dsat2} = 11$.