



Questions de réflexion :

1.1	Qu'appelle-t-on la relation de dispersion d'une particule ? Exprimez-la pour une particule dans le vide. Comment peut-on déterminer graphiquement la vitesse de groupe et la masse effective de la particule à partir de cette relation ?
1.2	Considérez un atome « A » avec trois électrons sur deux niveaux d'énergie. Dessinez le schéma d'énergie de la cellule « AA » contenant deux atomes « A ». Expliquez la formation de bandes dans un monocristal basé sur cette cellule « AA ».
1.3	Qu'appelle t'on un semi-conducteur à gap direct ou indirect ? Qu'est-ce qu'un phonon ? Quand et pourquoi l'absorption optique requière-t-elle un phonon ?
1.4	Différenciez un métal, un semi-conducteur et un isolant en utilisant les concepts de bandes et d'énergie de Fermi.
1.5	A l'aide du schéma d'énergie, expliquez l'absorption optique dans un gaz et dans un semiconducteur monocristallin.
1.6	Décrivez et expliquez des expériences qui nécessitent une représentation « en particule » de l'électron ou de la lumière. Faites de même pour des expériences qui impliquent une représentation « ondulatoire » de l'électron ou de la lumière. Comment passer d'une représentation à l'autre ?



Questions de réflexion :

2.1	Expliquez le concept de « trous » et de paires « électron-trou » à partir d'une représentation spatiale (figure p.2.3) ainsi que sur le schéma de bande (figure p.1.26). Quelles caractéristiques des porteurs peut-on géométriquement déduire du schéma de bandes ?
2.2	Esquissez le taux d'occupation des électrons et des trous dans un semiconducteur ? Que représente l' « énergie de Fermi » ?
2.3	Reliez les concentrations n et p de porteurs libres à la densité d'état et à l'énergie de Fermi dans un semi-conducteur à l'équilibre. Discutez l'influence de la concentration de donneurs et d'accepteurs sur ces concentrations n et p .
2.4	Posez la condition de neutralité pour un semi-conducteur extrinsèque à l'équilibre. Expliquez le graphique de Shockley pour déterminer l'énergie de Fermi dans ce matériel.
2.5	Pour un semi-conducteur à l'équilibre, esquissez la dépendance en température de la concentration de majoritaires.
2.6	Pour le silicium à température ambiante, reliez les concentrations n et p de porteurs libres avec le dopage. Qu'appelle-t-on « loi d'action de masse » ?



Questions de réflexion :

3.1	Expliquez qualitativement l'état d'équilibre d'un semi-conducteur dopé n, placé dans le champ électrique produit par les deux plaques d'un condensateur.
3.2	Quelles sont les deux sortes de courants qui peuvent apparaître dans un semiconducteur à température homogène ?
3.3	Quels effets limitent la vitesse de drift d'un porteur libre dans un semi-conducteur homogène sous tension ? Expliquez les notions de mobilité, de conductivité et de résistivité.
3.4	Discutez la mobilité des porteurs en fonction du dopage et de la température.
3.5	Discutez le set d'équations (3 équations) permettant de calculer les concentrations n et p de porteurs libres dans un semiconducteur à l'équilibre thermique.
3.6	Qu'est-ce que la zone de charge dans une jonction N^+ / N à l'équilibre ? Quelles sont les deux composantes du courant dans cette structure ?



Questions de réflexion :

4.1	Décrivez les phénomènes de recombinaison et de génération de porteurs libres. Comment l'équation de continuité décrit-elle la variation temporelle de porteurs libres ?
4.2	Reliez le concept de « quasi-niveaux de Fermi » aux concentrations n et p de porteurs libres. Quelle est la loi d'action de masse dans un semi-conducteur hors équilibre en état stationnaire ?
4.3	Quelles caractéristiques peut-on géométriquement déduire d'un schéma de bande dans une structure inhomogène (jonction p/n par exemple) ? Qu'indiquent les « quasi-niveaux de Fermi » ?
4.4	Pourquoi distingue-t-on le potentiel électrique interne du potentiel électrique externe ?
4.5	Expliquez les concepts de longueur de diffusion et de temps de vie des porteurs libres.
4.6	Décrivez l'expérience de Haynes-Shockley. Pourquoi utilise-t-on des porteurs minoritaires dans cette expérience ?



Questions de réflexion :

5.1	Expliquez le phénomène de thermo émission des électrons du métal. Discutez l'influence de la température et du travail de sortie sur le flux de la thermo émission.
5.2	Qu'est que l'équation de Richardson? Quels sont ses termes principaux?
5.3	Pourquoi des objets chauds ne perdent-ils pas tous leurs électrons quasi-libres par thermo émission?
5.4	Expliquez la formation de la barrière énergétique au contact métal – semi-conducteur type n. Décrivez l'influence de la polarisation externe sur la forme de cette barrière.
5.5	Expliquez les similarités et différences entre une diode Schottky et un contact ohmique.
5.6	Expliquez la caractéristique courant – tension d'une diode Schottky. Comment change la caractéristique en fonction de la température?



Questions de réflexion :

6.1	Dessinez le schéma de bandes d'une jonction p/n à l'équilibre et hors équilibre.
6.2	Décrivez la distribution des charges, le champ électrique et la tension interne dans une jonction p/n à l'équilibre et hors équilibre. Qu'est ce que la tension de built-in ?
6.3	Quelles sont les capacités dans une jonction p/n ? Dessinez le schéma électronique petit signal équivalent d'une jonction p/n en mode bloquant et en mode passant.
6.4	Quels sont les courants dans une diode p/n idéale ? Quels autres courants influencent la courbe $I(V)$ d'une diode en silicium réelle ?
6.5	Tracez le schéma de bandes avec les niveaux de Fermi d'une jonction p/n à l'équilibre et hors équilibre. Interprétez graphiquement ce schéma en termes de tension interne et externe, de champ électrique, de courant.
6.6	A partir du schéma de bandes d'une jonction p/n en mode direct, décrivez l'équilibre entre génération et recombinaison de porteurs (utilisez la loi d'action de masse généralisée p.4.12). Faites de même pour une jonction p/n en mode bloquant.



Questions de réflexion :

7.1	En considérant le schéma de bandes d'un transistor bipolaire npn, expliquez les concepts de gain en configurations « base commune » et « émetteur commun ». Comment doper l'émetteur pour optimiser le gain ?
7.2	Décrivez le model de Ebers-Moll pour un transistor bipolaire npn en modes actif et en mode inverse. Reliez les courants contenus dans le model au schéma de bande correspondant.
7.3	Décrivez la densité de minoritaires et les courants principaux dans une structure npn. Comment expliquer l'effet Early ? Dans un transistor bipolaire en silicium, le collecteur est en général moins dopé que la base, pourquoi ?
7.4	Décrivez les courbes caractéristiques d'un transistor bipolaire npn en configuration émetteur commun et base commune.
7.5	Définissez la transconductance d'un transistor bipolaire en mode émetteur commun. Utilisez un transistor npn comme circuit d'amplification.
7.6	Pour un transistor bipolaire npn en émetteur commun, déduisez le modèle petits signaux en mode actif à partir du modèle de Ebers-Moll.
7.7	Interprétez la structure de l'expérience de Haynes-Shockley comme un transistor npn avec une base extrêmement longue. Décrivez la densité de minoritaires et les courants principaux dans cette structure.



Questions de réflexion :

8.1	Décrivez un circuit électrique alimenté par une cellule solaire. Analysez la courbe $I(V)$. De quoi dépend la tension optimale ? et la puissance récoltée ?
8.2	Dessinez le schéma de bande d'une cellule solaire. Quelle est l'influence de l'illumination ?
8.3	Quelle est la tension maximale produite par deux cellules solaires mises en série ? Quel est le courant produit par ce système ? Que se passe-t-il si la deuxième cellule est dans le noir ?
8.4	A quoi servent les « by-pass diodes » dans les panneaux solaires ? Idem, à quoi servent les « blocking diodes » dans ces panneaux ?
8.5	Quels phénomènes conduisent à des pertes d'efficacité électriques ? Comment peuvent-ils être combattus et réduits ? (hétérostructures réfléchives, cellules multi-jonctions)
8.6	Cellules multi-jonctions : quels sont leurs avantages ? Quelle quantité de tension et de courant produisent-elles ? Quel bandgap doit être placé sur la face d'entrée de la lumière (FRONT facet) et pourquoi ?



Questions de réflexion :

9.1	Dessinez le schéma de bande d'une jonction MOS en inversion forte sur substrat p. Expliquez l'influence de la tension de gate V_G .
9.2	En fonction du potentiel de surface ψ_s , décrivez les modes de fonctionnement d'une jonction MOS sur substrat p. Esquissez le schéma de bande dans la structure.
9.3	En fonction du potentiel de surface ψ_s , esquissez les charges dans une jonction MOS sur substrat p. Comment sont-elles modélisées ? Décrivez le champ électrique et les variations de potentiel qu'elles provoquent dans la structure MOS.
9.4	A partir du schéma de bande d'une jonction MOS sur substrat p, reliez la tension de gate V_G au potentiel de surface ψ_s et à la chute de tension sur l'oxyde V_0 . Quels sont les liens avec les charges d'espace Q_{sc} et les charges de surface Q_n ?
9.5	Expliquez le comportement capacitif d'une jonction MOS en fonction du potentiel de gate V_G . Distinguez le comportement basse fréquence de celui haute fréquence.
9.6	Quel est le principe d'un « Charge Coupled Device » (CCD) et de son utilisation comme pixel optique ? Expliquez le transfert d'informations dans un registre CCD.



Questions de réflexion :

10.1	En inversion forte, le canal d'une jonction MOS sur substrat p peut être contacté à la tension externe V_C . Comment varient les charges fixes et les charges libres dans la structure en fonction de V_C ?
10.2	Quelles sont les contraintes sur l'oxyde d'une structure MOS ? Discutez le cas d'une structure MOS sur substrat p en inversion forte (transistor) et celui de la même structure en déplétion profonde (CCD).
10.3	Comment une structure MOS fonctionne-t-elle en mode sub-threshold?
10.4	Expliquez le fonctionnement d'un MOSFET en inversion forte.
10.5	Expliquez le concept de « transconductance ». D'où provient la conductance de sortie d'un NMOS ? Dessinez le schéma petit signal d'un NMOS.
10.6	Expliquez le pincement du canal et son influence sur la caractéristique de sortie d'un NMOS.



Questions de réflexion :

11.1	Comment les charges libres dépendent de la tension de gate V_G dans un NMOS en sub-threshold et en inversion forte ?
11.2	Quels paramètres déterminent la tension de seuil d'un transistor MOS? Comment cette tension peut-elle être variée ?
11.3	Expliquez la courbe $I_D(V_D)$ caractéristique d'un MOSFET en inversion forte. Décrivez les parties linéaires et de saturation. Donnez les équations simplifiées.
11.4	Comparez les caractéristiques $I_D(V_D)$ d'un MOSFET à canal n avec celles d'un MOSFET à canal p ayant le même rapport W/L .
11.5	Dessinez la structure d'un JFET. Comment fonctionne-t-il ? dessinez ses caractéristiques courant/tension.
11.6	Qu'est-ce qu'un « floating gate » ? Comment l'utiliser pour créer une mémoire non-volatile ?
11.7	Expliquez l'écriture, la lecture et l'effacement d'une mémoire « floating gate ».



Questions de réflexion :

12.1	Quelles sont les structures d'un NMOS et d'un PMOS ? comment les polariser pour n'utiliser qu'une seule pile ?
12.2	Quel est le schéma de base d'un circuit logique CMOS ?
12.3	Expliquez le fonctionnement d'un inverseur CMOS.
12.4	Expliquez le fonctionnement d'un NAND et d'un NOR en CMOS.
12.5	Comment peut-on réaliser un oscillateur en CMOS ?
12.6	Un circuit digital CMOS contient une partie NMOS et une partie PMOS, pourquoi ? Analysez la consommation statique en courant.



Questions de réflexion :

13.1	Construisez un diviseur de tension en CMOS.
13.2	Construisez une source de courant à partir d'une pile et de transistors MOS. Qu'est-ce qu'un miroir de courant ?
13.3	Expliquez le fonctionnement d'un amplificateur de tension MOSFET à source commune.
13.4	Expliquez l'utilisation de charges actives dans les amplificateurs de tension MOSFET.
13.5	Comment utiliser un inverseur CMOS comme amplificateur de tension ?
13.6	Expliquez le fonctionnement d'un amplificateur différentiel MOSFET.



Questions de réflexion :

14.1	Expliquez les similarités et les différences dans les caractéristiques électriques d'une diode Schottky et d'une diode à jonction P-N. Discuter les applications typiques.
14.2	Comparez les caractéristiques principales d'un transistor bipolaire et d'un MOSFET. Discuter les applications typiques.
14.3	Pour amplifier le signal d'un capteur à grande résistance interne, il vaut mieux utiliser un transistor bipolaire ou un transistor MOS? Pourquoi?
14.4	Expliquez la dissipation d'énergie d'un circuit logique CMOS en statique et en dynamique.
14.5	Qu'est-ce qui limite l'utilisation des transistors à haute fréquence ?
14.6	Pourquoi la grande majorité des circuits numériques modernes est-elle fabriquée en technologie CMOS ?