

Physique 1

Présentation du sujet

Cette épreuve est consacrée à l'étude des capteurs photovoltaïques, d'un point de vue macroscopique en tant que générateur électrique et d'un point de vue microscopique par l'étude d'un matériau semi-conducteur – du silicium – les constituants. La première partie du sujet, plutôt originale, consiste en l'étude d'une caractéristique intensité-tension d'une cellule photovoltaïque afin de déterminer son efficacité ainsi que son facteur de forme caractérisant son idéalité. Dans une deuxième partie, on s'intéresse à l'effet photovoltaïque dans une jonction PN : on détermine d'abord la conductivité dans un conducteur ohmique, puis celle dans du silicium dopé après avoir travaillé sur celle du silicium non dopé. Dans une troisième partie, très classique, on étudie un traitement antireflet permettant d'optimiser l'efficacité de la cellule photovoltaïque. Enfin, dans une quatrième et dernière partie, on aborde la théorie des bandes dans un semi-conducteur à l'aide d'un modèle très simple.

Le sujet contient de nombreuses questions de cours ou des applications directes. Seule la deuxième partie contenait une question ouverte. Aucune connaissance hors-programme n'était requise pour traiter la totalité du sujet. Quelques rudiments d'électrocinétique et de mécanique du point de PCSI, des notions d'électromagnétisme, d'optique ondulatoire et de physique quantique de PC devaient être maîtrisés pour réussir cette épreuve.

Analyse globale des résultats

Le sujet, plutôt long, n'a pas été abordé en totalité par de nombreux candidats. Les résultats sont assez décevants dans la mesure où les nombreuses questions de cours et applications directes auraient dû être bien plus profitables.

Bien présenter, bien rédiger, ne pas utiliser d'abréviations inhabituelles, citer le nom des lois physiques utilisées, faire attention à l'orthographe, bien numérotter les questions, bien justifier sont des compétences minimales indispensables que doit avoir un candidat à ce concours, de même que l'honnêteté intellectuelle. La présentation des copies est globalement satisfaisante ; peu de copies ont été pénalisées par un malus : il semblerait que ce malus « de forme » de la copie instauré l'année dernière porte ses fruits.

On regrette toujours que certains candidats ne vérifient pas l'homogénéité de résultats littéraux simples : une perte conséquente de points pourrait parfois être évitée !

L'expression « par définition » est souvent utilisée hors de propos.

Une minorité de candidats pense à valider leurs résultats par exemple en les confrontant avec des valeurs numériques connues. Et pourtant, ces points sont valorisés !

Les ordres de grandeurs ne sont globalement pas connus (des rendements aux longueurs d'onde).

Trop nombreux sont encore les candidats qui ne répondent que partiellement aux questions, notamment lorsque celles-ci contiennent plusieurs sous-questions. Dans le même genre, beaucoup de « phrases réponses » commencent et s'arrêtent subitement : cela donne l'impression que les candidats commencent à répondre avant même d'avoir réfléchi à ce qu'ils allaient écrire.

Concernant l'utilisation des outils mathématiques, le jury a constaté :

- beaucoup de quotients de vecteurs ;
- beaucoup de confusions entre vecteur, norme et projection ;

- une non compréhension de la notion de pourcentage : des facteurs 100 apparaissent dans les expressions littérales ;
- des erreurs de conversions : convertir des cm^2 en m^2 n'est apparemment pas si évident ;
- des facteurs 1000 apparaissent dans les expressions littérales pour tenir compte des unités (ex : masse molaire donnée en g/mol).

Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

Les candidats armés d'une bonne connaissance du cours, d'un bon sens physique et d'une bonne maîtrise des techniques habituelles de calcul ont obtenu une bonne voire une excellente note à cette épreuve. Vu la structure du sujet, un candidat, moyen ou faible, pouvait se relancer régulièrement et se remettre en confiance : c'est pourquoi il est conseillé à un candidat de parcourir le sujet en première lecture dans son intégralité !

Pour tous les candidats, nous nous permettons quelques conseils :

- un sujet tel que celui-ci illustre l'importance fondamentale de l'apprentissage du cours : beaucoup de points peuvent être glanés facilement en citant ou en appliquant simplement le cours.
- Parcourir l'intégralité du sujet lors d'une première lecture rapide : cela permet de s'imprégner du sujet et de repérer les questions faciles, à la portée de beaucoup de candidats. Ensuite il faut toujours s'assurer de bien avoir compris un énoncé quitte à le relire plusieurs fois.
- Comme déjà dit dans des précédents rapports, les résolutions de problème doivent être abordées avec plus de méthodologie. Une simple application de la méthode « scientifique » permet d'aider à formaliser le problème et donc à trouver la bonne réponse !
- Commenter et critiquer de façon pertinente un résultat ou une démarche, même si ce n'est pas explicitement demandé par l'énoncé, est valorisé : cela peut-être une analyse dimensionnelle d'un résultat littéral simple, un calcul d'ordre de grandeur d'un paramètre physique, une vérification de valeur numérique si elle est fournie dans l'énoncé, l'explicitation d'une hypothèse non fournie par l'énoncé mais nécessaire pour aboutir au résultat demandé...
- Souvent un schéma simple, clair, éventuellement avec des couleurs sera plus apprécié qu'une demi-page d'explications...

Énergie photovoltaïque

Tous les dipôles ne sont pas ohmiques : on a pu lire $U = R I$ pour la photodiode alors que la caractéristique n'est pas du tout linéaire.

Q1. Cette première question demandait du temps pour être traitée de façon rigoureuse – avec le tracé du graphe $P = f(U)$ ou $P = f(I)$ par exemple, P désignant la puissance électrique générée par la cellule – : elle a bien été valorisée et rapportait beaucoup de points.

Q2. Comparer l'efficacité obtenue avec un rendement ou une autre efficacité d'un système vu en PCSI/PC a été très apprécié du jury.

Q3. Comme le demande l'énoncé, il fallait clairement identifier le numérateur et le dénominateur de FF .

Conduction, jonction, effet photovoltaïque

Conduction électrique

Q5. Cette question, très simple, demandait une réponse précise.

Q6. Cette question a en général été bien traitée.

Q8. Beaucoup de candidats ont oublié la contribution des trous à la conductivité du silicium.

Semi-conducteur dopé

Q9. Cette question a été bien traitée mais peut être parfois pas suffisamment justifiée.

Q11. Cette question ouverte n'a pas été réussie.

Q12. Il était intuitif que le dopage permettait une élévation de la conductivité de la cellule.

Jonction PN

Q13. Toute réponse mentionnant le phénomène de diffusion était acceptée.

Q14. Cette question, demandant du sens physique, a été source de nombreuses erreurs.

Q15. L'électroneutralité de la jonction était un argument permettant de déterminer la relation demandée. Il fallait toutefois bien faire attention au fait que z_2 était négatif.

Q16. Que de réponses fausses et incohérentes ! Pourtant c'est une question d'application directe du cours. L'analyse des symétries/invariances en électrostatique n'est pas maîtrisée ; l'utilisation du théorème de Gauss n'est quasiment jamais correcte : surface non définie, parfois ouverte, le flux qui devient « ES » (sans qu'on sache où le champ est évalué) etc... Il est à noter que l'équation locale de Maxwell-Gauss était bien plus adaptée que le théorème de Gauss pour répondre à cette question.

Q20. Un peu de bon sens tout de même ! Que dire d'une réponse du genre « La zone de déplétion mesure donc $3,3 \cdot 10^3$ km » ?

Effet photovoltaïque

Q21. La réponse « $\lambda = \frac{hc}{eV_0}$ » ne suffisait pas. Une réponse « $\lambda \leq \frac{hc}{eV_0}$ » était bien plus appropriée. Pour de nombreux candidats, le soleil émet majoritairement dans l'UV... et les longueurs d'onde obtenues par le calcul sont très largement aberrantes (10^{-25} m, 10^{-32} m).

Q22. Cette question n'a vraiment pas été comprise, bien que le barème fût relativement souple.

Traitement antireflet de la cellule

Réflexion sur le silicium

Q23. et **Q24.** Questions de cours bien traitées !

Q25. Un coefficient « r » qui tombe du ciel ne vaut rien ! Toutes les grandeurs non définies dans l'énoncé mais utilisées doivent être auparavant définies. Le caractère tangentiel des champs devait être explicité.

Couche antireflet

Cette partie, un peu calculatoire, n'a pas été réussie bien qu'elle soit constituée de questions classiques. Il fallait être rigoureux et méthodique, utiliser les conditions aux limites spatiales à bon escient.

Bandes d'énergie dans un semi-conducteur

Équation de Schrödinger à une dimension

Cette partie, ne comportant que des questions de cours, a été généralement bien traitée. Toutefois, il est fort dommage qu'un nombre non négligeable de candidats ait traité cette partie en prenant un potentiel nul.

Gaz d'électrons sur un segment

Q35. Il était bien marqué de représenter le graphe avec une échelle adaptée...

Q36. Il fallait bien exprimer les énergies en eV, comme le demande l'énoncé.

Potentiel périodique, bandes d'énergie

Q38. Combien de fois le jury a pu lire que les cuvettes représentaient les trous !

Q41. Peu de candidats ont remarqué qu'une translation de a ne changeait rien au système physique mais échangeait k en K . Il fallait donc choisir la condition invariante par le changement $k \rightarrow k$.

Q42. à Q45. Peu de candidats ont abordé correctement ces questions. D'ailleurs, attention à ne pas se servir du document réponse (et de la copie...) comme d'un brouillon ! Il était en tout cas remarquable qu'avec ce modèle très simple, on trouvait le bon ordre de grandeur de largeur de bande interdite.

Conclusion

Bien que ce rapport mentionne principalement les écueils à éviter, nous voulons souligner combien nous avons été satisfaits devant certaines copies, excellentes aussi bien sur le fond que sur la forme. Que tous leurs auteurs soient remerciés pour avoir donné le meilleur d'eux-mêmes durant cette épreuve et pour nous avoir fait lire de très belles compositions. Nul doute qu'ils sauront relever les défis technologiques du XXI^{ème} siècle après leurs études au sein des grandes écoles et qu'ils auront à cœur de transmettre le fruit de leurs travaux.

En espérant que ces quelques conseils seront utiles aux futurs préparationnaires.