

MP17: Métaux

Correcteurs: D. Lopes Cardozo & J. Salort

Jeudi 6 avril 2017

1 Commentaires

Le travail de préparation était sérieux, mais le montage manquait d'un fil conducteur. Il faut essayer de distinguer les propriétés *fortes* des métaux, c'est-à-dire caractéristiques des métaux, de propriétés *faibles*, c'est-à-dire que l'on peut trouver dans d'autres types de matériaux.

Attention aux affirmations peu précises comme "les métaux sont des bons conducteurs thermiques". Il y a une grande différence entre le cuivre (390 W/m/K) et l'inox (26 W/m/K). À comparer au silicium (149 W/m/K), au saphir (40 W/m/K), ou au diamant (entre 1000 et 2000 W/m/K). Attention plus généralement à la précision du langage.

Il est bon de bien connaître les différences entre l'expérience et les différents modèles classiques de conduction électrique et thermique, et bien connaître les hypothèses que l'on utilise pour établir la loi de Wiedemann-Franz expérimentalement.

Pour mémoire, la dépendance expérimentale en température de $\rho(T)$ et $\kappa(T)$:

$$\begin{cases} \rho(T) \propto T \\ \kappa(T) \propto \text{cte} \end{cases}$$

à comparer au modèle de Drude,

$$\begin{cases} \rho(T) \propto \sqrt{T} \\ \kappa(T) \propto \sqrt{T} \end{cases}$$

et au modèle de Sommerfeld,

$$\begin{cases} \rho = \frac{m}{n e^2 \tau} \sim T \\ \kappa = \frac{\pi}{3m} N k_B^2 T \tau \end{cases} \Rightarrow \text{Wiedemann-Franz}$$

Il faut aussi commenter les valeurs numériques obtenues, y compris les valeurs des barres d'erreur. Il est peu probable qu'une manip de TP permette d'obtenir un résultat avec une barre d'erreur plus faible que les résultats du Handbook. Gardons à l'esprit aussi qu'il y a des incertitudes liées à la variabilité des propriétés des matériaux en fonction de leur pureté ou de traitement thermique. La conductivité thermique tabulée du cuivre varie de 328 W/m/K pour Cu-b1 (qui peut contenir jusqu'à 500 ppm de phosphore), à 392 W/m/K pour Cu-c2 (appelé aussi cuivre OFHC pour *Oxygen Free High Conductivity*).

Au tableau, il vaut mieux mettre le maximum d'éléments sur lesquels vous vous appuyerez (la forme des formules que vous utiliserez pour vos régressions par exemple) plutôt que des éléments théoriques, surtout si vous ne les présentez pas.

Le plan présenté :

I - Conduction électrique

Mesure de l'évolution de la résistance d'un métal (Cuivre) avec la température.

II - Conduction thermique dans un métal

Barre de Cuivre et chauffage alternatif par module Peltier. Une fois qu'on a les conductivités thermique et électriques, il est dommage de ne pas remonter à la constante de Lorenz.

III - Mesure mécanique : module d'Young

On mesure la réponse impulsionnelle d'une règle en métal en plaçant un micro proche de celle-ci pour suivre les déplacements d'air résultants des oscillations de la règle. Le module d'Young trouvé est plus de deux fois supérieur à celui attendu pour de l'acier inoxydable. Nous n'avons pas réussi à déterminer pourquoi.

2 Questions

1. Quel type de capteur de température est utilisé dans le bain thermique ? Est-il meilleur ou moins bon que le thermocouple de type K ? Quel est le principe du thermocouple ?
2. Utilisation du palmer pour mesurer le diamètre des fils de cuivre: quelle est l'épaisseur de la couche de résine?
3. Quelle serait la conséquence de pertes thermiques radiales dans la barre de cuivre sur les signaux de température ?
4. Peut-on prendre en compte la non-linéarité des capteurs de température ? (Oui, cf. la doc de ces capteurs)
5. Quelle est la différence entre le moyennage utilisé et un filtre passe-bas ?
6. Quel est le principe d'un thermocouple ? Il exploite l'effet Seebeck. Quel est l'effet inverse ? L'effet Peltier. Qu'est-ce qu'un module Peltier ?
7. D'où vient la dépendance en température de la résistivité des métaux ? De l'évolution de la mobilité des porteurs de charge, contrairement aux semi-conducteurs pour lesquels c'est le changement de densité de porteurs qui est dominant.
8. Quel est le principe d'une mesure 4 fils ? Dit en quelques mots: on utilise deux fils pour imposer le courant dans la résistance dont on veut mesurer la valeur et deux autres pour mesurer la tension résultante. La très grande impédance interne du voltmètre devant celle de l'échantillon fait que le courant passant par le voltmètre sera négligeable devant celui imposé dans l'échantillon, et donc qu'il n'y aura pas de chute de tension due aux câbles de mesure.
9. Pourquoi peut-on utiliser des métaux pour faire des miroirs ? Pourquoi faut-il les polir ? Les métaux étant de bons conducteurs, l'effet de peau interdit la propagation en profondeur des ondes électromagnétiques qui sont réfléchies. Par contre, si la surface est très rugueuse, elle va diffuser la lumière.
10. Qu'est-ce qu'une liaison métallique ? Dans un métal, les électrons de conduction sont délocalisés dans toute la structure, ce qui est à l'origine dans la grande résistance à la déformation des métaux, mais aussi des propriétés électriques et thermiques.

3 Suggestions diverses

- Vous pouvez faire un point à l'azote liquide
- L'existence de variétés allotropiques n'est pas une spécificité des métaux et l'observation de la transition de phase ne met pas directement en évidence la structure cristallographique des métaux.
- Vous pouvez faire la mesure de la densité de porteurs par effet Hall, soit avec la plaquette de la collection (lame d'argent), ou en utilisant la couche mince de cuivre d'un circuit imprimé.

Quelques idées de propriétés qui peuvent être mises en évidence dans le montage :

- $R(T)$, κ
- Loi de Wiedemann-Franz, constante de Lorenz : cette loi et cette constante sont des caractéristiques fortes, universelles, des métaux, elles permettent notamment de mettre en avant que les conductivités électrique et thermique des métaux sont intimement liées puisque ce sont les électrons qui en sont le vecteur dans les deux cas. Attention, à température ambiante, la constante de Lorenz nécessite un correctif (voir Ashcroft et Mermim ou "Physique Expérimentale" de Fruchart etc).
- Effet de peau électrique et thermique
- Couplages thermo-électriques : effet Seebeck, Peltier, ... On peut faire des manip avec les thermocouples de type K et remonter à des différences de constantes de Seebeck. Rappel : $\overrightarrow{\text{grad}}V = -\epsilon \overrightarrow{\text{grad}}T$ où ϵ est la constante de Seebeck.
- Effet Hall, densité de porteurs

- Propriétés optiques : polarisation elliptique, réflectivité
- Effet photoélectrique
- Transitions de phase Fer α /Fer γ
- Propriétés mécaniques : flexion de lame de scie et jauge de contrainte
- Célérité des ondes sonores dans l'aluminium
- Rapport de conductivité avec le conductisquepe (savoir expliquer le fonctionnement des thermomètres à cristaux liquides)
- Chute d'aimant dans des tubes de différents métaux (résultats qui peuvent être reliés à ceux du conductisquepe), voir Garing