

Résumé

On simule numériquement les transferts de masse et de chaleur qui se produisent lors de la croissance de monocristaux de silicium par la technique Czochralski.

La complexité des mécanismes de convection mis en jeu dans le bain de silicium a amené certains chercheurs à s'intéresser uniquement à l'étude du cristal. D'autres ont simulé l'écoulement du fluide dans le bain sur la base du modèle dit "bulk flow".

La plupart des auteurs qui ont traité le système combiné « bain + cristal » se sont basés sur des modèles à conduction dominante, négligeant ainsi l'effet de l'écoulement.

Dans notre présente approche, nous avons résolu les équations de Navier-Stokes couplées avec l'équation de l'énergie dans la phase liquide, ainsi que l'équation de conduction dans la phase solide. Le système d'équations obtenu est discrétisé en utilisant la méthode des volumes finis et l'algorithme Simpler.

Dans le bain, quatre types de convection interagissent : la convection naturelle, l'effet de la tension superficielle ou écoulement de Marangoni, la convection forcée due à la rotation du cristal, et celle due à la rotation du creuset.

L'interaction entre la force de poussée et la rotation du cristal donne lieu à trois cas de figure en fonction de la valeur du rapport adimensionnel Gr/Re^2 : pour de faibles valeurs de Gr/Re^2 , la convection forcée est le mode de transfert dominant dans le bain, alors que pour Gr/Re^2 élevé, la convection naturelle l'emporte. Entre ces deux cas extrêmes, la convection forcée et la convection naturelle coexistent; elles sont séparées par une surface stagnante.

Pour Gr fixé, lorsque Re augmente, nous avons mis en évidence une transition d'un régime où la convection naturelle est dominante vers un autre régime où la convection forcée devient prépondérante. La distribution de température ainsi que le courant de l'écoulement du fluide dans le bain sont représentés pour différentes valeurs du rapport Gr/Re^2 .

Pour de faibles valeurs du nombre de Marangoni (Ma), la convection naturelle domine l'écoulement thermocapillaire. En revanche, lorsque Ma augmente, l'écoulement thermocapillaire devient important.

Comme application à notre étude, on détermine la répartition des contraintes dans le cristal en fonction de son environnement thermique, en mettant en évidence l'importance du dispositif FAH qui contribue à minimiser les contraintes thermoélastiques.