

Source

Experimental Evidence for a Zigzag Bifurcation in Bulk Lamellar Eutectic Growth

Silvère Akamatsu,
Sabine Bottin-
Rousseau, Gabriel
Faivre.
Physical Review
Letters 93, 175701
(2004)

Note

* Période

Distance séparant deux
éléments identiques
dans une succession
régulière

Dynamique en " zigzag " des eutectiques lamellaires

Un eutectique est un alliage de deux ou plusieurs composés constitué, à l'état solide, d'une juxtaposition de plusieurs [phases](#) de structures cristallines et de compositions chimiques différentes. Le point de fusion des eutectiques est beaucoup plus bas que celui de ses constituants purs, d'où leur utilisation massive dans certains procédés industriels comme, par exemple, la soudure. Les phases cristallines qui composent l'eutectique sont généralement disposées en très fines lamelles ou fibres, ce qui donne au solide des propriétés mécaniques et physiques remarquables.

En solidification dirigée, la "période*" des lamelles ou des fibres est de quelques micromètres pour des vitesses de solidification de l'ordre du micromètre par seconde et décroît lorsque la vitesse de solidification croît. La réalisation de matériaux nanostructurés est en principe possible pour une vitesse de solidification de l'ordre du centimètre par seconde (cm/s), mais elle se heurte à de nombreuses difficultés théoriques et pratiques. En effet, pour des raisons inconnues, la structure lamellaire est toujours découpée en pavés irréguliers limités par des "fautes" linéaires dont l'espacement est, d'environ dix fois l'espacement interlamellaire.

D'un point de vue fondamental, il s'agit d'un problème de dynamique non linéaire à deux dimensions. La microstructure observée dans le solide est la trace laissée par la formation d'une "structure dissipative hors d'équilibre" le long de l'interface solide-liquide au cours de la solidification. Pour comprendre ces phénomènes dynamiques, il est nécessaire de les suivre en temps réel, en étudiant l'évolution de l'interface solide/liquide d'alliages eutectiques transparents modèles. Avec le montage expérimental utilisé pour cette étude, l'interface solide/liquide est observée à travers le liquide et son image est séparée de l'image du solide sous-jacent. Afin de minimiser les perturbations engendrées par les flux convectifs dans le liquide, il est idéal de réaliser ces expériences en micropesanteur. L'Agence Spatiale Européenne (ESA) et le CNES étudient différentes possibilités d'expérimentation à bord de la Station Spatiale Internationale (ISS) dans les prochaines années.

En utilisant des échantillons semi-minces (400 μm d'épaisseur), les auteurs ont obtenu, au sol des premières indications sur l'instabilité morphologique essentielle qui limite intrinsèquement la stabilité des eutectiques lamellaires.

► L'effet Zigzag (suite)

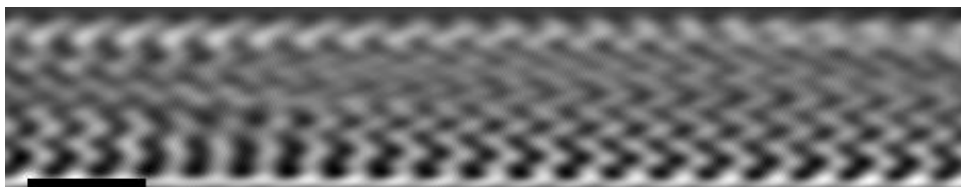
[page
2/3]**Affiliations**

Institut des
NanoSciences de Paris
(anciennement Groupe
de Physique des
Solides), University
Paris 6, Campus
Boucicaut, 75015
Paris, France

Il s'agit très vraisemblablement de la "bifurcation zigzag", déjà connue théoriquement et expérimentalement dans d'autres systèmes dynamiques bidimensionnels, mais jamais encore décrite dans les eutectiques.

Ce résultat ne permet pas encore d'expliquer les "fautes" à grande échelle, mais conforte l'idée que celles-ci sont aussi une conséquence de la dynamique non linéaire de la structure lamellaire, contrairement à l'hypothèse commune qui les attribue à des défauts cristallographiques du solide.

Cet article est publié dans la revue scientifique spécialisée américaine "Physical Review Letters" du 22 octobre 2004.

**Photo de l'interface au cours de la solidification**

Observation en temps réel de l'interface solide-liquide lors de la solidification dirigée de l'alliage eutectique transparent modèle CBr₄-C₂Cl₆. L'interface, qui progresse vers l'observateur à la vitesse imposée de 0.5 μms^{-1} , est vue de biais à travers le liquide à l'aide d'un montage optique approprié. De ce fait l'image est réduite d'un facteur de 0,35 dans la direction verticale. On voit ici se développer une instabilité secondaire « en zigzag » de la structure lamellaire primaire. Barre : 50 μm .

© S. Akamatsu

DSMA

L'instrument DSMA (**D**irectional **S**olidification of **M**ultiphase **A**lloys) permet l'observation optique en temps réel de fronts de solidification de solides multiphasés transparents dans des échantillons massifs avec une résolution de l'ordre de quelques micromètres. Le front est observé en vue oblique à travers le liquide. L'étude thermodynamique d'alliages transparents multiphasés non facettés est prise en charge par une équipe allemande (ACCESS, Aachen) et complète les observations. Dans le cadre de cette coopération, l'effort français est soutenu par le CNRS et par le CNES.

► Que signifie « phase » ?

[page
3/3]

Contact

Courrier électronique
akamatsu@gps.jussieu.fr

Téléphone
+33 1 44 27 63 99

+ sur le CNES

<http://www.cnes.fr>

+ sur l'ESA et l'ISS

<http://www.esa.int>

Une phase thermodynamique est une assemblée d'un très grand nombre d'atomes ou de molécules identiques qui, soumise à des conditions aux limites uniformes de température et de pression, est homogène à l'échelle macroscopique.

Un corps pur ne possède qu'une seule phase liquide et une seule phase gazeuse, mais possède, suivant la température et la pression, plusieurs phases solides qui diffèrent entre elles par la symétrie de l'arrangement des molécules dans le cristal. Ce phénomène est extrêmement répandu (on parlait au XIX^e siècle de "variétés allotropiques"). Le fer pur, par exemple, est dans une phase cubique centrée (dite "ferrite") en dessous de 910°C et dans une phase cubique faces centrées (dite "austénite") au-dessus.

Dans le cas des alliages, il peut exister aussi plusieurs phases liquides. Par exemple, le mélange eau-huile se sépare spontanément en deux phases liquides différentes; l'une riche en eau, l'autre riche en huile. C'est un phénomène analogue de "démixtion" en deux phases avec des concentrations différentes des éléments de l'alliage qui se produit dans les solides dits "eutectiques" dans l'intervalle de concentration approprié. Cela se traduit par des structures cristallines différentes qui forment ainsi des micro ou des nano structures dans le solide. Ce phénomène est connu de longue date et le terme "eutectique" est si ancien que son sens étymologique est discuté; certains pensent que cela veut dire "qui fond bien", d'autres que cela veut dire "qui a une belle texture".

Gabriel Faivre

E-space&Science vous informe des résultats des expériences scientifiques soutenues par le CNES

Directeur de la publication: **Yannick d'Escatha** ■ Directeur de la rédaction: **Arnaud Benedetti** ■ Rédacteur en chef: **Michel Viso** ■ Secrétaire de rédaction: **Myriana Lozach** ■ Diffusion du magazine: **INIST diffusion** ■

Abonnement

Vous voulez vous abonner à la version française; envoyez un mail sans objet ni contenu à:

[Abonnement version Française](#)

Vous voulez vous abonner à la version anglaise; envoyer un mail sans objet ni contenu à:

[Abonnement version Anglaise](#)

Désabonnement

Vous voulez vous désabonner de la version française; envoyez un mail sans objet ni contenu à:

[Désabonnement version Française](#)

Vous voulez vous désabonner de la version anglaise; envoyer un mail sans objet ni contenu à:

[Désabonnement version Anglaise](#)

© CNES 2005
Reproduction possible à des fins non commerciales, sous réserve d'autorisation de notre part

Conformément à la loi 78-17 "Informatique et Libertés" (art. 34 et art.36), vous disposez d'un droit d'accès, de rectification et de suppression des données vous concernant, en ligne sur ce bulletin.