

THÈSE

Pour l'obtention du titre :

DOCTEUR de L'UNIVERSITÉ DE LORRAINE

École doctorale : Énergie Mécanique et Matériaux (EMMA)

Domaine de Recherche : Physique, Sciences des Matériaux

Présentée par :

Hana KRIAA

**Imagerie de défauts cristallins
par contraste de canalisation des électrons.
Théorie et expérience**

Soutenance publique prévue le 14 septembre 2018 à Metz

Composition du jury

Cécile HÉBERT	Professeure, LSME, EPFL Lausanne, Suisse	<i>Rapporteur</i>
Philippe CASTANY	Maitre de conférences HDR, C-Met, INSA Rennes, France	<i>Rapporteur</i>
Patrick CORDIER	Professeur, UMET, Université de Lille 1 Lille, France	<i>Examineur</i>
Emmanuel BOUZY	Professeur, LEM3, Université de Lorraine Metz, France	<i>Examineur</i>
Nabila MALOUFI	Maitre de conférences HDR, LEM3, Université de Lorraine, Metz, France	<i>Directrice</i>
Antoine GUITTON	Maitre de conférences, LEM3, Université de Lorraine Metz, France	<i>Co-directeur</i>

Résumé

La technique Imagerie par Contraste de Canalisation d'Électrons (ECCI) est utilisée dans le Microscope Électronique à Balayage (MEB) pour contraster et caractériser les défauts cristallins, tels que les dislocations. Ces dernières génèrent, en effet, différents contrastes selon l'orientation du faisceau incident par rapport aux plans cristallins $\{hkl\}$: dislocation brillante ou noir/ blanc sur un fond sombre, dislocation noir sur un fond clair... Des modèles théoriques, basés sur la théorie dynamique de la diffraction, ont d'abord été développés afin de décrire les contrastes produit d'un cristal parfait. Ensuite, ils ont été étendus au cas d'un cristal imparfait. Néanmoins, ces modèles théoriques ne proposent aucun calcul détaillé et aucune expression analytique.

Dans cette thèse, nous développons une approche théorique originale pour modéliser les profils d'intensité BSE dans un cristal contenant des dislocations parallèles à la surface. Dans ce sens, nous proposons une modélisation pour différentes conditions de diffraction. Dans un deuxième temps, pour comprendre les mécanismes de formation des images ECC des dislocations, nous confrontons nos résultats expérimentaux aux profils théoriques obtenus. Finalement, nous présentons une nouvelle approche afin de comprendre les mécanismes de déformation des matériaux au voisinage des interfaces. Cette méthodologie consiste à caractériser les zones d'intérêts par ECCI avant et après avoir introduit localement une déformation plastique par nanoindentation. Ici, nous nous concentrons sur le cas d'un alliage à base de TiAl.

Mots clés : ECCI, MEB, dislocations, modélisation du contraste d'intensité BSE, TiAl, déformation plastique.

Abstract

The Electron Channeling Contrast Imaging (ECCI) is a Scanning Electron Microscope (SEM) technique used to contrast and characterize crystalline defects, such as dislocations. These latter generate, in fact, different contrasts according to the orientation of the incident beam with respect to the crystalline planes $\{hkl\}$: bright or black/white on a dark background, black on bright background... Theoretical models, based on dynamical diffraction theory, were first developed to describe the contrasts produced by a perfect crystal. Then, they were extended to the case of an imperfect crystal. Nevertheless, such theoretical models do not propose any detailed calculation and any analytical expression.

In this thesis, we develop an original theoretical approach for modelling BSE intensity profiles in a crystal containing dislocations parallel to the surface. In this sense, we propose modelling for different diffraction conditions. Secondly, in order to understand the mechanisms of the formation of dislocation ECC images, we confront our experimental results with the obtained theoretical profiles. Finally, we propose a new approach for understanding the deformation mechanisms of materials near interfaces. This methodology consists in characterizing the areas of interest by ECCI before and after introducing, locally, the plastic deformation by nanoindentation. Here, we focus on the case of a TiAl bases alloy.

Keywords: ECCI, SEM, dislocations, modelling of BSE intensity contrast, TiAl, plastic deformation.