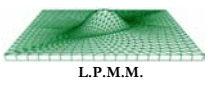


# STRAIN-STRESS ANALYSIS BY KOSSEL AND ELECTRON BACK SCATTERED DIFFRACTIONS (SAKE)



Arts et Métiers ParisTech, E.M.S.E, ST Microelectronics

**OBJECTIFS :**  
 Développement d'un outil d'analyse de contraintes aux échelles fines de la microstructure dans le MEB par couplage EBSD et microdiffraction Kossel.  
 Associer les évolutions de microstructure aux états mécaniques locaux à l'aide d'un seul outil

### Principe de la diffraction Kossel

Diffraction de rayons X émis par interaction électrons-matière

Emission d'un cône de Kossel par plan (hkl)  
 Clichés enregistrés sur une caméra CCD

Point d'impact du faisceau=source isotrope de RX

Vue intérieure du MEB

### Essai de traction in-situ

AMF CuAlBe

Installation : MEB ou DRX  
 $F_{max} = 5000\text{ N}$   
 $T = -150^\circ\text{C}$  à  $300^\circ\text{C}$

Sous sollicitation, déplacement des lignes de Kossel

$\Sigma = 0\text{MPa}$        $\Sigma = 300\text{MPa}$

Déplacement des courbes (20 à 90 pixels)

Couplage avec la microstructure

Simulation par logiciel **Orientation** et indexation

R. Pesci, K. Inal, S. Berveiller, E. Patoot, JS Lecomte, A. Eberhardt  
 Inter and intragranular stress determination with Kossel microdiffraction in a scanning electron microscope  
 Mat. Sci. forum, Trans. Tech. Publications, vol. 524-525, 2006, pp. 109-114

### Algorithme de détection automatique des coniques

Les clichés EBSD et KOSSEL reposent sur le principe de la source interne divergente  
 La différence majeure est la longueur d'onde des rayonnements (électrons / photons X)

Equation des cônes de Kossel :  $|\vec{u} \cdot \vec{n}_{(hkl)}| = \sin \theta_B$

Projection gnomonique : 
$$\vec{u} = \frac{1}{\sqrt{(x-x_s)^2 + (y-y_s)^2 + z_s^2}} \begin{pmatrix} x-x_s \\ y-y_s \\ z_s \end{pmatrix}$$

Condition cinématique :  $2\vec{k} \cdot \vec{G}_{(hkl)} = G_{(hkl)} \cdot \vec{G}_{(hkl)}$   
 $\vec{u} \cdot \vec{n}_{(hkl)} = \frac{\lambda}{2d_{(hkl)}} = \sin \theta_B^{(hkl)}$

Forme générale :  $ax^2 + 2bxy + cy^2 + 2dx + 2ey + 1 = 0$

A priori, 5 paramètres indépendants...

Mais toutes les coniques sont issues du même point source...

Si  $\vec{OS}$  connu, 3 variables indépendantes :  $\left( \frac{\alpha}{\vec{n}}, \beta, \sin \theta_B \right)$

### Hough 3D locale (EBSD)

Sections à  $\sin \theta_B$  constant

Le point intense dans la section 9 correspond à L'hyperbole mise en évidence sur le cliché EBSD

Dépouillement à haute résolution angulaire de l'EBSD → mesure des distortions élastiques

C. MAURICE & R. FORTUNIER  
 A 3D Hough transform for indexing EBSD and Kossel patterns  
 Journal of Microscopy, Vol. 230, Pt 3, 2008, pp. 520-529

### Hough 3D globale (KOSSEL)

Construction du signal pour une ligne de Kossel

Indexation automatique d'un cliché Kossel

Orientation :  $\theta_1 \approx 10^\circ$ ,  $\theta_2 \approx 112^\circ$ ,  $\theta_3 \approx 275^\circ$

### Validations :

- Résolution en déformation évaluée sur des monocristaux pré-contraints et en in-situ
- Résolution spatiale : mesure sur micro-systèmes (films pleine plaque, via, lignes d'interconnection...)

Applications dans de nombreux domaines de la micromécanique :

Lors de sollicitations in-situ :

- Cartographie en contraintes/déformations à l'échelle du grain
- Gradient de contraintes aux interfaces, en tête de fissures...
- Extension de la technique aux grands instruments (synchrotron...)

Cliché Kossel à l'ESRF (ID15)

Fissure dans un acier 16MND5 sollicité à  $-150^\circ\text{C}$