

ANALYSE DE PROPAGATION DE FISSURES LE LONG D'INTERFACES ALTERNÉES FORTES-FAIBLES : APPLICATION AUX STRUCTURES *CRACK-STOP* DE LA MICROÉLECTRONIQUE

Idir Raid ^{a,b}, Rafael Estevez ^a, Sébastien Gallois-Garreignot ^b

^a Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, SIMaP, 38000 Grenoble, France

^b STMicroelectronics, 850 rue Jean Monnet, 38926 Crolles Cedex, France

idir.raid@st.com

Mots-clés : délaminage, films minces, interfaces hétérogènes, micropuce, crack-stop.

Résumé

Sous les conditions de l'approximation par 'small-scale yielding', une étude a été menée afin de déterminer l'influence de l'hétérogénéité d'une interface sur son taux de restitution d'énergie. La structure étudiée est celle du crack-stop d'une micropuce, de plus en plus sollicitée par une volonté de miniaturisation en microrélectronique.

1 Introduction

Le circuit intégré, ou plus communément appelé puce, est un produit de la microélectronique qui nécessite des centaines d'étapes lors du procédé de fabrication [1]. Ladite puce consiste en un bloc de silicium, matériau à la base de sa conception, des couches de films minces isolants et d'une circuiterie métallique complexe conductrice. Or, l'introduction de matériaux isolants, dits *low-k*, s'est faite au détriment de leurs propriétés mécaniques [2]. En résulte alors un intérêt pour les structures de type *crack-stop*, Figure 1, qui sont embarquées sur le pourtour de la puce, afin de la protéger contre l'intrusion de micro-fissures, de l'humidité et de toute agression extérieure. Cette étude a pour but de développer des méthodes de caractérisation et d'optimisation de telles structures.

2 Étude de la résistance à la rupture de l'interface

Dans les produits de la microélectronique les plus avancés, les épaisseurs des lignes de cuivre ne dépassent pas 50nm dans les niveaux à la teneur mécanique la plus faible, et donc où une fissure est susceptible de se propager. Il apparaît donc difficile de recourir aux tests mécaniques habituels (FPB, DCB, ENF, ...) afin de mesurer les énergies d'adhésion des différentes interfaces. Ceci dit, le silicium sur lequel les dépôts sont effectués est épais de plusieurs centaines de microns, tandis que le dimensionnel des zones hétérogènes, sujettes à des phénomènes de fissuration, est très inférieur à ce dernier. Il est donc possible de poser l'hypothèse selon laquelle tout phénomène plastique est contenu à la zone plastique en front de fissure. Sous ces conditions dites, de *small-scale yielding* (SSY) [3], le facteur d'intensité de contrainte K_I suffit à décrire les champs de déplacement autour du front de fissure, sous chargement en mode I, par :

$$u_i(r, \vartheta) = \frac{K_I}{2G_i} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} f_i(\vartheta), i = \{x, y\} \quad (1)$$

où G_i est le module de cisaillement du matériau environnant.

3 Application au cas de l'interface hétérogène

Afin de quantifier la tenue à la rupture d'une structure *crack-stop*, n'ont été modélisés que les niveaux de métaux entre lesquels la fissure se propage, Figure 2. La densité de l'interface forte d a été variée de 0% à 100%. Les énergies d'adhésion sont respectivement de $G_F = 15\text{J/m}^2$ et $G_f = 2\text{J/m}^2$. Les résultats ont montré que le taux de restitution d'énergie effectif résultant, G_{eff} , est indépendant de la loi de traction-séparation choisie pour modéliser le comportement des éléments cohésifs. Sur la Figure 3, les résultats de l'étude sont comparés à une loi des mélanges de type :

$$G_{\text{eff}} = dG_F + (1 - d)G_f. \quad (2)$$

Il a en effet été trouvé que, sous les hypothèses actuelles de l'étude, le comportement d'une structure hétérogène, quant à son taux de restitution d'énergie, est dicté par une loi des mélanges. Ce même résultat a aussi été observé expérimentalement par Tadepalli *et al.* dans [4], mais sur des structures d'épaisseurs plus importantes. Afin de mieux représenter la structure réelle du *crack-stop*, une analyse 3D a aussi été menée. La densité moyenne de l'interface forte est d'environ 20%, Figure 4. Malgré l'effet tridimensionnel de la structure, l'énergie d'adhésion effective relevée obéit aussi à une loi des mélanges, Figure 3.

4 Conclusion

Dans une optique de caractérisation de la tenue à la rupture de structures *crack-stop*, les modèles bi- et tri-dimensionnels ont été développés sous des conditions de SSY. Les principaux résultats tendent vers une corrélation avec une loi des mélanges. Ceci dit, l'effet de la plasticité du cuivre n'a pas été évoqué. Il fait l'état d'une étude en cours, dans le périmètre des travaux de Tvergaard et Hutchinson dans [5].

Références

- [1] C. W. KAANTA et al. "Dual damascene : A ULSI wiring technology". In : *VLSI Multilevel Interconnection Conference, 1991, Proceedings., Eighth International IEEE*. IEEE. 1991, p. 144–152.
- [2] Z. LI et al. "Mechanical and dielectric properties of pure-silica-zeolite low-k materials". In : *Angewandte Chemie* 118.38 (2006), p. 6477–6480.
- [3] N. LEVY et al. "Small scale yielding near a crack in plane strain : a finite element analysis". In : *International Journal of Fracture Mechanics* 7.2 (1971), p. 143–156.
- [4] R. TADEPALLI, K. T. TURNER et C. V. THOMPSON. "Effects of patterning on the interface toughness of wafer-level Cu–Cu bonds". In : *Acta Materialia* 56.3 (2008), p. 438–447.
- [5] V. TVERGAARD et J. W. HUTCHINSON. "Analyses of crack growth along interface of patterned wafer-level Cu–Cu bonds". In : *International Journal of Solids and Structures* 46.18-19 (2009), p. 3433–3440.

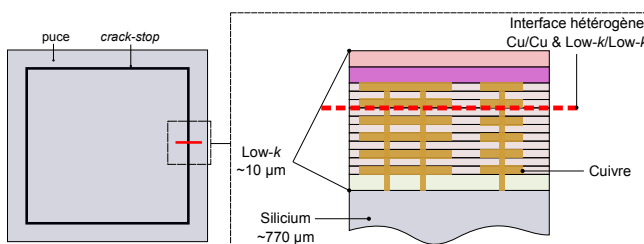


FIGURE 1 – Illustration d'une puce, et vue en coupe de sa structure *crack-stop*.

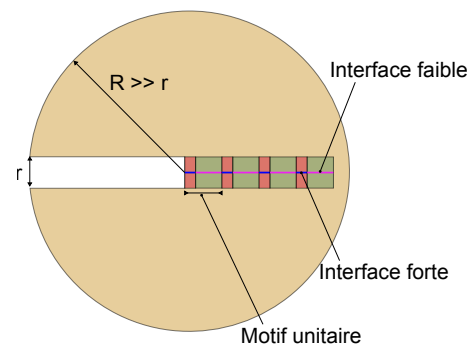


FIGURE 2 – Schéma du modèle employé dans l'étude sous conditions de SSY.

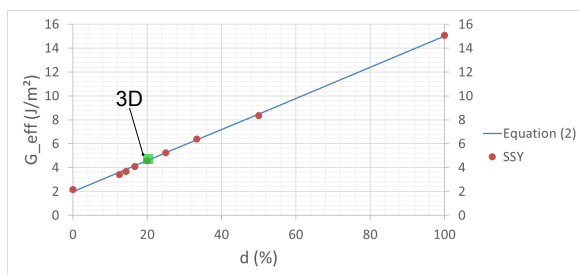


FIGURE 3 – Comparaison des résultats de la simulation sous conditions de SSY avec l'équation (2).

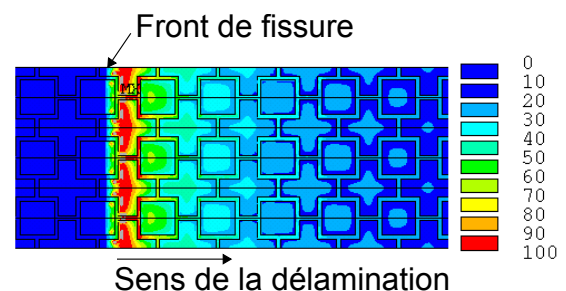


FIGURE 4 – Visualisation du front de fissure - Simulation en 3D, vue de dessus.