

EXPERIMENTAL REPORT
RAPPORT D'EXPERIENCE

Programme Committee Proposal Number
N° Projet Comité de Programme
32-2-131

PROJECT TITLE : TITRE DU PROJET :

Contraintes d'interconnexions en cuivre pour circuits intégrés

| LIGNE : | D2AM | I F |
|---------------------|--------------------------|---|
| INSTRUMENT : | | |
| PETITS ANGLES | <input type="checkbox"/> | EXAFS <input type="checkbox"/> |
| 7 CERCLES | <input type="checkbox"/> | G M <input checked="" type="checkbox"/> |
| F I P | <input type="checkbox"/> | S U V <input type="checkbox"/> |

NUMBER OF RUNS USED

NOMBRE DE SESSIONS EFFECTUEES : 9

STARTING DATE

DATE DE DEMARRAGE : 30 mars 2002

AUTHORS : AUTEURS : *O.Sicardy, I.Touet, J.S.Micha*

EXPERIMENTAL REPORT
RAPPORT D'EXPERIENCE

Ces travaux font suite à l'expérience 32-2-121 réalisée en 2001. Ils ont porté sur un réseau de lignes de largeur 0,3 µm, en structure damascène et constitué de Cu électrolytique avec sous-couche de Cu IMP (Ionized Metal Plasma). La barrière de diffusion avec le SiO₂ est en TaN et le réseau est encapsulé sous 1 µm de silice. L'expérience concerne le suivi par DRX de l'évolution en température des contraintes au sein du cuivre. Le but est de voir si le comportement du cuivre est purement élastique ou si de la plasticité et/ou viscoplasticité se manifeste.

Le principe a été d'imposer à l'échantillon un cycle thermique complet entre l'ambiante et 495°C, suivi d'une remontée à 495°C puis d'un palier à cette température (voir figure 1). Les pas en température aux extrêmes haut et bas du cycle ont été pris suffisamment petits (≈ 50°C) pour bien mettre en évidence l'éventuelle inflexion de contraintes liée la plasticité. Le palier final à 495°C a été effectué pour mettre en évidence un éventuel comportement visqueux du cuivre.

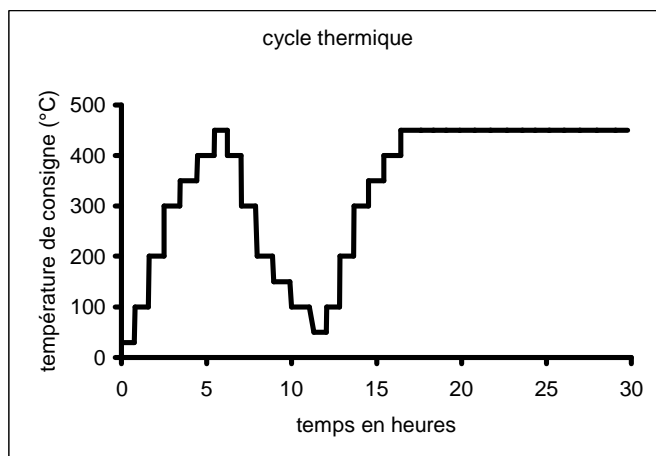


Fig. 1 : histoire thermique de l'échantillon au cours de l'expérience

Les mesures de déformation ont été faites par DRX en prenant comme jauge les familles de plans (220), (311) et (222). Chaque famille a été analysée dans des directions cohérentes avec la forte texture [111] de l'échantillon : déclinaison de 35,26° pour (220), 29,5° et 58,5° pour (311), 0° et 70,53° pour (222). Pour chaque température, 2 séries de mesures ont été effectuées : une dans l'axe des lignes (direction 1) et l'autre dans la direction transverse aux lignes (direction 2). La longueur d'onde choisie est de 1,4 Å (8856 eV). L'échantillon a été monté sur le porte objet chauffant du goniomètre sous un vide de 10^{-5} mbar.

Les tenseurs complets des déformations et contraintes ont pu être déterminés. Les figures 2 et 3 illustrent quelques résultats.

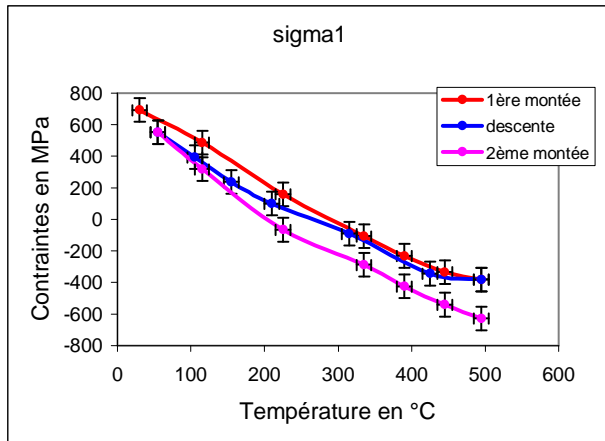


fig. 2 : évolution de la contrainte axiale en fonction de la température

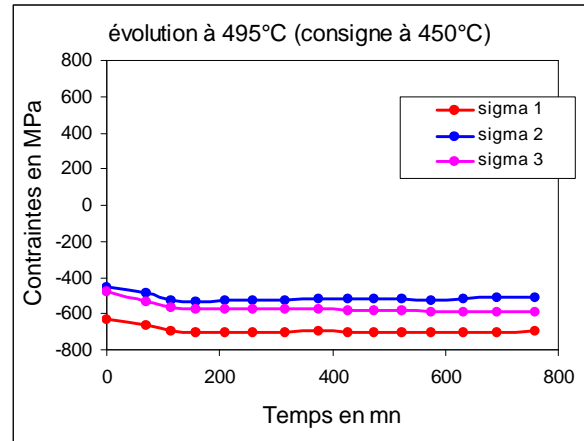


fig. 3 : évolution des contraintes au cours du palier à 495°C

Les conclusions suivantes ont pu être tirées :

Les lignes 0,3 µm sont, à l'ambiante après leur cycle d'élaboration, dans un état de traction triaxial. La composante la plus élevée est dans l'axe des lignes et atteint des valeurs de l'ordre de 700 MPa. Lorsqu'on chauffe l'échantillon, cette contrainte diminue pour s'annuler vers 300°C et passer ensuite en compression. A 495°C, la compression axiale est de -400 MPa. L'évolution en fonction de T est approximativement linéaire. Il n'y a pas de réversibilité rigoureuse entre montées et descente en température mais l'écart entre les différents chemins est tout juste supérieur à l'incertitude de mesure induite par l'incertitude sur la température de l'échantillon. Il est difficile, dans ces conditions, de se prononcer sur une éventuelle déformation plastique du cuivre.

Les composantes transverse et normale évoluent de manière similaire à σ_1 (passage de traction à compression lorsque la température augmente) mais avec des niveaux plus faibles. L'irréversibilité du processus est vue de manière plus nette sur ces composantes, que ce soit en contraintes ou en déformations élastiques.

La contrainte équivalente au sens de Von Misès a pu être calculée tout au long de l'histoire thermique de l'échantillon. Elle oscille entre 350 MPa à l'ambiante et 170 MPa à 495°C, en passant par un minimum de 70 MPa aux alentours de 300°C. Ces données pourraient nous permettre de juger de la mise en plasticité du cuivre si on connaissait la limite élastique du cuivre ECD et son évolution en fonction de la température.

A 495°C, on n'observe pas de relaxation de contraintes lors d'un maintien en température de 13 h. A cette échelle de temps, le cuivre ne manifeste donc pas de comportement visqueux.

Enfin, cette expérience a permis de montrer, à partir des largeurs de raies, qu'il existait une hétérogénéité d'états de déformation de grain à grain et que cette dernière était d'autant plus marquée que le niveau de contrainte macroscopique était élevé. Une des causes possibles de ce phénomène est la forte anisotropie élastique des cristaux de cuivre.

Référence :

O. Sicardy, I. Touet, J.S. Micha, F. Rieutord, *Interconnexions en cuivre pour circuits intégrés - Etude par DRX des contraintes et déformations lors de cycles thermiques entre l'ambiante et 500°C - Ligne IF-BM32 de l'ESRF*, Rapport Technique DTEN/DL/2003-024.