

EXPERIMENTAL REPORT
RAPPORT D'EXPERIENCE

Programme Committee Proposal Number
N° Projet Comité de Programme
32-02-621

PROJECT TITLE : TITRE DU PROJET :

Evolution of stresses in electroplated copper during thermal ageing

LIGNE :	D2AM	IF
INSTRUMENT :		
PETITS ANGLES	<input type="checkbox"/>	EXAFS <input type="checkbox"/>
7 CERCLES	<input type="checkbox"/>	GM <input checked="" type="checkbox"/>
FIP	<input type="checkbox"/>	SUV <input type="checkbox"/>

NUMBER OF RUNS USED

NOMBRE DE SESSIONS EFFECTUEES : 15

STARTING DATE

DATE DE DEMARRAGE : 3 mars 2004

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

EXPERIMENTAL REPORT
RAPPORT D'EXPERIENCE

Ces travaux font suite aux expériences 32-02-121, 32-02-131 et 32-02-600 réalisées de 2001 à 2003. Ils sont relatifs à la mesure par diffraction de rayons X des macro contraintes et micro déformations de lignes de cuivre utilisées comme interconnexions dans les circuits intégrés. Ils s'inscrivent dans le cadre du projet STRESSNET dont le thème général est l'étude la maîtrise des contraintes résiduelles des matériaux utilisés dans les micro et nano dispositifs.

La présente expérience a porté sur des réseaux de lignes de largeurs 3 μm et 0,3 μm , constitués de cuivre électrolytique sur sous couche IMP (Ionized Metal Plasma). Les échantillons sont des empilements où l'on trouve successivement, à partir d'un substrat de 725 μm en Si, 850 nm de diélectrique P-FSG, 25 nm de barrière TaN-Ta, 350 nm de Cu et 10 nm de film de passivation en TaN.

Les macro contraintes du cuivre ont été déterminées par exploitation des déplacements de raies de diffraction et les micro déformations estimées via l'analyse de leurs largeurs. L'évolution de l'état de contrainte lors de cycles thermiques ou paliers en température a été étudiée. Le goniomètre multitechnique de la ligne IF-BM32 possède les mouvements angulaires nécessaires pour analyser des plans cristallins d'azimuts et déclinaisons variés. Il est équipé d'un four pour le suivi in-situ en température. Le recours au rayonnement synchrotron est motivé par des raisons de précision et de sensibilité, impliquant l'emploi d'un faisceau X à la fois fin, intense, parallèle et accordable en longueur d'onde.

Plusieurs objectifs ont été visés :

- Les échantillons étudiés sont composés de 2 familles principales d'orientations : [111] majoritaire et [100]. Ces directions de croissance correspondent à des maxima et des minima de rigidité élastique. Les mesures ont été réalisées sur les 2 familles pour évaluer cet effet d'anisotropie.

- L'évolution des contraintes lors d'un cycle en température sur les lignes 3 μm a été suivie pour voir si le comportement était plutôt plastique comme sur les dépôts pleine plaque ou plutôt thermo élastique comme pour les lignes fines de 0,3 μm . La température haute du cycle a été limitée à 250°C afin que le cuivre reste dans un état de traction.

- Un suivi in-situ des lignes 3 μm lors de paliers en température a été réalisé. Le but était la mise en évidence d'une éventuelle relaxation. Les températures choisies devaient être suffisamment élevées pour activer le phénomène et inférieures à 300°C pour que le cuivre reste soumis à des tractions significatives. 2 paliers successifs de 19 h à 150°C et 19 h à 200°C ont été effectués.

Les conditions opératoires ont été optimisées pour améliorer la statistique des grains diffractant : asservissement de l'incidence du faisceau et ouverture de l'angle solide de détection. Une longueur d'onde relativement courte (1.09722 Å) a été choisie pour éviter que les raies intéressantes aient un angle trop proche de 90°, défavorable en termes de diffusion à cause de la polarisation du faisceau. Moyennant ces améliorations, le programme prévu a pu être rempli et les raies obtenues sont exploitables aussi bien en position qu'en largeur.

Les principales conclusions sont les suivantes :

- L'état de contraintes des lignes 0,3 μm est tri axial alors qu'il est bi axial pour les lignes 3 μm .
- Le niveau de contrainte est plus élevé pour les lignes 0,3 μm que pour les lignes 3 μm .
- Dans le cas des lignes 0,3 μm , les familles [100] et [111] ont des déformations élastiques du même ordre. Par effet d'anisotropie, la famille [100] est moins contrainte que la famille [111].
- Dans le cas des lignes 3 μm , les familles [100] et [111] ont des contraintes du même ordre. Par effet d'anisotropie, la famille [100] est donc plus déformée que la famille [111].
- L'évolution de contraintes lors de cycles thermiques (figure 1) dans les lignes 3 μm montre un hystérésis. Le comportement est donc différent de celui des lignes 0,3 μm pour lesquelles cette évolution est linéaire. A l'échelle de temps de 20h, il n'y a pas de relaxation observable.
- L'analyse des largeurs de raies montre que la taille moyenne des grains dans la direction normale à la surface est 130 nm pour les lignes 0,3 μm contre 185 nm pour les lignes 3 μm . Le niveau de micro déformation de ces grains est de l'ordre de $5 \cdot 10^{-4}$, un peu plus élevé pour les lignes fines que pour les lignes larges.

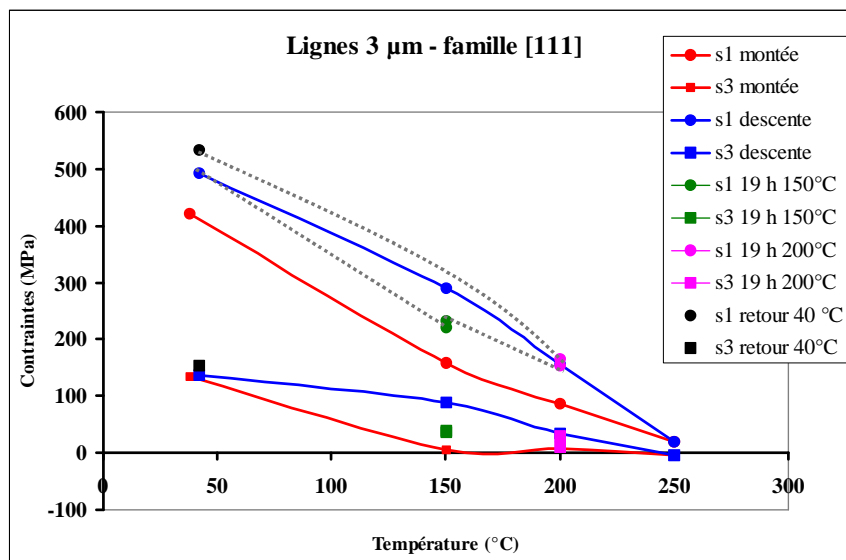


Figure 1 : évolution en température de la contrainte axiale (s1) et normale (s3) de lignes de cuivre de largeur 3 μm

Référence :

O. Sicardy, L. Briottet, I. Touet, F.Rieutord, J.S. Micha, P. Gergaud, O. Thomas, P. Goudeau, *Macro contraintes et micro déformations de lignes damascènes en Cu électrolytique : détermination par rayonnement synchrotron et simulation par approche poly cristalline*, Séminaire STRESSNET, Meylan, 7-8 juin 2004.