

EXPERIMENTAL REPORT
RAPPORT D'EXPERIENCE

Programme Committee Proposal Number
N° Projet Comité de Programme
32-02-600

PROJECT TITLE : TITRE DU PROJET :

Micro stresses of electroplated copper for integrated circuits interconnects

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 : 18 septembre 2003

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

EXPERIMENTAL REPORT
RAPPORT D'EXPERIENCE

L'objectif de cette expérience était de déterminer, par la mesure de la largeur de raies de diffraction, la taille de grain et les micro-déformations du cuivre dans des lignes d'interconnexion pour circuits intégrés. La petite taille de grain et l'existence de micro déformations entraînent toutes les deux un élargissement des raies : l'élargissement dû à la taille de grain varie en $1/\cos(\theta)$ et celui dû aux micro-déformations varie en $\tan(\theta)$, θ étant l'angle de diffraction. L'analyse de raies à différents angles permet de séparer les 2 effets ; c'est ce qui a été fait lors de cette expérience.

Nous avons choisi une longueur d'onde de 1,15 Å, suffisamment faible pour pouvoir observer plusieurs ordres de diffraction et être assez loin du seuil d'absorption K du cuivre. La taille du faisceau a été réduite à 0,3 x 0,3 mm et les 2 jeux de fentes détecteur fermées à 0,5 x 0,5 mm coté échantillon et 0,2 x 0,2 mm coté détecteur. Dans ces conditions, la largeur des raies de diffraction liée à l'instrument est faible : 0,05° pour des raies à $2\theta \approx 30^\circ$.

Les mesures ont porté sur des réseaux de lignes en cuivre électrolytique d'épaisseur 0,5 µm sur sous-couche Cu IMP-PVD et barrière TaN IMP-PVD, encapsulés sous 1 µm de SiO₂ (masque CuRX, lot 8682P, voir figure 1). 2 largeurs de lignes ont été observées : 3 µm et 0,3 µm. Le choix de ces échantillons a été motivé par le fait qu'ils sont le siège de macro-contraintes élevées et qu'ils présentent des textures cristallographiques importantes (croissance (111) à partir du fond de la gravure). Ce dernier point a facilité la mise en œuvre de l'expérience car, dans les directions correspondant aux orientations préférentielles des plans cristallins, les raies de diffraction sont intenses. Les élargissements de raies ont été mesurés par référence aux largeurs de raies d'une poudre de platine témoin à gros grain et libre de contrainte. Les résultats obtenus sont les suivants.

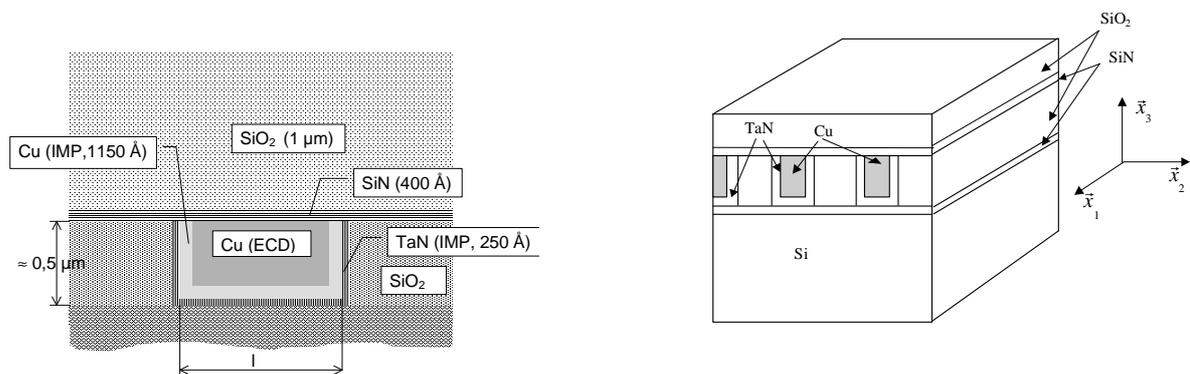


Figure 1 : réseau d'interconnexions cuivre en architecture damascène

a) Macro-contraintes :

	lignes 3 μm	lignes 0,3 μm
contrainte axiale σ_1	450 MPa	510 MPa
contrainte transverse σ_2	410 MPa	320 MPa
contrainte normale σ_3	-30 MPa	110 MPa
contrainte hydrostatique σ_H	280 MPa	320 MPa
contrainte de Von Misès	460 MPa	350 MPa

On confirme des résultats déjà connus : les lignes larges sont dans un état de contrainte biaxial en traction avec $\sigma_1 \approx \sigma_2$, les lignes étroites sont en traction triaxiale avec $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3 > 0$.

Le lot étudié a été élaboré en 2001 et des mesures de contraintes réalisées à l'époque sur des échantillons équivalents avaient donné des résultats similaires : il n'y a donc pas, à température ambiante, une relaxation à long terme de contraintes au sein de ce matériau.

b) Taille de grain :

L'analyse de la largeur de raies aux petits angles (les moins affectées par l'existence de micro-déformations) montre qu'il n'y a pas de contribution due à la taille des grains du cuivre. Dans les conditions opératoires adoptées, cela montre que la taille des cristaux perpendiculairement aux plans analysés est d'au moins 0,2 μm. Les mesures ont été effectuées sur des plans (111) parallèles à la surface mais aussi sur leurs homologues inclinés à 70,53° : la taille minimum de 0,2 μm concerne donc aussi bien la hauteur des grains que leurs dimensions latérales. Pour les lignes de 0,3 μm, on confirme ainsi la structure bambou : succession de grains équiaxes occupant la quasi-totalité de la section.

c) Micro-déformations :

Les grains étant relativement gros, la seule cause d'élargissement des raies est l'existence de micro-déformations. Cet élargissement est nettement visible en comparant les raies aux grands angles du témoin et de l'échantillon : $2\theta = 112^\circ$ pour (440) du platine, $2\theta = 111,47^\circ$ pour (333) et (511) du cuivre. Les largeurs observées correspondent à des μ déformations de l'ordre de grandeur suivant :

Micro-déformations moyennes	
lignes 3 μm	$8 \cdot 10^{-4}$ soit 0,08%
lignes 0,3 μm	$12 \cdot 10^{-4}$ soit 0,12%

On constate que ce sont les lignes les plus fines qui ont le niveau de micro-déformation le plus élevé.

nota : la mesure des micro-déformations s'est faite principalement sur la raie $2\theta = 111,47^\circ$ en mode θ - 2θ (plans parallèles à la surface). Cette raie correspond à la réflexion (333) mais aussi à la réflexion des plans (511) qui se retrouvent parallèles à la surface du fait de l'existence de macles (-111) dans le cuivre.