

Comparaison d'images obtenues par microsonde Mole et sonde de Castaing. Application aux circuits intégrés

par J. Trilhe * et A. T. N'Guyen **

(* CENG, LETI, MEA, 38041 Grenoble Cedex et ** Laboratoire d'applications ISA Jobin-Yvon, Longjumeau, France)

Comparison of images obtained by Mole microprobe and Castaing probe. Application to integrated circuits

We have sought to evaluate the possibilities of the Mole microprobe in obtaining Raman images on integrated circuits. Parallel observations have been made in a more classical way by X-ray analysis on a scanning electron microscope comparing the Raman microprobe and the Castaing probe.

Samples of silicon on corindon, silica on silicon and resin on silicon were observed.

Furthermore, the detection limit of the Mole microprobe was estimated, using the height of the Si peak at 523 cm^{-1} , for decreasing thickness of deposits of silicon on corindon, at about ten nanometers.

Introduction

Nous avons cherché à illustrer les possibilités d'application de l'imagerie Raman dans le domaine des circuits intégrés. Les essais relatés dans ce compte rendu ont été effectués par Jobin-Yvon; parallèlement le microscope JSM U3 du LETI CRM a été utilisé en analyse X (Sonde de Castaing) pour fournir un élément de comparaison. Les échantillons observés sont :

1. des bandes de Si, d'épaisseur $0,6\ \mu\text{m}$, en épitaxie sur substrat de corindon.
2. ces mêmes bandes recouvertes de 100 nm de SiO_2 thermique.
3. des motifs de résine HPR 104.

L'imagerie d'une bande de dimensions déterminées, d'un matériau connu, est une utilisation triviale de la microsonde Raman. Le but a été d'évaluer d'une part la limite de détectivité, et d'autre part, la résolution pour des couches usuelles en microélectronique. Une fois connues les possibilités de la Mole, c'est au technologue des circuits intégrés de poser un problème réel qui pourra trouver une solution par analyse en spectroscopie Raman.

1. Des bandes de Si, d'épaisseur $0,6\ \mu\text{m}$, en épitaxie sur substrat de corindon

L'analyse dispersive du rayonnement émis est montré sur la figure 1 : en haut, dans le cas de la sonde de Castaing, lorsque les particules incidentes sont des électrons et les particules analysés sont des photons X; en bas dans le cas de la microsonde Raman, lorsqu'on explore l'échantillon avec un faisceau monochromatique et que l'on analyse des photons émis.

Dans le cas de la sonde de Castaing, on constate que l'obtention d'un signal permettant une image de bonne qualité sur un motif gravé dans une couche de silicium de $0,6\ \mu\text{m}$ d'épaisseur se fait au détriment de la résolution spatiale. En effet, dans les mêmes conditions d'observation, on voit sur la figure 1 apparaître un pic dû à l'aluminium pour des géométries de l'ordre de $2\ \mu\text{m}$, alors que pour des géométries de $10\ \mu\text{m}$ (ou *a fortiori* une couche continue sur un substrat de corindon) on n'observe aucun signal du au substrat. Dans le cas de la microsonde Raman, on voit qu'une couche continue de silicium de $0,6\ \mu\text{m}$ est très suffisante pour réaliser une image compte tenu du rapport signal sur bruit. On constate, par contre, que l'information vient d'une épaisseur plus grande que $0,6\ \mu\text{m}$ puisque le pic du substrat est toujours apparent. L'uniformité de l'épaisseur de la couche de silicium a été vérifiée par ailleurs. L'utilisation d'un laser dans l'ultraviolet pourrait être une solution dans ce cas particulier.

Si le volume minimum pour faire une analyse par sonde de Castaing est bien connu ($1\ \mu^3$), il n'en est pas de même de celui nécessaire à la

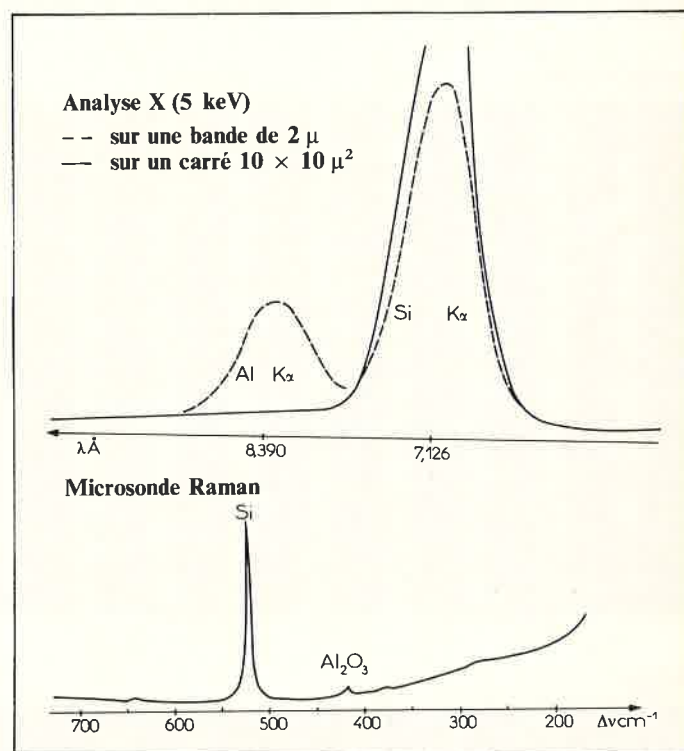


Figure 1. Comparaison des spectres en microsonde X et en microsonde Raman sur du silicium.

Spectres d'un dépôt de silicium de $0,6\ \mu\text{m}$ sur corindon

microsonde Raman. Aussi nous avons réalisé des spectres Raman sur des couches de silicium de différentes épaisseurs. La hauteur de pic Raman, en fonction de l'épaisseur du silicium, est portée sur la figure 2. Il est clair que, avec le laser utilisé ($\varnothing \sim \mu$), une couche de 20 nm de silicium est détectable.

La figure 3 montre, dans la partie gauche, nos résultats en MEB, sur l'échantillon 1 avec un faisceau d'électrons incidents de 24 keV . En haut nous montrons une image en électrons secondaires et, en bas, l'image de fluorescence du silicium.

Dans la partie droite sont rassemblés les observations en microsonde Raman, avec un faisceau incident de photons de $\lambda = 514,5\text{ nm}$ (laser Ar). La photographie du haut, obtenue en transmission, sans filtre, est à rapprocher de l'image secondaire en MEB. Dans les deux cas, on observe un contraste dû : soit à l'absorption, soit à l'émission, contraste qui ne renseigne pas sans ambiguïté sur la nature du

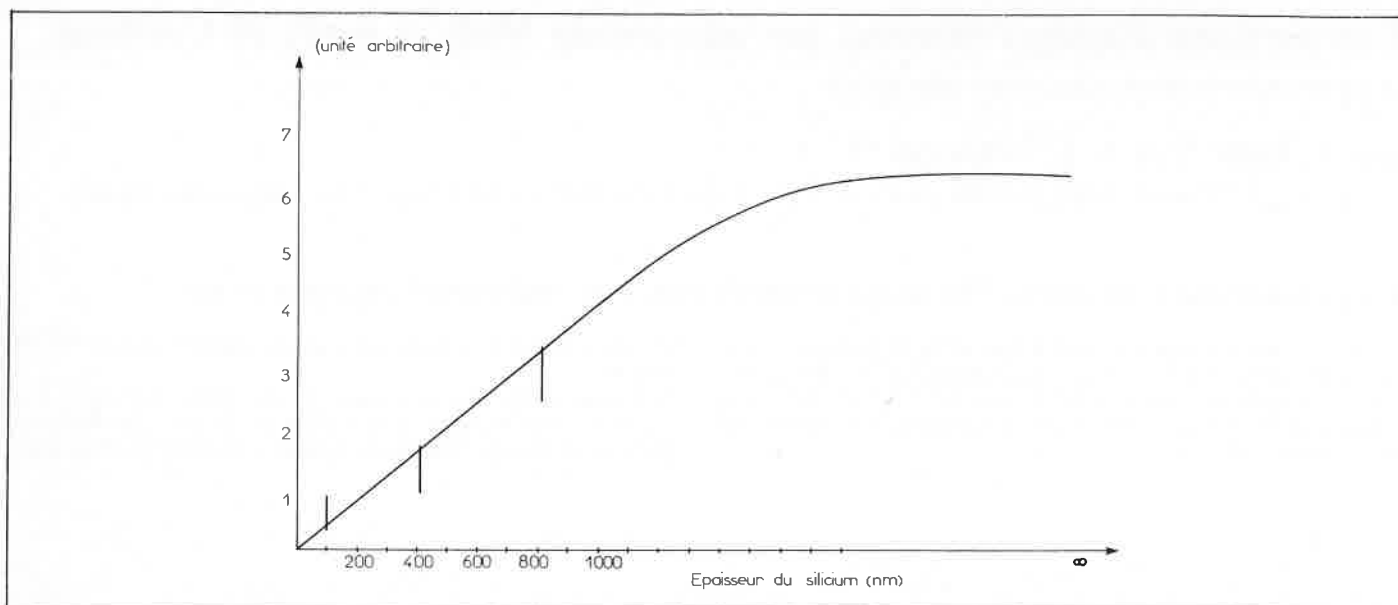


Figure 2. Amplitude du pic Raman en silicium en fonction de l'épaisseur du silicium.

Image secondaire

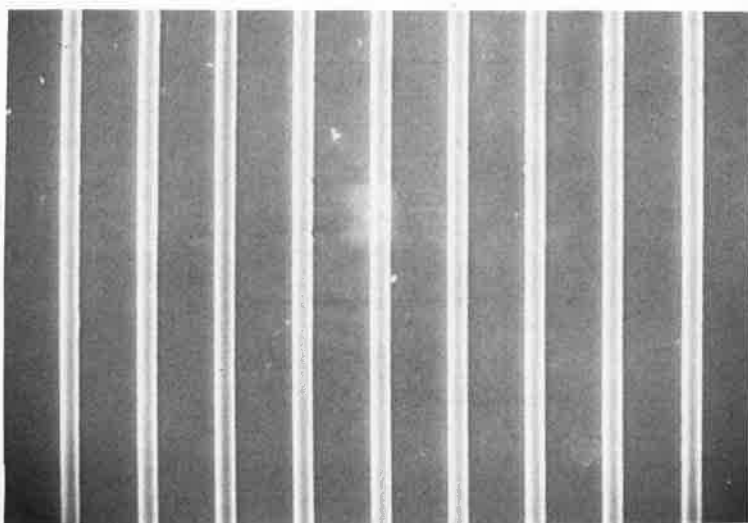
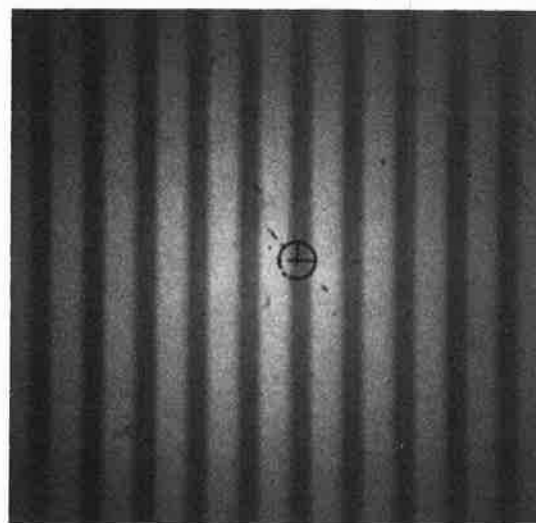
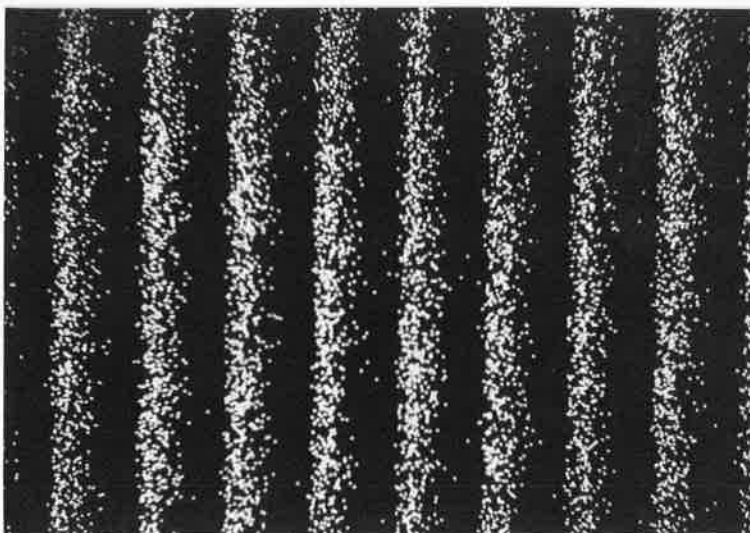


Image lumière blanche (transmission)



MEB



Microsonde

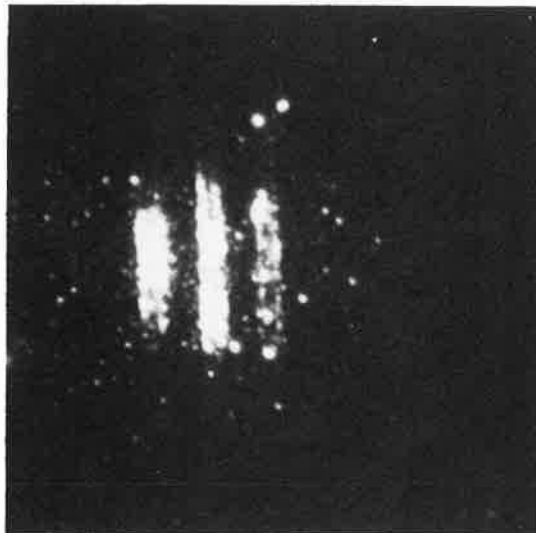
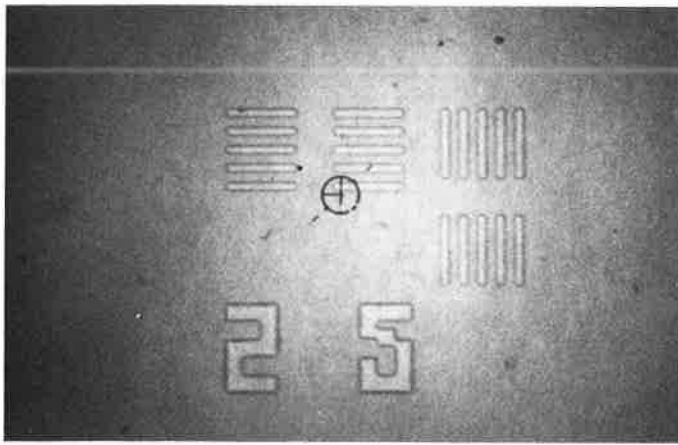


Image X Si $\kappa\alpha$ ($\lambda = 7,126 \text{ \AA}$)

Image Raman (523 cm^{-1})

Figure 3. Imagerie X et Raman de bandes de silicium de largeur 3μ espacées de 7μ (substrat : corindon)



Lumière blanche (transmission)

100 μ



Fluorescence ($1\ 000\ \text{cm}^{-1}$)

Figure 4. Photographie de motifs de résine réalisées sur microsonde Raman.

matériau. L'image de la raie Raman à $523\ \text{cm}^{-1}$ montre par contre que les bandes sont du silicium. A cause de la petite taille des motifs il n'a pas été possible de faire l'image Raman avec l'éclairage annulaire, ce qui explique que l'on ne voit un contraste que sur la partie centrale de la photo, correspondant à la surface du spot d'analyse.

Discussion des résultats

La microsonde Raman et la sonde de Castaing donnent des images du silicium avec une résolution comparable en première approximation, on observe sur les deux photographies un élargissement notable de la bande de silicium. Notons enfin que la microsonde Raman permet de dire que l'élément silicium est sous forme de silicium cristallisé alors que la sonde de Castaing montre peu de contrastes entre du silicium pur et de l'oxyde de silicium par exemple.

2. Ces mêmes bandes recouvertes de 100 nm de SiO_2 thermique

Le deuxième échantillon était identique au précédent, mais le silicium présentait en surface un oxyde de 100 nm. La sonde de Castaing montrait la présence d'oxygène aussi bien dans les barreaux de silicium que dans le substrat d' Al_2O_3 . Il est donc impossible de savoir, quant au signal oxygène, quelle est la contribution de SiO_2 et celle de Al_2O_3 . La méthode n'est pas adaptée.

La microsonde Raman a été également infructueuse : le pic des liaisons Si-O était trop faible.

3. Des motifs de résine HPR 104

Le dernier échantillon concernait la visualisation de motifs de résine HPR 104. Il n'a pas été trouvé en sonde de Castaing d'élément en concentration suffisante pour faire une image. En effet l'hydrogène n'est pas détectable et la mesure du carbone est très délicate sur les appareils classiques.

En microsonde Raman, nous avons dû nous contenter d'une image de fluorescence présentées sur la figure 4.

Conclusion

La mole et la sonde de Castaing sont deux outils voisins, complémentaires pour l'imagerie des couches minces utilisées lors de la fabrication des circuits intégrés. La microsonde X a l'avantage de donner un signal pour tout matériau (à l'exception des éléments légers). La microsonde Raman présente l'avantage de donner une information sur la liaison chimique, donc à la fois la nature de l'élément comme la microsonde X, mais aussi son état chimique.

Raman, photoluminescence and cathodoluminescence as complementary small area analytical techniques

J. N. Ramsey (D/286 B/300-41C, IBM-Corporation Hopewell Junction, N.Y. 12533, USA)

Raman, photoluminescence et cathodoluminescence comme techniques complémentaires pour l'analyse de petites zones

La cathodoluminescence (CL) a été utilisée dans le passé pour la caractérisation des composés phosphorescents et a été étendue à d'autres matériaux dans les 15 dernières années. Notre intérêt pour cette technique, chez I.B.M., a été suscité par ses possibilités comme moyen de caractérisation de petites zones pour les circuits intégrés, complémentaire des travaux de la sonde électronique de microanalyse et de diffraction des rayons X/électrons. Quelques-uns des problèmes et résultats de la CL ont été présentés par Marty Mitchell et moi-même à la conférence MAS, à Miami Beach et à Boston (1, 2).

Le micro-Raman est une technique de caractérisation de petites zones pour lesquelles sont obtenues des informations sur la liaison atomique/moléculaire. Il se révèle être une extension naturelle de notre répertoire des techniques d'analyses complémentaires des petites zones et surfaces (3).

Cet article explore les possibilités et avantages de la technique micro-Raman (particulièrement de la Mole de Jobin-Yvon) et étend ses opérations dans le domaine de la photoluminescence (PL) en