

L'étude des semi-conducteurs à base de silicium a toujours été en étroite relation avec le développement de la technologie des dispositifs électroniques ou photovoltaïques. Cependant les recherches ont toujours revêtu un double intérêt, pratique et théorique, permettant d'une part d'étudier les systèmes désordonnés, et d'autre part de déboucher sur la fabrication de nouveaux matériaux ou de dispositifs utilisables en microélectronique ou en conversion photovoltaïque.

En effet, le silicium abonde sur notre planète, sa teneur dans la croûte terrestre est estimée à 27% en masse ce qui le classe au second rang, après l'oxygène (O₂). Toutefois, l'obtention du silicium monocristallin s'est avérée très coûteuse et pour pallier à cet inconvénient technico-économique de nouveaux axes de recherches ne cessent de se développer afin de réaliser de nouveaux matériaux à base de silicium, comme le silicium amorphe hydrogéné (a-Si :H) et le silicium micro/ nanocristallin hydrogéné (μ /nc-Si :H).

Le silicium amorphe, dont les liaisons pendantes sont saturées par hydrogénation et en relaxant les contraintes du matériau, dues au fait que l'on peut construire un système amorphe « presque parfait » avec des liaisons de type sp³. L'hydrogène dans le silicium amorphe contribue à diminuer la densité d'états électronique dans la bande interdite. Le silicium amorphe hydrogéné présente l'avantage d'avoir un fort coefficient d'absorption et une aptitude à être déposé en grandes surfaces. Néanmoins ce matériau a une mobilité des porteurs faible et se dégrade sous illumination prolongée (effet Staebler-Wronski).

Le silicium déposé en couches minces, sous forme nanocristalline, a connu un regain d'intérêt depuis le début des années 90 ; grâce à ses caractéristiques importantes qui sont, la grande échelle d'intégration et les faibles coûts de production. Aujourd'hui, une véritable industrie du silicium micro/nanocristallin et de ses alliages est en place. Les multiples applications concernent entre autre la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire, les transistors en couches minces ou TFT (Thin Film Transistors) pour écrans plats à cristaux liquides à matrice active, ou encore les tambours xérogaphiques pour photocopieurs et les détecteurs pour la radiographie X...etc.

Sur le plan fondamental, le silicium micro/nanocristallin appartient à une autre famille de matériaux différente de celles de l'amorphe et du cristallin. Le μ /nc-Si :H est en effet un

matériau hétérogène composé de petites cristallites, de tailles 3 à 50 nm en général, « baignant » dans une matrice amorphe; cette hétérogénéité confère au matériau des propriétés particulières [1], ouvrant la voie à de nouvelles activités de recherche. La première publication relative au dépôt du silicium microcristallin date d'il y a 30 ans [2], mais les mécanismes de croissances de ce matériau sont encore l'objet de controverse. Si l'hydrogène est en effet reconnu comme élément déterminant dans sa formation, son rôle spécifique dans la nucléation des cristallites de même que la zone (surface ou volume) où se déroule cette nucléation est aujourd'hui un sujet à débat. D'autre part, l'hétérogénéité du $\mu/\text{nc-Si}:\text{H}$ conduit à une grande dispersion de ses propriétés ; ce qui rend la comparaison des résultats expérimentaux obtenus par des groupes de recherche différents très délicate.

Cette forme qui semble plus stable que le silicium amorphe a d'ores et déjà fait l'objet de multiples travaux visant à proposer diverses méthodes de fabrication et de caractérisation. Le silicium micro/nanocristallin s'obtient par deux voies. La première est le dépôt direct sous forme micro/nanocristalline, le substrat étant chauffé de 200 à 500°C selon les techniques ; la deuxième voie est la cristallisation de la couche amorphe après le processus de dépôt par un recuit thermique à une température généralement élevée. Cependant l'élaboration de couches minces de silicium micro/nanocristallin de quelques centaines de nanomètres d'épaisseur pour la fabrication de transistors en couches minces, d'hétérojonctions ou encore de cellules solaires nécessite la production de telles couches avec des vitesses de dépôts relativement élevées. Un autre objectif majeur est de faire croître ces couches minces à partir d'un procédé à basse température ($< 200^\circ\text{C}$) qui soit compatible avec l'utilisation de substrats (verres ou polymères) sujets à des problèmes de stabilité thermique.

L'objectif de ce travail porte sur l'étude du silicium hydrogéné nanocristallin nc-Si:H déposé par pulvérisation cathodique magnétron radiofréquence (RFMS) à basses températures ($T_s = \text{ambiante} - 200^\circ\text{C}$). L'accent sera mis sur l'effet de la pression totale variant de 2 à 4 Pa, et la température du substrat sur la microstructure de notre matériau au seuil de la transition amorphe/nanocristallin. Aussi, nous aborderons une étude des propriétés électriques et optiques de notre matériau et donc d'avoir accès aux principaux éléments caractérisant la transition amorphe/ nanocristallin.

Afin d'accéder à tous les renseignements possibles sur notre matériau, nous avons eu recours à deux techniques de caractérisation complémentaires la spectroscopie d'absorption infrarouge (IR) et la spectroscopie Raman,

Nous présentons dans le premier chapitre l'état de l'art et des généralités sur le silicium.

Le deuxième chapitre sera consacré à la présentation des différentes techniques de dépôt utilisées pour la fabrication de ces couches minces de silicium. Nous insisterons plus particulièrement sur la pulvérisation cathodique radiofréquence à cathode magnétron qui a été utilisée au cours de cette étude.

Nous présenterons dans le troisième chapitre les différentes techniques de caractérisation qui ont été utilisées au cours de ce travail.

Le chapitre IV sera consacré à la présentation et la discussion des résultats obtenus sur les propriétés vibrationnelles et des propriétés structurales Les résultats obtenus pour les propriétés optoélectroniques seront présentés et discutés dans le chapitre V. Nous terminerons l'exposé par une conclusion générale.

[1]- C. Godet, Thèse de Doctorat, Université de Paris Sud, Centre d'Orsay (1987).

[2]- S. Veprek et V. Mareck, *Solid-State Electronics* (Pergamon, New-York), vol. 11, p.683 (1968).