

Technologie des réacteurs à plasmas : Plasmas inductifs et capacitifs basse pression

Philippe LEFAUCHEUX – GREMI UMR 6606 – Bonascre 2003

Les réacteurs plasmas doivent répondre à des exigences sans cesse accrues (vitesse de gravure ou dépôt, uniformité, anisotropie, sélectivité...) tout en supportant des tailles de substrat toujours plus grandes. Il existe plusieurs types de sources plasmas souvent dénommées par leur abréviation anglo-saxonne (RIE, ECR, ICP ...). Pour toutes ces machines, on retrouve des éléments communs tels que le pompage, l'injection des gaz, le porte-substrat ou le refroidissement. Mises à part les considérations géométriques des réacteurs, c'est le couplage de la puissance électrique au plasma qui les différencie le plus.

Nous n'étudierons ici que la technologie des réacteurs plasmas basses pressions (BP) radio-fréquence (RF). Nous y distinguerons les réacteurs à couplage capacitif (RIE) de ceux à couplage inductif (ICP, TCP). On abordera finalement le fonctionnement des réacteurs du type *hélicon* qui peuvent fonctionner dans plusieurs modes.

Réacteur à couplage capacitif (RIE : Reactif Ion Etching)

Par leur construction, les réacteurs RIE sont les plus simples. Ils sont constitués de deux électrodes planes. Le wafer est positionné sur l'électrode inférieure et une tension RF est appliquée entre les deux électrodes pour produire le plasma. Le champ électrique alternatif (à 13.56 MHz) permet aux électrons présents de gagner suffisamment d'énergie pour ioniser des atomes. Les électrons ainsi libérés vont à leur tour participer à l'ionisation du gaz. Par effet d'avalanche, toute la chambre sera remplie avec un plasma dont la densité et la température dépendront de la puissance RF appliquée ainsi que de la pression du gaz. Le plasma est séparé des électrodes et des parois par des gaines. Le champ RF est couplé au plasma par les capacités de gaine et ce sont ces gaines qui déterminent l'énergie des ions sur le substrat.

Réacteur ICP (Inductively Coupled Plasmas)

Ils sont appelés ainsi parce que le champ électrique RF est induit dans le plasma par une antenne externe à la manière d'un transformateur. Ils permettent d'obtenir des fortes densités à basse pression. En fonction de la forme de l'antenne et de sa position, les réacteurs ICP se déclinent en différents types (TPC, DPS...). Pour les plus classiques (ICP symétrique), l'antenne est enroulée autour d'un tube isolant : la source. C'est là qu'est créé le plasma par l'action du champ magnétique RF. Le substrat peut être placé dans une chambre séparée située en dessous de la source à quelques dizaines de centimètres afin d'augmenter l'uniformité du plasma. L'énergie des ions peut être facilement contrôlée en polarisant le substrat par une alimentation RF ou DC indépendante de celle de la source.

Réacteur hélicon

Ce type de réacteurs permet de créer des plasmas à haute densité ($n > 10^{12} \text{cm}^{-3}$) et à basse pression. Une source d'onde hélicon est constituée d'une antenne externe de forme spéciale entourant un tube isolant. Un champ magnétique important ($>100 \text{ G}$) permet à l'onde hélicon de se propager dans le plasma : c'est le mode hélicon. Si le champ ou la puissance sont trop faibles, les conditions pour obtenir une onde hélicon ne sont pas atteintes et le réacteur fonctionne comme un ICP, en mode inductif. Aux puissances encore plus faibles, le couplage devient capacitif et la densité diminue beaucoup. Le substrat est placé sous la source, dans une chambre de diffusion. Pour confiner le plasma, des aimants de polarité alternée sont placés autour de cette chambre. Un compromis entre une bonne homogénéité du plasma et une forte densité peut être trouvé en réglant la distance du substrat à la source.