



Résumé :

Les diélectriques jouent un rôle important dans le fonctionnement des composants en microélectronique. Ils sont omniprésents en tant que barrière diélectrique, isolant intermétallique entre les interconnexions, diélectrique de grille pour les transistors MOS ou isolant pour les composants passifs comme les condensateurs MIM. Cette intégration de composants passifs directement dans les puces est une voie très explorée parce qu'elle prolonge la course à la miniaturisation et à la réduction des coûts mais celle-ci doit s'effectuer avec des performances électriques des composants toujours plus élevées et à des fréquences de plus en plus grandes. Pour répondre à ces exigences, les diélectriques à faible permittivité sont remplacés par les diélectriques à permittivité élevée (i.e. entre 5 et 40), voire très élevée (i.e. >40) nommés respectivement « medium-k » et « high-k ». Les procédés d'élaboration de ces matériaux en couches très minces influencent leurs propriétés électriques et il en résulte la nécessité de les caractériser dans leur configuration réelle d'utilisation et sur une large bande de fréquence du fait des applications visées.

Ces travaux de thèse présentent la méthode de caractérisation hyperfréquence et in-situ développée pour extraire la permittivité complexe des diélectriques. Elle est applicable sur une large bande de fréquences, de quelques MHz à plusieurs dizaines de GHz. Plusieurs configurations de structures de test ont été étudiées afin d'optimiser la précision de cette extraction large bande. Elles ont été classées en deux familles : des structures utilisant des phénomènes de propagation et des structures localisées de type capacitif, chacune étant elle-même divisée en plusieurs catégories adaptées aux différents types de procédés de réalisation des matériaux. Plusieurs diélectriques ont été étudiés, en allant des oxydes de type HfO₂ ou ZrO₂ aux pérovskites de type SrTiO₃ ou PbZrTiO₃, et cela sur une large gamme d'épaisseurs, de quelques nanomètres à quelques centaines de nanomètres. Des techniques de calibrage hyperfréquence et d'optimisation ont été proposées afin de permettre une extraction précise des pertes diélectriques. Une part importante des travaux a aussi consisté à mener ces caractérisations hyperfréquences de la permittivité en fonction de la température et sous la contrainte d'un champ électrique statique afin de comprendre les phénomènes physiques rencontrés et en vue d'une application pour réaliser des composants accordables.

Mots clés :

Diélectriques, high-k, medium-k, low-k, permittivité complexe, pertes diélectriques, caractérisation, hyperfréquence, in-situ, large bande, guide d'onde coplanaire, microruban, condensateur MIM, composants accordables, ferroélectricité.