

Titre : Couches minces antimultipacting pour les accélérateurs de particules

Résumé : Le phénomène du multipactor (ou multipacting) est un problème critique qui peut survenir dans les accélérateurs de particules, en particulier dans les cavités accélératrices supraconductrices radiofréquences (SRF) et les lignes faisceaux. Il se produit lorsque des électrons libres, présents dans la cavité, sont accélérés par le champ électromagnétique RF, entrent en collision avec les parois de la cavité et provoquent l'émission d'électrons secondaires. Ce processus peut se répéter, amplifiant le nombre d'électrons et créant une décharge électronique. L'effet multipactor perturbe le champ RF dans la cavité, réduisant ainsi son efficacité énergétique et entraînant une dégradation des performances globales. De plus, il peut conduire à une surchauffe locale, compromettre la supraconductivité et induire une limitation prématurée du gradient du champ accélérateur. Dans les lignes faisceaux, ce phénomène est à l'origine de la formation de nuages d'électrons dans le LHC par exemple, ce qui limite les performances de la machine en produisant des élévations de pression, des dépôts de chaleur sur les parois, et une augmentation de l'émittance du faisceau de protons.

Le phénomène de multipacting est lié aux propriétés de surface des matériaux, en particulier du rendement d'émission d'électrons secondaires (SEY pour Secondary Electron Yield), qui est le rapport entre le nombre d'électrons secondaires et le nombre d'électrons incidents (électrons primaires). Pour limiter le phénomène de multipacting, il est nécessaire que le SEY soit inférieur à un, ce qui peut être réalisé avec une approche matériaux, grâce à des dépôts sur les parois des composants accélérateurs. Un des matériaux considérés comme antimultipacting est le nitrure de titane (TiN) ou le carbure de titane (TiC) car leur SEY est intrinsèquement faible. Afin d'améliorer les propriétés de ces couches minces, je me suis focalisé sur l'élaboration, la caractérisation et l'étude des propriétés de dépôts à base de TiN_xC_y et de multicouches NbN/TiN. Je me suis intéressé aux propriétés intrinsèques de ces couches en m'affranchissant des effets de rugosité, connus pour diminuer le SEY, en réalisant des dépôts sur des substrats de silicium. Les méthodes de dépôt privilégiées ont été la PVD (Physical Vapor Deposition) qui permet de concevoir rapidement des revêtements modèles et l'ALD (Atomic Layer Deposition) qui permet d'obtenir des revêtements conformes adaptés aux structures tridimensionnelles. Nous présenterons les résultats obtenus en fonction de la nature du revêtement : (i) tout d'abord, la structure (par mesures de diffraction des RX), la morphologie et la microstructure des couches élaborées (par microscopie électronique à balayage), ainsi que l'épaisseur des couches (par réflectométrie X) ont été caractérisées ; (ii) les propriétés physiques (telles que les propriétés électriques par des mesures 4 points) ont été mesurées et des caractérisations physico-chimiques (composition de la couche déterminée par des analyses XPS) ont été réalisées ; (iii) les rendements d'émission d'électrons secondaires des couches déposées ont été mesurés à l'état non conditionné et complètement conditionné par bombardement électronique. Enfin, des dépôts de couches minces de TiN sur des cylindres en cuivre ont été réalisés afin de caractériser l'effet multipactor dans un banc dédié.

Le rôle du carbone sur l'émission d'électrons secondaires a été particulièrement étudiée. Des protocoles d'élaboration en ALD ont été établis pour améliorer la qualité des couches déposés. Enfin, les résultats obtenus ont mis en évidence les effets positifs d'une structure multicouche sur la réduction du SEY, permettant d'ouvrir de perspectives intéressantes et innovantes pour des dépôts antimultipacting dans les cavités SRF.