

## Le plasma, une technologie innovante de coloration

**i** *Materia Nova*  
Fabien Monteverde

Les revêtements décoratifs sont fortement utilisés dans de nombreuses applications industrielles. Leur objectif principal est d'améliorer l'attrait visuel des produits de consommation, notamment dans l'industrie bijoutière, horlogère ou encore des arts de la table.

A l'origine, les technologies par voie humide comme la galvanoplastie constituaient des procédés couramment utilisés pour produire des éléments décoratifs et fonctionnels. Elles ont été supplantées par des technologies par voie sèche, car plus propres et respectueuses de l'environnement: les technologies plasma, en particulier la PVD (Physical Vapor Deposition). Materia Nova a développé en parallèle depuis quelques années une autre technologie plasma: l'implantation par faisceau d'ions, procédé très prometteur pour la coloration de matériaux.

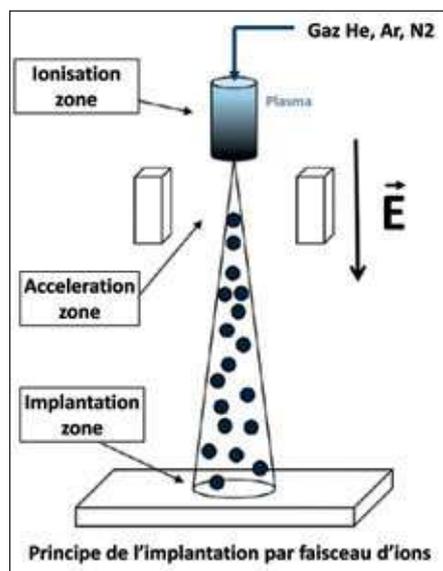
### UNE TECHNOLOGIE INTELLIGENTE POUR DES MATÉRIAUX INTELLIGENTS

L'implantation par faisceau d'ions est une technologie plasma sous vide qui permet de modifier les propriétés de surface et d'extrême surface de matériaux, en particulier les propriétés tribologiques (dureté, frottement, résistance à l'usure...) et physico-chimiques (résistance à la corrosion, à l'oxydation à haute température, amélioration de la conductivité électrique, mouillabilité, structuration de surface...).

Elle trouve également de nombreuses applications dans le domaine de l'esthétique, par sa capacité à modifier les propriétés

optiques (réflectivité dans le visible, luminosité, couleur...) des matériaux, et principalement des métaux.

Le principe de l'implantation par faisceau d'ions consiste à accélérer des ions énergétiques (de quelques keV à quelques dizaines de keV) multichargés et à les faire s'implanter dans les matériaux à traiter. L'ion, en pénétrant dans le matériau, va progressivement perdre son énergie cinétique dans des collisions avec les électrons et les noyaux des atomes, modifiant ainsi l'organisation atomique locale et la structure cristalline du solide. La nature des ions, leur masse, leur énergie ainsi que la fluence (nombre d'ions implantés/cm<sup>2</sup>) vont permettre de monitorer les propriétés du matériau.



Cette technologie représente une alternative forte à la PVD pour la modification de la couleur de matériaux. En effet, l'un des principaux avantages de cette technologie est qu'on ne forme pas de couche supplémentaire en surface comme pour la PVD, évitant ainsi les problèmes de délamination, d'interface ou de surépaisseur. Les ions vont rentrer dans le matériau

sans modifier les dimensions des pièces traitées.

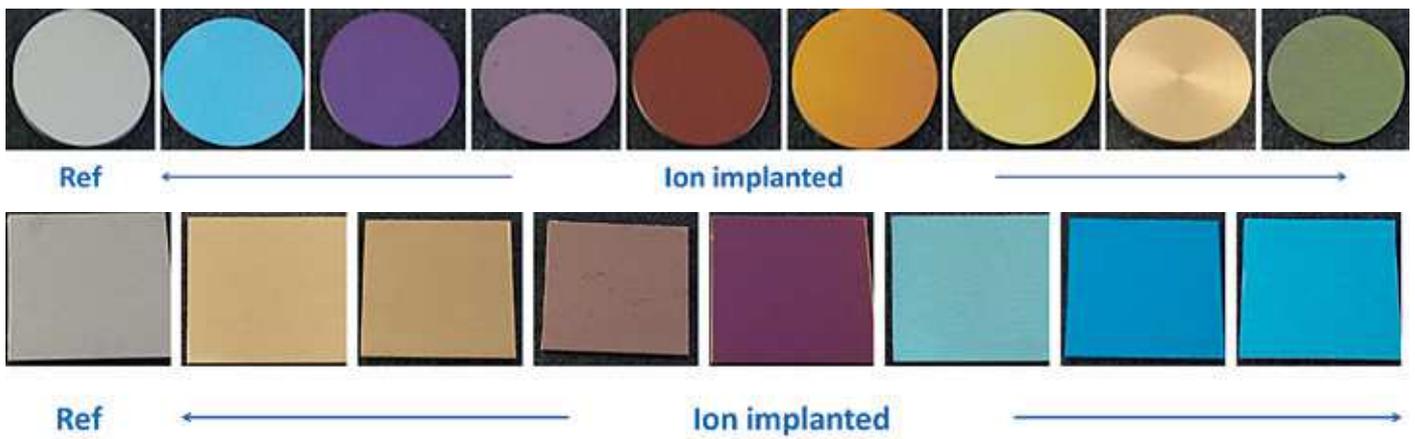
Le procédé est un traitement à basse température. On peut ainsi l'appliquer directement sur tout type de matériau solide et supportant le vide. On peut néanmoins chauffer les échantillons in situ afin de favoriser la diffusion des ions dans la profondeur du matériau et ainsi augmenter les épaisseurs traitées.

Cette technologie a également pour avantage d'implanter des éléments non miscibles ou de dépasser les limites de solubilité, donnant accès à des compositions chimiques, des alliages thermodynamiquement instables.

Enfin, le procédé est actuellement développé à l'échelle industrielle via la plateforme technologique WaliBeam (<https://www.materia-nova.be/fr/nos-projets/wali-beam/>).

### UNE PALETTE DE COULEUR ÉTENDUE

La technologie est adaptée à de nombreux matériaux métalliques: aciers inoxydables, titane, zirconium, nickel, silicium... et d'alliages de matériaux métalliques (alliage de titane, d'aluminium...). Le procédé d'implantation ionique se suffit la plupart du temps à lui-même afin d'obtenir des gammes de couleurs étendues pour chacun des métaux précédemment cités. Dans certains cas, notamment pour des métaux moins sensibles à la coloration ou pour atteindre des gammes de colorations plus variées, on peut ajouter une étape supplémentaire de post-traitement thermique. Ici, les degrés de liberté du post-traitement (température, durée et



atmosphère) vont démultiplier les variations colorimétriques. Généralement, ces traitements sont réalisés à l'air ambiant que l'on pourrait substituer à d'autres mélanges de gaz (oxygène, méthane, azote...) pour promouvoir des nouvelles teintes.

La particularité de l'implantation par faisceau d'ions utilisée à Materia Nova est la production d'un faisceau d'ions multichargés. A partir d'un gaz unique, le procédé crée des ions ayant différents états de charge: +1 (monochargés) à +X (multichargés) dont la distribution énergétique est connue. En exemple, un faisceau d'ions azote présentera environ 60% d'ions monochargés ( $N^+$ ) et 40% d'ions multichargés ( $N^{2+}$ ,  $N^{3+}$ ,  $N^{4+}$ ...). Ces variations d'état de charge vont, entre autres, agir sur la distribution des ions dans la profondeur du matériau implanté, provoquant ainsi des zones de densité ionique variables qui vont directement impacter les interférences lumineuses à l'origine de la coloration des matériaux.

Le second paramètre d'importance dans la coloration par implantation par faisceau d'ions concerne la nature elle-même des ions. Dans ce cas, deux aspects vont jouer:

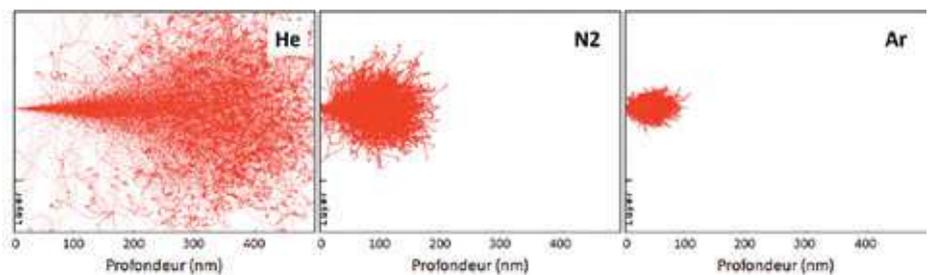
- La taille de l'ion va définir les profondeurs de pénétration. La figure ci-après montre la distribution dans la profondeur pour des implantations de trois ions monochargés: He,  $N_2$  et Ar où l'on peut observer clairement l'impact de la taille de l'ion sur la profondeur de péné-

tration et par conséquent sur la coloration en réflexion du matériau.

- La réactivité de l'ion avec le matériau cible va également modifier les interférences lumineuses dans le matériau. En effet, en considérant des ions oxygène, azote ou carbone, il sera possible au cours du procédé d'implantation de partiellement former respectivement des oxydes, nitrures ou carbures du matériau de base, chacun de ces composés ayant des propriétés optiques singulières en matière de réflectivité de la lumière.

Les différentes illustrations de cet article démontrent également que cette technologie peut être adaptée à différents types de géométrie d'échantillon: le plat bien évidemment, mais également les poudres, les objets en vrac et les pièces en 3 dimensions.

Materia Nova continue actuellement à développer de nouvelles solutions afin de proposer à ses clients des palettes de couleur encore plus étendues, mais également des alternatives pour colorer des pièces plastique, du verre ou des céramiques.



Simulation d'une distribution d'ions monochargés He,  $N_2$  et Ar

D'autres paramètres du procédé vont permettre d'ajouter des degrés de liberté sur la palette de couleur disponibles, comme la quantité totale d'ions implantés par unité de surface, l'énergie des ions et enfin l'angle d'incidence du faisceau par rapport à la surface du matériau. En diminuant l'angle, nous allons réduire les profondeurs de pénétration et avoir des effets d'implantation en extrême surface, même pour des ions de haute énergie.



Ion implanter chamber