



ion beam services

**Ion Beam Services**

ZI Peynier / Rousset

Rue G. Imbert Prolongée

13790 Peynier, France

Tel. : +33 4 42 53 89 53

Fax : + 33 4 42 53 89 59

Email : [frank.torregrosa@ion-beam-services.fr](mailto:frank.torregrosa@ion-beam-services.fr)

***APPLICATIONS DE  
L'IMPLANTATION IONIQUE  
POUR LE BIOMEDICAL***

## APPLICATIONS DE L'IMPLANTATION IONIQUE POUR LE BIOMEDICAL

F. Torregrosa

*Ion Beam Services (IBS) ZI Peynier / Rousset, rue Gaston Imbert Prolongée,*

*13790 Peynier, France*

*Tel. : 04 42 53 89 53, Fax. : 04 42 53 89 59*

*Email: frank.torregrosa@ion-beam-services.fr*

Ion Beam Services (IBS) créée en 1987 par un groupe de chercheurs et d'ingénieurs du semi-conducteur, fut la première société privée proposant un service de sous-traitance en implantation ionique à façon. Elle est maintenant reconnue comme le spécialiste européen de l'implantation ionique et des techniques associées. Son chiffre d'affaire atteint aujourd'hui 5 millions d'euros pour une quarantaine d'employés. 40 % du CA est effectué avec des clients étrangers, principalement Européens. IBS travaille principalement pour le semi-conducteur (implantation à façon, maintenance d'implanteurs et de pompes à vides, dépôt de couches minces) mais depuis 7 ans elle développe un service de traitements pour applications mécaniques (traitements des prothèses orthopédiques pour réduire l'usure, des moules d'injection pour faciliter le démoulage...). Dans ce domaine, ses ingénieurs optimisent les traitements pour chaque problème industriel et développent un implanteur spécialement conçu pour le traitement des pièces mécaniques (implanteur MECAIONIC®). Les applications biomédicales, où les contraintes de propreté, de reproductibilité et de contrôle de procédés sont similaires à celles du semi-conducteur, sont très bien adaptées à la technique de traitement par implantation ionique. Par ailleurs, l'implantation ionique en tant qu'étape de fabrication des puces sur silicium participe au développement des biocapteurs.

### **1 - Principe de l'implantation ionique :**

#### Introduction

L'implantation ionique a vu ses premières applications industrielles au début des années 70, dans le domaine des semi-conducteurs. Elle remplace la diffusion, pour introduire un dopant dans un matériau. Cette application n'a cessé de se développer depuis lors. Ses premières applications industrielles, en tant que traitement de surface, pour améliorer les propriétés tribologiques (usure, frottement, ...), physiques (résistance à la fatigue, ...) ou physico-chimiques (résistance à la corrosion, ...) datent d'il y a dix ans environ.

#### Les bases de l'implantation ionique

Le principe de l'implantation ionique consiste à accélérer des ions par des tensions de quelques kV à quelques centaines de kV et à les faire "percuter" les surfaces à traiter.

L'ion, en pénétrant dans le matériau, va perdre son énergie cinétique dans des collisions avec les électrons des atomes (freinage électronique) puis dans des collisions avec les noyaux des atomes (freinage nucléaire). (voir fig. 1)

Le freinage nucléaire a pour effet de mettre en mouvement les atomes du substrat, entraînant des collisions en chaîne qui désorganisent localement la structure cristalline du solide. La répartition finale des ions étant le résultat d'un processus aléatoire (les collisions de nombreux ions avec les atomes du substrat), elle est bien représentée par une courbe de Gauss, caractérisée par la position  $R_p$  de son maximum et sa demi largeur à mi-hauteur  $\Delta R_p$ . Ces deux paramètres suffisent à caractériser en première approximation la pénétration d'un ion

quelconque dans une cible quelconque. La pénétration peut être vérifiée expérimentalement par des techniques très élaborées (analyses SIMS, Auger, RBS).

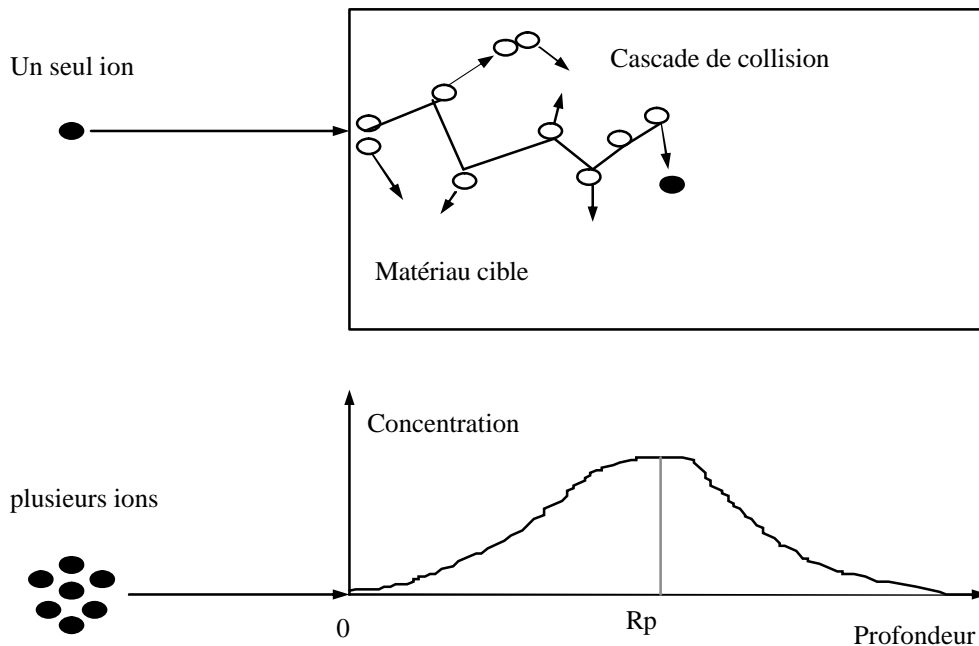


Figure 1 : Principe de l'implantation ionique

### Les principaux paramètres

*Les paramètres à régler sur la machine sont*

- L'énergie des ions ( de 0 à 200 keV).
- Le courant de faisceau fourni par l'implanteur qui dépend des caractéristiques de la machine et de l'espèce implantée.
- La dose par unité de surface en ion/cm<sup>2</sup> qui est proportionnelle à la durée et au courant d'implantation.

*Les paramètres des surfaces traitées sont*

- La profondeur d'implantation Rp qui est directement liée à l'énergie des ions et à leur masse atomique, ainsi qu'à celle des atomes de la cible.
- La concentration, définie en atome/cm<sup>3</sup> qui est directement liée à la dose.

### La machine

Les implanteurs classiques sont constitués des éléments suivants :

- La source délivre des ions à partir d'un plasma formé avec un gaz contenant l'espèce à implanter.
- L'analyseur magnétique opère un tri en sélectionnant la masse de l'espèce voulue à une énergie donnée.
- L'accélération est donnée par une série d'électrodes portées à un potentiel croissant.
- La focalisation du faisceau d'ions est obtenue, dans la plupart des cas, par un jeu de "lentilles électrostatiques".
- Le balayage de la cible permet d'obtenir une répartition homogène sur toute surface à partir d'un faisceau ponctuel (qq mm<sup>2</sup>).

Au delà de ces éléments de base, une machine comporte les fonctions suivantes:

- Comptage des ions pour arrêter l'implantation quand la dose visée est atteinte.
- Chargement et déchargement des pièces.
- Système de pompage permettant d'obtenir un vide poussé.
- Electronique de commande et de contrôle de l'ensemble de la machine.

### Avantages et inconvénients de l'implantation ionique en tant que traitement de surface :

#### *Avantages*

- L'implantation ionique est un traitement à basse température. Pour des pièces de précision, elle ne provoque pas de déformation thermique.
- Il n'y a pas de variation dimensionnelle. On peut l'appliquer directement sur des pièces finies.
- L'implantation ionique permet d'implanter n'importe quelle espèce dans n'importe quel matériau. Elle permet de dépasser la solubilité limite et d'introduire des éléments non-miscibles dans le substrat.
- Ce n'est pas un dépôt, il n'y a donc pas de surépaisseur ni de risque de délamination.
- Enfin, l'implantation ionique est un procédé très simple: il n'y a que quelques paramètres, tous facilement reproductibles et contrôlables par un courant ou une tension.

#### *Inconvénients*

- Les surfaces à traiter doivent être externes ou en vue directe du faisceau.
- Les épaisseurs traitées sont faibles (<1µm). (mais les améliorations apportées par l'implantation sont souvent conservées sur des profondeurs supérieures à l'épaisseur traitée.)

## **2 - Les effets principaux**

Afin d'analyser les effets de l'implantation ionique comme traitement de surface, on peut distinguer, d'une part des effets chimiques ou physiques mesurables, et d'autre part des effets opérationnels concernant les propriétés d'emploi de la surface. Ces effets globaux résultent de l'interaction de plusieurs phénomènes microscopiques.

#### Modifications physico-chimiques

- Mise en compression de la surface irradiée
- Amorphisation, formation de verres métalliques.
- Création de solutions solides sursaturées.
- Précipitation à grains très fins de certaines phases, formées ou déjà présentes.
- Formation d'une couche passivante et / ou bloquant la diffusion.
- Modification de l'énergie de surface, de l'activité chimique de la surface.
- Effets d'ensemencement entraînant :
  - la précipitation à grains fins lors d'un recuit ou de l'usage (élévation de la température au point de frottement).
  - la formation accélérée d'un oxyde protecteur.
- la modification de la cinétique d'oxydation conduisant à la formation d'un oxyde plus favorable (oxyde isomorphe de l'espèce d'ensemencement).

Les principales propriétés et leurs domaines d'application :

Propriétés	Améliorations	Domaine d'application
<b>MECANIQUES</b>	Usure Frottement Fatigue	<i>Spatial</i> <i>Aéronautique</i> <i>Mécanique</i> <i>Outillage</i> <i>Biomédical</i> <i>Instrumentation</i>
<b>CORROSION</b>	Oxydation à haute t° Corrosion aqueuse Piqûration Adsorption d'hydrogène Corrosion saline	<i>Industrie chimique</i> <i>Aéronautique</i> <i>Moteurs, turbines</i> <i>Produits corrosifs</i> <i>Nucléaire</i> <i>Milieus aqueux ou humides</i> <i>Aéronaval</i> <i>Biomédical</i>
<b>PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUE</b>	Energie de surface et mouillabilité Adhésion, démoulage Activité chimique, catalyse Biocompatibilité en général. Hémo-compatibilité Cyto-compatibilité. Action antithrombogénique.	<i>Polymères biomédicales</i> <i>Optique</i>  <i>Injection plastique</i>  <i>Chimie</i>  <i>Biomédical</i>

### **3 - Exemples d'application :**

L'implantation ionique permet d'implanter de très nombreuses espèces atomiques dans tout type de substrat. Le tableau qui suit présente les applications biomédicales plus classiques de cette technique.

Matériaux	Applications	Espèce implantée	facteur d'amélioration
Ti-6Al-4V, CoCrMo, UHMWPE	réduction de l'usure des prothèses articulaires	N	x 8 to 100
silicone	thrombo-résistance des catheters	N, O, C, Ar	x 10
silicone	surfaces antibactériennes pour catheters	Ag	100 % de disparition des bactéries

Tableau 1 : Quelques exemples classiques de l'utilisation de l'implantation ionique dans le biomédical.

### **4 - Les évolutions de la techniques et les nouvelles perspectives :**

Une évolution récente de l'implantation par faisceau d'ions et l'implantation par immersion plasma ou PIII (aussi appelé PSII ou PBII). Dans cette technique, les pièces à traiter baignent directement dans le plasma désiré. Les ions sont accélérés en utilisant une haute tension pulsée. Le traitement étant tridimensionnel, il n'y a plus besoin de système de focalisation et de balayage du faisceau. Les temps de traitement, donc les coûts sont réduits. IBS est la première société Française à avoir développé une machine de ce type. Contrairement aux implanteurs classiques qui coûtent plusieurs millions de francs et doivent être manipulés par un personnel hautement qualifié, le coût réduit des machines d'immersion plasma et leur facilité d'utilisation peuvent en faire des machines directement utilisables dans des ateliers de fabrications mécaniques au même titre que les machines outils.

### **5 – Implantation ionique pour fabrication de biocapteurs :**

Depuis 1998, IBS réalise avec ses moyens de microtechnologies divers composants et capteurs sur silicium. L'implantation ionique est alors une des nombreuses étapes de fabrication des ces composants (réalisation du dopage électrique).

Les développements de ces micro-capteurs pour les applications biomédicales est en pleine effervescence. On peut par exemple citer :

- Capteur de rayonnement pour imagerie médical ou radiothérapie.
- Capteur de pression et de flux sanguin
- Capteur de température
- Capteurs chimiques (détections d'ions, analyse de gaz...)
- Microfluidique : libération contrôlée de médicament
- Capteur optique pour Biopsi / détection du cancer
- « Lab on chip » : laboratoire complet d'analyse sur une puce.
- Puce d'analyse ADN
- Anthropométrie ...