

İMLANTASYON PROSESİNDE KULLANILAN İYON IŞINI EKİPMANLARI

Nurşen AKBAŞ, İ. Etem SAKLAKOĞLU***

** Dr., Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fak., ** Arş. Gör., Celal Bayar
Üniversitesi Müh. Fak.*

ÖZET

Son 10-20 yıldır iyon implantasyonu ve diğer benzeri teknikler sertlik, aşınma direnci, korozyon direnci vb. gibi malzemelerin yüzey özelliklerinin iyileştirilmesinde önemli bir metod olmaya başlamıştır. Bu gelişim iyon kaynaklarındaki ve diğer iyon ışını ekipmanlarındaki araştırma ve geliştirme çalışmalarının artışıyla birlikte olmuştur.

Bu makalede iyon üreteçlerinin fiziksel prensiplerine bir giriş yapılmış ve birkaç farklı tip üreteç hakkında bilgiler gözden geçirilmiştir.

Anahtar sözcükler: *İyon implantasyonu, iyon ışını ekipmanları, plazma, MEVVA*

ABSTRACT

In the last decade or two, ion implantation and related techniques have become important methods to improve the surface properties of materials, such as hardness, wear-resistance, corrosion-resistance, etc. This improvements in the method has occurred with the growth of research and development on ion sources and other ion beam equipments.

Not only is this article introduction to ion implantation and its equipments but also different kinds of sources and their physical principles have been reviewed.

Key words: *İon implantation, ion beam equipments, plasma, MEVVA*

GİRİŞ

İyonlar ve elektronlar atom moleküllerinden elde edilen yüklü partiküllerdir. Yüklü partiküllerin başlıca avantajları elektrik ya da manyetik alanda tahmin edilebilir bir yol izlemeleridir. Elektrik ya da manyetik alan ile kontrol edilen iyonlar ya da elektronlar bir "iyon ışını" veya "elektron ışını" oluştururlar. Yüzey modifikasyonunda, iyonlar atom veya moleküllerden bir veya daha fazla elektronun çıkarılması ile oluşan pozitif yüklü partiküller olarak tanımlanır. Bazen dışarıdan elektron yakalanarak negatif iyonlar da elde edilebilmektedir.

Vakum altında iyonlarla işlem gören yüzeylerde, iyon kaplama ve iyon implantasyonu gibi yöntemlerle büyük değişiklikler gerçekleştirilebilmektedir. İyon implantasyonu, 0,01 ile 1 mm arasında değişen derinliklerde yabancı atomların girişiyle yeni bir yüzey tabakası oluşturan dengesiz bir prosestir. İyon implantasyonu ilk olarak 1906'da Rutherford tarafından çift yüklü pozitif helyum iyonlarının alüminyum folyoya bombardıman edilmesiyle ortaya çıkarılmıştır. Ancak ilk ticari iyon implantasyonu uygulaması, yarı iletken endüstrisinde 1970'li yıllarda gerçekleşmiştir. Bu tarihten sonra, yarı iletken endüstrisinde iyon implantasyonu uygulaması transistörlerin, metal oksit yarı iletkenlerin, diodların ve kapasitörlerin imalinden bugünün mikroprosesör cihazlarının üretimine kadar yaygın şekilde uygulanmaktadır. Günümüzde, iyon implantasyonu malzemelerin mekanik ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesinde güçlü bir metot olarak tanımlanmaktadır.

İyon implantasyonunun gerçekleştirilmesi için, ilk olarak implante edilecek (katot) elementin atomlarından elektronların uzaklaştırılmasıyla iyonlar üretilir. Bu pozitif yüklü iyonlar bir yüksek elektrik alan potansiyelinde hızlandırılırlar. Genelde, ışını odaklamak ve yönlendirmek üzere manyetik alan uygulanır. Işın, hedef malzemedeki istenen implantasyon konsantrasyonuna ulaşılan kadar uygulanır. Yüzey özellikleri, implante edilen iyonların ve iyon enerjilerinin kontrolüyle geniş bir aralıkta değiştirilebilir [1, 2].

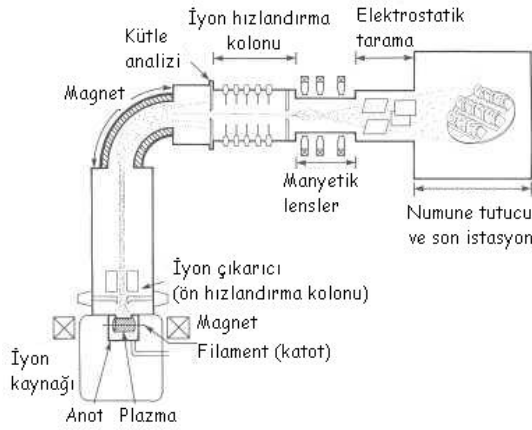
İYON IŞINI EKİPMANLARI

Bir iyon implantasyonu ekipmanının ana parçaları şunlardır:

- Katıları, sıvıları ya da gazları iyonize eden iyon kaynakları,
- İyonları yüksek kinetik enerjili hale getiren hızlandırıcı sistem,
- İyonları kütlelerine göre ayıran analiz sistemi (kütle ayırıcı),

□ İşlenecek yüzeye iyonları homojen şekilde dağıtan tarama sistemi

Şekil 1'de tipik bir iyon implanteri görülmektedir. Bu cihaz herhangi bir elementin düşük yoğunluklu iyon ışınlarını üreten bir iyon kaynağı, kaynaktan iyonları çıkaran ve hızlandırma sütunu boyunca hızlandıran yüksek potansiyel elektrodları, çeşitli iyonları ayıran iyon analiz magnetleri ve numune odasına doğru iyon ışınlarını odaklayan elektrostatik tarama plakaları içermektedir [3, 4, 5].



Şekil 1. Tipik bir iyon implanterinin şematik

görünümü

İyon İmplantasyonunda Kullanılan İyon Kaynakları

İyon kaynakları, implante edilecek elementin iyonizasyonunu gerçekleştirerek iyonların oluşumunu sağlayan bir üreteçtir. Bir iyon kaynağı için en önemli parametreler; servis ömrü, güvenilirliği ve yüksek akım üretebilme kabiliyetidir. Konstrüksiyonun detayları çok değişken olmakla birlikte; güvenli, yüksek akım üretimine izin veren değişkenleri genelde aynıdır. İyon implantasyonunda kullanılan iyon kaynaklarının çoğu pozitif iyon kaynaklarıdır ve ark deşarjıyla ya da diğer yollarla üretilen plazmadan çıkarılır.

Böyle kaynakların çalışması implante edilecek elementi içeren plazma üretimine bağlıdır [6].

Plazmanın Üretimi

Plazma oluşumu iyon kaynağının kalbidir. Üretilen iyon ışını plazmanın karakteristiklerini taşır. Örneğin, iyon ışını akımı doğrudan plazma yoğunluğuyla

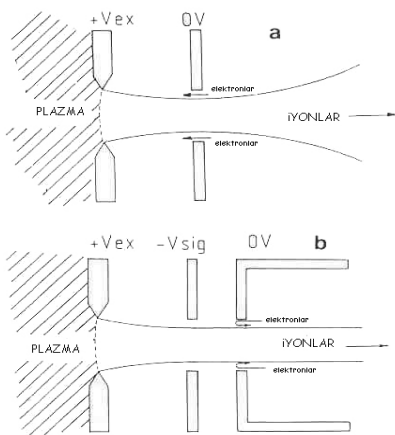
ilgilidir. Yüksek yoğunlukta iyon ışınının elde edilmesi için yoğun bir plazmanın üretimi gereklidir.

Plazma; iyonları ve elektronları içeren bir karışımdır. Plazma, buhar olarak sisteme giren bir kaynak malzemesinin atomları veya molekülleriyle enerjistik elektronların çarpışmaları sonucunda meydana gelen iyonizasyon prosesiyle üretilir. Üretildikten sonra, iyonlar ve elektronlar vakum odasının duvarlarına doğru gitmeye eğilim gösterecektir ve yeniden birleşerek kaybolacaktır. Bu nedenle, çeşitli elektrik ya da manyetik alan düzenlemeleri kullanılarak önlenmeye çalışılır [6, 7].

Plazmadan Işının Çıkarılması

Işın çıkarma prosesi temel olarak, delikli bir hızlandırma elektrodu (ızgara) ile plazmanın bulunduğu bölge arasına yüksek voltaj uygulanmasından ibarettir. Tüm ark odası 20 kV veya daha yüksek gerilimde tutulur ve ikinci bir elektrodla topraklama yapılır. Pozitif iyonlar ızgaradaki delikler boyunca plazmadan çekilir (Şekil 2-a). Ancak, serbest kalan elektronların hızlanarak ark odasına geriye dönme tehlikesi vardır. Bu durum ısınma zararına ve istenmeyen radyasyon oluşumuna neden olmaktadır. Bu nedenle, ark odası ile topraklama arasına her zaman üçüncü bir elektrod yerleştirilir ve negatif gerilim verilir. Böylece ışın içindeki elektronlar yakalanarak, ark odasına geçmeleri önlenir (Şekil 2-b).

Işındaki akım yoğunluğu, temel olarak plazma yoğunluğuna ve ortalama iyon hızına bağlıdır. İyon hızı ise, büyük oranda, çıkarma (ekstraksiyon) voltajına bağlıdır [6].

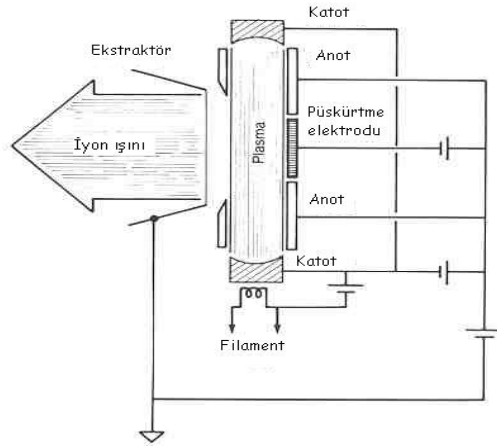


Şekil 2. (a) Diod Çıkarma Sistemi (b) Triod Çıkarma Sistemi

PIG İyon Kaynakları

Penning Ionization Gauge (PIG) tipi iyon kaynağı; çok yüklü gaz iyonlarının ve düşük ergime noktalı elementlerin kaynağı olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır.

Şekil 3, bir PIG iyon kaynağını göstermektedir. Deşarj bölgesi silindirik bir anot ile anodun iki ucuna yerleştirilmiş iki katottan meydana gelmektedir. Her iki katottan yayılan elektronlar bir ışın olarak anot boşluklarına hızlanırlar. Birincil ışın elektronların, sistemdeki gazı iyonize etmesiyle plazma üretimi gerçekleşir.



Şekil 3. PIG Kaynağının Sistemik Şekli

Katottan birincil elektronların yayınımlı ya ikincil emisyon (soğuk katot), ya termioyonic emisyon (sıcak katot) ile ya da her ikisinin kombinasyonu ile gerçekleşir.

Soğuk katot Penning kaynakları iki tane iyi soğutulmuş katot gerektirir. Birincil elektron enerjisi ve iyon üretim oranı, katot malzemesine, nötral gaz ve kaynak boyutlarına bağlıdır. Her yayınan elektron, sisteme verilen gazdan yarım düzine ya da daha fazla iyon üretir.

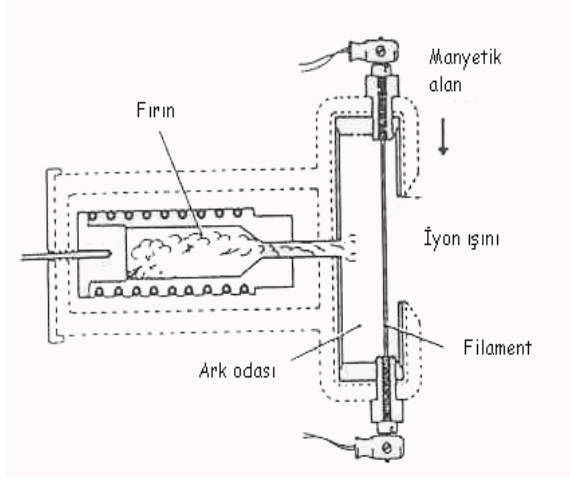
Sıcak katot Penning kaynaklarında, uzun katot ömrü sağlamak üzere katot ısıtılır. Kaynak genelde büyüktür ve yüksek kapasiteli işler için uygundur. Elektron yayınımlı termioyonicdir. Katot, plazmadan iyon bombardımanı ile ya da iki katottan birine yöneltmiş elektron tabancası kullanılarak ısıtılır [8].

Freeman Kaynağı

Freeman kaynağı hem orta, hem de yüksek akım implanterlerinde en yaygın kullanılan iyon kaynağıdır. 50 mA/cm²'ye kadar akım yoğunluklu iyon ışını üretebilirler. Ark voltajı düşük ve genelde 50-120 V arasındadır. Onları bu kadar popüler yapan genel özellikleri basit, güvenilir, üniversal olmaları ve yüksek ışın kalitesidir. Freeman kaynağı şematik olarak Şekil 4'te verilmiştir. İyonize edici elektronlar düz bir tungsten çubuktan yapılmış olan filamentten üretilirler.

Filamentten üretilen elektronlar gaz ya da buharla çarpışarak saçılırlar ve iyonizasyon gerçekleşir. İyon ışını bu deşarjdan dikdörtgen boşluklar boyunca çıkarılır. Işına dik manyetik alan uygulanarak ışın yolu saptırılır [6].

Bir Freeman kaynağının etkin çalışması filament emisyonuna, ark voltajına ve manyetik alana bağlıdır. %30 iyonizasyon verimi rutin olarak elde edilebilmektedir. Ancak, filament diğer dizaynlardan daha hızlı aşındığından ömrü sınırlıdır [8].



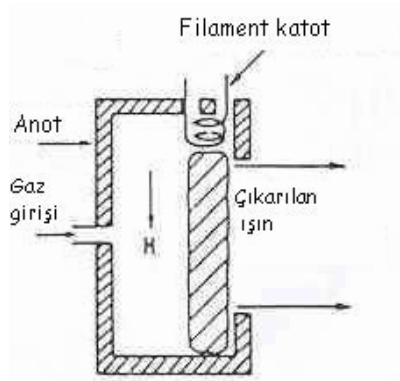
Şekil 4. Freeman Kaynağı Ark Odası

Bernas Kaynağı

Bernas kaynağı yüksek akım implanteri olarak kullanılmaktadır. Ark odası Freeman kaynağının şekline benzer, uygulanan potansiyeller de aynıdır, ancak Bernas filamentini ark odasının sonuna küçük spiral şeklinde yerleştirilmiştir (Şekil 5) [6].

Mikrodalga İyon Kaynağı

Mikrodalga iyon kaynakları, sık tüketilen bir bileşen olan "filament"e sahip olmamaları nedeniyle, giderek daha fazla ilgi toplamaktadır. Yakın bir gelecekte mikrodalga iyon kaynaklarının sıcak filament iyon kaynaklarının yerini alması beklenmektedir. Ancak, bu kaynakların tam olarak avantajlarını gösteren çalışmalar henüz tamamlanmamıştır. Hitachi firmasında, Freeman kaynağının geometrisine benzer bir mikrodalga iyon kaynağını bir süredir kullanmaktadır. Burada, Freeman kaynağına benzer akım yoğunluklarına ulaşıldığı ve daha uzun servis ömrü getirdiği ifade edilmiştir. Bu iyon kaynağı Şekil 6'da verilmiştir [6,8].



Şekil 5. Bernas Kaynağı

Metal Buhar Vakum Ark İyon Kaynağı (MEVVA)

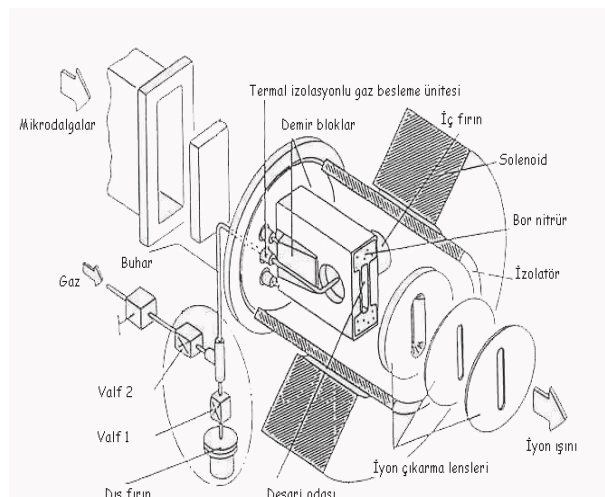
Metal Vapor Vacuum Arc (MEVVA) iyon kaynağı Lawrence Berkeley Laboratuvarında Brown ve ark. tarafından geliştirilmiş olan yeni bir yüksek akımlı iyon ışını üreticidir. İyonlar metal buhar vakum arkıyla üretilen plazmadan çıkarılırlar.

Metal buhar vakum arkı, vakum içersinde iki metalik elektrod arasındaki plazma deşarjıdır. Bu tür deşarj uygun bir vakum ortamında birbirinden ayrılmış iki elektroda yüksek akım, düşük voltaj güç sağlayıcının bağlanmasıyla oluşur.

Gövde, simetrik bir silindirden ibarettir. Burada, katotta oluşan plazma yaklaşık 1 cm çapında anottaki merkezi bir delik boyunca akar, birkaç cm yol aldıktan sonra hızlandırma ızgaralarına ulaşır. Anot ve katottaki ısının uzaklaştırılması için, soğutma uygulanır. Katot, iyonları üretilecek malzemenin basit silindirik şeklidir. Tetikleme elektrodu katot ucunu çevreler. Katot yaklaşık 1 mm çaplı ince bir alümina izolatörle kaplıdır. Vakum arkıyla katodun yalnızca ön yüzeyi aşınır. Plazma, katot malzemesinden (katod spotlarının olduğu malzemeden) oluştuğundan, deşarj bölgesindeki diğer komponentlerden plazmaya katılım olmaz. Dolayısıyla tetikleme elektrodu, tetikleme-katod izolatörü ve anot kritik parçalar değildir.

Manyetik alan bobini ark bölgesinin dışına yerleştirilmiştir. Manyetik alan iyon üretimi aşamasında gerekli değildir. Ancak, iyon üretimi etkinliğinde artış

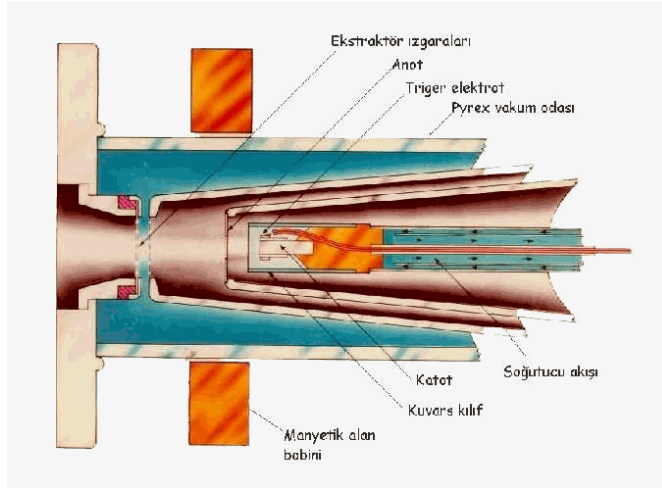
sağladığından, kullanılması önerilmektedir [9,10].



Şekil 6. Mikrodalga Kaynağı

İyon Hızlandırma Sistemi

İyon kaynaklarında iyonlar düşük enerjide üretilirler ve iyon çıkarıcı sistemin ızgaralarına yakın hareketsiz plazmada toplanırlar. Buna göre, iyonlar üretilir ve elektrodlar yardımı ile gerekli enerjiye hızlandırılırlar. Ekstraksiyon voltajı 50-60 kV'a kadar çıkarılabilir. Tipik bir triod çıkarıcısında iyonlar ilk elektrodlardaki delikler boyunca toplanır. İkinci elektrod, iyonları çekmek üzere negatif olarak yönlendirilir. Üçüncü elektrod, plazmaya geri dönüşten dolayı oluşabilecek nötralizasyonu önlemek için ikinciye göre pozitif yüklenir. Bu sisteme "accel-decel" sistemi denir [4].



Şekil 7. MEVVA İyon Kaynağı
(Mevva II-B)

Kütle Analiz Sistemleri

Üretilen iyon ışını katot malzemesinin farklı yüklü atomlarının bir karışımıdır. Ayrıca, iyon ışını, az miktarda, kaynak duvarlarından saçılarak oluşan iyonları ve

kalıcı gazların iyonizasyonu ile oluşan iyonları da içerir. Pek çok uygulamada, gereksiz olan iyonları ayırmak ve yalnızca istenen iyonları hedefe odaklamak, özellikle istenmektedir.

Aynı enerjili ancak farklı kütleli yüklü partiküller bir manyetik alan kullanılarak ayrılabilir. Yüklü bir partikül manyetik bir alandan geçtiğinde, R yarıçaplı dairesel bir yörüngeye sapar;

$$(M V / n) (1) \sqrt{R} = (144/B) \times$$

M : İyon kütlesi

V : Hızlandırma voltajı

B : Manyetik alan (Gauss)

n : İyonun yük durumu

Aynı enerji ve yük durumunda ancak farklı kütlede olan partiküller farklı çapa sahip yörünge izler ve böylece birbirlerinden ayrılabilir [4].

İyon Işını Taraması

Çoğu uygulamada, homojen bir implantasyon yapabilmek için ışın taraması gereklidir. Elektrostatik tarama, ~ 5 mA kadar olan düşük ve orta akım iyon ışınları için ve maksimum enerjisi 100-500 keV olan implanterler için kullanılmaktadır. Elektrostatik iyon tarama sistemi iki veya üç çift saptırma plakası içerir. Yüksek ışın akımlarında (~ 10 mA) ışının elektrostatik taraması, istenmeyen hedef ısınması nedeniyle güçtür. Bu yüzden, yüksek akımlı iyon ışınları (15mA ve 200keV'e kadar olan enerji aralığı) için numunenin hareketli olduğu mekanik tarama sistemleri tercih edilir [4].

SONUÇ

İyon implantasyonu yüksek vakum içersindeki enerjistik iyonların bir ışın yoluyla katı içine doğru gömülmesi ve böylece katının yüzeye yakın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin modifiye edilmesi prosesidir.

İlk ticari iyon implantasyonu uygulaması, yarı iletken endüstrisinde 1970'li yıllarda gerçekleştirilmiştir. Bu tarihten sonra yarı iletken endüstrisinde iyon

implantasyonu uygulaması transistörlerin, metal oksit yarı iletkenlerin, diodların ve kapasitörlerin imalinden bugünün mikroprosesör cihazlarının üretimine kadar yaygın şekilde uygulanmaktadır. Geçtiğimiz 20-30 yıl içerisinde, iyon implantasyonu malzeme mühendisliği uygulamalarına da yönlendirilmiştir. Günümüzde, iyon implantasyonu malzemelerin mekanik ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesinde güçlü bir metot olarak tanımlanmaktadır.

Prosesin yaygınlaştırılması ve endüstriyel olarak kullanılabilir hale gelebilmesi uygun malzemeye uygun elementlerin implante edilmesiyle, bu işe uygun ekipmanın seçilmesiyle mümkün olabilecektir.

Bu makalede, çeşitli iyon ışını ekipmanları ve iyon üreteçleri tanıtılmış, yüzey modifikasyonu alanında yarının potansiyel tekniği olan iyon implantasyonu yöntemi hakkında genel bilgi verilmiştir.

KAYNAKÇA

- 1. N. Akbaş**, "İyon İmplantasyonu Yöntemiyle Yüzeyi Modifiye Edilmiş 1.2080 Soğuk İş Takım Çeliğinde İmplantasyon Parametrelerinin Mekanik Ve Tribolojik Özellikler Üzerine Etkilerinin Araştırılması", Doktora Tezi, CBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ekim 2000, Manisa
- 2. İ.E. Saklakoğlu**, "İyon İmplantasyonu Yöntemiyle Yüzeyi Farklı Tip Elementlerle Modifiye Edilmiş 316 L Tipi Paslanmaz Çeliğin Yüzey Karakteristiklerinin Karşılaştırılması", Y. Lisans Tezi, CBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Eylül 1999, Manisa
- 3. Fenske, G.R.**, ASM Handbook, Friction Lubrication and Wear Technology, Volume 18, pp. 850-858, ASM International, The Materials Society U.S.A., 1992
- 4. Bhushan, B., Gupta, B.K.**, Handbook of Tribology, Materials Coatings and Surface Treatments, Ch 12, McGraw-Hill, Inc., 1991
- 5. Hirvonen, J.K., Sartwell, B.D.**, ASM Handbook, Surface Engineering, Volume 5, pp. 605-609, ASM International, The Materials Society U.S.A., 1992
- 6. White, N.R.**, Ion Sources For Use In Ion Implantation, Nuclear Ins. And Methods in Physics Research, B 37/38, (1989) 78-86, North-Holland, Amsterdam

7. **Brown, I.G.**, Particle Sources-Ion, Encyclopedia of Applied Physics, Vol 13, 213-221, 1995, VCH Publishers Inc.
8. **Gavin, B.F.**, PIG Ion Sources, The Physics and Technology of Ion Sources, Edited by Brown, John Wiley and Sons Inc. 167-186, 1989
9. **Brown, I.G.**, The Metal Vapor Vacuum Arc Ion Source, The Physics and Technology of Ion Sources, Edited by Brown, John Wiley and Sons Inc. 167-186, 1989
10. **Brown, I.G.**, Advances in Metal Ion Sources, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B37/38 (1989) 68-73, North-Holland, Amsterdam