

**itüdergisi/c****fen bilimleri**

Cilt:1, Sayı:1, 65-69

Aralık 2002

**Bakır buharı termiyonik vakum ark deşarjın karakteristikleri****Tamer AKAN\****OGÜ Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 26480, Meşelik, Eskişehir***Özet**

*Saf metal buharlarında bir deşarjın oluşturulması ve çalışılması, metal atomlarının uygun buhar basıncını elde etmek için gerekli sıcaklığın yüksek olması nedeniyle zor bir problemdir. Termiyonik vakum ark (TVA) deşarj, doğrudan ısıtılan termiyonik katotlar kullanarak anotun buharlaşmasıyla oluşan yeni tip bir deşarjdır. Saf metal buharlarındaki bu deşarj, herhangi tür metal buharlarında ve ayrıca erimeyen metallerin buharlarında da oluşturulabilmektedir. TVA deşarj, yönlendirilmiş enerjili iyonlar içeren saf, gaz karışımı bulunmayan metal buharı plazması üretmektedir. TVA deşarjların gözlenen akım voltaj karakteristikleri, termiyonik katotun sıcaklığına, buharlaştırılan anot materyalinin cinsine ve elektrotların birbirine göre konumuna bağlıdır.*

**Anahtar Kelimeler:** Bakır, metal buharları, termiyonik katot, vakum ark deşarj.

**Characteristics of the copper vapor thermionic vacuum arc discharge****Abstract**

*The production and study of a discharge in pure metal vapors is a difficult problem due to the high temperature needed to obtain a convenient vapor pressure of the metal atoms. The thermionic vacuum arc (TVA) discharge is a new type of discharge with evaporating anodes employing directly heated thermionic cathodes. This discharge in pure metal vapors can be ignited in any kind of metal vapors including refractory metals too. The TVA discharge generates a pure, gas-free metal vapor plasma containing ions with a directed energy. The discharge is produced in vacuum between a heated cathode and an anode. The electrons emitted from the cathode are accelerated toward the anode by the applied voltage across the electrodes, the flux of electrons being concentrated on a small area of the anode surface which becomes a melted metal spot. At a further increase of the applied voltage, an intense discharge is established in the metal vapors, evaporated from the anode. Because of the high power density incident on the anode surface, especially after arc ignition, high evaporation rate of the anode material is observed. The observed volt-ampere characteristics of the TVA discharges depend strongly on the temperature of the thermionic cathode, the evaporated anode material and the relative position of the electrodes.*

**Keywords:** Copper, metal vapors, thermionic cathode, vacuum arc discharge.

---

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Tamer AKAN. akan@ogu.edu.tr; Tel: (222) 229 04 33.

Makale metni 09.07.2002 tarihinde dergiye ulaşmış, 17.12.2002 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.05.2002 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Giriş

Gazlarda elektriksel deşarjın incelenmesi ilk kez 1808 yılında, Sir Humphry Davy tarafından kararlı hal dc ark deşarjın incelenmesiyle ve 1830'lu yıllarda Michael Faraday ve arkadaşları tarafından, yüksek voltaj dc elektriksel deşarj tüpünün geliştirilmesi ile yapılmıştır. Gazlarda elektriksel deşarj üzerine daha sonra çalışmalar yapılmış ve teknolojiye özellikle aydınlatma sanayinde neon lambalar, sodyum lambalar gibi uygulamalarda kullanılmıştır. Bununla birlikte floresans lamba gibi civa buharında meydana gelen metal buharı deşarjları üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Metal buharı deşarjı üreten tekniklerden en bilineni sputtering (püskürtme) tekniğidir. Püskürtme tekniği; elektrotlar arasına yerleştirilen bir tampon gazının plazması elde edilerek, bu plazmanın pozitif iyonlarının elektrotlar arasına uygulanan voltaj ile katota bombardıman edilmesi ve katot materyali atomlarının sökülmesi olayıdır. Ancak püskürtme tekniği ile oluşan plazma saf metal buharı deşarjı değil, gaz-metal karışımı deşarjıdır. Termal buharlaştırma yada elektron bombardımanı ile buharlaştırma teknikleri ile elde edilen metal buharlarında, püskürtme tekniği gibi bir tampon gazı kullanılarak da deşarj oluşturulmaktadır. Bu şekil de oluşan plazmalar da saf metal buharı deşarjı olmamaktadır.

Saf metal buharı deşarjı üretmek için en ideal çözüm, bir tampon gazı kullanılmadan yalnızca deşarj oluşturulacak materyalin buharlarında deşarj oluşturmaktır. Yalnızca deşarj oluşturulacak metal buharlarında deşarj üreten tekniklerden en bilineni Katodik Vakum Ark (KVA)'tır (Randhawa, 1988). Bu teknik ile tampon gazı kullanılmadan katot materyalinin vakum koşullarında deşarjı oluşturulmaktadır. Burada elektromanyetik bir tetikleyici ile katot kısa süre kontak yapılarak, kontak bölgesinin aşırı ısınması sağlanır ve kontak bölgesinden yayınlanan katot materyali buharlarında bir ark deşarj oluşturulur. KVA ile oluşan deşarj içinde kontak sırasında ortaya çıkan makroparçacıklar da bulunur. Bu nedenle oluşan deşarj metal buharı atomları ile birlikte makroparçacıklar da içerir.

Bu makroparçacıklar KVA sistemine eklenen filtrelerle tutulmak istenmiştir. Ancak bu durumda depolanma oranı düşük, sistemin maliyeti ise yüksek olmuştur.

Saf metal buharı deşarjı üretmek için katot materyalinin buharlaştırılması yerine anot materyalinin buharlaştırılması da kullanılmaktadır (Hamilton, 1967 ; Sayenko v. diğ., 1983 ; Dorodnov v. diğ., 1979). Anot metali buharlarında deşarj üreten teknikler, katottan yayınlanan elektronların anot üzerine odaklanması için elektrotlar sistemini elektromanyetik mıknatıs içine yerleştirmişlerdir. Bu teknikler sistemlerinin güçlüğü nedeniyle çok fazla kullanışlı olmamıştır.

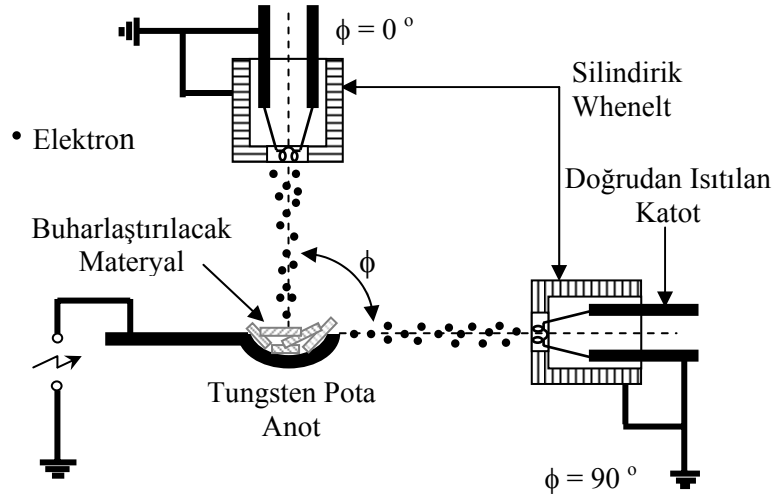
Termiyonik Vakum Ark (TVA) saf metal buharı deşarjı üretmek için anot materyali buharlarında deşarj oluşturan yeni bir tekniktir (Musa v. diğ., 1986 ; Musa v. diğ., 1994). TVA ile dışarıdan ısıtılan katottan yayınlanan elektronlar, anot içine yerleştirilen materyal üzerine yüksek voltaj yardımıyla bombardıman edilerek, anot materyalinin ısınarak eriyip buharlaştırılmasıyla deşarj oluşturulmaktadır. TVA'da elektrotlar bir elektromanyetik mıknatıs içinde olmadığı için kullanılan sistem son derece basit ve düşük maliyetle olmaktadır. Aynı zamanda TVA ile tampon gazı kullanılmadığı için oluşan deşarj gaz karışımı içermeyen saf metal buharı deşarjı olmaktadır. Bununla birlikte elektrotların birbiri ile kontağı söz konusu olmadığı için deşarj içinde makroparçacıklar da bulunmamaktadır. TVA deşarj son derece kararlı ve çalışma parametreleri ile kolayca kontrol altında tutulabilmektedir. Bu yeni tip plazma kaynağı, 2000 yılından bu yana Osmangazi Üniversitesi fizik bölümü plazma fiziği laboratuvarında çalışılmaktadır.

## Deneysel düzenek

TVA sisteminin elektrotlarının düzenlenişi farklı iki pozisyonda ( $\phi=0^\circ$  ve  $\phi=90^\circ$ ) şematik olarak Şekil 1'de gösterilmiştir.

TVA'da doğrudan ısıtılan termiyonik katot kullanılmaktadır. Katot 0.4 mm çapında olan ve 1mm çubuk üzerine 4 kez sarılarak elde edilmiş

### Bakır buharı deşarjı



Şekil 1. TVA'nın elektrotlarının düzenlenişi.  
HV: Yüksek voltaj

tungsten flamenttir. Katot flamenti bir whenelt silindiri içine yerleştirilmiştir. Whenelt silindiri 15mm uzunluğunda, 12mm çapında ve ön kısmında 5mm çapında boşluk bulunan paslanmaz çelikten yapılmış bir silindir. Anot ise içine buharlaştırılarak plazması oluşturulacak materyalin konduğu kaşık şeklinde 0.2 mm kalınlığında üst kısım boşluğu 10mm çapında olan tungsten potadır. Katot, anota göre istenilen pozisyona getirilebilmektedir. Böylece elektrotlar arasındaki açı ve uzaklık ayarlanabilmektedir. Her iki elektrot portatif bir tabla üzerine monte edilerek, son basınç değeri  $10^{-6}$  mbarr olan bir vakum odası içine yerleştirilmiştir. Bununla birlikte flamentten termoelektronik emisyon elde etmek için bir düşük voltaj güç kaynağı, elektrotlar arasına yüksek voltaj uygulamak için bir yüksek voltaj güç kaynağı ve akım ayarlayıcı bir balast direnç kullanılmaktadır.

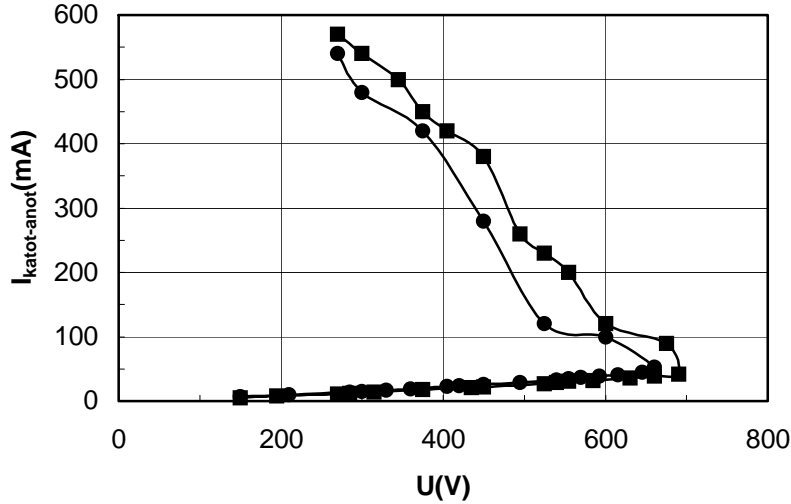
Katottan yayınlanan elektronlar whenelt silindiri ile anot üzerine odaklanır. Elektrotlar arasına uygulanan yüksek voltaj, elektronların anot üzerine hızlanmasını sağlar. Bu şekilde anot üzerine bombardıman edilen elektronlar, anot materyalinin (bizim deneylerimizde bakır) ısınarak erimesini sağlar. Uygulanan voltajın arttırılmasıyla pota içindeki bakır kaynarak buharlaşmaya başlar. Elektrotlar arasında belirli bir nötral atom yoğunluğu oluştuğunda, uygula-

nan voltajın uygun değerinde katottan elektron emisyonunun devam etmesi sebebiyle elektrotlar arası uzayda parlak bir deşarj oluşur. Bu sırada deşarj üzerindeki voltaj birden azalır ve deşarj akımı aniden yüksek değerlere çıkar. Oluşan deşarj hem çalışma parametreleri bakımından hem de yayınlanan radyasyon bakımından son derece karardır. Isıtılan katotun bir ucu vakum odasına bağlı olduğu için vakum odasının kendisi toprak olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle elektrotlar arasında oluşan plazma vakum çeperlerine doğru sürekli yayılır.

### Deneysel sonuçlar ve tartışma

TVA'nın akım voltaj karakteristiğini etkileyen en önemli parametre katot ısıtma sıcaklığıdır. Bunun için TVA deşarjın akım voltaj karakteristikleri sabit elektrotlar arası açıda, farklı katot ısıtma sıcaklıkları için elde edilmiştir. Elektrotlar arasındaki açı  $\phi=50^\circ$  durumunda ve farklı katot ısıtma sıcaklıkları için  $I_f=13$  A ve  $I_f=13.5$  A için elde edilen akım voltaj karakteristikleri Şekil 2'de verilmiştir.

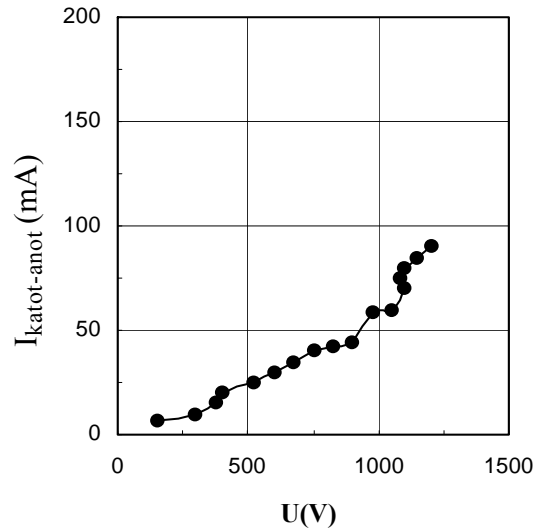
TVA deşarj akım voltaj karakteristiğinde düşük akım ve düşük voltajlarda, akım ve voltaj vakum diyotlardaki gibi hemen hemen doğru orantılı olarak artmaktadır. Ancak uygulanan voltajın belirli bir değerinde, akım birden yükselmekte voltaj ise aniden düşmektedir. Bu sırada elektrotlar arasında parlak deşarj



oluşmaktadır. Parlak deşarjın oluştuğu anda elektrotlar arasına uygulanan voltaj ateşlenme voltajı (breakdown voltajı) olarak adlandırılmaktadır. Yüksek katot ısıtma sıcaklığında daha düşük voltaj değerlerinde ateşlenme meydana gelmektedir. TVA deşarj meydana geldikten sonra, deşarj akımı hızlı bir şekilde artmakta voltaj ise azalmaktadır. Bu nedenle Şekil 2'deki karakteristiğin deşarj oluşuktan sonraki değerleri çok sayıda alınan verilerin ortalamasıdır. Bununla birlikte deşarj oluşuktan sonra deşarj akımı maksimum bir değerde, voltaj da minimum değerde sabit kalmaktadır. Bu bakımdan TVA deşarj, çalışma parametreleri açısından kararlı kalmaktadır.

TVA deşarjın akım voltaj karakteristiğini etkileyen diğer parametre elektrotların birbirine göre konumudur. Bunun için ilk olarak  $\phi=90^\circ$ 'de, katot potanın yaklaşık 1mm altına gelecek şekilde yerleştirilerek akım voltaj karakteristiği elde edilmiştir. Bu karakteristik Şekil 3'te gösterilmiştir. Bu durumda anot içine yerleştirilen bakır, doğrudan elektron bombardımanı nedeni ile değil, potadan ısı iletimi ile ısı olarak buharlaşmaktadır. Yine de bu durumda elektron bombardımanı ile yüksek sıcaklığa ulaşan potanın uçlarına doğru erimiş materyalin pota yüzeyi üzerinde yayılması nedeniyle bir deşarj gözlenmektedir. Görünür deşarjın oluştuğu an Şekil 3 üzerinde ok ile gösterilmiştir. Bu durumda pota içindeki erimiş materyal sürekli şekilde potanın en sıcak noktasına doğru hareket etmektedir. Bu nedenle deşarj oluşuktan sonra

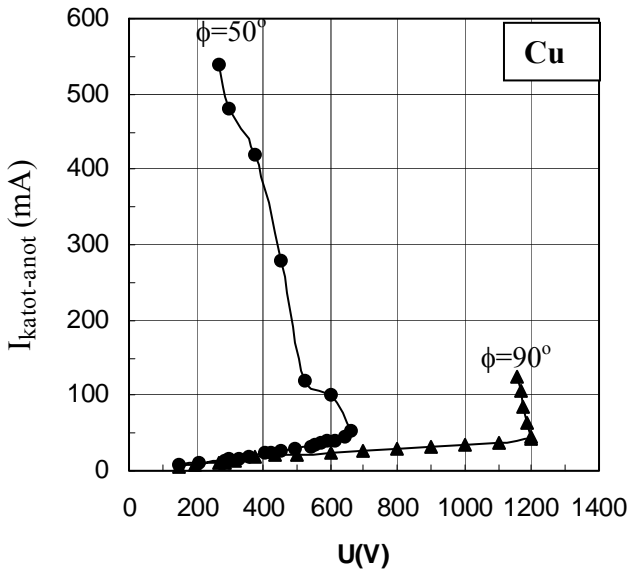
deşarj akımı yüksek değerlere çıkmamaktadır. Katot elektrotlar arası açı  $\phi=90^\circ$ 'de, potanın yaklaşık 1mm üstüne gelecek şekilde yerleştirildiğinde elde edilen karakteristik Şekil 4'te gösterilmiştir. Şekil 3 ve Şekil 4'te elde edilen karakteristikler elektrotlar arası açı  $\phi=90^\circ$ 'de ve elektrotlar arası uzaklık 5 mm durumunda elde edilmiştir. Bu iki karakteristik hemen hemen aynı çalışma parametrelerinde olmasına rağmen, farklı davranışlar göstermektedirler.



Şekil 3. Katot potanın 1mm altına yerleştirildiğinde TVA deşarj akım voltaj karakteristiği.

TVA deşarjın akım voltaj karakteristiği  $\phi=90^\circ$ 'de katotun anota göre pozisyonunun değiştirilmesi yanında, elektrotlar arası açı değiştirilerek de elde edilmiştir. Şekil 4'te elektrotlar arası açı

$\phi=50^\circ$  ve  $\phi=90^\circ$  şeklinde, farklı elektrotlar arası açıda elde edilen akım voltaj karakteristikleri kıyaslama olması için aynı grafik üzerinde verilmiştir. Buradan görüldüğü gibi elektrotlar arası açının  $\phi=50^\circ$  durumunda çok düşük voltaj da ark deşarj oluşmaktadır. Bununla birlikte deşarj akımı çok yüksek değerlere çıkmaktadır.  $\phi=90^\circ$  durumunda ise daha yüksek voltaj değerlerinde deşarj meydana gelmekte ve deşarj akımı çok yüksek değerlere çıkmamaktadır.



Şekil 4. Farklı elektrotlar açıda TVA deşarj akım voltaj karakteristiği.  $\phi=90^\circ$  durumunda katot potansiyelinin yaklaşık 1mm üst kısmına yerleştirilmiştir.

## Yorum

TVA deşarjın akım voltaj karakteristikleri, katot ısıtma sıcaklığına, elektrotların birbirine göre konumuna ve kullanılan anot materyalinin cinsine göre değişmektedir. Bizim deneylerimizde yalnızca bakır buharlarında deşarjlar elde edilmiştir. TVA deşarj için elde edilen karakteristikler, deşarjın çalışma koşulları hakkında bilgiler vermektedir. Örneğin deşarjın yüksek akımlara çıkması için elektrotlar arası açının  $\phi=50^\circ$  olduğu durumun optimum bir değere yakın olduğu görülmektedir. Bu TVA'nın özellikle kaplama teknolojileri bakımından kullanımında, oluşturulan filmlerin kalitesini arttırmak için önemlidir.

TVA deşarjda katot filamenti ısıtma akımı, deşarj karakteristiğini etkileyen en önemli çalışma parametresidir. TVA deşarjda iyonlaşma katot-tan yayınlanan elektron emisyonu ile meydana gelmektedir. Bu nedenle katot filamenti ısıtma akımı, deşarj içindeki iyonların enerjisini belirlemektedir. Böylece TVA deşarjda yalnızca katot ısıtma akımı değiştirilerek iyonların enerjisi değiştirilebilmektedir. Bu deşarjın dışarıdan kontrol altında tutulabildiği anlamına da gelmektedir. Bu özellik TVA'nın kaplama teknolojilerinde kullanılmasında önemli olmakla birlikte, TVA'nın saf metal buharlarında bir iyon kaynağı olarak da kullanılabileceğini göstermektedir.

## Kaynaklar

- Dorodnov, A. M., Kuznetsov, A. N., Petrosov, V. A., (1979). Steady-State Vacuum Arc With An Unexpected Hollow Cathode, *Sov. Phys-Techn. Phys. Lett.*, **5**, 418-425.
- Hamilton, H. J. (1967). Appareil De Revetement De La Surface D'un Substrat, French Patent No: 1.496.697
- Musa, G., Baltog, A., Popescu, A., Mustata, I., (1986). Electrical And Spectral Characteristics Of A Heated Cathode Discharge In Metal Vapors, *Beitr Plasma Phys.*, **26**, 171-177.
- Musa, G., Ehrich, H. ve Mausbach, M., (1994). Studies On Thermionic Cathode Anodic Vacuum Arcs, *J. Vac. Sci. Techn.*, **A12(5)**, 2887-2895
- Randhawa, H. (1988). Cathodic Arc Plasma Deposition Technology, *Thin Solid Films*, **16**, 175-185.
- Sayenko, V. A., Kolomiets, N. F., Mashtalir, N. N., (1983). *Proceedings Of The XVI th ICPIG*, (unpublished)