

# Transporte del haz de iones generado en un arco pulsado en vacío a lo largo de un tubo magnetizado con un campo magnético adicional de enfoque en la región del cátodo.

L. GIULIANI, D. GRONDONA\*, H. KELLY\*

INSTITUTO DE FÍSICA DEL PLASMA, CONICET-DPTO. DE FÍSICA, FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES.  
UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES. CDAD. UNIVERSITARIA, PAB.I, C1428EHA, BUENOS AIRES, ARGENTINA.

\*MIEMBRO DEL CONICET

e-mail: [leandroeg@yahoo.com](mailto:leandroeg@yahoo.com)

En este trabajo se presenta un estudio experimental del flujo de iones de Cu, generado en una descarga arco pulsada (450A, 35 ms) en vacío a través de un tubo recto magnetizado de paredes aislantes y con una intensidad media del campo de 152 G. Se implementó un campo magnético auxiliar de “guía” en la región del cátodo (campo de enfoque) para maximizar el flujo de iones a la entrada del tubo. El campo de enfoque se varió entre -170 G y 220 G. Se realizaron mediciones de la corriente iónica empleando colectores ubicados en la entrada del tubo y para varias intensidades del campo de enfoque. Se observa que para campos de enfoque superiores a los 150 G el flujo de iones en la entrada del filtro aumenta por un factor 1,5.

Transport of Cu ions (generated with a pulsed vacuum arc (450 A, 35 ms )) along a straight insulated tube with an external magnetic field was studied experimentally. A secondary magnetic field in the cathode region (focusing field) was implemented to improve the ion flux at the tube entrance. The intensity of the focusing field was in the range -170 G and 220 G. The ion current measurements were performed using charge collectors placed at the tube entrance for different focusing field intensities. It was observed that with focusing field intensities greater than 150 G the ion flux at the tube entrance increased by a factor 1,5.

## Introducción

La producción de recubrimientos utilizando arcos de baja presión es una técnica establecida industrialmente. En estos dispositivos se genera una descarga eléctrica entre electrodos conductores inmersos en vacío. Sobre el cátodo se forman regiones diminutas (1-10  $\mu\text{m}$  de diámetro) denominadas “spots” que producen la emisión de un jet de plasma con velocidades que exceden los  $10^3$  m/s<sup>[1]</sup>. El jet de plasma contiene iones que fluyen del cátodo con energías entre 25-100 eV y llevando aproximadamente el 10 % de la corriente de la descarga principal<sup>[2]</sup>. Al colocar un sustrato interceptando el jet de plasma, el material del cátodo se deposita sobre la superficie obteniéndose un recubrimiento metálico.

En los spots catódicos se producen macropartículas o gotas de material del cátodo de tamaño micrométrico ( $\cong 10 \mu\text{m}$ ), las cuales se depositan sobre el sustrato afectando las propiedades del recubrimiento. Se han

desarrollado varios sistemas para separar las macropartículas del jet de plasma, y actualmente los filtros magnéticos son los dispositivos más investigados<sup>[3]</sup>. Estos consisten en un tubo con un campo magnético axial que guía el flujo de plasma a lo largo del tubo, mientras que las macropartículas, que son emitidas principalmente con ángulos grandes respecto de la superficie del cátodo y siguen trayectorias rectas<sup>[1]</sup>, chocan con las paredes y se quedan adheridas al tubo. Estos filtros pueden ser rectos<sup>[4-6]</sup>, o curvos<sup>[7-9]</sup>. La mayor desventaja de estos filtros es la pérdida de iones a lo largo del tubo, y principalmente a la entrada del mismo<sup>[10]</sup>. Esto produce una significativa disminución en la tasa de recubrimiento. Por estos motivos, en este trabajo se implementó un campo magnético en la región del cátodo para guiar el flujo de iones a la entrada del filtro.

## Dispositivo experimental

El estudio experimental fue realizado en el equipo PROTO 2CC<sup>[6]</sup>. En este equipo se

produce una descarga arco pulsada de 450 A de corriente pico y 35 ms de duración entre dos electrodos, descargando un banco de capacitores electrolíticos ( $C=0,075$  F) conectado en serie a una inductancia y resistencia que amortiguan críticamente la descarga ( $L=2\text{mH}$ ,  $R=0,33\Omega$ ).

El sistema de electrodos se encuentra inmerso en una cámara que es evacuada a presiones inferiores a  $10^{-4}$  Torr. El cátodo es un cilindro de cobre de 6 cm de longitud por 1 cm de diámetro y el ánodo es un anillo de cobre de 2 cm de espesor y un radio interno de 2.5 cm. La cara lateral del cátodo se recubre con un tubo de vidrio para confinar los spots en la superficie plana frontal. Ambos electrodos están separados por una pieza aislante de PVC.

A continuación del ánodo se coloca un tubo de PVC de 23 cm de longitud con tres bobinados externos, que constituye el filtro magnético encargado de guiar el haz de iones. En este trabajo, la intensidad del campo magnético del filtro se mantuvo fija en 152 Gauss. Sobre la pieza aislante que separa el cátodo del ánodo se realizó el bobinado que provee el campo magnético de enfoque ( $B$ ) (ver figura 1).

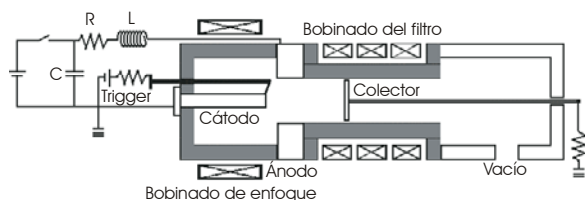


Figura 1: esquema del equipo PROTO 2CC.

Para medir la corriente iónica ( $I_i$ ) y el potencial flotante ( $V_{fl}$ ) se ubicó un disco colector de aluminio perpendicular al eje del conducto a 6,5 cm del cátodo. El diámetro del colector ( $\phi=5\text{cm}$ ) era prácticamente igual al diámetro interno del conducto para asegurar la recolección de todo el flujo iónico. El colector se mantuvo flotante para medir  $V_{fl}$  o se conectó a tierra a través de una resistencia para medir  $I_i$ . El valor de la resistencia se fijó de modo que el potencial del colector fuese menor que  $V_{fl}$  para asegurar la recolección de corriente iónica<sup>[11]</sup>.

La caída de tensión ( $V_{ac}$ ) se midió usando un divisor de tensión resistivo y la corriente ( $I_d$ ) de la descarga principal se obtuvo midiendo la caída de tensión sobre una resistencia pequeña ( $8 \times 10^{-3} \Omega$ ).

## Resultados

Las señales típicas del voltaje del arco y de la corriente de la descarga se muestran en la figura 2. Estas señales muestran el comportamiento característico de la corriente y el voltaje de una descarga arco pulsada en vacío a baja presión<sup>[1]</sup>.

En las figuras 3 y 4 se grafican  $V_{ac}$  e  $I_d$  (valor máximo) en función de  $B$ . Se puede observar que  $V_{ac}$  aumenta al incrementar la intensidad del campo de enfoque y que por el contrario  $I_d$  disminuye, cualquiera sea la dirección de  $B$ . Se asignó el valor positivo de  $B$  (fig 5a) y 5b)) cuando el sentido del campo de enfoque es el mismo que el del filtro (líneas de campo emergentes de la superficie del cátodo).

En las figuras 5 se presentan cinco señales de  $I_i$ , obtenidas en idénticas condiciones, para tres valores distintos del campo de enfoque.

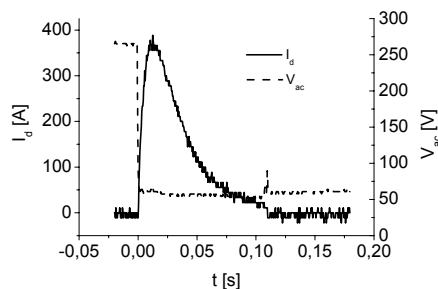


Figura 2: señales típicas de la corriente ( $I_d$ ) y el voltaje ( $V_{ac}$ ) de la descarga principal.

Los valores que se muestran en los gráficos de  $V_{ac}$ ,  $I_d$ ,  $I_i$  y  $V_{fl}$  versus  $B$  corresponden a un promedio de cinco disparos realizados en idénticas condiciones.

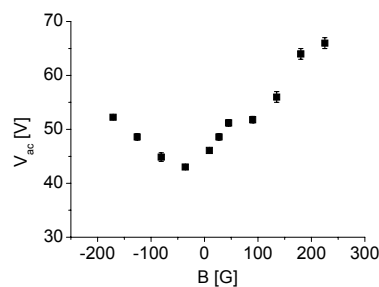


Figura 3: caída de tensión en la descarga principal en función del campo magnético ( $B$ ).

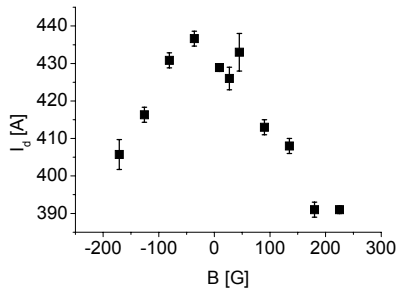


Figura 4: Corriente de la descarga principal en función del campo magnético (B).

Tomando el valor pico para caracterizar la corriente iónica, se realizó la figura 6, donde se observa el comportamiento de  $I_i$  en función del campo de enfoque.

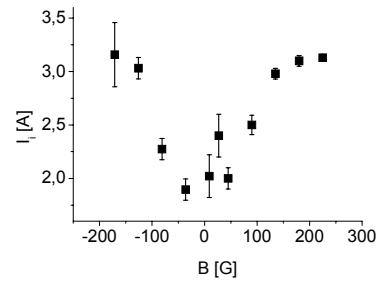
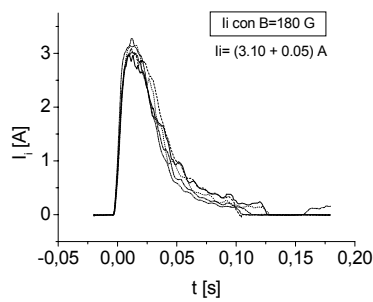
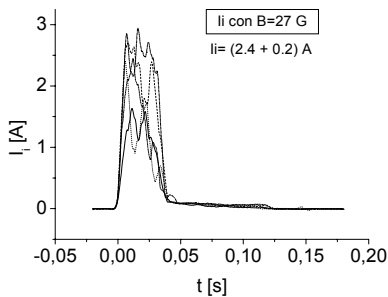


Figura 6: Corriente iónica en función del campo magnético (B).

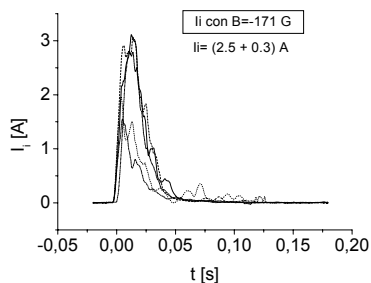
En la figura 7 se muestran los valores del potencial flotante de la sonda al variar el campo magnético de enfoque.



(a).



(b).



(c).

Figura 5: Señales típicas de la corriente de descarga para tres valores distintos del campo magnético sobre el cátodo (B). a)  $B=180$  G, b)  $B=27$  G, c)  $B=-171$  G.

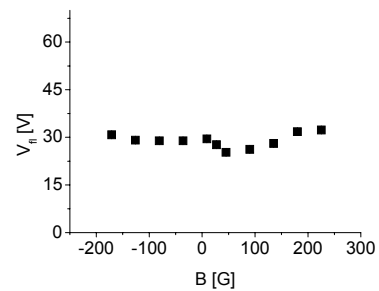


Figura 7: potencial flotante de la sonda en función del campo magnético.

### Discusión y conclusiones

La corriente de descarga disminuye a medida que aumenta el valor del campo magnético aplicado debido a que los electrones deben atravesar las líneas del campo para alcanzar el ánodo, produciéndose así un aumento en la impedancia del plasma. Este comportamiento también explica que  $V_{ac}$  aumente con B.

De la figura 5 se observa que las señales de  $I_i$  son más repetitivas y menos ruidosas a medida que el campo magnético de enfoque aumenta en el mismo sentido que el campo del filtro.

En la figura 6 se observa que para valores pequeños del campo de enfoque, la corriente iónica es de aproximadamente 1,8 A. Al aumentar la intensidad del campo de enfoque,  $I_i$  aumenta hasta saturar en un valor de aproximadamente 3,2 A para valores de B mayores a 150 G (independientemente del sentido de B). Esto indica que el campo de enfoque aumenta la corriente iónica por un factor 1,5 para valores de B superiores a 150 G.

El potencial flotante (figura 7) es poco sensible a las variaciones del campo de enfoque, probablemente debido a que las líneas de campo son normales a la superficie del colector.

En resumen, la experiencia experimental recogida indica la conveniencia de emplear un campo de enfoque con intensidad superior a 150 G, ya que la corriente colectada aumenta por un factor de 1,5 (con respecto a la situación sin campo de enfoque), y se obtienen señales mucho más reproducibles disparo a disparo.

### Agradecimientos

Este trabajo fue realizado con el apoyo de la Universidad de Buenos Aires, de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica y del CONICET.

### Referencias

- [1] R. L. Boxman, D. M. Sanders and P. J. Martin; Handbook of Vacuum Arc Science and Technology, Fundamentals and applications, Park Ridge, NJ: Noyes, 1995.
- [2] C. W. Kimblin; J. Appl. Phys. 44, 3074 (1973).
- [3] M. Krzysztof, J. Walkowicz, J. Bujak; Plasma & Ions 3, 41 (2000).
- [4] J. Storer, J. E. Galvin and I. G. Brown; J. Appl. Phys. 66, 5245 (1989).
- [5] B. P. Cluggish; IEEE Trans. Plasma Sci. 26, 1645 (1998).
- [6] H. Kelly, L. Giuliani and F. Rausch; J. Phys.D: Appl. Phys. 36, 1980 (2003).
- [7] I. I. Aksenov, V. A. Belous, V. G. Padalka and V. M. Khoroshikh; Sov. J. Plasma Phys. 4, 425 (1978).
- [8] R. L. Boxman, V. N. Zhitomirsky, B. Alterkop, E. Gidalevich, M. Keidar and S. Goldsmith; Surf. Coat. Technol. 86-87, 243 (1996).
- [9] S. Anders, A. Anders and I. Brown; J. Appl. Phys. 74, 4239 (1993).
- [10] D. Grondona, H. Kelly, L. Giuliani; Ion flux transmission along an insulating duct with an axial magnetic field. Braz. J. Phys. (en prensa).
- [11] W. Lochte-Holtgreven; Plasma Diagnostics, AIP Press, Woodbury, NY 1995.