Medida de la Emisión Secundaria de Electrones (SEE) por impacto electrónico en presencia de un plasma frio

Uno de los parámetros que juega un papel crítico en la estabilidad, propiedades y balance energético electrónico en los plasmas fríos del tipo de los usados en los motores iónicos de propulsión espacial ("thusters") es la emisión secundaria de electrones (SEE) de la superficie expuesta al plasma [1]. Tanto las propiedades intrínsecas del material (función trabajo, stopping power para los electrones, conductividad eléctrica, función de dispersión de fonones, etc..) como las geométricas (topología superficial) y químicas (contaminación de la superficie) participan en el rendimiento de electrones secundarios cuando la superficie se expone al flujo de electrones provenientes del plasma. Dado que la energía de los electrones secundarios emitidos en muy inferior a la de los incidentes, un mayor coeficiente implica una mayor perdida global de energía en la componente electrónica de la descarga. Peor aun, si dicho rendimiento o coeficiente SEE (γ) sobrepasa la unidad, la teoría predice un posible colapso del *sheath* que desestabiliza la descarga y aumenta fuertemente la carga de energía electrónica a la pared. Dado que la mayoría de *thusters* usa materiales aislantes en la célula de la descarga (BN, Al_2O_3, SiO_2) que se caracterizan por elevados valores de γ□□este tema es objeto de intenso estudio en la comunidad científica.

Aunque menos estudiada, la influencia de la emisión secundaria de los materiales expuestos al plasma (PFCs) en dispositivos de fusión puede ser significativa e influir tanto en la estabilidad del *sheath* como en las cargas térmicas en los materiales tipo PFC. Este punto se vuelve nuevamente crucial si el valor de γ□excede la unidad. En el caso del uso de litio metálico como elemento de PFC (alternativa al uso de tungsteno ampliamente extendida actualmente en la comunidad de Fusión), la enorme reactividad de este elemento con los gases residuales en la cámara de vacío (agua, oxígeno, nitrógeno, hidrógeno.) hace extremadamente difícil mantener el valor nominal de γ □ □□□□del litio puro en un tiempo razonable. La formación de una capa de oxido superficial puede aumentar dicho coeficiente en un factor de hasta 8 en menos de una hora para buenas condiciones de vacío residual.

En el laboratorio de Interacción Plasma-Pared del Ciemat se ha puesto a punto en los últimos años una técnica original y simple para medir la emisión secundaria efectiva de un material (en principio conductor) en presencia de un plasma frío. Se han caracterizado los valores de γ□en función de la energía electrónica para materiales tales como el acero, W, Sn, Li y aleaciones de Sn/Li [2]. Los estudios recientes, en el marco del Proyecto, han abordado un tema de alta novedad y con escasos o nulos antecedentes en la bibliografía: el comportamiento de la emisión secundaria de superficies de litio liquido en presencia de óxidos superficiales. El resultado mas prominente obtenido es la fuerte dependencia con la temperatura de γ□□con valores desde el nominal de litio puro 0.5, hasta valores de 2.5 en superficies fuertemente oxidadas. La transición entre estos dos valores está controlada por la disolución de la capa de oxido en el resto del liquido, que se consigue por calentamiento de la muestra a temperaturas de 500ºC o superiores. En la figura 1 se muestra la evolución temporal del coeficiente γ_{max} en presencia de contaminación por el vacío residual□a una $P=3.10^{-7}$ torr y dos temperaturas. Los resultados han sido enviados a publicar a Physical Review Letters [3].

Por otra parte, la topología superficial juega un papel decisivo en el valor de γ experimental a través del atrapamiento y reabsorción de los electrones secundarios como lo demuestran varios estudios recientes [4]. La aplicación de superficies nanoestructuradas se ha propuesto como método para rebajar significativamente la emisión secundaria en motores de plasma. Curiosamente, y como un ejemplo mas de la sinergia entre los mundos de plasmas de fusión y de propulsión espacial, el uso de estructuras porosas, con poros de tamaño micrométrico o inferiores, es uno de los pilares en los que se basan los conceptos CPS para el desarrollo de blancos alternativos de metal liquido en futuros dispositivos de fusión en condiciones de reactor [5]. En nuestro laboratorio del Ciemat, y en colaboración con el ICCMM del CSIC de Sevilla,

hemos caracterizado las propiedades de mojado de estructuras nanocolumnares de W sobre acero inoxidable desarrolladas por la técnica de Oblique Magnetron Sputtering [6]. Dicha estructuras serán expuestas al plasma con objeto de caracterizar su valor de emisión secundaria, tanto "secas" como impregnadas en litio.

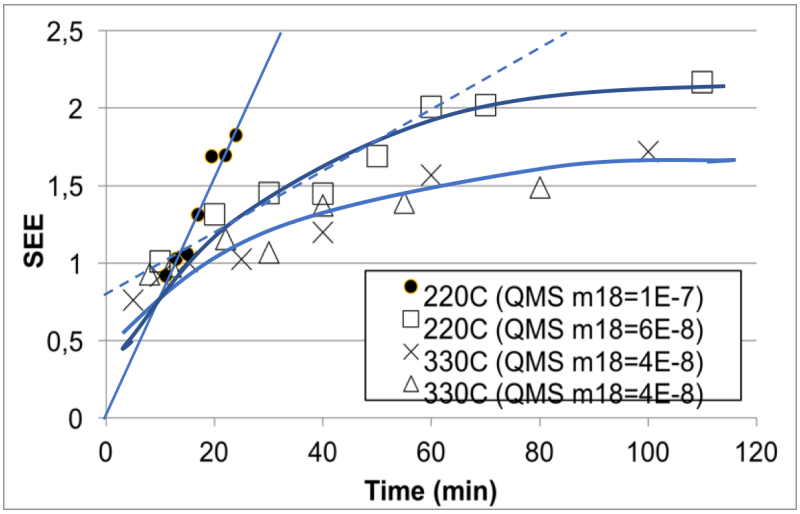

Figura 1. Evolución temporal del coeficiente de emisión secundaria de electrones de litio liquido en un sistema CPS.

[1] Y. Raitses, A. Smirnov, D. Staack, and N. J. Fisch, "Measurements of secondary electron emission effects in the Hall thruster discharge" Physics of plasmas, 13 (2006) 01450.

[2] E. Oyarzabal, A. B. Martın-Rojo, J. A. Ferreira, D. Tafalla, and F. L. Tabarés." Anomalous secondary electron emission of metallic surfaces exposed to a Glow Discharge plasma", J. Nucl. Mater. 438 (2013) S792.

[3] E. Oyarzabal and F. L. Tabarés. "Strongly Temperature-Dependent, Anomalous Secondary Electron Emission of Liquid Lithium Surfaces Exposed to a Plasma" enviado a publicar a Phys Rev Letters.

[4] A Ottaviano , S.Banerjee and Y Raitses. A rapid technique for the determination of secondary electron emission yield from complex surfaces. Appl. Phys. 126 (2019) 223301.

[5] Lyublinski I., Vertkov A., Mirnov S., Lazarev V. "Protection of tokamak plasma facing components by a capillary porous system with lithium". J. of Nucl. Mater., 463 (2015) 1156.

[6] A. Barranco, A. Borrás, A.R. González-Elipe, A. Palmero. Perspectives on oblique angle deposition of thin films: From fundamentals to devices. Progress in Materials Science 76, 59-153 (2016).