

## Carbones porosos funcionalizados con átomos único de Zn para baterías acuosas de Zn-S

Escobar Martínez, Luis M.; Morales, Gustavo M.; Barbero, César A.; Balach, Juan

Instituto de Investigaciones en Tecnologías Energéticas y Materiales Avanzados (IITEMA)-CONICET, Dep. de Química, Facultad de Ciencias Exactas Físicoquímicas y Naturales, Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC), Ruta Nac. 36, Km. 601, Río Cuarto, Argentina.

jbalach@exa.unrc.edu.ar

Área temática: G. Aplicaciones de nanomateriales en ambiente, energía, agro, alimentos y catálisis

La transición energética global desde los combustibles fósiles hacia fuentes limpias exige tecnologías de almacenamiento avanzadas que combinen alto rendimiento y bajo coste. Las baterías metal-azufre, especialmente litio-azufre y sodio-azufre, ofrecen elevada capacidad teórica, pero presentan riesgos de seguridad, electrolitos orgánicos inflamables y fabricación compleja debido a ánodos de metales alcalinos altamente reactivos en presencia de agua y oxígeno [1].

Las baterías acuosas recargables de iones de zinc (AZB) ofrecen mayor seguridad intrínseca y un ánodo de zinc con alta capacidad teórica específica (820 mAh/g). No obstante, los cátodos convencionales por intercalación están limitados a capacidades por debajo de 400 mAh/g, lo que impulsa la exploración de cátodos de azufre de tipo conversión para baterías acuosas zinc-azufre (Zn-S). La implementación de baterías de Zn-S de alta energía enfrenta retos como baja conductividad del azufre, cinética lenta, expansión volumétrica durante el ciclado, formación irreversible de sulfatos, evolución de hidrógeno y formación de dendritas que pueden causar cortocircuitos [2].

Estos problemas pueden mitigarse empleando materiales de carbono como sustrato del azufre, que mejoran la conductividad. Sin embargo, dichos materiales suelen carecer de actividad catalítica para la conversión de las especies de azufre. Los carbones con átomos metálicos únicos incorporan sitios activos M-N<sub>4</sub> que favorecen la conversión redox S<sub>8</sub> ZnS, pero su síntesis suele requerir precursores costosos y procesos multietapa [2].

Para superar estas limitaciones, este trabajo propone una estrategia de pirolisis de un solo paso en sales fundidas de ZnCl<sub>2</sub>/NaCl, empleando guanina como precursor de carbono. La mezcla ZnCl<sub>2</sub>/NaCl actúa como plantilla y sistema generador de poros para producir un carbono micro-mesoporoso de elevada área superficial y permite la formación *in situ* de sitios Zn-N<sub>4</sub> homogéneamente dispersos [3]. El material de carbono con átomos únicos de Zn resultante se utiliza como sustrato catódico de azufre en baterías acuosas Zn-S. El compuesto catódico muestra propiedades electroquímicas superiores como alta capacidad y mejor estabilidad cíclica frente a un cátodo control dopado con nitrógeno en ausencia de sitios Zn-N<sub>4</sub>. El estudio ofrece una ruta simple y escalable para diseñar cátodos avanzados basados en carbones con átomos únicos de Zn para sistemas de almacenamiento de energía de próxima generación.

### REFERENCIAS

[1] Balach, J.; Linnemann, J.; Jaumann, T.; Giebeler, L.; *J. Mater. Chem. A* 6 (2018) 23127-23168

[2] Yin, W.; Xu, H.; Liu, J.; *Adv. Funct. Mater.* 36 (2025) e12784

[3] Escobar Martínez, L.; Toncón-Leal, C.F.; Sapag, K.; Cometto, F.P.; Giovanetti, L.J.; Cappellari, P.S.; Morales, G.; Barbero, C.; Balach, J.; *J. Power Sources* 656 (2025) 238102