

Elektrodenmaterialanalyse in Lithium-Ionen-Batterien



Die in Lithium-Ionen-Batterien (LIBs) verwendeten Elektrodenmaterialien ermöglichen eine deutlich höhere Energiedichte als Alkalibatterien und andere wiederaufladbare Batterien, so dass sie in einem kleineren Raum mehr Energie speichern können.¹

Verbraucher möchten Geräte, die klein, leistungsstark und langlebig sind, schnell laden und seltener aufgeladen werden müssen. Die Leistung und Herstellbarkeit von LIBs wird durch die Materialien bestimmt, die in der Batterie verwendet werden. Die Kontrolle der Porosität, der Porengröße und -form, der Teilchengröße und -form, der Oberfläche und der Dichte der Elektrodenmaterialien ist entscheidend, um die Leistung von LIBs zu optimieren. Dieser Artikel beschreibt die wichtigen mikrostrukturellen Eigenschaften von Elektrodenmaterialien und die von Micrometrics angebotenen Analyselösungen.^{2,3}

Messung der Elektrodenporosität

Elektrodenmaterialien müssen porös sein, damit der Elektrolyt Lithiumionen zu und von den aktiven Materialien der Elektrode transportieren kann. Die Kontrolle der Porosität erhöht den Kontakt zwischen der Elektrode und dem leitenden Verdünnungsmittel, wodurch die Leitfähigkeit der Elektroden erhöht und eine ausreichende Lithium-Ionen-Interkalation sichergestellt wird.²

Vielversprechende Elektrodenmaterialien, einschließlich Zinn-, Eisen- und Kobaltoxide, waren bisher in ihren

Anwendungen beschränkt, da Volumenänderungen, die aus der Interkalation resultieren, einen schweren Elektrodenabbau verursachen können. Durch die Erhöhung der Porosität von Elektrodenmaterialien unter Verwendung von Nanostrukturen können die Poren als Puffer für die Volumenänderungen wirken, was die Batterieleistung verbessert und die Wichtigkeit der Porosität bei der Entwicklung von Elektrodenmaterialien zeigt.⁴

Die Porosität wird typischerweise gemessen, indem das Volumen des Gases oder der Flüssigkeit bestimmt wird, das in das Elektrodenmaterial fließen kann und den Raum, der zuvor leer war, füllt. Micrometrics bietet eine Reihe von Ausrüstungslösungen für die Messung der Porosität von Elektrodenmaterialien an, einschließlich des AccuPyc 1340, bei dem Gasverdrängung zum Messen der Porosität verwendet wird; und AutoPore V, die Quecksilberverdrängung verwenden.²

Partikelgröße und -form

Die Größe und Form der Partikel, welche die Elektrodenmaterialien bilden, beeinflussen die Endleistung von LIBs auf verschiedene Weise, einschließlich der Beeinflussung von Packungsdichte, Porosität, Ionendiffusion und Interkalation. Es wurde festgestellt, dass eine Verringerung der Teilchengröße die Volumenänderungen bei der Interkalation verringern kann, wodurch die mechanische Belastung und das Risiko eines Bruchs verringert werden. Es wurde auch berichtet, dass es möglich ist, Elektrodenmaterialien mit einer hohen Energiedichte oder einer hohen Leistung basierend auf ihrer Partikelgrößenverteilung abzustimmen, da Simulationen gezeigt haben, dass die Partikelgrößenverteilungen bis zu zweimal die Energiedichte von Elektroden mit einer monodispersen Partikelverteilung bereitstellen können, während monodisperse Partikelgrößenverteilungen die höchste Energie- und Leistungsdichte für hohe Entladeraten liefern.^{1,5,6,7}

Der Sub-Sieve AutoSizer und der Saturn DigiSizer II von Micrometrics liefern Partikelgrößenmessungen unter Verwendung von Luftdurchlässigkeits- und Lichtstreuung-Analysetechniken, während der Particle

Insight ein dynamischer Bildanalysator auf dem neuesten Stand ist, der Partikelformanalyse bietet. 2

Partikeloberfläche messen

Elektrodenmaterialien mit großen Oberflächen reduzieren Diffusionsabstände und erleichtern den Ionenaustausch zwischen der Elektrode und dem Elektrolyten, wodurch die Effizienz der elektrochemischen Reaktionen verbessert wird. Größere Oberflächen können jedoch aufgrund der Verschlechterung Probleme der Elektrodenoberfläche durch den Elektrolyten verursachen, was zu einer verringerten thermischen Stabilität und Kapazitätsverlust führt. Materialien mit niedrigerer Oberfläche bieten häufig eine verbesserte Zyklusleistung und längere Batterielebensdauer. Es ist daher wichtig, die Oberfläche des Elektrodenmaterials zu optimieren, um das richtige Gleichgewicht der Eigenschaften zu gewährleisten. 2,3

Das TriStar II Plus von Micromeritics bietet Messungen von Einzel- und Mehrpunkt-BET-Oberflächenmessungen für Elektrodenmaterialien mit N₂-Physisorption. Die Messung der Oberfläche von Elektrodenmaterialien mittels N₂-Physisorption kann Einblicke in Leistungsvariablen wie Kapazität, Impedanz und Ratenfähigkeit geben. 2,3

Messdichte und Klopfdichte

Die tatsächliche oder absolute Dichte der Elektrodenmaterialien zeigt die elektrochemische Leistung der Materialien an, indem ein Maß der inneren Porendichte bereitgestellt wird, die mit der irreversiblen Kapazität korreliert wurde. Die Klopfdichte gibt ein Maß für die volumetrische Energiedichte des Materials an. Die Energiedichte wird als eine wichtige Eigenschaft von LIBs angesehen, da es ständig darum geht, Batterien herzustellen, die auf einem kleineren Raum die gleiche Menge an Energie erzeugen. Der GeoPyc 1365 Envelope and Tap Density Analyzer von Micromeritics bestimmt die Schüttdichte, die Klopfdichte und das Volumen der Hüllen von Elektrodenmaterialien. 2,8

Messung der Porengröße, Form und Tortuosität

Die Größe, Form und Verhärtung der Poren des Elektrodenmaterials beeinflussen den Transport von Lithiumionen durch den Elektrolyten erheblich und haben einen direkten Einfluss auf Energiedichte, Leistung, Lebensdauer und Zuverlässigkeit von LIBs. Ein Verständnis der Interkonnektivität benachbarter Poren, geschlossener Poren und Kanäle des Elektrodenmaterials trägt zu einer optimalen Wechselwirkung zwischen Elektrolyt und Elektrode bei.

Die Micromeritics AutoPore-Serie von Quecksilber-Intrusionsinstrumenten liefert Porengrößenmessungen und Tortuosität. Rasterelektronenmikroskopie wie das Phenom Pro SEM von Micromeritics ermöglicht eine visuelle Inspektion der Elektrodenoberfläche mit Vergrößerungen bis zu 130.000x.

Schlussfolgerung

Forscher, die neue Elektrodenmaterialien für LIBs entwickeln, benötigen Zugang zu Geräten, mit denen relevante Eigenschaften wie Porosität, Porengröße und -form, Partikelgröße und -form, Oberfläche und Dichte schnell und genau bewertet werden können.

Micromeritics bietet ein Portfolio an Instrumenten, die diesen Anforderungen gerecht werden und Forschern ermöglichen, ihre Elektrodenmaterialien zu optimieren und die nächste Generation von Batterien zu entwickeln.

Literatur

1. <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=13695> Zugriff 3. August, 2017.
2. http://www.micromeritics.com/Repository/Files/battery_brochure_2016_v2.pdf Zugriff 3. August, 2017.
3. Wasz ML, "Electrode surface area characteristics of batteries" 7th International Energy Conversion Engineering Conference, AIAA 2009-4503, 2009.
4. Goripart ia G, Mielea E, De Angelisa F, Di Fabrizioc E, Zaccariaa RP, Capigliaa C "Review on recent progress of nanostructured anode materials for Li-ion batteries" Journal of Power Sources, 257:421-443, 2014.
5. Chung DW, Shearing PR, Brandon NP, Harris SJ, Garcia RE, "Particle Size Polydispersity in Li-Ion Batteries" Journal of the Electrochemical Society, 161(3):A422-A430, 2014.
6. Röder F, Sonntag S, Schröder D, Krewer U, "Simulating the Impact of Particle Size Distribution on the Performance of Graphite Electrodes in Lithium-Ion Batteries", Energy Technology, 4(12):1588-1597, 2016.
7. Magasinki A, Dixon P, Hetzberg B, Kvit A, Ayala J, Yushin G, "High-performance lithium-ion anodes using a hierarchical bottom-up approach" Nature Materials, 9:353:358, 2010.
8. Smekens J, Gopalakrishnan R, Van den Steen N, Omar N, Hegazy O, Hubin A, Van Mierlo J "Influence of Electrode Density on the Performance of Li-Ion Batteries: Experimental and Simulation Results" Energies, 9(2) 104, 2016.