Gießen, 26. Januar 2024

Pressemitteilung

Wie Silizium die Leistung von Feststoffbatterien verbessern kann

Forschende aus Deutschland und Kanada analysieren das Potenzial von Silizium als alternatives Elektrodenmaterial – Publikation in „Nature Materials“

Leistungsfähige Batterien werden für zahlreiche Anwendungsgebiete benötigt, der Bedarf wächst rasant. Daher gehört heute die Erforschung und Entwicklung von elektrochemischen Energiespeichern unter anderem für die Elektromobilität zu den wichtigsten Arbeitsgebieten der Materialwissenschaften weltweit. Dabei stehen nicht nur die Ladekapazitäten und Ladegeschwindigkeiten der Batterien im Fokus, sondern auch die Lebensdauer, die Sicherheit, die Verfügbarkeit der Rohstoffe sowie die CO_2-Bilanz. Vor diesem Hintergrund haben die Chemiker Dr. Hanyu Huo und Prof. Dr. Jürgen Janek (beide Justus-Liebig-Universität Gießen), die Physikerin Prof. Dr. Kerstin Volz (Philipps-Universität Marburg), der Materialwissenschaftler Dierk Raabe (Max-Planck-Institut für Eisenforschung, Düsseldorf) und der theoretische Materialwissenschaftler Prof. Dr. Chandra Veer Singh (University of Toronto, Kanada) mit ihren Teams die Eigenschaften von Silizium-Anoden in Feststoffbatterien untersucht. Sie kommen zu dem Schluss, dass diese Anoden großes Potenzial haben, um die Leistungsfähigkeit dieser Batterien zu verbessern. Ihre Ergebnisse zur Stabilität, zur sogenannten Chemomechanik und zum Alterungsverhalten von Silizium-Elektroden sind nun in der Fachzeitschrift „Nature Materials“ erschienen.

Für die Untersuchungen kombinierte das Forschungsteam verschiedene experimentelle und theoretische Methoden, um den Transport von Lithium in der Elektrode, die starke mechanische Volumenänderung von Silizium während der Lade- und Entladevorgänge und die Reaktion mit dem festen Elektrolyten quantitativ zu bewerten. „Diese umfassende und grundlegende Analyse ist ein wichtiger Schritt auf dem Weg zum möglichen Einsatz von Silizium als Elektrodenmaterial in Feststoffbatterien, der derzeit international intensiv erforscht wird“, so Prof. Janek, einer der Autoren der Studie.

Die Feststoffbatterie ist eine Weiterentwicklung der Lithium-Ionen-Batterie, deren Funktion gegenwärtig mit einem flüssigen, organischen Elektrolyten erreicht wird. Das Ziel ist es, hier einen festen Elektrolyten einzusetzen, was noch bessere Speichereigenschaften, längere Lebensdauern und erhöhte Sicherheit verspricht. Die Entwicklung von Feststoffbatterien wird seit etwa zehn Jahren durch intensive Forschungsarbeiten weltweit vorangetrieben, das Gießener Team um Prof. Jürgen Janek gehört hier zu den führenden akademischen Gruppen.

Während des Ladevorgangs einer Batterie wird Lithium in der negativen Elektrode, der Anode, aufgenommen. „Dabei dehnt sich das Silizium an der Anode der Batterie um mehrere 100 Prozent aus, was zu erheblichen mechanischen Problemen in einer Feststoffbatterie führt“, erklärt Prof. Janek. „Zudem reagieren die favorisierten Festelektrolyte mit dem gespeicherten

Lithium, was ebenfalls zu Kapazitätsverlusten führt. Unsere jetzt erschienene Arbeit bewertet diese Aspekte erstmals quantitativ im Detail."

Bei der Entwicklung von leistungsfähigeren Feststoffbatterien, die mit herkömmlichen Lithiumionenbatterien konkurrieren können, soll die Anode durch ein Material mit besonders großer Speicherkapazität gebildet werden – idealerweise durch ein Lithiummetall. Dieses birgt jedoch unter Einsatzbedingungen das Risiko von internen Kurzschlüssen, so dass Silizium als Alternative mit ähnlich hoher Speicherkapazität untersucht wird. „Unsere Ergebnisse zeigen, dass die Silizium-Anode ein erhebliches Potenzial für den Einsatz in Feststoffbatterien hat, das durch geschickte Anpassungen der auftretenden Grenzflächen genutzt werden könnte", sagt Prof. Janek. Erforderlich seien zusätzliche Materialkonzepte, um die chemische und chemomechanische Alterung von Silizium-Anoden zu überwinden. Ein Teil dieser Lösung könnte eine Polymerzwischenschicht sein, wie das Forschungsteam aus Deutschland und Kanada bereits zeigen konnte.

Prof. Janek und Prof. Volz arbeiten bereits seit einigen Jahren eng in der Erforschung neuer Batteriematerialien zusammen. Die nun erschienene Arbeit erforderte den Einsatz zusätzlicher theoretischer Methoden, die am MPI für Metallforschung in der Abteilung von Prof. Raabe (Chemomechanische Phasenfeld-Simulationen) und der Arbeitsgruppe von Prof. Singh an der University of Toronto (DFT-Rechnungen) verfügbar sind.

Zu den Autoren und der Autorin

Die Autoren und die Autorin der Studie gehören zu den international führenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern in der physikalisch- und anorganisch-chemischen Materialforschung. Prof. Dr. Jürgen Janek leitet seit 1999 eine Arbeitsgruppe für Festkörperelektrochemie an der Justus-Liebig-Universität Gießen (JLU). Er leitet außerdem das Zentrum für Materialforschung an der JLU und ist einer der beiden wissenschaftlichen Leiter des Labors BELLA am Karlsruher Institut für Technologie. Prof. Janek ist Mitglied der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina und wurde erst jüngst für seine Arbeiten mit einer Ehrendoktorwürde der TU Delft und gemeinsam mit Prof. Kerstin Volz mit dem erstmalig vergebenen Greve-Preis der Leopoldina für grundlegenden wissenschaftliche Arbeiten an Materialien für Hochleitungsbatterien ausgezeichnet.

Prof. Dr. Kerstin Volz ist seit 2009 Professorin für Physik an der Philipps-Universität Marburg und leitet das dortige Wissenschaftliche Zentrum für Materialwissenschaften (WZMW). Ebenso leitet sie den Sonderforschungsbereich 1083 „Struktur und Dynamik innerer Grenzflächen" als Sprecherin. Sie erforscht mit ihrer Arbeitsgruppe die Herstellung und die Struktur neuartiger Funktionsmaterialien.

Prof. Dr. Dierk Raabe ist seit 1999 Direktor am Max-Planck-Institut für Eisenforschung und forscht dort zu rechnergestützten Materialwissenschaften, nachhaltiger Metallurgie, Phasenumwandlungen und Wasserstoff. Er erhielt den Gottfried Wilhelm Leibniz-Preis, zwei ERC Advanced Grants und den Acta Materialia Gold Medal Award. Er ist Professor an der RWTH Aachen, Ehrenprofessor an der KU Leuven in Belgien, Ehrendoktor der Norwegischen Universität für Wissenschaft und Technologie und Mitglied der Nationalen Akademie Leopoldina.

Prof. Chandra Veer Singh ist Professor für Materialwissenschaften und Ingenieurwesen an der Universität von Toronto. Er ist Leiter des Labors für computergestützte Werkstofftechnik, das sich auf die Nutzung von atomistischen Simulationen und maschinellem Lernen für die Entwicklung neuer Werkstoffe für nachhaltige Energie- und Leichtbauanwendungen im Transportwesen konzentriert.

Bild

Batterieforschung in der AG Physikalische Festkörperchemie – Festkörperionik und Elektrochemie an der JLU: Vorbereitung zur Untersuchung der Materialstruktur einer Batterie während des Betriebs mittels Röntgenbeugung. Foto: JLU / Rolf K. Wegst

Publikation

Chemo-Mechanical Failure Mechanisms of the Silicon Anode in Solid-State Batteries: H. Huo, M. Jiang, Y. Bai, S. Ahmed, K. Volz, H. Hartmann, A. Henss, C. Veer Sing, D. Raabe, J. Janek. Nature Materials (2024)

https://www.nature.com/articles/s41563-023-01792-x

Campus-Schwerpunkt „Material, Molekül und Energie“

Die Entwicklung zukunftsträchtiger Technologien und Materialien ist das zentrale Ziel der gemeinsamen Forschungsaktivitäten der Forschenden im Campus-Schwerpunkt „Material, Molekül und Energie“: www.fcmh.de/mat

Wissenschaftliche Kontakte

Prof. Dr. Dr. h.c. Jürgen Janek
Physikalisch-Chemisches Institut
Justus-Liebig-Universität Gießen
Telefon: 0641 99-34500
E-Mail: juergen.janek@phys.chemie.uni-giessen.de

Prof. Dr. Kerstin Volz
Wissenschaftliches Zentrum für Materialwissenschaften
Philipps-Universität Marburg
Telefon: 06421 28-22297
E-Mail: volz@staff.uni-marburg.de

Der Forschungscampus Mittelhessen (FCMH) ist eine hochschulübergreifende Einrichtung nach §53 des Hessischen Hochschulgesetzes der Justus-Liebig-Universität Gießen, der Philipps-Universität Marburg und der Technischen Hochschule Mittelhessen zur Stärkung der regionalen Verbundbildung in der Forschung, Nachwuchsförderung und Forschungsinfrastruktur. Der FCMH fördert Netzwerke, gemeinsame Forschungsprojekte, unterstützt den Transfer des Wissens in die Gesellschaft und schafft durch den Aufbau zukunftsweisender Kooperationsstrukturen Synergien zwischen den Hochschulen. Das Ziel ist, gemeinsam noch erfolgreicher in der internationalen Spitzenforschung und der exzellenten Nachwuchsförderung zu sein.

Medienkontakte

Justus-Liebig-Universität Gießen
Presse, Kommunikation und Marketing
Ludwigstr. 23
35390 Gießen
T: 0641 99-12041
E: pressestelle@uni-giessen.de
I: www.uni-giessen.de

Philipps-Universität Marburg
Pressestelle
Biegenstr. 10
35037 Marburg
T: 06421 28-26118
E: pressestelle@uni-marburg.de
I: www.uni-marburg.de

Technische Hochschule Mittelhessen
Pressestelle
Ostanlage 39
35390 Gießen
T: 0641 309-1040
E: pressestelle@thm.de
I: www.thm.de

Forschungscampus Mittelhessen
Geschäftsstelle
Senckenbergstraße 3
35390 Gießen
T: 0641 99-16481
E: geschaeftsstelle-fcmh@fcmh.de
I: www.fcmh.de