



Vincent Pluinage
CEO bei OneD Battery Sciences
in Palo Alto (USA)

© OneD

Siliziumanoden in Elektrofahrzeugbatterien

In Antriebsbatterien für Elektrofahrzeuge (EV) kommen zur Speicherung der Energie Lithium(Li)-Ionen-Zellen zur Anwendung. Aktuell wird in den Anoden Graphit (C) als aktives Material verwendet, im Schnitt etwa 60 kg pro Auto. Seit 2019 wird dem Graphit bei einer kleinen, aber wachsenden Zahl von EV-Modellen eine geringe Menge Silizium (Si) zugesetzt. Warum Silizium? Es bildet mit Lithium eine Legierung und jedes Si-Atom lagert bis zu 3,75 Lithium-Atome ein. Bei Graphit hingegen lagern sechs Atome lediglich ein Li-Atom ein. Da jedes Lithium-Ion (Li⁺) ein Elektron (e⁻) bindet und das Atomgewicht von Si 2,33 mal höher ist als das von C, ist die speicherbare Elektronenzahl pro kg einer Siliziumanode um Faktor 9,64 höher als bei Graphit [$9,64 = (3,75 * 6)/2,33$]. Durch Verwendung von Silizium in der Anode lässt sich also theoretisch zehnmals mehr Energie speichern als mit reinem Graphit. Somit können das Gewicht der Zelle und die Dicke der Anodenelektroden verringert werden. Silizium kann zusätzlich Vorteile bieten wie schnelleres Laden und Entladen sowie höhere Energiespeicherkapazität über einen größeren Temperaturbereich.

Doch es gibt Grenzen: Durch das Legieren von Li mit Si vergrößert sich das Volumen des Ausgangsmaterials um das Dreifache, was zu erhöhter mechanischer Beanspruchung führt. Um zu verhindern, dass die mikroskopisch kleinen Siliziumpartikel auseinanderbrechen, wird Sauerstoff verwendet. Die Sauerstoffatome verbinden sich mit den Siliziumatomen zu Siliziummonoxid (SiO). Die Sauerstoffatome verursachen zusätzliche Kosten und verringern den Wirkungsgrad, da nur die Hälfte der Siliziumbindungen eine Legierung mit Lithium eingehen kann. Daher verwenden heutige EV-Batteriezellen nur eine geringe Menge an SiO im Graphit. Optional lässt sich Sili-

zium in Nano- statt in Mikrometergröße verwenden. Durch die Verringerung der Größe des Siliziums um zwei Größenordnungen befinden sich mehr Si-Atome in der Nähe der Oberfläche als im Inneren des Kerns, was die mechanische Belastung verringert.

Siliziumpartikel in Nanogröße haben jedoch eine viel größere Oberfläche. Dies führt dazu, dass ein zu großer Teil des flüssigen Elektrolyts in den Zellen chemisch zerfällt. Die Lösung dieses Problems bietet die Siliziumtechnologie der zweiten Generation: Sie kombiniert das Nano-Silizium mit einem porösen Kohlenstoffsubstrat als dessen Träger. Das Substrat kann durch Verbrennen von Phenolharz zur Gewinnung „harten Kohlenstoffs“ und der Dekomposition von Silan-Gas (SiH₄) in den Poren erzeugt werden. Die technischen Herausforderungen bestehen unter anderem darin, harten Kohlenstoff mit sehr geringer Porengröße in großer Menge und gleichbleibender Qualität zu produzieren und den langsamen und unvollständigen Zerfall des SiH₄ in den Griff zu bekommen. Dies ist teuer und erzeugt viel CO₂. Damit ist die Technologie also vermutlich eher für teurere EVs geeignet. Noch eine Möglichkeit ist, Nano-Silizium mit geeignetem Naturgraphit zu kombinieren, der in großen Mengen produziert wird und preiswerter ist als synthetischer oder harter Kohlenstoff. Auch der CO₂-Fußabdruck ist geringer, und es hat natürliche Poren. Im Inneren der Poren lässt sich durch Einsatz von Nanoteilchen Nano-Silizium als Katalysator züchten. Diese lassen das SiH₄ schnell und vollständig zerfallen. So bilden sich gleichmäßige Silizium-Nanodrähte, die sich mechanisch und elektrisch mit dem Graphit verbinden und eine viel geringere Oberfläche als Nanoteilchen haben. Das erzeugt weniger CO₂, senkt die Fertigungskosten für die Batterie und ist daher eine für den Bau erschwinglicher BEV attraktive Technologie.