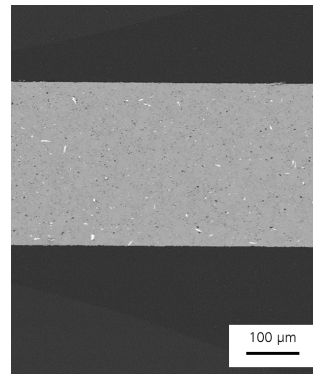
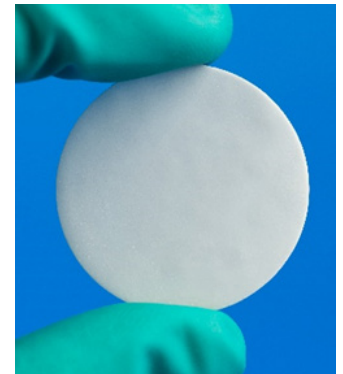




Foliengegossener und gesintertes Festelektrolyt (100  $\mu\text{m}$  Dicke).



SEM Querschliff einer gesinterten Folie.



Gesintertes Natriumfestelektrolyt-substrat mit einem  $\varnothing$  30 mm.

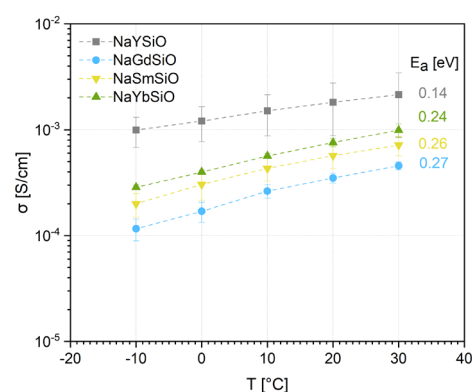
## Motivation

Natrium-Festkörperbatterien enthalten als kostengünstigere und umweltfreundlichere Alternative zu Lithium-Batterien deutlich weniger kritische Elemente sowohl im Elektrolyten als auch im aktiven Material. Bislang gibt es jedoch keine effiziente Materialkombination aus metallischer Anode, Kathode und festem Elektrolyten für Anwendungen bei Raumtemperatur, die keinen zusätzlichen flüssigen Elektrolyten erfordert und gleichzeitig eine hohe Energiedichte gewährleistet. Glaskeramische Festelektrolyte im System  $\text{Na}_2\text{O-R}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  bieten neben einer hohen Ionenleitfähigkeit bei Raumtemperatur eine gute Korrosionsbeständigkeit gegenüber Umgebungsfeuchtigkeit und  $\text{CO}_2$  sowie eine Stabilität gegenüber metallischem Natrium. Glaskeramische Festelektrolyte können über die Pulverroute im amorphen oder vorkristallisierten Zustand verarbeitet und an Luftatmosphäre bei maximalen Sintertemperaturen von 1000 °C hergestellt werden. Damit lässt sich das Potenzial skalierbarer keramischer Formgebungstechnologien für dünne Substrate nutzen. Durch die verhältnismäßig niedrigen Verarbeitungstemperaturen wird die Natriumverdampfung minimiert.

## Ergebnisse

Herstellen lassen sich Substrate mit einer Dicke von 100  $\mu\text{m}$  und geometrischen Abmessungen von 50 mm x 50 mm. In

verschiedenen Projekten wurden Festelektrolytzusammensetzungen  $\text{NaRSiO}$  ( $\text{R}=\text{Y}, \text{Yb}, \text{Sm}, \text{Gd}$ ) mit einer Ionenleitfähigkeit von bis zu  $5 \times 10^{-3}$  S/cm entwickelt (Diagramm). Die im Ball-on-three-balls-Test gemessene Bruchzähigkeit ergab Werte von bis zu 165 MPa. Das linke Bild zeigt das homogene Gefüge und die gleichmäßige Oberflächenqualität von gegossenem und gesintertem Substrat. Diese Art von Festelektrolyten vereint die niedrigen Sintertemperaturen von Gläsern und die Ionenleitfähigkeiten von keramischen Festelektrolyten. Dies macht sie nicht nur für monolithische Festelektrolyt-Separatoren interessant, sondern auch für die gemeinsame Sinterung mit aktiven Materialien zur Herstellung von Verbundelektroden.



Natriumleitfähigkeiten von gesinterten glaskeramischen Festelektrolyten, gemessen gegen metallische Natriumelektroden.

## Dr. Dörte Wagner

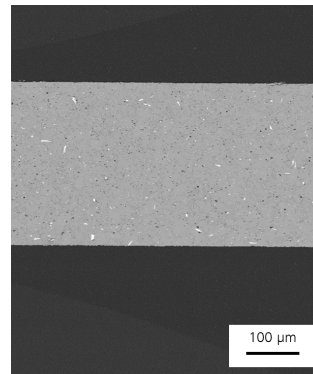
Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS  
Winterbergstraße 28, 01277 Dresden  
Telefon +49 351 2553-7335  
doerte.wagner@ikts.fraunhofer.de

412-W-23-4-11





Tape casted and sintered solid electrolyte (100  $\mu\text{m}$  thickness).



SEM cross section of a sintered tape.



Sintered sodium solid electrolyte substrate with a  $\varnothing$  30 mm.

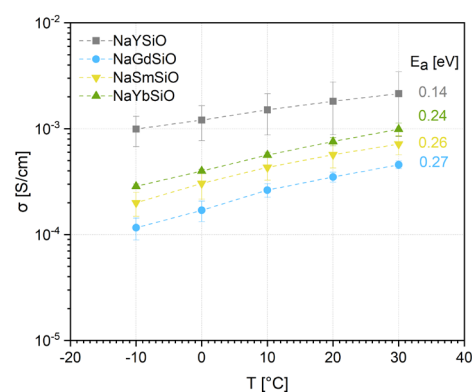
## Motivation

Solid-state sodium batteries, as a more cost-efficient and more environmentally friendly alternative to lithium batteries, contain significantly fewer critical elements in both the electrolyte and the active material. To date, however, there is no efficient material combination of metallic anode, cathode and solid electrolyte for room temperature applications that does not require an additional liquid electrolyte while ensuring high energy density. Glass-ceramic solid electrolytes in the  $\text{Na}_2\text{O}-\text{R}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  system offer high ionic conductivity at room temperature, good corrosion resistance to ambient humidity and  $\text{CO}_2$ , and stability to metallic sodium. Glass-ceramic solid electrolytes can be processed via the powder route in the amorphous or pre-crystallized state and produced in air atmosphere at maximum sintering temperatures of 1000  $^\circ\text{C}$ . This allows the potential of scalable ceramic shaping technologies for thin substrates to be exploited. The relatively low processing temperatures minimize sodium evaporation.

## Results

Substrates with a thickness of 100  $\mu\text{m}$  and geometric dimensions of 50 mm x 50 mm can be produced. Solid electrolyte compositions  $\text{NaRSiO}$  ( $\text{R}=\text{Y}, \text{Yb}, \text{Sm}, \text{Gd}$ ) with an ionic conductivity of up to  $5 \times 10^{-3}$  S/cm have been developed

in various projects (see figure). The fracture toughness measured in the ball-on-three-balls test yielded values of up to 165 MPa. The left picture shows the homogeneous microstructure and the uniform surface quality of cast and sintered substrate. This type of solid electrolyte combines the low sintering temperatures of glasses and the ionic conductivities of ceramic solid electrolytes. This makes them interesting not only for monolithic solid electrolyte separators, but also for co-sintering with active materials to produce composite electrodes.



Sodium conductivities of sintered glass ceramic solid electrolytes measured against metallic sodium electrodes.

### Dr. Dörte Wagner

Fraunhofer Institute for Ceramic Technologies and Systems IKTS  
 Winterbergstrasse 28, 01277 Dresden, Germany  
 Phone +49 351 2553-7335  
 doerte.wagner@ikts.fraunhofer.de

412-W-23-4-11

