

# Abschlussbericht MOISTURE

## (Teil I - Kurzbericht)

**Bergische Universität Wuppertal**

**Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente**

Prof. Dr. Thomas Riedl

Autor:

Dr. Kai Oliver Brinkmann

Berichtszeitraum: 01.10.2020-30.09.2024

### Ausgangslage und Aufgabenstellung

Im Vorgang des Projekts wurde das Phänomen beobachtet, dass durch einen Nanopartikelsubstrat die Barriereigenschaften nominell gleich gewachsener Schichten aus der Atomlagenabscheidung entscheidend verbessert werden konnte. Das Ziel des MOISTURE Projektverbunds war es in enger transnationaler Zusammenarbeit das Wechselspiel zwischen den Eigenschaften von Nanopartikeln und einer darauf erfolgenden Atomlagenabscheidung (ALD) aufzuklären und nutzbar zu machen. Durch Diffusion der Präkursor und ein Auffüllen der Nanopartikel-Zwischenräume sollte bei gleicher Präkursorosis eine signifikante Verbesserung der Barriereigenschaften der resultierenden Hybridschicht im Vergleich zu beiden Einzelschichten erzielt werden. Entsprechend der essentiellen Wichtigkeit solcher internen Barrieren in der Energiespeicherung und -wandlung sollten die optimierten Nanopartikel/ALD sowohl in Perowskitsolarzellen (Teilprojekt Universität Wuppertal), als auch Zink-Ionen Batterien (Teilprojekte der Projektpartner) erprobt und bezüglich Langzeitstabilität untersucht werden.

### Ablauf des Vorhabens

Im Teilvorhaben der Bergischen Universität Wuppertal wurden zunächst die physikalischen und chemischen Wachstumsprozesse von ALD-Schichten auf nanopartikulären Substraten untersucht. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurden hybride Barrieren mit verschiedenen Prozessbedingungen hergestellt und in ihrer Schutzwirkung gegenüber Feuchtigkeit und Lösungsmitteln umfassend charakterisiert. Parallel erfolgte die Integration dieser Barrieren in Perowskitsolarzellen sowie in Tandemarchitekturen (Perowskit-Organik, Perowskit-Perowskit).

### Wesentliche Ergebnisse und Zusammenarbeit

Die hybride Struktur zeigte eine deutlich verbesserte Barrierewirkung gegenüber Wasserdampf (um ca. eine Größenordnung) bereits bei geringen nominellen ALD-Schichtdicken von nur 10 nm. Bis zu einer Sättigung zwischen nominell 50 nm und 100 nm konnte dieser Effekt nachgewiesen werden. Auch gegenüber typischen Lösungsmitteln in der Solarzellenverarbeitung zeigten hybride Barrieren einen

drastischen Vorteil gegenüber reinen ALD Schichten, der sich ebenfalls bereits bei nominellen Schichtdicken von nur einigen zehn nm zeigte. Dies erlaubt eine materialsparende Herstellung robuster Mehrschichtsysteme – ein technologisch und ökonomisch relevanter Vorteil, da ALD Präkursoren teuer und ALD-wachstum typischerweise verhältnismäßig langsam ist und damit kritisch für wirtschaftliche Rolle-zu-Rolle Produktion von Perowskitsolarzellen ist. Durch die Kombination mit ultradünnem Indiumoxid als leitfähigem Interconnect konnten zudem hocheffiziente und stabile Tandemsolarzellen mit Effizienzen bis 24 % (Perowskit-Organik) bzw. 26 % (Perowskit-Perowskit) realisiert werden.

Die Arbeiten erfolgten in enger Kooperation mit internationalen Partnern, darunter die Chulalongkorn University Bangkok, Thailand (elektrochemische Barriere-Charakterisierung) und der De La Salle University, Philippinen (ALD Barrieren für Zink-Ionen Batterien) statt.