

## **W kierunku stabilnych i zrównoważonych ogniw fotowoltaicznych poprzez hybrydowe interfejsy perowskitoidów i biopolimerów**

### **Abstrakt**

Świat szybko zmierza w kierunku odnawialnych i zrównoważonych źródeł energii, a energia słoneczna znajduje się w centrum tej transformacji. Aby technologie fotowoltaiczne mogły wywrzeć realny na nią wpływ, muszą łączyć wysoką sprawność, długoterminową trwałość, bezpieczeństwo środowiskowe oraz przystępność cenową. W ciągu ostatnich piętnastu lat nowa klasa urządzeń fotowoltaicznych, znanych jako ogniwa słoneczne na bazie perowskitów (PSC), wzbudziła ogromne zainteresowanie. Urządzenia te mogą być wytwarzane przy użyciu niskokosztowych technik roztworowych i osiągnęły już rekordowe sprawności konwersji mocy przekraczające 27%. Sprawności te są porównywalne, a nawet przewyższające tradycyjne ogniwa krzemowe.

Pomimo tych imponujących osiągnięć, szerokie wdrożenie PSC jest wciąż ograniczane przez dwa główne problemy: niestabilność w warunkach rzeczywistych (takich jak wilgoć, podwyższona temperatura i promieniowanie UV) oraz toksyczność związaną z obecnością ołowiu (Pb). Aby przezwyciężyć te bariery, badacze skierowali ostatnio uwagę na perowskitoidy – nową rodzinę materiałów, strukturalnie spokrewnionych z perowskitami, lecz chemicznie bardziej stabilnych. Perowskitoidy mogą tworzyć różnorodne architektury, od zero-wymiarowych izolowanych klastrów, poprzez jednowymiarowe łańcuchy i dwuwymiarowe warstwy, aż po struktury wielowarstwowe, oferując przestrajalne właściwości optoelektroniczne i zwiększoną odporność na stres środowiskowy. Ich zastosowanie w ogniwach słonecznych jest jednak wciąż ograniczone ze względu na niską efektywność transportu ładunku i wysokie straty rekombinacyjne.

Równocześnie biopolimery – odnawialne i biodegradowalne materiały pozyskiwane z roślin, organizmów morskich i mikroorganizmów – stają się obiecującymi kandydatami dla zrównoważonej elektroniki. Materiały takie jak chitozan, alginiany, pochodne celulozy czy układy na bazie furanów zawierają grupy funkcyjne (hydroksylowe, karboksylowe, aminowe, katecholowe), które silnie oddziałują z powierzchniami półprzewodników. W ogniwach słonecznych takie interakcje mogą pasywować defekty, hamować szkodliwą migrację jonów, poprawiać krystaliczność i zwiększać stabilność środowiskową. W rzeczywistości, w konwencjonalnych ogniwach perowskitowych, integracja biopolimerów umożliwiła już uzyskanie sprawności na poziomie 21–25%, przy jednoczesnym utrzymaniu ponad 90% początkowej wydajności podczas długotrwałej pracy. Pomimo tego sukcesu, potencjał biopolimerów w urządzeniach opartych na perowskitoidach pozostaje niemal całkowicie niezbadany.

Proponowany projekt stanowi przełom poprzez połączenie dwóch komplementarnych strategii: poszukiwania stabilności strukturalnej i obniżonej toksyczności perowskitoidów z odnawialnymi i wielofunkcyjnymi zaletami biopolimerów. Po raz pierwszy perowskitoidowo-biopolimerowe hybrydy zostaną systematycznie opracowane i przetestowane jako nowa platforma materiałowa dla energii słonecznej. Naszym celem jest budowa urządzeń o sprawności rzędu 15% oraz trwałości przekraczającej 4000 godzin, nawet w warunkach wysokiej wilgotności, temperatury i promieniowanie UV. Prototypy będą początkowo miały powierzchnię 0,06 cm<sup>2</sup>, a następnie zostaną skalowane do mini-modułów o powierzchni 6,45 cm<sup>2</sup>, przybliżając technologię do praktycznych zastosowań. Łącząc innowacje naukowe z podejściem zrównoważonym, projekt ten dostarczy zarówno fundamentalnych wniosków, jak i technologicznej ścieżki prowadzącej do tanich, trwałych i przyjaznych środowisku paneli słonecznych. Wyniki badań wesprą globalne przejście na czystą energię, zmniejszając jednocześnie zależność od toksycznych i niezrównoważonych materiałów.