

Ogniwa słoneczne, molekuly organiczne i nanotechnologia

Jakub S. Prauzner-Bechcicki

Nie będzie zbytej przesady w stwierdzeniu, że poszukiwanie alternatywnych dla paliw kopalnych źródeł energii jest bardzo ważnym wyzwaniem cywilizacyjnym. I jest ku temu wiele powodów, których tu nie będziemy rozstrząsać. Nie będziemy też zbytnio odkrywcy, jeśli wymienimy jako potencjalne źródła energii wiatr, biomasę czy Słońce. No właśnie, Słońce – rośliny do perfekcji opanowały pozyskiwanie energii z tego źródła. W tym przypadku mówimy o fotosyntezie. Jeśli chcemy zamieniać energię słoneczną na energię elektryczną, będziemy mieli do czynienia z fotowoltaiką. Jak wskazuje Michael Grätzel, jeden z niekwestionowanych autorytetów w fotowoltaice, pierwszym poważnym krokiem w tej dziedzinie było odkrycie efektu fotoelektrycznego przez Edmunda Becquerela już w pierwszej połowie XIX w. I można uznać, że od tamtego momentu, z różnym natężeniem, prowadzone są badania nad wykorzystaniem tego zjawiska w celu pozyskiwania energii. Badania te zyskują na intensywności w ostatnich latach, gdy potrzeba posiadania wielu odnawialnych źródeł energii jest już właściwie oczywistością. Pracownicy naukowcy uniwersytetów, instytutów badawczych i działów R&D firm prywatnych ścigają się w proponowaniu coraz to bardziej efektywnych rozwiązań. Również fizycy różnych specjalności próbują swoich sił

w tych zawodach. Swój punkt widzenia starają się też przemyścić specjaliści od badania powierzchni w skali atomowej, dziś powiedzielibyśmy nanotechnologia. Nanotechnologia, hmm..., dobrze, dobrze. Trochę za szybko. Zaczijmy od początku.

Kluczowy dla fotowoltaiki jest sposób, w jaki światło oddziałuje z materią. W tym względzie na szczególną uwagę zasługuje zjawisko, które ma miejsce, gdy na powierzchnię półprzewodnika pada foton. Absorpcja fotonu w półprzewodniku może prowadzić do wytworzenia w nim pary elektron-dziura, czyli nośników ładunku ujemnego i dodatniego. Jeśli teraz absorpcja ma miejsce w półprzewodniku będącym elementem złącza dwóch materiałów, taka konfiguracja w określonych warunkach pozwala na rozdzielenie przestrzenne tej pary ładunków. Zaś przestrzenne rozdzielenie ładunków dodatniego i ujemnego, które będzie dotyczyło wielu, bardzo wielu par elektron-dziura, prowadzić będzie do wytworzenia różnicy potencjałów między materiałami złącza. A stąd już prosta droga do ogniw słonecznych produkujących prąd elektryczny, bo jak wiemy, gdzie istnieje różnica potencjałów, czyli napięcie, tam będzie płynął prąd...

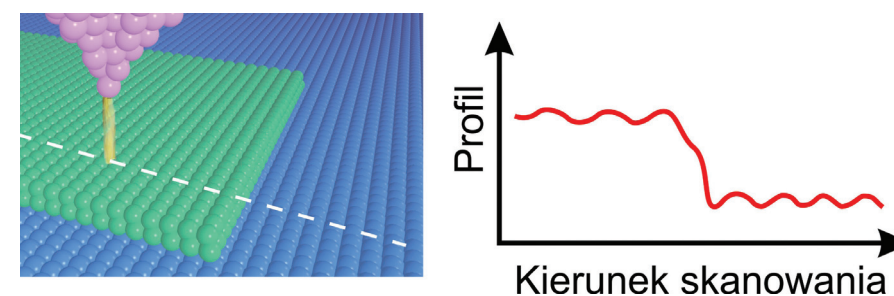
Niby „droga prosta”, ale nie całkiem. Dotychczas w dziedzinie ogniw słonecznych prym wiodły złącza nie-

organicznych ciał stałych, nade wszystko domieszkowanego krzemu. Jest to podyktowane głównie tym, że mamy spore doświadczenie w obróbce i wykorzystaniu krzemu płynące z przemysłu półprzewodnikowego. Jednakże ogniwa z materiałów nieorganicznych nie są tanim rozwiązaniem. W celu obniżenia kosztów pozyskiwania energii słonecznej poszukuje się zatem innych, tańszych materiałów. Bardzo atrakcyjne w tym kontekście jawią się materiały organiczne, a wyniki badań prowadzonych nad ich wykorzystaniem w ogniwach dają podstawy twierdzić, że tanie organiczne ogniwa słoneczne są w zasięgu ręki.

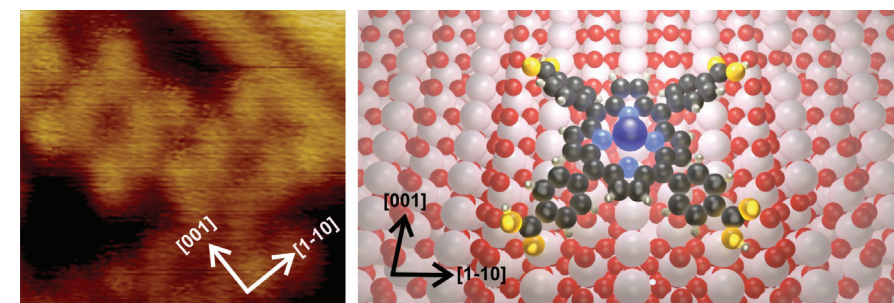
I tu do gry włączają się nanotechnologia zainteresowani badaniem powierzchni różnych materiałów. A wśród nich również badacze z Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego, którzy pracując w ramach Polsko-Szwajcarskiego Programu Badawczego, starają się odpowiedzieć na pytanie o związek między strukturą warstw molekularnych osadzonych na powierzchniach różnych materiałów a ich właściwościami elektrycznymi. Dzięki odpowiedzi na tak postawione pytanie zyskujemy wiedzę, która pozwoli w dalszej kolejności na kontrolę nad właściwościami i jakością projektowanego złącza. Poprzez staranny dobór warunków panujących w trak-

cie osadzania materiału molekularnego na powierzchni możliwe jest bowiem sterowanie wzrostem warstw molekularnych, a tym samym możliwe staje się tworzenie bardziej wydajnych ogniw słonecznych.

W badaniach struktury i właściwości warstw molekularnych osadzanych na powierzchniach różnych materiałów nanotechnologia wykorzystują różnorodne narzędzia. Jednym z nich jest mikroskop sondy skanującej. Jak działa taki mikroskop? Istota działania takiego mikroskopu jest dość podobna do zasady działania profilometru. Serce profilometru stanowi ostrze (sonda), którym przesuwamy po powierzchni badanego materiału, rejestrując jego położenie. W ten sposób zbierana jest informacja o chropowatości powierzchni. Wyobraźmy sobie teraz sondę atomowo ostrą, tzn. na jej końcu znajduje się jeden lub kilka atomów, którą zbliżamy do badanej powierzchni na odległość rzędu dziesięciomilionowych części milimetra (są to dziesiąte części nanometra) i mierzymy siłę oddziaływania takiej sondy-ostrza z powierzchnią. Dzięki temu możemy zebrać obraz powierzchni z rozdzielczością pozwalającą na rozróżnianie pojedynczych atomów (patrz Rysunek 1). W szczególności, badając powierzchnie pokryte molekulami organicznymi, możemy stwierdzić, jak molekuly układają się na powierzchni. Jeśli są to molekuly planarne, to dowiemy się np., czy leżą płasko na powierzchni, czy może ustawiają się prostopadle do niej (patrz Rysunek 2). Istnieją również takie konfiguracje mikroskopów sondy skanującej, które pozwalają na pomiar właściwości elektrycznych czy optycznych w skali atomowej. Przez połączenie informacji na temat struktury (ułoże-



Rysunek 1. Schemat działania mikroskopu sondy skanującej. Dla ułatwienia kolejne warstwy materiału oznaczono innym kolorem. Ostrze jest przesuwane wzdłuż białej przerywanej linii. Rejestrując oddziaływanie ostrza z powierzchnią, otrzymujemy profil powierzchni wzdłuż kierunku skanowania. Składając wiele takich profili razem, otrzymamy obraz badanej powierzchni.



Rysunek 2. Obraz molekuly z grupy porfiryn zdeponowanej na powierzchni ditlenku tytanu otrzymany za pomocą mikroskopu sondy skanującej oraz wizja artystyczna ułożenia molekuly na badanej powierzchni. Strzałki wskazują charakterystyczne kierunki na powierzchni kryształu. (Ilustracja powstała dzięki uprzejmości panów Łukasza Zajęca oraz Piotra Olszowskiego).

nia molekuly względem powierzchni, na której są osadzone oraz względem pozostałych molekuly w warstwie, czy kolejnych warstwach) z informacją na temat właściwości badanej warstwy możemy stwierdzić, który układ jest tym najbardziej pożądanym. Zrozumienie zjawisk zachodzących na styku powierzchni materiałów nieorganicznych i organicznych jest istotne nie tylko dla fotowoltaiki.

Dzięki tej wiedzy możliwe jest też projektowanie nowych zaawansowanych materiałów, takich jak np. powierzchniowe mające zastosowanie w likwidacji zanieczyszczenia powietrza. Zdobyte w ten sposób doświadczenie można też wykorzystać przy projektowaniu elektroniki monomolekularnej, ale to już inna historia.

Tekst został sfinansowany z funduszy projektu, pt. „Struktury molekularne na powierzchniach półprzewodnikowych i izolujących” (PSPB-085/2010), współfinansowanego przez Szwajcarię w ramach funduszy szwajcarskiego programu współpracy z nowymi krajami członkowskimi Unii Europejskiej.

Grätzel, Michael. „Photoelectrochemical cells.” Nature 414, (2001): 338-344.

O'Regan, Brian and Michael Grätzel. „A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films.” Nature 353, (1991): 737-740.