



Kraków, 8 listopada 2023

Tani i wydajny katalizator etanolu z nanocząstek stapianych laserem

Ogniwa paliwowe zasilane etanolem uchodzą za obiecujące źródła zielonej energii elektrycznej. Przy ich produkcji używa się jednak drogich katalizatorów z platyny. Badania nad laserowym stapianiem zawieszin, przeprowadzone w Instytucie Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk w Krakowie, naprowadziły naukowców na trop materiałów katalizujących etanol z efektywnością podobną – a potencjalnie nawet większą – jak platyna, przy tym zbudowanych z wielokrotnie tańszego pierwiastka.

Gdy zawieszinę z nanocząstkami naświetla się impulsami laserowymi, znajdujące się w niej drobiny mogą zacząć się stapiać i trwale zlepiać, przy okazji gwałtownie przechodząc mniej lub bardziej skomplikowane reakcje chemiczne. Jeden z ostatnio tak otrzymanych materiałów, wytworzony w Instytucie Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie, okazuje się mieć nadspodziewanie wysoką efektywność w katalizowaniu etanolu, związku uważanego za obiecujące źródło energii dla ogniw paliwowych.

Etanol jest paliwem charakteryzującym się wieloma zaletami: można go wytwarzać w sposób odnawialny (na przykład z biomasy) i łatwo magazynować, ma również niewielką toksyczność. Szczególnie ważny jest jednak fakt, że z jednostki masy etanolu można pozyskać nawet kilkukrotnie większe ilości energii elektrycznej niż w przypadku obecnie popularnych źródeł zasilania.

Energia elektryczna w ogniwach paliwowych zasilanych etanolem powstaje w procesach związanych z utlenianiem tego alkoholu na warstwie katalizującej reakcję. Niestety, obecne katalizatory nie pozwalają na szybkie i całkowite utlenianie etanolu do wody i dwutlenku węgla. W rezultacie ogniwa nie tylko nie osiągają maksymalnej efektywności, ale także wytwarzają niepożądane produkty uboczne, które osadzają się na katalizatorze i z czasem doprowadzają do zaniku jego właściwości.

„Niebagatelną przeszkodą na drodze do sukcesu komercyjnego ogniw etanolowych jest także ich cena. Znalezione przez nas katalizator może mieć istotny wpływ na jej redukcję, a w konsekwencji na dostępność nowych ogniw na rynku konsumenckim. Jego głównym składnikiem jest bowiem nie platyna, lecz niemal 250 razy od niej tańsza miedź”, mówi dr Mohammad Shakeri (IFJ PAN), pierwszy autor artykułu w czasopiśmie „Advanced Functional Materials”.

Osiągnięcie naukowców z IFJ PAN to rezultat badań prowadzonych nad laserowym kontrolowaniem rozmiarów i składu chemicznego aglomeratów w zawieszinach. Główna idea laserowej nanosyntezy kompozytów sprowadza się do tego, żeby zawieszinę zawierającą aglomeraty nanocząstek określonej substancji chemicznej naświetlać impulsami nieskupionego światła laserowego o odpowiednio dobranych parametrach. Umiejętnie dostarczona energia skutkuje wzrostem temperatury drobin, ich powierzchniowym topieniem i zlepianiem w coraz większe struktury, które błyskawicznie stygną w kontakcie z otaczającą je chłodną cieczą. O temperaturze osiąganym przez drobiny decyduje wiele czynników, m.in. energia fotonów emitowanych przez laser, intensywność wiązki, częstotliwość i długość impulsów, a nawet rozmiary aglomeratów w zawieszinie.

„W zależności od wartości temperatury osiągniętej przez aglomeraty, w materiale oprócz zmian o charakterze czysto strukturalnym mogą zachodzić różnorakie reakcje chemiczne. W naszych badaniach skoncentrowaliśmy się na jak najdokładniejszej analizie teoretycznej i eksperymentalnej zjawisk fizycznych i chemicznych w zawiesinach, w których impulsy światła laserowego były absorbowane przez nanocząstki miedzi i jej tlenków”, wyjaśnia dr hab. Żaneta Świątkowska-Warkocka (IFJ PAN).

W przypadku drobin rzeczywistego roztworu wzrost temperatury zachodzi w czasie nanosekund, zbyt gwałtownie, by można go było zmierzyć. W tej sytuacji pierwszym krokiem w poznaniu badanych układów miedzi stały się teoretyczne analizy dynamiki molekularnej, na późniejszych etapach wsparte symulacjami wykonanymi przez krakowski klaster komputerowy Prometheus. Dzięki nim badacze określili, do jakich temperatur będą się nagrzewały aglomeraty różnych rozmiarów i jakie związki mogą się w tych procesach tworzyć. Sprawdzone ponadto, czy związki te będą termodynamicznie stabilne, czy też będą ulegały dalszym przeobrażeniom. Zdobytą wiedzę fizycy wykorzystali do przygotowania szeregu eksperymentów, w których laserowo stapiano w różnych proporcjach nanocząstki miedzi i jej tlenków.

Otrzymane materiały kompozytowe zostały przebadane w laboratoriach IFJ PAN oraz w krakowskim cyklotronie SOLARIS m.in. pod kątem ustalenia stopnia utlenienia związków miedzi. Zdobyte informacje pozwoliły naukowcom wskazać optymalny katalizator. Okazał się nim trójskładnikowy układ zbudowany z odpowiednich proporcji miedzi i jej tlenków o pierwszym i drugim stopniu utlenienia (czyli Cu_2O i CuO).

„Z punktu widzenia efektywności katalizy etanolu kluczowe było odkrycie, że w naszym materiale występują cząsteczki zwykle termodynamicznie bardzo niestabilnego tlenku miedzi Cu_2O_3 . Z jednej strony charakteryzują się one wyjątkowo wysokim stopniem utlenienia, z drugiej zaś znaleźliśmy je głównie na powierzchni drobin Cu_2O , co w praktyce oznacza, że mają bardzo dobry kontakt z roztworem. To właśnie one ułatwiają adsorpcję cząsteczek alkoholu i rozrywanie znajdujących się w nich wiązań między węglem a wodorem”, stwierdza dr Shakeri.

Badania właściwości katalizatora wyprodukowanego przez krakowskich fizyków zakończyły się optymistycznymi rezultatami. Wyselekcjonowany kompozyt zachowywał zdolność do pełnego utleniania etanolu nawet po kilkunastu godzinach użytkowania. Co więcej, jego efektywność elektrokatalityczna okazała się porównywalna ze współczesnymi katalizatorami platynowymi. Wynik ten od strony naukowej jest wręcz zdumiewający. Kataliza przebiega na ogół tym efektywniej, im większa jest powierzchnia aglomeratów, co ma związek z rozdrobnieniem ich struktury. Tymczasem badany kompozyt nie miał budowy nanometrowej, lecz kilka rzędów wielkości większą, submikronową. Wydaje się więc prawdopodobne, że jeśli w przyszłości fizykom uda się zredukować rozmiary drobin, efektywność nowego katalizatora może jeszcze wzrosnąć.

Prace nad laserowym stapianiem nanostruktur miedzi zostały sfinansowane ze środków Narodowego Centrum Nauki.

Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie prowadzi badania podstawowe i aplikacyjne w obszarze fizyki oraz nauk pokrewnych. Główna część działalności naukowej Instytutu koncentruje się na badaniu struktury materii, w tym własności oddziaływań fundamentalnych od skali kosmicznej po cząstki elementarne. Częścią Instytutu jest nowoczesne Centrum Cyklotronowe Bronowice, unikalny w skali europejskiej ośrodek, obok badań naukowych zajmujący się terapią protonową nowotworów. IFJ PAN prowadzi też cztery akredytowane laboratoria badawcze i pomiarowe. Wyniki badań – obejmujących fizykę i astrofizykę cząstek, fizykę jądrową i oddziaływań silnych, fizykę fazy skondensowanej materii, fizykę medyczną, inżynierię nanomateriałów, geofizykę, biologię radiacyjną i środowiskową, radiochemię, dozymetrię oraz fizykę i ochronę środowiska – są każdego roku przedstawiane w ponad 600 artykułach publikowanych w recenzowanych wysoko punktowanych czasopismach naukowych. Corocznie Instytut jest organizatorem lub współorganizatorem wielu międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych oraz szeregu seminariów i innych spotkań naukowych. IFJ PAN jest członkiem Krakowskiego Konsorcjum Naukowego „Materia-Energia-Przyszłość”, któremu, na lata 2012-2017, nadany został status Krajowego Naukowego Ośrodka Wiodącego (KNOW). Wiele projektów i przedsięwzięć realizowanych przez Instytut jest wpisanych na Polską Mapę Infrastruktury Badawczej (PMIB). Instytut zatrudnia ponad pół tysiąca pracowników. Komisja Europejska przyznała IFJ PAN prestiżowe wyróżnienie „HR Excellence in Research” jako instytucji stosującej zasady „Europejskiej Karty Naukowca” i „Kodeksu Postępowania przy rekrutacji pracowników naukowych”. W klasyfikacji MEIN Instytut został zaliczony do najwyższej kategorii naukowej A+ w obszarze nauk fizycznych.

KONTAKT:

dr hab. **Żaneta Świątkowska-Warkocka**
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
tel.: +48 12 6628262
email: zaneta.swiatkowska@ifj.edu.pl

dr **Mohammad Sadegh Shakeri**
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
tel.: +48 12 6628245
email: ms.shakeri@ifj.edu.pl

PUBLIKACJE NAUKOWE:

„Alternative Local Melting-Solidification of Suspended Nanoparticles for Heterostructure Formation Enabled by Pulsed Laser Irradiation”

M. S. Shakeri, Ż. Świątkowska-Warkocka, O. Polit, T. Itina, A. Maximenko, J. Depciuch, J. Gurgul, M. Mitura-Nowak, M. Perzanowski, A. Dziedzic, J. Nęcki
Advanced Functional Materials, 33, 43, 2023
DOI: [10.1002/adfm.202304359](https://doi.org/10.1002/adfm.202304359)

POWIĄZANE STRONY WWW:

<http://www.ifj.edu.pl/>
Strona Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk.

<http://press.ifj.edu.pl/>
Serwis prasowy Instytutu Fizyki Jądrowej PAN.

MATERIAŁY GRAFICZNE:

IFJ231108b_fot01s.jpg

HR: http://press.ifj.edu.pl/news/2023/11/08/IFJ231108b_fot01.jpg

Kolejne fazy aglomeracji nanocząstek miedzi i jej tlenków, zachodzące w pierwszych 200 pikosekundach laserowego stapiania: u góry na zdjęciach mikroskopowych (pow. 50000x), na dole w symulacji komputerowej. (Źródło: IFJ PAN)

FILMY:

Symulacja laserowego stapiania nanocząstek <https://www.youtube.com/watch?v=pcUKtqFpLqM>
Symulacja laserowego stapiania nanocząstek miedzi i jej tlenków. (Źródło: IFJ PAN)