

## Popularnonaukowy opis badań

Reakcje utleniania i redukcji (tzw. redoks) otaczają nas i są obecne na każdym kroku. Bez nich nie moglibyśmy istnieć – właściwie każdy z procesów zachodzących w naszym organizmie jest o nie oparty. Czasem jednak chcielibyśmy im zapobiec, jak to ma miejsce w przypadku korozji czy starzenia. Z tej przyczyny wiele wysiłku jest wkładane by przyspieszyć albo zahamować te procesy. W przedstawionej pracy doktorskiej chciałbym przyjrzeć się reakcjom redukcji i utleniania na najbardziej podstawowym poziomie – w nanoskali, czyli skali pojedynczych atomów.

Materiałami objętymi badaniami są kryształy tlenków metali – ditlenku tytanu  $\text{TiO}_2$  oraz tytanianu strontu  $\text{SrTiO}_3$ . Ditlenek tytanu jest szeroko stosowany w wielu dziedzinach przemysłu: w elektronice organicznej, katalizie, sensorach czy przy produkcji ogniw słonecznych. Nawet w życiu codziennym spotykamy go każdego dnia, ponieważ  $\text{TiO}_2$  w postaci sproszkowanej jest dodawany jako barwnik nadający biel np. paście do zębów czy farbom. Tytanian strontu jest natomiast intensywnie badany w produkcji nadprzewodników czy szybkich komórek pamięci (tzw. rezystywna pamięć ReRAM – niedługo będzie je już można znaleźć w sklepach dzięki firmie Western Digital).

Jaki zatem jest związek procesów redoks i wymienionych tlenków? Okazuje się, że wszystkie właściwości takich materiałów – kolor, przezroczystość, przewodnictwo czy struktura krystaliczna rządzone są przez ich stopień redukcji. Gdy np. wyjmemy jeden atom tlenu ze struktury  $\text{TiO}_2$ , walencyjność sąsiedniego tytanu spadnie (np. z  $\text{Ti}^{4+}$  na  $\text{Ti}^{3+}$ ), pojawi się jeden wolny elektron a kryształ lokalnie zmieni swój kolor. W taki sposób można osiągać pożądane w danym zastosowaniu właściwości.

Nie jest to jednak aż tak proste – redukcja termiczna pociąga za sobą także zmiany w stechiometrii kationów oraz segregację faz. Opis tego zagadnienia stanowi temat mojej pracy doktorskiej. Udało mi się zbadać nieznane do tej pory zjawiska powstania nowych struktur na powierzchniach  $\text{TiO}_2$  oraz  $\text{SrTiO}_3$  wskutek wygrzewania w warunkach ultra-wysokiej próżni (ciśnienie porównywalne z tym panującym w przestrzeni kosmicznej). Okazuje się, że gdy mocno zredukujemy kryształ  $\text{SrTiO}_3$ , na jego powierzchni pojawiają się krystaliczne nanodruity o kontrolowalnych wymiarach w zakresie od kilkudziesięciu, nawet do kilku tysięcy nanometrów (milionowych części milimetra). Są one przewodzące i nie zmieniają swoich właściwości podczas ekspozycji na powietrze, dlatego też wydają się być bardzo obiecującym kandydatem jako elektrody w elektronice organicznej czy podłoża pod wzrost warstw.

W toku mojej pracy doktorskiej udało mi się wykazać, że taka silna redukcja powoduje powstanie nowych struktur także na innych tlenkach metali. W przypadku  $\text{TiO}_2$  zaobserwowałem nowe uporządkowanie atomów na powierzchni (tzw. rekonstrukcja), które także wykazuje dużą przewodność w nanoskali. Podobne obserwacje poczyniłem dla kryształu, który został wzbogacony w niewielkim stopniu w niob.

Rozwinięciem tych badań będzie staż w Forschungszentrum Jülich, ośrodku naukowym w zachodnich Niemczech, gdzie pracuje niemal 6000 osób. Użycie m.in. mikroskopów elektronowych LEEM i HR-TEM, używających odpowiednio niskich i wysokich energii wiązki elektronów do obrazowania, pozwoli na obserwacje powstania struktur drutów i rekonstrukcji „na żywo” i w skali pojedynczych atomów.

Jaki będzie rezultat moich badań? Naukowcom pomoże zrozumieć, że procesy redukcji i utleniania nie są jednorodne i prowadzą do powstania nowych struktur, a nam wszystkim w przyszłości mogą posłużyć do lepszego oświetlenia mieszkań (diody OLED), szybszych obliczeń (nowe pamięci ReRAM), nie martwiąc się zbytnio o pobór prądu (ogniwa słoneczne i paliwowe).