

## **Streszczenie projektu**

Materiały porowate są klasą materiałów posiadającą kontrolowany rozkład luk, zwanych porami, w swojej objętości. Materiały te są podzielone na trzy kategorie, w oparciu o rozmiary porów: mikroporowate (rozmiary porów  $< 2$  nm), mezoporowate (rozmiary porów  $2 - 50$  nm) i makroporowate (rozmiary porów  $> 50$  nm). Większość wysiłku badawczego jest związana z materiałami mikroporowatymi, które są badane i stosowane w przyrządach dla detektorów, oczyszczania skażeń i filtracji, katalizy reakcji chemicznych czy magazynowania energii. Specjalną klasę materiałów porowatych stanowią porowate metale, cenione za połączenie lekkości i wytrzymałości mechanicznej wraz z wysokim przewodnictwem elektrycznym i cieplnym. Ze względu na typowe sposoby ich wytwarzania, zazwyczaj poprzez spienianie roztopionego metalu za pomocą gazu, czy podobnych procesów, rozmiary ich porów są duże, zazwyczaj rzędu przynajmniej kilku  $\mu\text{m}$ . Takie rozmiary porów są odpowiednie dla zastosowań w elementach konstrukcyjnych, ale mogą się okazać zbyt dużymi dla powłok w zastosowaniach gdzie modyfikacja powierzchniowych właściwości materiału jest pożądana. Metalowe powłoki z nanoskalową porowatością mogłyby wzbogacić wiele z rozwiązań stosujących materiały mikroporowate opisanych powyżej, np. zapewniając lepszy transport ładunku do materiału mikroporowatego poprzez bardziej rozwiniętą powierzchnię doprowadzeń prądowych, czy przez lepsze odprowadzanie ciepła.

Jedną z największych barier opóźniających rozwój porowatych pokryć metalicznych jest brak dobrze przyjętej odpowiedniej techniki wytwarzania powłok, które umożliwiałyby zachowanie wysokiego stopnia kontroli nad morfologią nanostruktur, powtarzalności oraz pokrywania dużych powierzchni. Dobrym kandydatem mogłaby być technika magnetronowego rozpylania katodowego, używana skutecznie do pokrywania dużych powierzchni od szkła architektonicznego do powłok metalowych. Jednakże w ramach tej techniki przyjęte jest dążenie do osadzania powłok tak gęstych jak to możliwe. Niewielka część badaczy jak dotychczas prowadziła prace nad możliwością osadzania porowatych materiałów na drodze magnetronowego rozpylania katodowego. Najistotniejszymi pracami są te dotyczące osadzania pod kątem ślizgowym (*ang.* glancing angle deposition, GLAD) w których otrzymano wzrost materiałów porowatych przy zastosowaniu bardzo niskich kątów ( $< 10^\circ$ ) pomiędzy wiązką materiału osadzanego a powierzchnią podłoża. Jednakże zastosowanie tego podejścia jest problematyczne ze względu na złożoną geometrię konieczną do zastosowania i niskich prędkości wzrostu warstw, co utrudnia wydajny wzrost na dużych powierzchniach.

Nasza grupa w Sieci Badawczej Łukasiewicz – Instytucie Mikroelektroniki i Fotoniki (Ł-IMiF) pokazała, że możliwe jest osadzanie warstw porowatego cynku (Zn) z zastosowaniem normalnej geometrii osadzania (nie jak w GLAD) i bardzo dużymi szybkościami osadzania poprzez dodanie niewielkiej ilości tlenu do szlachetnego gazu używanego do rozpylania, argonu, oraz zastosowania poziomu tlenu poniżej ustalonej wartości progowej i niskich ciśnień całkowitych mieszanki gazów. Pokazaliśmy także, że w przeciwieństwie do powszechnej wiedzy, w trakcie rozpylania istotny jest nie tylko stosunek przepływów argonu do tlenu ale także same wartości tych przepływów. W tym podejściu zademonstrowaliśmy szeroki zakres nanostruktur Zn, od bardzo rozgałęzionych do gęsto-porowatych, z rozmiarami porów w zakresie mezoporowym i o grubości do kilku mikrometrów. Warstwy te znalazły następnie zastosowanie w superkondensatorach (rodzaj magazynów energii) i czujnikach gazów.

W ramach tego projektu chcemy, w oparciu o nasze dotychczasowe wyniki, zmierzyć się z wyzwaniem umożliwienia wzrostu porowatych powłok metalicznych na drodze reaktywnego magnetronowego rozpylania katodowego poprzez dogłębne zbadanie warunków prowadzących do wzrostu porowatego Zn w podejściu opracowanym w naszej grupie. Mamy nadzieję, że badanie i modelowanie układu porowatego Zn umożliwi zrozumienie mechanizmu wzrostu i zastosowanie go do wytworzenia porowatych powłok z innych metali.

Rozpocniemy od badań warunków prowadzących do wzrostu porowatego Zn poprzez niezależne modelowanie procesu rozpylania Zn oraz wzrostu warstw. Zbadamy także dodatkowe zmienne procesowe, którym się jeszcze nie przyglądaliśmy. Osadzimy warstwy Al, Cu i Mg w takich samych warunkach jak porowaty Zn i w oparciu o charakteryzację warstw opracujemy opis wyjaśniający wpływ własności pierwiastków na parametry procesu. Ponadto, zbadamy równoczesne osadzanie porowatego Zn z wybranymi metalami w celu uzyskania porowatych stopów oraz zbadania sposobu w jaki metale wpływają na wzrost warstw, co da dodatkowy wkład do ogólnego opisu wzrostu porowatych warstw metali. Aby wprowadzić mikropory do porowatych metali, planowane jest jednoczesne rozpylanie metali i NaCl z późniejszym rozpuszczeniem soli w wodzie. Własności procesów i warstw będą zbadane z zastosowaniem szerokiego wachlarza komplementarnych technik. Na koniec, aby powiązać padania podstawowe nad wzrostem warstw porowatych ze światem przyrządów, zastosujemy porowate metale w elektrodach superkondensatorów.