

Mgr inż. Jarosław Komorowski  
Instytut Inżynierii Materiałowej  
Wydział Mechaniczny

Promotor: Prof. dr hab. inż. Piotr Kula

Tytuł doktoratu: Odwrócenie kierunku frontu krystalizacji w krzemie na podłożu molibdenowym w reaktywnym procesie próżniowym.

Wraz z rozwojem przemysłu na świecie zapotrzebowanie na energię ciągle wzrasta. Złoża paliw kopalnych, z których otrzymuje się większość energii ciągle maleją i za około 120 lat ulegną wyczerpaniu, a do tego czasu ich cena będzie nieustannie wzrastać. Dlatego też podejmowane są próby pozyskania energii ze źródeł odnawialnych i zastąpienia nimi paliw kopalnych. Energia ze źródeł odnawialnych może pochodzić z wiatru, wody, biomasy, biogazu, z wnętrza ziemi oraz ze słońca. W niniejszej pracy przedstawiono metody rafinacji krzemu w celu jego późniejszego wykorzystania do budowy paneli słonecznych umożliwiających przetwarzanie energii słonecznej na energię elektryczną.

Istnieje wiele metod wytwarzania krzemu nadającego się do późniejszego zastosowania na ogniu słonecznym. Proces otrzymywania krzemu słonecznego rozpoczyna się od przekształcenia kwarcu  $\text{SiO}_2$  znajdującego się w piasku na krzem o czystości do 99,5% w procesie metalurgicznym. Następnie w celu dalszego oczyszczenia krzemu metalurgicznego do czystości wynoszącej ponad 99,9999% Si stosuje się dwie metody rafinacji. Pierwszą z nich jest metoda chemiczna drugą natomiast metalurgiczna. Metoda chemiczna jest obecnie powszechnie stosowana w przemyśle na całym świecie. Posiada jednak wady tj. wysokie koszty spowodowane dużą energochłonnością oraz czasochłonnością procesu produkcji polikrystalicznych wlewków przekształcanych w późniejszych etapach na panele słoneczne czy nawet na płytki procesorów komputerowych. Druga metoda to metoda metalurgiczna rafinacji krzemu do postaci krzemu fotowoltaicznego, nad którymi prowadzone są badania. Jak na razie z powodzeniem rafinowano krzem metodami Kyropoulosa, Bridgmana, topienia strefowego, płukania w kwasach, wprowadzania dodatków o wyższym powinowactwie do zanieczyszczeń występujących w krzemie czy metodą obniżonego ciśnienia. Zagadnieniem podejmowanego projektu badawczego jest udowodnienie założeń teoretycznych odnośnie odwrócenia frontu krystalizacji w krzemie roztopionym za pomocą grzanego oporowo molibdenowego podłoża w kształcie prostokątnej blaszki w procesie przy obniżonym ciśnieniu oraz otrzymanie krzemu nadającego się do zastosowań w przemyśle fotowoltaicznym.

Głównym przesłaniem odwrócenia frontu krystalizacji jest oczyszczenie powierzchni zakrzepniętego krzemu. Założenia te można osiągnąć dzięki spychaniu zanieczyszczeń występujących w krzemie w kierunku podłoża molibdenowego w wyniku wymuszonej krystalizacji kierunkowej zapoczątkowanej na powierzchni rozdzielu roztopiony krzem-atmosfera komory próżniowej. Problemem występującym przy próbie ukierunkowania frontu krystalizacji przemieszczającego się w kierunku podłoża jest znacznie większe i szybsze odprowadzanie ciepła poprzez blaszkę molibdenową stanowiącą podłoże dla przetopionego krzemu niż gdy ciepło odprowadzane jest poprzez atmosferę występującą w komorze próżniowej. W pracy zakłada się, że problem przemieszczania zanieczyszczeń w górne strefy zakrzepniętego krzemu może być rozwiązany poprzez wytworzenie odpowiedniego przechłodzenia na powierzchni roztopionego krzemu, który zainicjuje zarodkowanie homogeniczne i umożliwi wzrost zarodków w kierunku podłoża molibdenowego. W ten sposób przewiduje się wytworzenie kierunkowego frontu krystalizacji przemieszczającego się w kierunku przeciwnym niż podczas samoczynnego procesu krystalizacji roztopionego krzemu na podłożu molibdenowym. Dodatkowym atutem zmiany kierunku przemieszczania frontu krystalizacji będzie gromadzenie się zanieczyszczeń przed frontem krystalizacji i spychanie ich w kierunku podłoża molibdenowego pozostawiając na powierzchni przetopionej warstwy oczyszczony krzem nadający się do zastosowań w fotowoltaice.

Celem pracy jest odwrócenie kierunku przemieszczania się frontu krystalizacji w krzemie o czystości 99,99%Si przetapianym za pomocą układu grzejnego stanowiącego grzane oporowo blaszki molibdenowe, których temperaturą można sterować w czasie procesu zarówno podczas przetapiania jak i krystalizacji. Hipoteza badawcza projektu zakłada, że możliwe jest osiągnięcie wyżej założonych celów poprzez specjalnie zaprojektowany układ grzejny składający się z dolnej blaszki molibdenowej stanowiącej podłoże dla przetapianego krzemu oraz górnej blaszki molibdenowej służącej do ogrzewania surowca od góry a także specjalnych dysz doprowadzających chłodzący gaz obojętny w miejsce, w którym znajduje się roztopiony krzem.

*Komorowski*