

Streszczenie

Reaktor Dwupłynowy (ang. Dual Fluid Reactor - DFR) jest nową koncepcją reaktora wysokotemperaturowego wykorzystującego prędkie neutrony. W DFR zarówno paliwo, jak i chłodziwo, są płynne. Jako paliwo brane są pod uwagę stopione sole lub ciekły metal, natomiast chłodziwem może być ołów lub ołów z bizmutem. DFR jest niezwykle ekonomiczny ze względu na dużą gęstość mocy, a dzięki swojej wysokiej efektywności może zredukować ceny produkcji energii elektrycznej, ciepła przemysłowego oraz wodoru. Materiały konstrukcyjne dla DFR muszą być odporne na bardzo wysokie temperatury, korozję oraz promieniowanie, dlatego brane są pod uwagę materiały ceramiczne takie jak węgiel krzemu, węgiel cyrkonu oraz węgiel tytanu. Badania nowych materiałów dla przemysłu jądrowego zajmują bardzo dużo czasu i są bardzo kosztowne, ze względu na napromieniowanie neutronami w reaktorze. Do badania zniszczeń radiacyjnych możliwe jest jednak użycie ciężkich jonów zamiast neutronów. W ten sposób redukuje się czas napromieniowania z dziesiątek lat do kilku dni.

Niniejsza praca skupia się na zbadaniu możliwości wykorzystania jonów do symulacji uszkodzeń spowodowanych promieniowaniem neutronowym w węglu krzemu. Pomimo, że wpływ promieniowania na ten materiał jest przedmiotem badań od połowy zeszłego stulecia, to wciąż nie wszystko jest w pełni zrozumiane. Podczas przejścia przez materiał, jony tracą swoją energię przez kolizje z atomami lub przez jonizację i ekscytację elektronów. W przypadku niskich energii jonów dominują straty jądrowe, a przy wysokich energiach straty elektronowe. Dla energii pośrednich (w zakresie od kilkuset keV do kilkudziesięciu MeV) można spodziewać się wzajemnego oddziaływania efektów strat jądrowych i elektronowych. Dodatkowo szybkie, ciężkie jony mogą wytwarzać w materiale docelowym ścieżki jonowe, poprzez lokalne stopnienie i zmiany w strukturze krystalicznej, co może być wyjaśnione za pomocą modelu 'thermal spike'. Celem tej pracy jest lepsze zrozumienie skutków promieniowania jonowego w SiC właśnie w tym zakresie energii.

Podstawę przeprowadzonych badań stanowił eksperyment związany z naświetlaniem węgla krzemu jonami Si oraz C o różnych energiach (dla uzyskania różnych wartości strat elektronowych). Rozważono zarówno przypadek, gdy energie jonu są bardzo niskie i dominują straty jądrowe, a także gdy jon ma wysokie energie i dominujące są straty elektronowe. Liczbę defektów i ich rozkłady głębokościowe wyznaczono eksperymentalnie za pomocą spektrometrii rozpraszania wstecznego jonów w trybie kanałowania (RBS/C) i porównanie z symulacjami Monte Carlo wykonanymi przy użyciu kodu McChasy'ego. Wpływ strat elektronowych w węglu krzemu zbadano za pomocą obliczeń opartych zarówno na modelu 'thermal spike', jak i poprzez symulacje dynamiki molekularnej. Wyniki pokazały, że straty elektronowe mogą doprowadzić do podgrzania ścieżki jonów i naprawić defekty sieci krystalicznej. Efekt ten potwierdzono również eksperymentalnie poprzez przeprowadzenie naświetlań w wysokiej temperaturze oraz wygrzanie węgla krzemu po napromieniowaniu, co jednocześnie sprzyja zastosowaniu SiC jako materiału konstrukcyjnego przyszłych wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych.