

Wpływ temperatury na fluorescencję kryształów fluorku litu

Wraz z gwałtownym rozwojem technologii, promieniowanie jonizujące staje się coraz bardziej powszechne w życiu człowieka. Daje to motywację do wprowadzania nowych, i ulepszania już istniejących, metod wykrywania, mierzenia i obrazowania promieniowania jonizującego, które mogłyby być wykorzystywane w różnych dziedzinach działalności człowieka, np. w medycynie, ochronie radiologicznej, przemyśle, badaniach naukowych i wielu innych. Metoda fluoroscencyjnej detekcji śladów cząstek jądrowych (FNTD) jest jedną z najbardziej rewolucyjnych technik rozwijanych w ostatnich latach w dziedzinie dozymetrii promieniowania.

Metoda FNTD wykorzystuje fotoluminescencję (PL) defektów sieci krystalicznej, generowanych przez promieniowanie jonizujące, zwanych centrami barwnymi (CC). Centra te, po wzbudzeniu ich światłem o odpowiedniej długości fali, emitują fotony, co pozwala na obserwację śladów cząstek przy użyciu mikroskopu fluorescencyjnego. Pierwszym, i przez długi czas jedynym, materiałem używanym jako fluorescencyjny detektor śladów cząstek jądrowych był tlenek glinu domieszkowany węglem i magnezem ($\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C},\text{Mg}$). Dopiero niedawno dzięki pracy zespołu w IFJ PAN w Krakowie udało się uzyskać wysokiej jakości fluorescencyjne obrazy śladów cząstek jądrowych przy zastosowaniu kryształów fluorku litu (LiF). Dzięki detektorom śladowych LiF możliwe jest obrazowanie śladów ciężkich jonów takich jak hel, węgiel, neon, krzem i żelazo. Detektory te mogą także być używane do detekcji i pomiarów dawek promieniowania neutronowego lub do określenia energii cząstek alfa oddziałujących z kryształem. Kryształy fluorku litu zostały także wykorzystane do zarejestrowania śladów promieniowania kosmicznego na orbicie Ziemi.

Chociaż ta technika niewątpliwie ma ogromny potencjał, jej ogromnym problemem jest niski stosunek sygnału do szumu. Nawet dla najjaśniejszych śladów, np. śladów jonów żelaza, szum stanowi około 20% maksymalnej wartości intensywności śladu. Zwiększenie stosunku sygnału do szumu oraz intensywności fotoluminescencji jest niezwykle ważne, ponieważ mogłoby umożliwić obrazowanie śladów dotychczas niewidocznych, co pozwoliłoby na rozwinięcie nowych zastosowań tej techniki. Przykładowo, obecnie niemożliwe jest zobrazowanie śladów wysokoenergetycznych protonów, ponieważ w ich przypadku energia zdeponowana na jednostkę objętości jest zbyt mała, aby wytworzyć wystarczającą ilość fotoluminescencji. Jest to poważny problem, ponieważ protony o takich energiach (60-250 MeV) są wykorzystywane w radioterapii raka, która potencjalnie wydaje się być najważniejszym zastosowaniem techniki FNTD. Wydaje się, że najbardziej osiągalnym sposobem na poprawę stosunku sygnału do szumu jest obróbka termiczna kryształów LiF.

Mimo iż LiF jest bardzo dobrze znanym materiałem luminescencyjnym i optycznym badanym przez kilka dziesięcioleci, nadal istnieją pewne luki w naszej wiedzy na jego temat. Jedną z nich jest wpływ obróbki termicznej na centra barwne i ich fotoluminescencję. Na koncentracje różnych centrów barwnych w LiF znaczący wpływ ma temperatura. Pod wpływem obróbki termicznej, niektóre centra barwne rozpadają się, podczas gdy inne oddziałują ze sobą tworząc nowe rodzaje. Wszystko to wpływa na kształt widma PL oraz na intensywność fotoluminescencji. Chociaż wiadomym jest, że takie zależności występują, wyniki przeprowadzonych dotychczas badań są często sprzeczne lub niekompletne. Naszym celem jest wobec tego zgromadzenie brakujących informacji na temat.

W ramach projektu planujemy zbadać wpływ temperatury na każdym etapie procesu napromieniania i odczytu (przed napromienieniem, podczas napromieniania, po napromienianiu i podczas pomiarów PL). Zamierzamy zmierzyć widma absorpcyjne, widma emisyjne PL i widma ekscytacyjne PL, a także zarejestrować i zanalizować mikroskopowe obrazy śladów cząstek jądrowych w różnych oknach spektralnych. We wszystkich eksperymentach zmieniane będą, nie tylko temperatura, ale także czas trwania obróbki termicznej oraz szybkość grzania i chłodzenia. Zamierzamy także sprawdzić, czy obserwowane efekty są uniwersalne, czy zależą od specyficznych właściwości kryształów. Aby to ustalić, planujemy wykorzystać w naszych badaniach kryształy wyprodukowane przy użyciu różnych metod, różnych parametrów wzrostu, materiałów startowych itd.

Głównym rezultatem proponowanego projektu będzie lepsze zrozumienie fizyki centrów barwnych w kryształach LiF. Wierzimy, że przeprowadzanie systematycznych i kompleksowych badań na ten temat dostarczy prawdziwie nowatorskich informacji i w ten sposób wypełni luki w aktualnym stanie wiedzy na temat centrów barwnych w LiF. Ponieważ naszą główną motywacją do podjęcia tych badań jest dalszy rozwój detektorów śladowych LiF, mamy nadzieję, że uzyskane wyniki doprowadzą do optymalizacji właściwości kryształów LiF w perspektywie ich zastosowania do wykrywania i obrazowania promieniowania jonizującego.