

Nr umowy: 2016/21/B/ST8/03200

Tytuł: Nowe ekrany scyntylacyjne na bazie warstw monokrystalicznych mieszanych perowskitów i tlenków

Cel projektu

Celem projektu jest stworzenie nowej generacji ekranów scyntylacyjnych w postaci warstw monokrystalicznych na bazie roztworów stałych perowskitów $(\text{Lu}_{1-x}\text{R}_x)(\text{Al}_{1-y}\text{Ga}_y)\text{O}_3$ i tlenków $(\text{Lu}_{1-x}\text{R}_x)_2\text{O}_3$; $\text{R}=\text{Gd}, \text{Tb}$; $x, y=0\div 1$, domieszkowanych jonami Ce^{3+} , Tb^{3+} i Eu^{3+} , z unikatowo wysoką zdolnością do absorpcji kwantów rentgenowskich, w celu wykorzystania w detektorach mikrotomograficznych z rozdzielczością przestrzenną w zakresie submikronów. Kryształy roztworu stałego (kryształy mieszane) stanowią obecnie ważny trend w poszukiwaniu scyntylatorów o wyższej wydajności świetlnej i lepszej rozdzielczości energetycznej. W ciągu ostatnich dziesięciu lat została stworzona seria nowych materiałów scyntylacyjnych ze znakomitą wydajnością świetlną i wysoką rozdzielczością energetyczną. W szczególności, opracowane w ciągu ostatnich lat roztwory stałe granatów $\text{Gd}_3(\text{AlGa})_5\text{O}_{12}$, $(\text{LuGd})_3(\text{AlGa})_5\text{O}_{12}$ i $(\text{YGd})_3(\text{AlGa})_5\text{O}_{12}$ z domieszkami jonów Ce^{3+} należą do nowej klasy efektywnych i szybkich scyntylatorów z bardzo wysoką wydajnością scyntylacyjną rzędu 60000-65000 fotonów/MeV. Kryształy roztworów stałych złożonych ortokrzemianów $(\text{LuY})_2\text{SiO}_5:\text{Ce}$ (LYSO:Ce) i $(\text{LuGd})_2\text{SiO}_5:\text{Ce}$ (LGSO:Ce) oraz perowskitów YAP, $\text{LuAlO}_3(\text{LuAP})$ i $(\text{Lu}_{1-x}\text{Y}_x)\text{AlO}_3$ (LYAP) są również efektywnymi scyntylatorami wykorzystywanymi w PET.

Szybki rozwój w ostatnich latach techniki mikrotomograficznej z użyciem tradycyjnych źródeł promieniowania X lub promieniowania synchrotronowego spowodowany jest szerokim zastosowaniem takiej techniki w różnych dziedzinach nauki, a mianowicie w materiałoznawstwie, elektronice, biologii, medycynie i archeologii. Jako detektorów dla mikro-tomografii używa się ekranów scyntylacyjnych o wysokiej rozdzielczości przestrzennej rzędu mikronów. W tym celu zostały wytworzone ekrany scyntylacyjne oparte na cienkich kryształach (do 20 μm) lub warstwy monokrystaliczne granatów YAG, LuAG i, a także warstwy ortokrzemianu LSO i perowskitu LuAP. Otrzymania obrazów rentgenowskich z wysoką rozdzielczością w zakresie submikronów wymaga stworzenia nowych ekranów scyntylacyjnych z bardzo małą grubością rzędu 2-5 μm oraz ekstremalnie wysoką zdolnością absorpcji promieniowania X, która jest proporcjonalna do ρZ_{ef}^4 , gdzie ρ jest gęstością i Z_{ef} jest efektywną liczbą atomową scyntylatora. Matryce perowskitu LuAP i tlenku lutetu Lu_2O_3 posiadają unikatowo wysoką gęstość ($\rho=8.34$ i $8.4\text{g}/\text{cm}^3$) i efektywną liczbę atomową ($Z_{\text{ef}}=64.9$ i 68.8) w porównaniu z granatami YAG, LuAG i GGG i krzemianami LSO i LYSO, obecnie stosowanymi do produkcji ekranów scyntylacyjnych w postaci warstw. Dlatego tlenki oparte na Lu_2O_3 oraz perowskity oparte na LuAP z bardzo wysoką zdolnością do absorpcji promieniowania, są wyjątkowo obiecującymi materiałami dla stworzenia scyntylatorów w postaci warstw dla wizualizacji obrazów o submikronowej rozdzielczości.

W ostatnich latach zaproponowano dwie nowe koncepcje do stworzenia detektora mikrotomograficznego. Pierwsza koncepcja przewiduje stworzenie detektora opartego na wykorzystanie hybrydowych wielowarstwowych scyntylatorów, z finalną superpozycją obrazów otrzymanych od każdej części tego scyntylatora, co może znacząco poprawić kontrast obrazów z rozdzielczością nawet w zakresie submikronów. Opracowanie tej nowej idei wymaga także stworzenia generacji „ciężkich” i warstwowych scyntylatorów z różnymi widmami luminescencji, które mogą być wyprodukowane na jednym podłożu. Druga koncepcja stworzenia detektora do mikrotomografii jest oparta na “inżynierii krawędzi K absorpcji promieniowania X” warstwowego scyntylatora, wykorzystując roztwory stałe materiałów zawierających kationy Y, Lu, Gd czy Tb. W taki sposób zdolność absorpcyjna warstwowego scyntylatora może być znacząco zwiększona w zakresie 20-65 eV w związku z bardzo dużym poszerzeniem krawędzi K absorpcji promieniowania rentgenowskiego w takich mieszanych materiałach. Złożone perowskity i tlenki zawierające kationy Lu, Gd, Tb i Y są także bardzo ciekawe dla stworzenia takich ekranów, ponieważ charakterystyczna krawędź absorpcji K promieniowania X dla tych kationów jest znacząco większa w zakresie energii 50-65 keV. To prowadzi do możliwości efektywnego obrazowania nawet przy zastosowaniu detektorów z ekranami scyntylacyjnymi o małej grubości.

Planujemy także wykorzystać w projekcie nowoczesne podejście do wytwarzania nowych materiałów scyntylacyjnych polegające na kombinacji: 1) „inżynierii” przerwy energetycznej badanych związków; 2) „inżynierii” położenia radiacyjnych poziomów 5d jonów ziem rzadkich; 3) zwiększenia efektywności przekazu energii wzbudzenia od matrycy do aktywatora używając kationów Tb^{3+} i Gd^{3+} . Ta kompleksowa metoda będzie zastosowana doznanego materiału scyntylacyjnego –perowskitu LuAP z domieszką jonów Ce^{3+} i polega na wymianie kationów sieci Lu i Al na jony Gd i Tb oraz Ga. Przewiduje się, że taka inżynieria składu matryc perowskitów i energetycznego układu domieszki Ce^{3+} w nich spowoduje zmniejszenie wpływu defektów i domieszek topnika na procesy przekazu energii wzbudzenia oraz doprowadzi do wzrostu wydajności scyntylacji warstw. Wymieniona wyżej metoda polepszenia właściwości scyntylacyjnych, oparta na „inżynierii” przerwy energetycznej materiału oraz sposobów przekazu energii wzbudzenia od matrycy do aktywatorów będzie także stosowana do roztworów stałych tlenków $(Lu_{1-x}R_x)_2O_3$ z domieszkami jonów Eu^{3+} i Tb^{3+} . Kombinacje składu kationów w warstwach złożonych tlenków i perowskitów opartych o lutet pozwoli także na stworzenie szeregu nowych scyntylatorów z różną zdolnością absorpcji promieniowania X. Ekranry takie są niezbędne dla wizualizacji obrazów rentgenowskich 2D/3D w różnych zastosowaniach mikrotomograficznych w nauce i przemyśle, głównie w mikroelektronice, biologii, medycynie i paleontologii. Planujemy także otrzymanie kryształów wybranych związków o najlepszych właściwościach scyntylacyjnych, używając metody mikro-wyciągania (metoda MPD) oraz prowadzić badanie ich właściwości luminescencyjnych i scyntylacyjnych w porównaniu z analogami w postaci warstw. W taki sposób planujemy także dokonać badań podstawowych właściwości optycznych szeregu perowskitów i tlenków, takich jak luminescencja własna matrycy oraz luminescencja defektów i domieszek w tych związkach.