

Projekt NCN OPUS17 nr UMO-2019/33/B/ST3/00406

„Inżynieria poziomu Fermiego w cienkich warstwach dielektryków z domieszkami donorowymi i akceptorowym” (The Fermi level engineering of dielectric crystalline films with donor and acceptor states), projekt realizowany w konsorcjum, kierownik projektu z ramienia UG: dr hab. Sebastian Mahlik, prof. UG, okres realizacji: 24.02.2020 – 23.02.2023, kwota dofinansowania UG: 1 002 500,00 PLN, osoby realizujące projekt: dr hab. Sebastian Mahlik, dr Karol Szczodrowski, dr Justyna Barzowska, dr Agata Lazarowska, mgr Natalia Górecka, mgr inż. Natalia Majewska

Elektrony są fermionami, co oznacza, że zgodnie ze statystyką Fermiego-Diraca zajmują kolejno poziomy energetyczne od najniższego do najwyższego, przy czym na jednym poziomie może znajdować się tylko jeden elektron o określonym spinie. Poziom oddzielający poziomy wypełnione od niezapełnionych przez elektrony, w temperaturze zera bezwzględnego, nazywamy poziomem Fermiego. Kontrolowanie energii poziomu Fermiego w półprzewodnikach poprzez domieszkowanie doprowadziło do wytworzenia złącza p-n, które stało się podstawowym składnikiem wszystkich elektronicznych układów scalonych. Ponadto, w pewnych warunkach złącze p-n może być wydajnym źródłem światła w diodach świecących oraz laserach półprzewodnikowych, a także detektorem światła. Innym zastosowaniem złącza są ogniwa fotowoltaiczne, przetwarzające energię świetlną na elektryczną.

W przypadku dielektryków, mamy niewiele swobodnych elektronów, w stanie podstawowym są one bowiem związane z poszczególnymi atomami. Dlatego uważa się, że energia poziomu Fermiego nie jest istotnym parametrem opisującym ich własności. Sytuacja zmienia się gdy dielektryki domieszkujemy jonami metali przejściowych oraz lantanowców. Procedurę taką stosuje się do produkcji luminoforów oraz scyntylatorów, gdzie pod wpływem energii dostarczonej z zewnątrz następuje luminescencja domieszek. Podczas wzbudzenia (w luminoforach przy pomocy światła, w przypadku scyntylatorów wysokoenergetycznym promieniowaniem) w materiałach luminescencyjnych mogą pojawiać się znacznie ilość swobodnych nośników ładunku (elektronów i dziur). W projektowaniu oraz badaniu tych materiałów nie można ignorować faktu, że elektrony podlegają statystyce Fermiego-Diraca. Choć na ogół nie jest to brane pod uwagę, wartość energii Fermiego decyduje o procesach rekombinacji promienistej oraz wydajności luminescencji.

Przedstawiony projekt ma na celu badanie energii poziomu Fermiego w monokrystalicznych warstwach dielektryków, takich jak granaty, perowskity oraz ortokrzemiany wytwarzanych metodą epitaksji z fazy ciekłej. W szczególności będziemy się koncentrować na znalezieniu zależności wartości energii Fermiego od rodzaju domieszki jonów ziem rzadkich. Co więcej, oprócz samego badania energii Fermiego chcemy również w sposób kontrolowany zmieniać wartość tej energii w cienkich warstwach monokrystalicznych. W tym celu planujemy domieszkować warstwy atomami metali, które posiadają dodatkowe elektrony walencyjne lub mają mniej elektronów walencyjnych niż zastępowane przez nie jony sieci. W ten sposób wytwarzane będą dodatkowe stany energetyczne, które podwyższają lub obniżają poziom Fermiego. Następnie nakładając jedną warstwę na drugą planujemy wytworzyć złącze p-n oraz zbadać jego charakterystyki prądowo-napięciowe i luminescencyjne. Oprócz podstawowej wiedzy na temat energii Fermiego w dielektrykach, spodziewamy się uzyskać nowe efekty, takie jak elektroluminescencja i efekt fotowoltaiczny, które obserwuje się w złączach półprzewodnikowych. W odróżnieniu od półprzewodników, w których przerwa energetyczna jest nie większa niż 4 eV materiały dielektryczne posiadają przerwę energetyczną o szerokości nawet do 10 - 12 eV. Uzyskanie efektywnego złącza p-n w oparciu o dielektryki pozawala wykorzystać więc zupełnie nowy zakres energii niedostępny w konwencjonalnych diodach luminescencyjnych (LED), laserach półprzewodnikowych oraz ogniwach fotowoltaicznych.