

Wzrost epitaksjalny oraz badania morfologiczne, optyczne i transportowe nanostruktur PbSnSe w aspekcie ich zastosowań do detekcji i emisji podczerwieni

W ramach niniejszego projektu chcemy wyhodować i wszechstronnie zbadać nanostruktury wytworzone z półprzewodnika o wąskiej przerwie energetycznej - $Pb_{1-x}Sn_xSe$, otoczone barierami z półprzewodników o znacznie większej przerwie - CdSe, ZnTe. Dalsza część naszych badań poświęcona będzie przypadkowi, w którym nanostruktury z PbSnSe wbudowane zostaną w obszar czynny (i-CdSe) złącza p-n (p-ZnTe, n-CdSe). Nasze dotychczasowe, wstępne badania takich złączy pokazują, że są one czułymi detektorami promieniowania elektromagnetycznego w obszarze bliskiej podczerwieni. Co więcej, dzięki wysokim barierom energetycznym wytwarzanym przez CdSe pozostają one czułe na podczerwień do temperatur bliskich temperaturze pokojowej [39,40]. Stawiamy ponadto hipotezę, że heterozłączone detektory podczerwieni typu p-ZnTe/i-CdSe/PbSnSe/i-CdSe/n-CdSe będą znacznie szybsze niż detektory wytwarzane wyłącznie na bazie soli ołowiu, ponieważ ich kombinacja z materiałami II-VI obniży stałą dielektryczną tych przyrządów, tym samym pojemność złącz i w konsekwencji stałą czasową RC.

Żeby osiągnąć perspektywiczny cel, jakim są czułe detektory podczerwieni, musimy przeprowadzić cały szereg badań natury technologicznej i podstawowej. Nanostruktury PbSnSe wytwarzane będą metodą epitaksji z wiązek molekularnych (MBE), zatem naszym pierwszym zadaniem będzie opanowanie technologii ich wytwarzania. Mamy wprawdzie duże doświadczenie w technologii MBE, ale hodowanie struktur PbSnSe/CdSe stawia wiele wyzwań, ponieważ półprzewodniki IV-VI i II-VI, mimo bardzo dobrego dopasowania stałych sieci, nie mieszają się z sobą ze względu na różne struktury, w których krystalizują. Nasze wyniki uzyskane w badaniach podobnego układu materiałowego PbTe/CdTe obrazują skalę trudności technologicznych napotykaną przy hodowaniu tego typu układów materiałowych. Badania technologiczne, które zamierzamy przeprowadzić będą dotyczyły zależności pomiędzy warunkami wzrostu epitaksjalnego a morfologią wytwarzanych struktur. Konkretnie, chcemy odpowiedzieć na pytanie w jakich warunkach następuje samoorganizacja prowadząca do struktur zero-, jedno- lub dwu- wymiarowych, podobnie jak to ma miejsce w układzie PbTe/CdTe [5,41]. Badania te prowadzone będą przy pomocy mikroskopii elektronowej. Następnie planujemy skupić naszą uwagę na strukturach diodowych typu: p-ZnTe/i-CdSe/PbSnSe/i-CdSe/n-CdSe pod kątem zastosowania ich jako detektorów i ewentualnie emiterów podczerwieni. Pierwsze badania podobnych struktur są bardzo obiecujące [40]. Złącza p-n będą badane metodami optycznymi (fotoluminescencja, elektroluminescencja) i transportowymi (I-V, EBIC, etc.). Główny nacisk położony zostanie na wyznaczenie detekcyjności tych przyrządów, i w powiązaniu z technologią, na jej maksymalizacji w możliwie wysokich temperaturach. Ponadto, będziemy starali się określić zakres światłoczułości w zależności od składu PbSnTe, ale również wymiarowości, rozmiarów i naprężenia nanostruktur PbSnSe.

Są dwa główne powody podjęcia tej tematyki badawczej. Po pierwsze, niemieszające się systemy materiałowe, takie jak PbTe/CdTe i prawdopodobnie PbSe/CdSe są analogiem spinodalnych systemów cieczy i fizyka ich tworzenia i dekompozycji jest bardzo interesująca, ponieważ procesy te (1) zachodzą w fazie stałej i (2) w skali nanometrowej [5, 41]. Po drugie, detektory promieniowania w zakresie bliskiej i średniej podczerwieni, tj. fal elektromagnetycznych o długościach od ok 1 do kilkunastu mikrometrów, znajdują wiele różnorodnych zastosowań m.in. w urządzeniach telekomunikacji światłowodowej, urządzeniach do zdalnego pomiaru temperatury (pirometry) i jej zobrazowania (termowizja, termografia), urządzeniach do pomiaru natężenia promieniowania słonecznego (aktywnometr, piranometr), satelitach telekomunikacyjnych, urządzeniach samonaprowadzania rakiet, pocisków artyleryjskich, bomb, czujnikach ruchu, urządzeniach do analizy składu chemicznego cieczy, ciał stałych i gazów - w tym analizy składu wydychanego powietrza w celach diagnostyki medycznej etc. Ponieważ detektory podczerwieni wytwarzane są zazwyczaj z półprzewodników z wąską przerwą energetyczną, zwiększenie czułości i detekcyjności takich urządzeń wymaga chłodzenia do temperatur kriogenicznych. Dlatego też istnieje duże zainteresowanie rozwojem takich urządzeń. Nasz projekt należy do tego nurtu zainteresowania i dlatego jesteśmy głęboko przekonani, że warto podjąć ten kierunek badań.