

Rozwój technologii supersieci-II rodzaju (*type-II superlattices*-T2SLs) z InAs, GaSb, AlSb stwarza możliwości wytwarzania detektorów podczerwieni osiągających warunki pracy ograniczone promieniowaniem tła/otoczenia (BLIP - *background limited infrared photodetectors*) charakteryzujących się krótkimi stałymi czasowymi w temperaturach osiąganych przez chłodziarki termoelektryczne. Coraz więcej zastosowań aplikacyjnych wymaga pracy w temperaturach pokojowych i wyższych. Obszar tych badań jest jednym z najbardziej eksplorowanych w zakresie 3–14 μm widma promieniowania podczerwonego.

Szacowania teoretyczne wskazują na fizyczne własności T2SLs InAs/GaSb jako materiału, który może zastąpić wyeksploatowany pod względem naukowym tellurek kadmowo rtęciowy (HgCdTe). Dodatkowo, osiągi detektorów z T2SLs InAs/GaSb mogą zostać zwiększone poprzez zastosowanie struktur kaskadowych (stosowych, wielokrotnych) i warstw barierowych. Struktury te zwiększają wydajność kwantową detektora i ograniczają transport nośników generowanych termicznie.

W projekcie skupimy się na badaniach zjawisk towarzyszących detekcji promieniowania w średniofalowych (MWIR - *medium wavelength infrared radiation*) kaskadowych strukturach detekcyjnych z obszarem aktywnym T2SLs InAs/GaSb (osadzanych na podłożach GaAs) pracujących w warunkach wysokotemperaturowych ($\geq 300\text{ K}$; HOT - *high operating temperature*). Wstępne dane eksperymentalne wskazują, że zastosowanie struktur kaskadowych z obszarem aktywnym T2SLs InAs/GaSb i barierami B-InAs/AlSb na podłożach GaSb pozwala wytwarzać detektory MWIR HOT charakteryzujące się wysokimi wartościami wykrywalności $\geq 10^9\text{ cmHz}^{1/2}/\text{W}$ (struktura niezasilana) i szybkościami działania 1–2 ns dla $V = 400\text{ mV}$, $T \approx 300\text{ K}$, co podkreśla zasadność dalszych badań nad tymi strukturami. Oczekujemy, że w średniofalowych barierowych strukturach detekcyjnych z T2SLs InAs/GaSb (podłoża GaAs) pracujących w warunkach wysokotemperaturowych ($\geq 300\text{ K}$) uzyskamy stałe czasowe poniżej 1 ns przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej wykrywalności $\sim 10^{10}\text{ cmHz}^{1/2}/\text{W}$.

Głównym celem projektu będzie badanie i poznanie zjawisk związanych z szybkością działania oraz projektowanie, modelowanie i wzrost techniką MBE (*Molecular Beam Epitaxy*) struktur kaskadowych o krótkiej stałej czasowej z obszarem aktywnym T2SLs InAs/GaSb przeznaczonych do wytwarzania detektorów podczerwieni pracujących dla $T \geq 300\text{ K}$.

Zadania konieczne do zrealizowania podstawowego celu to:

- 1) numeryczna analiza zjawisk fotoelektrycznych w strukturach kaskadowych z uwzględnieniem szybkości odpowiedzi z wykorzystaniem platformy obliczeniowej APSYS z biblioteką T2SLs;
- 2) wzrost struktur kaskadowych z obszarem aktywnym T2SLs InAs/GaSb na podłożach GaAs z wykorzystaniem technologii MBE (Ribber Compat 21 DZ);
- 3) charakteryzacja warstw epitaksjalnych celem weryfikacji ich jakości (XRD X'PERT3 MRD; fotoluminescencja);
- 4) *processing* detektorów (trawienie, nanoszenie kontaktów);
- 5) charakteryzacja struktur detekcyjnych (I - V , C - V , charakterystyki spektralne, szybkość odpowiedzi - Optical Parametric Oscillator w zakresie ps w funkcji temperatury pracy i napięcia zasilania).

Warstwy T2SLs będą osadzone we wspólnym laboratorium epitaksji związków $A^{\text{III}}B^{\text{V}}$ - VIGO System S.A./WAT. Zakład Fizyki Ciała Stałego wykona charakteryzację i przeprowadzi symulacje numeryczne efektów towarzyszących detekcji promieniowania, w szczególności szybkości odpowiedzi. Symulacje numeryczne struktur detekcyjnych zostaną wykonane przy użyciu oprogramowania APSYS (Crosslight Inc.). Analiza zjawisk towarzyszących detekcji promieniowania pozwoli wyznaczyć mechanizmy bezpośrednio odpowiedzialne za szybkość działania przyrządów, jak również pozwoli określić optymalną architekturę charakteryzującą się maksymalną szybkością działania (grubość i liczba kaskad). Finalną część projektu stanowi charakteryzacja zoptymalizowanych struktur detekcyjnych t.j. pomiar charakterystyk I - V , C - V , charakterystyk spektralnych i szybkość odpowiedzi celem zweryfikowania poprawności symulacji numerycznych.

Prace badawcze nad detektorami podczerwieni pracującymi bez chłodzenia kriogenicznego są polską specjalnością optoelektroniczną dobrze rozpoznawalną w świecie. Od wielu lat, zespół Zakładu Fizyki Ciała Stałego (ZFCS) zajmuje się numerycznym modelowaniem zjawisk towarzyszących detekcji promieniowania podczerwonego dla związków z grupy $A^{\text{III}}B^{\text{VI}}$, w szczególności HgCdTe. Powszechnie wiadomo, że HgCdTe jest wiodącym materiałem wykorzystywanym do wytwarzania detektorów podczerwieni pracujących w szerokim zakresie widma tego promieniowania. Proponowany projekt kontynuuje i rozszerza te badania, a w szczególności szybkość działania detektorów HOT w temperaturach $T \geq 300\text{ K}$. Wymaga to, oprócz zaawansowanej technologii, wiedzy i możliwości w zakresie numerycznego modelowania zjawisk towarzyszących detekcji promieniowania.

Znaczenie proponowanego projektu wynika z możliwości zwiększenia funkcjonalności detektorów, jak również możliwości pracy w temperaturach niewymagających chłodzenia kriogenicznego. Pozwoli to w znacznym stopniu zwiększyć zakres potencjalnych zastosowań w nauce, medycynie ochronie środowiska w szczególności do zastosowań, gdzie chłodzenie kriogeniczne jest niemożliwe lub trudne do zrealizowania. Proponowane struktury detekcyjne mogą być z powodzeniem wykorzystane również do wykrywania materiałów wybuchowych, co nabiera szczególnego znaczenia w dobie zwiększających się zagrożeń terrorystycznych.

Projekt obejmuje zadania niepodjęwane do tej pory. W literaturze brakuje teoretycznej jak i eksperymentalnej analizy szybkości odpowiedzi struktur kaskadowych z obszarem aktywnym T2SLs InAs/GaSb osadzanych na podłożach GaAs. Brakuje również prac dotyczących optymalnej struktury detekcyjnej charakteryzującej się krótkimi czasami odpowiedzi (grubość i liczba kaskad), co podkreśla oryginalność podejmowanej tematyki. Realizacja projektu pozwoli zrozumieć zjawiska transportu nośników i mechanizmy bezpośrednio odpowiedzialne za szybkość działania detektorów. Wierzmy również, że przyczyni się do wypracowania optymalnej szybkiej struktury detekcyjnej dla warunków wysokotemperaturowych ($T \geq 300\text{ K}$).