

Promieniowanie podczerwone jest często wykorzystywane zarówno w wyrafinowanej technice jak i w życiu codziennym. Ważnym obszarem tego promieniowania jest tzw. średnia podczerwień. Pod tym pojęciem kryje się światło o długościach fali z zakresu od kilku do kilkudziesięciu mikrometrów. Takie promieniowanie jest wybiórczo pochłaniane przez związki chemiczne ważne dla ochrony środowiska, diagnostyki medycznej i bezpieczeństwa publicznego. Dzięki temu układy zawierające źródło i detektor średniej podczerwieni są najczulszymi czujnikami obecności takich substancji jak markery niektórych chorób i opary materiałów wybuchowych. Potrafią wykryć nawet jedną taką cząsteczkę wśród miliarda innych. Te potencjalne zastosowania, jak również inne, z zakresu wojskowości i telekomunikacji, powodują, że źródła i detektory średniej podczerwieni są obiektami badań wielu ośrodków naukowych na świecie. Wśród nich znajduje się Instytut Technologii Elektronowej w Warszawie, w którym prowadzone są badania nad kwantowymi laserami kaskadowymi, jednymi z najbardziej obiecujących źródeł takiego promieniowania.

Po dwudziestu latach od prezentacji pierwszego prototypu, lasery kaskadowe są całkiem dojrzałymi przyrządami. Pracują stabilnie w temperaturze pokojowej i znajdują już praktyczne zastosowania. Jednak zachodzące w nich zjawiska fizyczne nie są jeszcze do końca zbadane. Podstawowym celem projektu jest przeprowadzenie badań podstawowych, których przedmiotem będą zjawiska zachodzące wewnątrz lasera kaskadowego. Szczególną trudnością są tu wymiary tych laserów. Jak na lasery półprzewodnikowe przystało, mają one obszary czynne o rozmiarach kilku do kilkunastu mikrometrów. W przypadku laserów kaskadowych jest to wielkość tego samego rzędu co długość fali, którą emitują. Jednocześnie w tym mikroskopijnym obszarze zawarte jest w tych laserach kilkaset ultracienkich warstw półprzewodników o różnych właściwościach. To sprawia, że opis zjawisk fizycznych zachodzących wewnątrz lasera kaskadowego jest nietrywialny i wymaga weryfikacji doświadczalnej, która z tych samych powodów jest trudna do realizacji.

Szczególnym zagadnieniem, które będzie przedmiotem projektu, jest badanie rozkładu natężenia światła tuż po tym, jak opuszcza ono laser, czyli w tzw. polu bliskim. Znając ten rozkład można ocenić między innymi jak przepływa prąd i ciepło przez strukturę. Te subtelności są gubione na dalszej drodze światła. Dlatego zazwyczaj wykonywany pomiar rozkładu natężenia światła w dużej odległości od lasera, czyli w tzw. polu dalekim, nie daje tak dokładnych informacji. Jednak aby zmierzyć rozkład w polu bliskim potrzeba pomiaru o bardzo wysokiej rozdzielczości przestrzennej. Skoro badany obszar ma wymiary mikrometrowe, to musi być mierzony z rozdzielczością jeszcze mniejszą – nanometrową. W innym przypadku będzie za mało punktów pomiarowych, żeby uzyskać jakiegokolwiek wartościowe informacje.

Dodatkową trudnością pomiaru własności laserów kaskadowych jest szybkość zmian stanu takiego lasera podczas jego pracy. Dotychczas stosowane metody badania pola bliskiego laserów bliskiej podczerwieni są metodami skanującymi. To oznacza, że pomiar całego rozkładu polega na sczytywaniu krok po kroku wartości natężenia pola w kolejnych punktach przestrzeni. W czasie pomiaru w kolejnym punkcie stan lasera może ulec zmianie i całkowity zmierzony rozkład nie uwzględnia tych szybkich zmian, a jedynie stan uśredniony po czasie.

Rozwiązaniem proponowanym w projekcie jest stworzenie specjalnej linijki detektorów termoelektrycznych. Zamiast przemiatania przestrzeni jednym detektorem będzie wykonywany jednoczesny pomiar przez wiele detektorów ułożonych w linijkę. Każdy z nich będzie miał nanometrowe rozmiary. Dzięki temu możliwe będzie wysokorozdzielcze badanie zmiennych w czasie właściwości laserów.

Stworzenie takiej linijki detektorowej, jak również pojedynczych detektorów, będzie wartościowym pobocznym skutkiem projektu. Najpopularniejsze obecnie detektory średniej podczerwieni są drogie i zawierają toksyczne pierwiastki, takie jak rtęć i kadm. Zgodnie z dyrektywą Unii Europejskiej te substancje mają być stopniowo wycofywane z europejskiego rynku. Detektor stworzony na potrzeby projektu będzie stosunkowo tani i oparty na bezpiecznych dla środowiska związkach krzemu. Oprócz tego będzie detektorem termoelektrycznym, a zatem będzie reagował nie na konkretną długość fali, ale na energię fotonów zamienioną na ciepło. Dzięki temu będzie to detektor uniwersalny i znajdzie zastosowanie również w analogicznych badaniach laserów emitujących promieniowanie terahercowe.

Realizacja projektu będzie miała wielostronny wpływ na stan wiedzy na temat źródeł i detektorów średniej podczerwieni. Podstawowym obszarem badań będą pomiary prowadzące do lepszego zrozumienia zjawisk zachodzących wewnątrz kwantowych laserów kaskadowych. Ich przeprowadzenie, poza dominującym celem poznawczym, będzie miało również skutki praktyczne – umożliwi dalsze doskonalenie tych przyrządów oraz doprowadzi do powstania detektora średniej podczerwieni o nowej konstrukcji.