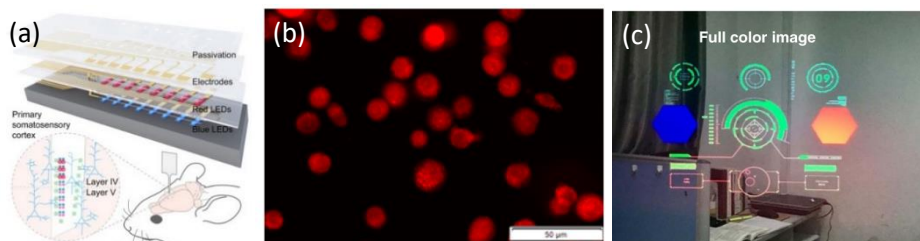


Cele i motywacja projektu. Głównym celem tego projektu jest zbadanie i opracowanie nowej generacji struktur mikro-LEDów (μ LED) zdolnych do emitowania w obszarze długich fal (powyżej 570 nm) z dużym potencjałem do osiągnięcia emisji w czerwonej części widma światła widzialnego.

Czerwone diody μ LED zyskują dużą uwagę ze względu na ich potencjalne zastosowania w optogenetyce, interfejsach neuronowych i fototerapii dzięki głębokiej penetracji tkanek [1,2]. Mogą również pełnić funkcje jako precyzyjne źródła światła w czujnikach i systemach lab-on-chip a także są badane pod kątem szybkich VLC i Li-Fi [3] czy wyświetlaczy RGB [4]. Czerwone μ LEDy oparte na InGaN napotykać jednak szereg istotnych wyzwań. Aby uzyskać emisję w zakresie czerwonym, konieczne jest wprowadzenie wysokiej zawartości indu, co powoduje znaczne naprężenia w strukturze i prowadzi do powstawania defektów krystalicznych, obniżających jakość materiału i jego efektywność. Relaksacja tych naprężeń skutkuje powstawaniem dyslokacji, które zmniejszają czas życia nośników i sprawność

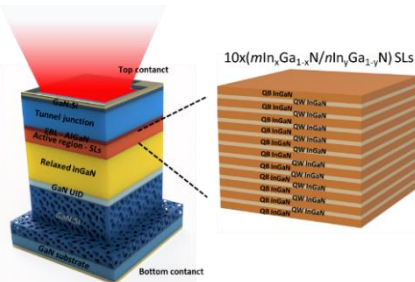


Rysunek 3. Przykłady zastosowania czerwonych diod LED: (a) precyzyjna kontrola aktywności neuronów [1], (b) wykrywanie komórek nowotworowych [2], (c) wyświetlanie

kwantową, powodując wzrost rekombinacji nieradiacyjnych i obniżenie intensywności świecenia. Dodatkowo, struktury o wysokiej zawartości indu cechują się niższą stabilnością termiczną i elektryczną, co pogarsza długoterminową wydajność urządzeń. Aby przezwyciężyć

powyższe problemy i zwiększyć zawartość indu, prowadzi się intensywne badania nad redukcją naprężeń w podłożach GaN. Choć stosuje się różne podejścia, najbardziej obiecujące wydaje się wykorzystanie porowatych pseudopodłoży, które dzięki elastycznej relaksacji zmniejszają naprężenia i liczbę defektów, poprawiając tym samym efektywność emisji.

Aby rozwiązać powyższe problemy, proponujemy innowacyjne podejście wykorzystujące supersieci InGaN/InGaN (SLs) o zróżnicowanej geometrii w obszarze aktywnym struktury, wzrastających na precyzyjnie zaprojektowanych porowatych pseudopodłożach. Poprzez staranny dobór szerokości studni kwantowych (QW) i barier kwantowych (QB), w połączeniu ze specjalnie zaprojektowanymi porowatymi podłożami, dążymy do zwiększenia zawartości indu, redukcji naprężeń wewnętrznych oraz uzyskania wysoce wydajnych urządzeń optoelektronicznych. Obszar aktywny będzie składał się z zestawu supersieci $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ o różnych geometriach, z bardzo wąskimi QWs o szerokości 0.5-2 nm i zmiennej zawartości indu ($x > 0.16$) oraz QBs o szerokości 0.75-5 nm i zawartości indu $y < 0.1$. W celu redukcji naprężeń proponujemy zastosowanie porowatych pseudopodłoży, które umożliwiają elastyczną relaksację, zapewniając tym samym wyższą jakość strukturalną w porównaniu do innych popularnych metod.



Rysunek 2. Schemat struktur μ LED z obszarem aktywnym składającym się z SL z 10 okresami QWs InGaN/InGaN.

Supersieci proponowane jako obszar aktywny diod μ LED składają się z ultracienkich studni kwantowych (QW) i barier kwantowych (QB), mających zaledwie kilka warstw atomowych. Ze względu na bliskie położenie tych warstw, funkcje falowe QW i QB silnie ze sobą oddziałują, co umożliwia precyzyjne dostrajanie właściwości optycznych. Kluczową zaletą zastosowania supersieci jest możliwość regulacji długości fali emisji poprzez zmianę grubości QW i/lub QB. Dodatkowo, efekt tunelowania nośników przez cienkie bariery pozwala na bardziej równomierne wypełnianie pasm w porównaniu do standardowych struktur QWs, co może prowadzić do zwiększenia wydajności emisji. Połączenie wyjątkowych właściwości supersieci z wykorzystaniem porowatych pseudopodłoży otwiera nowe możliwości rozwoju wydajnych diod μ LED emitujących czerwone światło.

Wpływ projektu na rozwój dziedziny. Wprowadzenie wydajnych μ LEDów o długiej fali emisji będzie przełomem zarówno dla przemysłu, jak i nauki. Umożliwi tworzenie pełnokolorowych wyświetlaczy z monolityczną integracją RGB, wspierając rozwój technologii AR/VR, urządzeń do noszenia oraz motoryzacyjnych, przewyższając OLED i LCD pod względem jasności, wydajności i żywotności. W medycynie poprawi obrazowanie głębokich tkanek, wpłynie na optogenetykę i urządzenia wszczepialne. Z naukowego punktu widzenia, efektywna czerwona emisja w InGaN przyczyni się do większej kontroli nad naprężeniami, rozwoju inżynierii pasmowej oraz projektowania struktur kwantowych, pogłębiając naszą wiedzę o dynamice nośników. Zgodnie z naszą wiedzą, dotychczas nie opublikowano prac dotyczących zastosowania azotkowych supersieci wzrastających na porowatych pseudopodłożach w μ LEDach emitujących w zakresie długofalowym. Innowacyjne podejście zaproponowane w niniejszym projekcie ma na celu zwiększenie wydajności emisji i dostarczenie silnego dowodu słuszności koncepcji, tym samym posuwając naprzód rozwój technologii emiterów światła oraz fizyki półprzewodników.