

Zeszłoroczna nagroda Nobla z fizyki przyznana została za opracowanie wydajnych ródeł wiatła widzialnego w formie diod elektroluminescencyjnych (LED'y). Diody te wykorzystuj jako materiał emituj cy wiatło półprzewodniki z rodziny azotków. Takie jak azotek galu, azotek indu i azotek aluminium, czyli GaN, InN, AlN. W rzeczywistych opracowaniach LEDów stosuje si równie azotkowe stopy potrójne, w tym $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ i $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$. Pierwsze z nich tworzą studnie kwantowe emitera, podstawy elementu umoliwiaj cy efektywn generacj wiatła widzialnego. Wielko ci x i y oznaczaj zmienn zawarto kationów In i Al w stosunku do Ga oraz okre laj energi emitowanego wiatła czyli długo fali tego promieniowania. Potocznie mówi si o jego barwach. Niebieskie wiatło odpowiada długo ci fali około 450 nm.

Z fizycznego punktu widzenia energia emisji LED wynika z wielko ci tzw. przerwy energetycznej zastosowanego półprzewodnika. Jest to obszar niedozwolonych energii dla elektronów. Ich pobudzenie poprzez przerw energetyczn wymaga zastosowania zewn trznego ródeła wiatła lub przyło onego poprzez kontakty elektryczne zewn trznego napi cia indukuj cego przepływ pr du przez struktur LEDów. Powrót elektronów do stanów wyj ciowych wyzwała odpowiedni energi i uzyskuje si wi zk wiatła w formie strumienia fotonów. Zastosowanie LEDów do o wietlenia ma ogromne znaczenie w kontek cie wielomiliardowych oszcz dno ci w redukcji kosztów energii elektrycznej wykorzystywanej w o wietleniu przy uyciu tradycyjnych emiterów wiatła, takich jak arówki. Naley podkre li, e wspomniany aspekt ekonomiczny został silnie wyeksponowany w uzasadnieniu przyznania Nobla 2014.

Uzyskanie wydajnych LEDów poprzedziły dwie dekady bada fizyków i in ynierów prowadzonych w laboratoriach na całym wiecie, równie w Laboratoriach naszego Instytutu. Wci wiele aspektów mechanizmów fizycznych odpowiedzialnych za ten spektakularny sukces technologiczny wymaga zrozumienia, utrudnia to istotnie dalsz popraw parametrów azotkowych diod elektroluminescencyjnych. Dotyczy to zarówno parametrów struktury takich przyrz dów jak równie wci niezadowolaj cej efektywno ci przekształcania energii dostarczanej w formie pr du elektrycznego na wiatło. Obecny projekt dotyczy obu tych zagadnie .

Dost pne na rynku azotkowe LEDy operuj ce w obszarze wiatła widzialnego wytwarzane s w ramach tzw. architektury płaskiej. Polega ona na naniesieniu sekwencyjnego układu warstw o ró nych własno ciach na podło a narzucaj ce parametry struktury krystalograficznej na nanoszone warstwy. Odbywa si to w ramach procesów tzw. epitaksji. Im bli sze s odległo ci mi dzy atomami warstw (i ich wzajemnego uło enia czyli symetrii) do odpowiednich wielko ci charakteryzuj cych podło e tym doskonalsze struktury warstw a wi c całej diody elektroluminescencyjnej udaje si uzyska . Jak wiadomo polsk specjalno ci w dziedzinie półprzewodników azotkowych jest umiej tno wytworzenia perfekcyjnych kryształów GaN, idealnego materiału na podło a. Ze wzgl du na ich wysoki koszt, stosuje si obecnie w skali wielkoprzemysłowej podło a "obce": z szafiru, krzemu rzadziej w glika krzemu. Odpowiednie zabiegi technologiczne pozwalaj zaadoptowa takie podło a do procesów wzrostowych ale cen za takie zabiegi jest znaczna ilo defektów obni aj cych efektywno wiecenia LEDów azotkowych. Wykorzystanie polskich podło y GaN w tym projekcie stanowi jego wa ny atut.

Zgodnie z obecnymi trendami mikroelektroniki i mikrofoniki, wkraczaj cymi w obszary „NANO”, bardzo wa nym aspektem bada jest miniaturyzacja urz dze . Oprócz oszcz dno ci materiałowych (i wzrostu efektywno ci działania) pojawiaj si nowe efekty fizyczne towarzysz ce obni eniu rozmiarów struktur przyrz dowych. Dotyczy to równie miniaturyzacji LEDów. Dotychczasowy rozwój polegał głównie na nanostrukturyzacji płaskich przyrz dów o wymiarach makroskopowych. Głównym celem była poprawa ich efektywno ci w zastosowaniach dotycz cych o wietlenia. Równolegle jednak trwały badania nakierowane na zastosowania zwi zane z nanolitografi , nanoskalowym wytwarzaniem wzorów (direct writing), rezonansowym i selektywnym przekazem energii w formie wiatła do materiałów zawieraj cych du e molekuly i kropki kwantowe. Ten ostatni obszar dotyczy głównie biologii.

W celu miniaturyzacji LEDów w układach wieloemiterowych (do rozmiarów submikronowych) stosuje si dwa podej cia: technik bardziej rozwini t "od dołu-do góry" (bottom-up) i stosowan znacznie rzadziej: "od góry-do dołu" (top-down). Obie prowadz do wytworzenia mikronowych i submikronowych matryc emiterów kolumnowych, zawieraj cych wszystkie elementy makroskopowych LEDów wraz z ich zasilaniem elektrycznym. Pierwsze podej cie polega na wykorzystaniu wzrostu selektywnego nanokolumn na uprzednio przygotowanym podło u. Np. przez otwory w odpowiednich maskach. Zasadniczym elementem drugiego podej cia jest technika reaktywnego trawienia jonowego, które ł czy działanie chemiczne reaktywnego gazu (np. CL) i fizyczne działanie plazmy. Wymaga ona stosowania odpowiednich masek, umoliwiaj cych usuni cie materiału makroskopowej diody LED z obszarów pomi dzy zachowanymi kolumnami. W obecnym Projekcie b dziemy zajmowa si miniaturowymi kolumnowymi LEDami o rozmiarach pomi dzy 0.5 – 2 μm , wytworzonymi technik podwójnego trawienia. Drugi z procesów to chemiczne trawienie "na mokro" kolumn uzyskanych w ramach opisanego powy ej wst pnego trawienia. Trawienie „na mokro” pozwala uzyska zarówno idealnie wykształcone ciany boczne kolumn jak i zmniejszy ich rednice. Lustrzane powierzchnie boczne kolumn s wa ne dla wiatłowodz cych zdolno ci tych emiterów. W celu mikro- i nanostrukturyzacji matryc LEDowych metodami trawienia do wytworzenia masek wykorzystamy metody fotolitografii optycznej oraz elektronolitografii. Pierwsza do wytworzenia maski wykorzystuje wi zk lasera, druga wi zk elektronów.

Podejmiemy równie prób zastosowania techniki nano-maskowania przy uyciu odpornych na trawienie mikro/nano cz stek, takich jak np. kulki krzemionkowe. Oprócz przygotowania matryc miniaturowych kolumnowych LEDów przewidujemy równie wytworzenie odseparowanych, pojedynczych emiterów. Umo liwiaj one popraw własno ci widma optycznego takich nanoprzyrz dów, w szczególno ci wzrost efektywno ci wiecenia i uzyskanie bardzo w skich linii elektroluminescencji, tworzonych przez tzw. ekscytony. Ta ostatnia sytuacja pozwala podj prób wykorzystania wytworzonych submikronowych LEDów do emisji pojedynczych fotonów.

W proponowanym projekcie mo emy wykorzysta wietnie sprawdzone i wytwarzane w naszym Instytucie, planarne metody wzrostu epitaksjalnego wysoko-wydajnych struktur studni kwantowych osadzanych na bezdefektowych podło ach GaN. Zastosowanie z sukcesem do miniaturyzacji tych struktur podej cia „góra-dół" (z dodatkowym mokrym trawieniem) stworzyło by szans stosowania w naszym Instytucie unikalnej metody miniaturyzacji azotkowych struktur kwantowych, w tym submikronowych LEDów kolumnowych.