

GNOMES – Nanodrutu GaN z Powłokami tlenkowymi: Modyfikacja i Udoskonalenie poprzez Inżynierię powierzchni



Rys. 1 Obraz wygenerowany za pomocą OpenAI's DALL·E

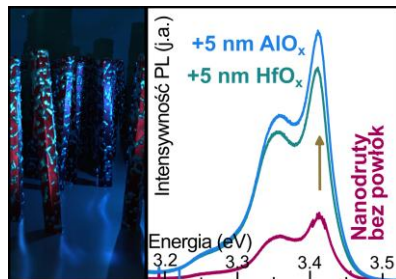
Motywacja projektu

Postęp naszej cywilizacji można zobrazować poprzez rozwój źródeł światła – od ognia, przez żarówki, po wydajne diody elektroluminescencyjne (LED) i lasery. W tej dziedzinie **azotek galu (GaN)** odgrywa kluczową rolę, jako baza dla wysokowydajnych, ekologicznych i tanich niebieskich oraz ultrafioletowych diod LED. Podczas gdy współczesny rozwój **optoelektroniki** związany jest z **nanotechnologią**, **nanodrutu GaN** zwróciły uwagę naukowców jako wysokiej jakości, niskowymiarowy układ kwantowy o zwiększonej wydajności luminescencji. Wysoki stosunek powierzchni do objętości nanodrutów sprawia jednak, że są one wrażliwe na warunki zewnętrzne oraz mają wysoką gęstość stanów powierzchniowych, co ogranicza ich zastosowanie. Rozwiązaniem są układy typu **rdzeń-powłoka**, w których nanodrutu GaN są pokrywane powłokami (Rys. 1). Wpływa to na

właściwości nanodrutów i poprawia ich parametry użytkowe. Oddziaływanie pomiędzy rdzeniem a powłoką jest jednak złożone i niejednoznaczne. Dlatego niezbędne są podstawowe badania nad tymi układami, które przyczynią się do rozwoju nowej generacji źródeł światła.

Cel projektu

Projekt GNOMES koncentruje się na **efektach powierzchniowych** poprzez badanie struktur rdzeń-powłoka składających się z nanodrutów GaN pokrytych tlenkami o szerokiej przerwie energetycznej. Dotychczasowe badania w niewielkim stopniu opisywały wpływ takich powłok na nanodrutu GaN, w szczególności w przypadku amorficznych ultra-cienkich powłok, powłok wielowarstwowych lub o mieszanym składzie oraz struktur po obróbce cieplnej. Celem projektu jest dogłębne zbadanie tych przypadków, kluczowych w zaawansowanej inżynierii powierzchni i defektów. Spodziewanym rezultatem jest **wpływ powłok na właściwości strukturalne nanodrutów** (np. deformację sieci krystalicznej), **parametry optyczne** (w tym wydajność luminescencji i stabilność) oraz **strukturę pasmową**, z powodu efektu redukcji wygięcia pasm i redystrybucji stanów powierzchniowych. Kluczowym aspektem badań będzie określenie **optymalnej grubości powłoki**, zaobserwowano bowiem, że największy wzrost wydajności luminescencji występuje dla cienkich powłok (Rys. 2). Zjawisko to sugeruje możliwość kontrolowania różnych mechanizmów, co pozwala na szczegółowe badania efektów powierzchniowych i międzywarstwowych. Tym samym projekt GNOMES zapewnia nie tylko badania materiałowe, lecz także **podstawowe badania fizyczne**, mające na celu zrozumienie wpływu powierzchni i międzywarstwy na działanie i właściwości nanostruktur.



Rys. 2 Wzrost intensywności luminescencji nanodrutów typu rdzeń-powłoka, Small 20(44) 2401139 (2024)

Opis badań

Cele projektu zostaną zrealizowane dzięki systematycznym i kompleksowym badaniom struktur różniących się materiałem, fazą krystaliczną, grubością, temperaturą osadzania oraz rodzajem prekursora, przy użyciu szerokiego zakresu technik pomiarowych. **Skaningowa i transmisyjna mikroskopia elektronowa** umożliwi obrazowanie struktury i analizę morfologii powłok, nawet w przypadku ultra-cienkich, nanometrowych warstw. **Dyfrakcja rentgenowska i spektroskopia Ramana** pozwolą na zbadanie wewnętrznej struktury krystalicznej, w tym identyfikację faz, orientacji krystalograficznej i dynamiki drgań. Właściwości optyczne, takie jak wydajność luminescencji i czułość nanodrutów, będą analizowane za pomocą pomiarów **fotoluminescencji i katodoluminescencji**. Widma w niskiej temperaturze (10 K) posłużą do analizy stanów defektowych, podczas gdy pomiary **spektroskopii fotoelektronowej** z wykorzystaniem **promieniowania rentgenowskiego i ultrafioletowego** posłużą badaniu stanów powierzchniowych. Wszystkie te metody dostarczą kompleksowego opisu interakcji rdzeń-powłoka, ze szczególnym uwzględnieniem efektów powierzchniowych i międzywarstwowych.

Spodziewane rezultaty

Projekt GNOMES umożliwi przeprowadzenie podstawowych badań efektów na powierzchni i międzywarstwie. Analiza ta dostarczy cennej wiedzy na temat nieoczywistego świata efektów kwantowych, których obecność znacząco wpływa na właściwości urządzeń opto- i mikroelektronicznych w skali makro. W rezultacie badania te wspomogą rozwój podstawowej wiedzy z fizyki w tym nauki o powierzchni, a jednocześnie wyznaczą kierunki dalszego rozwoju optoelektroniki, nanotechnologii i nauki o materiałach.