

Nanoporowaty GaN – nowa platforma dla realizacji struktur kwantowych

Azotek galu (GaN) to materiał o szczególnych właściwościach. Jedną z jego wyjątkowych cech, w przeciwieństwie do krzemu, jest zdolność efektywnej konwersji energii elektrycznej na światło. Energooszczędne diody LED obecnie oparte są właśnie o GaN. Niemniej jednak, pomimo tego, że urządzenia oparte na zwykłym krzemie z zasady nie emitują światła, dwóm naukowcom pracującym równolegle w różnych laboratoriach udało się wydobyć światło z krzemu na początku lat 90-tych ubiegłego wieku. Lehmann i Canham zaobserwowali wtedy, że dość dobre świecenie z krzemu można uzyskać jeśli jest on porowaty, czyli gdy jego struktura ma miliony nanometrowych rozmiarów dziurek. Może emisja nie jest tak wydajna jak z diody LED na GaN, ale to było naprawdę duże odkrycie! Od tego rozpoczęły się intensywne badania zarówno porowatego krzemu jak i innych porowatych półprzewodników oraz technologii, która pozwala na ich uzyskanie. Wspomniani naukowcy nie mieli oczywiście gromady krasnoludków, które by kopały w krzemie nano-dziurki „nano-łopatkami”. Do wytworzenia porów użyli oni znanej techniki trawienia elektrochemicznego, zanurzając krzem w elektrolicie (był to HF). Podczas trawienia przykładana się do kryształu dodatni potencjał i zmusza nośniki by płynęły w stronę powierzchni styku kryształu i elektrolitu. Dodatni nośnik nazywany w półprzewodniku dziurą, to nic innego jak brakujący elektron w wiązaniu w kryształ. Kiedy znajdzie się przy powierzchni, rozpuszczenie kryształu jest prostsze. Dzięki rozpuszczeniu kryształu przy odpowiednim napięciu i koncentracji dziur uzyskać można porowatą strukturę z dziurkami nanometrowych rozmiarów.

W projekcie badać będziemy mechanizm trawienia elektrochemicznego GaN w celu uzyskania porów o nanometrycznych rozmiarach. W kolejnym etapie zastosujemy nanoporowaty GaN jako platformę do realizacji ciekawych struktur kwantowych. Celem projektu jest dokładne zbadanie warunków, w których można otrzymać porowatą strukturę w materiale typu-p oraz typu-n, czyli takim, gdzie znajdują się nośniki dodatnie (dziury) i ujemne (elektrony). Podczas wzrostu kryształu metodą epitaksji z wiązek molekularnych (MBE) wprowadzać będziemy domieszki: Mg oraz Ge. Szczególnie interesujące jest dla nas to, aby uzyskać GaN o porach rozmiarów <10 nm średnicy, ponieważ wtedy możliwe będzie badanie niezwykle ciekawych efektów w obszarze fizyki kwantowej. Aby osiągnąć ten cel potrzebujemy trawić silnie domieszkowany GaN:Si w niskich napięciach, co pokazały nasze wstępne badania. Chcemy również sprawdzić, jaki będzie mechanizm trawienia w przypadku GaN:Mg i czy otrzymane porowate struktury będą przypominać te oparte na GaN:Si. Takie materiały wcześniej nie były trawione elektrochemicznie. To dlatego, że powszechnie używana technologia wzrostu struktur azotkowych ma kłopot z silnym domieszkowaniem. Dodatkowo, zbadamy co się stanie, gdy do materiału wprowadzimy defekty (stosując implantację jonową) i zmienimy jego przewodnictwo. Nasze wstępne badania pokazują, że tylko w materiale GaN:Mg jesteśmy w stanie „zablokować” trawienie przez implantację. W przypadku, gdy trawimy GaN:Si typu-n po implantacji, trawienie zachodzi i to nawet silniej niż dla materiału bez defektów. Jest to bardzo interesujące i warte pogłębionych badań.

W drugiej części projektu nanoporowaty GaN będzie wykorzystany jako platforma do realizacji struktur kwantowych. Fizycy są niezwykle podekscytowani badaniem sprzężenia światła z drganiami sieci krystalicznej, co w tak zmienionym materiale jak nanoporowaty GaN będzie niezwykle ciekawe. Tym bardziej, jeśli pory będą rozmiarów kwantowych, czyli <5-10 nm. Zupełnie nowym pomysłem, który będzie realizowany, są nanoporowate studnie kwantowe, gdzie obecność porów wpłynie na intensywność świecenia z takich studni, a także zmieni długość fali emitowanego światła, czyli jego kolor. Spodziewamy się zwiększenia długości fali, ponieważ obecność porów zmniejszy stan naprężeń. W przypadku emiterów opartych o GaN cały czas badane są metody wytwarzania wydajnych emiterów światła w dłuższych falach, tj. w zakresie koloru zielonego, żółtego i czerwonego. Wierzymy, że nasze badania pozwolą otworzyć nowe perspektywy w tym obszarze.

Elementem projektu będzie też zupełnie nowy pomysł, w którym zechcemy wykorzystać unikalną cechę kryształu GaN, a mianowicie fakt, iż jest to kryształ polarny, z silnym polem elektrycznym w strukturze. Na powierzchni warstw o różnym składzie chemicznym pojawia się ładunek elektryczny i tak zwany dwuwymiarowy gaz dziurowy. Chcemy zbadać czy uda się nam „przecinać” kryształy z atomową precyzją używając do trawienia elektrochemicznego dziur z tego obszaru.