

Od zarania dziejów, materiały były siłą napędową rozwoju ludzkości. Z tego powodu, epoki w historii ludzkości nazwaliśmy według materiałów odpowiedzialnych za rozwój technologiczny, np. epoką kamienia czy brązu. W ostatnich latach nauczyliśmy się wytwarzać i wykorzystywać materiały dwuwymiarowe (2D). Te charakteryzują się mnóstwem niezwykłych właściwości, które w dodatku można regulować za pomocą napięcia elektrycznego czy pól elektromagnetycznych. Początkowo koncentrowaliśmy wysiłki na materiale 2D opartym na węglu, tj. na grafenie, lecz wkrótce potem zsyntetyzowano wiele innych. Szeroka gama dostępnych obecnie materiałów o różnym składzie chemicznym czy geometrii komórek elementarnych daje niespotykane dotąd możliwości doboru czy wręcz projektowania właściwości elektrycznych, termicznych, mechanicznych czy, co najważniejsze w tym projekcie, optycznych.

Z tym właśnie wiąże się atrakcyjność materiałów 2D w kontekście projektu: stanowią one grunt dla optoelektroniki w nanoskali. Warstwy materiałów o grubości pojedynczego atomu mają różnorodne właściwości optyczne. W zależności od materiału, interesujące właściwości występują w różnych zakresach częstotliwości fal elektromagnetycznych, co pokrywa szeroki zakres ich widma. Otwiera to możliwości uzyskania szerokopasmowej absorpcji z zastosowaniem dla fotowoltaiki czy też emisji światła o zadanej długości fali, od dalekiej podczerwieni po ultrafiolet. W szczególności, z punktów, w których zlokalizowane są defekty sieci krystalicznej, może nastąpić emisja światła "kwantowego", o niezwykłych właściwościach statystycznych. Ponadto, w materiałach 2D mobilność ładunków daje się regulować za pomocą napięcia elektrycznego, co ma zastosowanie dla urządzeń optoelektronicznych, takich jak tranzystory tunelowe czy modulatory elektro-optyczne - szerokopasmowe, szybkie i wydajne, a jednocześnie cienkie jak pojedynczy atom.

Jednak materiały 2D pozwalają na znacznie więcej: nowe możliwości stają się dostępne gdy jednowarstwowe materiały układane są jeden na drugim, tworząc heterostrukтуры o właściwościach wynikających z ich budowy, lecz również przestrajalnych elektrycznie lub optycznie. Na przykład, połączenie grafenu z warstwą azotku boru pozwala modulować optyczne i elektroniczne właściwości grafenu, przekształcić go z metalu w półprzewodnik, a także wykorzystać go w urządzeniach optoelektronicznych, takich jak tranzystory polowe, złącza omowe czy bariery Schottky'ego. Heterostruktura łącząca różne materiały 2D w trzech różnych rolach: kontaktu elektrycznego, bariery tunelowej i obszaru rekombinacji par elektron-dziura, tworzy mikro-źródło światła. Dwuwarstwowe dichalkogenidy metali przejściowych mają szczególne właściwości optyczne: pozwalają skupić i ukierunkować pod tzw. "magicznymi kątami" propagację pól elektromagnetycznych, co daje początek polu tzw. "twistroniki", która ma szansę zastąpić w niektórych zastosowaniach tradycyjną elektronikę.

Niektóre z tych właściwości zostały zbadane dla nieskończonej rozciągłych warstw. Nasz projekt ma na celu wgląd w fizykę heterostruktur wykonanych z płatków lub wstęg z różnych materiałów 2D. Przeanalizujemy ich potencjał jako budulców urządzeń optoelektronicznych w nano- lub mikroskali. Zamierzamy przy tym wykorzystać zalety różnych materiałów, ale również uzyskać nowe właściwości dzięki ich połączeniu. Przystudujemy nie tylko idealne materiały, ale też poświęcimy uwagę defektom, które zwykle uważane są za wady. Planujemy wykorzystanie defektów jako punktów emisji światła, których położenie może decydować np. o wydajności źródła. Łącząc lub obracając kilka płatków materiału możemy wpływać na właściwości widmowe emitowanego promieniowania i jego kierunkowość. Sprawdzimy też, w jaki sposób charakterystyka energetyczna nanostruktur zależy od zewnętrznego napięcia elektrycznego. Te wyniki mogą posłużyć projektowaniu zminiaturyzowanych modulatorów elektrooptycznych. Zbadamy tunelowanie elektronów przez bariery energetyczne w nanostrukturach, co może znaleźć zastosowanie dla nano-tranzystorów tunelowych. Nasz projekt FLAT ma na celu stworzenie i wykorzystanie narzędzi do studiowania dynamiki elektronów w takich urządzeniach przy rozdzielczości przestrzennej w skali pojedynczych atomów.