

Warszawa, 20.01.25.

Autor rozprawy doktorskiej: **Karolina Gronkiewicz**

Promotor: **prof. dr hab. Philip Tinnefeld**

\*Drugi promotor (\*ewentualnie, tylko w przewodach doktorskich):

.....  
Promotor pomocnicy: **dr Izabela Kamińska**

Temat rozprawy doktorskiej: **“Single-molecule fluorescence on multilayer graphene and graphene boron nitride hybrids”**

## Streszczenie

Grafen, dzięki swoim wyjątkowym właściwościom optycznym i elektronicznym, odgrywa kluczową rolę w badaniach oddziaływań molekularnych w skali nanometrycznej. Jego unikalne cechy czynią go niezastąpionym w takich dziedzinach jak biosensoryka, mikroskopia superrozdzielcza czy technologie kwantowe. Transfer energii do grafenu (GET), charakteryzujący się silną zależnością od odległości (do 40 nm), stanowi innowacyjne narzędzie umożliwiające precyzyjną kontrolę interakcji molekularnych. W tym celu nanostruktury DNA origami wykorzystywane są jako rusztowania, pozwalając na dokładne pozycjonowanie fluoroforów względem grafenu i uzyskanie osiowej rozdzielczości na poziomie poniżej 3 nm. Takie platformy znajdują zastosowanie w detekcji pojedynczych cząsteczek oraz w badaniach dynamicznych procesów biomolekularnych w czasie rzeczywistym.

Przedstawiona rozprawa rozwija te technologie, proponując zaawansowane platformy oparte na materiałach dwuwymiarowych, które zwiększają możliwości aplikacyjności monowarstw grafenowych. Dzięki opracowanemu protokołowi wytwarzania wysokiej jakości monowarstw grafenu na szkle, podjęto próbę implementacji tej metody do wytworzenia wielowarstw grafenu oraz heterostruktur złożonych z różnych materiałów 2D. Badania jedno-, dwu- i trójwarstwowego grafenu ukazały addytywny wpływ kolejnych warstw na efektywność wygaszania fluorescencji oraz rozszerzenie zakresu GET. Wyniki te zostały wsparte teoretycznym modelem opisującym dynamikę transferu energii w zależności od liczby warstw grafenu.

W obszarze heterostruktur, połączenie grafenu z heksagonalnym azotkiem boru (hBN) umożliwiło stworzenie stabilnych platform 2D o wysokiej jakości. hBN jest materiałem kompatybilnym z grafenem, co zawdzięcza swojej atomowo płaskiej powierzchni oraz inertywności chemicznej. Wykazano, że nanostruktury DNA origami mogą być skutecznie immobilizowane na powierzchni hBN, który – osadzony na grafenie – pełni rolę ultracienkiej warstwy dystansującej. Co więcej, struktury te charakteryzują się wyjątkową stabilnością i powtarzalnością wytwarzania, umożliwiając detekcję z nanometryczną precyzją. Dodatkowo, dowiedziono, że niedawno opracowana metoda prostopadłej immobilizacji DNA na grafenie jest równie skuteczna na powierzchni hBN. Ponadto, grubość warstwy hBN określono za pomocą GET z precyzją 0,1 nm, co dodatkowo podkreśla potencjał hBN jako uniwersalnej platformy dla biomolekuł.

Wyniki pracy dowodzą, że integracja wielowarstwowego grafenu i heterostruktur grafen-hBN otwiera nowe możliwości w projektowaniu systemów dedykowanych biosensoryce, obrazowaniu pojedynczych cząsteczek oraz hybrydowym technologiom kwantowym. Uzyskane rezultaty wskazują na ogromny potencjał tych platform w detekcji słabych interakcji biomolekularnych, badaniu procesów transferu energii oraz osiąganiu wysokiej rozdzielczości przestrzennej i czasowej. Niniejsza rozprawa toruje drogę do opracowania nowej generacji systemów fluorescencyjnych oraz otwiera nowe perspektywy w nanotechnologii i biologii molekularnej.