

Obrazowanie z wysoką rozdzielczością przestrzenną jest w dzisiejszych czasach nieocenione w rozwoju nauki i technologii. Manipulacja obiektami w skali nanometrowej oraz możliwość weryfikacji rezultatów owej manipulacji są aktualnie bardzo ważne w czasach, gdy rozwój nauki i technologii jest dyktowany przez np. przemysł półprzewodnikowy, który dąży do wytwarzania coraz to mniejszych struktur, o coraz większej sprawności, zużywających coraz mniej energii, itd. Te wysiłki przemysłu komputerowego w bezprecedensowy sposób przekładają się na inne dziedziny naukowe, takie jak biologia, czy materiałoznawstwo. Od jakiegoś czasu przekonujemy się, i kiedy wydaje nam się, że rozumiemy jak „działa wiat”, rozumiemy zasady rządzące zjawiskami, uznajemy je za dość proste, dopóki nie sięgniemy głębiej, na przykład poprzez użycie urządzeń do obrazowania ze zmienną rozdzielczością przestrzenną, aby zrozumieć jeszcze głębiej zasady jego działania. Wtedy często okazuje się, że zjawiska te nie są wcale takie proste ani przewidywalne naszymi dotychczasowymi modelami. Wtedy często odkrywamy nowe efekty, nowe nauki, która daje początek nowym dziedzinom naukowym. Jest to bardzo dobrze widoczne w biologii, w której kiedy uznawano komórki za podstawowe, najmniejsze „cegielki” życia, w dzisiejszych czasach rozpatrywane są jako całe „fabryki energii” w skomplikowanym organizmie, za pomocą złożeń z ogromnej liczby dużych i skomplikowanych struktur.

Celem proponowanego przez nas projektu, pod tytułem "Promieniowanie z zakresu "okna wodnego" do nano-obrazowania obiektów biologicznych i trójwymiarowej rekonstrukcji geometrycznej elektronowej w zastosowaniach bioinżynierskich i materiałoznawstwie." jest obrazowanie dwu- i trójwymiarowe w zakresie spektralnym tzw. „okna wodnego” (ang. water window, długość fali $\lambda = 2.3-4.4\text{nm}$) różnych obiektów, przede wszystkim próbek biologicznych z submikronową lub lepszą rozdzielczością przestrzenną, dla różnych zastosowań, zwłaszcza w biologii, bioinżynierii, medycynie, inżynierii materiałowej i nanotechnologii. System do obrazowania trójwymiarowego (3-D) będzie oparty opracowanej przez nas, pierwszej w Polsce, konstrukcji mikroskopu pracującego w zakresie miękkiego promieniowania rentgenowskiego (ang. soft X-ray - SXR) który jest w stanie rejestrować obrazy obiektów z rozdzielczością przestrzenną około 60 nm (kilkukrotnie lepszą niż przy użyciu tradycyjnych mikroskopów na zakres widzialny), przy stosunkowo krótkich czasach ekspozycji. Długoterminowym celem naszego projektu jest zachęcenie naukowców z różnych dziedzin do stosowania obrazowania 2-D i 3-D w zakresie SXR w celu uzyskania dodatkowej, komplementarnej informacji o próbkach poprzez wykorzystanie tego właśnie zakresu spektralnego, dedykowanego do wizualizacji materiałów biologicznych i nie tylko. Wyniki projektu umożliwią rozwój kompaktowych, wysoko-rozdzielczych narzędzi do obrazowania 2-D i 3-D, pracujących w zakresie „okna wodnego” do zastosowania w nauce i technologii. Projekt przyczyni się również do rozszerzenia naszej wiedzy i do wiadczenia w dziedzinie biologii, bioinżynierii, nauki o materiałach i nanotechnologii.

Plan pracy wymaga realizacji kilku podstawowych zadań/celów badawczych wymienionych poniżej:

1. Modelowanie płytek strefowych Fresnela pracujących jako obiektyw/soczewka w układzie do obrazowania 2-D i 3-D w zakresie „okna wodnego”,
2. Budowa i optymalizacja stanowiska eksperymentalnego do obrazowania 2-D i 3-D różnych obiektów w zakresie „okna wodnego” w celu rekonstrukcji trójwymiarowej i uzyskanie dodatkowej informacji o obiekcie w modzie obrazowania 3-D,
3. Obrazowanie próbek w zakresie SXR „okna wodnego”, w tym biologicznych, w celu uzyskania komplementarnej informacji o próbkach, w szczególności o ich wewnętrznej strukturze, z uwagi na wysoki kontrast optyczny w zakresie „okna wodnego” dla materiałów biologicznych,
4. Uzyskanie projekcji obiektów testowych i biologicznych, numeryczna rekonstrukcja 3-D na podstawie zarejestrowanych wcześniej projekcji i testowanie rozdzielczości przestrzennej rekonstrukcji.

Zadania te pozwolą osiągnąć cele, założonych w projekcie, czyli obrazowania 2-D i 3-D różnych obiektów w zakresie „okna wodnego”, w celu uzyskania dodatkowej, komplementarnej informacji o samych obiektach. Plan badań opiera się na wieloletnich doświadczeniach, zgromadzonych z mikroskopii SXR i tomografii w zakresie EUV obiektów gazowych szybkozmiennych w czasie.

W proponowanym projekcie planujemy opracować kompaktowy układ eksperymentalny do obrazowania 2-D i 3-D w zakresie wspomnianego wcześniej „okna wodnego” i użycie go do obrazowania różnych próbek w celu uzyskania komplementarnych informacji na ich temat. Układ ten nie korzysta z drogiej i skomplikowanej źródła (synchrotronu, lasery na swobodnych elektronach, itp.), ale będzie oparty na bardzo zwartym konstrukcyjnie źródle SXR bazującym na podwójnej tarczy gazowej. Obrazowanie w zakresie "okna wodnego" umożliwia uzyskanie rozdzielczości przestrzennej lepszej niż 100nm, dzięki czemu w mikroskopii optycznej, krótkich czasach ekspozycji i kontrastu optycznego oraz pozwala na otrzymanie dodatkowej informacji o obiekcie. Ponadto, promieniowanie z zakresu „okna wodnego” jest dedykowane do obrazowania materiałów biologicznych ze względu na naturalny kontrast optyczny. Wysoki kontrast w tym zakresie uzyskuje się ze względu na znaczne różnice w absorpcji, tj. pochłanianiu promieniowania przez składniki próbek biologicznych: woda (tlen) i węgla. Woda ma stosunkowo mały współczynnik absorpcji, węgla - znacznie wyższy, co zapewnia bardzo dobry kontrast.

Obrazowanie w zakresie „okna wodnego” wykorzystuje promieniowanie zamiast cząstek o wysokiej energii, przez co pozwala na obserwację bardzo delikatnych próbek. Użycie mikroskopu elektronowego może zniszczyć lub zaburzyć sam próbkę wskutek oddziaływania wiązki elektronów o dużej energii. Obrazowanie w „oknie wodnym” pozwala na obserwację próbek powleczonych fotorezystem, warstwą na ekspozycji wiązki elektronów, przez co nie mogłyby być obserwowane za pomocą mikroskopu elektronowego. Kolejną zaletą jest brak konieczności specjalnego przygotowania próbek, co jest niezbędnym w przypadku innych technik obrazowania, takich jak pokrywanie warstw złota w mikroskopii elektronowej.

Zazwyczaj fotony o wysokiej energii generowane są za pomocą synchrotronów lub laserów na swobodnych elektronach. Chociaż te systemy mają swoje zalety, to jednak są to instalacje dużej skali, bardzo drogie w utrzymaniu, trudno dostępne i, niestety, uniemożliwiają komercjalizację systemów opartych na tych źródłach i utrudniają bezprecedensowy transfer technologii do nauki, przemysłu i życia codziennego. Dlatego też w proponowanym projekcie skupiamy nasze wysiłki na zastosowaniu kompaktowego źródła SXR w eksperymentach obrazowania 2-D i 3-D, aby przezwyciężyć powyższe ograniczenia. Taki układ do obrazowania w 3-D w zakresie "okna wodnego" pozwoli na pewno na uzyskanie dodatkowej informacji o obiektach badanych, której nie można uzyskać wprost z obrazów mikroskopowych, co może sprawić, że zostaną odkryte nowe zjawiska i efekty, które przyczynią się do

rozwoju ró nych dziedzin naukowych, takich jak biologia, materiałoznawstwo, czy te nanotechnologia.