

Szczypce optyczne w badaniu translacyjnej i rotacyjnej aktywnej mikroreologii materiałów miękkich

Reologia to nauka o przepływie i deformacji materiałów miękkich, a mikroreologia polega na spojrzeniu na te właściwości z perspektywy sondy niewiele większej niż puste przestrzenie w sieci polimeru, lub kropli tworzących emulsję. Przepływ i deformacja materii są opisywane przez jej lepkość i sprężystość, a jeśli materiał wykazuje oba z nich, jest lepko-sprężysty. Charakter materiału może zmienić się z bardziej płynnego w bardziej stały ze zmianą temperatury, ciśnienia lub charakterystycznej skali czasowej (częstości) odkształcania. Oznacza to, że ten sam materiał może być miękki lub twardszy, albo płynąć szybciej lub wolniej w zależności od temperatury, ciśnienia i częstości odkształcania. Lepko-sprężystość jest opisana za pomocą tensora i zależy od kierunku, w którym przykładana jest siła i kierunku, w którym obserwuje się odkształcenie. Lepko-sprężystość może być anizotropowa, co oznacza, że może zależeć od kierunku, w którym jest mierzona, jak np. w ciekłych kryształach. Może również posiadać różne składowe, takie jak objętościowa, Young'a i ścinająca, w zależności od względnej orientacji działającej siły i mierzonego odkształcania.

Celem projektu jest wykorzystanie szczypiec optycznych oraz analizy aktywnego ruchu translacyjnego i obrotowego nano- i mikro-sond w celu zbadania interesujących właściwości lepko-sprężystych, termodynamiki nierównowagowej i przemian fazowych polimerów, ciekłych kryształów i biomateriałów.

Szczypce optyczne pozwalają optycznie pułapować nano- i mikro-cząstki, przesuwając je i obracać, oraz mierzyć siły na nie działające z bardzo dużą precyzją. Największą zaletą stosowania szczypiec optycznych jest to, że pozwalają one mierzyć bardzo małe objętości interesujących materiałów, których nie da się uzyskać w ilościach niezbędnych do makroskopowej reologii, jak wiele materiałów biologicznych. Ze względu na bardzo lokalne pomiary, szczypce optyczne pozwalają również mierzyć heterogeniczność badanych materiałów.

Mikroskopijne sondy stosowane w szczypcach optycznych odczuwają inne siły niż obiekty makroskopowe. Grawitacja, która jest jedną z dominujących sił w makro-świecie, jest zaniedbywalna w nano- i mikro-światach, a dominujące siły to stochastyczna siła dyfuzji Browna, siły optyczne, gdy cząstka znajduje się w pułapce optycznej oraz tarcie lepko-sprężyste spowodowane oddziaływaniem z otoczeniem. Wykorzystując teorie, które opisują wszystkie te siły, można uzyskać pewne informacje o otaczającym sondę ośrodku z obserwacji i analizy ruchu sondy w pułapce optycznej. Istnieją dwa podejścia do takich pomiarów, pierwsze pasywne, w którym obserwuje się tylko dyfuzję Browna sondy. Drugie, aktywne, gdy sonda jest aktywnie przesuwana przez otaczający ją materiał i mierzona jest jej reakcja na ten ruch. Aktywna metoda pozwala zmierzyć nieliniową odpowiedź materiału i obserwować jego zmiany wraz z częstością odkształcania.

Dodatkowo możliwe jest obserwowanie ruchu translacyjnego i obrotowego sondy w celu badania właściwości otaczającego ją ośrodka. Większość badaczy obserwuje tylko ruch translacyjny, który może być obserwowany dla wszystkich sond za pomocą kamery lub szybkich detektorów położenia. Aby obserwować ruch obrotowy, sonda musi mieć anizotropowy kształt lub własności optyczne. Dobrym przykładem anizotropowych sond są nanorody złota, które są wydłużonymi nanocząstkami złota, wykazującymi rezonanse plazmoneczne i bardzo silnie oddziałującymi ze światłem. To silne, rezonansowo wzmocnione oddziaływanie światła z materią pozwala obracać je z bardzo dużymi częstościami i wykorzystywać jako aktywne sondy obrotowe.

Ruch translacyjny nano- lub mikro-sondy przez ośrodek jest skomplikowany. Sonda naciska i rozciąga sieć w różnych kierunkach, a tarcie, które odczuwa, jest kompozycją tarcia objętościowego i ścinającego. Dlatego, mimo, że ruch translacyjny jest łatwiejszy do pomiaru, jest on trudny do analizy i porównania z makroskopowymi właściwościami materiału. Z drugiej strony ruch obrotowy może być trudniejszy do pomiaru, ale jest stosunkowo łatwy do analizy teoretycznej, ponieważ próbkuje on jedynie lepko-sprężystość ścinającą. Kombinacja obu ruchów translacyjnych i obrotowych może pozwolić na pomiar tensora modułu lepko-sprężystego.

Niektóre z nanosąd, które zostaną wykorzystane w projekcie, pozwalają na pomiar ich wewnętrznej temperatury. Połączenie niezależnego lokalnego czujnika temperatury z aktywną sondą mikroreologiczną daje unikalną możliwość badania termodynamiki nierównowagowej i przejść fazowych w miękkich materiałach wywołanych zmianami temperatury oraz częstością działania siły w bardzo małych objętościach.

Wyniki uzyskane w ramach projektu otwierają drogę do reologicznych pomiarów cytoplazmy i cytoskeletonu w funkcji temperatury i częstotliwości wewnątrz żywych komórek. Jest to ważna informacja dla biologii i medycyny, gdzie mapowanie lokalnych właściwości cytoplazmy jest kluczowe dla zrozumienia procesów starzenia się komórek i rozwój chorób, takich jak choroba Alzheimera.