

Projektowanie układów mikroprzepływowych opartych o generację kropeł: począwszy od chemii powierzchni, przez właściwości reologiczne płynów, aż po geometrię układów

Autor: Ladislav Derzsi

Promotor: Piotr Garstecki

Abstrakt

Mikrofluidyka jest nieocenionym źródłem nowych możliwości z zakresu tworzenia kropeł oraz bąbli przy zachowaniu pełnej kontroli ich objętości i struktury. Możliwość formowania kropeł pochodzenia organicznego znalazła obecnie zastosowanie do celów (i) preparatywnych, jako narzędzie do produkcji cząstek i kapsuł oraz (ii) technik analitycznych czy syntetycznych, syntetycznych syntetycznych, w których krople pełnią funkcję pojedynczych reaktorów, służących do przeprowadzania reakcji lub hodowli żywych komórek. Właściwości prezentowane przez tego typu techniki, okazują się atrakcyjną alternatywą dla konwencjonalnych rozwiązań z zakresu chemii i biologii.

Przepływ w układach mikroprzepływowych jest zdominowany przez efekty powierzchniowe, w tym zwilżanie. Dodatkowo, ze względu na niskie wartości liczby Reynoldsa, wartość współczynnika lepkości oraz efekty związane ze stosowaniem płynów o naturze nienewtonowskiej mają równie znaczący wpływ na procesy zachodzące w mikrokanałach. Co więcej, połączenie przepływu laminarnego w połączeniu z efektami kapilarnymi pozwala na konstruowanie układów, których architektura daje możliwość manipulacji przepływem oraz dokonywania dodatkowych operacji na generowanych kroplach.

Niniejsza rozprawa doktorska przybliży problematykę dotyczącą wyżej wymienionych zagadnień, a dodatkowo uwzględni serię badań z zakresu: (i) modyfikacji powierzchni poliwęglanu (PC), (ii) wpływu wiskoelastyczności stosowanej fazy ciągłej na formowanie kropli oraz (iii) zastosowanie geometrii do pasywnej generacji kropeł.

Czynnikiem krytycznym w procesie generowania kropeł stanowi napięcie powierzchniowe, występujące pomiędzy fazą ciągłą a powierzchnią mikrokanałów. W układach opartych o przepływ dwufazowy zwilżanie powierzchni ścian mikrokanałów przez jedną z faz decyduje o rodzaju powstających emulsji. Zgodnie z niniejszą zależnością

mikrokanaly o hydrofobowych powierzchniach, sprzyjają otrzymywaniu emulsji typu woda w oleju (W/O), natomiast powierzchnie hydrofilowe – emulsji (O/W). Pierwszą część rozprawy poświęcono specyfikacji procedur pozwalających na uzyskanie modyfikacji nadającej powierzchni mikrokanalów, wykonanych w poliwęglanie, charakter hydrofilowy. W celu uzyskania pokrycia nadającego powierzchni mikrokanalów hydrofilowość, posłużono się w pierwszym przypadku techniką depozycji różnoimiennie naładowanych polielektrolitów w systemie warstwa po warstwie (Layer-by-Layer, LbL). Warstwa podwójna utworzona przez chlorowoderek poli-alliloaminy oraz poli-styrenosulfonian sodu, gwarantuje trwałą (utrzymującą się nawet do kilku miesięcy) modyfikację hydrofilową, co pozwala na formowanie emulsji typu O/W bez dodatku środków powierzchniowo czynnych. Kolejna metoda poświęcona modyfikacji hydrofilowej opiera się na zastosowaniu chlorku cyny (II) i dodatkowo może być użyta w połączeniu z modyfikacją hydrofobową, co pozwala na otrzymywanie podwójnych emulsji typu woda-olej-woda (W/O/W).

Kolejna część rozprawy obejmuje charakteryzację właściwości płynów nienewtonowskich, jako fazy ciągłej. Obserwowany brak badań w danym obszarze jest z wiązany z faktem, iż większość analiz obejmujących generowanie kropeł, jest oparta o zastosowanie płynów newtonowskich, zaś nieliczne przypadki użycia płynów nienewtonowskich, opisują ich zachowanie w roli fazy kropelkowej. Niniejsza część rozprawy uwzględnia dokładny opis wpływu elastyczności stosowanego płynu na formowanie kropeł z cieczy newtonowskiej w łączy przeznaczonym do ogniskowania przepływu. Dodatkowo, zastosowanie elastycznej cieczy (znanej również jako płyn Boger'a) o stałej wartości lepkości jako fazy ciągłej w połączeniu z płynem newtonowskim, o tej samej wartości lepkości ścinania, w roli fazy kropelkowej, pozwoliło na rozdzielenie efektów elastycznych od lepkościowych.

W ostatniej części rozprawy doktorskiej zaprezentowano układy, których geometria pozwala na pasywne tworzenie kropeł oraz wykonywania na nich operacji. Prezentowane układy wykazują budowę modułową, która pozwala na: (i) produkcję kropeł o ustalonej objętości, niezależnie od stosowanych wartości przepływu, (ii) synchronizację kropeł i ich łączenie oraz (iii) prowadzenie rozcieńczeń.