

Kraków, 13 czerwca 2017

mgr inż. Kacper Pilarczyk
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH

Streszczenie pracy doktorskiej pt. „Information processing in molecular-scale systems based on carbon nanostructures”

Szybki rozwój techniki oraz wyzwania z nim związane katalizują od lat prace badawcze z zakresu inżynierii materiałowej, chemii oraz fizyki ciała stałego. Celem jest wzrost wydajności, zmniejszenie rozmiarów oraz zminimalizowanie kosztów urządzeń przetwarzających informację. W szczególności, poszukuje się nowych materiałów, które mogłyby znaleźć zastosowanie przy produkcji elementów elektronicznych. Obserwuje się także rosnące zainteresowanie niekonwencjonalnymi paradygmatami, w oparciu o które funkcjonowałyby projektowane urządzenia.

Podjęcie zakładające wprowadzenie nanokompozytów jest atrakcyjne między innymi ze względu na różnorodność oddziaływań, które stają się dostępne wraz z użyciem złożonych nanostruktur. Komponenty elektroniczne i optoelektroniczne zbudowane z wykorzystaniem materiałów hybrydowych zawierających cząsteczki organiczne i/lub nanostruktury węglowe oferują szeroką gamę funkcji niedostępnych w rozwiązaniach konwencjonalnych. Odpowiednio zaprojektowane hybrydy zdolne są między innymi do wchodzenia w interakcje z wybranymi jonami, stąd mogą znaleźć zastosowanie w roli sensorów w medycynie, ochronie środowiska oraz innych dziedzinach, w których klasyczne układy krzemowe nie mogą zostać użyte.

Z drugiej strony, odejście od logiki dwuwartościowej lub połączenie jej z innymi systemami logicznymi wydaje się być interesującym krokiem, który mógłby doprowadzić do powstania układów o lepszych parametrach, niż te oferowane przez obwody binarne. Rozszerzenie wykorzystywanych systemów logicznych o pulę logik wielowartościowych mogłoby przyczynić się do stworzenia obwodów naśladowujących pewne cechy struktur biologicznych, dzięki zbliżeniu się do sposobu przekazu informacji realizowanego w organizmach żywych (np. przez układ sensoryczny).

Rozszerzeniem tej idei jest próba odtworzenia sposobu przetwarzania informacji charakterystycznego dla podstawowych elementów budujących nasz układ nerwowy – neuronów i synaps. Cel ten można osiągnąć z zastosowaniem specjalnie przystosowanych materiałów hybrydowych uzyskując w rezultacie kilka klas elementów optoelektronicznych działających w sposób podobny do różnych struktur biologicznych. Połączenie ich w zorganizowaną sieć może dać początek prostym modelom ośrodkowych układów nerwowych, które zdolne są do oddziaływania z otoczeniem, poprzez grupy kompatybilnych (w sensie przetwarzanych sygnałów) sensorów.

W samej rozprawie poruszany jest temat syntezy oraz właściwości materiałów hybrydowych, nanokompozytów zawierających nano- oraz mikrostruktury półprzewodników szerokopasmowych, które zmodyfikowane zostały wybranymi związkami organicznymi lub nanoskopowymi formami węgla w celu zmiany właściwości fotoelektrochemicznych układów pod kątem zastosowania ich w urządzeniach przetwarzających informację. W szczególności, dyskutowany jest wpływ modyfikatorów na procesy generacji fotoprądu, przekaz nośników ładunku w hybrydzie oraz właściwości optyczne materiałów. Wspólnym mianownikiem dla wszystkich wchodzących w skład rozprawy artykułów jest wykorzystanie tlenku tytanu(IV) oraz siarczku kadmu w roli podstawowych składników hybryd oraz układów molekularnych i supramolekularnych w roli modyfikatorów.

Główna część pracy złożona jest z pięciu artykułów, które koncentrują się na różnych aspektach modyfikacji materiałów półprzewodnikowych oraz na możliwych metodach interpretacji wyników eksperymentalnych (w szczególności map fotoprądów) w kontekście systemów logiki trójwartościowej, logiki rozmytej oraz inżynierii neuromorficznej. Wśród przedstawionych publikacji wyróżnić można dwie prace, w których opisywane są materiały hybrydowe zawierające nanoskopowe formy węgla oraz dwa artykuły opisujące modyfikację materiałów półprzewodnikowych wybranymi związkami organicznymi. Wśród publikacji znajduje się także praca przeglądowa, która stanowi dobre wprowadzenie do prezentowanej w pozostałych artykułach tematyki, a także uzupełnia wyniki zebrane przez grupę prof.

Szaciłowskiego – w tym autora niniejszej rozprawy – o wyniki z grupy prof. de Silvy, jednego z ojców molekularnych bramek logicznych.

Częścią wspólną załączonych publikacji jest wykorzystanie związków opartych o szkielet węglowy do modyfikacji procesów przekazu ładunku w materiałach hybrydowych zawierających nanocząstki półprzewodników szerokopasmowych. W każdym z omówionych przypadków stworzono model oddziaływań pomiędzy poszczególnymi składowymi układami, a także opisano, w jaki sposób dany nanokompozyt może być wykorzystany w urządzeniach przetwarzających informację – począwszy od bramek logicznych, skończywszy na elementach optoelektronicznych imitujących funkcjonalność synapsy.

Autor rozprawy żywi nadzieję, iż opisane materiały hybrydowe oraz ich zastosowanie do budowy bramek logicznych w systemach logiki wielowartościowej (w tym logiki rozmytej), a także układów neuromimetycznych, przyczynią się w niedalekiej przyszłości do skonstruowania czułych, selektywnych chemo- i biosensorów, obwodów liczących lub uproszczonych, w pełni sztucznych układów nerwowych, których działanie opierałoby się o interakcje ze światłem. Podjęta tematyka nie należy do łatwych, lecz wzięwszy pod uwagę fakt, iż niekonwencjonalne maszyny liczące zyskują coraz większe zainteresowanie środowiska naukowego, możemy przypuszczać, iż rozwiązania podobne do zaproponowanych w niniejszej rozprawie zostaną wdrożone w perspektywie najbliższych lat.