

Mariaż pomiędzy metamateriałami oraz tranzystorami jednoelektronowymi jako droga do nowej klasy elementów optoelektronicznych

Streszczenie popularnonaukowe

Szybki rozwój społeczeństwa informacyjnego oraz związane z tym rosnące potrzeby w zakresie projektowania i wytwarzania wydajnych układów przetwarzających oraz magazynujących informacje, znajdują swoje odzwierciedlenie w dążeniu społeczności naukowej do poszerzenia palety dostępnych rozwiązań technologicznych. Trend ten obserwujemy w ramach podejścia zakładającego dalszą miniaturyzację klasycznych elementów elektronicznych opartych o krzem i german z coraz nowocześniejszymi technikami fabrykacji – wpisuje się to w koncepcję ‘More Moore’ (MM), która nawiązuje do prawa Moore’a opisującego dynamikę rozwoju podzespołów komputerowych/mocy obliczeniowej komputerów.

Z drugiej strony, dostrzegamy tendencję do opracowywania niekonwencjonalnych urządzeń, których zasada działania opiera się na wykorzystaniu innych niż prąd elektryczny nośników informacji (np. światło, cząsteczki chemiczne, etc.), szerszej palety materiałów oraz nowych paradygmatów obliczeniowych (m.in. zastosowanie logiki wielowartościowej oraz inżynierii neuromorficznej, w ramach której naśladujemy wybrane funkcje struktur biologicznych) – ścieżka ta wpisuje się w podejście ‘More than Moore’ (MtM). Spośród mnogości interesujących koncepcji w obrębie MtM, wykorzystanie światła jako nośnika informacji jawi się jako niezwykle atrakcyjne zarówno z punktu widzenia przetwarzania informacji, jak również w kontekście budowy sensorów oraz wydajnych technik komunikacji.

Jednym z proponowanych rozwiązań koncepcji MtM, jest rozwój tranzystorów jednoelektronowych (z ang. Single-Electron Transistor - SET). Te miniaturowe urządzenia, umożliwiające manipulowanie pojedynczymi elektronami, są przedmiotem intensywnych badań, ze względu na szerokie spektrum ich potencjalnych zastosowań – od budowy czujników i bramek logicznych, po elementy komputerów kwantowych – a także z uwagi na łatwość miniaturyzacji oraz wydajność energetyczną. Jednocześnie, dwa aspekty działania tych układów pozostają wyzwaniem w kontekście wybranych obszarów aplikacji: duża część z nich wymaga do prawidłowego działania ultraniskich temperatur, a ich funkcjonalność ogranicza się zazwyczaj do przetwarzania sygnałów elektrycznych.

W ramach opisywanego projektu planujemy rozszerzyć stosowalność SETów poprzez zaczerpnięcie rozwiązań z obszaru badań nad metamateriałami (gdzie kluczowe znaczenie ma specyficzna geometria elektrod, które mogą działać jako tzw. anteny plazmoniczne) tak aby można było kontrolować odpowiedź elektryczną urządzenia poprzez wzbudzenie światłem z zakresu średniej podczerwieni (mid-IR). Anteny plazmoniczne absorbują światło w wąskim zakresie energii, wynikiem czego jest zmiana rozkładu pola elektrycznego wokół nich. Co ciekawe, dla odpowiednio zaprojektowanych struktur (ze szczeliną szerokości kilku-kilkunastu nanometrów) obserwujemy znaczące wzmocnienia tego pola (nawet kilka tysięcy razy) w obrębie szczeliny.

Umieszczenie w szczelinie nanocząstki półprzewodnikowej lub metalicznej – części SETa, która działa w układzie jak ‘zawór’ dla prądu – pozwoli na kontrolowanie jej właściwości za pomocą pola elektrycznego. Powinno to pozwolić na sterowanie stanem tranzystora poprzez jego oświetlenie wiązką lasera dostrojoną do kształtu oraz długości elektrod. Jest to nowatorska koncepcja, która powinna zapewnić precyzyjną kontrolę nad przepływem prądu przez urządzenie z możliwością bardzo szybkiego przełączania jego natężenia (w czasach na poziomie miliardowych części sekundy).

Kolejny ambitny krok zakłada wykorzystanie wybranych SETów w temperaturze pokojowej. Jak już wspomniano, większość urządzeń tego typu przystosowana jest do pracy w ultraniskich temperaturach przez wzgląd na stabilność ich działania. Przez staranny dobór materiałów i użycie nowoczesnych technik wytwarzania, wspartych zaawansowanymi symulacjami komputerowymi, będziemy dążyć do stworzenia tranzystorów, które nie tylko będą kontrolowane poprzez wzbudzenie optyczne, ale również zachowają funkcjonalność w temperaturze pokojowej.

Osiągnięcie sukcesu w tych przedsięwzięciach może otworzyć drogę do nowej generacji urządzeń optoelektronicznych, które będą szybsze, wydajniejsze energetycznie i zdolne do pracy w złożonych systemach przetwarzających informacje. Możliwość ich integracji z systemami standardu CMOS może przyczynić się do poszerzenia spektrum zastosowań. Projekt ma również na celu pogłębienie wiedzy na temat interakcji światła z materią w nanoskali, co może mieć pozytywny wpływ na rozwój optoelektroniki i nanotechnologii.