

O przyszłości miniaturyzacji

Tomasz Dietl

Instytut Fizyki PAN i Szkoła Nauk Ściłych

Warszawa

Artykuł opublikowany w *Delcie* [nr 10(305) (1999) str. 12]

Mimo że -- jak ktoś zauważył -- przewidywanie nie jest trudne, chyba że dotyczy przyszłości, spróbujmy zastanowić się nad możliwymi scenariuszami rozwoju mikroelektroniki. Jednym z nich to ten, który zaszedł w przypadku podróży przez oceany – jak wiemy od ponad 20 lat prędkość pasażerskich samolotów transkontynentalnych nie zmienia się. Także w przypadku mikroelektroniki bariera finansowa (koszt budowy fabryki mikroprocesorów sięga 2 mld. dolarów), psychologiczna (opór przed nowościami oraz brak uzasadnienia zwiększania potencjału informatycznego), prawna (ochrona praw autorskich, zapobieganie rozpowszechnianiu się terroryzmu i pornografii przez sieć), ..., mogą spowodować wypłaszczenie się krzywej Moora.

Uważa się jednak dość powszechnie, że konstruowanie coraz lepszych systemów informatycznych będzie jeszcze przez długi czas uzasadnione. Sądzi się bowiem na przykład, że przejście od obecnych obliczeń gigaflopowych (10^9 operacji zmiennoprzecinkowych na sekundę) do penta-flopowych otworzy zupełnie nowe możliwości zarówno w świecie rozrywki wirtualnej, jak i np. w symulacjach procesów biologicznych oraz – ze względu na szybkie rozpoznawanie kształtów – w dziedzinie sterowania w czasie rzeczywistym.

Czy jednak dalszy postęp poprzez proste zmniejszanie rozmiarów tranzystorów MOSFET oraz komórek pamięci ferromagnetycznych i optycznych jest możliwy? Słysz się opinie, że dzisiejsza technologia i jej rozwój wg. krzywej Moora będzie trwał nie dłużej niż 5 do 10 lat. Wiąże się to z wieloma trudnościami technicznymi, często niezbyt spektakularnymi – dla przykładu mniejszym problemem jest dzisiaj przyspieszenie pracy procesora niż zlikwidowanie opóźnień przenoszenia sygnałów przez jego obudowę... Są też oczywiście

bariery o charakterze bardziej podstawowym – dyfrakcyjne ograniczenie rozdzielczości w litografii, rosnące prawdopodobieństwo błędu, ziarnistość materii i ładunku elektrycznego, zjawiska kwantowe: np. tunelowanie elektronów przez izolator lub tunelowanie namagnesowania pomiędzy dwoma stanami pamięci ferromagnetycznych, czy wreszcie problem minimalnej energii potrzebnej do wykonania jednej operacji i wydzielania się jej w postaci ciepła.

W tej sytuacji wiele laboratoriów przemysłowych, narodowych i uniwersyteckich prowadzi badania w dziedzinie nanostruktur lub, szerzej, nanotechnologii. Nie jest jednak ciągle jasne, jaka technologia będzie dominowała w przyszłości. Jedynie wiadomo, że scalaniu elementów coraz częściej będzie towarzyszyło łączenie funkcji: procesorów, pamięci, czujników, aktywatorów, Elementy elektroniczne i fotonowe będą więc zespolone z podzespołami magnetycznymi i mikromechanicznymi. Wydaje się przy tym, że litografia w coraz większym stopniu będzie zastępowana syntezą elementów, a technologia planarna – trójwymiarową. Wykorzystywać się tu będzie samorganizujący się wzrost w metodach epitaksjalnych, ale także syntezę organiczną i biologiczną oraz nowe metody manipulacji pojedynczymi cząsteczkami i atomami. Zbliżyć to nas może to praktycznej realizacji idei elektroniki molekularnej.

Znacznym zmianom mogą też ulec nośniki informacji. Dzisiaj do przetwarzania informacji służy ładunek elektronu, a wewnętrzny moment pędu (spin) do jej przechowywania. Uważa się, że będzie rosła rola fotonów, które już obecnie wykorzystywane są do przenoszenia, kodowania i zapisywania informacji. Poza elektronami i fotonami spore nadzieje wiąże się np. z wirami prądu w nadprzewodnikach II rodzaju (wiry Abrikosowa) i strumieniami pola magnetycznego w nanocewkach nadprzewodzących.

Spoglądając na przyszłość nanotechnologii od strony materiałów widać zainteresowanie heterostrukturami krzemu z germanem i węglem. Pozwalają one nie tylko przyspieszyć szybkość tranzystorów, ale także umożliwią – jak się sądzi – rozciągnięcie dominacji krzemu na obszar fotoniki (optoelektroniki), gdzie dzisiaj królują związki pierwiastków z grupy III i V, np. GaAs. Ze względu na możliwość pracy w wysokich

temperaturach oraz możliwość generacji światła w szerokim obszarze widmowym znaczną rolę mogą odegrać związki SiC i GaN, a także ... diament. Rosnące znaczenie może przypadać nieprzeliczalnie bogatej rodzinie związków organicznych, z takim powodzeniem wykorzystywanych przez mózg. Odkrycie nadprzewodników wysokotemperaturowych skierowało uwagę ku tlenkom. Materiały te są nie tylko nadprzewodnikami, ale wykazują niezwykle własności magnetyczne tak, że coraz częściej słyszy się o elektronice tlenkowej.

Obok zmian zasad działania poszczególnych elementów, które zapewne będą wykorzystywały to, co dzisiaj przeszkadza – tunelowanie, interferencje, ziarnistość materii – można oczekiwać nowych odkryć w dziedzinie architektury komputerowej. Wydaje się np., że zjawiska w układach nieuporządkowanych, chaotycznych, chemicznych i biologicznych, które mozolnie symulujemy przy użyciu dzisiejszych komputerów, będą służyły do szybkiego wykonywania obliczeń wg. algorytmu narzuconego przez charakter zjawiska. Może się też okazać, że w miejsce odrzucania procesorów z błędami, połączenia w obwodach scalonych będą tworzone w sposób przypadkowy, a przeznaczenie poszczególnych egzemplarzy będzie określone dopiero po ich wykonaniu.

I na koniec idea komputerów kwantowych. Jak wiemy proces obliczania polega na przypisaniu jednej liczbie (której odpowiada określona sekwencja tranzystorów w stanie 1 i 0) pewnej innej liczby. Zgodnie z mechaniką kwantową tranzystor jest jednak w stanie 1 bądź 0 jedynie z pewnym prawdopodobieństwem. Zmiana tego prawdopodobieństwa w czasie opisana jest przez kwantowe równanie falowe, co oznacza, że zachodzi np. zjawisko interferencji. W latach dziewięćdziesiątych dowiedziono, że wiele algorytmów byłoby wykonywanych znacznie szybciej przez komputery kwantowe. Znanym przykładem jest znajdowanie podzielników liczby o N cyfrach. Czas t tego poszukiwania rośnie z funkcją wykładniczą liczby cyfr w przypadku komputerów klasycznych, $t \sim a^N$, a potęgowo dla algorytmów kwantowych, $t \sim N^b$; gdzie stałe $a, b > 1$. Podstawową trudnością przy budowie komputerów kwantowych są zewnętrzne zaburzenia, które w sposób przypadkowy wpływają na ewolucję prawdopodobieństwa.