

Tomek Rybarski
Wydział Elektryczny, Politechnika Warszawska

Wyzwania technologii krzemowej

Mikroelektronika jest obecnie najdynamiczniej rozwijającym się obszarem techniki. Nasze zafascynowanie tą dziedziną bierze się nie tylko ze sposobu, w jaki zmieniała ona nasze życie, ale i z obserwacji postępu, jaki został dokonany na przestrzeni lat. Jednym z oczywistych pytań jakie możemy postawić obserwując ten postęp to... jak długo to jeszcze będzie trwało, jakie bariery technologiczne przyjdzie nam pokonać w przyszłości, aby mikroelektronika mogła się rozwijać? Może krzem już się „wypalił” i pora poszukać czegoś innego?

Prorocze wizje Gordona Moore'a z 65 roku wydają się być obecnie, po ponad 30 latach, zadziwiająco dokładne. Moore przewidział bowiem, że liczba tranzystorów w mikroprocesorach będzie się podwajała co każde 18 miesięcy. Jednak czy ten postęp może być kontynuowany w nieskończoność? Poniżej postaram się przedstawić zaledwie garstkę przeszkód, jakie technologia krzemowa może napotkać już za parę lat...

LITOGRAFIA

Głównym czynnikiem wpływającym na rozmiary układu jest tzw. Litografia (*), czyli ostateczny proces służący do otrzymywania struktur na płytach krzemowych.

Najchętniej obecnie używaną technologią jest tzw. fotolitografia (lub litografia optyczna), w uproszczeniu polegająca na przeniesieniu pewnego wzoru utworzonego z fotorezystu (czyli polimeru czułego na światło widzialne bądź ultrafioletowe) na płytkę krzemową.

Wg wielu specjalistów z branży półprzewodnikowej, coraz mniejsze struktury wewnątrz układów elektronicznych nie mogą być już tworzone za pomocą światła widzialnego – trzeba sięgnąć po technologie wykorzystujące mniejsze długości fali. Największe nadzieje budzą obecnie dwie technologie - rentgenowska i elektronowa. Litografia rentgenowska polega na tym samym, co fotolitografia z tymże układ naświetlany jest promieniowaniem rentgenowskim zamiast światłem widzialnym. Zaletą litografii rentgenowskiej jest szybkość i większa w porównaniu do fotolitografii rozdzielczość wytwarzania układów, wadą – bardziej skomplikowany i kosztowny proces. Z kolei litografia elektronowa jest technologią umożliwiającą wykonanie struktur półprzewodnikowych o rozmiarach poniżej 0,1 μm . Rozdzielczość jest również znacznie większa w porównaniu do tradycyjnej fotolitografii. Jednakże szeregowy proces produkcji takich układów jest znacznie mniej wydajny od równoległego stosowanego w fotolitografii.

Chociaż prace nad wspomnianymi powyżej technologiami są już mocno zaawansowane, nic nie wskazuje aby w najbliższym czasie wyparły one tradycyjną litografię optyczną. Specjaliści przypuszczają, że procesory do granicy 10 GHz będą w dalszym ciągu wytwarzane „starą techniką świetlną”.

TRANZYSTOR Z NANORUREK

Trwają również poszukiwania nad zastąpieniem wysłużonych krzemowych tranzystorów elementami mniejszymi i tańszymi w produkcji oraz potrzebującymi mniej mocy na przełączanie. Wszystkie te warunki spełniają tranzystory oparte na węglowych nanorurkach i to one najprawdopodobniej znajdą się w procesorach przyszłości. Okazuje się, że te cienkie warstwy atomów węgla wykazują właściwości półprzewodników. Koszt wyprodukowania takiego tranzystora byłby mniejszy, gdyż skomplikowany proces litograficzny można zastąpić prostym procesem chemicznym. Również moc pobierana przez zaawansowane układy na nanorurkach nie przekraczałaby kilkunastu watów (współczesny P4 czy Athlon zbudowany w technologii krzemowej konsumuje w porównaniu nawet do 80 W!).

Pomimo tego, iż proces produkcji oraz użyte materiały uległyby zmianie, projektowanie układu pozostałoby takie samo. Takie rozwiązanie pozwoli na wzrost mocy obliczeniowej mikroprocesorów bez zmian w podejściu do całej architektury komputera (jak w przypadku komputerów kwantowych).

REZYSTYWNOŚĆ KONTAKTU

Aby zminimalizować opóźnienia propagacji sygnału w układzie krzemowym oraz jego konsumpcję mocy, kolejnym elementem, o który należy zadbać jest zmniejszenie rezystywności kontaktów do elektrod tranzystora, mianowicie źródła i drenu. Rezystywność ta zależy od domieszkowania krzemu "stykającego się" z metalowym kontaktem. Problemem okazuje się być proces formowania - reakcja metalowego kontaktu z krzemem powoduje wzrost jego efektywnej rezystancji.

ZAMIAST KRZEMU

Warto się również zastanowić nad zastąpieniem krzemu innym materiałem półprzewodnikowym, np. arsenkiem galu (GaAs) lub fosforem indu (InP).

Arsenek galu jest pod wieloma względami lepszym półprzewodnikiem od krzemu, ze względu na większą ruchliwość nośników wykorzystywany jest np. w telefonach komórkowych, gdzie potrzebna jest elektronika działająca z wysokimi częstotliwościami (układy GaAs mogą pracować nawet z częstotliwościami przekraczającymi 250 GHz).

Powyżej wymieniałem zaledwie część problemów na jakie może się natknąć mikroelektronika przyszłości. Pomimo tego wszystkiego nic nie zapowiada, aby krzem w najbliższym czasie znikł z przemysłu elektronicznego. Możemy śmiało założyć, że jako Ojciec Chrzestny rewolucji informatycznej ma przed sobą jeszcze dobre 20 lat panowania.

Należy jednak zdać sobie sprawę z tego, że prognozowanie przyszłości techniki to bardzo niepewne zajęcie.

Przekonał się o tym Bill Gates, gdy w 1981 roku stwierdził, że "640 KB pamięci powinno wystarczyć każdemu".

ŹRÓDŁA:

<http://www.lithoguru.com/scientist/lithobasics.html> - opis procesu litografii

http://en.wikipedia.org/wiki/Electron_beam_lithography - litografia elektronowa

prof. nadz. dr hab. inż. Szmidt J., prof. dr hab. inż. Jakubowski A., dr hab. inż. Łukasiak L.:

"Mikroelektronika - materiały i przyrządy", Elektronika XLIII 7-8 '2002

Agnieszka Sarnikowska, Michał Nowak, Wydział Fizyki i Techniki Jądrowej AGH:

"Poza prawo Moore'a - spojrzenie w przyszłość."