

УДК621.318.1

Коваленко Я.Ю.

студ. гр. Е-213сп НУ «Запорізька політехніка»

ПРОЦЕСОРИ МАЙБУТНЬОГО: ОГЛЯД ПЕРСПЕКТИВНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПРОЦЕСОРІВ

Сучасні процесори досягли неймовірного рівня мініатюризації – мільярди транзисторів вміщуються на крихітному кремнієвому чіпі. Проте фізичні обмеження матеріалу поступово стають перешкодою для подальшого розвитку. Що чекає нас у майбутньому? Чи з'являться нові матеріали, які змінять обчислювальні технології?

Центральний процесор (ЦП, CPU) – "мозок" будь-якого комп'ютера – пройшов довгий шлях від громіздких лампових систем 1940-х до сучасних наноелектронних пристроїв. Визначення CPU як пристрою, здатного виконувати довільні машинні інструкції (а не лише фіксовані операції), сформувалося ще в 1960-х.

Ні для кого не секрет, що процесор складається з транзисторів. На середину 1950-х компанія Texas Instrument випустила перший кремнієвий транзистор. Остаточний напрямок для сучасних процесорів закріпив у 1959 році швейцарський учений Жан Хорні. Він розробив перший плоский кремнієвий транзистор, який став основою монолітних інтегральних схем. Всі знають, що кремнієвий транзистор зроблений з полі-кремнію. Кожен новий процес дається все складніше і складніше.

Сьогодні виробники процесорів змушені вдаватися до різних технологічних хитрощів, оскільки традиційні методи масштабування вже не працюють. Найсучасніші транзистори досягають розмірів усього 50 нанометрів у висоту - це в 6 разів менше, ніж розмір типового вірусу. Проте фізичні обмеження кремнію стають все більш очевидними, особливо що стосується тепловиділення та мінімальних розмірів транзисторів. Ключова проблема полягає в тому, що мінімальний розмір затвора кремнієвого транзистора не може бути меншим за 5 нанометрів. При спробі створити перемикач з меншими розмірами втрачається здатність до ефективного керування потоком електронів та різко зростають витрати струму і транзистор перестає виконувати свою основну функцію перемикача.

Виробники процесорів вже зараз активно протистояти фізичним обмеженням кремнієвих технологій через цілий комплекс заходів. На архітектурному рівні це передбачає перехід від планарних до 3D-транзисторів FinFET, а тепер і до більш досконалих GAA-транзисторів, де затвор повністю оточує канал. Також є ідеї змінити транзистори з КМОН комплементарна структура метал-оксид-напівпровідник (CMOS Complementary-symmetry/metal-oxide semiconductor) на тунельні транзистори переважна кількість мікросхем базується на цьому принципі який був винайдений ще в 60-х роках. Тунельні транзистори працюють зовсім по-різному якщо для звичайного транзистора тунелювання електронів це провал то Тунельні транзистори на цьому ефекті і працюють. Вся справа в тому, що тунелювання виглядає як обман фізики логічно що якщо в електрона не вистачає енергії для подолання бар'єру то він залишається за ним. Однак ефект тунелювання дозволяє електронам навіть з низькою енергією просочуватись через бар'єр. Іншими словами це дозволяє працювати транзисторам при менших напругах. Більше того зменшення бар'єру тут нічим не загрожує для того щоб запобігти тунелюванню треба ще зменшити напругу що зменшує виділення тепла. Але є ще й недоліки

1. Потрібен графен.

2. Також потрібні зверх низькі температури.(Потрібен рідкий азот)

Також є так звані мемристори які були розроблені ще на папері в 70 роки їх назва походить від слова memory-пам'ять і resistor-резистор. І це чудово описує їх головну особливість якщо резистор це опір який не змінюється то ось мемристор має ефект пам'яті. Іншими словами він змінює

свою провідність відповідно до струму пропущеного через нього. Звучить як фантастика але це вже реальність Ізраїльська компанія weebit папо повідомила про успішне тестування. Така пам'ять менше схильна до температурних змін радіації і іншим негативним факторам. А якщо піти далі то ми зможемо розташовувати справжні синапси на чіпі. Паралельно впроваджується чіплетна архітектура, яка дозволяє компонувати процесори з окремих модулів.

На матеріальному рівні відбувається заміна традиційних матеріалів: мідні між'єднання поступаються місцем кобальтовим, а високо-к діелектрики на основі гафнію значно зменшують енерговитрати. Системні рішення включають інноваційні методи охолодження, поєднання різних техпроцесів у межах одного чіпа та інтелектуальне управління енергоспоживанням.

Ці заходи в сукупності утворюють стратегію, яка поки що дозволяє обходити фундаментальні обмеження кремнію, хоча з кожним техпроцесом це стає все складніше і вимагає більших інвестицій у дослідження та розробки.

Сьогодні ЦП – це високоінтегрована мікросхема, де всі функції реалізовані на єдиному кремнієвому кристалі. Але саме кремній, що став основою цифрової революції, тепер гальмує прогрес. Чому кремній більше не ідеальний? Фізичний бар'єр 5 нм – при подальшому зменшенні транзистори втрачають стабільність, – щільність елементів призводить до перегріву та зростають втрати струму

Германій, як і кремній, є напівпровідниковим матеріалом, що робить його потенційною альтернативою в електроніці.. Однак від нього відмовилися з наступних причин:

1. Він дорожчий від кремнію він зустрічається рідше.
2. У нього менше термостабільність (при нагріванні він швидше втрачає свої властивості) та окислення.
3. Гірше теплопровідність (важче відводити тепло).

Незважаючи на те, що германій використовувався в ранніх транзисторах, його замінили кремнієм через низьку термостабільність та високу вартість. Однак його похідна – германан – має набагато кращу електропровідність і потенційно може стати альтернативою.

Однак є елемент, на основі якого вже створили чіп, це молібденіт (MoS_2) - це матеріал, який має великий потенціал для використання в напівпровідниковій промисловості, особливо в мініатюрних електронних пристроях. Вченим вдалося довести товщину молібденіту до 0,65 нанометрів за повного збереження напівпровідникових властивостей. На його основі вдалося створити напівпровідниковий фотодіод, який у 5 разів чутливіший ніж кремній.

Пошук ідеального хімічного елемента для заміни кремнію в електроніці є актуальною темою досліджень. Вуглець, зокрема у формі графену та нанотрубок, вважається одним із найперспективніших кандидатів.

Графен це матеріал, що складається з одного шару атомів вуглецю, демонструє втричі вищу провідність, ніж кремній. З нього виготовляють вуглецеві нанотрубки, вони також є напівпровідниками причому атомної товщини до того ж у них електропровідність в 3 рази вище, ніж у кремнію. Цікаво, що на основі нанотрубки вже вдалося зробити перший чіп на 14 тисяч транзисторів, але його процес складає близько 1 мікрометра. Однак це повноцінний чіп, на якому вдалося запустити програму рівня Hello World.

Окрім нових матеріалів, розробляються принципово інші підходи такі як квантові процесори (кубіти замість бітів) – можуть вирішувати складні задачі, але потребують криогенних температур та фотонні чипи – передача даних світлом замість електричного сигналу.

Отже, кремній ще не сказав останнього слова, але наука вже шукає альтернативи – від графену до квантових технологій. Майбутнє процесорів буде багат шаровим, гнучким і, можливо, навіть не електронним, а фотонним.