

Вивчення новинок галузі нанотехнологій у вузівських інформатичних курсах

Вже доведено, що в майбутньому без нанотехнологій у виробництві комп'ютерної техніки не обійтись, адже сучасні кремнієві чіпи можна за всіляких технічних хитрувань зменшувати ще небагато років. Не можна забувати про так звану квантово-механічну перешкоду, яка з'являється при ширині доріжки в 40-50 нанометрів: при цьому електрони пробивають розділові шари в транзисторах, що рівнозначно короткому замиканню. Наночіпи, в яких замість кремнію використовуються різні вуглецеві з'єднання розміром в кілька нанометрів, є одним з можливих виходів. Нанотехнологічні розробки дуже актуальні в наш час. Саме тому на них потрібно знатися усім професіоналам в галузі комп'ютерної інженерії.

В університетських інформатичних курсах практично не вдається відвести належну кількість навчальних годин на вивчення різноманітних ІТ-новинок, зокрема з галузі нанотехнологій. Здебільшого викладачі фокусують увагу студентів на теоретичних аспектах наук, на концептуальних основах комп'ютерно-орієнтованих технологій. З одного боку, це абсолютно правильно, адже саме це у першу чергу потрібно для належного вивчення основ інформатичної науки. Що ж стосується дослідження різноманітних сучасних технологій, то усього, що створено і створюється у даний час в ІТ-світі, практично неможливо охопити навіть найбільш досвідченому, допитливому та енергійному викладачеві – надто великий обсяг тематичних повідомлень, кількість яких лавиноподібно збільшується. Матеріал потрібно «по крихті» збирати з різних інформаційних джерел. Якщо вирішено матеріал презентувати аудиторії, доведеться також його належним чином опрацювати, систематизувати і, що найбільш критично у вузьких рамках навчального процесу, методично обгрунтовано подати для засвоєння студентами. Але як би не було важко це робити педагогам-інформатикам, актуальний, ретельно дібраний, гарно структурований матеріал про сучасні досягнення відповідних сфер ІТ конче потрібен майбутнім фахівцям, адже вони повинні бути всебічно обізнаними і висококваліфікованими. Саме на основі глибоких теоретичних знань з часом і за умови належно вибудованої системи навчання можуть розвинути професійні практичні навички.

Метою даної роботи є спроба систематизувати найвизначніші досягнення в галузі нанотехнологій останніх років та подати їх у вигляді короткого повідомлення, яке доцільно у будь-якій доступній викладачеві формі подавати в процесі навчання студентів-інформатиків (лекція, евристична бесіда на практичному занятті, матеріал web-сайту для підтримки самостійної роботи, фрагмент дистанційного курсу тощо). Передбачається, що нові терміни, поняття, історичні факти, деякі з яких подаються у дужках або опускаються для економії часу читачів, пропонуються студентам у найбільш доцільній формі (коментарі, зноски, примітки і т.п.).

Завдяки квантовій теорії видатного фізика Макса Планка, який 100 років тому прочинив двері у світ атомів і елементарних часток, а також з появою скануючого тунельного мікроскопу (створено фізиками Гердом Біннігом і Генріхом Рорером у 1981 році) почався широкий розвиток нанотехнологій. Сучасні вчені досліджують «нанотрубки» (відкритий у 1991 році в Японії вид вуглецю), фулерени (відкриті у 1985 році молекули вуглецю у формі кулі), нанопровідники і нанострічки (цілісні кристали, які досягають міліметра в довжину і лише кількох десятків або сотень нанометрів у товщину), маніпулюють квантовими точками, що складаються з поодиноких атомів.

Прогресивні розробки вчених у галузі нанотехнологій, чисельні експерименти у сфері нанофотоники, ефективні квантові алгоритми поступово наближають еру квантових комп'ютерів, високошвидкісного фотонного Інтернету.

Завдяки нанотехнологіям компанія Intel в 2007 році у виробництві центральних процесорів здійснила перехід на 45-нм техпроцес [1], що дозволило збільшити продуктивність і зменшити площу ядра, добившись низької використовуваної потужності, зниження тепловиділення при навантаженні. Трохи пізніше компанія AMD випустила у світ різні моделі 45-нм процесорів Phenom II (двох-, трьох- і чотирьохядерні) і 45-нм серверні процесори Opteron [2]. Інші фірми-виробники також поступово переходять на 45-нм техпроцес, наприклад, Qualcomm Inc. (створила новий чіпсет серії Snapdragon з дотриманням норм 45-нм техпроцесу, призначений для роботи у складі нового покоління смартфонів і смартбуків – так Qualcomm вважає за краще називати нетбуки на своїх чіпсетах) [3], Celeron (також виготовляє 45-нм двохядерні процесори, у тому числі для ринку мобільних комп'ютерів) [4]. Відома мікропроцесорна архітектура Cell, спільно розроблена компаніями Sony, Toshiba і IBM, також ґрунтується зараз на 45-нм техпроцесі [5].

Компанія IBM вже успішно освоїла 28-нм техпроцес, перехід до якого дозволяє скоротити енерговитрати мінімум на 20% і підняти продуктивність більш ніж на 40% порівняно з 45-нм продукцією [6]. До того ж розмір кристалу можна зменшувати вдвічі. Наступним етапом в освоєнні 28-нм техпроцесу має стати техпроцес, що забезпечує виробництво високопродуктивних чіпів, таких як чіпсетів, процесорів і графічних чіпів.

В питаннях оптимізації графічного ядра, що зараз здійснюється шляхом «склеювання» кристалів в одній упаковці, інженери компанії IBM запропонували удосконалений підхід – сполучати обчислювальні ядра не електричними провідниками, а оптичними хвилеводами. Зміна способу передавання даних в напрямку конвертування електричних сигналів у пульсацію світла з використанням кремнієвого нанофотонного хвилеводу може підвищити смугу пропускання між ядрами в 100 і більше разів, знижуючи, крім того, енерговитрати в 10 разів. Отже, використовуючи нові технології, можна об'єднувати в одному кристалі сотні і навіть тисячі ядер, і це не вимагає громіздкої системи

охолодження [7].

Що стосується прогресивних розробок в галузі зовнішніх запам'ятовуючих пристроїв, то завдяки нанотехнологіям вдається одночасно ущільнювати запис і збільшувати час гарантованого зберігання даних. Так, наприклад, науковцям компанії IBM (проект Millipede) [8] і TDK (технологія запису з місцевим нагріванням магнітної пластини – heat-assisted recording) [9] вдалося «умістити» 1 Терабіт даних на квадратному дюймі.

В найближчому майбутньому дослідники з IBM у співпраці з університетами Регенсбурга в Німеччині і Ультрехта в Нідерландах також планують створити пробні зразки нанопристроїв, в яких індивідуальні молекули виступатимуть як будівельні блоки. Взагалі, IBM вперше в історії вдалося на практиці відрізнити нейтральні атоми від позитивно або негативно заряджених, і це відкрило шлях до створення нових наноструктур та пристроїв, що мають унікальні атомні і молекулярні властивості [10]. Результати досліджень, напевно, невдовзі можна буде використовувати в молекулярній електроніці, в оптичних пристроях і в приладобудуванні.

В лабораторії компанії Hewlett-Packard фахівці побудували мемристор на основі тонких плівок диоксиду титану з точно вивіреним і нерівним розподілом атомів титану та кисню на різних рівнях. В результаті змінюється електричний опір мемристора залежно від струму, що проходить крізь нього. На базі цієї розробки можна створювати в масштабі нанометрів пристрої більш швидкодіючі без генерації зростаючої кількості надлишкового тепла [11].

Останнім часом в корпорації Samsung працюють над створенням ультратонких (завтовшки 0,6 мм) чіпів флеш-пам'яті ємністю 32 Гб з використанням 30-нанометрового технологічного процесу [12].

А команда матеріалознавців з австралійського університету Суїнберна отримала вражаючі результати у голографічному записі. Учені нанесли на полімер (полівініловий спирт) золоті нанострижні. При цьому всі вони вийшли направленими у різні боки. Десять таких шарів наночасток забезпечили щільність запису 140 гігабайт на кубічний сантиметр (диск із 10 надзвичайно тонких скляних пластин майже прозорий). Разом – 1,6 терабайт даних на одному DVD-диску (з можливістю збільшення до 10 терабайт, якщо зменшити товщину скляних пластин і відстані між шарами, а також збільшити кількість кутів падіння записуючого променя). Таким чином, австралійським вченим вдалося за допомогою нанотехнологій на одній і тій самій ділянці диску розмістити п'ять «вимірів» даних, які не перетинаються і кожен з яких можна зафіксувати променем лазера із строго певними параметрами. Дослідники стверджують, що в їхній розробці цілком можливо досягти швидкості в один гігабіт за секунду. Для зчитування даних вчені використовують високоінтенсивний, але при цьому низькоенергетичний фемтосекундний лазер, який не може розплавити нанострижні. Сканування таким променем дозволяє зчитувати потрібні дані, не зачепивши при цьому вже записаних. Але фемтосекундний лазер досить дорогий і громіздкий, тому його досить складно впровадити у комерційний привід. Поки-що на розроблені в Австралії диски можна лише записувати дані, стирати і перезаписувати їх неможливо. Не дивлячись на те, що золото входить у диски в мікроскопічних кількостях, все ж це дорогий метал, і тому вартість таких носіїв, вочевидь, буде чималою [13].

Невпинно вдосконалюються і технології виробництва магнітних запам'ятовуючих пристроїв. Зокрема, колектив вчених з Німеччини, Іспанії, Швейцарії і США розробив нову технологію, використання якої дозволяє підвищити щільність запису даних на магнітних носіях. Юрген Фассбендер з дослідницького центру Дрезден-Россендорф та його колеги опромінювали пучком іонів пластину зі сплаву заліза з алюмінієм ($Fe_{60}Al_{40}$), при цьому ділянки поверхні діаметром менше 100 нм, що потрапили під дію пучка, набули феромагнітних властивостей [14].

У Лі з Інституту Макса Планка в Халі (Німеччина) разом з колегами із Кореї розробили трафаретний метод для створення високощільного масиву фероелектричних наноконденсаторів, що дозволяє записувати дані зі щільністю 176 Гб на кв. дюйм. На відміну від літографії при цьому не руйнуються чутливі фероелектричні структури. За такого підходу до створення наноконденсаторів фероелектричні матеріали можуть стати багатообіцяючою альтернативою магнітним і діелектричним матеріалам при виготовленні енергонезалежної пам'яті [15].

Для виробництва магнітної пам'яті сьогодні застосовуються пристрої, відомі як спінові клапани. Але така пам'ять для конкурентоспроможності повинна мати більшу щільність комірок. Це може бути досягнуто при використанні нанометрових магнітів, для «перекидання» яких застосовується поляризований струм (переміщення спінів). Проте, проблема полягає у тому, що необхідні струми залишаються досить великими, і це не забезпечує надійності пристроїв. Тепер же дослідникам з Франції і США вдалося вирішити цю проблему, виготовивши спінові клапани розміром 45 нм на базі багаточарових кобальто-нікелевих елементів та понизивши необхідне значення сили струму до 120 мкА при кімнатній температурі (без необхідності додавання зовнішнього магнітного поля) [16].

У гонитві за прогресивними технологіями довготривалого зберігання комп'ютерних даних вчені Відділення матеріалознавства з Пенсільванського університету (США) розробили «нанопровідники», за допомогою яких можна зберігати дані 100 тисяч років. Створені нанонитки з телуриду германію, що самозбираються, можна використовувати в конструюванні повноцінної комп'ютерної пам'яті, де допускається перезапис, адже використовуваний матеріал має цікаву властивість – його фазовий стан може змінюватися з аморфного до кристалічного і навпаки. Розроблені нановироби мають у діаметрі лише 100 атомів. Для їх виробництва не застосовується традиційна для галузі літографія, а процес самозбирання, в ході якого хімічний реагент кристалізується за низьких температур (з використанням нанорозмірного металевого каталізатора) та спонтанно формуються нанонитки 30-50 нанометрів у діаметрі і 10 мікрометрів у довжину. З цих ниток і компонується пристрій пам'яті на кремнієвій підкладці. Випробування показали надзвичайно низькі енерговитрати, необхідні для кодування даних

(0,7 мілівата на біт). Було також засвідчено, що час запису, стирання й зчитування даних (50 наносекунд) в 1000 разів менше, ніж у звичайної флеш-пам'яті, і що дані, записані у пристрої, не втраяться навіть після ≈ 100 тисяч років зберігання. Все це при можливості реалізації терабітного обсягу пам'яті [17].

Нова технологія пам'яті на основі алотропних форм вуглецю, розроблена німецькою компанією Qimonda AG, ґрунтується на властивості зміни форми вуглецю під дією прикладеного електричного струму. Розміри елементів цієї пам'яті можуть складати 2-3 нм, що дозволить підвищити ємність вуглецевих мікросхем у порівнянні з PRAM-пам'яттю (пам'ять з фазовим переходом), яку не можна випускати за проектними нормами, меншими 30 нм.

Дослідники з університету Райса (США), якими керує професор Джеймс Тауер, прийшли до висновку, що смужка графіту завтовшки лише 10 атомів може служити основним елементом для нового типу постійної пам'яті. При цьому елемент пам'яті такого типу не перевищує у розмірі 10 нм, що в чотири рази менше, ніж у кремнієвих мікросхемах. Крім того, графенова комірка містить два контакти, а не три, стійка до радіації і працює у широкому діапазоні температур [18, 30-31].

Новий тип незалежної пам'яті, в якій одна молекула C_{60} вбудовується у комірку флеш-пам'яті, запропонований дослідниками з іншого американського університету – Корнельського. Молекули з добре визначеними енергетичними рівнями вбудовуються у кварц, утворюючи тунельний бар'єр між плаваючим затвором і кремнієвим каналом. В такій пам'яті допускається кількість разів запису/стирань на порядок більша, ніж в пам'яті на металевих нанокристалах [19].

Бельгійські дослідники створили високощільний масив наноструктур з сегнетоелектрика, використовуючи просту техніку нанотиснення. Масив має щільність понад 33 Гб/дюйм, що дозволяє його розглядати як претендента на пластикovu пам'ять для використання в пристроях на базі повністю органічної електроніки. Сегнетоелектричні матеріали мають постійний електричний дипольний момент, напрям якого може змінюватися залежно від електричного поля, що прикладається. Це дозволяє використовувати тонкі плівки сегнетоелектриків для зберігання даних [20].

На базі ще більш екзотичної технології – щільної решітки з полімерних стрижнів діаметром 3 нм на кристалі промислового сапфіра потенційно можна досягати щільності зберігання даних близько 1,7 терабіт на квадратний сантиметр. Після обпалення сапфіру, нанесення на поверхню тонкої полімерної плівки і обробки її кислотою формується гексагональна решітка вертикально розташованих циліндрів. На таку матрицю можна записувати дані з рекордною щільністю [21].

Не менш цікавою є розробка дослідників американської Національної лабораторії енергетики Лоренса Берклі і Каліфорнійського університету на чолі з фізиком Алексом Зеттлом – «Нанорозмірний реверсивний транспорт маси» або «Човникова пам'ять» (Shuttle memory). Один елемент «Човникової пам'яті» є «тунелем» з багаточислової вуглецевої нанотрубки, закріпленим між електродами, в якому вперед-назад рухається кристалічна наночастка заліза (величиною біля 1/50000 товщини людської волосини). І оскільки ця система герметична, вона має чудові властивості захисту від будь-яких забруднень навколишнього середовища. Переміщенням наночовника в такій системі можна управляти за допомогою простого додавання напруги до кінців трубки. Причому величина цієї напруги аналогічна до тієї, що існує в мікросхемах. Положення ж наночастки всередині трубки може бути легко визначене шляхом вимірювання електричного опору. Вже просте розміщення такого човника біля лівого або правого (або верхнього і нижнього, залежно від положення нанотрубки) краю тунелю дає можливість записати двійкові нулі або одиниці. Відповідно, великий набір трубок може бути застосований для зберігання величезних масивів даних. Теоретично за допомогою «Човникової пам'яті» можна зберігати трильйон біт на квадратному дюймі. При цьому не вимагається витрат енергії при зберіганні даних. Але головне: за розрахунками авторів пристрою, така система залишається стабільною мільярд років (цей параметр говорить про високу надійність системи, що є не зайвим при архівуванні важливих даних). До того ж, пам'ять ця не одноразова, і, вірогідно, такий чіп застосовуватиметься в ролі комп'ютерної оперативної пам'яті [22].

Інший винахід останніх років – пристрій Стюарта Паркіна з ІВМ – «Пам'ять-гоночний трек» (RaceTrack), одним з елементів якої є нанодріт, зігнутий у вигляді підкови або літери U. Нанодріт цей намагнічений і має відразу кілька ділянок різної полярності. Це аналог магнітних доменів на жорсткому диску, так що межі між ними є аналогами нулів і одиниць. Зміщуються магнітні домени у нанопровіднику за допомогою спінового струму. І ні сам дріт, ні системи запису/зчитування у даній розробці не рухаються. «Гоночний трек» енергонезалежний (тобто не потребує живлення під час зберігання даних), він швидкий (час доступу – менше наносекунди), дуже надійний і ємкий. В масиві таких літер U, розміщених на поверхні мікросхеми, теоретично може зберігатися в 100 разів більше даних, ніж на транзисторній чіпі-флешці тієї ж площі. Щоправда, практичної реалізації такої вигідної (без рухливих частин) заміни жорсткого диску ще не здійснено. Однак, розробка пам'яті RaceTrack – це шанс для чіпів витіснити усі диски, як магнітні, так і оптичні, і, звичайно ж, поширені твердотілі носії [23].

І ще коротко про одне корисне досягнення: команда вчених під керівництвом Массимільяно Кавалліні з Національної дослідницької ради в Болоньї і Маріо Рубена з Дослідницького центру Карлсруе (Німеччина) наблизилася до створення спінтронних запам'ятовуючих пристроїв. За допомогою нетрадиційної мікро- і нанолітографічної техніки вчені «надрукували» дуже тонкі лінії з нейтрального комплексу заліза (II) із органічними молекулами на кремнієвій підкладці. Це перша вдала спроба створення зчитуваних логічних структур за допомогою спін-перехідних з'єднань [18, 31].

Перелік науково-технічних досягнень вчених і винахідників, що працюють в галузі нанотехнологій, і розробки яких рухають комп'ютерну індустрію вперед, можна продовжити. Важливо вишукувати можливості максимально повно і доступно знайомити студентів із ними.

Література

1. <http://www.overclockers.ru/hardnews/25563.shtml>.
2. http://www.thg.ru/cpu/amd_phenom_ii_x4/onepage.html.
3. <http://www.pceee.net/2009/06/computex-2009-45-nm-chipset-snapdragon-dlya-smartbukiv>.
4. <http://diary-news.com/tech/10452-dvuxyadernye-45-nm-celeron-dlya-noutbukov.html>.
5. http://www.3dnews.ru/news/cell_dlya_ps3_perevodyat_na_45_nm_tehprotsess.
6. <http://it.tut.by/news/93362.html>.
7. <http://vkyj.com/2007/12/08/1512.html>.
8. <http://www.computerra.ru/think/sentinel/37920>.
9. <http://www.3dnews.ru/tags/TDK>.
10. <http://news.tochka.net/ua/9125-ibm-khochet-delat-nanoustroystva>.
11. <http://www.membrana.ru/lenta/?8178>.
12. <http://technoportal.ua/news/producers/5361.html>.
13. <http://www.ergo-ua.com/news/11425.html>.
14. <http://www.rusnano.com/Section.aspx/Show/14998>.
15. <http://ko-online.com.ua/blogs/barash?page=7>.
16. <http://ko-online.com.ua/node/42743>.
17. <http://www.securitylab.ru/news/303535.php>.
18. Нанотехнологии в мире. Дайджест российской и зарубежной прессы. – Вып.01. – 2009 // <http://www.rusnano.com/Admin/FilesDirectory/2402.pdf>.
19. <http://ko-online.com.ua/node/36853>.
20. <http://ko-online.com.ua/node/40608>.
21. <http://vtemi.org.ua/?p=272>.
22. <http://ru.worldseo.net/news/3098/go.html>.
23. http://www.nanometer.ru/2008/04/19/spintronika_42751.html.