

ПОСТІЙНІ ЗАПАМ'ЯТОВУЮЧІ ПРИСТРОЇ

Слово «постійні» в назві цього виду запам'ятовуючих пристроїв відноситься до їх властивості зберігати інформацію за відсутності напруги живлення. Мікросхеми постійних запам'ятовуючих пристроїв (ПЗП) також побудовані за принципом матричної структури накопичувача, де у вузлах розташовані перемички у вигляді провідників, напівпровідникових діодів або транзисторів, що одним кінцем підключені до адресної лінії, а іншим – до розрядної лінії зчитування. У такій матриці наявність перемички може означати 1, а її відсутність – 0. У деяких типах ПЗП елемент, розташований на перемичці, виконує роль конденсатора. Тоді заряджений стан конденсатора означає 1, а розряджений – 0.

Основним режимом роботи ПЗП є зчитування інформації, яке мало відрізняється від аналогічної операції в ОЗП як по організації, так і по тривалості. Саме цю обставину підкреслює загальновізнана назва постійних ЗП – ROM (Read-Only Memory – пам'ять тільки для читання). В той же час запис у ПЗП в порівнянні з читанням зазвичай складніший і зв'язаний з великими витратами часу і енергії. Занесення інформації в ПЗП називають програмуванням або «прошивкою». Остання назва нагадує про те, що перші ПЗП виконувалися на базі магнітних осердь, а дані в них заносилися шляхом прошивки відповідних осердь провідниками зчитування. Сучасні ПЗП реалізуються у вигляді напівпровідникових мікросхем, які за можливостями і способом програмування розділяють на такі види:

- програмовані під час виготовлення;
- однократно програмовані після виготовлення;
- багатократно програмовані.

1 ПЗП, що програмуються під час виготовлення

Цю групу утворюють так звані масочні пристрої і саме до них прийнято застосовувати абревіатуру ПЗП. В літературі поширеніше позначення різних варіантів постійних ЗП скороченнями від англійських назв, тому надалі також використовуватимемо аналогічну систему. Для масочних ПЗП таким позначенням є ROM, яке збігається із загальною назвою всіх типів ПЗП. Іноді такі мікросхеми іменують MROM (Mask Programmable ROM – ПЗП, що програмується за допомогою маски).

Занесення інформації в масочні ПЗП складає частину виробничого процесу і полягає в підключенні або непідключенні запам'ятовуючого елемента до розрядної лінії зчитування. Залежно від цього із ЗЕ завжди витягуватиметься 1 або 0. У ролі перемички виступає транзистор, розташований на перетині адресної і розрядної ліній. Які саме ЗЕ повинні бути підключені до вихідної

лінії, визначає маска, що «закриває» певні ділянки кристала. Під час створення масочних ПЗП застосовуються різні технології. В першому випадку маска просто не допускає металізації ділянки, що з'єднує транзистор з розрядною лінією зчитування. Друга технологія зв'язана з видом транзистора у вузлі. Маска визначає, який польовий транзистор повинен бути імплантований в даний вузол, що працює в збагаченому режимі або в режимі збіднення. В третьому варіанті маска задає товщину оксидного шару затвора транзистора. Залежно від цього на кристалі формується або стандартний транзистор, або транзистор з високим порогом спрацьовування.

У початковий період масочні мікросхеми були дорогі, проте зараз це один з найбільш дешевих видів ПЗП. Для ROM характерна висока щільність упаковки ЗЕ на кристалі і високі швидкості зчитування інформації. Основною сферою застосування є пристрої, що вимагають зберігання фіксованої інформації. Так, подібні ПЗП часто використовують для зберігання шрифтів у лазерних принтерах.

2 Одноразово програмовані ПЗП

Створення масок для ROM виправдане у процесі виробництва великого числа копій. Якщо потрібна відносно невелика кількість мікросхем з даною інформацією, розумною альтернативою є однократно програмовані ПЗП.

Мікросхеми PROM. В ІМС типу PROM (Programmable ROM – *програмовані ПЗП*) інформація може бути записана тільки однократно. Першими такими ПЗП стали мікросхеми пам'яті на базі плавких запобіжників. У початковій мікросхемі у всіх вузлах адресні лінії з'єднані з розрядними. Занесення інформації в PROM проводиться електрично, шляхом перепалювання окремих перемичок, і може бути виконано постачальником або споживачем через якийсь час після виготовлення мікросхеми. Подібні ПЗП випускалися в рамках серій K556 і K1556. Пізніше з'явилися ІМС, де в перемичку входили два діоди, з'єднані назустріч. У процесі програмування видалити перемичку можна було за допомогою електричного пробоя одного з цих діодів. У будь-якому варіанті для запису інформації потрібне спеціальне устаткування – програматори. Основними недоліками даного виду ПЗП були великий відсоток браку і необхідність спеціального термічного тренування після програмування, без якого надійність зберігання даних була невисокою.

Мікросхеми OTP EPROM. Ще один вид однократно програмованого ПЗП – це OTP EPROM (One Time Programmable EPROM – EPROM з одноразовим програмуванням). В його основі лежить кристал EEPROM (див. нижче), але поміщений у дешевий непрозорий пластиковий корпус без кварцевого вікна, через що він може бути запрограмований лише один раз.

3 Багаторазові програмовані ПЗП

Процедура програмування таких ПЗП зазвичай припускає два етапи: спочатку проводиться стирання вмісту всіх або частини комірок, а потім проводиться запис нової інформації.

В цьому класі постійних запам'ятовуючих пристроїв виділяють декілька груп:

- EPROM (Erasable Programmable ROM - стирані програмовані ПЗП);
- EEPROM (Electrically Erasable Programmable ROM – електрично стирані програмовані ПЗП);
- флеш-пам'ять.

Мікросхеми EPROM. В EPROM запис інформації проводиться електричними сигналами, так само як в PROM, проте перед операцією запису вміст всіх комірок повинен бути приведений до однакового стану (стерто) шляхом дії на мікросхему ультрафіолетовим опромінюванням. Кристал поміщений в керамічний корпус, який має невелике кварцеве вікно, через яке і проводиться опромінювання. Щоб запобігти випадковому стиранню інформації, після опромінювання кварцеве вікно заклеюють непрозорою плівкою. Процес стирання може виконуватися багато разів. Кожне стирання займає близько 20 хв.

Дані зберігаються у вигляді зарядів плаваючих затворів МОН-транзисторів, що грають роль конденсаторів з дуже малим витоком заряду. Заряджений ЗЕ відповідає логічному нулю, а розряджений – логічній одиниці. Програмування мікросхеми відбувається з використанням технології інжекції гарячих електронів. Цикл програмування займає декілька сотень мілісекунд. Час зчитування близький до показників ROM і DRAM.

У порівнянні з PROM мікросхеми EPROM дорожче, але можливість багатократного перепрограмування часто є визначальною. Даний вид ІМС випускався в рамках серії K573 (зарубіжний аналог – серія 27xxx).

Мікросхеми EEPROM. Привабливішим варіантом багатократно програмованої пам'яті є електрично стирана програмована постійна пам'ять EEPROM. Стирання і запис інформації в цю пам'ять проводяться побайтово, причому стирання – не окремий процес, а лише етап, що відбувається автоматично під час запису. Операція запису займає істотно більше часу, чим зчитування – декілька сотень мікросекунд на байт. У мікросхемі використовується той же принцип зберігання інформації, що і в EPROM. Програмування EEPROM не вимагає спеціального програматора і реалізується засобами самої мікросхеми.

Випускаються два варіанти мікросхем: з послідовним і паралельним доступом, причому на частку перших припадає 90% всіх ІМС цього типу. В EEPROM з доступом по послідовному каналу (SEEPROM – Serial EEPROM)

адреси, дані і управляючі команди передаються по одному провіднику і синхронізуються імпульсами на тактовому вході. Перевагою SEEPRROM є малі габарити і мінімальне число ліній вводу/виводу, а недоліком – великий час доступу.

В цілому EEPROM дорожче, ніж EPROM, а мікросхеми мають менш щільну упаковку комірок, тобто меншу ємність.

Флеш-пам'ять. Відносно новий вигляд напівпровідникової пам'яті – це *флеш-пам'ять* (назву flash можна перевести як «спалах блискавки», що підкреслює відносно високу швидкість перепрограмування). Вперше анонсована в середині 80-х років, флеш-пам'ять багато в чому схожа на EEPROM, але використовує особливу технологію побудови запам'ятовуючих елементів. Аналогічно EEPROM, у флеш-пам'яті стирання інформації проводиться електричними сигналами, але не побайтово, а по блоках або повністю. Тут слід зазначити, що існують мікросхеми флеш-пам'яті з розбиттям на дуже дрібні блоки (сторінки) і автоматичним посторінковим стиранням, що зближує їх за можливостями з EEPROM. Як і у випадку з EEPROM, мікросхеми флеш-пам'яті випускаються у варіантах з послідовним і паралельним доступом.

За організацією масиву ЗЕ розрізняють мікросхеми типу:

- Bulk Erase (тотальне очищення) – стирання допустиме тільки для всього масиву ЗЕ;
- Boot Lock – масив роздільний на декілька блоків різного розміру, вміст яких може очищатися незалежно;
- Flash File – масив роздільний на декілька рівноправних блоків однакового розміру, вміст яких може стиратися незалежно.

Повністю вміст флеш-пам'яті може бути очищений за одну або декілька секунд, що значно швидше, ніж у EEPROM. Програмування (запис) байта займає час близько 10 мкс, а час доступу під час читання складає 35-200 нс.

Як і в EEPROM, використовується тільки один транзистор на біт, завдяки чому досягається висока щільність розміщення інформації на кристалі (на 30% вище, чим у DRAM).

4 Енергонезалежні оперативні запам'ятовуючі пристрої

Під поняття *енергонезалежний* ОЗП (NVRAM - Non-Volatile RAM) підпадає декілька типів пам'яті. Від перепрограмованих постійних ЗП їх відрізняє відсутність етапу стирання, що передує запису нової інформації, тому замість терміну «програмування» для них вживають стандартний термін «запис».

Мікросхеми BBSRAM. До даної групи відносяться звичайні статичні ОЗП із вбудованим літєвим акумулятором і посиленням захистом від спотворення інформації в момент включення і відключення зовнішнього

живлення. Для їх позначення застосовують аббревіатуру BBSRAM (Battery-Back SRAM).

Мікросхеми NVRAM. Інший підхід реалізований у мікросхемі, розробленій компанією Simtec. Особливість її в тому, що в одному корпусі об'єднано статичний ОЗП і перепрограмована постійна пам'ять типу EEPROM. Під час включення живлення дані копіюються з EEPROM в SRAM, а під час виключення – автоматично перезаписуються з SRAM в EEPROM. Завдяки такому прийому даний вид пам'яті можна вважати незалежним.

Мікросхеми FRAM. FRAM (Ferroelectric RAM – фероелектрична пам'ять) розроблена компанією Ramtron. За швидкодією даний ЗП дещо поступається динамічним ОЗП і поки розглядається лише як альтернатива флеш-пам'яті. Віднесення FRAM до оперативних ЗП обумовлено відсутністю перед записом явно вираженого циклу стирання інформації.

Запам'ятовуючий елемент FRAM схожий на ЗЕ динамічного ОЗП, тобто складається з конденсатора і транзистора. Відмінність полягає в діелектричних властивостях матеріалу між обкладками конденсатора. В FRAM цей матеріал володіє великою діелектричною постійною і може бути поляризований за допомогою електричного поля. Поляризація зберігається аж до її зміни протилежно направленим електричним полем. Дані зчитуються за рахунок дії на конденсатор електричного поля. Величина струму, що виникає при цьому, залежить від того, чи змінює прикладене поле напрям поляризації на протилежний чи ні, що може бути зафіксоване підсилювачами зчитування. В процесі зчитування вміст ЗЕ руйнується і повинен бути відновлений шляхом повторного запису, тобто як і DRAM, даний тип ЗП потребує регенерації. Кількість циклів перезапису для FRAM зазвичай складає 10 млрд.

Головна перевага даної технології в значно вищій швидкості запису в порівнянні з EEPROM. В той же час відносна простота ЗЕ дозволяє добитися високої щільності розміщення елементів на кристалі.