

# Silicon Motion FerriSSD<sup>®</sup>

## FerriSSD<sup>®</sup> 如何在長時間運算中消除位元錯誤，並延長使用壽命

固態硬碟 (SSD) 是現今嵌入式運算的主要產品之一。最新 3D TLC (三層單元) NAND Flash 技術提供非凡儲存容量，因此如 Silicon Motion 的 FerriSSD<sup>®</sup> 儲存裝置等固態硬碟產品可以在尺寸僅 20mm x 16mm 的 BGA 晶片封裝中提供高達 480GB 的儲存空間。

但嵌入式固態硬碟所採用的先進 NAND Flash 技術並非毫無缺點。隨著 NAND Flash 技術轉移到越來越小的製程節點，記憶體的资料保存問題日益惡化。

(資料保存是指快閃記憶體可以保證儲存資料位元而不會遺失或損毀的期間)。對於汽車、工業及醫療應用的嵌入式運算系統製造商而言，這可能是個問題，10 年的延長資料保存是一項關鍵的效能需求。

因此，固態硬碟製造商競爭開發最有效的記憶體管理技術，抵消 TLC 及 QLC NAND 單元減少的資料保留量，確保採用大容量 NAND 記憶體不會影響 SSD 提供客戶長期可靠的資料儲存能力。

最先進的 SSD 記憶體管理技術現在整合了複雜的資料加強及錯誤校正技術。本文說明 SSD 技術與先進 NAND 記憶體結合高記憶體容量與長時間資料保留的方式。

### 使用者在資料保存上所遇到的困難

資料位元因老化而「遺失」的過程是由於儲存位元的單元發生電子洩漏。當電子洩漏導致單元電壓低於特定臨界值時，將無法可靠讀取位元 (見圖 1)。

對於主機處理器而言，這種資料遺失將以位元錯誤的形式呈現。因老化而引起的電子洩漏並非導致位元錯誤的唯一原因：程式設計、當資料寫入儲存媒體時，以及當從記憶體讀出資料時，也可能會發生位元錯誤。

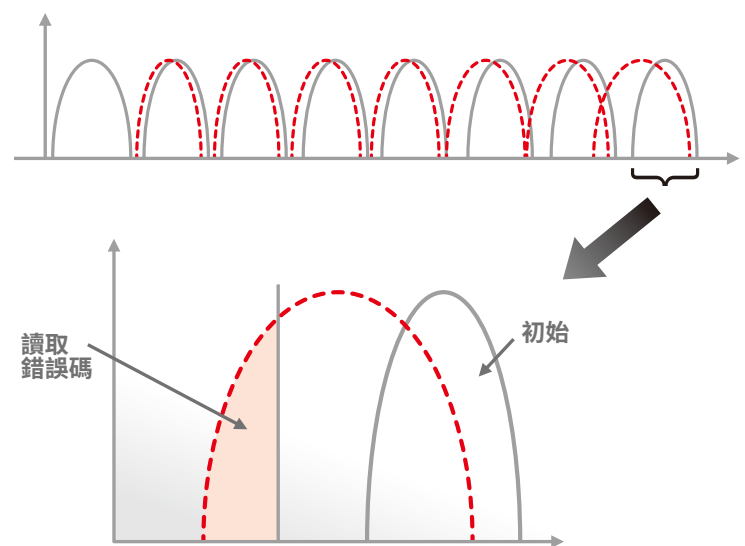


圖 1：隨著時間，電子可能從程序的快閃單元中位移洩漏，導致臨界電壓損失

當然，汽車、醫療及工業應用的固態硬碟使用者希望在固態硬碟使用壽命中錯誤率盡可能接近零。對於 SSD 製造商而言，幾近零位元錯誤率的要求，需要導入先進的技術來管理並修正所有位元錯誤的成因。伴隨最新 TLC 及 QLC NAND Flash 的資料保存問題是位元錯誤特別重要的因素，而且特別難以消除或減少。

## 影響資料保留的因素

NAND Flash 陣列的實驗室測試顯示，兩個老化因素會影響資料保留期間。

### P/E 循環累積次數

- 將資料位元寫入記憶體單元以及清除該位元的過程會磨損單元，降低其保持電荷的容量。
- 記憶體單元受到的編程/擦除 (P/E) 循環次數越多，資料保留期間就越短。

### 高溫工作環境

- 工作環境溫度越高，NAND Flash 單元老化更快，因此資料保留時間衰減更快。如圖 3 所示。
- 結合 P/E 循環與極端溫度兩種效應將進一步降低資料保留率。
- 對於經過額定最大 P/E 循環次數的多層單元 (MLC) NAND 裝置，資料保留能在 85°C 的情況降至最短兩天。

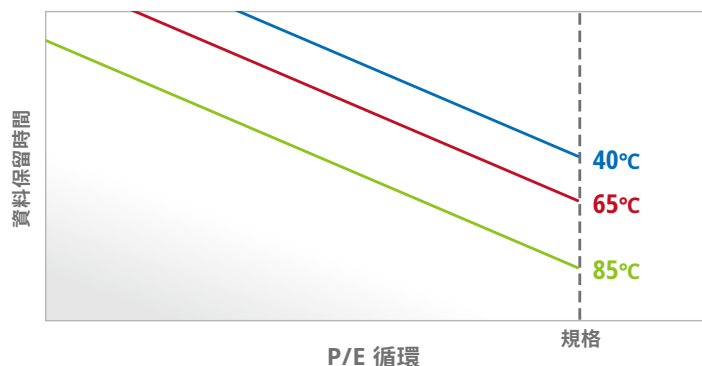


圖 3：隨著溫度升高，NAND Flash 的資料保留能力大幅下降。  
(圖片來源：Silicon Motion)

## 解決資料保留問題的常見方法

固態硬碟業界通常採用相同的廣泛策略來處理資料保留問題。結合兩組不同技術。

此方法的第一部分是處理位元錯誤，這是由於 NAND Flash 老化效應發生位元遺失。透過各類錯誤修正碼 (ECC) 來偵測並修正這些位元錯誤。

第二部分是盡量減少必須偵測及修正的位元錯誤數量。固態硬碟製造商運用技術來監控記憶體單元的健康狀況，淘汰非必要的單元，重新整理老化單元中的資料位元，補充單元中電子洩漏的電荷量。

## 優異的錯誤修正功能，可將資料儲存中的位元錯誤降至最低

SSD 製造商用來維護資料完整性的核心技術已經成熟，並已使用多年。第一個廣泛使用的 ECC 演算法，漢明碼，在 1950 年開發，其次是里德所羅門 (RS) 及 BCH 碼。近期發現，進階錯誤修正碼「低密度奇偶修正碼」(LDPC) 有利於修正硬體及軟體位元錯誤。

隨著工程師發現更多偵測或修正錯誤的新方法，或是減少導入演算法的運算負擔，以及減少讀取及寫入作業的延遲時間，各種 ECC 演算法如雨後春筍。

因此，儘管所有 SSD 製造商都能普遍採用這些基本技術，但在資料保留與讀取及寫入速度方面，技術選擇及導入方式都可能會導致一款固態硬碟與另一款之間的效能差異。

這是因為資料保留的影響對於每個 SSD 單元而言都是獨一無二，因此導入 ECC 及資料管理系統的有效性取決於其對於 SSD 單元的適應程度。

對於資料保留效應的變動，部分原因是由於使用者行為，相較於其他裝置，部分裝置會暴露於較高工作溫度，或是較高 P/E 循環數。

除此之外，NAND Flash 晶粒特性的細微變化不僅出現在一家 NAND Flash 製造商的產品之間，即使是透過指定節點技術製造的單一 NAND Flash 製造商生產批次也可能會發生同樣問題。

甚至，每個應用的資料儲存作業類型也會有所不同：有些資料可能會持續清除並由新資料取代，而在另一應用中，儲存的資料可能會保持多年不變。

執行適應性 ECC 運算的 SSD 可以作出調整，分別針對長時間資料保留（長時間儲存的資料）或延時（不斷替換的資料）進行最佳化。

### 持續改善資料保留技術

Silicon Motion 的 FerriSSD® 系列嵌入式儲存產品可為工業、汽車及醫療設備製造商，提供長時間資料保留性及快速的讀寫速度，同時利用 TLC NAND Flash 技術提供更高記憶體容量。

Silicon Motion 透過其 NANDXtend 技術運用在 Ferri 產品中。當 SSD 經過幾次 P/E 週期循環而隨機發生低風險的位元錯誤時，它會採用標準 BCH 演算法來維持低延時及高效能。隨著固態硬碟老化，逐漸採取較強 ECC 架構：LDPC（密度奇偶修正碼）ECC，然後是 Group Page RAID。NANDXtend 技術利用 ECC 演算法的優勢（見圖 4）增強產品可靠性，其次是大幅延長 P/E 週期壽命，延長了儲存裝置 NAND 快閃儲存媒體的使用壽命。此外，NANDXtend 可幫助增加資料儲存容量，減少因高溫操作而導致的資料錯誤。

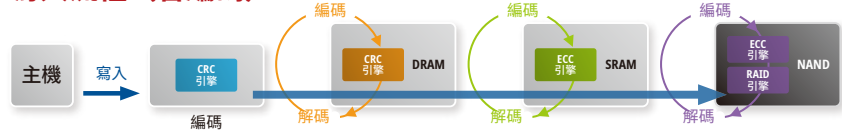
現在，隨著最新第 6 代資料復原技術的推出，ECC 演算法也更加細微。這項第 6 代技術採用全新人工智慧 (AI) 及機器學習技術，使每部固態硬碟能夠根據其應用合併的溫度循環及資料循環行為，及其 NAND Flash 特性調整其 ECC 運算。第 6 代技術的優點一直延續到 SSD 使用壽命結束，這時一般隨機位元錯誤率高達 0.6%，需要採用強大 ECC 演算法，從而會減緩讀取及寫入作業。相較於對手的 SSD 產品，NANDXtend 技術在使用壽命結束時的資料傳輸量約為兩倍。

這項改良的 ECC 運算由其他系統備份，進一步保護資料完整性及 SSD 使用壽命：

- 端對端資料路徑保護會將 ECC 演算法套用至 SSD 內部傳輸資料的各點（見圖 4）。如前所述，使用者目標是盡可能接近零位元錯誤。NANDXtend 技術可解決老化造成的位元錯誤，端對端資料路徑保護可解決內部資料傳輸造成的位元錯誤。

- IntelligentScan + DataRefresh 技術可監控記憶體單元的電壓及溫度狀態，重新整理風險單元中的資料（見圖 5）。它能夠延長 NAND Flash 陣列的使用壽命，遠遠超出快閃記憶體製造商額定的 P/E 循環壽命（見圖 6）。IntelligentScan 中的智慧功能還包括自動溫度反應，在高溫下操作時進行更頻繁的掃描。

### 寫入流程（含編碼）



### 讀取流程（含解碼）



圖 4：端對端資料路徑保護可消除內部資料傳輸造成的位元錯誤

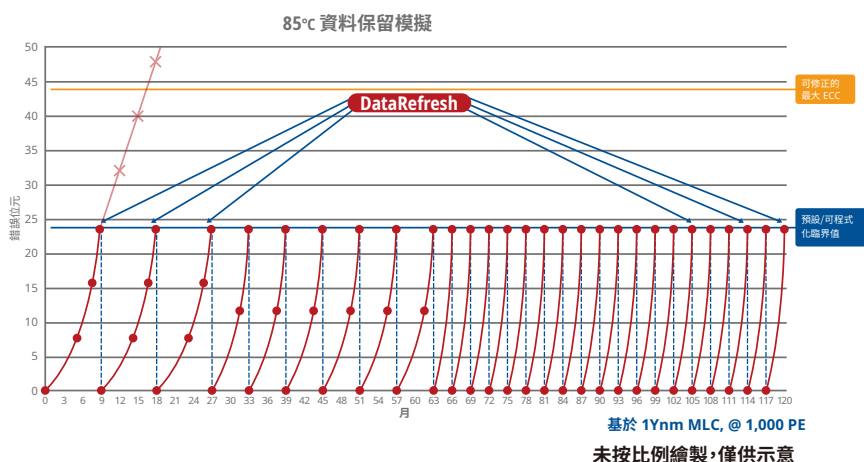


圖 5：隨著 NAND 快閃記憶體的老化，DataRefresh 功能會增加充電作業的頻率。（圖片來源：Silicon Motion）

當單元氧化層劣化到無法再回充時，IntelligentScan 功能將在可能的情況下加以修復或淘汰，避免資料完整性的任何風險。

Ferri 產品中的控制器也導入了先進的全區平均抹寫功能，將 P/E 操作及損耗均勻分配到整個陣列中。

### 經實證的使用壽命，適合嚴苛應用

然後可在 SSD 中導入 ECC 技術及資料管理系統，維持資料完整性，克服使用先進 TLC 及 QLC NAND Flash 的固有資料保留問題。Silicon Motion NANDXtend 技術的效能經過實際驗證，即使是最嚴苛的環境也能勝任。

特別是 Silicon Motion 的 Ferri® 系列產品符合 AEC-Q100 標準，適合汽車應用。Ferri® 系列產品在高溫下進行一套嚴格的使用壽命測試，並在測試後維持高讀寫效能及零缺陷的資料保留率，並獲得認證。

Ferri 產品的汽車分級以及客戶在工業及醫療市場的實際經驗顯示，這些應用所需的可靠性及長時間運算壽命可採用最先進 NAND Flash 技術的嵌入式 SSD 提供。

Silicon Motion 是全球領先的固態硬碟控制器獨立供應商，在儲存裝置中擁有數十年的 NAND Flash 陣列管理經驗。Silicon Motion 硬體工程師及韌體開發人員利用公司最新 NAND Flash 技術的深厚知識，打造高效能、應用導向的 ECC 功能。

在嵌入式的領域中，資料保留是選擇 SSD 的重要關鍵因素，因為大多數工業、汽車及醫療電子系統都需具備長時間的使用壽命。嵌入式系統製造商可以仰賴 Silicon Motion，我們將最有效的資料保留技術嵌入 FerriSSD 系列產品中，Silicon Motion 有信心，其所選擇的儲存裝置在應用上的使用壽命，能夠以高可靠的方式儲存資料。

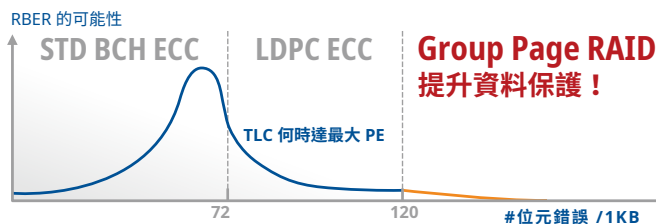


圖 6：FerriSSD 設備最佳化 ECC 演算法的選擇

如需 Ferri 家族的詳細資訊，請造訪 [www.siliconmotion.com](http://www.siliconmotion.com) 或寄送電子郵件至 [ferri@siliconmotion.com](mailto:ferri@siliconmotion.com)