

# Silicon Motion FerriSSD<sup>®</sup>

## 先进的 FerriSSDs<sup>®</sup> 如何在超长使用寿命中消除比特误码

固态硬盘 (SSD) 是现代嵌入式计算的主要产品之一。最新的 3D TLC (三阶储存单元) 和 QLC (四阶存储单元) NAND 闪存技术为慧荣科技的 FerriSSD<sup>®</sup> 存储设备等 SSD 产品提供了非凡的存储容量, 使其能够在尺寸仅为 20mm x 16mm 的 BGA 芯片封装中提供高达 480GB 的存储空间。

但嵌入式 SSD 所基于的先进 NAND 闪存技术并非没有缺点。随着 NAND 闪存技术迁移到越来越小的过程节点, 内存的数据保持变得越来越差。(数据保持是指保证闪存存储少量数据而不会丢失或损坏的时间。) 对于汽车、工业和医疗领域应用的嵌入式计算系统制造商来说, 这是一个潜在的问题, 因为长达 10 年的数据保持时间可能是一项关键的性能要求。

因此, 如今 SSD 制造商竞相开发最有效的内存管理技术, 以抵消 TLC 和 QLC NAND 单元数据保持减少的问题, 并确保使用高容量 NAND 内存不会削弱 SSD 为客户提供所需的可靠长期数据存储能力。

SSD 内存管理的最新技术现在结合了复杂的数据增强和纠错技术。本文介绍了 SSD 技术如何与先进的 NAND 内存配合使用, 以将高内存容量与长数据保持相结合。

### 用户为何经历数据保持失败

数据因老化而“丢失”的过程是存储位单元中的电子泄漏。当电子泄漏导致单元电压低于某个阈值时, 就无法再可靠地读取这一单元 (参见图 1)。

对于主机处理器而言, 这种数据丢失被视为比特误码。电子泄漏引起的老化并不是导致比特误码的唯一原因: 在编程过程中、将数据写入存储介质时, 以及从内存中读出数据时, 也会发生比特误码。

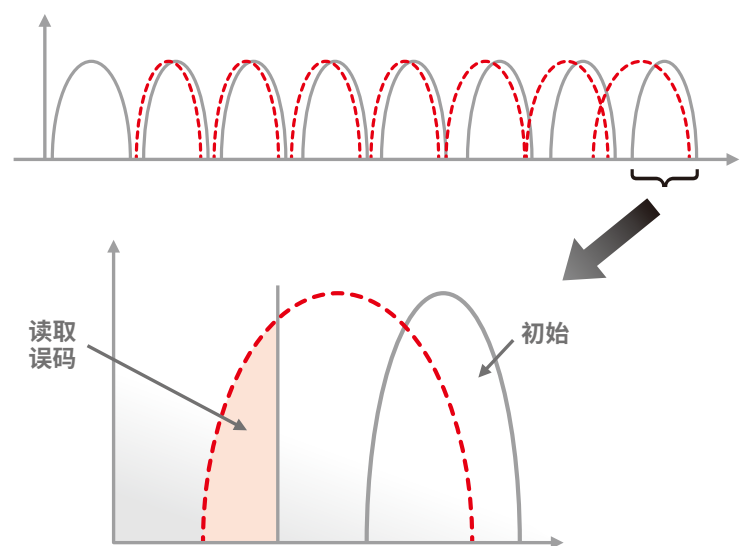


图 1: 随着时间的推移, 电子会从已编程的闪存单元中逸出, 从而导致阈值电压损失

当然，SSD 的汽车、医疗和工业用户所需的是在 SSD 的整个使用周期内的比特误码率近乎为零。对于 SSD 制造商来说，这种对比特误码率近乎为零的要求，需要管理并纠正所有比特误码原因技术的实施。与最新的 TLC 和 QLC NAND 闪存相关的数据保持问题是比特误码的一个特别重要的来源——并且特别难以消除或减少。

## 影响数据保持的因素

NAND 闪存阵列的实验室测试表明：两个老化因素会影响数据保持的持续时间。

### 编程/擦除周期

- 将数据位写入存储单元并擦除该单元的过程会磨损该单元，从而降低其保持电荷的能力。
- 存储单元经历的编程/擦除 (P/E) 循环越多，该单元的数据保持期就越短。

### 工作温度高

- 温度越高，NAND 闪存单元老化得越快，因此数据保持的持续时间下降得越快。如图 3 所示。
- P/E 循环和极端温度这两种效应结合在一起可进一步减少数据保持。
- 对于已经历其额定最大 P/E 循环次数的多阶单元 (MLC) NAND 设备，在 85°C 下的数据保持时间将缩短至两天。

## 解决数据保持问题的常用方法

SSD 行业通常采用相同的广泛策略来处理数据保持问题。这一策略结合了两组独立的技术。

这一方法的第一部分是处理由于 NAND Flash 中的老化效应导致数据丢失时发生的比特误码。各种类型的纠错码 (ECC) 用于检测和纠正这些比特误码。

第二部分是使必须检测和纠正的比特误码的数量达到最小化。SSD 制造商采用相应的技术来监控存储单元的健康状况、淘汰不再可靠的单元以及刷新老化单元中的数据位，从而补充发生电子泄漏单元中的电荷量。

## 优越的纠错能力能够最大限度地减少数据存储中的比特误码

SSD 制造商用于维护数据完整性的核心技术已经很成熟并已经使用了很多年。第一个广泛使用的 ECC 算法——汉明码是在 1950 年代开发的，其次是 Reed-Solomon 码 (RS) 和 Bose-Chaudhuri-Hocquenghem (BCH) 码。最近，一种高级纠错码低密度奇偶校验 (LDPC) 因其能够纠正硬位和软位比特误码而受到青睐。

随着工程师发现各类新方法检测或纠正更多误码、减少实现算法的计算负担，从而减少读写操作的延迟，ECC 算法的种类不断增加。

因此，虽然基本技术对所有 SSD 制造商普遍可用，但技术的选择及其实施方式可能会导致一种型号的 SSD 与另一种型号在数据保持和读写速度方面的性能存在巨大差异。

这是因为数据保持的影响对于每个 SSD 单元来说都是独有的，因此 ECC 实施和数据管理系统的有效性取决于它们对 SSD 单元的适应程度。

数据保持效果的变化部分源于用户的行为——某些设备暴露于更高的工作温度或具有更多的 P/E 循环次数。

最重要的是，NAND 闪存芯片特性的微小差异不仅发生在一个 NAND 闪存制造商的产品之间，而且甚至发生在给定节点制造的同— NAND 闪存制造商的不同生产批次之间。

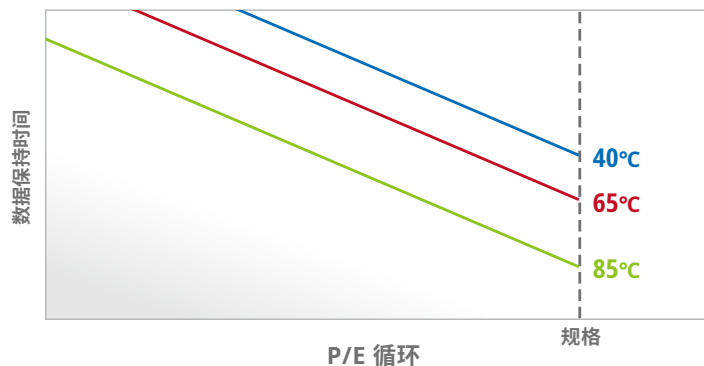


图 3: 随着温度升高，NAND 闪存单元中的数据保持量急剧下降。  
(图片来源: 慧荣科技)

最重要的是，数据存储操作的类型因应用程序而异：一些数据可能会被不断地删除并被新数据替换；而在另一个应用程序中，存储的数据可能多年保持不变。

执行自适应 ECC 操作的 SSD 可以调整其操作以优化长时间数据保持（对于长期存储的数据）或延迟（对于不断替换的数据）。

### 数据保持技术的持续改进

FerriSSD® 系列嵌入式存储产品的制造商慧荣科技现在正在响应工业、汽车和医疗设备制造商对长数据保持和快速读写速度的需求，同时利用 TLC NAND 闪存技术来提供更大的存储容量。

慧荣科技建立在其久经考验的 NANDXtend® 数据保持系统奠定的基础之上。NANDXtend 技术利用了各种 ECC 算法（参见图 4）。当 SSD 经历很少的 P/E 或温度循环并且随机比特误码的风险很低时，它会应用标准的 BCH 算法来保持低延迟和快速性能。随着 SSD 的老化，SSD 逐渐应用更强大的 ECC 方案：LDPC（低密度奇偶校验）ECC，然后是 组页 RAID。

现在，随着最新的第六代数据恢复技术的推出，用户将受益于对 ECC 应用的更细粒度优化。这种第六代技术使用新的人工智能 (AI) 和机器学习技术，使每个单独的 SSD 能够使其 ECC 操作适应其应用程序的温度循环和数据循环行为的组合，以及其 NAND 闪存单元的特性。第六代技术的优势会一直持续到 SSD 的使用寿命结束，在这种情况下，典型的随机比特误码率高达 0.6%，这时候需要应用强 ECC 算法，但是这些算法通常会减慢读写操作。与竞争对手的 SSD 产品相比，NANDXtend 技术在使用寿命结束时的数据吞吐量大约是其竞争对手的二倍。

这种改进的 ECC 操作得到了其他系统的支持，这些系统进一步保护了数据完整性和 SSD 的使用寿命：

- 端到端数据路径保护将 ECC 算法应用于数据在 SSD 内传输的每个点（参见图 4）。如前所述，用户的目标是比特误码率近乎为零。NANDXtend 技术解决了老化引起的比特误码问题，端到端数据路径保护解决了内部数据传输引起的比特误码问题。

- IntelligentScan 和 DataRefresh 技术监控存储单元的电压和温度状态，并可刷新存在风险单元中的数据（参见图 5）。这一技术能够将 NAND 闪存阵列的寿命延长到远超过闪存制造商额定的 P/E 循环寿命（参见图 6）。IntelligentScan 功能中的智能功能还包括自动响应温度，以及提高在高温下运行时的扫描频率。

当单元的氧化层磨损到无法再充分充电的程度时，IntelligentScan 功能将在可能的情况下对其进行修复或将其淘汰，从而保证了数据完整性。

### 用编码写入数据流



### 用解码读取数据流



图 4：端到端数据路径保护消除了由内部数据传输引起的比特误码

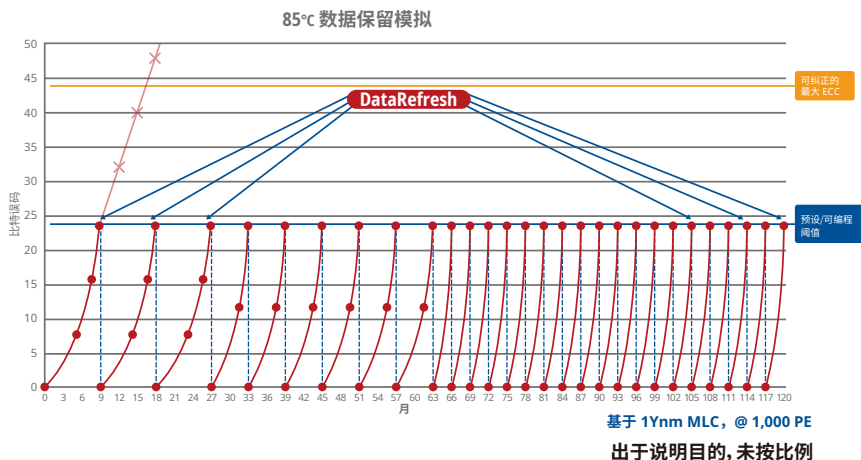


图 5：随着 NAND 闪存单元的老化，DataRefresh 功能增加了充电的频率。  
(图片来源：慧荣科技)

Ferri 产品中的控制器还实现了高级的全局磨损平衡，因此 P/E 运行以及损耗在整个阵列中均衡分布。

### 在严苛的应用中久经考验

然后，ECC 技术和数据管理系统可以在 SSD 中实施，以保持数据完整性并克服使用先进的 TLC 和 QLC NAND 闪存所固有的数据保持问题。慧荣科技 NANDXtend 等技术的性能得到了实际应用的肯定，即使在最恶劣的环境中也是如此。

而且慧荣科技的 Ferri® 系列产品符合 AEC-Q100 标准，可用于汽车应用。产品只有在经过一系列严格的高温加速寿命测试后才是合格的，之后他们必须证明其能够具有保持高读写性能和零缺陷的数据保持。

Ferri 产品的汽车分级以及工业和医疗市场客户的实践经验表明：这些应用所需的可靠性和长使用寿命可由基于最先进 NAND 闪存技术的嵌入式 SSD 提供。

慧荣科技是全球领先的 SSD 控制器独立供应商，在存储设备中的 NAND 闪存阵列管理方面拥有数十年的经验。慧荣科技的硬件工程师和固件开发人员利用公司对最新 NAND 闪存技术的深入了解，创建了高性能和面向应用程序的 ECC 功能。

在嵌入式领域，由于大多数工业、汽车和医疗电子系统的使用寿命很长，因此数据保持在选择 SSD 时是一个重要的决策因素。嵌入式系统制造商可以依靠慧荣科技在 FerriSSD 产品中嵌入最有效的数据保持技术，使其高度相信自己选择的存储设备将在应用程序的整个使用周期内可靠地存储数据。

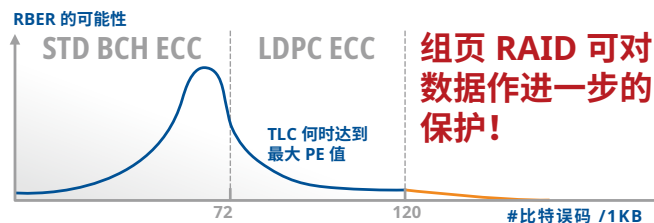


图 6: FerriSSD 设备优化 ECC 算法的选择

要了解更多有关 Ferri 家族的信息，请访问 [www.siliconmotion.com](http://www.siliconmotion.com) 或发送电子邮件至 [ferri@siliconmotion.com](mailto:ferri@siliconmotion.com)