



# **NAND**

## **使用指南**

文档版本     01

发布日期     2015-07-03

**版权所有 © 深圳市海思半导体有限公司 2015。保留一切权利。**

非经本公司书面许可，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本文档内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。

## **商标声明**



**HISILICON**、海思和其他海思商标均为深圳市海思半导体有限公司的商标。

本文档提及的其他所有商标或注册商标，由各自的所有人拥有。

## **注意**

您购买的产品、服务或特性等应受海思公司商业合同和条款的约束，本文档中描述的全部或部分产品、服务或特性可能不在您的购买或使用范围之内。除非合同另有约定，海思公司对本文档内容不做任何明示或默示的声明或保证。

由于产品版本升级或其他原因，本文档内容会不定期进行更新。除非另有约定，本文档仅作为使用指导，本文档中的所有陈述、信息和建议不构成任何明示或暗示的担保。

## **深圳市海思半导体有限公司**

地址：                    深圳市龙岗区坂田华为基地华为总部            邮编：518129

网址：                    <http://www.hisilicon.com>

客户服务邮箱：          [support@hisilicon.com](mailto:support@hisilicon.com)



# 前言

## 概述

本文档主要介绍海思解决方案中关于 NAND 的使用方法和注意事项。

## 读者对象

本文档（本指南）主要适用于以下工程师：

- 技术支持工程师
- 软件开发工程师

## 作者信息

章节号	章节名称	作者信息
全文	全文	Y00183183

## 修订记录

修订记录累积了每次文档更新的说明。最新版本的文档包含以前所有文档版本的更新内容。

修订日期	版本	修订说明
2013-03-01	00B01	第一次临时版本发布。
2015-07-03	01	第一次正式版本发布；更新前言。



# 目录

前言.....	iii
1 使用 NAND 的风险 .....	1-1
1.1 存在数据可靠性问题.....	1-1
1.2 寿命短.....	1-1
1.3 数据保存时间短.....	1-2
2 使用 NAND 的注意事项 .....	2-1
2.1 使用数据随机化功能(Randomization).....	2-1
2.2 使用读写均衡技术.....	2-1
2.3 使用 Read Retry 技术.....	2-2
2.4 为 yaffs 文件系统预留足够空间 .....	2-2
2.5 遵循先擦除后写的规则 .....	2-2
2.6 关于从 NAND 启动 .....	2-3
2.7 其他的一些建议.....	2-3
2.7.1 合并写操作 .....	2-3
2.7.2 不需要掉电保护的数据，保存到内存.....	2-3
3 Hynix Read Retry 使用方法.....	3-1
3.1 现代器件 Read Retry 要求.....	3-1
3.2 设置 OTP 信息保存到 SPI Flash 的偏移地址 .....	3-1
4 NAND 选型建议和替代方案 .....	4-1
A 附录 .....	A-1
A.1 Raw NAND 和 Managed NAND.....	A-1
A.2 SLC-NAND 和 MLC-NAND .....	A-2



## 表格目录

表 1-1 不同制程 SLC/MLC NAND 器件寿命 .....	1-2
表 1-2 SLC/MLC NAND 器件不同 P/E cycle 时数据保存时间 .....	1-2
表 2-1 yaffs2 文件系统统计数据.....	2-2



# 1 使用 NAND 的风险

## 1.1 存在数据可靠性问题

NAND 常见的数据可靠性问题一般都是比特反转导致的误码问题。NAND 随着时间和使用，其存储单元的比特可能会出现反转导致误码发生，如下情况都可能出现比特位反转。

- 编程过程中。无论是工厂烧片器编程，还是 NAND 器件焊接到单板上后在线编程，都可能发生比特位反转，这是由于“编程干扰”导致的。编程干扰是指在对 NAND 的某个区域编程时，某些以前编程过的存储单元的阈值电压发生漂移。SLC(Single Layer Cell)抗编程干扰的能力较强，一般很少出现编程干扰导致的比特位反转；MLC(Multi-Level Cell)的抗编程干扰的能力较差，比较容易出现比特位反转。此外，超过器件标明的编程/擦除次数之后继续编程/擦除，也会导致数据错误。
- 只读使用过程中。即便在对 Nand 编程完之后不再改写其数据内容，只对其进行读操作，也会产生比特位反转，这一般是由于加电过程中导致的存储单元的阈值电压漂移导致。
- 温度突变，例如单板焊接。高温下 NAND 器件可靠性降低，读写或者放置不使用都有可能数据错误。
- 长时间放置。由于 NAND 的电路高密度特性，导致其容易受各种应力的干扰，对于阈值电压范围小的 MLC 而言，这种干扰导致的比特误码发生的概率就会较高。
- 器件工艺升级。随着市场对大容量 NAND 的需求和 NAND 厂商追求低成本的动力，NAND 厂商不停地进行技术革新，升级其制造工艺，由原来的 90nm→65nm→55nm→3Xnm→2X nm，后续还会到 1Xnm，在同样大小的晶圆上实现更多的 Cell 电路，每个 Cell 电路存储更多的 bit。在实现成本更低、容量更大的同时，也带来了更多的数据可靠性问题。这在 MLC 型的 NAND 上问题尤为明显，由于电路密度更高，阈值电压范围更窄，导致了更多的比特位反转问题。

## 1.2 寿命短

NAND 器件使用寿命是指 NAND 器件 P/E(编程/擦除)次数，NAND 器件最终失效表现为器件上数据错误。



NAND 寿命，直接影响产品的使用寿命和返修率。例如，用户保存换台信息到某个固定的 NAND Block，假定用户每天换 20 次台，NAND 器件寿命是 3K，则用户最多使用  $3K/20=150$  天，超过 150 天，出错概率增加，返修率增加。



### 注意

NAND 器件供应商一般不建议在机顶盒产品上使用 MLC 器件，如果使用 MLC 器件，必须对产品的寿命做好评估，对返修率有做好预期。

以下是某供应商提供的不同制程的 SLC/MLC NAND 器件寿命对比

表1-1 不同制程 SLC/MLC NAND 器件寿命

NAND 器件	P/E cycle
34nm SLC	100K
25nm SLC	60K
25nm MLC	3K
20nm SLC	3K

## 1.3 数据保存时间短

NAND 保存的数据，经过一定时间后，数据将出现错误。NAND 上数据保存时间大致为 10 年左右。

P/E 操作影响 NAND 数据保存时间，以下是某供应商提供的 SLC/MLC NAND 器件不同 P/E cycle（擦除/编程次数）时数据保存时间对比。

表1-2 SLC/MLC NAND 器件不同 P/E cycle 时数据保存时间

器件	P/E cycle	数据保存时间
25nm SLC	60K	1 年
25nm SLC	6K	5 年
25nm MLC	3K	1 年
25nm MLC	300	5 年

从表中内容可以看出 25nm MLC 在擦除 3K 次后，数据保存时间只有 1 年，到达寿命后，即使不使用，保存在终端设备 NAND 中数据也会在 1 年后丢失。



## 2 使用 NAND 的注意事项

### 2.1 使用数据随机化功能(Randomization)

MLC 器件每个 cell 使用多个电压级别表示不同的数据。如果两个相邻的 cell 之间电压差比较大，发生位反转的机率比较高。数据随机化功能把 MLC 器件上保存的数据随机化，让 0 和 1 分布更加均匀，减少发生位反转的可能性（并非所有的 MLC 器件都要求支持 Randomization 功能，具体请咨询器件供应商）。

实际测试发现，Randomization 能提高 MLC 器件可靠性。海思 Hi3716MV300 及后续芯片 NAND 控制器和驱动支持该功能（详情请咨询逻辑和硬件人员）。

用户可以通过系统启动时的 NAND 打印信息查看是否支持并开启 Randomization，以 Hi3716MV300 为例，开启 Randomization 后的打印。

```
Nand: Hynix H27UBG8T2C Randomizer //Randomizer说明控制器支持，并且已经使能
```

### 2.2 使用读写均衡技术

对于频繁写的数据，最好做成文件，保存在 yaffs2 文件系统中。yaffs2 文件系统提供了读写均衡功能。读写均衡功能是使 NAND 器件上每一个块的擦除次数趋于平衡，提高整系统使用寿命。

比如：一个分区有 10 个块，使用读写均衡，把写入的数据平均放到每个块上，10 次写操作，对于每个块，平均只有 1 次写操作；不使用读写均衡，10 次写操作发生在某个块上，这个块很快就会到达寿命。

yaffs2/ubifs 等嵌入式文件系统是专门为 Flash 设计的文件系统，它采用了类日志结构，结合 NAND Flash 的特点，提供了损耗平衡和掉电保护机制，可以有效地避免意外掉电对文件系统一致性和完整性的影响。不要对 NAND 器件上某个块进行频繁写操作，频繁写的数据，保存到文件系统中。

升级操作通常直接对 NAND 器件进行写操作，在整个产品生命周期中，升级次数远小于 NAND 寿命。





## 2.3 使用 Read Retry 技术

对于某些厂家的某些型号的 MLC 器件，由于工艺的原因导致可靠性不高，因此厂家要求必须支持 Read Retry 功能以保证读写数据的正确性（并非所有的 MLC 器件都要求支持 Read Retry，具体请咨询器件供应商）。

Read Retry 的基本原理是：厂家针对特定的器件，提供一组 Read Retry 电平值；驱动在读取数据出错时，不断尝试不同的电平值来读取数据，直至读取的数据正确或者达到最大的尝试次数为止。Read Retry 能提高 MLC NAND 的可靠性，但会导致读操作变慢。海思 Hi3716MV300 及后续芯片 NAND 控制器和驱动支持该功能（具体请咨询硬件人员）。

用户可以通过系统启动时的 NAND 打印信息查看是否支持 Read Retry，以 Hi3716MV300 为例，支持 Read Retry 的打印信息如下。

```
Nand: Hynix H27UBG8T2C Randomizer Read-Retry // Read-Retry说明支持该功能
```

## 2.4 为 yaffs 文件系统预留足够空间

在任何时候都需要为 yaffs2 分区多保留一些剩余空间，单个 yaffs2 分区中，剩余空间的比率最好在 25% 以上，越大越好。如果分区中剩余空间比较小，进行文件写/删除操作时，平均每个块擦除次数明显增加，减少每个块的擦除次数能增加 NAND 使用寿命。

以下是一份 yaffs2 文件系统统计数据，说明分区剩余空间越大，平均每个块的擦除操作次数越少，NAND 使用寿命越长。

表2-1 yaffs2 文件系统统计数据

Yaff2 文件系统使用率	每个块擦除操作次数(单位:次)	使用寿命(假设寿命 3K)
100%	10~11	300 次
92%	3~4	1000 次
75%	1~2	3000 次

## 2.5 遵循先擦除后写的规则

MLC NAND 有一个特性，擦除完成后，只能写一次，如果要再次写入数据，需求重新擦除。NAND 上的数据，擦除完成后为 0xFF，如果用户第 1 次写入 0xFF，第 2 次写入其它数据，就可能会出错，因为擦除完后写入了多次。

对于非只读的文件系统，即使用户没有进行写 NAND 操作，文件系统自己也会有一些写操作（比如定时垃圾回收，数据同步）。



### 注意

- Cramfs、squahsf 等只读文件系统，不存以上问题。
- 内核、uboot 等数据，不会被再次改写，不会存在以上问题。

## 2.6 关于从 NAND 启动

海思所有主控芯片，都支持 NAND 启动跳坏块功能，如果 NAND 上第一个块标记为坏块，海思主控芯片启动时，能识别并且跳过它。

## 2.7 其他的一些建议

### 2.7.1 合并写操作

例如：用户换台信息，音量信息，可以等到终端用户稳定一段时间不操作后，再保存数据，而不是终端用户每按一次键，保存一次数据。

### 2.7.2 不需要掉电保护的数据，保存到内存

例如：播放网上的视屏码流，有一些缓冲数据，可以把他们保存到内存。



# 3 Hynix Read Retry 使用方法

## 3.1 现代器件 Read Retry 要求

一般情况下，“Read Retry 电平值”的获取可以直接通过器件的 datasheet 获得，目前很多厂家的器件都采用这种方法（比如 MICRON, TOSHIBA, SAMSUNG）。但是 Hynix 的最新工艺的器件，获取 Read Retry 电平值的方法比较特殊。

以 Hynix 的 H27UBG8T2CTR 和 H27UCG8T2ATR 型号器件为例，NAND 器件中有一个 OTP 表，“Read Retry 电平值”信息都保存在这个 OTP 表中，同一厂家，不同器件有区别。出于可靠性的考虑，厂家要求 OTP 表要尽可能少的访问，需要将 OTP 表的信息读出来保存到另外一个可靠的存储介质上（SPI Flash），这意味着：**使用 Hynix 的某些器件，必须 SPI Flash 启动**。具体需要 SPI Flash 保存 OPT 现代器件型号，请参考海思发布的兼容性器件列表。

## 3.2 设置 OTP 信息保存到 SPI Flash 的偏移地址

OTP 表的信息具体保存在 SPI Flash 器件上的位置，用户可以根据实际情况来设置，更改代码如下（fastboot3.0/include/configs/godbox.h）。

```
# define NAND_RR_PARAM_OFFSET    0x80000ULL //0x80000为存放在SPI Flash的地址
fastboot启动后，如果此地址没有OTP数据，fastboot会自动把现代NAND器件OTP表内容读出来，
保存到此地址中。用户需要预先把此地址擦除干净。
```



# 4 NAND 选型建议和替代方案

NAND 器件虽然有较多的数据可靠性问题，但由于它成本低、功耗低、容量大、使用方便的特点，仍然受到众多消费电子领域厂商的青睐，在嵌入式系统中大放光彩。针对这种情况，如何保证嵌入式系统的数据可靠性呢？需要从以下几个方面进行考虑和衡量。

## 方案选型

在存储器方案选型时，要综合考虑成本、性能、应用场景、使用寿命等因素。

容量要求  $\leq 256\text{Mb}$  时，建议选用 SPI Flash。

$256\text{Mb} < \text{容量要求} \leq 4\text{Gb}$  时，建议选用 SLC NAND。

$16\text{Gb} \leq \text{容量要求}$  时，建议选用 SPI FLASH + MLC NAND 或 Managed NAND（详情请参见 [A.1 Raw NAND](#) 和 [Managed NAND](#)）。

## 器件选型

优选 10 年数据保存时间的器件。

在选择存储器件时，必需要考虑产品的生命周期，比如国内的智能手机一般要求 2-3 年，机顶盒要求 3-5 年，TV 要求 5-8 年的使用寿命。SLC NAND 的数据保持时间一般能达到 10 年，但 MLC NAND 的数据保持时间就参差不齐了，多的能达到 10 年，少的只有 5 年或 3 年。而且环境温度和擦写次数还会对 NAND 的数据保持时间造成影响，使得数据有效保持时间更短，例如 TV 产品，其液晶屏发热较大，使得机壳内的温度达到 50-70 摄氏度。所以对于 TV 来说，把关键程序和重要数据保存在 MLC NAND 的可靠性风险就非常大。例如某款 NAND 器件的寿命为 3K，用户每天换台 20 次，换台信息都保存在一个固定的区域，则这块 NAND 器件可以使用  $3\text{K}/20=150$  天，整个产品的声明周期就是 150 天。超过 150 天，产品的返修率会增加。



# A 附录

## A.1 Raw NAND 和 Managed NAND

NAND 分为 Raw NAND 和 Managed NAND。

### Raw NAND

Raw Nand 只包含一个闪存阵列和一个擦除、编程、读（E/P/R）的简单控制器，成本较低；Raw NAND 还分为 SLC-NAND 和 MLC-NAND 两种：

- SLC-NAND: Single-Level Cell，每个存储单元只存储一个比特的数据。
- MLC-NAND: Multi-Level Cell，每个存储单元可存储两个、三个或者更多比特的数据。

### Managed NAND

Managed NAND 是 Raw NAND 加上一个管理控制器，这个管理控制器可做的事情很多，有坏块管理、ECC 算法、Randomize 等。Managed NAND 分为：

- 存储卡：
  - SD 卡
  - CF 卡
  - MMC 卡等。
- 嵌入式颗粒（Embedded Managed NAND）：
  - Clear Nand
  - eMMC NAND
  - iNAND 等。

Managed NAND 由于管理控制器较复杂，需要额外增加一部分成本，对小容量 NAND 器件来说，这部分成本增加太多，所以 Managed NAND 一般容量都比较大，当前来说最小的也到了 2GB 的容量。相同容量情况下，Managed NAND 比 Raw NAND 要贵 10-20%，但一般不会超过\$2。

Managed NAND 由于自带坏块管理、ECC 纠错、读写均衡等算法，故一般要比 Raw NAND 数据可靠性要高，而且也会耐用一些。



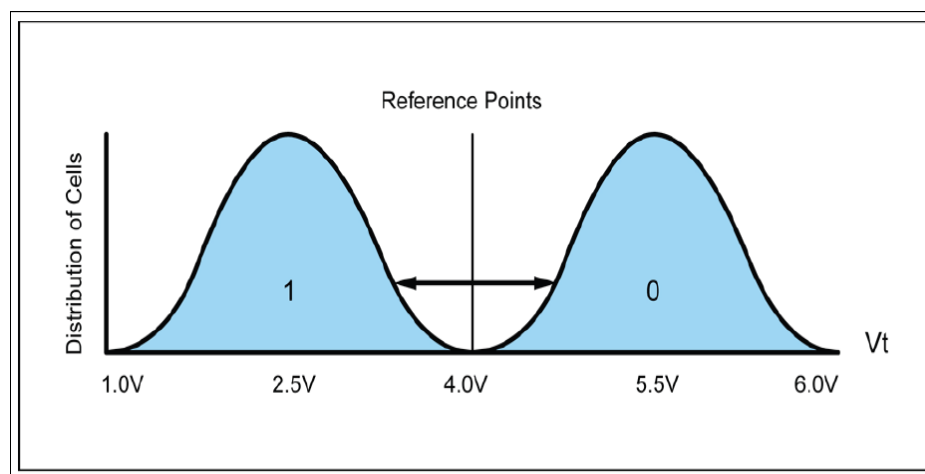
## A.2 SLC-NAND 和 MLC-NAND

在 NAND 闪存的存储单元 (Cell) 存储的信息是通过对存储单元进行充电来完成的，它的阈值电压的范围就对应了数据值。当读取的时候，通过对它的阈值电压与参考点对比来获得其数据值。

### SLC-NAND

如图 A-1 所示，只有两种状态和一个参考点。

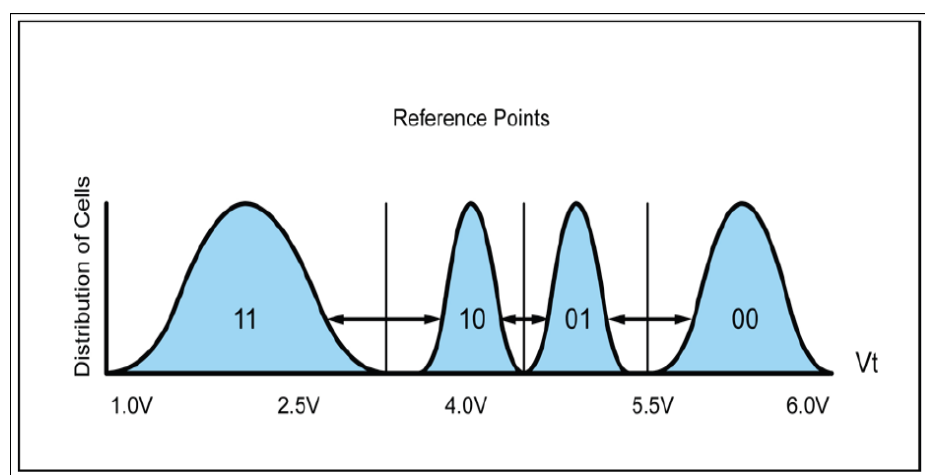
图A-1 SLC-NAND 阈值电压和参考电压



### MLC-NAND

如图 A-2 所示，对 2bit 的 MLC 而言，它有四种状态和三个参考点。

图A-2 MLC-NAND 阈值电压和参考电压。





## TLC-NAND

3bit 的结构更复杂，可靠性更低。

MLC-NAND 每个单元可以存储更多的比特，但与 SLC-NAND 相比，它牺牲了闪存的性能和可靠性。由于使用了更多的单元状态和更多的参考点，每个状态间的误差幅度就大大地减少了。随着时间或使用过程中，Nand 器件每个存储单元的阈值电压会受到很多因素的影响而导致发生变化，而 MLC 的误差幅度较小，所以 MLC 发生误差的机会就远远高于 SLC 的器件。

当读出的数据与编程时数据对应的阈值电压不匹配时，就表明了该数据比特发生了反转，这就带来了 NAND 的数据可靠性问题。该问题在 SLC-NAND 和 MLC-NAND 中都存在，但 SLC-NAND 的概率要小得多。