

# MLC 낸드플래시 메모리 기반 저장 장치의 효율적인 읽기방해 관리방안

이지상, 정의영

연세대학교 전기전자공학부

전화: (02)2123-7826, E-mail: ezsang@yonsei.ac.kr

## An Optimized Read Disturbance Management Method of MLC NAND Flash Storage Devices

Jisang Lee, Eui-Young Chung

School of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University, Seoul 03722, Korea,

### 요 약

낸드플래시는 비트 당 가격을 감소시키는 방법에 대해서 지속적으로 연구되고 있다. 칩 사이즈 감소를 위한 다양한 방법들의 단점으로 블록 당 페이지 수가 증가된다. 낸드플래시는 읽기 방해(read disturb) 문제로 인해 블록 당 읽기 가능횟수에 제한이 있고 이 문제는 열화가 된 블록의 데이터를 새로운 블록으로 옮기는 읽기 재생(read reclaim) 기술로 해결한다. 그러나 블록 당 페이지 수의 증가로 읽기 재생이 더욱 자주 발생하게 되어 성능 저하와 지우기 횟수 증가로 인한 신뢰성 저하를 가져온다. 우리는 MLC 낸드플래시에서 읽기 방해에 의해 열화된 블록의 데이터를 모두 옮기지 않고 열화가 심한 상위 페이지의 데이터만을 먼저 선별하여 옮겨주는 방법을 적용하여 지우기 횟수 63% ~ 88% 개선하였고 읽기 재생 시간을 64% ~ 89% 개선하였다.

### Abstract

Nand flash has been studied in various ways to reduce costs. Nand flash has a limited number of readable blocks per block due to read disturb problem and this problem is solved by a read reclaim technique that moves the data of the degraded block to a new block. However, as the number of pages per block increases, read reclaim occurs more frequently, resulting in degradation of performance and reliability due to data migration and increase of erase count. We improved the erase count 63% ~ 88% and the read reclaim time 64% ~ 89% by selectively transferring the data of the degraded block due to read disturbance only MSB page data with severe degradation.

**Keywords** : NAND Flash Memory, read disturbance, read reclaim, data migration

### I. 서 론

다중 셀 기반의 저장장치 특히, 낸드 플래시의 가장 큰 장점은 가격이다. 이 장점을 극대화하기 위해서 다양한 방법들이 연구되고 있다. 그 방법으로 한 셀에 여러 비트를 저장하는 다중 레벨 셀 방법, 페이지 크기

를 늘리는 방법, 블록 당 워드라인 수를 늘리는 방법, 셀을 적층으로 쌓는 방법 등이 있다. 이와 같은 방법들은 모두 칩 사이즈 감소의 효과를 가져오는 반면에 블록 내 페이지수가 증가하게 되는 단점이 있다. 블록 당 페이지 수의 증가는 동일한 블록이 읽히는 횟수를 증가하게 만들고 읽기에 의해 열화되는 페이지 수가 증가되

기 때문에 읽기 방해(read disturb) 문제가 심화된다. 기존에 이와 같은 문제를 해결하기 위한 방법으로 블록의 읽기횟수가 미리 정해진 읽기 재생 기준값(read reclaim reference value) 이상이 되면 블록 내 모든 유효한 데이터를 새로운 블록으로 옮겨주는 읽기 재생(read reclaim) 기술을 적용한다. 그러나 블록 당 페이지 수의 증가로 읽기 재생이 더욱 자주 발생하게 되어 성능저하가 발생하고 지우기 횟수가 증가하여 신뢰성 저하가 발생하게 된다. 다중 레벨 셀(MLC) 낸드 플래시는 4개의 셀 상태(cell state)를 갖고, 문턱 전압이 낮은 셀 일수록 읽기 방해에 의한 문턱전압 증가의 열화가 크기 때문에 페이지별로 다른 읽기 방해 특성을 나타내고 가장 낮은 문턱 전압( $V_{th}$ )을 포함하는 상위(MSB) 페이지가 하위(LSB) 페이지보다 더 큰 읽기 방해 특성을 갖는다. 우리는 이와 같은 다중 레벨 셀의 읽기 방해 특성을 활용하여 상위 기준값(MSB reference value)과 하위 기준값(LSB reference value)을 갖고, 블록 내 읽기 횟수가 상위 기준값 이상이 되면 블록 내 유효한 상위 페이지들만을 새로운 블록으로 옮겨주고, 이 후에 읽기 횟수가 하위 기준값 이상이 되면 남은 하위 페이지 중 유효한 페이지를 옮겨주는 그룹 기반 읽기 재생 기술(Group based read reclaim)을 구현하였다. 우리는 이 기술을 통해 읽기 재생 시간 단축과 지우기 횟수를 감소할 수 있었다.

## II. 본 론

### 1. 낸드 플래시의 읽기방해(read disturb)

그림1은 M낸드 플래시의 읽기 동작시에 워드라인별로 인가되는 전압을 나타낸다. 선택 워드라인이 워드라인2라면 읽기시에 선택 워드라인에는 온/오프 판단이 이루어지도록 RD1 또는 RD2 또는 RD3의 읽기 전압이 인가되고, 비선택 워드라인에는 셀이 가질 수 있는 최상위 산포의 문턱전압보다 높은 VREAD 전압이 인가된다. 이 VREAD 전압은 약 6.5V~7V로 일반적인 쓰기(program) 전압보다는 낮지만 소프트 프로그램(soft program)을 유발시켜서 셀 문턱전압이 증가되고 이후에 이 워드라인들을 읽기 동작을 수행하는 경우에 증가된 셀 문턱전압에 의해서 온/오프 판단이 제대로 이루어지지 않아 읽기 에러가 발생한다[1].

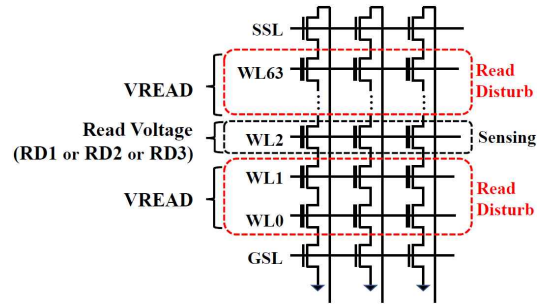


그림 1. 읽기 동작시 워드라인 전압  
Fig1. WL bias during read operation

### 가. 기존 읽기 방해 개선방법

읽기 방해에 의한 읽기 에러의 해결방안으로 읽기가 많이 발생한 블록의 데이터를 새로운 블록으로 옮겨주는 읽기 재생기술(read reclaim)을 적용한다. 읽기 방해 문제는 지우기 동작에 의해서 치유가 되기 때문에 실험에 의해 미리 결정된 읽기 재생 기준값(read reclaim reference) 이상 읽기가 수행되면 열화된 블록의 데이터 중 유효한 데이터를 새로운 블록으로 옮겨주고 열화된 블록은 지우기를 통해 프리 블록으로 만드는 방법이다.

### 나. 블록 당 페이지 수 증가의 영향

블록 당 페이지 수가 증가하게 되면 읽기 재생에 의한 성능저하와 신뢰성 저하가 심해진다. 그 이유는 앞서 설명했듯이 읽기 재생이 수행되었을 경우에 블록 내 모든 유효한 페이지의 데이터를 새로운 블록으로 옮겨주어야 한다. 블록 당 페이지 수가 증가하게 되면 옮겨야 할 페이지 수가 많아지기 때문에 데이터 이동 시간(data migration time)이 증가하게 되어 성능이 저하되고, 또 블록 내 페이지 수가 많아지게 되면 동일 블록이 선택될 확률이 증가하게 되어 읽기 재생이 더욱 자주 발생하게 된다. 읽기 재생이 발생하면 데이터가 모두 옮겨진 블록은 지우기 동작이 발생되기 때문에 신뢰성 저하가 발생하게 된다[2].

### 다. MLC 낸드 플래시의 페이지별 읽기 동작

그림2는 MLC 낸드 플래시의 읽기 동작이다. MLC 낸드는 워드라인마다 하위 페이지 / 상위 페이지가 있다. 하위 페이지 읽기(LSB read)는 RD2 레벨을 읽고, 상위 페이지 읽기(MSB read)는 RD1, RD3 레벨을 읽는다.

### 라. MLC 낸드플래시의 페이지별 읽기 방해 특성

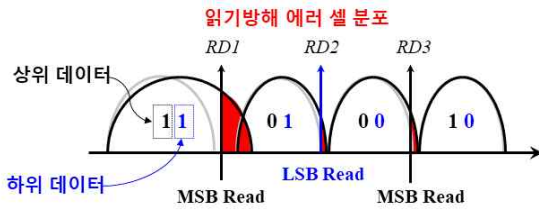


그림 2. MLC 낸드 플래시의 각 페이지별 읽기 방법  
Fig2. MLC NAND Flash each page read operation

읽기 방해 에러는 VREAD 전압가 높을수록 증가하고 워드라인에 인가되어 있는 시간이 길어질수록 소프트 프로그램이 더 많이 발생되어 읽기 시간과 읽기 횟수에 비례하여 증가하게 된다. 이와 같은 특성으로 읽기 방해에 의한 셀 문턱전압 열화는 RD1 레벨이 RD2, RD3 레벨보다 심하다[3] [4].

이를 페이지별로 구분지어 보면 RD1 레벨이 포함된 상위 페이지가 하위 페이지보다 읽기 방해에 의한 열화가 심하다. 논문[5]의 그림14에서 상위 페이지는 약 28K 읽기 반복 후에 읽기 한도에 도달하는 반면 하위 페이지는 그래프에서 확인되지 않을 정도로 높다. 이와 같은 특성을 활용하여 새로운 읽기 재생 기술을 제안하려고 한다.

### 2. 제안하는 그룹 기반 읽기 재생 기술

제안하고자 하는 읽기 재생 기술은 그룹 기반(Group based read reclaim(GBRR)) 이다. 먼저 기존 읽기 재생 기술은 미리 결정된 읽기 재생 기준값(read reclaim reference value)이 하나 존재하고 각각의 블록 읽기 횟수가 이 읽기 재생 기준값 이상이 되면 해당 블록내의 유효한 데이터를 다른 블록으로 옮겨주었다.

제안하는 방법은 상위 기준값(MSB reference value)과 하위 기준값(LSB reference value)을 갖는다. 상위 기준값은 블록 내 상위 페이지들이 읽기 방해의 한계에 도달하는 값이고, 하위 기준값은 하위 페이지들이 읽기 방해의 한계에 도달하는 값이다. 블록 읽기 횟수가 상위 기준값에 도달하게 되면 블록 내 모든 상위 페이지들 중 유효한 데이터를 다른 블록으로 이동하고, 해당 페이지들은 모두 무효한 상태가 된다. 그리고 이후에 읽기 횟수가 추가로 하위 기준값에 도달하게 되면 모든 하위 페이지 중에서 유효한 페이지들이 이동되고 지우기 동작이 수행되어 프리 블록(free block)을 생성한다. 이때, 앞서 설명했던 페이지별 읽기 방해에 의한 열화 특성이 상위 페이지가 하위 페이지보다 크기 때문에 하위 기준값은 상위 기준값보다 항상 크다.

파라미터	값
tPROG (LSB)	330us
tPROG (MSB)	950us
tR (LSB)	28us
tR (MSB)	42us
tBERS	3.5ms
Flash Size	128Gb
Page Size	16KB
Number of Page/Block	300

표 1. 낸드 플래시의 주요 파라미터  
table1. Configuration of NAND Flash

## III. 실험

### 1. 실험 환경

실험을 위해 MLC 낸드 플래시 메모리의 성능을 모델링하고 FTL을 포함하는 trace-driven 시뮬레이터를 구현하였고, FTL은 페이지 매핑을 사용하고, 실험에 AC 파라미터는 최근에 발표된 삼성 낸드 플래시를 참고하였고 표1과 같다[6].

기존 방법의 읽기 재생 기준값과 제안하는 방법의 상위 기준값은 논문[5]의 결과를 활용하여 28K로 설정하였다. 그리고 하위 기준값은 논문[5]의 결과를 유추하여 56K~140K까지 다양하게 설정하였다. 다양하게 설정한 이유는 공정에 따라서 상위 기준값과 상위 기준값의 차이가 달라질 수 있기 때문이다. 실험에 쓰인 trace 파일은 읽기의 비중이 99%에 가까운 websearch를 이용하였다.

### 2. 실험 결과

그림3은 실험에서 소요된 읽기 재생 시간 실험 결과이다. baseline은 기존방식의 읽기 재생 기술을 적용한 것이고 나머지는 제안하는 그룹 기반 리드 리클레임을 적용한 것이다. 결과는 하위 기준값이 56K~140K로 증가함에 따라 기존대비 64%~89% 까지 증가하였다.

그림4는 실험에서 소요된 그룹 기반 읽기 재생기술의 지우기 횟수이다. 기존은 읽기 재생 횟수 만큼 지우기가 발생하였지만 그룹 기반 읽기 재생기술의 경우에는 하위 페이지의 읽기 재생이 수행되는 경우에만 지우기 동작이 수행되기 때문에 지우기 횟수가 감소하였다. 반면에 상위 페이지 읽기 재생만 발생하는 경우에는 상위 페이지

## 참고 문헌

- [1] M. Kang, K.-T. Park, Y. Song, S. Hwang, B. Y. Choi, Y. Song, Y.-T. Lee, and C. Kim, "Improving read disturb characteristics by self-boosting read scheme for multi level nand flash memories," Japanese Journal of Applied Physics, vol. 48, no. 4S, p. 04C062, 2009.
- [2] H. H. Frost, C. J. Camp, T. J. Fisher, J. A. Fuxa, and L. W. Shelton, "Efficient reduction of read disturb errors in nand flash memory," Oct. 19 2010, uS Patent 7,818,525.
- [3] N. Mielke, T. Marquart, N. Wu, J. Kessenich, H. Belgal, E. Schares, F. Trivedi, E. Goodness, and L. R. Nevill, "Bit error rate in nand flash memories," in Reliability Physics Symposium, 2008. IRPS 2008. IEEE International. IEEE, 2008, pp. 9-19.
- [4] Y. Cai, Y. Luo, S. Ghose, and O. Mutlu, "Read disturb errors in mlc nand flash memory: Characterization, mitigation, and recovery," in Dependable Systems and Networks (DSN), 2015 45th Annual IEEE/IFIP International Conference on. IEEE, 2015, pp. 438-449.
- [5] Y. Cai, S. Ghose, Y. Luo, K. Mai, O. Mutlu, and E.F. Haratsch, "Vulnerabilities in mlc nand flash memory programming: experimental analysis, exploits, and migration techniques," in 2017 IEEE International Symposium on High-Performance Computer Architecture (HPCA). IEEE, 2017, pp. 49-60.
- [6] S. Lee, J.-y. Lee, I.-h. Park, J. Park, S.-w. Yun, M.-s. Kim, J.-h. Lee, M. Kim, K. Lee, T. Kim et al., "7.5 a 128gb 2b/cell nand flashmemory in 14nm technology with tprog= 640 $\mu$ s and 800mb/si/o rate," in Solid-State Circuits Conference (ISSCC), 2016 IEEE International. IEEE, 2016, pp. 138-139.

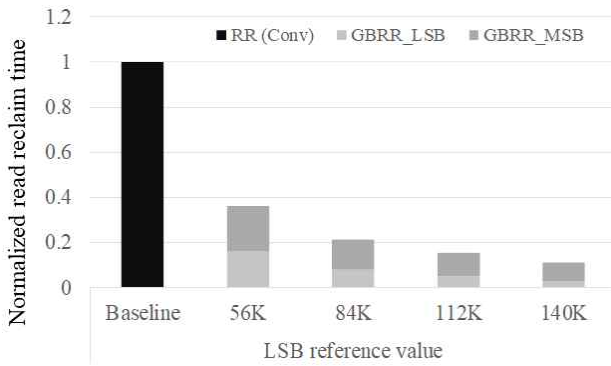


그림 3. 그룹 기반 리드 읽기 재생의 정규화 된 수행시간  
Fig3. Normalized read reclaim time of GBRR

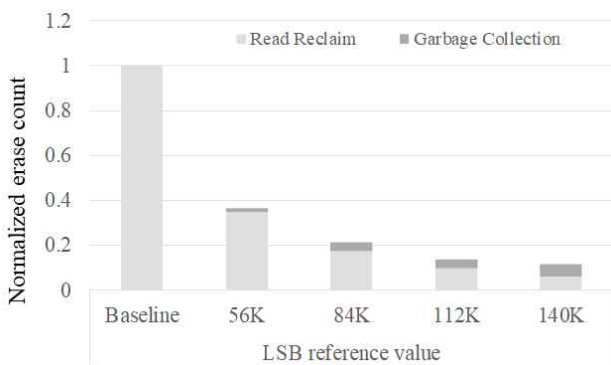


그림 4. 그룹 기반 읽기 재생의 정규화 된 지우기 횟수  
Fig4. Normalized erase count of GBRR

들은 모두 이동되고 무효처리(invalid)가 되고 지우기 동작이 수행되지 않기 때문에 이후에 가비지 컬렉션(garbage collection)이 증가할 수 있게 된다. 실험 결과에서는 가비지 컬렉션에 의한 지우기 횟수가 증가된 양을 고려하여도 기본 대비 지우기 횟수가 63%~88% 감소됨을 확인하였다.

## IV. 결론

우리는 낸드 플래시의 원가 절감을 위한 기술들의 적용으로 블록 당 페이지 수가 증가되어 읽기 방해가 심화되는 문제에 관한 해결방안으로 그룹 기반 읽기 재생 기술을 적용함으로써 읽기 재생 시간과 지우기 횟수를 63%~89% 개선하였다. 낸드 플래시는 지속적으로 칩 사이즈 감소를 위해서 블록 당 페이지 수는 증가하는 방향이 될 것으로 예상하고 제안하는 방법은 MLC 낸드 플래시로 실험을 진행하였지만, TLC나 QLC 제품에서도 적용이 가능한 방법이고 효과는 더욱 클 것으로 예상된다.