

Zusammenfassung

Flashspeicher

Nicolas Haenni

6. April 2018

Zusammenfassung zum Thema *Flashspeicher*. Ein Vortrag von Nicolas Haenni, Stoff für die zweite Prüfung des zweiten Semesters im Fach Computer Hardware an der HF-ICT.

Dokumentenhistorie

| Version | Datum | Beschreibung |
|---------|------------|---|
| 0.1 | 05.04.2018 | Erstellen des Dokumentes Kapitel Funktionsprinzip erstellt |
| 0.2 | 06.04.2018 | Technischer Aufbau geschrieben |

Dieses Dokument steht unter der GNU General Public Free Document License (GPL FDL). Weitere Informationen unter <https://www.gnu.org/licenses/fdl.html>.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----------|
| 1. Vorwort | 3 |
| 2. Geschichte | 4 |
| 3. Technischer Aufbau | 5 |
| 3.1. Metal-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor | 5 |
| 3.2. Floating Gate-Feldeffekttransistor | 6 |
| 4. Funktionsprinzip | 7 |
| 4.1. MOS-Feldeffekttransistor | 7 |
| 4.2. Floating Gate-Transistor | 8 |
| 4.3. NAND- und NOR-Speicher | 8 |
| 4.4. SLC-, MLC- und TLC-Flash-Speicher | 8 |
| A. Glossar | 9 |
| B. Abbildungsverzeichnis | 9 |
| C. Tabellenverzeichnis | 9 |
| D. Quellenverzeichnis | 9 |

1. Vorwort

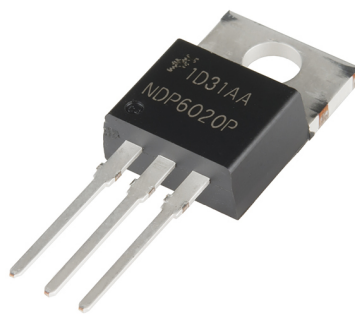
2. Geschichte

3. Technischer Aufbau

Flash-Speicher basiert auf sogenannten Floating Gate-Transistoren (FGFET). Die Basis für diese sind die sogenannten Metal-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistoren, kurz MOSFET. In diesem Kapitel wird der physikalische Aufbau zuerst des MOSFETs und anschließend des Floating Gate-Transistors eingegangen. Die Funktionsweise wird im folgenden Kapitel 4 beschrieben.

3.1. Metal-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor

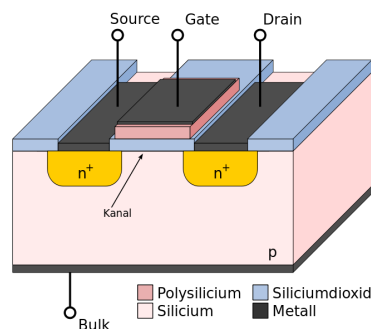
Abbildung 1: MOSFET als Bauteil



Quelle: Sparkfun.com, o.D.

Ein MOSFET besteht aus einer Art Grundplatte, welche aus einer p-dotierten Siliziumeinkristall als Substrat besteht. In dieses Substrat befinden sich zwei stark n-dotierte Inseln in denen sich die *Source*¹ und *Drain*²-Elektroden befinden. Der Bereich zwischen den beiden Elektroden ist das p-dotierte Substrat. Dadurch ist ein Stromfluss zwischen den beiden Elektroden grundsätzlich nicht möglich.

Abbildung 2: Aufbau eines MOSFETs



Quelle: Wikipedia, 2018c

Über der Fläche befindet sich eine dünne, isolierende Schicht – meistens aus Siliziumdioxid. auf dieser Isolierschicht befindet sich dann ein Gate-Material aus dotiertem Polysilizium.

¹dt.: Quelle

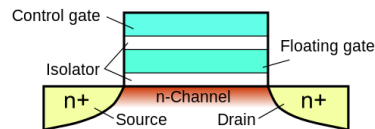
²dt.: Abfluss

3.2. Floating Gate-Feldeffekttransistor

Die Speicherzellen in Flash-Speicher bestehen aus Floating Gate-Feldeffekttransistoren, kurz FGFET. Diese sind eine Art Weiterentwicklung der MOSFET.

Der Aufbau des FGFETs ist dem des MOSFET sehr ähnlich, allerdings befindet sich zwischen dem Substrat und der Gate-Elektrode noch eine weitere Schicht, das so genannte *Floating Gate*.

Abbildung 3: Aufbau eines Floating Gate-Transistors



Quelle: Wikipedia, 2018b

Der Name *Floating Gate* stammt daher, dass es rundherum komplett elektrisch isoliert ist. Es schwebt elektrisch gesehen zwischen der oberen Isolationsschicht des Substrates und der Gate-Elektrode.

4. Funktionsprinzip

Um Daten auf einem Flash-Speicher nicht-flüchtig sichern zu können, werden die Ladezustände der einzelnen Bits auf so genannten *Floating Gates* auf einer Art speziellen Transistor abgelegt.

Die Ladung dieser Floating Gates sorgt schlussendlich dafür, dass die unterhalb dessen angebrachten Kontakte für *Source* und *Drain* leitend verbunden sind oder nicht.

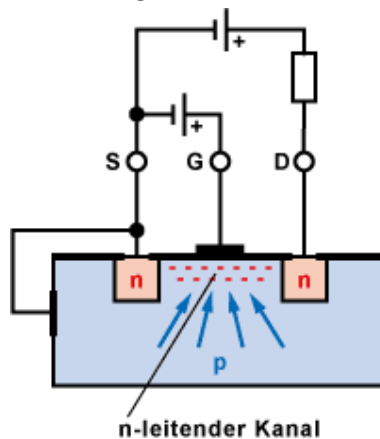
4.1. MOS-Feldeffekttransistor

Die Grundlage für den Floating-Gate-Transistoren (FGMOS) ist der MOSFET. Dieser existiert in verschiedenen Varianten: Anreicherungs- und Verarmungstyp, sowie n-dotiert und p-dotiert.

Wie aus Kapitel 3.2 ersichtlich befindet sich der MOSFET grundsätzlich in einem Sperrzustand. Dies bedeutet, dass die Verbindung zwischen Source- und Drain-Anschluss nicht leitend ist. Um diesen leitend zu machen, wird eine Spannung zwischen Source- und Gate-Anschluss angelegt.

Dadurch werden aus dem umgebenden p-dotierten Substrat (viele Löcher, wenig Elektronen) die verbliebenen Elektronen in den Bereich unter dem Gate-Anschluss gezogen. So entsteht unter dem Gate und zwischen Source und Drain ein leitender Kanal, dessen Leitfähigkeit durch die Spannung am Gate gesteuert werden kann (s. Abbildung 4).

Abbildung 4: Leitender Gang im MOSFET bei Spannung am Gate



Quelle: Elektronik-Kompendium.de, o.D. b

Die Spannung, die am Gate benötigt wird, um die Verbindung zwischen Source und Drain herzustellen, nennt sich *Schwellspannung*.

Der Verarmungstyp ist immer leitend, da eine leicht n-dotierte Schicht zwischen den ebenfalls n-dotierten Source- und Drain-Inseln angebracht ist. Er wird sperrend (nicht-leitend) wenn die Gatespannung negativer ist als die Spannung am Source-Anschluss.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ein MOSFET wie ein Schalter ist: Liegt eine Spannung am Gate an, dann wird die Verbindung zwischen Source und Drain leitend. Liegt keine Spannung am Gate an, dann ist die Verbindung zwischen Source und Drain getrennt.

4.2. Floating Gate-Transistor

Der Floating Gate-Transistor ist eine Art leicht abgewandelter MOSFET. Das Floating Gate, welches sich elektrisch isoliert zwischen dem Substrat und der Gate-Elektrode befindet, kann eine Ladung speichern und diese mehrere Jahre erhalten.

Um das Floating Gate zu laden, macht man sich den quantenmechanischen Tunneleffekt zur Nutze. Dieser ermöglicht es, eine Ladung durch eine nicht-leitende Schicht hindurch zu transportieren (in Anlehnung an (Wikipedia, 2018d)).

Um das Floating Gate zu laden, wird eine viel stärkere Spannung an Source und Gate angelegt, als die Schwellspannung, die „zum Öffnen des Schalters“ nötig wäre (z.B.: 10V anstatt 3,3V). Dadurch wandern Elektronen durch die isolierende Schicht des Floating Gates in dieses. Da es jedoch isoliert ist, können diese nicht mehr „abfließen“ – das Floating Gate bleibt geladen.

Ist nun das Floating Gate geladen, wirkt es gleich wie ein MOSFET, bei dem Spannung an das Steuerungsgate gelegt wird: Die Verbindung zwischen Source und Drain wird leitend (angelehnt an (Yeh, 2011)).

Um den Wert im FGFET auszulesen muss nun nur überprüft werden, ob die Verbindung zwischen Source und Drain leitend ist oder nicht.

4.3. NAND- und NOR-Speicher

4.4. SLC-, MLC- und TLC-Flash-Speicher

Das Floating Gate der Single-Level-Cell ist nur in der Lage zwei Zustände – geladen und ungeladen – anzunehmen. Aus Platzgründen begann man damit, mehrere Zustände in einem Floating Gate zu speichern.

So entstanden die Multi-Level-Zellen. Diese sind in der Lage, zwei Bits zu speichern, können also vier Zustände annehmen, wobei jeder Zustand einer unterschiedlich großen Ladung entspricht.

Analog dazu können Triple-Level-Zellen drei Bit speichern. Eine Übersicht über die verschiedenen Zellen gibt die folgende Tabelle 1.

Tabelle 1: Übersicht über SLC-, MLC und TLC-Flash-Speicher

| | Single Level Cell | Multi Level Cell | Triple Level Cell |
|------------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Bit pro Zelle | 1 Bit | 2 Bit | 3 Bit |
| Speicherbare Zustände | 2 (2^1) | 4 (2^2) | 8 (2^3) |
| Lebensdauer | 100'000 Schreibvorgänge | 3'000 Schreibvorgänge | ca. 1'000 Schreibvorgänge |
| Fehlerrate | sehr niedrig | mittel | hoch |
| Geschwindigkeit | sehr hoch | niedrig | niedrig |
| Stromverbrauch | sehr niedrig | hoch | hoch |

Quelle: Elektronik-Kompandium.de, o.D. a

A. Glossar

D

dotiert Ein Element, dessen elektrische Eigenschaften durch Dotierung verändert wurden. 5, 9

Dotierung Einbringen von Fremdatomen in das Grundmaterial eines integrierten Schaltkreises (Wikipedia, 2018a).
9

N

n-dotiert Ein Stoff, der mit Atomen, die mehr Elektronen als üblich haben, dotiert wurde. 5, 7

P

p-dotiert Ein Stoff, der mit Atomen, die weniger Elektronen als üblich haben, dotiert wurde. 5, 7

B. Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|---|
| 1. MOSFET als Bauteil | 5 |
| 2. Aufbau eines MOSFETs | 5 |
| 3. Aufbau eines Floating Gate-Transistors | 6 |
| 4. Leitender Gang im MOSFET bei Spannung am Gate | 7 |

C. Tabellenverzeichnis

| | |
|--|---|
| 1. Übersicht über SLC-, MLC und TLC-Flash-Speicher | 8 |
|--|---|

D. Quellenverzeichnis

Elektronik-Kompendium.de. (o.D. a). Flash-Speicher / Flash-Memory. Zugriff 6. April 2018 unter <https://www.elektronik-kompendium.de/sites/com/0312261.htm>
Elektronik-Kompendium.de. (o.D. b). MOS-Feldeffekttransistor (MOS-FET). Zugriff 5. April 2018 unter <https://www.elektronik-kompendium.de/sites/bau/0510161.htm>

- Sparkfun.com. (o.D.). P-Channel MOSFET 20V 24A - low $V_{gs(th)}$ [Onlineshop]. Zugriff 6. April 2018 unter <https://www.sparkfun.com/products/12901>
- Wikipedia. (2018a, 29. März). Dotierung. Zugriff 6. April 2018 unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Dotierung>
- Wikipedia. (2018b, 18. Januar). Floating-Gate-Transistor. Zugriff 6. April 2018 unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Floating-Gate-Transistor>
- Wikipedia. (2018c, 22. März). Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor. Zugriff 6. April 2018 unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor>
- Wikipedia. (2018d, 20. März). Tunneleffekt. Zugriff 6. April 2018 unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Tunneleffekt>
- Yeh, A. (2011, 8. November). [Antwort auf die Frage 'How does a floating-gate transistor work?'] [Forumeintrag]. Zugriff 5. April 2018 unter <https://www.quora.com/How-does-a-floating-gate-transistor-work>