

Proseminar „Speicher- und Dateisysteme“

SSD - Solid State Drive

Sven Schefer

Universität Hamburg
Fachbereich Informatik

März 2011

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Was ist eine „SSD“ Festplatte?	4
2.1	Geschichtliche Entwicklung	4
2.2	Eigenschaften und Performance	5
3	Physikalische Grundlagen	6
3.1	Festkörper	6
3.2	Einführung in die Quantenmechanik	7
3.3	Tunneleffekt	9
4	Funktionsprinzip einer SSD	10
4.1	Aufbau und Grundfunktion einer SSD	10
4.2	Flash-Speicher	11
4.2.1	Aufbau	11
4.2.2	Schreiben	12
4.2.3	Lesen	13
4.2.4	Löschen	13
5	Fazit	14
5.1	Zukunft	14
5.2	Zusammenfassung	15
	Abbildungsverzeichnis	16
	Quellenverzeichnis	16

1 Einleitung

Wer kennt nicht die Antwort „Muss ich aus dem Handy suchen.“ auf die Frage nach einer Telefonnummer. Das Abspeichern von Informationen und besonders das schnelle Auslesen dieser ist heute ein wichtiger Bestandteil unserer Zivilisation. Ob Handy, Navigationsgerät, MP3-Player oder Computer alle enthalten ein Medium zum Abspeichern von Informationen. Wurden noch vor 30 Jahren Daten auf Lochkarten gespeichert, werden heute die Daten z.B. auf Festplatten mit einer rotierenden Scheibe magnetisch gespeichert. Die Zugriffszeiten solcher Speicher liegen im Bereich einiger Millisekunden. So werden z.B. am *CERN*¹ beim *CMS*²-Experiment pro Sekunde 300 MB an Informationen abgespeichert. Eine neuartige Festplattentechnik ist seit geraumer Zeit in aller Munde, die SSD. Die Technologie ist bereits seit den 1970er Jahren bekannt und wurde in den letzten Jahren marktreif.

In dieser Ausarbeitung, zum Vortrag „SSD - Solid State Drive“ im Rahmen des Proseminars „Speicher-und Dateisysteme“, werde ich einen kurzen Überblick über die Entwicklungsstufen der SSD geben. Des Weiteren werden die wesentlichen Merkmale und die Funktion einer solchen Festplatte erläutert. Ein kurzer Ausflug in die Quantenmechanik soll zum besseren Verständnis der Funktionsweise beitragen.

¹Europäische Organisation für Kernforschung, bei Genf, Schweiz

²Compact Muon Solenoid, Teilchendetektor

2 Was ist eine „SSD“ Festplatte?

2.1 Geschichtliche Entwicklung

Die Geschichte der SSD reicht weit in die 1970er Jahre zurück. Damals interessierten sich aufgrund des hohen Preises (1 GB \approx 1 Million Dollar) hauptsächlich das Militär und Forschungslabore für diese Festplattentechnik.

In den späten 1970ern brachte die Firma *General Instruments*³ einen ersten Flash ähnlichen Speicher auf den Markt. Mit einer Zugriffszeit von zwei Mikrosekunden war dieser Speicher nur viermal langsamer als heute immer noch verwendete MOS-Speicher. 1985 wurde die erste SSD in einem *IBM*⁴-PC verbaut und Ende der 1980er kamen die ersten Speicherkarten auf den Markt. Zwanzigmal schnellere Zugriffszeiten der SSD gegenüber der normalen magnetischen Festplatte ermöglichten den Einzug in die Servertechnologie. Immer mehr Firmen stiegen in den 1990ern in das SSD-Geschäft ein und trieben die Entwicklung für den Endkundenmarkt stetig voran. So kostete 2001 eine 3,5" Flash-Speicher-SSD mit 14 GB „nur noch“ 42.000 Dollar. Mitte der 2000er zog die SSD in die Notebooks ein und mit der Marktreife 2007 kann dieses Jahr als das „SSD-Jahr“ bezeichnet werden.

Bis heute fallen die Preise für SSD's ständig und die Ablösung der alten mechanischen Festplatte steht bevor. Jedoch stagniert die Verbreitung der SSD, da einige Firmen ihre Marktposition in Gefahr sehen. So konnten große Hersteller von Endgeräten (PC, Notebook) mit ihren alten Produkten bessere Werbung betreiben und sich damit einen Wettbewerbsvorteil verschaffen. Der Marktvorteil von leisen, kaum hitzentwickelnden und schnellen Festplatten in den Endgeräten ist mit der SSD nicht mehr gegeben. Softwarebeigaben, einen schnellen und leistungsstarken Festplattencontroller sowie andere Unterscheidungsmerkmale (z.B. Schmutzschutz beim USB-Stick) sind heute die Argumente, die über einen Kauf entscheiden sollen.

Die SSD wird aber nicht schlagartig die alte Technologie ablösen. Vielmehr ist gegenwärtig eine Kombination der beiden Techniken sinnvoll, die sogenannte Hybrid-Festplatte (HHD). Diese HHD weist als Hauptspeichermedium ein normales Medium zur magnetischen Speicherung und einen zusätzlichen Flash-Speicher auf. Daten, die öfter benutzt werden, können in diesem Flash-Speicher gespeichert werden. Auch eine Userbestimmung, in der geregelt ist, welche Daten in dem Flash-Speicher abgelegt werden sollen, ist durchaus realisierbar.

Ein Hauptmerkmal der reinen SSD ist der geringere Energieverbrauch, der die SSD als zukünftiges Hauptspeichermedium auszeichnen könnte.

³General Instruments war einer der größten Halbleiterhersteller der USA.

⁴International Business Machines Corporation, US-amerikanische IT-Firma

2.2 Eigenschaften und Performance

Die SSD ist ein Festkörperlaufwerk. Was ein Festkörper ist, wird in Kapitel 2 kurz erläutert. Dass die SSD ein Festkörper ist, macht sie nun nicht exotisch, da auch die „normalen“ Festplatten aus Festkörpern bestehen. Interessanter ist vielmehr die Datenspeicherung der SSD. Bei „normalen“ Festplatten werden die interpretierbaren Information (0 und 1) als magnetische Zustände gespeichert, während die SSD die Information elektrisch gespeichert (Ladungsspeicherung). Elektrisch bedeutet in diesem Fall, dass es Speicherzellen in der SSD gibt, die geladen (Zustand 1) bzw. ungeladen (Zustand 0) sind. Diese Zustände können ohne eine mechanische Bewegung ausgelesen und gesetzt werden. In den meisten SSD's kommen Flash-Speicher als Informationsspeicher zum Einsatz. Solche Flash-Speicher sind nicht-flüchtige Speicher. Das Prinzip der Ladungsspeicherung ist schon vom Kondensator bekannt. Ein Kondensator verliert über die Zeit seine elektrische Ladung. Er wird daher als flüchtiger Speicher bezeichnet. Wie das Lesen, Schreiben und Löschen auf einem Flash-Speicher realisiert ist, wird in Kapitel 3 erläutert.

Die bewegungsfreie Methode ist ein großer Vorteil gegenüber einer HDD. So entfallen die Hitzeentwicklung durch Reibung, Laufgeräusche von Lüftungssystemen und die Vibrationsanfälligkeit des Laufwerkes. Die aber wohl wichtigsten Vorteile einer SSD gegenüber einer HDD sind die kürzeren Zugriffszeiten und der geringere Energieverbrauch.

In Tabelle 1⁵ werden die wichtigsten Merkmale einer SDD und einer HDD gegenübergestellt. Die Unterschiede in den Lesegeschwindigkeiten und der benötigten Energie sind deutlich erkennbar. Ein weiteres Merkmal sticht bei der SSD stark heraus - es gibt eine maximale Anzahl an Schreibzyklen, was ein gravierender Nachteil gegenüber der HDD ist. Die Ursache, dass es ein Maximum gibt, liegt an der Elektronenbewegung und wird im Kapitel 3 nochmals aufgegriffen.

	SSD	HDD
V_{read}	510 MB/s	150 MB/s
V_{write}	480 MB/s	150 MB/s
t_{read}	0,2 ms	3,5 ms
t_{write}	0,4 ms	3,5 ms
W_{wait}	0,05 - 1,3 W	4 W
W_{work}	0,5 - 3 W	6 W
T_{work}	-55 - 95 °C	-40 - 70 °C
N_{read}	∞	∞
N_{write}	0,01 - 5 Mio pro Zelle	∞
Euro	1,39 pro GB	0,06 pro GB

Tabelle 1: Vergleich von SSD und HDD (Quelle: www.ssd-test.de)

⁵ V_{read} = Lesegeschwindigkeit, V_{write} = Schreibgeschwindigkeit, t_{read} = Zugriffszeit beim Lesen, t_{write} = Zugriffszeit beim Schreiben, W_{wait} = Energieverbrauch im Wartemodus, W_{work} = Energieverbrauch im Arbeitsmodus, T_{work} = Arbeitstemperaturbereich, N_{read} = maximale Lesezyklen, N_{write} = maximale Schreibzyklen, Euro = Preis pro GB in Euro

3 Physikalische Grundlagen

3.1 Festkörper

Unter einem Festkörper versteht man Materie, die sich im festen Aggregatzustand befindet. Fest bedeutet in diesem Zusammenhang, dass sich die Teilchen der Materie in einer dauerhaften definierten Position zueinander befinden. Dabei unterscheidet man hauptsächlich zwei Arten von Festkörpern, amorphe⁶ und kristalline⁷. Eine kristalline Struktur mit dem Spezialfall der Diamantenstruktur ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Bezeichnung Diamantenstruktur entstand aus der Untersuchung der Struktur von Kohlenstoff, in der diese zum ersten Mal beobachtet worden ist.

Der Zusammenhalt der einzelnen Bausteine der Materie beruht auf der Wechselwirkung der Atome bzw. Moleküle. Es gibt verschiedene Bindungstypen, wobei hier nur kurz die der Atombindung erwähnt werden soll. Bei der Atombindung (kovalente Bindung) bilden die Valenzelektronen⁸ der einzelnen Atome Elektronenpaare, durch die der Zusammenhalt gegeben ist.

Einige Eigenschaften von Festkörpern sind Wärmeleitfähigkeit, Deformierbarkeit sowie elektrische Leitfähigkeit. Letztere führt zur Aufteilung der uns bekannten Elemente in drei Gruppen: Elektrische Leiter, Isolatoren und Halbleiter. Durch Dotieren kann die elektrische Leitfähigkeit eines Halbleiters beeinflusst werden. So werden z.B. einem Siliziumkristall (Diamantenstruktur) Phosphoratome eingebracht. Da das Fremdatom eine andere Anzahl an Valenzelektronen als das Substrat hat, kann es zum Elektronenüberschuss oder Elektronenmangel kommen, was sich auf die elektrische Leitfähigkeit auswirkt und in der Elektronik eine wesentliche Rolle spielt.

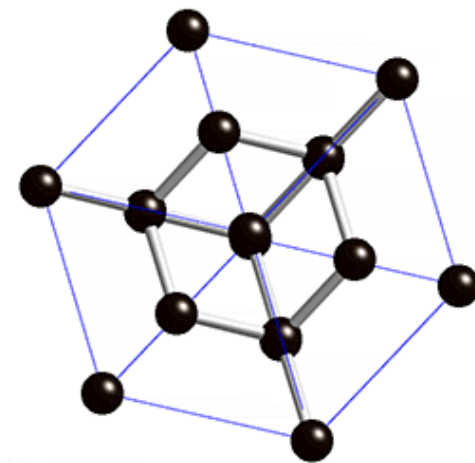


Abbildung 1: Diamantenstruktur

⁶keine geordnete Struktur

⁷geordnete Struktur

⁸Elektronen der Außenschale, die zu einer Bindung beitragen können

3.2 Einführung in die Quantenmechanik

Im vorherigen Abschnitt wurde der Festkörper mit seinen Bausteinen und internen Wechselwirkungen kurz erläutert. Wenn nun alle Bausteine zu einem makroskopischen Gebilde zusammenfassen werden, kann man die Bewegung eines solchen Körpers mit der klassischen Physik erklären. Um aber die direkten Vorgänge in einem Gebilde auf mikroskopische Ebene betrachten zu können, muss in ein anderes Gebiet der Physik vorgestoßen werden, in die Quantenmechanik (QM). Die QM beschreibt unter anderem den Tunneleffekt. Was die QM bzw. der Tunneleffekt mit der SSD gemeinsam hat, soll am folgendem Zitat aus „<http://de.wikipedia.org/wiki/Tunneleffekt>“ veranschaulicht werden.

„... Technische Anwendungen des Tunneleffekts sind beispielsweise das Rastertunnelmikroskop und der **Flash-Speicher**.“

Dass sich die QM von der klassischen Physik essentiell unterscheidet, wird im Folgenden an zwei Beispielen dargestellt:

Als erstes Beispiel sei das wohl das wichtigste Experiment der QM genannt, das Doppelspaltexperiment. Das erstmals 1802 von Thomas Young⁹ durchgeführte Experiment wurde 2002 in einer Zeitschrift zum schönsten Experiment aller Zeiten gewählt. Eine schematische Darstellung des Experimentes ist in Abbildung 3 dargestellt. Es gibt eine Barriere mit zwei Öffnungen und einem dahinter befindendem Anzeigeschirm (Detektor). Lässt man nun von links eine Welle (z.B. eine Wasserwelle) auf die Barriere laufen, bilden sich hinter den Öffnungen zwei Kugelwellen, die sich im weiteren Verlauf gegenseitig beeinflussen (Abb.2). Dieses Phänomen kann man klassisch erklären und verstehen.

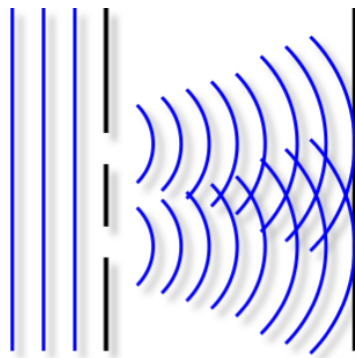


Abbildung 2: Eine von links einlaufende Welle trifft auf einen Doppelspalt.

Schiesst man mit Teilchen nacheinander (z.B. mit Elektronen) auf so einen Doppelspalt, wäre klassischer Weise zu erwarten, dass die Teilchen entweder durch die eine oder durch die andere Öffnung gehen. Hinter der Öffnung würde man die Teilchen an einer bestimmten Position vermuten. Also müssten die Teilchen bei unveränderten Ausgangsbedingungen immer an derselben Stelle auf den Schirm treffen. Das ist aber nicht der Fall. In Abbildung 3 ist rechts ein Detektor, der die Teilchen nachweisen kann. Die tatsächlichen Auftreffpunkte sind über dem Schirm ungleichmäßig verteilt. Die hinter dem Schirm dargestellte Kurve zeigt die Häufigkeit der Auftreffpunkte. Es kann also nicht vorhergesagt werden, wo die Teilchen nach jedem Schuss

⁹englischer Physiker, 1773-1829

auftreffen. Das ist eine wichtige Tatsache. In der QM werden keine exakten Teilchenpositionen vorhergesagt, sondern nur Wahrscheinlichkeiten. So kann der Ort eines Teilchens auch nur mit einer Wahrscheinlichkeit vorhergesagt werden. Die Struktur der Wahrscheinlichkeitsverteilung auf dem Schirm kann man erklären, indem man den Teilchen Wellencharakter zuordnet. Der sogenannte Teilchen-Welle-Dualismus besagt also, dass Teilchen auch Wellencharakter besitzen und umgekehrt.

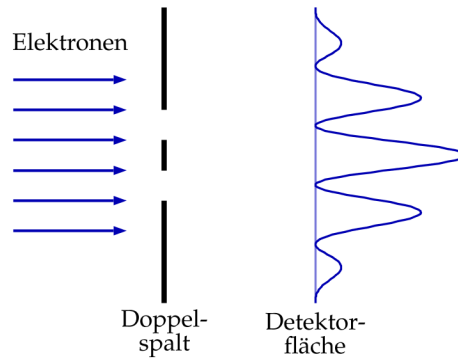


Abbildung 3: Doppelspaltexperiment

Als zweites Beispiel will ich die Unschärferelation erwähnen. Die wohl bekannteste Unschärfe ist die Heisenbergsche¹⁰ Unschärferelation. Diese besagt, dass der Impuls (bzw. Geschwindigkeit) und der Aufenthaltsort nicht gleichzeitig exakt gemessen werden können, was leicht zu veranschaulichen ist.

Man stelle sich ein fahrendes Auto vor. Während das Auto fährt, ist es unmöglich, seine exakte Position zu bestimmen, da das Auto nach dem Hinsehen sofort wieder eine neue Position hat. Wie schnell sich das Auto durchschnittlich fortbewegt, kann man jedoch mit zwei Zeitmessungen genau bestimmen. Macht man jetzt ein Photo von dem fahrenden Auto, kann die Position genau bestimmt werden, aber die Geschwindigkeit bleibt unbestimmt. Dieses kleine Gedankenexperiment ist für die SSD zwar nicht so bedeutend wie der Teilchen-Welle-Dualismus, aber in der QM eine sehr wichtige Tatsache.

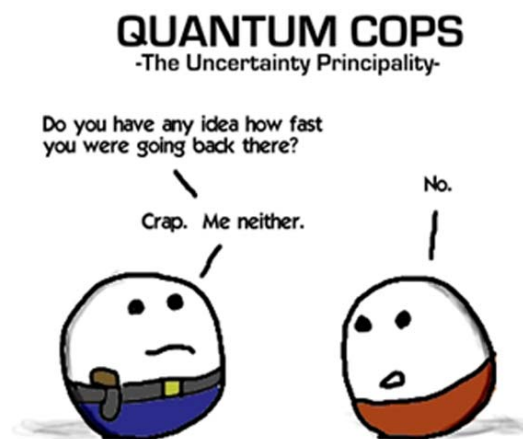


Abbildung 4: Das Prinzip der Unschärfe

¹⁰Heisenberg, deutscher Physiker, 1901-1976, Nobelpreis:1932

3.3 Tunneleffekt

Aus quantenmechanischer Sicht ist es möglich, dass ein Teilchen eine Energiebarriere Überwinden kann, auch wenn seine eigene Energie klassisch dafür zu gering wäre. Diese klassisch verbotene Bewegung beschreibt der Tunneleffekt.

Der Tunneleffekt beschreibt die Eigenschaft, dass ein Teilchen eine Barriere durchdringen (tunneln) kann, auch wenn seine Energie klassisch dafür zu klein wäre. Wie schon im letzten Abschnitt erwähnt, werden in der QM nur Wahrscheinlichkeitsaussagen getroffen und mit dem Teilchen-Welle-Dualismus kann eine Wahrscheinlichkeitsaussage getroffen werden. Weiter kann man eine Teilchen durch eine Welle beschreiben und somit eine Gleichung (Wellengleichung) für die Aufenthaltswahrscheinlichkeit aufstellen. In der QM ist es die wichtige Schrödingergleichung (SGL), die angibt, wo sich ein Teilchen aufhalten kann. Man kann sich nun vorstellen, dass eine Welle an einem Hindernis nicht komplett reflektiert wird, sondern ein Stück eindringt. Die Eindringtiefe fällt exponentiell ab. Aus der SGL kann man nun die Aufenthaltswahrscheinlichkeit in einem klassisch verbotenen Gebiet (Hindernis) berechnen. Sie ist auf jeden Fall für eine endlichen Hindernis von Null verschieden. Ist das Hindernis nun klein genug, gibt es eine geringe Wahrscheinlichkeit, dass das Teilchen in diesem Hindernis ist und es auch wieder verlassen kann. Das Teilchen hat die Barriere getunnelt. Eine schematische Darstellung des Tunneleffekts ist in Abbildung 5 zu sehen.

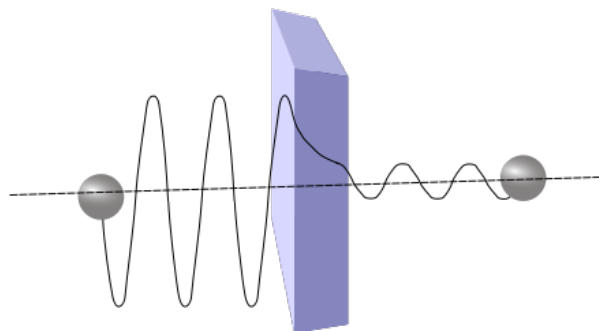


Abbildung 5: Tunneleffekt

4 Funktionsprinzip einer SSD

4.1 Aufbau und Grundfunktion einer SSD

Eine SSD besteht aus drei wesentlichen Komponenten (Abb. 6):

- Speichereinheit (Flash-Speicher, Counter)
- Interface (Verbindung zur Hardware)
- Controller (Datenverwaltung, Wear Leveling)

Die Speichereinheit besteht aus mehreren Speicherbausteinen, die in den meisten SSD's Flash-Speicher sind. Jede einzelne Zelle im Flash-Speicher besitzt einen eigenen Counter, der die Schreibzyklen mitzählt. Beim Löschen, was immer vor dem Schreiben in eine Zelle durchgeführt werden muss, wird der Counter inkrementiert. Da sich nach jedem Löschvorgang die Lebenszeit der Speicherzelle verringert, ist eine Defragmentierung einer SSD nicht vorteilhaft. Die Daten werden mit der Zeit über den gesamten Speicher verteilt, wobei die eigentlichen Datenpositionen auf dem Speichermedium in einer Tabelle (LBA¹¹) hinterlegt sind. Im Gegensatz zur SSD kann bei einer HDD eine Defragmentierung die Datenpositionen auf dem Medium nach Zugehörigkeit ordnen. Die LBA einer HDD ist damit geordnet. Bei der SSD kann die LBA ebenfalls geordnet werden. Im Unterschied zur HDD verweist die LBA jedoch nicht auf die tatsächliche Position auf dem Speichermedium, sondern auf eine zweite Tabelle (PBA¹²). In dieser PBA sind die wirklichen Positionen auf dem Speichermedium hinterlegt. Bei einer Defragmentierung der SSD wird nur die LBA geordnet. Da bei einer SSD keine mechanischen Bewegungen zu den einzelnen Speicherpositionen gemacht werden müssen, ist die Verteilung der Daten auf dem Medium mithin kein Geschwindigkeitsnachteil.

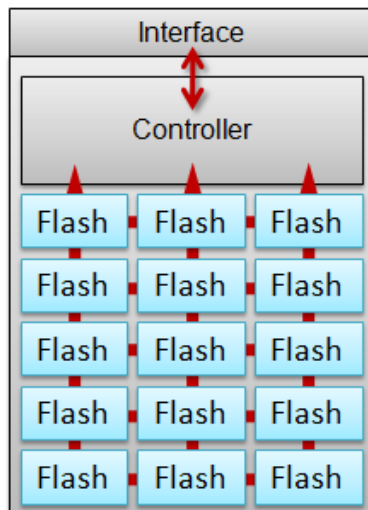


Abbildung 6: SSD

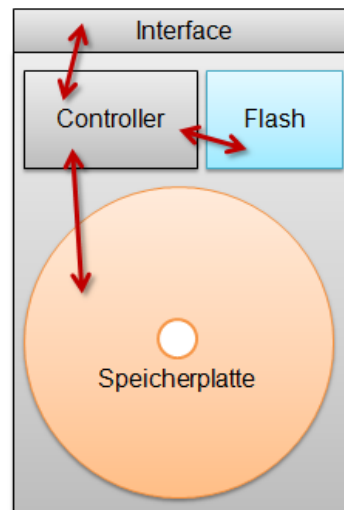


Abbildung 7: HDD

¹¹Logical Block Adress

¹²Physical Block Adress

Der Controller einer SSD hat eine wichtige zusätzliche Aufgabe, das “Wear Leveling“ (WL)¹³. Es gibt zwei Arten des WL, das dynamische und das statische.

Das dynamische WL hat keinen Einfluss auf die Schreibgeschwindigkeit der SSD. Es erhöht die Lebensdauer ca. um den Faktor 25. Der Controller vergleicht beim dynamischen WL alle *leeren* Counter vor dem Schreiben und speichert die neuen Daten in die Speicherzellen mit den niedrigsten Countern.

Viel mehr Controlleraktionen sind beim statischen WL notwendig, was eine Senkung der Schreibgeschwindigkeit sowie eine Anhebung der benötigten Energie nach sich zieht. Bei diesem Verfahren vergleicht der Controller vor dem Schreiben *alle* Counter und schreibt die neuen Daten ebenfalls in die Zelle mit dem niedrigsten. Weiterhin werden aber Daten, die oft benutzt, aber nicht geändert werden, in eine Speicherzelle mit einem hohen Counter verschoben. So können langfristig gespeicherte Daten keine Zellen mit einem niedrigen Counter blockieren. Das statische WL ermöglicht die gleichmäßige Abnutzung der Speicherzellen. Es erhöht die Lebensdauer ca. um den Faktor 100.

4.2 Flash-Speicher

4.2.1 Aufbau

Die Entwicklungsgeschichte des Flash-Speichers ist sehr eng mit der Entstehung der Digitalkamera verbunden. Die Eigenschaften eines solchen nichtflüchtigen Speichers eigneten sich perfekt für den mobilen Einsatz. 1994 stellte die Firma *SanDisk* die erste 4 MB CompactFlash-Speicherkarte vor. Heutige Speicherkarten haben eine Speicherkapazität von bis zu 32 GB.

In einer SSD sind mehrere Flash-Speicherbausteine enthalten. Die einzelnen Bausteine bestehen aus Speicherzellen, die in logischen Strukturen (NAND und NOR) zusammengeschaltet sind. In der NAND-Struktur (Abb. 8) werden acht einzelne Speicherzellen zu einem Block zusammengefasst. Da in einer Zelle nur ein elektrischer Zustand (Information) gespeichert werden kann, entspricht dieser Block einem Informationsgehalt von einem Byte. Ein Nachteil der NAND-Struktur ist der blockweise Zugriff auf die Speicherzellen. In NOR-Struktur-Schaltungen kann zwar auf alle einzelnen Speicherzellen zugegriffen werden, die einzelnen Anschlussleitungen jedoch benötigen Fläche auf der PCB¹⁴.

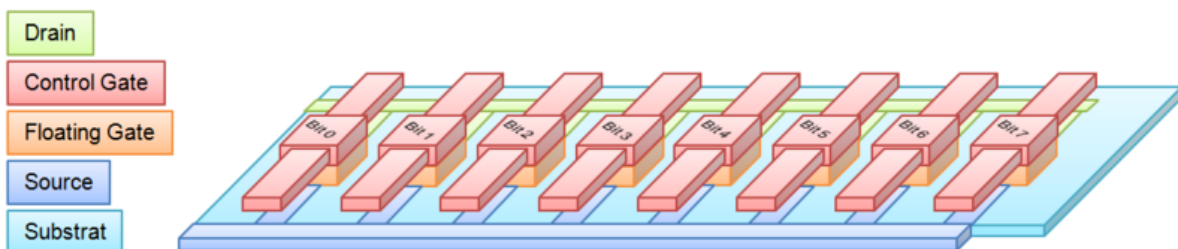


Abbildung 8: 1 Byte = 8 Bit in NAND-Struktur

¹³Überwachung der Abnutzung

¹⁴Printed Circuit Board (Platine)

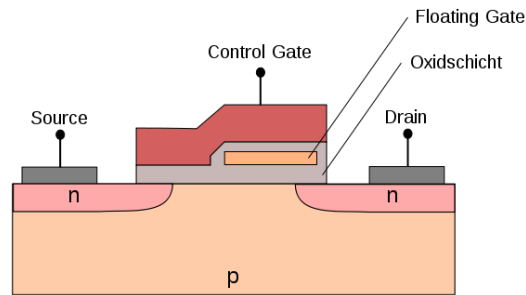


Abbildung 9: MOFET einer Speichzelle

Der Aufbau einer einzelnen Speicherzelle ist in Abbildung 9 dargestellt. Das Grundprinzip einer solchen Zelle ist der FET¹⁵. Im Unterschied zum normalen FET hat der MOSFET¹⁶ in einer Flash-Speicherzelle eine zusätzliche isolierende Oxidschicht (Abb. 9). In dieser Oxidschicht befindet sich das "Floating Gate", wo die Information in Form von elektrischen Ladungen gespeichert werden kann. Auf Grund des Tunneleffekts sind die elektrischen Ladungen (Elektronen) in der Lage, die Oxidschicht zu durchdringen. Dieses Tunneln ermüdet die Oxidschicht. Es ist verantwortlich für die endliche Anzahl an Schreibzyklen einer Flash-Speicherzelle.

4.2.2 Schreiben

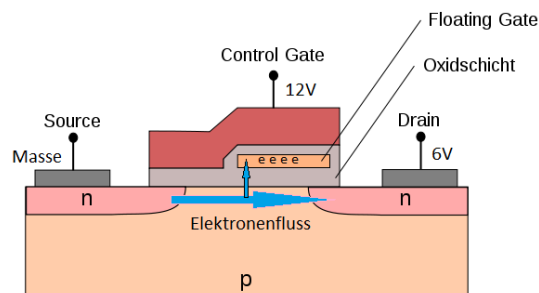


Abbildung 10: Schreiben einer Flash-Speicherzelle

Um eine Information zu schreiben, muss das Floating-Gate des Transistors "aufgeladen" werden. Dazu wird eine Spannung von ca. 12 V an das Control-Gate angelegt. Eine kleinere Spannung (ca. 6 V) am Drain-Anschluss sorgt für eine relativ große Potentialdifferenz zwischen den beiden Gates. Der Source-Anschluss befindet sich auf dem Massepotential. Die Elektronen versuchen nun die normale NPN-Strecke des Halbleitermaterials zu durchfließen. Da aber das Control-Gate stärker positiv geladen ist, als der Drain-Anschluss, werden die Elektronen vom Control-Gate angezogen. Die Oxidschicht verhindert klassisch den Elektronenfluss zum Control-Gate. Durch den Tunneleffekt können aber Elektronen in das Floating-Gate fließen. Für ein erneutes Tunneln zum Control-Gate ist das Potential bzw. die Energie zu klein. Nach Abschaltung aller Spannungen verbleiben die Elektronen im Floating-Gate, da die Oxidschicht die Elektronen isoliert.

¹⁵Feldeffekttransistor

¹⁶Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor

4.2.3 Lesen

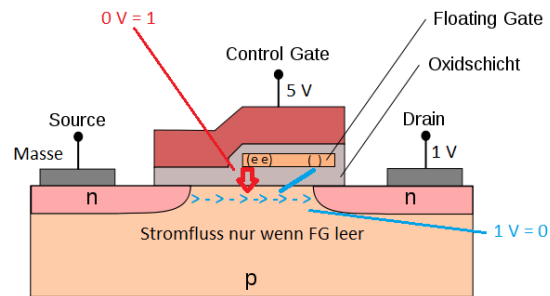


Abbildung 11: Lesen einer Flash-Speicherzelle

Das Lesen einer Flash-Speicherzelle erfolgt durch das Anlegen einer Spannung von ca. 5 V an das Control-Gate. Die Spannung am Drain-Anschluss beträgt ca. 1 V. Source liegt wieder auf dem Massepotential. Es sollte ein Stromfluss über die NPN-Strecke von Source nach Drain stattfinden. Es gibt nun zwei Möglichkeiten: Das Floating-Gate ist ungeladen bzw. geladen. Wenn das Floating-Gate ungeladen ist, kann der Stromfluss stattfinden. Die relativ kleine Spannung am Control-Gate reicht für ein Tunneln nicht aus. Es kann eine Spannung (1 V) gemessen und als Zustand 0 interpretiert werden. Ist das Floating-Gate geladen, wirken die Elektronen im Floating-Gate bzw. das Potential dem Stromfluss entgegen. Es wird keine Spannung (0 V) gemessen, Zustand 1.

4.2.4 Löschen

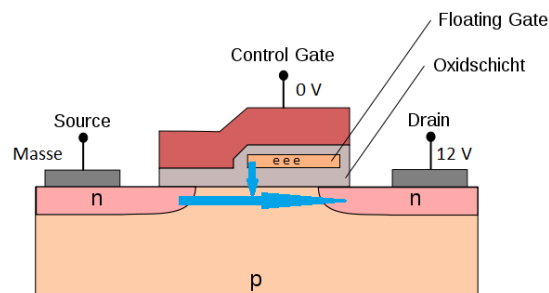


Abbildung 12: Löschen einer Flash-Speicherzelle

Der Löschvorgang ist das exakte Gegenteil vom Schreiben. Hierbei liegt am Control-Gate keine Spannung an während am Drain-Anschluss eine von ca. 12 V anliegt. Es kommt zum Elektronenfluss von Source nach Drain. Die Elektronen im Floating-Gate tunneln auf Grund des großen Potentialunterschiedes aus dem Floating-Gate durch die Oxidschicht zum Drain-Anschluss. Das Floating-Gate ist wieder leer. Dieser Löschvorgang muss vor jedem Schreiben in eine Zelle vollzogen werden.

5 Fazit

5.1 Zukunft

Dass die SSD momentan für den Endverbrauchermarkt sehr interessant ist, geht aus ihren Eigenschaften hervor. Die Schnelligkeit und die enorme Energiebilanz sind für das heutige mobile Zeitalter ausreichend. Technologien werden sich weiterentwickeln und ganz gewiss kommt die Zeit, wo die SSD als veraltet gilt.

Ein aktuelles Forschungsgebiet ist die Erweiterung der zwei Stromzustände (0 und 1) auf drei. Dabei will man den Strom polarisieren, indem man den Spin der Elektronen ausrichtet. Der Spin ist eine quantenmechanische Eigenschaft. Er hat in der klassischen Physik kein Analogon. Man kann ihn sich aber als eine Art Eigenrotation der Elektronen vorstellen. So können sich, ausgehend von vorgenannter Vorstellung, Elektronen links- bzw. rechts herum drehen. Besteht nun also die Option, den Strom, der aus Elektronen besteht, nach dieser Eigenschaft zu selektieren, wäre es möglich, den Zustand 1 (Stromfluss) in zwei Zustände aufzuteilen. Es gäbe dann die Zustände 0 (Strom aus), $1\uparrow$ (Strom an, links herum) und $1\downarrow$ (Strom an, rechts herum). Die Speicherkapazität würde somit bei gleichem Volumen ansteigen. Eine zuverlässige Aufspaltung ist jedoch zur Zeit nur bei sehr kleinen Temperaturen möglich.

Ein weiteres interessantes Gebiet ist die Weiterentwicklung der HDD. Die "normale" HDD benutzt zur Polarisierung der einzelnen Magnetzustände auf dem Speichermedium elektromagnetische Felder. Diese Polarisierung kann auch mit einem Laser durchgeführt werden. Die Geschwindigkeit dieser Polarisierung ist sehr viel höher als bei den Feldern. Es können theoretisch Übertragungsraten von 12 TB/s erreicht werden.

Für weitere Interessante Speichersystem sei auf den Vortrag "Zukünftige Speichersysteme" im Rahmen dieses Proseminars hingewiesen.

5.2 Zusammenfassung

In dieser doch recht physikalischen Betrachtung der SSD wurden drei Themengebiete behandelt. Kapitel 1 veranschaulichte einen Überblick über die Entstehungsgeschichte und die wesentlichen Eigenschaften der SSD. Im zweiten Teil wurden die physikalischen Grundlagen zum Verständnis des Speicherprinzips eines Flash-Speichers geschaffen. Der Aufbau einer SSD und eines Flash-Speichers waren Bestandteil des ersten Abschnittes im dritten Kapitel. Der direkte Schreib-, Lese- und Löschvorgang bildet den Abschluss des dritten Kapitels. Abschließend möchte ich noch einmal die Wesentlichen Punkte erwähnen.

SSD - Eigenschaften

- Seit den 1970er Jahren bekannt
- Voraussichtliche Ablösung der herkömmlichen Festplatte
- Keine mechanisch beweglichen Komponenten
- Sehr geringe Hitzeentwicklung
- Geringer Energieverbrauch
- Keine Geräusentwicklung
- Kann sehr kompakt gebaut werden

SSD - Physik

- Quantenmechanik: Teilchen-Welle-Dualismus
- Quantenmechanik: Tunneleffekt

SSD - Funktion

- "Wear Leveling" ist enorm wichtig
- Endlich oft wiederbeschreibbar
- Flash-Speicher: Floating Gate Modell
- Floating Gate Modell \iff Tunneleffekt

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki>
- Abb. 2: <http://homepage.mac.com/joachim.sieben/index.html>
- Abb. 3: www.semibyte.de/dokuwiki/nat/graphiken/physik
- Abb. 4: <http://saintgasoline.com/>
- Abb. 5: <http://homepages.physik.uni-muenchen.de>
- Abb. 6, 7, 8 : http://winfwiki.wi-fom.de/index.php/Entwicklungspotenziale_der_Solid_State_Drives
- Abb. 9, 10, 11, 12: <http://de.wikipedia.org/wiki/Flash-Speicher> (Bearbeitet)

Quellenverzeichnis

- Demtröder - „Experimentalphysik 3“
- Ch. Kittel - „Einführung in die Festkörperphysik“
- Nolting - „Grundkurs Theoretische Physik 5/1“
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Flash-Speicher>
- <http://www.flash-speicher.at/aufbau/allgemeine-funktionsweise.html>
- http://winfwiki.wi-fom.de/index.php/Entwicklungspotenziale_der_Solid_State_Drives
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Solid-State-Drive>
- <http://www.storageesearch.com>
- <http://www.ssd-test.de>