

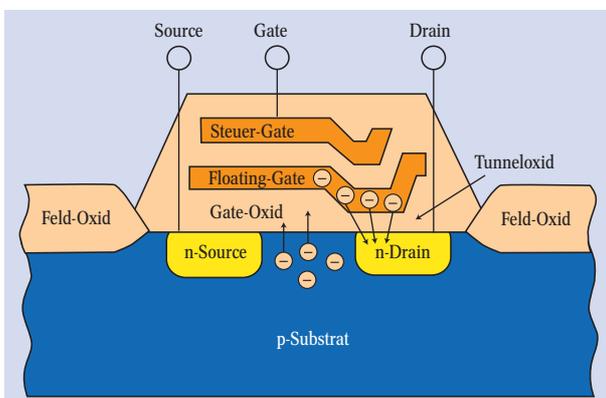
Flash Memory – kompakt und schnell speichern

Jeder, der z. B. ein Handy oder eine Digitalkamera besitzt, trägt ein Flash Memory bei sich, das Informationen auf kleinstem Raum dauerhaft und ohne Spannungsversorgung speichern kann. Wegen der kompakten Bauform, der hohen Speicherkapazität und des geringen Energieverbrauchs setzen sich diese wiederbeschreibbaren Speichermedien auf Halbleiterbasis als handliche Datenträger immer mehr durch.

Neben externen und damit austauschbaren Speichermedien wie Disketten, CDs und DVDs gewinnen seit einigen Jahren kleinvolumige Datenträger auf Halbleiterbasis immer mehr an Bedeutung. Bei diesem so genannten Flash Memory, das im Gegensatz zu den oben genannten magnetischen und optischen Speichern ohne bewegte Teile – also ohne Mechanik – arbeitet, werden die Informationen direkt in den Halbleiterspeicher geschrieben. Da diese auch ohne Stromversorgung ihre Information halten – laut Herstellerangaben immerhin bis zu zehn Jahre – werden sie als nicht-flüchtige Speicher bezeichnet.

Zwar lassen sich beim Flash Memory Bytes einzeln adressieren und lesen, allerdings geschieht das Schreiben oder Löschen nur sektoren- bzw. blockweise. Dieser Möglichkeit des blitzschnellen Löschens des gesamten Speicherinhaltes verdankt das Flash Memory seinen Namen.

Ein Flash Memory besteht immer aus zwei Komponenten, dem eigentlichen Speicher, auf dem die Informationen elektrisch abgelegt werden, und dem „Controller“, der den Schreib-Lese-Vorgang dieser



Schema einer NAND-Flash-Memory-Zelle mit Stromeingang (n-Source), Stromausgang (n-Drain), Steuerungseingang (Steuer-Gate), p-Substrat, Floating-Gate und isolierender Siliziumoxidschicht (Gate-Oxid).



Immer zur Hand: Mit Hilfe des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Publikations- und Informationssysteme IPSI hat Brockhaus die Textdaten seines 30-bändigen Nachschlagwerkes mit 300 000 Stichwörtern für die Speicherung auf einem USB-Stick komprimiert (Foto: Brockhaus).

Daten steuert. Je nach Architektur befindet sich der Controller, wie bei den häufig in Digitalkameras eingesetzten CompactFlash-Cards, entweder mit auf der Speicherkarte oder ist, z. B. bei den SmartMedia-Cards, davon getrennt im Kleingerät integriert. In diesem Fall wird die Verwaltung des Speichers vom Betriebssystem des Digitalgerätes übernommen.

Logische Architekturen

Für die logische Architektur des Flash Memory haben sich zwei Technologien durchgesetzt:

Während anfangs die NOR-Technologie (von Not OR), die ursprünglich zur schnellen Speicherung von Programm-Codes entwickelt wurde, dominierte, setzen sich heute mehr und mehr Bausteine mit einer NAND-Architektur (von Not AND) durch. Diese logischen Gatter werden elektronisch mit Hilfe zweier Transistoren realisiert: Bei der NOR-Verknüpfung sind diese parallel und bei der NAND-Logik in Serie geschaltet. Da die Parallelschaltung zwischen Stromquelle und Auswerteschaltung einen geringeren Widerstand besitzt, sind die Zugriffszeiten der NOR-Strukturen deutlich kürzer als bei den NAND-Architekturen. NAND-basierte Speicher zeichnen sich dagegen durch höhere Schreib- und Löschgeschwindigkeiten, eine niedrigere Leistungsaufnahme während der Programmierung und eine höhere Speicherkapazität aus.



Flash-Memory-Karten haben meist 4 GB Speicherkapazität, können aber auch bis zu 12 GB Daten fassen.

Speicherzellen und Transistoren

Grundsätzlich besteht der eigentliche Speicher des Flash Memory aus einer von der Kapazität abhängigen Anzahl einzelner Speicherzellen. Diese werden zu einer zweidimensionalen Matrix zusammengefasst, wobei mehrere tausend Zellen in einer solchen Anordnung verschaltet werden. Jede Speicherzelle ist durch Auswahl einer Zeilenleitung (Wordline) und einer Spaltenleitung (Bitline) eindeutig bestimmt. Herzstücke jeder Speicherzelle sind die beiden Transistoren, die als Schalter arbeiten und dazu neben einem Eingang (Source) und einem Ausgang (Drain) über ein Steuer-Gate verfügen, das durch eine Oxidschicht von Source, Drain und Substrat isoliert ist. Der Strom zwischen Drain- und Source lässt sich über eine Spannung am Gate steuern. Sind Source und Drain n-dotiert und das Substrat p-dotiert, so sind bei diesem Feldeffekttransistor (FET) nur Elektronen am Stromtransport beteiligt.

Der Aufbau des FET wurde für das Flash Memory durch ein weiteres Gate aus polykristallinem Silizium zwischen dem Steuer-Gate und dem Source-Drain-Leitungskanal modifiziert. Es wird durch eine dünne, reine Siliziumoxidschicht von seiner Umgebung elektrisch isoliert und deshalb als Floating Gate (*schwebendes Gate*) bezeichnet. Auf diesem Gate findet die eigentliche Datenspeicherung der Flash Memory-Zelle statt: Seine beiden Speicherzustände sind dadurch gekennzeichnet, dass es entweder ladungsfrei oder geladen ist.

Schreiben, lesen und löschen

Je nachdem, ob es sich um ein NOR- oder NAND-basiertes Flash Memory handelt, variiert die Geometrie der Speicherzelle und damit auch der physikalische Effekt, der beim Beschreiben und Löschen zum Tragen kommt: Während man bei der NOR-Struktur zum Beschreiben die „Channel Hot Electron Injection“ und zum Löschen das „Fowler-Nordheim-Tunneln“ nutzt, wird bei der NAND-Architektur in beiden Fällen lediglich der Tunnelprozess genutzt.

Unter der Injektion von „heißen“, also hochangeregten Elektronen versteht man, dass diese in dem Leitungskanal zwischen Source und Drain durch eine angelegte Spannung beschleunigt und dadurch in ein höheres Energieniveau angeregt werden. Eine Spannung zwischen dem Steuer-Gate und dem Leitungskanal sorgt dafür, dass einige der Elektronen die Potentialbarriere der Oxidschicht überwinden können, und unterstützt somit die Injektion dieser Elektronen in das Floating-Gate, wo sie gespeichert werden. Da die Oxidschicht elektrisch isoliert, bleiben die Elektronen auch im spannungslosen Zustand des Transistors dort gefangen und damit die gespeicherte Information erhalten. Um ein Bit darzustellen, müssen rund 1000 Elektronen in das Floating Gate injiziert werden.

Sind nun Elektronen im Floating-Gate gespeichert, so ist die Einsatzspannung des Transistors zu höheren Werten hin verschoben.

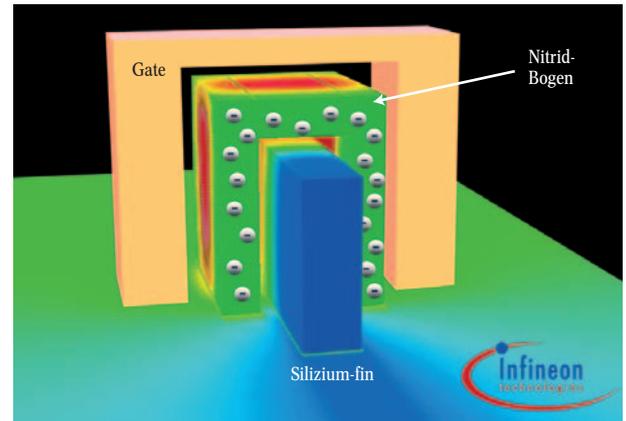
Durch Anlegen einer dazu im Vergleich niedrigeren Spannung an das Steuer-Gate lässt sich die Speicherzelle auslesen: Befinden sich im Floating Gate Elektronen, so schnürt deren negatives Potential den Stromfluss zwischen Drain und Source ab. Dies hält den Flash-Transistor geschlossen, d. h. es fließt kein Strom auf dem Leitungskanal. Ist das Floating Gate dagegen leer, so ist der Transistor durchlässig und zwischen Drain und Source fließt ein Strom, der als Signal abgegriffen werden kann.

Um die Zelle neu beschreiben zu können, muss ihr Inhalt zunächst gelöscht werden. Dazu werden die Elektronen mit Hilfe des Fowler-Nordheim-Tunnelprozesses aus dem Floating-Gate befreit: Eine hohe Spannung am Transistor bzw. das dadurch erzeugte starke vertikale Feld sorgen dafür, dass die Elektronen die Potentialbarriere der isolierenden Oxidschicht durchtunneln können und zur Source gelangen. Das Floating-Gate entleert sich, d. h. der Speicherzustand ist gelöscht und die Zelle kann neu beschrieben werden. Ralph H. Fowler und Lothar Nordheim leiteten 1928 eine auf quantentheoretischen Überlegungen basierende Gleichung her, die für die Feldemission die emittierte Stromdichte als Funktion des Feldes beschreibt und diesem Tunneleffekt seinen Namen gibt.

Multi-Bit-Zellen

Neben den hier beschriebenen Single-Level-Zellen (SLC), die ein Bit pro Zelle speichern, gibt es auch

die so genannten Multi-Bit-Zellen (MBC) mit einer Zwei-Bit-Speicherung. Die von Infineon Technologies entwickelte TwinFlash-Zelle speichert in einem einzigen Transistor die Ladungen mit Hilfe von



Beim dreidimensionalen FinFlash-Design werden die Elektronen in einem Nitrid gespeichert, das elektrisch isoliert zwischen einer wenige Nanometer dünnen Silizium-Lamelle (engl. *fin*) und der Gate-Elektrode liegt. In diesem sog. FinFET wird der Stromfluss des Kanals durch das U-förmige Gate von zwei Seiten kontrolliert, und die Lamelle minimiert den Leckstrom der Elektronen aus dem Nitrid-Speicher. (Abb.: Infineon)

dielektrischen Oxid-Nitrid-Oxid-Materialien unabhängig voneinander an verschiedenen Positionen innerhalb der Zelle. Um die Speicherkapazitäten des Flash Memory auch in Zukunft weiter steigern zu können, werden weltweit winzige, dreidimensionale Speicherzellen entwickelt, mit denen sich im Vergleich zu den heute üblichen flachen Transistoren der Platzbedarf deutlich reduzieren lässt. Damit könnten einmal bis zu 32 GB Speicherkapazität möglich werden.

KATJA BÄMMEL

Dr. Katja Bammel,
science & more
redaktionsbüro,
E-Mail: kb@science-
and-more.de