

■ Nichtflüchtig gespeichert

Die permanente Polarisation von Ferroelektrika lässt sich für Speicherchips ausnutzen, die sich z. B. in Druckern, mobilen Bezahlterminals und Smartcards finden.

Multifunktionsgeräte gehören heutzutage zum Inventar eines Büros wie Schreibtisch oder Ficus Benjamina. Die Alleskönner in Sachen Drucken, Kopieren, Scannen und Faxen stehen meistens auf Fluren und dienen mehreren Mitarbeitern als Ausgabegerät. Oft sind Multifunktionsgeräte nur noch geleast und werden von einem Dienstleister gewartet. Damit die Wartungsverträge auf einer validen Zahlenbasis beruhen, muss der Servicetechniker am Gerät erkennen können, auf welche Weise und wie oft es genutzt wurde. Wie viele Seiten im Monat? Wie viele Farb- oder Schwarzweißdrucke? Welche Papierformate? In Multifunktionsgeräten steckt ein winziger Protokollant, der alles sorgfältig und zuverlässig aufschreibt. Häufig handelt es sich bei ihm um einen Speicherchip, der ein ferroelektrisches Material für seine Aufzeichnungen verwendet. Deshalb heißen solche Mikrochips Ferroelectric Random Access Memories, kurz: FRAM oder FeRAM.

Ferroelektrika sind Kristalle mit einem elektrischen Dipolmoment. Mithilfe eines elektrischen Feldes lässt sich die Richtung der Polarisation umkehren. In Analogie zum Ferromagnetismus folgt die Polarisation einer Hystereseschleife. Dieses Verhalten macht man sich industriell zum Beispiel bei Piezoelementen und -sensoren zunutze – oder eben in FRAMs. Als ferroelektrisches Material dient in dieser Art von Speicherchip gewöhnlich Blei-Zirkonat-Titanat (PZT), weil seine Eigenschaften dank der Piezotechnologie gut bekannt sind (Abb. 1).

Speicherchips sind aus einzelnen Zellen aufgebaut, wobei jede Zelle einen von zwei definierten



lightpoet, Fotolia

Ferroelektrische Speicherchips existieren im Verborgenen. Sie stecken in sehr unterschiedlichen Geräten und protokollieren

bestimmte Daten. In Multifunktionsdruckern liefern sie beispielsweise Informationen über die Nutzung des Geräts.

Zuständen einnehmen kann – Null oder Eins. Im einfachsten Fall besteht eine FRAM-Zelle aus einem Kondensator und einem Transistor. Auch DRAMs, die als Arbeitsspeicher in Computern dienen, sind so aufgebaut, enthalten aber ein Dielektrikum statt eines Ferroelektrikums. Legt der Transistor an den Kondensator eine Spannung an, nimmt die Polarisationsladung ausgehend von einem gewissen Wert bis zu einem Sättigungswert zu. Bei umgekehrtem Vorzeichen der Spannung gilt sinngemäß das gleiche, außer dass die Orientierung des elektrischen Feldes im Kondensator, und damit die Polarisationsladung, das umgekehrte Vorzeichen annimmt. Geht die Spannung wieder auf null zurück, sinkt die Ladung zwar um einen gewissen Betrag unterhalb des

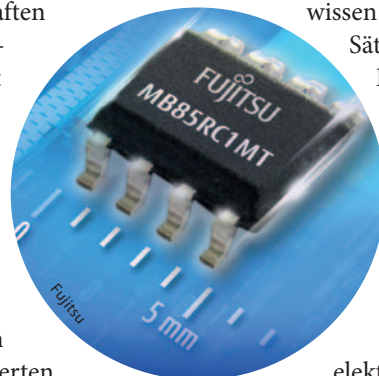
Sättigungswerts, aber die Polarisationsrichtung bleibt erhalten und ihr Wert von null verschieden. Das System hat also zwei stabile Zustände, die als Null und Eins dienen können.

Liegt nun am ferroelektrischen Kondensator

der Zelle eine definierte Spannung an, legt das Vorzeichen der Spannung fest, ob eine Null oder eine Eins geschrieben wird. Nach dem Schreibvorgang bleibt dieser Zustand erhalten, solange nicht erneut eine Spannung angelegt wird. Mit anderen Worten: Die Art der Speicherung ist nichtflüchtig; FRAMs benötigen – anders als zum Beispiel DRAMs – keine ständige Energieversorgung. Um den Zustand der FRAM-Zelle zu lesen, zwingt der Transistor die Zelle in einen ihrer beiden Zustände, zum Beispiel die Eins. Hatte die Zelle zuvor eine Eins gespeichert, so gibt es kein Ausgangssignal. Hatte die Zelle jedoch eine Null gespeichert, kommt es zu einem Ausgangssignal. Wenn der Lesevorgang den Zustand der Speicherzelle überschrieben hat, muss der Transistor den ursprünglichen Zustand nochmals in die Zelle schreiben. „Lesen“ bedeutet bei FRAMs also oft Lesen und Schreiben.

Eingebettete Speicher

FRAMs sind eine unter vielen Speicherchiptechnologien. Sie sind keine Alternative zu DRAMs, da diese sich extrem kostengünstig und hochintegriert herstellen las-



sen. Gerade als Arbeitsspeicher in einem PC hat es auch keinen Nachteil, wenn DRAMs flüchtig sind. Schließlich ist der Computer ans Stromnetz angeschlossen. FRAMs spielen ihre Stärken bei eingebetteten oder Embedded-Systemen aus. Unter diesem Schlagwort firmieren sämtliche Anwendungen, bei denen der Rechner kein eigenständiges System bildet, sondern Teil eines größeren Ganzen ist. Beispiele dafür sind besagte Multifunktionsgeräte, Maschinen und Anlagen, Autos, aber auch Smartcards oder Funketiketten mit Rechenlogik. In diesem Bereich konkurrieren FRAMs mit Speichertechnologien wie SRAM, Flash und EEPROM.

SRAMs sind flüchtig und benötigen eine Stromversorgung, um gespeicherte Daten zu behalten. Im Embedded-Bereich erfordert das zum Beispiel bei mobilen Anwendungen eine Batterie, die regelmäßig gewechselt werden muss und zusätzlichen Raum auf der Platine beansprucht. Eine SRAM-Zelle lässt sich allerdings zwei- bis dreimal schneller auslesen als eine FRAM-Zelle.

Flashspeicher sind im Consumermarkt vor allem durch die Speicherkarten für Digitalkameras und Smartphones bekannt geworden. Doch sie finden auch im Embedded-Bereich Verwendung, da sie nichtflüchtig sind. Allerdings dauert der Schreib-Lese-Zyklus von Flashspeichern 7000 Mal länger als der von FRAMs, weil bei ihnen bauartbedingt immer ganze Blöcke von Zellen gelöscht werden müssen.

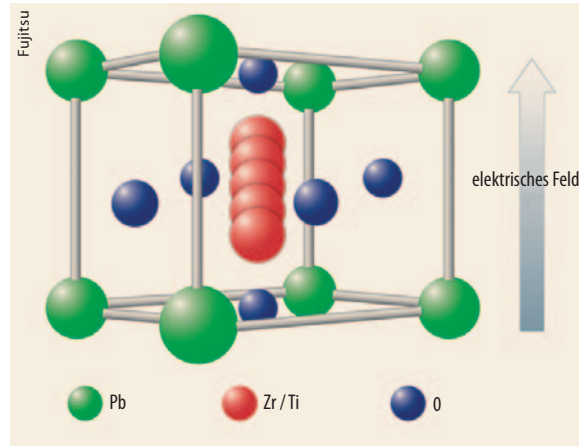


Abb. 1 Die meisten Materialien, die für FRAMs infrage kommen, besitzen eine Perowskit-Struktur, z. B. Blei-Zirkonat-Titanat (PZT). Die Bleiatome sind im PZT kubisch angeordnet, die drei Sauerstoffatome in jeder Zelle kubisch-flächenzentriert und ein Zirkonium- bzw. Titanatom pseudokubisch-raumzentriert. Unterhalb der Curie-Temperatur zeigt PZT ferroelektrische Eigenschaften, weil das Zirkonium- bzw. Titanatom dann etwas aus seiner zentralen Lage verschoben ist. Dadurch bildet sich ein permanentes Dipolmoment aus.

Zudem lassen sich FRAMs zehn Millionen Mal häufiger als Flashes beschreiben, bevor es zu verschleißbedingten Fehlern kommt.

EEPROMs bestehen aus einer Matrix aus Feldeffekttransistoren mit isoliertem Steueranschluss, die einen nichtflüchtigen Speicher bilden. Sie haben eine ähnliche Lebensdauer wie Flashspeicher und einen um den Faktor 70 000 langsameren Schreib-Lese-Zyklus als FRAMs.

Zu den Nachteilen der FRAMs gehört, dass die erzielbare Speicherdichte geringer als zum Beispiel bei Flashspeichern ist. Zudem sind die Speicherkapazitäten der Bauteile relativ gering und ihre Kosten vergleichsweise hoch, sodass Geräte mit üppigem Speicherbedarf durch FRAMs deutlich teurer würden. Daher sind ferroelektrische Speicherchips oft auf Anwendungen beschränkt, für die nur wenige Bausteine erforderlich sind. Neben der Protokollierung in Multifunktions-

onsgeräten gibt es ähnliche Anforderungen in der Industrie, wo etwa die Position rotierender Motor-komponenten sehr häufig und sehr schnell dokumentiert werden muss. Zudem sind FRAMs bei elektronischen Stromzählern in Ländern zu finden, in denen die Netzspannung relativ stark schwankt und Stromausfälle häufiger vorkommen. In Japan stecken FRAMs auch in kontaktlosen Identifikationskarten, die als Tickets im öffentlichen Nahverkehr dienen: Da die automatische Kontrolle dieser Smartcards per RFID im Vorübergehen erfolgt, müssen die Daten sehr schnell und zuverlässig verarbeitet werden. Weitere Anwendungen gibt es etwa in der Radiologie wegen der Strahlungsunempfindlichkeit der FRAMs oder in mobilen Bezahlterminalen – alles Einsatzbereiche, bei denen im Vergleich zum Massengeschäft mit DRAMs eher kleine Stückzahlen gefragt sind.⁺⁾

Michael Vogel

+) Ich danke Shaoyun Cheng von der Fujitsu Semiconductor Europe GmbH, Langen, für hilfreiche Erläuterungen.