

Memristoren

Ein Memristor (Kunstwort aus den Begriffen Memory und Resistor) ist ein (nano-)elektronisches Bauelement, dessen elektrischer Widerstand veränderbar und damit einstellbar ist. Sein Widerstand zu einem bestimmten Zeitpunkt hängt davon ab, welcher Spannungsverlauf bis zu diesem Zeitpunkt an ihn angelegt war bzw. welche Menge an elektrischer Ladung ihn bisher durchflossen hat. Wird die Spannungsversorgung bzw. der Stromfluss unterbrochen, so bleibt der gerade eingestellte Widerstandswert ohne weitere Energiezufuhr erhalten. Vielversprechende Einsatzmöglichkeiten für Memristoren gibt es z.B. in neuartigen Datenspeichern für Computer, gehirnähnlichen (neuromorphen) Computerarchitekturen und bestimmten Hardwarelösungen im Bereich der Cyber Defence. Obwohl bereits erste kommerzielle Produkte auf der Grundlage von Memristoren existieren, befinden sie sich im Wesentlichen noch im Stadium der Forschung und Entwicklung.

Memristoren stehen als viertes fundamentales Bauelement neben Widerständen, Spulen und Kondensatoren. Sie bestehen typischerweise aus einer elektrisch isolierenden Schicht, die sich zwischen zwei Metallelektroden befindet, und können sehr geringe Abmessungen unterhalb von zehn Nanometern aufweisen. Für die Isolator-Schicht können z.B. Metalloxide, Nitride oder Telluride Verwendung finden. Als Metallelektroden kommen u.a. Edelmetalle wie Platin oder Silber, aber auch Kupfer zum Einsatz. Solche Memristoren nutzen mindestens zwei unterschiedliche Widerstandszustände, nämlich einen mit einem hohen und einen mit einem geringen Widerstandswert. Diese beiden Zustände lassen sich z. B. für die Darstellung der Bit-Werte 0 und 1 bei Computern verwenden. Durch Anlegen einer entsprechenden Spannung an die Metallelektroden kann zwischen den unterschiedlichen Widerstandszuständen umgeschaltet werden. Der augenblickliche Widerstandswert des Memristors kann dabei mit einer geringen Spannung ausgelesen werden, die den Widerstandswert selbst nicht verändert. Die Funktionsweise von Memristoren basiert vermutlich auf der spannungsabhängigen

Ausbildung bzw. Auflösung von elektrisch leitenden Strukturen, sogenannten Filamenten, zwischen den beiden Metallelektroden. Eine Überbrückung der Isolator-Schicht durch diese Filamente führt hierbei zu einem geringen Widerstandswert, wohingegen die anschließende (teilweise) Auflösung dieser Struktur einen entsprechend höheren Widerstandswert nach sich zieht. Solche Filamente können z. B. durch Metall-Ionen entstehen, die aufgrund der angelegten Spannung aus einer geeigneten Metallelektrode herausgelöst werden.

Eine potenzielle Anwendung von Memristoren stellen Datenspeicher für Computer dar. Aufgrund der Eigenschaft von Memristoren, ihren augenblicklichen Widerstandswert, d.h. den jeweiligen Speicherinhalt, auch nach dem Abschalten der Energieversorgung beizubehalten, spricht man dabei von einem nichtflüchtigen Datenspeicher. Memristoren könnten einen im Vergleich zu derzeit üblichen Technologien u.a. erheblich schnelleren nichtflüchtigen Datenspeicher ermöglichen.

Aufgrund ihrer neuartigen elektronischen Eigenschaften eröffnen Memristoren außerdem generell neue Möglichkeiten beim Entwurf von integrierten Schaltkreisen. Durch ihren Einsatz könnten hier beispielsweise die Integrationsdichte erheblich erhöht und der Energieverbrauch gesenkt werden.

Bei herkömmlichen Computerarchitekturen ist die Datenverarbeitung und -speicherung in Gestalt von Prozessoren und Arbeitsspeicher räumlich voneinander getrennt. Diese Trennung kann zu einem Flaschenhals des Systems führen, wenn große Datenmengen zwischen Prozessoren und Arbeitsspeicher übertragen werden müssen. Memristoren erlauben dagegen neuartige Computerarchitekturen, bei denen Speicherzellen auch zur Datenverarbeitung genutzt werden könnten.

Eine weitere mögliche Anwendung von Memristoren ist neuromorphe Computerhardware. Eine solche orientiert sich hinsichtlich ihrer Funktionsweise an der neurobiologischen Architektur des Nervensystems. Eine wichtige Rolle spielen hier die Synapsen, weil sie z. B. die Grundlage für Lernprozesse im Gehirn bilden. Da das

Verhalten eines Memristors der Funktionsweise von biologischen Synapsen ähnelt, sind Memristoren gut für deren technische Nachbildung geeignet. Solche Systeme wären für Anwendungen im Bereich der künstlichen Intelligenz von großem Interesse.

Darüber hinaus stellen hardwarebasierte IT-Sicherheitslösungen ein potenzielles Einsatzgebiet dar, wie z. B. die sogenannte Physically Unclonable Functions. Dies sind hardwarebasierte Funktionen mit einer einzigartigen Ein-/Ausgabe-Beziehung, die auf Fertigungsschwankungen bei der Herstellung des zugrunde liegenden integrierten Schaltkreises basiert. Sie können z. B. zur Authentifizierung von Geräten oder zur Schlüsselerzeugung für kryptografische Verfahren verwendet werden. Die Nutzung von Memristoren könnte hier möglicherweise mehr Sicherheit gegenüber entsprechenden Angriffen bieten als herkömmliche Schaltkreise dieser Art.

Erste kommerzielle Produkte auf der Grundlage von Memristoren existieren bereits. Hierbei handelt es sich in erster Linie um nichtflüchtige Datenspeicher mit allerdings noch relativ geringen Speicherkapazitäten. Einer weiteren Verbreitung stehen noch einige Herausforderungen entgegen. Insbesondere sind die mikroskopischen Prozesse, die der Funktionsweise von Memristoren zugrunde liegen, bisher noch unzureichend verstanden. Ein besseres Verständnis dieser Prozesse würde eine entsprechende Verbesserung bei der Vorhersage der Eigenschaften von Bauelementen und damit auch beim Entwurf der darauf basierenden Schaltkreise erlauben. Eine weitere große Herausforderung stellt die Variabilität bzw. Reproduzierbarkeit der Eigenschaften von Memristor-Bauelementen dar. So kann es bisher nicht nur deutliche Unterschiede zwischen verschiedenen, eigentlich gleichartigen Bauelementen in Bezug auf die Ausbildung (bzw. Auflösung) der Filamente geben, sondern auch zwischen aufeinanderfolgenden Schaltvorgängen bei ein und demselben Bauelement. Hieraus resultiert noch eine entsprechende Variabilität und damit nicht gewünschte Unvorhersehbarkeit der resultierenden Widerstandswerte.

Dr. Klaus Ruhlig