

Modellierung und Simulation memristiver Bauelemente (von Sven Dirkmann):

Die Forschungsanstrengungen im Bereich memristiver Bauelemente und resistivem Schalten steigen bis heute stetig an. Ursächlich dafür ist der gewachsene Forschungsbereich künstlicher Intelligenz sowie die vielseitige Verwendbarkeit memristiver Bauelemente unter anderem als zukünftige nicht-flüchtige Speicherbauelemente oder als künstliche Synapsen in neuronalen Netzwerken. Allgemein kann man bei memristiven Bauelementen ein abruptes, digitales und ein allmähliches, analoges resistives Schalten unterscheiden. Für nicht-flüchtige Speicherbauelemente sind stabile und gut unterscheidbare Zustände essenziell. Für diese Anwendung eignen sich also digital schaltende memristive Bauelemente besonders gut. Das Verhalten von Synapsen lässt sich hingegen durch ihre synaptische Plastizität beschreiben, die sich bei Verwendung allmählich ändert, was allgemein zu einem Lernprozess führt. Inspiriert durch dieses Verhalten liegt die Vermutung nahe, dass sich künstliche Synapsen zur Verwendung in neuronalen Netzwerken am besten durch analog schaltende memristive Bauelemente nachbilden lassen, auch wenn bereits neuronale Netzwerke mit digital schaltenden memristiven Bauelementen aufgebaut wurden.

Die Entwicklung bestehender und neuer memristiver Bauelemente setzt ein genaues Verständnis des physikalischen Verhaltens dieser voraus. Häufig ist es nicht oder nur sehr schwer möglich den genauen Schaltmechanismus mit Hilfe von experimentellen Verfahren oder Diagnostikmethoden zu ermitteln. Diese Lücke können aktuell nur Computersimulationen schließen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden Simulationsmodelle mit verteilten Parametern für unterschiedliche digital und analog schaltende memristive Bauelemente entwickelt, die maßgeblich zum Verständnis des Verhaltens dieser Bauelemente beitragen können. So wurden im Rahmen dieser Arbeit digital schaltende Ag/TiO_x/Pt-ECM-Zellen und TiN/Ti/HfO₂/TiN-VCM-Zellen sowie analog schaltenden Au/NbO_x/Al₂O₃/Al/Nb-Doppelbarrierenbauelemente untersucht. Die Simulationsergebnisse wurden durchgehend mit experimentellen Ergebnissen verglichen, so dass diese Simulationsergebnisse in der Lage sind wichtige experimentelle Ergebnisse zu erklären.

Ausgehend von den gewonnenen Erkenntnissen wurde auf der einen Seite, in enger Zusammenarbeit mit aus Experimenten gewonnenen Erkenntnissen, ein auf Legierungsclustern basierendes, analog schaltendes, memristives Bauelement entwickelt. Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass dieses Bauelement eine sehr gute Retentionzeit, eine interne Strombegrenzung, eine geringe Leistungsaufnahme und eine interne Schwellspannung besitzt. Die plasmonische Aktivität der Legierungscluster lässt zudem hoffen, die Lichtabhängigkeit des Bauelementverhaltens ausnutzen zu können.

Auf der anderen Seite wurde ein konzentriertes Modell des Doppelbarrierenbauelements entwickelt. Dieses Modell ist 10⁵ mal schneller als das Modell mit verteilten Parametern und daher sehr gut zur Integration in Schaltungssimulationen geeignet.